

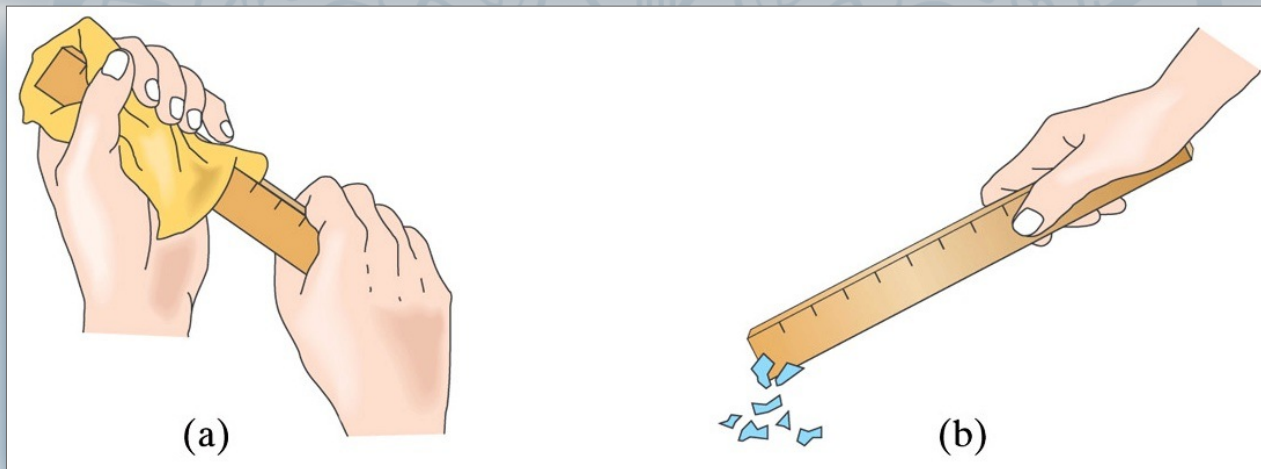
ELETTROSTATICA



R. Tommasi - Corso di Orientamento Consapevole - Bari, marzo 2022

ELETTRICITÀ

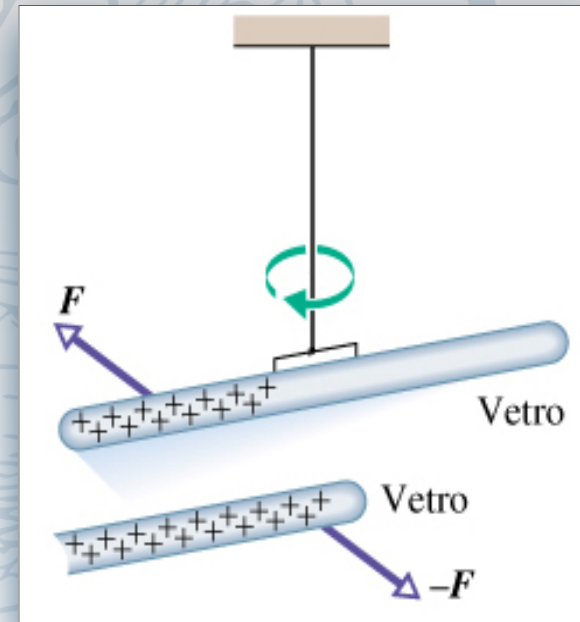
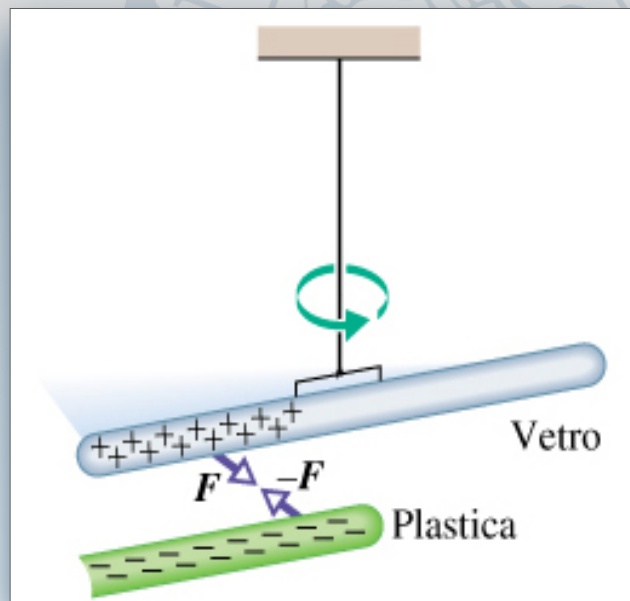
Quando alcuni corpi (vetro, ambra, ecc.) sono strofinati con un panno di lana, essi acquistano una **carica elettrica** netta, cioè acquistano la proprietà di attrarre o di respingere altri corpi **elettrizzati**.



In natura esistono due tipi di **elettricità**: **positiva** e **negativa**.

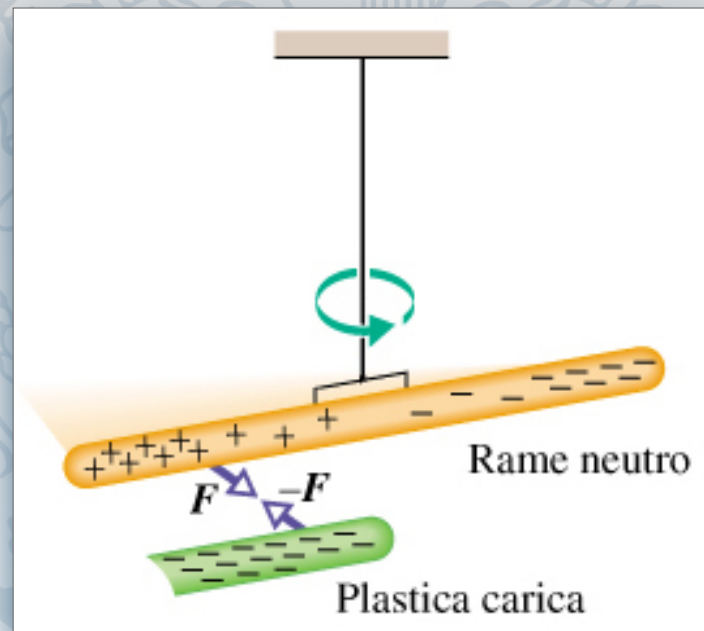
ELETTRICITÀ

Cariche di segno opposto si attraggono mentre cariche dello stesso segno si respingono.

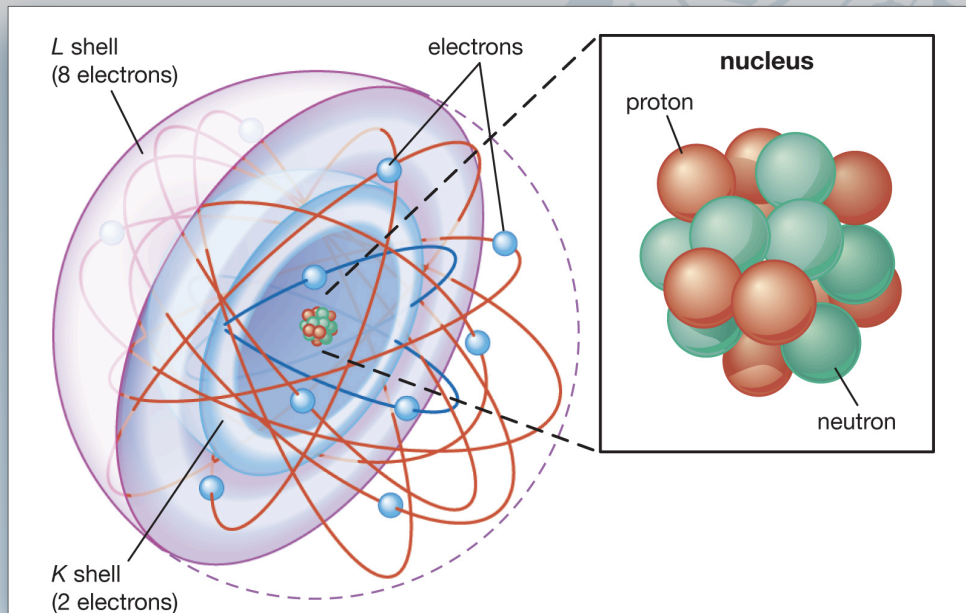


ELETTRICITÀ

Fenomeni elettrici si possono produrre anche per induzione, avvicinando un corpo elettrizzato ad un metallo isolato.



STRUTTURA DELL'ATOMO



L'atomo è la più piccola unità in cui la materia può essere divisa senza il rilascio di particelle cariche elettricamente. È anche la più piccola unità di materia che ha le proprietà caratteristiche di un elemento chimico.

A causa della natura quanto-meccanica, nessuna singola *immagine* è del tutto soddisfacente nel visualizzare le varie caratteristiche dell'atomo, il che costringe ad usare immagini complementari dell'atomo per spiegare le sue diverse proprietà.

Per alcuni aspetti, gli elettroni in un atomo si comportano come particelle in orbita attorno al nucleo. In altri, gli elettroni si comportano come onde congelate in posizione intorno al nucleo. Tali *pattern* d'onda, chiamati orbitali, descrivono la distribuzione di singoli elettroni.

STRUTTURA DELL'ATOMO

Parametri fisici delle particelle atomiche

	Carica	Massa
Elettrone (e ⁻)	$-1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	$9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
Protone (p)	$1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	$1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Neutrone (n)	0	$1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

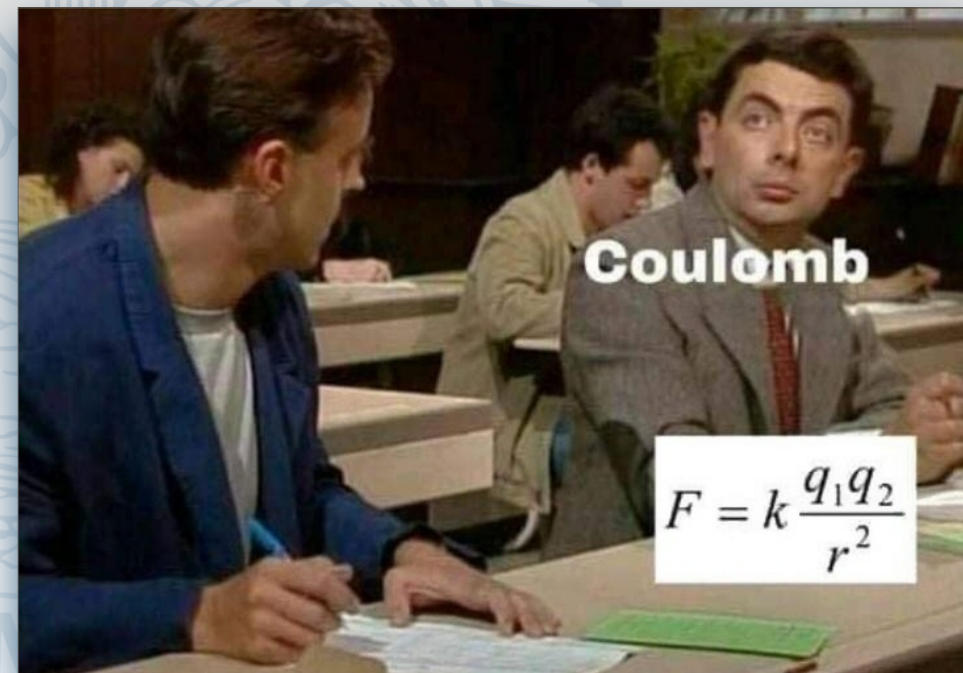
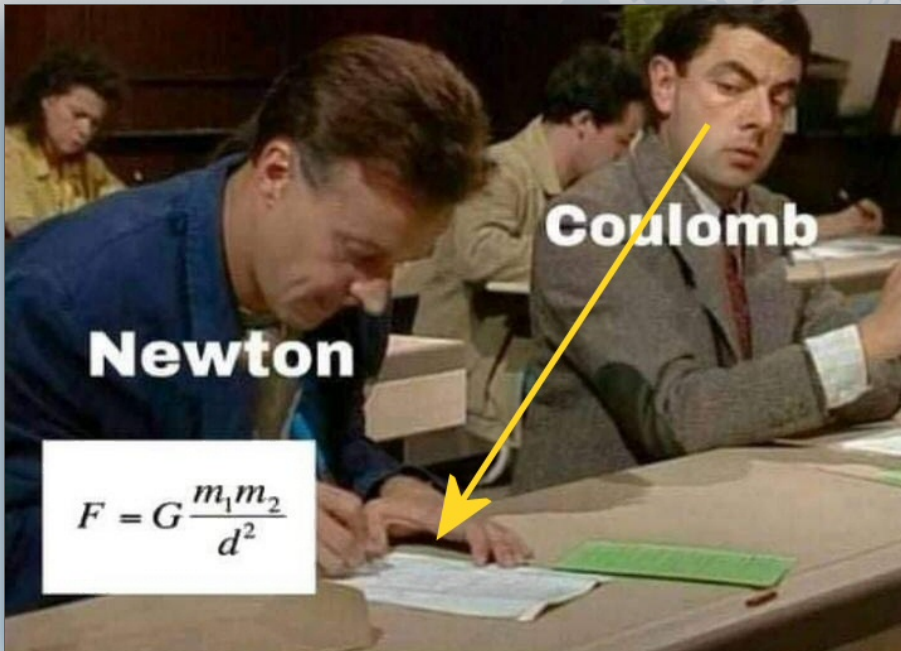
Unità di massa atomica (u): $1/12$ della massa di un atomo di ^{12}C

$$1 u = (1.99 \times 10^{-23} \text{ g}) / 12 = 1.66 \times 10^{-24} \text{ g}$$

L'unità di massa atomica è indicata anche con a.m.u. o u.m.a.

Raggio di un atomo: $\sim 10^{-10} \text{ m}$

LEGGE DI COULOMB

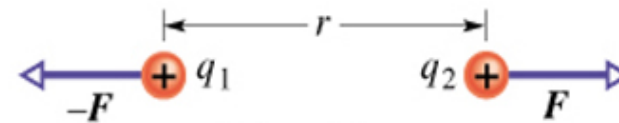


LEGGE DI COULOMB

La forza elettrostatica d'interazione fra due cariche elettriche puntiformi è definita dalla **legge di Coulomb**:

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \left(\frac{\vec{r}}{r} \right)$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r}$$



(a) Repulsione



(b) Repulsione



(c) Attrazione

L'unità di misura della carica elettrica nel S.I. è il **coulomb (C)**.

LEGGE DI COULOMB

$$|\vec{F}| = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r}$$

$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$ costante dielettrica del vuoto

ϵ_r : costante dielettrica del mezzo rispetto al vuoto
(adimensionale, sempre > 1)

La carica elettrica di 1 C è quella carica che posta nel vuoto ad 1 m di distanza da una carica elettrica uguale la respinge con la forza di $9 \cdot 10^9 \text{ N}$.

LEGGE DI COULOMB

TABELLA 17.1 Costante dielettrica relativa per alcune sostanze

SOSTANZE	ϵ_r	SOSTANZE	ϵ_r
aria	1.000590	dimetilamina	5.26
acqua distillata	81.07	acetone	20.7
alcool etilico	25.8	cloroformio	4.8
vetro	7.0	membrana di assone	9.0

CARICA ELETTRICA

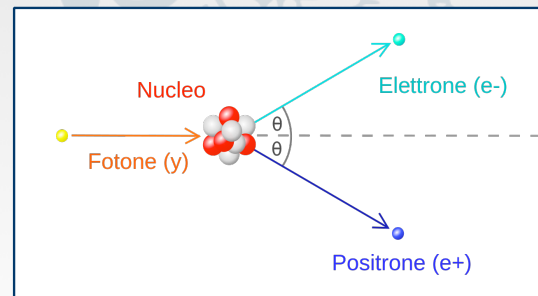
Quantizzazione delle carica elettrica

La carica elettrica è quantizzata, cioè non è possibile isolare cariche elettriche che siano frazioni di quelle portate dai protoni e dagli elettroni.

Conservazione della carica elettrica

La carica elettrica si conserva, cioè la somma algebrica delle cariche elettriche positive e di quelle negative è costante in un sistema isolato.

