

I FENOMENI ELETTRICI

Carica elettrica
Forza di Coulomb
Campo elettrico
Potenziale elettrico
Intensità di corrente
Leggi di Ohm
Resistenza e resistività
Effetto termico della corrente
Elettrolisi



Carica elettrica

Proprietà elettriche della materia:
note fin dall'antichità (es. attrazione per strofinio)
ma normalmente "nascoste" nella struttura atomica.

Costituzione dell'atomo:
nucleo con **protoni (carica +e)** e **neutroni (carica 0)**
elettroni (carica -e) orbitanti attorno al nucleo



Carica elettrica = proprietà intrinseca della materia
grandezza fisica **fondamentale** ($\leftarrow$ v.corrente elettrica)
unità di misura: **coulomb (C)**

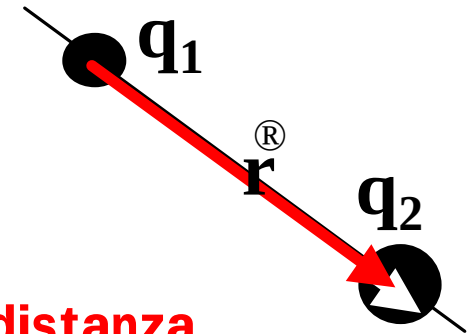
Proprietà fondamentali:

- 3 stati di carica: **positiva, negativa, neutra**
- sempre **multipla di $\pm e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$** $\rightarrow$ **carica elementare**
- **si conserva** (non si crea e non si distrugge, ma si separa/unisce)

Forza di Coulomb

Tra due corpi di carica q_1 e q_2 , posti a distanza r ,
si esercita **sempre**
una **forza di attrazione o di repulsione**

- diretta lungo la congiungente tra i due corpi
- proporzionale alle due cariche
- inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza



LEGGE DI COULOMB

$$\vec{F} = \pm K \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

$K = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$
costante di Coulomb nel vuoto

attrazione tra cariche opposte
repulsione tra cariche uguali

ANALOGIA CON LA
FORZA GRAVITAZIONALE

Forza coulombiana e forza gravitazionale

Analogie tra forza coulombiana e forza gravitazionale:

- dirette lungo la congiungente tra i due corpi
- proporzionali alle due cariche / alle due masse
- inversamente proporzionali al quadrato della loro distanza

Differenze tra forza coulombiana e forza gravitazionale:

COULOMBIANA

attrattiva o repulsiva

$K = 9 \cdot 10^9$ molto grande

GRAVITAZIONALE

sempre attrattiva

$G = 6.67 \cdot 10^{-11}$ molto piccola

Tra protone e elettrone nell'atomo ($r = 10^{-10}$ m):

$$F_G = - G m_p m_e / r^2 = - (6.67 \cdot 10^{-11}) \cdot (1.67 \cdot 10^{-27}) \cdot (9.1 \cdot 10^{-31}) / (10^{-10})^2$$
$$= - 101 \cdot 10^{-11+(-27)+(-31)-(-20)} = - 101 \cdot 10^{-49} = - 1.01 \cdot 10^{-47} \text{ N}$$

$$F_C = K q_p q_e / r^2 = (9 \cdot 10^9) \cdot (+1.6 \cdot 10^{-