Esempi: $\gamma \rightarrow e^+ + e^-$ oppure $e^+ + e^- \rightarrow 2\gamma$



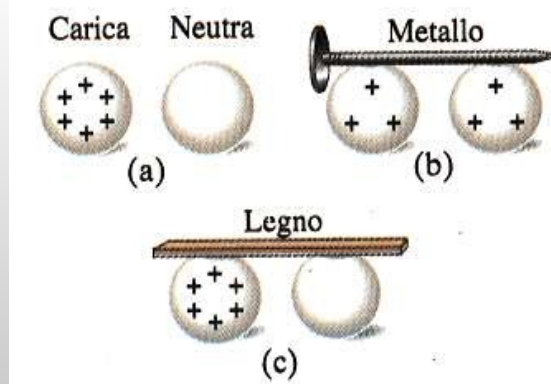
Domanda N. 58	Due particelle cariche e isolate sono poste, nel vuoto, a una certa distanza. La forza elettrostatica tra le due particelle è di 4,0 N. Quale sarebbe il valore della forza elettrostatica se la distanza tra le particelle fosse dimezzata?	
A)	16,0 N	$F \propto \frac{1}{r^2}$ $r' = \frac{1}{2}r \Rightarrow r'^2 = \frac{1}{4}r^2 \Rightarrow F' = 4F$
B)	8,0 N	
C)	4,0 N	
D)	1,0 N	
E)	2,0 N	

MC & OPD 2015/16 n. 58

CONDUTTORI E ISOLANTI

Nei **conduttori** (corpi metallici) gli elettroni di valenza sono debolmente legati agli atomi e sono liberi di muoversi all'interno del corpo.

Negli **isolanti** (dielettrici) tutti gli elettroni sono strettamente legati agli atomi.



(a) Una sfera di metallo carica e una sfera di metallo neutra. (b) Le due sfere vengono poste in contatto tramite un chiodo di metallo (conduttore) che conduce la carica dall'una all'altra. (c) Le due sfere connesse da un isolante (legno); praticamente nessuna carica viene trasportata.

CAMPO ELETTRICO

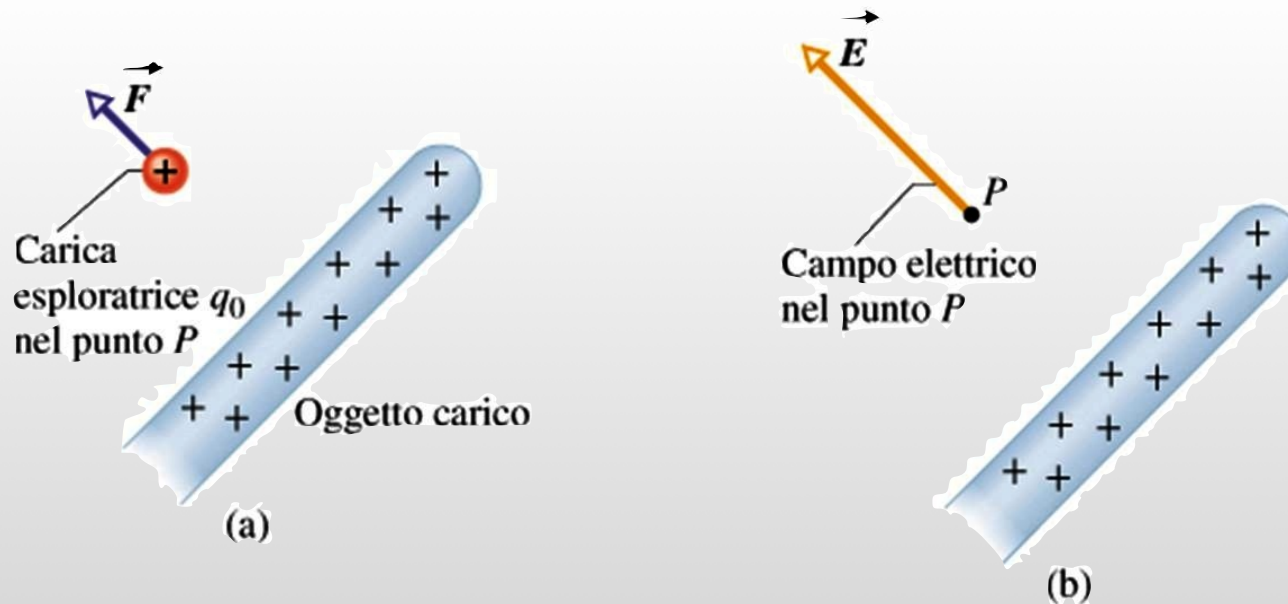
Una o più cariche elettriche creano nello spazio circostante un campo elettrico.

Indicando con \vec{F} la forza agente su una carica esploratrice positiva q_0 all'interno del campo elettrico, quest'ultimo è definito da:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

Nel S.I. il campo elettrico si misura in N/C

CAMPO ELETTRICO

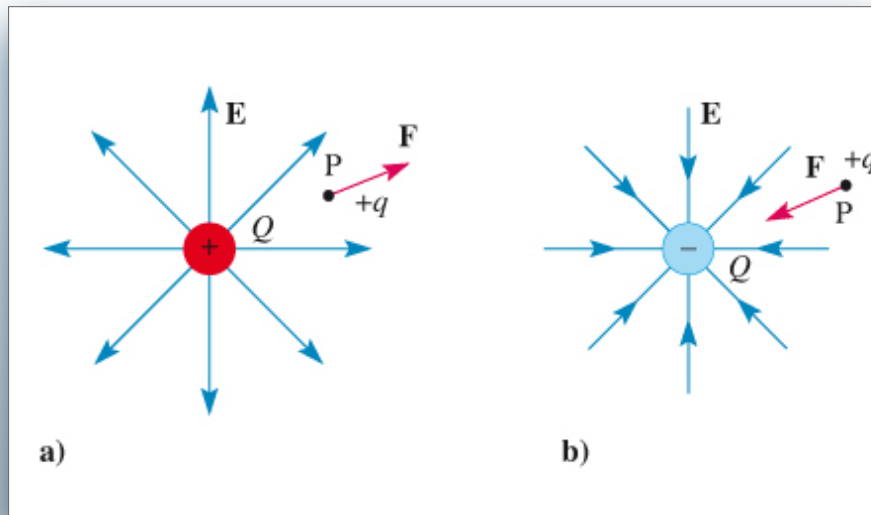


- (a) Una carica di prova positiva q_0 posta nel punto P vicino a un oggetto carico. Una forza elettrostatica \vec{F} agisce sulla carica di prova.
- (b) Il campo elettrico \vec{E} generato dall'oggetto carico nel punto P .

CAMPO ELETTRICO

Campo elettrico generato da una carica puntiforme positiva

$$\vec{E}(r) = \frac{\vec{F}(r)}{q} = \frac{1}{q} \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{Qq}{r^2} \left(\frac{\vec{r}}{r} \right) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{Q}{r^2} \left(\frac{\vec{r}}{r} \right)$$



Le linee di forza del campo elettrico \vec{E} generato da una carica puntiforme positiva (a) sono radiali, con verso che si allontana dalla carica. Nel caso di carica negativa (b) le linee di forza del campo elettrico sono dirette verso la carica puntiforme.

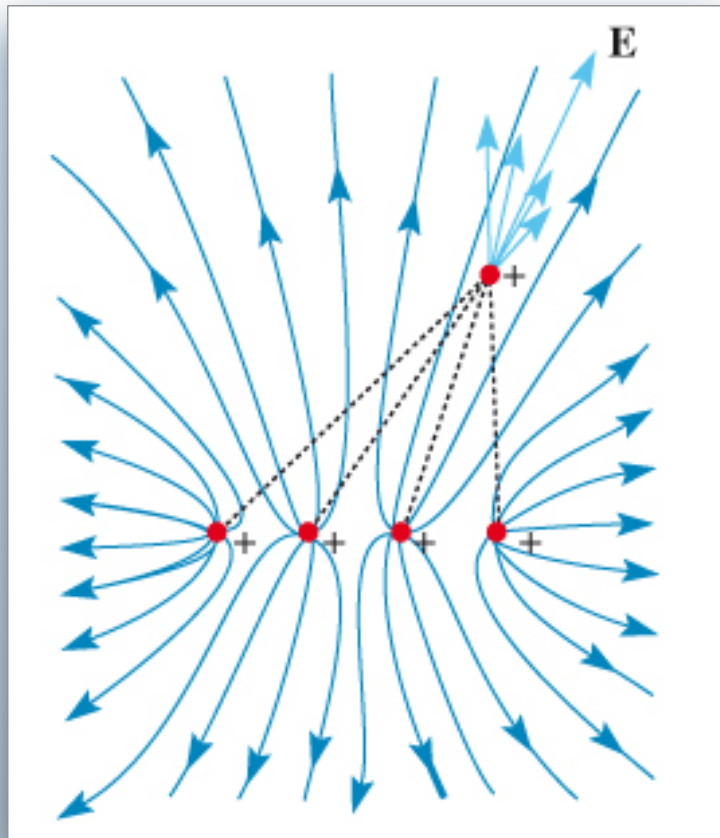
CAMPO ELETTRICO

Le linee di forza elettrica o linee di campo elettrico costituiscono un buon metodo per visualizzare i campi elettrici.

La relazione tra le linee di campo e i vettori del campo è la seguente:

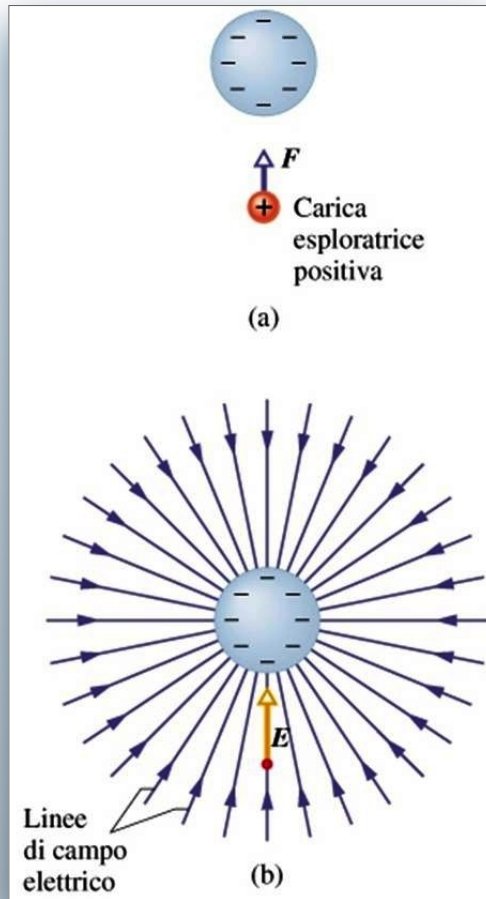
- in ogni punto la tangente alla linea di campo indica la direzione di \vec{E} in quel punto;
- le linee di forza sono tracciate in modo tale che il numero di linee che attraversano una superficie di area unitaria normale ad esse sia proporzionale all'intensità di \vec{E} .

CAMPO ELETTRICO



Linee di forza del campo elettrico determinato da quattro cariche puntiformi positive uguali. Il campo elettrico viene ricostruito vettorialmente sommando i contributi di ciascuna carica elettrica.

CAMPO ELETTRICO

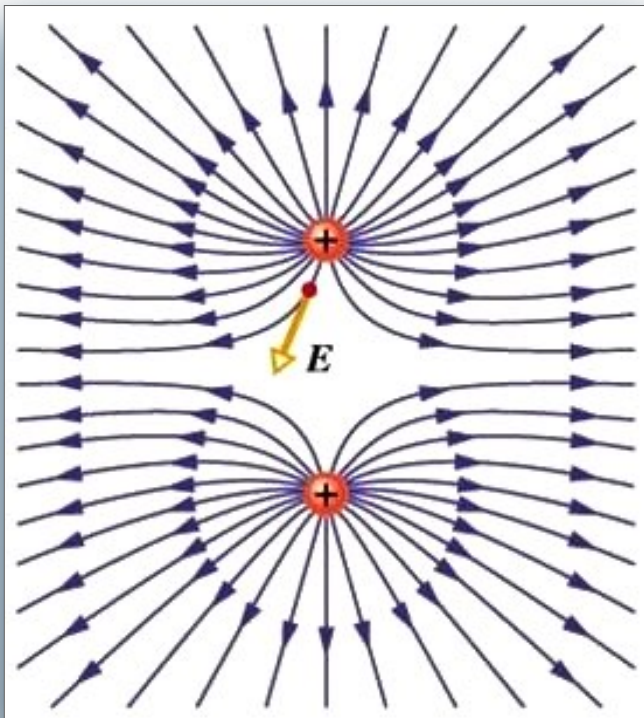


(a) Forza elettrostatica \vec{F} agente su una carica di prova positiva vicino a una sfera di carica negativa uniforme.

(b) Vettore campo elettrico \vec{E} nella posizione della carica esploratrice e linee di forza nella regione vicino alla sfera.

CAMPO ELETTRICO

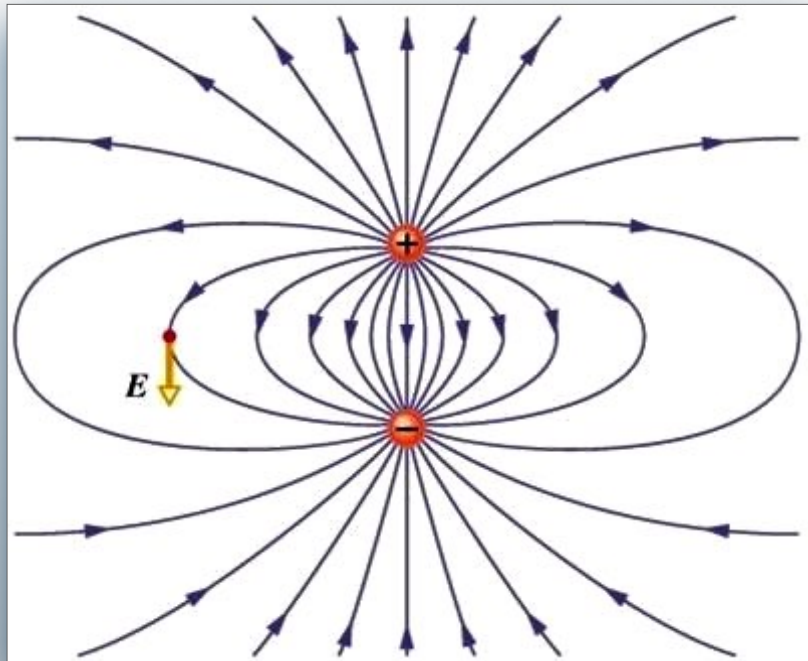
Campo elettrico generato da due cariche uguali



Linee di forza in prossimità di due cariche puntiformi uguali positive. Le cariche si respingono. Le linee terminano su oggetti lontani, non mostrati, dotati di cariche negative. È mostrato il vettore campo elettrico in un punto (si noti che è tangente a una linea di campo).

CAMPO ELETTRICO

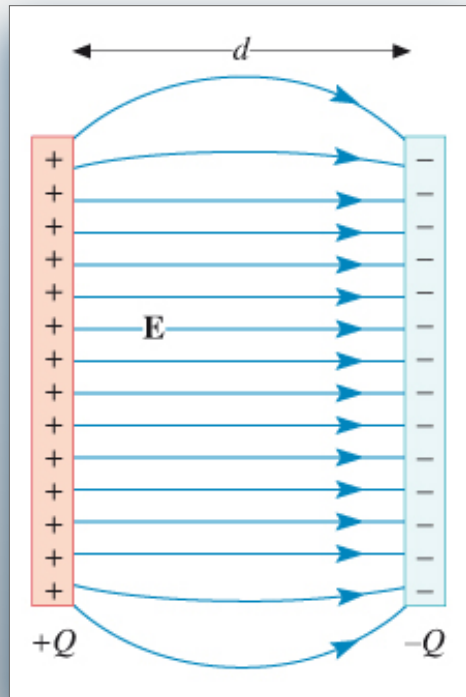
Campo elettrico generato da un **dipolo elettrico**



Linee di forza in prossimità di due cariche puntiformi uguali ma di segno opposto. Le cariche si attraggono. È mostrato il vettore campo elettrico in un punto (si noti che è tangente a una linea di campo).

CAMPO ELETTRICO

Campo elettrico generato da due lastre parallele uniformemente cariche (di segno opposto).



Linee di forza del campo elettrico \vec{E} tra le armature di un condensatore piano carico. Il campo è praticamente *uniforme* e di modulo $E = \Delta V / d$.

ENERGIA POTENZIALE ELETTRICA

Quando il campo elettrico non varia nel tempo si dice che è un **campo elettrostatico**.

Un **campo di forza elettrostatico** è **conservativo** (come quello gravitazionale) ed è dunque possibile definire per esso una energia potenziale.

Si definisce **energia potenziale elettrica** (o semplicemente **energia elettrica**) U posseduta da una carica elettrica q , una funzione della posizione tale che il lavoro della forza elettrica per uno spostamento della carica q dalla posizione iniziale “ i ” alla posizione finale “ f ” sia dato da:

$$L = U_i - U_f = - \Delta U \quad \text{dove} \quad U(r) = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{1}{r}$$

POTENZIALE ELETTRICO

Il **potenziale elettrico** (o semplicemente **potenziale**) è l'energia potenziale elettrica posseduta dalla carica unitaria in un punto dello spazio, ed è definito da:

$$V = \frac{U}{q}; \quad V(r) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{1}{r}$$

Il lavoro compiuto dalla forza elettrica per uno spostamento della carica q dalla posizione iniziale “ i ” alla posizione finale “ f ” è quindi dato da:

$$L = U_i - U_f = q \left(V_i - V_f \right) = - q\Delta V$$

POTENZIALE ELETTRICO

Differenza di potenziale (d.d.p.) o tensione elettrica:

$$\Delta V = V_f - V_i$$

Nel S.I. il potenziale elettrico si misura in *volt* (V):

$$1 \text{ volt} = \frac{1 \text{ joule}}{1 \text{ coulomb}}$$

Fra due punti esiste la d.d.p. di 1 *volt* quando le forze del campo elettrico compiono il lavoro di 1 *joule* per spostare la carica elettrica di 1 *coulomb* fra i due punti.

55. Indicati con V_A e V_B i valori del potenziale elettrico in due punti A e B distanti rispettivamente $4r$ e $8r$ dal centro di una sfera conduttrice di raggio r carica positivamente, quale delle seguenti relazioni è esatta?

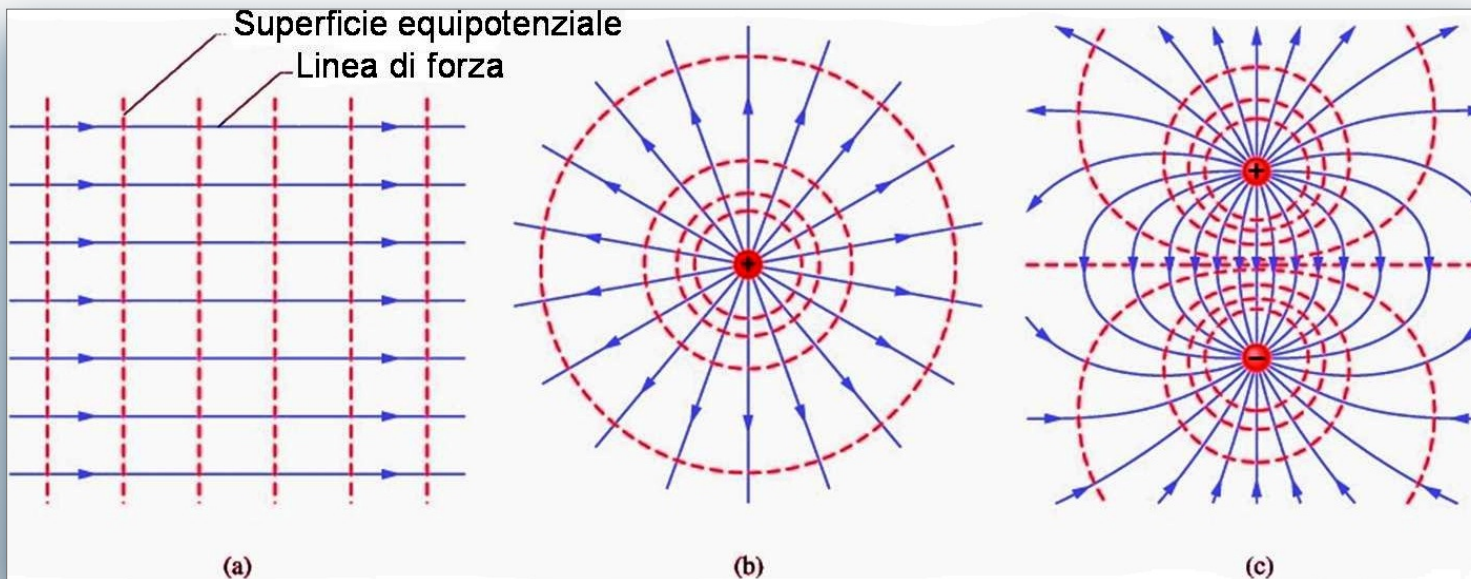
- A) $V_A = 2V_B$
- B) $2V_A = V_B$
- C) $4V_A = V_B$
- D) $V_A = 4V_B$
- E) $V_A = V_B$

MeC 2018/19 n. 55

$$r_A = 4r; r_B = 8r \rightarrow r_B = 2r_A$$
$$V \propto \frac{1}{r} \xrightarrow{r_A = \frac{1}{2}r_B} V_A = 2V_B$$

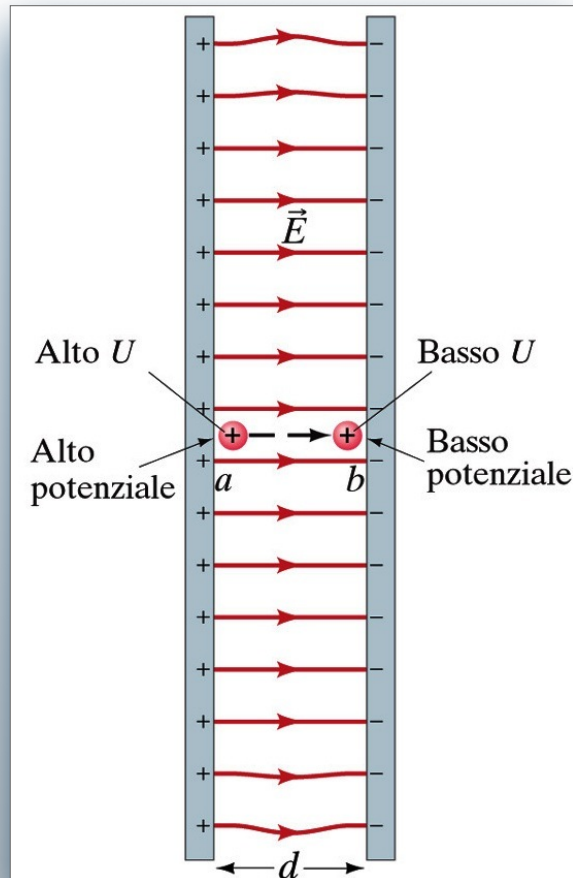
POTENZIALE ELETTRICO

Superficie equipotenziale: luogo dei punti dello spazio aventi il medesimo potenziale.



Linee di forza (linee azzurre) e sezioni trasversali di superfici equipotenziali (linee rosse) per (a) un campo uniforme, (b) un campo di una carica puntiforme, e (c) un campo di un dipolo elettrico.

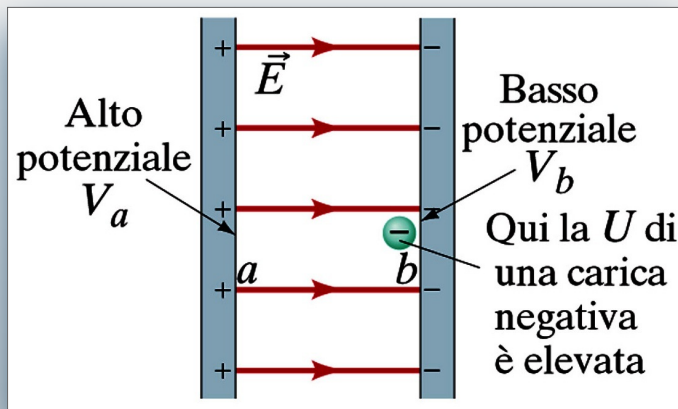
POTENZIALE ELETTRICO



Le cariche positive si muovono spontaneamente verso i potenziali decrescenti.

Infatti se la carica q è positiva il lavoro $L = q (V_i - V_f)$ è positivo quando $V_i > V_f$.

POTENZIALE ELETTRICO



Le cariche negative si muovono spontaneamente verso i potenziali crescenti.

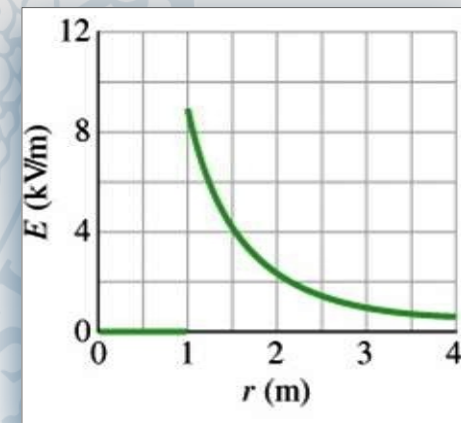
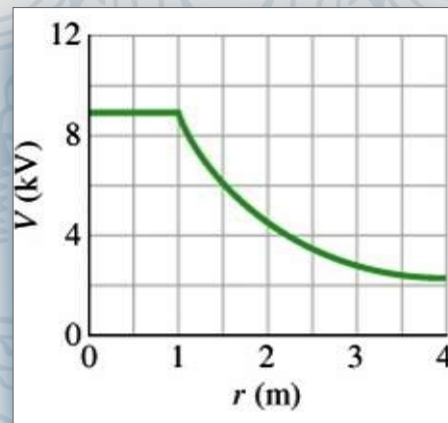
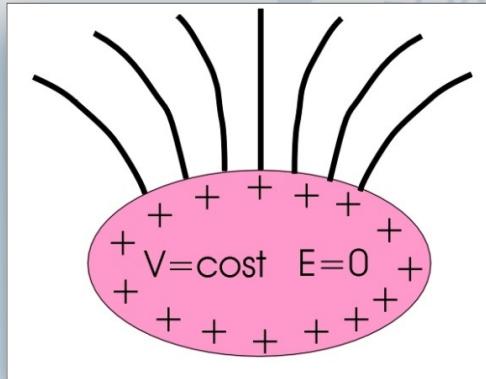
Infatti se la carica q è negativa il lavoro

$L = q (V_i - V_f)$ è positivo quando $V_i < V_f$.

CAPACITÀ ELETTRICA

Su un conduttore carico in equilibrio, la carica si distribuisce sulla sua superficie in modo che:

- il potenziale elettrico del conduttore sia costante in tutto il volume;
- il campo elettrico sia nullo all'interno e normale alla sua superficie all'esterno.



Si noti che il campo elettrico può essere espresso anche in V/m

CAPACITÀ ELETTRICA

La capacità elettrica misura la capacità di un conduttore di immagazzinare energia elettrica.

La **capacità di un conduttore (self capacitance)** il cui potenziale vale V quando su di esso si deposita una carica q è data da:

$$C = \frac{q}{V}$$

NB: il potenziale V può essere considerato come una differenza di potenziale rispetto al potenziale della Terra, il cui valore è praticamente nullo.

L'unità di misura della capacità elettrica nel S.I. è il *farad* (F):

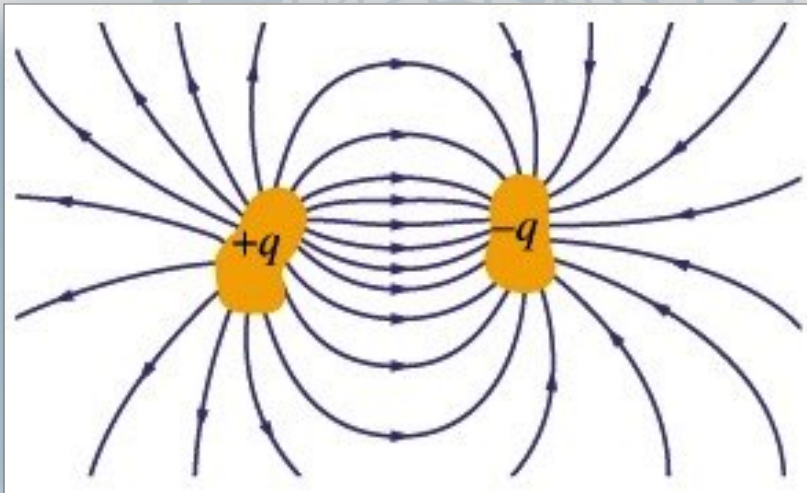
$$1 \text{ farad} = \frac{1 \text{ coulomb}}{1 \text{ volt}}$$

Per un conduttore sferico di raggio R :

$$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon_r R$$

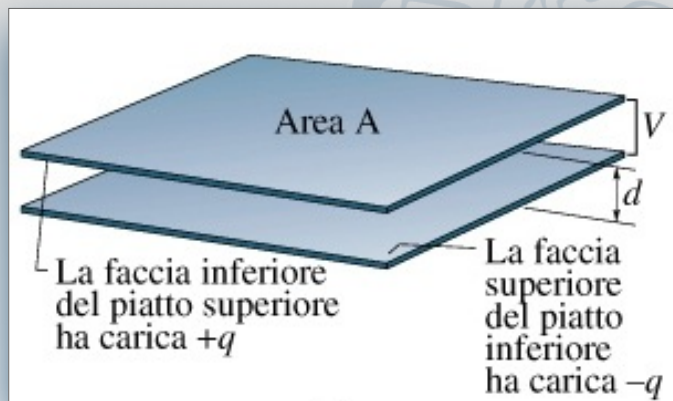
CONDENSATORE

Due conduttori isolati fra loro e dall'area circostante costituiscono un **condensatore**. Quando il condensatore è carico, i conduttori (le cosiddette "armature") portano cariche uguali e di segno opposto di intensità pari a q .



CONDENSATORE PIANO

Un condensatore piano (o a piatti paralleli) è costituito da due piani conduttori affiancati (armature) separate dall'aria o da un materiale isolante (dielettrico).



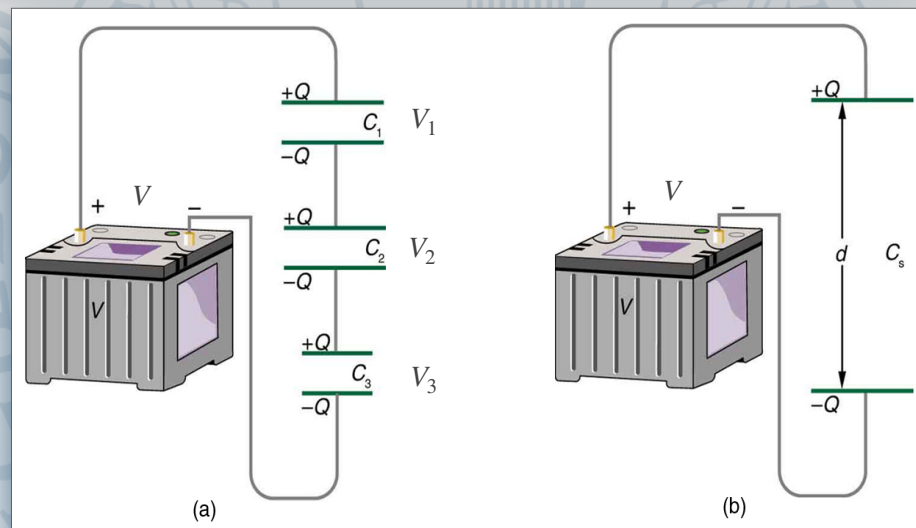
Si definisce **capacità di un condensatore** (*mutual capacitance*) il rapporto fra la carica elettrica q distribuita su ciascuna delle armature di area A e la loro differenza di potenziale V :

$$C = \frac{q}{V} = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$

L'energia immagazzinata nel condensatore vale: $E = \frac{1}{2} CV^2$

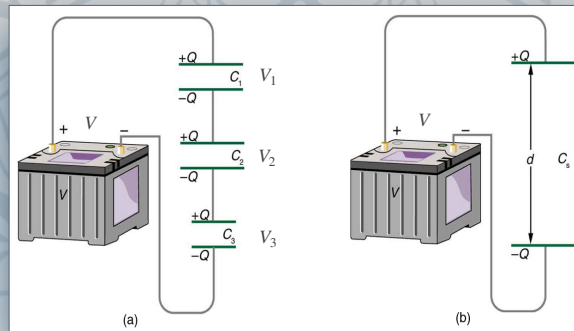
CONDENSATORI IN SERIE

La differenza di potenziale V stabilisce sui condensatori una carica Q identica per tutti.



- (a) Condensatori connessi in serie. Il modulo della carica su ogni armatura è Q .
(b) Un condensatore equivalente ha una maggiore distanza d tra le armature. La connessione in serie produce una capacità totale che è minore di quella di ognuno dei singoli condensatori.

CONDENSATORI IN SERIE



$$V = V_1 + V_2 + V_3 = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} = Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right) = Q \frac{1}{C_{eq,s}}$$

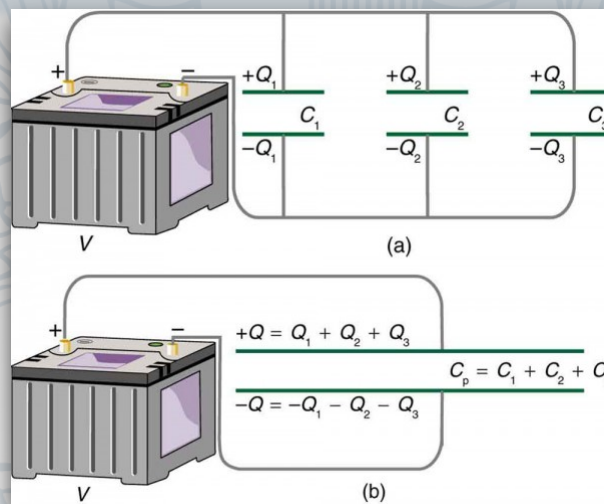
$$\frac{1}{C_{eq,s}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$C_{eq,s} = \left(\sum_i \frac{1}{C_i} \right)^{-1}$$

Capacità equivalente serie

CONDENSATORI IN PARALLELO

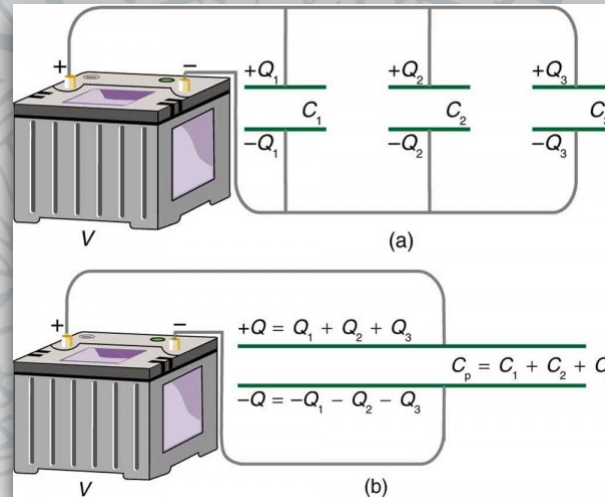
La differenza di potenziale V è la stessa ai capi di tutti i condensatori.



(a) Condensatori in parallelo. Ognuno di essi è connesso alla sorgente di tensione come se fosse da solo, e dunque la capacità totale del parallelo è la somma della capacità individuali.

(b) Il condensatore equivalente ha una maggiore area delle armature e può dunque contenere più cariche dei condensatori singoli.

CONDENSATORI IN PARALLELO



$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = C_1 V + C_2 V + C_3 V = (C_1 + C_2 + C_3) V = C_{eq,p} V$$

$$C_{eq,p} = (C_1 + C_2 + C_3)$$

$$C_{eq,p} = \sum_i C_i \quad \text{capacità equivalente parallelo}$$

78. Posti in parallelo due condensatori di capacità pari a 4 millifarad ciascuno, quanto vale la capacità totale?

- A) 2 millifarad
- B) 8 millifarad
- C) 6 millifarad
- D) 4 millifarad
- E) 16 millifarad

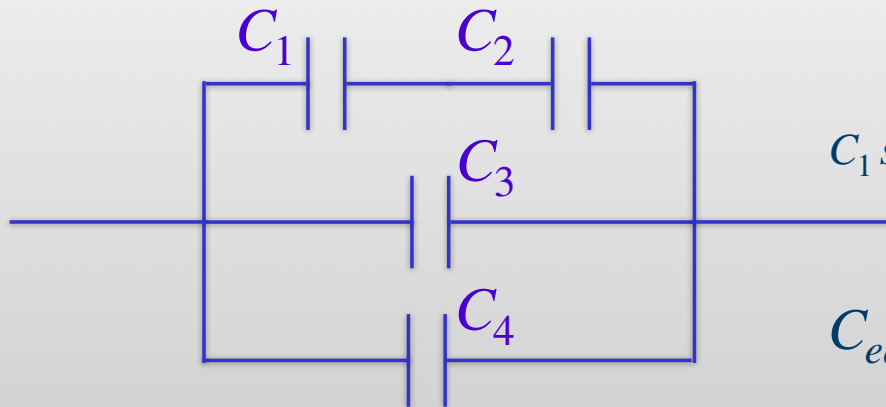
$$C_p = C_1 + C_2 = 8 \text{ mF}$$

PS 2010/11 n. 78

60. Considerati quattro condensatori C_1 , C_2 rispettivamente di $8 \mu\text{F}$ e $12 \mu\text{F}$ in serie tra loro ed in parallelo con C_3 di $20 \mu\text{F}$ e C_4 di $5 \mu\text{F}$, qual è la capacità equivalente del sistema?

- A) $29,8 \mu\text{F}$
- B) $45 \mu\text{F}$
- C) $29,8 \text{mF}$
- D) 45mF
- E) $24,8 \mu\text{F}$

MeC 2020/21 n. 60

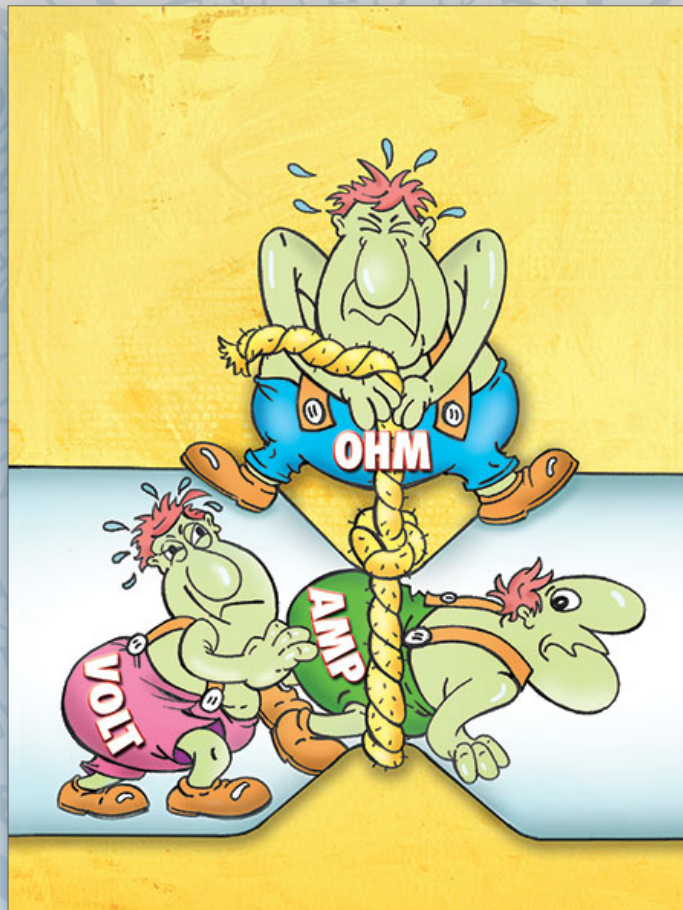


$$C_1 \text{ serie } C_2 : \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{8 \mu\text{F}} + \frac{1}{12 \mu\text{F}} \right)^{-1} = \dots = \frac{24}{5} \mu\text{F}$$

$$C_{eq} = (C_1 \text{ serie } C_2) // C_3 // C_4$$

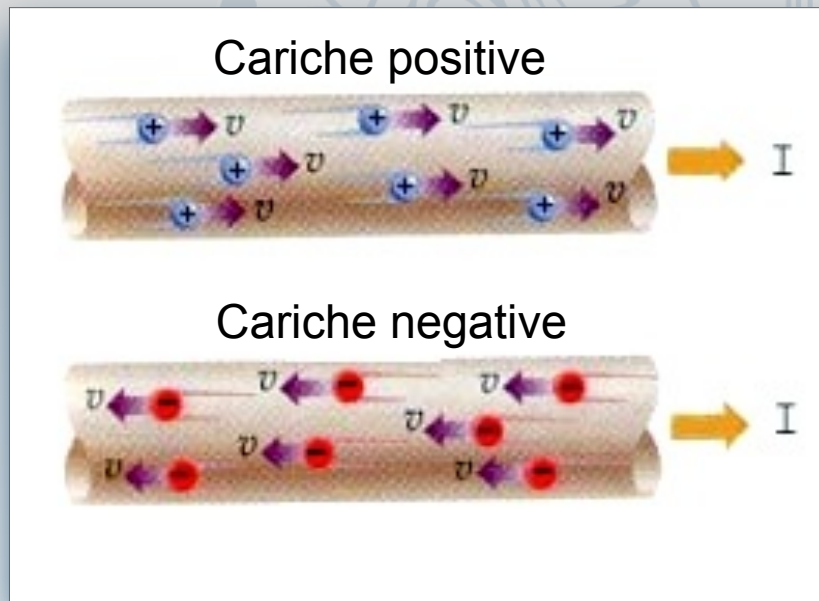
$$C_{eq} = \frac{24}{5} \mu\text{F} + 20 \mu\text{F} + 5 \mu\text{F} = \frac{149}{5} \mu\text{F} = 29.8 \mu\text{F}$$

CORRENTE ELETTRICA



CORRENTE ELETTRICA

Applicando una d.d.p. ai capi di un filo conduttore si produce un flusso di particelle cariche, cioè una **corrente elettrica**.



Per convenzione, il verso della corrente è quello del moto delle cariche positive (opposto a quello delle cariche negative).

CORRENTE ELETTRICA

Si definisce **intensità di corrente** il rapporto fra la quantità di carica che attraversa la sezione trasversale di un conduttore in un intervallo di tempo e l'intervallo di tempo stesso:

$$i = \frac{q}{t}$$

Nel S.I. l'unità di misura della corrente elettrica si chiama **ampere** (**A**) ed è la corrente elettrica che corrisponde al passaggio di $1 / (1.602176634 \times 10^{-19})$ cariche elementari (e) per secondo.

$$1A = \left(\frac{e}{1.602176634 \cdot 10^{-19}} \right) s^{-1}$$

$$1 \text{ ampere} = \frac{1 \text{ coulomb}}{1 \text{ sec}}$$

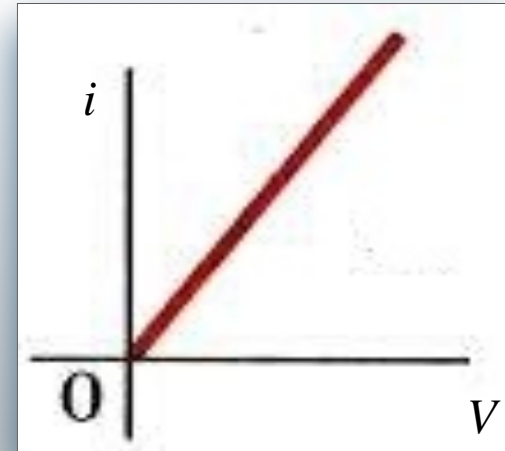
LEGGI DI OHM

1^a Legge di Ohm

Per un conduttore metallico l'intensità della corrente elettrica (i) è proporzionale alla differenza di potenziale (V) applicata ai suoi estremi:

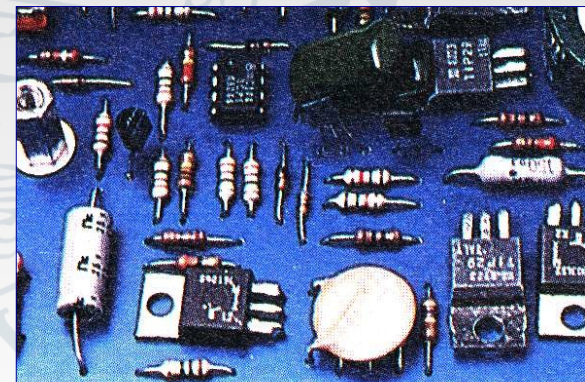
$$i = \frac{V}{R}; \quad V = i \cdot R$$

R : resistenza del conduttore metallico



Nel S.I. la resistenza elettrica si misura in ohm (Ω).

$$1\Omega = \frac{1 \text{ volt}}{1 \text{ ampere}}$$



LEGGI DI OHM

2^a Legge di Ohm

La resistenza R di un conduttore metallico, di lunghezza ℓ ed area della sezione A , è data da:

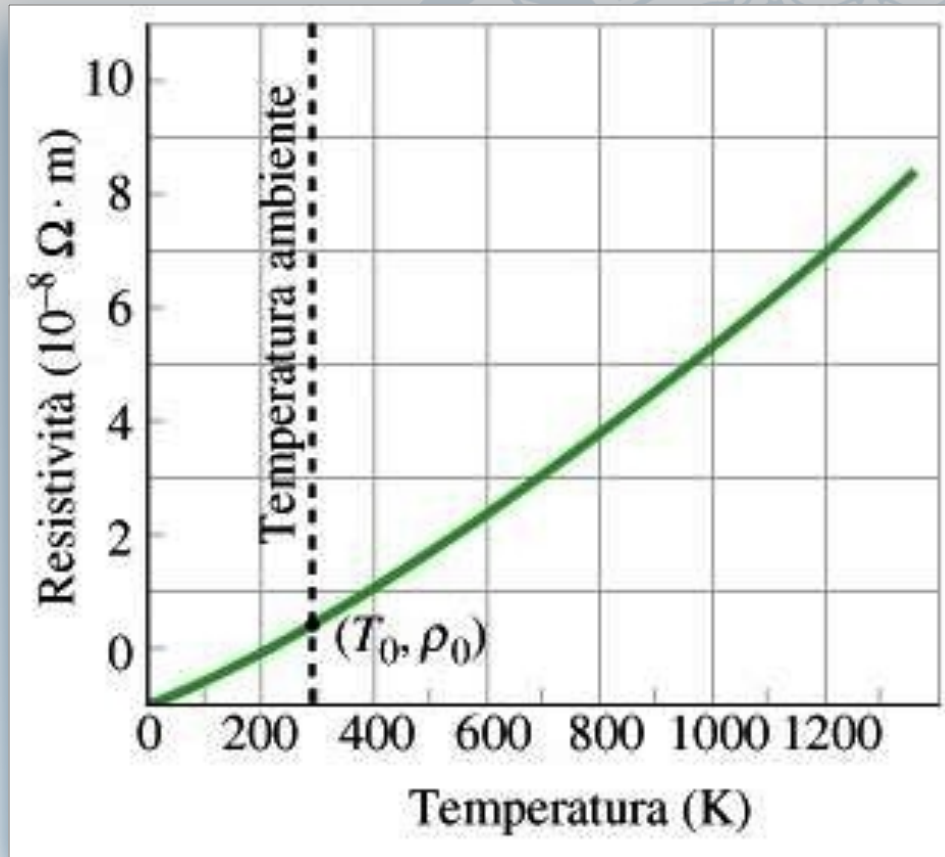
$$R = \rho \cdot \frac{\ell}{A}$$

ρ : **resistività**; dipende sia dalla natura del materiale sia dalla sua temperatura.

$\sigma = 1/\rho$: **conducibilità**

Nel S.I. $[\rho] = [\Omega \cdot m]$ e $[\sigma] = [\Omega^{-1} \cdot m^{-1}]$

RESISTIVITÀ



Resistività di alcune sostanze a temperatura ambiente (20 °C)

Sostanza	Resistività ρ ($\Omega \cdot m$)	Coefficiente termico di resistività α (K^{-1})
<i>Metalli tipici</i>		
Argento	$1.62 \cdot 10^{-8}$	$4.1 \cdot 10^{-3}$
Rame	$1.69 \cdot 10^{-8}$	$4.3 \cdot 10^{-3}$
Alluminio	$2.75 \cdot 10^{-8}$	$4.4 \cdot 10^{-3}$
Tungsteno	$5.25 \cdot 10^{-8}$	$4.5 \cdot 10^{-3}$
Ferro	$9.68 \cdot 10^{-8}$	$6.5 \cdot 10^{-3}$
Platino	$10.6 \cdot 10^{-8}$	$3.9 \cdot 10^{-3}$
Manganina ^a	$48.2 \cdot 10^{-8}$	$0.002 \cdot 10^{-3}$
<i>Semiconduttori tipici</i>		
Silicio puro	$2.5 \cdot 10^3$	$-70 \cdot 10^{-3}$
Silicio di tipo n ^b	$8.7 \cdot 10^{-4}$	
Silicio di tipo p ^c	$2.8 \cdot 10^{-3}$	
<i>Isolanti tipici</i>		
Vetro	$10^{10} - 10^{14}$	
Quarzo da fusione	$\sim 10^{16}$	

^a Lega specificamente progettata per avere un basso valore di α .

^b Silicio puro «drogato» con impurità di fosforo fino ad avere una densità di portatori di carica pari a $10^{23} m^{-3}$.

^c Silicio puro «drogato» con impurità di alluminio fino ad avere una densità di portatori di carica pari a $10^{23} m^{-3}$.

53. La resistenza R di un filo conduttore di sezione S e lunghezza l :

- A) aumenta all'aumentare di l
- B) dipende da S ma non da l
- C) diminuisce all'aumentare di l
- D) dipende da l ma non da S
- E) aumenta all'aumentare di S

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

PS 2015/16 n. 53

75. Due fili di rame hanno la medesima lunghezza, ma la resistenza elettrica del primo filo è il doppio di quella del secondo. Indicato con r il raggio del primo filo, il raggio del secondo filo vale:

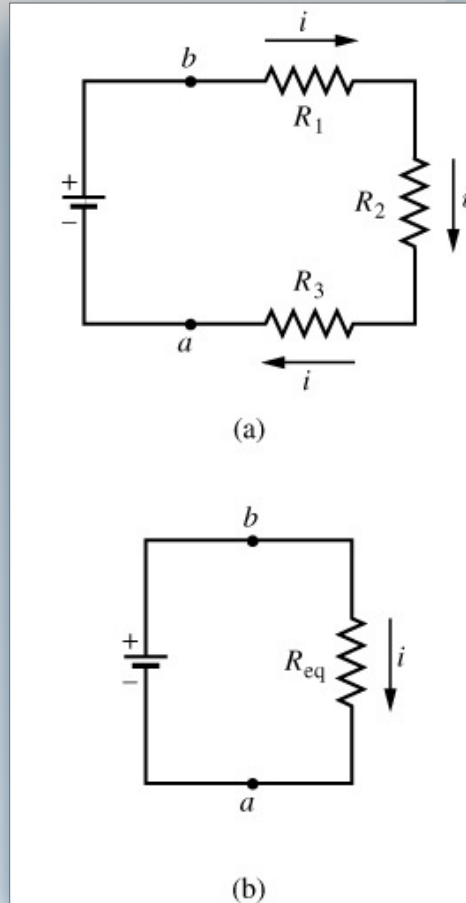
- A) $2r$
- B) $4r$
- C) $r \cdot \sqrt{2}$
- D) $r/2$
- E) $r/\sqrt{2}$

$$R = \rho \frac{\ell}{S} = \rho \frac{\ell}{\pi r^2} \Rightarrow r = \sqrt{\frac{\rho \ell}{\pi R}}$$

$$\frac{r'}{r} = \sqrt{\frac{\cancel{\rho} \ell'}{\pi R'}} \cdot \sqrt{\frac{\cancel{\pi R}}{\cancel{\rho \ell}}} = \sqrt{\frac{R}{R'}} = \sqrt{\frac{2R'}{R'}} = \sqrt{2} \Rightarrow r' = r\sqrt{2}$$

PS 2009/10 n. 75

RESISTENZE IN SERIE

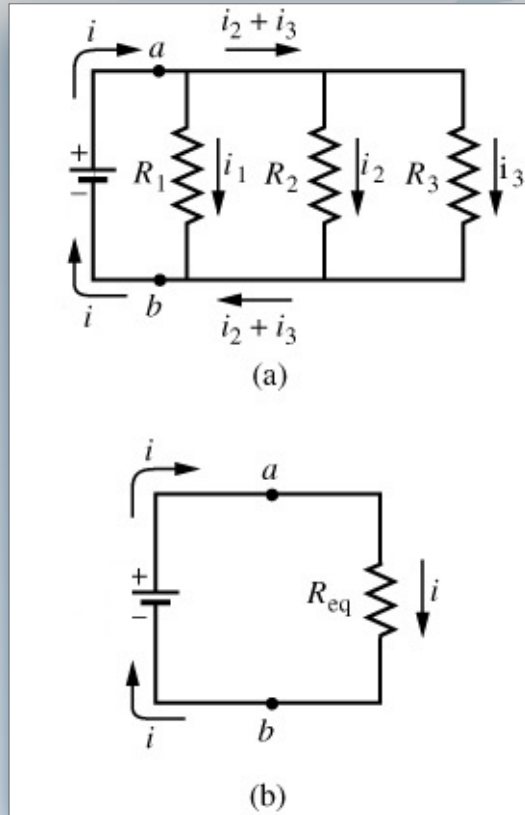


Le resistenze in serie sono percorse dalla stessa corrente elettrica.

$$\begin{aligned}V_b - V_a &= V_1 + V_2 + V_3 \\ &= iR_1 + iR_2 + iR_3 \\ &= i(R_1 + R_2 + R_3) \\ &= iR_{eq,s}\end{aligned}$$

$$R_{eq,s} = R_1 + R_2 + R_3 \quad \text{resistenza equivalente serie}$$

RESISTENZE IN PARALLELO



Le resistenze in parallelo sono sottoposte alla stessa d.d.p.

$$i_1 = \frac{V_b - V_a}{R_1}; \quad i_2 = \frac{V_b - V_a}{R_2}; \quad i_3 = \frac{V_b - V_a}{R_3}$$

$$i = i_1 + i_2 + i_3 = (V_b - V_a) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

$$= (V_b - V_a) \frac{1}{R_{eq,p}}$$

$$R_{eq,p} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)^{-1} \quad \text{Resistenza equivalente parallelo}$$

RESISTENZE E CONDENSATORI IN SERIE E IN PARALLELO

Serie	Parallelo
<u>Resistenze</u>	
$R_{eq} = \sum_{j=1}^n R_j$	$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{j=1}^n \frac{1}{R_j}$
Stessa corrente attraverso tutte le resistenze	Stessa differenza di potenziale ai capi di tutte le resistenze

Serie	Parallelo
<u>Condensatori</u>	
$\frac{1}{C_{eq}} = \sum_{j=1}^n \frac{1}{C_j}$	$C_{eq} = \sum_{j=1}^n C_j$
Stessa carica in tutti i condensatori	Stessa differenza di potenziale ai capi di tutti i condensatori

57. Quando due resistenze elettriche (rispettivamente uguali a R e $4R$) sono collegate in serie, la resistenza equivalente della combinazione è pari a 50Ω . Se le medesime resistenze fossero collegate in parallelo, quale sarebbe la resistenza equivalente?

- A) 8Ω
- B) 10Ω
- C) 12Ω
- D) 32Ω
- E) 50Ω

$$\text{Serie: } R + 4R = 5R = 50 \Omega \Rightarrow R = 10 \Omega$$

$$\text{Parallelo: } \frac{1}{R_p} = \frac{1}{10 \Omega} + \frac{1}{40 \Omega} = \frac{4 + 1}{40 \Omega} = \frac{1}{8 \Omega} \Rightarrow R_p = 8 \Omega$$

MC & OPD 2014/15 n. 57

73. Un addobbo natalizio è costituito da 12 lampadine a incandescenza uguali, tra loro in serie, collegate alla rete di alimentazione domestica. Una delle lampadine si rompe: per utilizzare l'addobbo, togliamo la lampadina rotta e ricollegiamo i due spezzoni di filo, in modo che le 11 lampadine rimaste siano ancora in serie. Il risultato sarà:

- A) si produce circa 1/11 di intensità luminosa in più, dato che la resistenza elettrica totale è diminuita
- B) si produce circa 1/12 di intensità luminosa in meno, visto che abbiamo tolto una lampadina
- C) si produce la stessa intensità luminosa, visto che abbiamo rimosso una lampadina ma la corrente che scorre nell'addobbo aumenta
- D) non possiamo dire nulla a priori, il risultato dipende dalla resistenza elettrica delle lampadine, che non è nota
- E) si produce meno intensità luminosa a causa dell'interferenza, dato che nel punto in cui il filo è stato tagliato la distanza tra le lampadine è cambiata

$$R_1 = 12 \text{ u.a.} \quad R_2 = 11 \text{ u.a.} \quad (\text{u.a.} : \text{unità arbitrarie})$$

$$\begin{aligned} I_2 &= \frac{V}{R_2} = \frac{I_1 R_1}{R_2} = I_1 \frac{R_1}{R_2} \\ &= I_1 \frac{12 \text{ u.a.}}{11 \text{ u.a.}} \\ &= I_1 \left(\frac{11}{11} + \frac{1}{11} \right) \\ &= I_1 + \frac{1}{11} I_1 \end{aligned}$$

MC & OPD 2010/11 n. 73

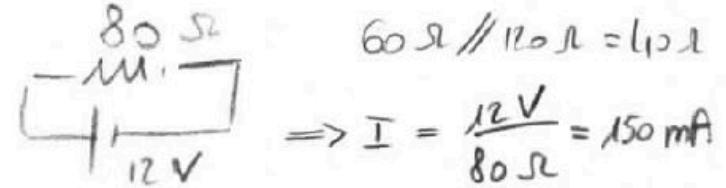
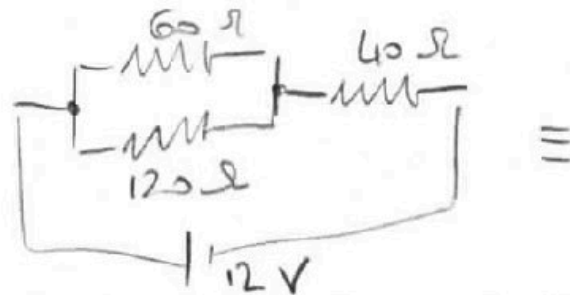
73. Ad una batteria da automobile da 12 V vengono collegati in serie 2 elementi resistivi così costituiti:

1 Due resistenze da 60 e 120 Ohm collegate tra loro in parallelo

2 Una resistenza da 40 Ohm

Trascurando la resistenza dei conduttori, qual è il valore più probabile della corrente circolante nel circuito?

- A) 150,0 mA
- B) 54,5 mA
- C) 600,0 mA
- D) 66,6 mA
- E) 960,0 mA



$$R_1 = \left(\frac{1}{60 \Omega} + \frac{1}{120 \Omega} \right)^{-1} = 40 \Omega$$

$$R_2 = 40 \Omega$$

$$R_{eq} = R_1 + R_2 = 80 \Omega$$

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{12 V}{80 \Omega} = 0.15 A = 150 \text{ mA}$$

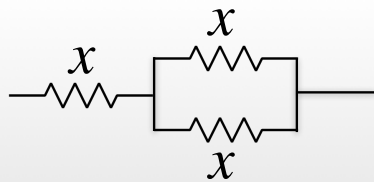
MC & OPD 2009/10 n. 73

59. Sia R_1 la resistenza equivalente ad una connessione di tre resistenze uguali di valore x di cui una è connessa in serie con le altre due connesse in parallelo; sia R_2 la resistenza equivalente ad una connessione di tre resistenze uguali di valore y di cui una è connessa in parallelo con le altre due connesse in serie.

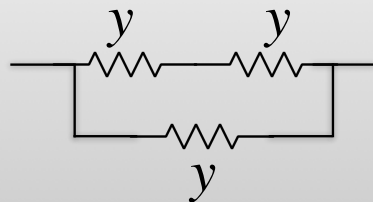
Quale relazione deve intercorrere fra x e y in modo che $R_1 = R_2$?

- A) $x = 4y/9$
- B) $y = 4x/9$
- C) $y = x$
- D) $y = 3x/2$
- E) $x = 3y/2$

MC & OPD 2019/20 n. 59



$$R_1 = x + \left(\frac{1}{x} + \frac{1}{x} \right)^{-1} = x + \frac{x}{2} = \frac{3}{2}x$$



$$R_2 = \left(\frac{1}{y} + \frac{1}{2y} \right)^{-1} = \dots = \frac{2}{3}y$$

$$R_1 = R_2 \rightarrow \frac{3}{2}x = \frac{2}{3}y \rightarrow x = \frac{4}{9}y$$

GENERATORI

Un **generatore** è un dispositivo (es. pila, dinamo, accumulatore, dispositivo termoelettrico, dispositivo fotoelettrico, ...) che trasforma in energia elettrica energia di altra natura.

Si definisce **forza elettromotrice (f.e.m.)** di un generatore il lavoro che il campo elettromotore compie per far percorrere ad una carica unitaria positiva l'intero giro del circuito.

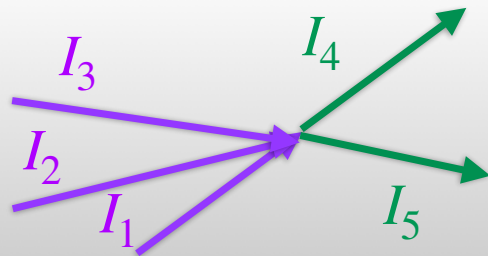
Il campo elettromotore può avere origine chimica, meccanica, termica o altra, a seconda del tipo di generatore.

LEGGI DI KIRCHHOFF

Le leggi di Kirchhoff permettono di risolvere circuiti costituiti da più maglie o nodi, cioè di conoscere le d.d.p. e le correnti in ogni parte del circuito.

1^a Legge di Kirchhoff (o legge dei nodi): la somma algebrica delle intensità di corrente in un nodo è uguale a zero. Rappresenta la legge di conservazione della carica elettrica.

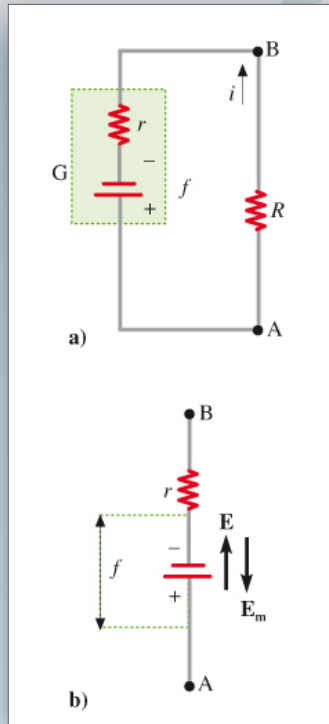
$$\sum_{k=1}^n I_k = 0$$



$$I_1 + I_2 + I_3 - I_4 - I_5 = 0$$

GENERATORI

La f.e.m. fornita da un generatore è uguale alla d.d.p. misurata ai suoi morsetti quando non eroga corrente (circuitto aperto).

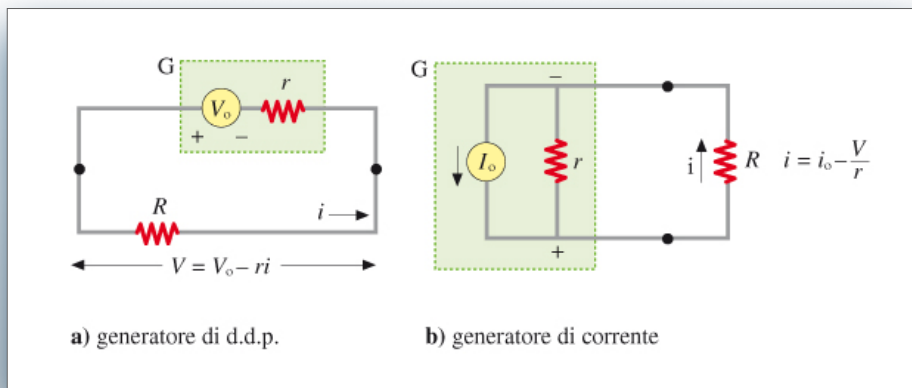


- (a) Schema di un generatore G . Esso fornisce una f.e.m. (f) e possiede una propria resistenza interna (r).
- (b) A circuito aperto si stabilisce uno stato di equilibrio fra il campo elettrico \vec{E} e il campo delle forze \vec{E}_m agenti nel generatore, che tendono a mantenere separate le cariche di segno opposto. Il lavoro, per unità di carica, delle forze nel generatore è uguale alla forza elettromotrice f .

$$\begin{cases} V_A - V_B = f - ri \\ V_A - V_B = Ri \end{cases} \implies f = (R - r) i$$

GENERATORI

I generatori possono essere considerati alternativamente **generatori di d.d.p.** o **generatori di corrente** a seconda dell'entità della resistenza R del circuito rispetto alla resistenza interna r del generatore. In generale, però, un generatore fornisce una d.d.p. che è funzione della corrente erogata e viceversa.



- (a) Generatore di d.d.p. V_0 ($R \gg r$).
- (b) Generatore di corrente elettrica I_0 ($R \ll r$).

Nel caso in cui $R \gg r$ il generatore fornisce ai suoi terminali una d.d.p. praticamente indipendente dalla corrente che esso eroga ($V_A - V_B = f - ri \simeq f$).

Quando invece $R \ll r$, il generatore eroga una corrente che risulta praticamente indipendente dalla d.d.p. fra i suoi terminali $i = I_0 - \frac{V}{r} \simeq I_0$.

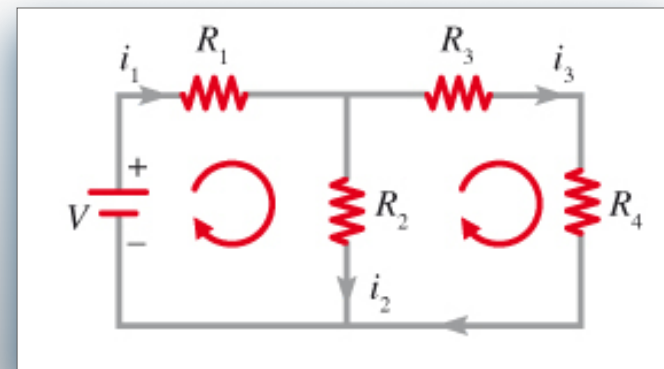
LEGGI DI KIRCHHOFF

2^a Legge di Kirchhoff (o legge delle maglie): in ciascuna maglia la somma algebrica delle cadute di potenziale nelle resistenze è uguale alla d.d.p. del generatore, se presente, oppure a zero se nella maglia non vi è generatore. Rappresenta la legge di conservazione dell'energia.

$$\sum_{k=1}^n V_k = 0$$

$$\begin{cases} i_1 R_1 + i_2 R_2 = V \\ i_3 R_3 + i_4 R_4 - i_2 R_2 = 0 \end{cases}$$

avendo fissato un verso convenzionale della corrente e ricordando che la d.d.p. dell'eventuale generatore è da intendersi positiva se la corrente ha verso dal polo negativo al polo positivo.



EFFETTO JOULE

Effetto Joule: Il passaggio di corrente elettrica attraverso un conduttore è accompagnato dallo sviluppo di calore.

Il lavoro fatto dal generatore per far percorrere ad una carica q il circuito esterno è $L = q \cdot V$ e la potenza dissipata è data da:

$$P = \frac{U}{t} = \frac{q \cdot V}{t} = V \cdot i \text{ essendo } i = \frac{q}{t}$$

Se la resistenza del circuito vale R , tenendo conto della prima legge di Ohm ($V = i \cdot R$):

$$P = V \cdot i = i^2 \cdot R = V^2 / R$$

La quantità di calore dissipata nel tempo t vale:

$$Q = P \cdot t$$

74. Per trasportare l'energia elettrica su lunghe distanze si utilizzano linee elettriche ad alta tensione che viene poi ridotta alla tensione di utilizzo nella rete urbana (220 V) da apposite centrali di trasformazione e distribuzione. Qual è il principale motivo di tale scelta?

- A) A parità di energia elettrica trasportata, si riduce la dissipazione termica
- B) A parità di energia elettrica trasportata, si aumenta la corrente circolante
- C) Si riducono le possibilità di allacciamenti illegali alla rete
- D) Si riducono i costi di generazione dell'energia elettrica
- E) Si riducono le dispersioni di elettricità nell'atmosfera

MC & OPD 2009/10 n. 74

$$\left. \begin{array}{l} P = V \cdot I \\ V = I \cdot R \end{array} \right\} \implies P = I^2 \cdot R$$

Poiché l'effetto Joule dipende dalla corrente, maggiore tensione permette di utilizzare correnti più basse e dunque dissipare meno potenza (e dunque energia) per effetto Joule.

53. Le potenze utilizzate dai seguenti elettrodomestici sono:

P(ferro da stiro) = 1 kW

P(televisore) = 150 W

P(lavatrice) = 2,5 kW

P(forno elettrico) = 1.500 W

Se vengono collegati alla rete domestica (220 V), quale degli elettrodomestici è attraversato da una corrente di intensità maggiore?

- A) La lavatrice
- B) Il ferro da stiro
- C) Il televisore
- D) Sono attraversati tutti dalla stessa corrente
- E) Il forno elettrico

MC & OPD 2016/17 n. 53

$$P = V \cdot I \Rightarrow I = P / V$$

$$V = \text{cost.} \Rightarrow (I \nearrow \Rightarrow P \nearrow)$$

cioè la maggiore potenza impiegata è dovuta alla maggiore corrente che percorre l'elettrodomestico

79. Una resistenza $R = 7 \text{ ohm}$ dissipa per effetto Joule una potenza $P = 28 \text{ W}$. Determinare la corrente che circola all'interno della resistenza.

- A) 2 A
- B) 0,5 A
- C) 2 V
- D) 0,25 A
- E) 4 A

PS 2010/11 n. 78

$$P = I^2 R \Rightarrow I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{28 \text{ W}}{7 \Omega}}$$

$$I = \sqrt{4 \frac{\text{W}}{\Omega}} = 2 \text{ A}$$

78. Se un circuito, formato da due resistenze R_1 e R_2 , viene collegato a un generatore di tensione continua a 10 V, dissipa 20 W. Qual è una possibile configurazione del circuito?

- A) $R_1 = 6 \Omega$, $R_2 = 30 \Omega$, in parallelo
- B) $R_1 = 3 \Omega$, $R_2 = 2 \Omega$, in parallelo
- C) $R_1 = 2 \Omega$, $R_2 = 2 \Omega$, in parallelo
- D) $R_1 = 10 \Omega$, $R_2 = 10 \Omega$, in serie
- E) R_1 molto grande, R_2 circa 5Ω , in serie

MC & OPD 2012/13 n. 78

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{6 \Omega} + \frac{1}{30 \Omega} = \frac{5 + 1}{30 \Omega} = \frac{1}{5 \Omega} \Rightarrow R_p = 5 \Omega$$

$$P = \frac{V^2}{R} \Rightarrow R = \frac{V^2}{P} = \frac{100 \text{ V}^2}{20 \text{ W}} = 5 \Omega$$

76. La differenza di potenziale elettrico ai capi di una lampadina è costante e pari a 100 V. Per un periodo di tempo pari a 1000 s la lampadina assorbe una potenza elettrica di 160 W. Sapendo che la carica dell'elettrone è $1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, quanti elettroni si può ritenere abbiano attraversato una sezione trasversale del filo che alimenta la lampadina nell'intervallo di tempo considerato?

- A) 10^{22}
- B) $6,02 \cdot 10^{23}$
- C) 10^{23}
- D) $1,60 \cdot 10^{22}$
- E) 10^{-16}

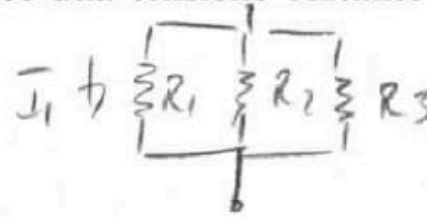
MC & OPD 2011/12 n. 76

$$\left. \begin{array}{l} I = \frac{P}{V} \\ I = \frac{Q}{t} = \frac{Ne}{t} \end{array} \right\} \Rightarrow N = \frac{It}{e} = \frac{Pt}{Ve}$$

$$N = \frac{160 \text{ W} \cdot 10^3 \text{ s}}{100 \text{ V} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 10^{22}$$

70. Tre lampade di 50 Watt, 50 Watt e 100 Watt, rispettivamente, sono connesse in parallelo ed alimentate in corrente continua da una batteria che fornisce una tensione costante di 25 Volt. Quanto vale la corrente erogata dalla batteria?

- A) 8 ampere
- B) 8 coulomb
- C) 4 ampere
- D) Dipende dalle dimensioni della batteria
- E) 5 coulomb al secondo



$$\begin{aligned} I_{tot} &= \sum_i I_i = \sum_i \frac{P_i}{V} \\ &= \frac{1}{V} \sum_i P_i \\ &= \frac{1}{25 V} \cdot 200 W = 8 A \end{aligned}$$

MC & OPD 2008/09 n. 70

MAGNETISMO



MAGNETISMO



Alcuni materiali (**calamite** o **magneti**) hanno la proprietà di attirare pezzetti di ferro (o cobalto, nickel e gadolinio).

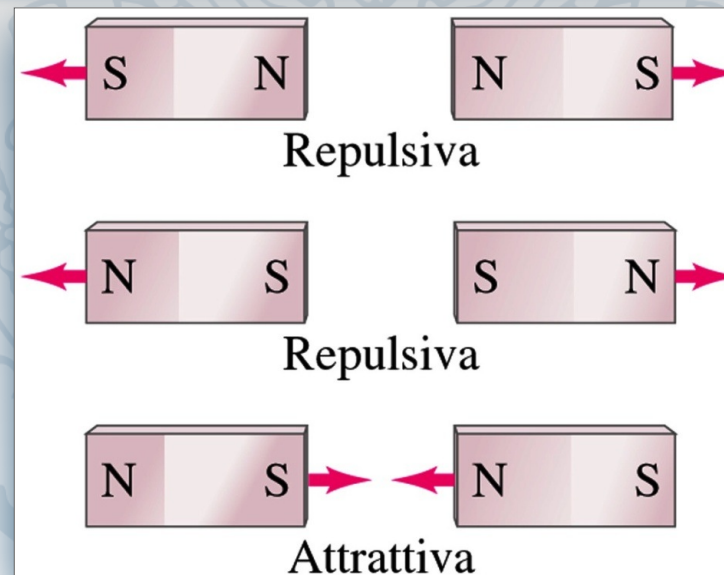
Le proprietà magnetiche si manifestano alle estremità del magnete, chiamate **poli**.



MAGNETISMO

Le caratteristiche magnetiche presentano molte affinità con quelle elettriche.

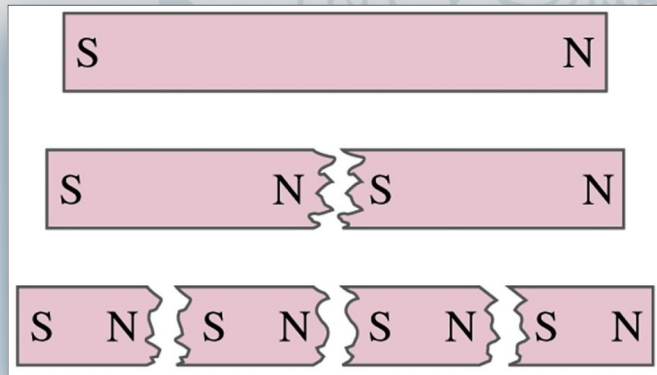
**Poli uguali di un magnete si respingono;
poli opposti si attraggono.**



MAGNETISMO

Esistono anche sostanziali differenze fra proprietà elettriche e proprietà magnetiche.

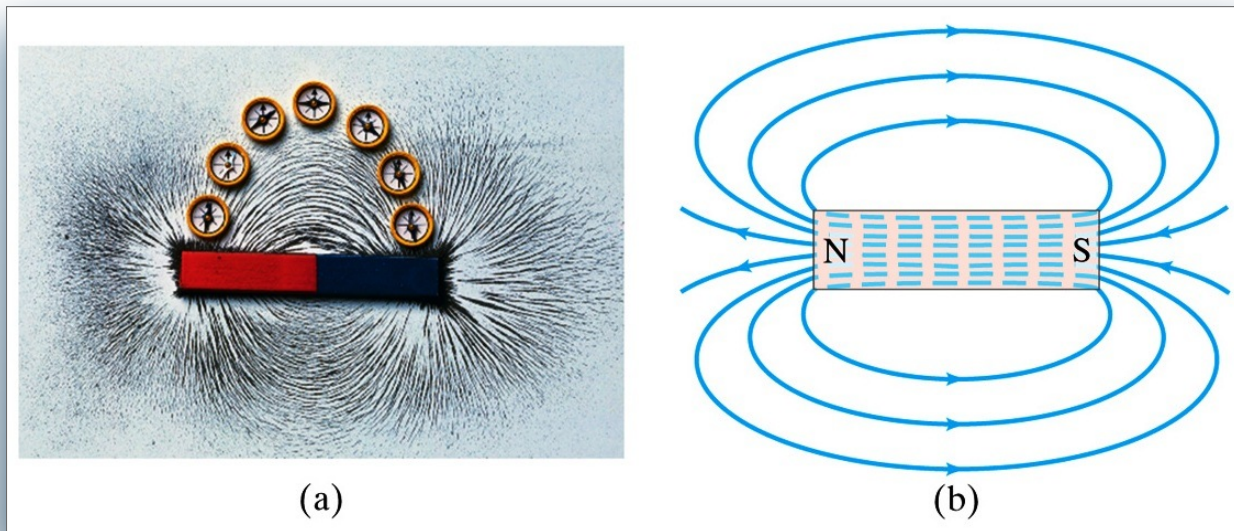
Non è possibile isolare i poli magnetici.



Spezzando un magnete a metà non si ottengono poli nord e sud isolati; al contrario, si producono due nuovi magneti, ognuno con un polo nord e un polo sud.

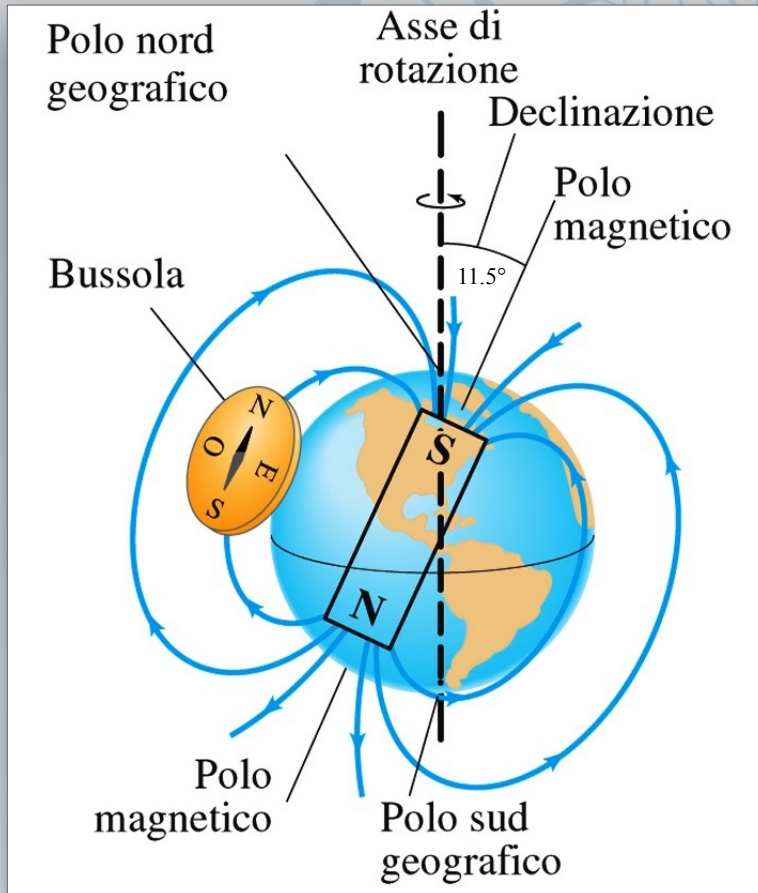
CAMPO MAGNETICO

Un magnete crea nello spazio circostante un campo magnetico, così come una carica elettrica crea un campo elettrico.



- (a) Visualizzazione delle linee di campo magnetico di una calamita mediante limatura di ferro e aghi magnetici.
- (b) Linee di campo magnetico all'esterno di una calamita.

CAMPO MAGNETICO



La Terra agisce come un enorme magnete.
Il polo nord geografico è prossimo al polo sud magnetico e viceversa.

CAMPO MAGNETICO

Un campo magnetico può essere rappresentato come un vettore e può essere espresso in due modi: come **induzione magnetica** \vec{B} o come **intensità di campo magnetico** \vec{H} .

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} T \cdot m \cdot A^{-1}$ permeabilità magnetica del vuoto

CAMPO MAGNETICO

Il campo magnetico può essere misurato dall'azione che esso esercita su una carica q in moto con velocità \vec{v} . La **forza magnetica** (detta **forza di Lorentz**) vale:

$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$$

$$|\vec{F}_B| = qvB \sin \alpha$$

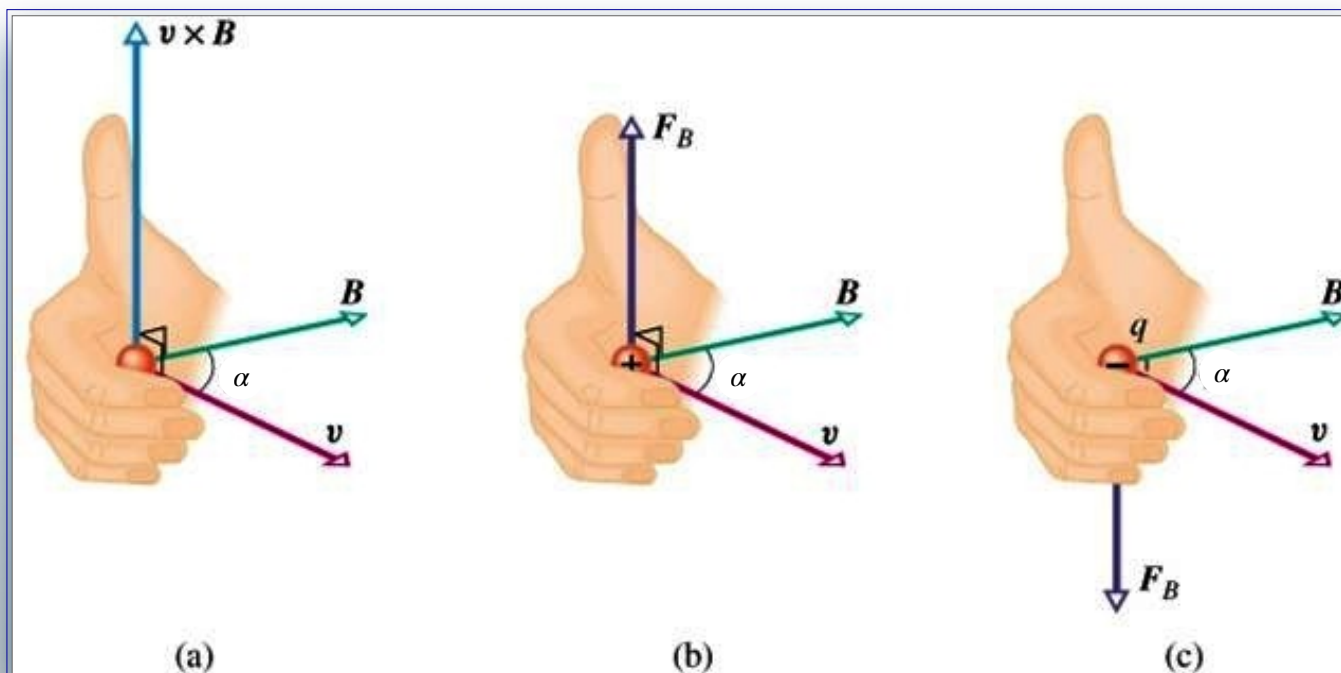
dove

\vec{B} : vettore induzione magnetica

α : angolo che il vettore velocità forma con il vettore induzione magnetica.

CAMPO MAGNETICO

La forza \vec{F}_B è sempre perpendicolare sia a \vec{v} sia a \vec{B} .



(a) Direzione del vettore $\vec{v} \times \vec{B}$; (b) forza magnetica per una carica positiva; (c) forza magnetica per una carica negativa.

CAMPO MAGNETICO

L'unità di misura di H nel S.I. è $A \cdot m^{-1}$; l'unità di misura di B nel S.I. è il *tesla* (T).

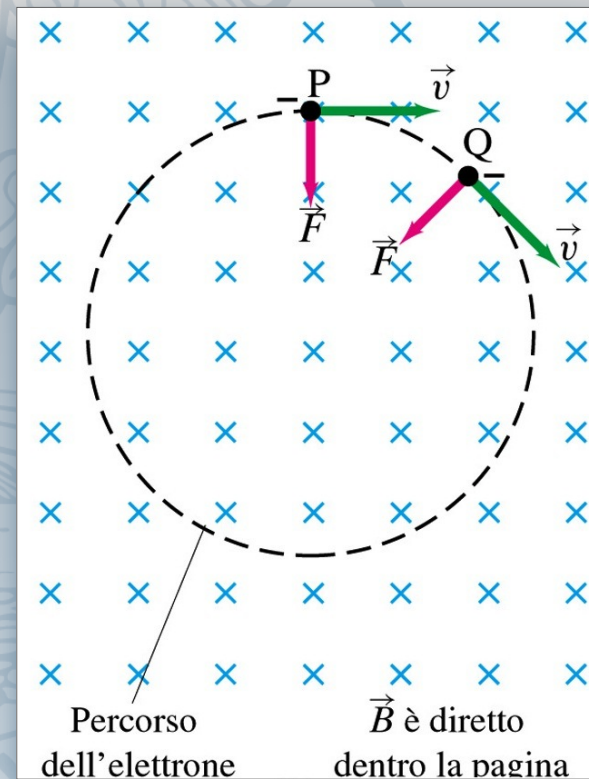
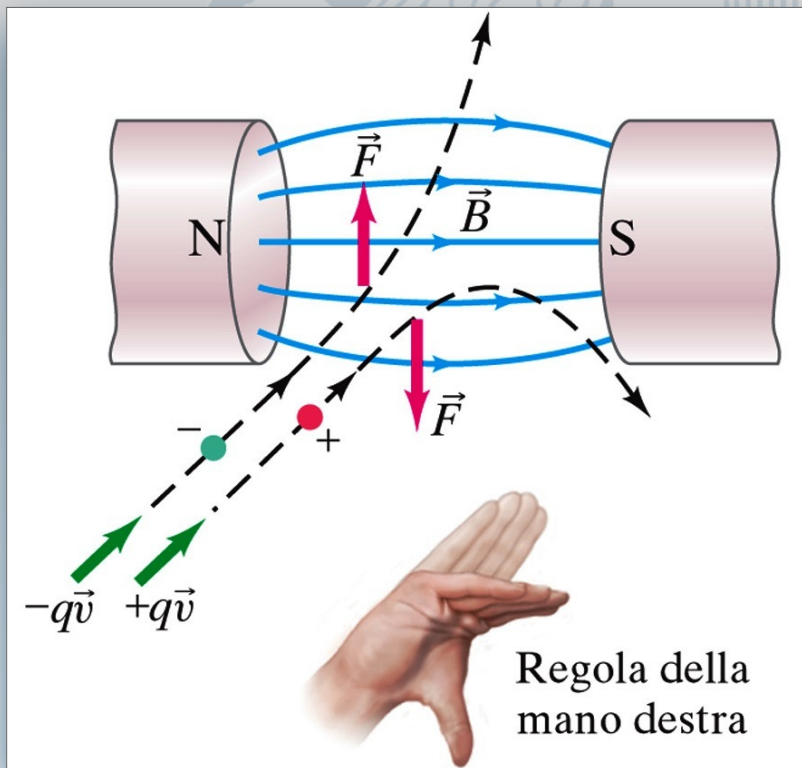
Il campo magnetico di $1 T$ esercita sulla carica elettrica di $1 C$, che si muove con velocità di $1 m/s$ in direzione perpendicolare al campo magnetico, la forza di $1 N$.

Sulla superficie di una stella di neutroni	$10^8 T$
In prossimità di un grande elettromagnete (RM)	$1.5 T$
Vicino a una barretta magnetica	$10^{-2} T$
Sulla superficie della Terra	$10^{-5} T$
Nello spazio interstellare	$10^{-10} T$
Il più piccolo valore in una camera schermata	$10^{-14} T$

RM: Risonanza Magnetica

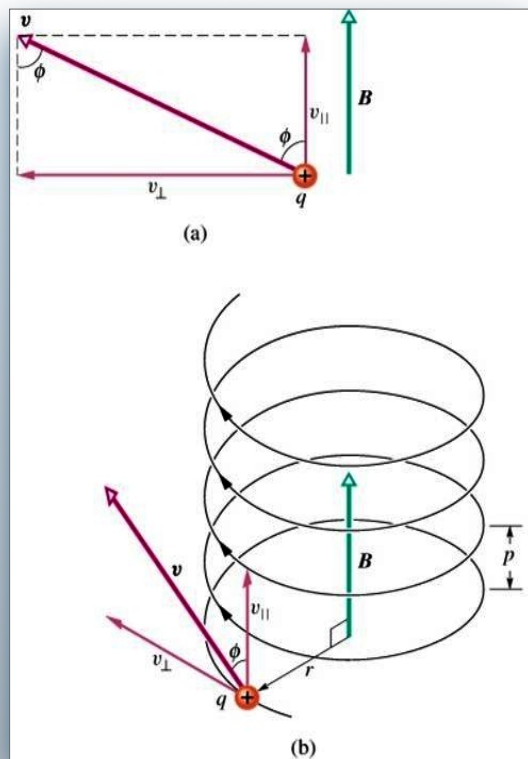
CAMPO MAGNETICO

Moto di una carica elettrica in un campo magnetico



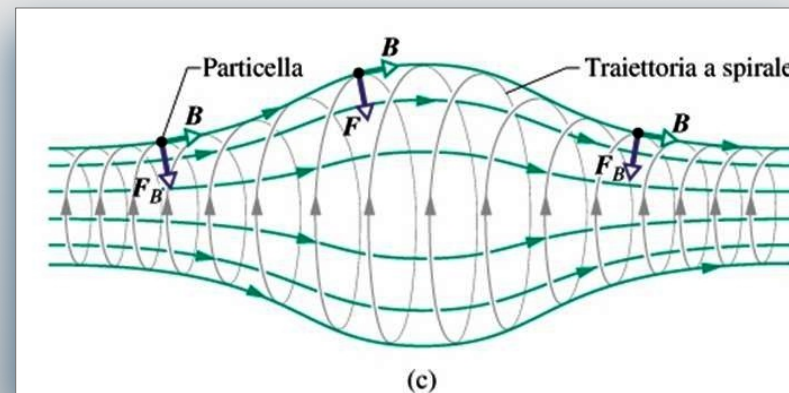
CAMPO MAGNETICO

Moto di una carica elettrica in un campo magnetico

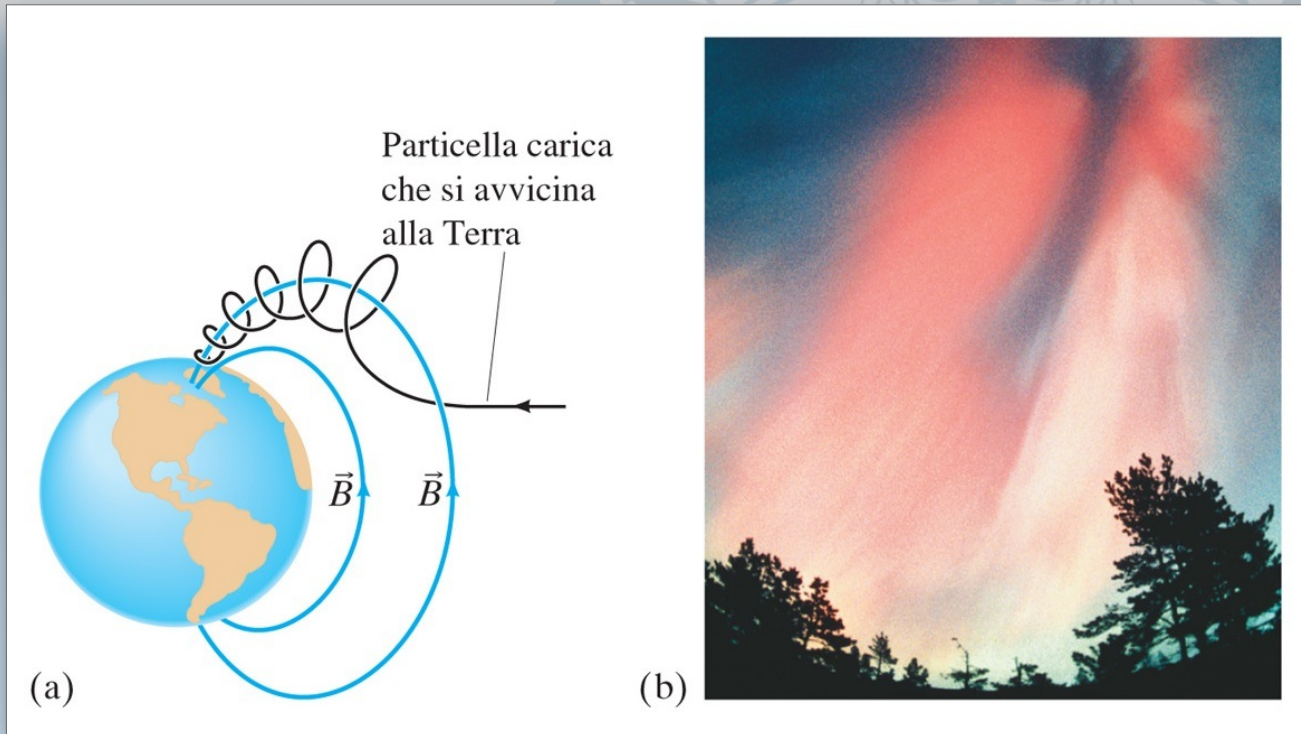


(a) Una particella carica in moto in un campo magnetico uniforme \vec{B} con velocità \vec{v} ad un angolo ϕ rispetto al campo \Rightarrow (b) la particella segue un percorso ad elica.

(c) Una particella carica in moto a spirale in un campo non uniforme.



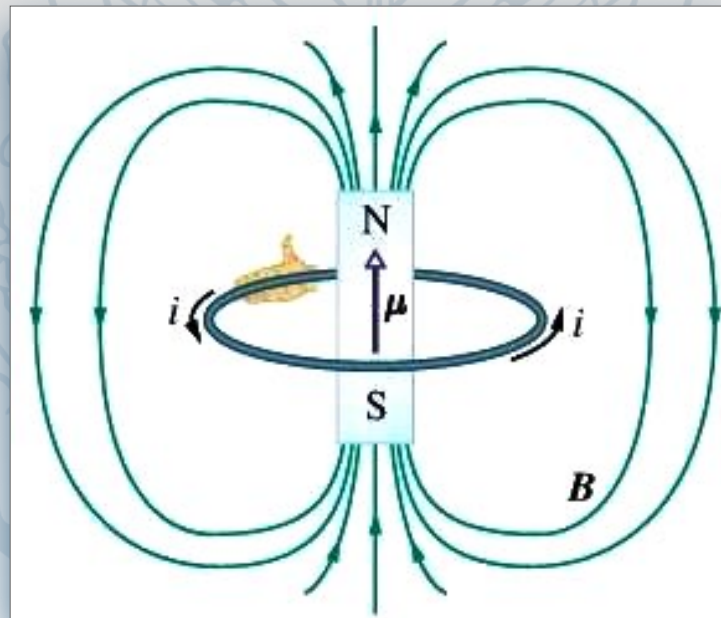
CAMPO MAGNETICO



Ioni emessi dal sole (vento solare) penetrano nell'atmosfera e sono intrappolati dal campo magnetico terrestre, che li spinge lungo le linee di campo verso i poli. L'interazione degli ioni con l'atmosfera produce un suggestivo fenomeno luminoso, detto aurora boreale.

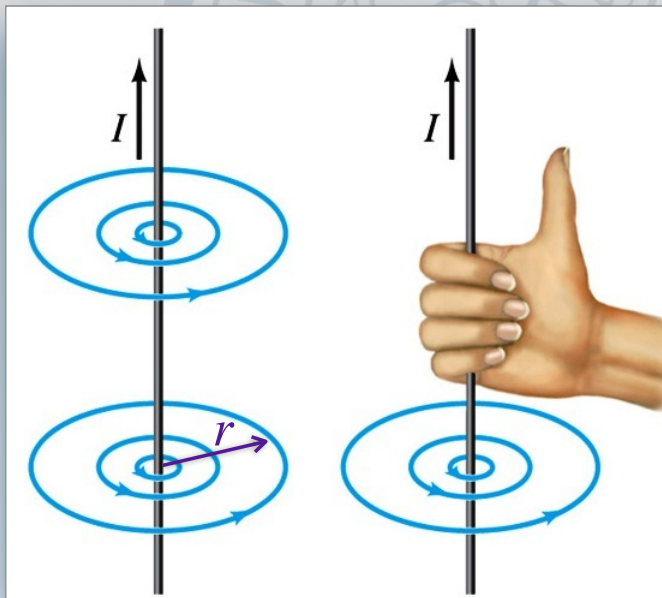
CAMPO MAGNETICO

I campi magnetici sono generati dalle correnti elettriche. Infatti una spira circolare percorsa da corrente crea nello spazio circostante un campo magnetico con le stesse proprietà di quello creato da un magnete.



CAMPO MAGNETICO

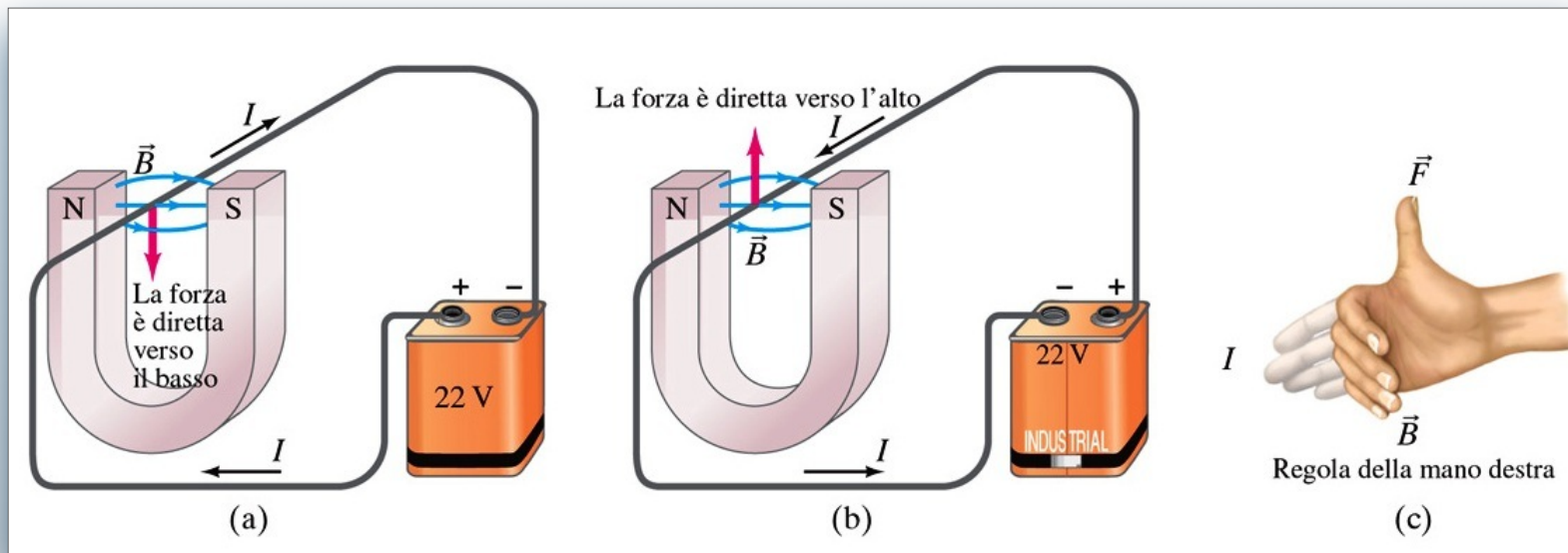
Le linee di forza del campo magnetico generato da un lungo filo rettilineo percorso da corrente sono circonferenze concentriche. Il loro verso è dato dalla regola della mano destra.



LEGGES DI BIOT-SAVART

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

CAMPO MAGNETICO



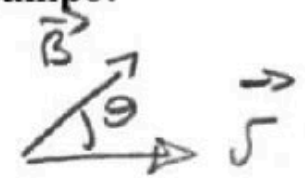
- (a) Forza agente su un filo percorso da corrente posto in un campo magnetico.
- (b) La stessa situazione di (a), ma con la corrente in verso opposto.
- (c) Regola della mano destra per la situazione in (b).

59. Un cavo percorso da corrente in un campo magnetico può subire una forza dovuta al campo. Perché tale forza non sia nulla quale condizione ulteriore deve essere soddisfatta?

- A) L'angolo tra il cavo e il campo magnetico non deve essere zero
- B) L'angolo tra il cavo e il campo magnetico deve essere di 90 gradi
- C) Il campo magnetico non deve cambiare
- D) Il cavo deve essere dritto
- E) La corrente deve alternarsi

$$F_B = qvB \sin \theta$$

$$\theta = 0 \Rightarrow F_B = 0$$



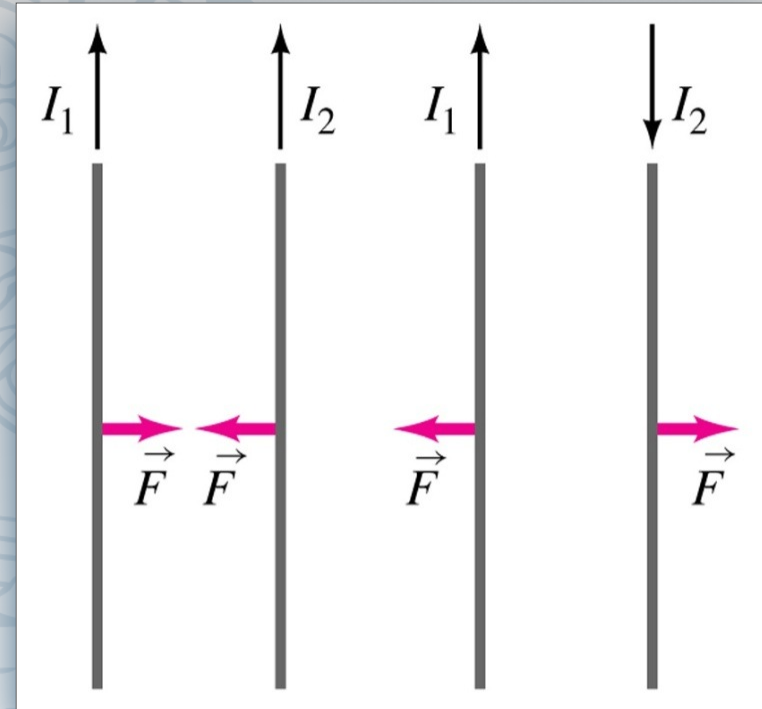
MC & OPD 2013/14 n. 59

CAMPO MAGNETICO

Si abbiano due fili conduttori rettilinei e paralleli, di lunghezza infinita e di sezione trascurabile, posti nel vuoto a distanza d e percorsi dalle correnti I_1 e I_2 . Ciascuno di essi esercita su un tratto di lunghezza $\Delta\ell$ dell'altro una forza F pari a

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{d} \Delta\ell$$

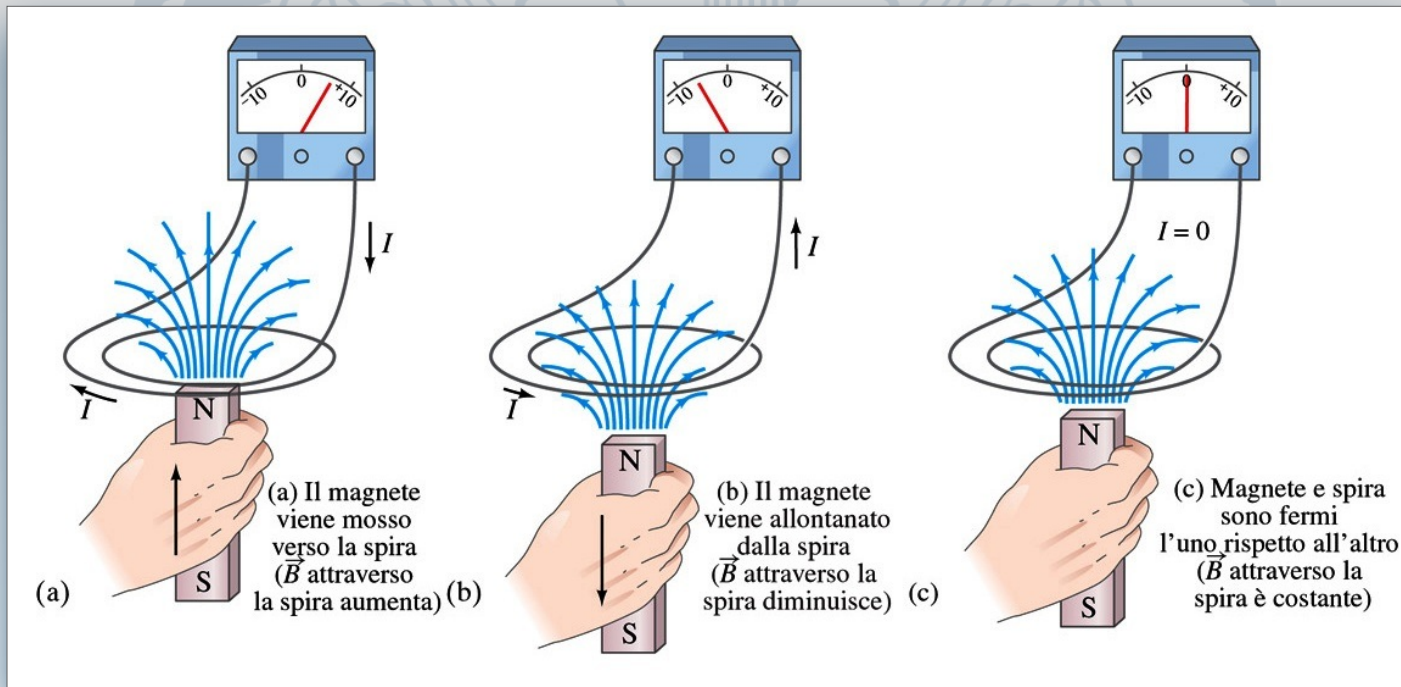
Quando le due correnti sono ciascuna uguale ad 1 A e sono poste a distanza di 1 m , la forza di attrazione su 1 m di lunghezza è pari a $2 \cdot 10^{-7}\text{ N}$.



Correnti di verso concorde si attraggono, correnti di verso opposto si respingono.

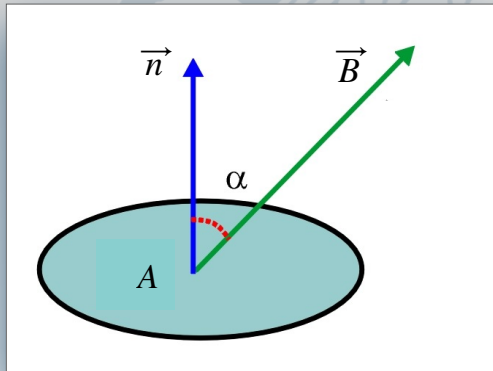
INDUZIONE ELETTROMAGNETICA

Un campo magnetico costante non produce corrente.
Un campo magnetico variabile, inducendo una d.d.p.,
può dare origine ad una corrente elettrica.



INDUZIONE ELETTROMAGNETICA

Flusso magnetico concatenato con un circuito: $\Phi = BA \cos \alpha$



L'unità di misura del
flusso magnetico nel S.I. è
il *weber* (*Wb*):

$$1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \cdot 1 \text{ m}^2$$

Legge di Faraday

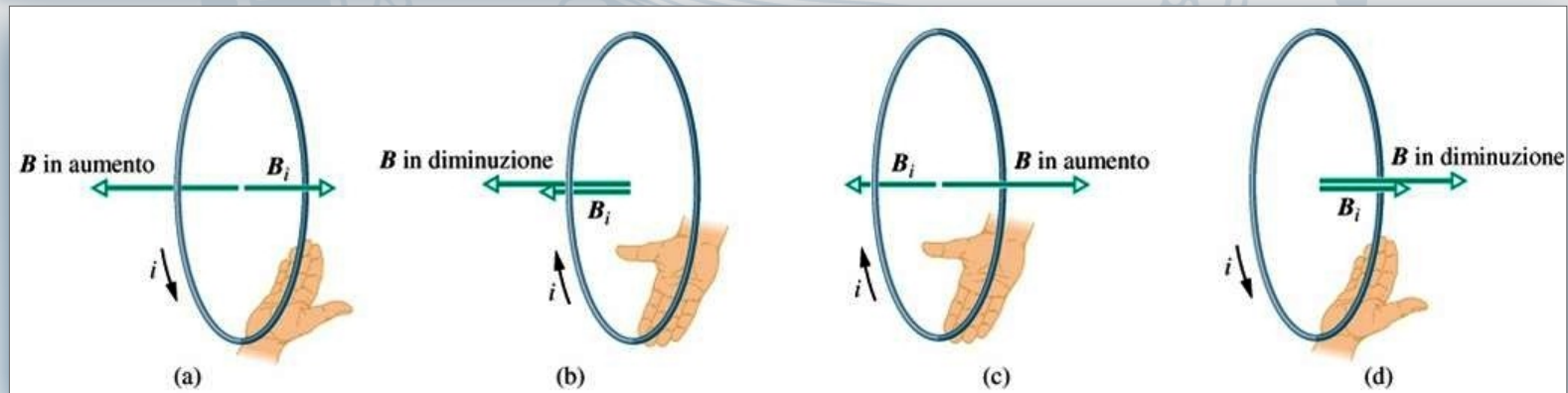
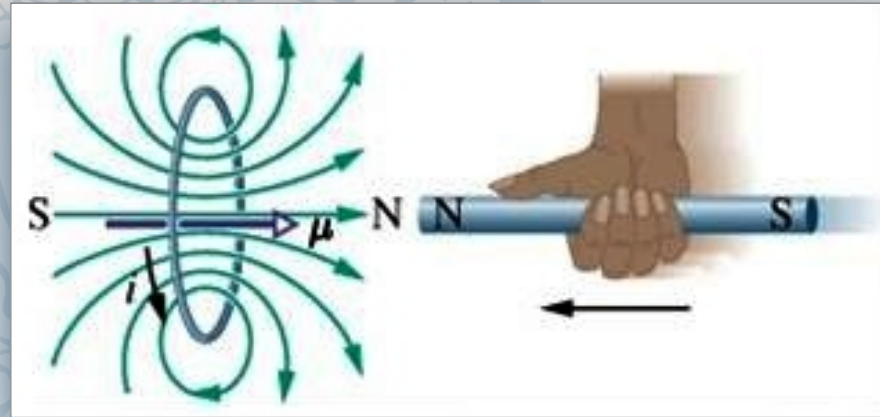
La variazione di flusso magnetico concatenato con il
circuito produce una d.d.p. indotta data da:

$$V = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

INDUZIONE ELETTROMAGNETICA

Legge di Lenz

Il campo magnetico indotto è sempre tale da opporsi alla variazione che lo ha generato.



79. Una spira di rame è posata sul pavimento. Uno sperimentatore tiene in mano una calamita a forma di barra e ne avvicina il polo nord alla spira con movimento verticale. Si può prevedere che durante il movimento della calamita:

- A) nella spira circolerà corrente
- B) il campo magnetico indotto nella spira sarà tale da attrarre la calamita
- C) si creerà una corrente indotta se e solo se lo sperimentatore avrà cura di seguire le linee del campo magnetico terrestre
- D) gli effetti elettromagnetici saranno trascurabili perché il rame non è un materiale ferromagnetico
- E) la spira verrà attirata dalla calamita

MC & OPD 2012/13 n. 79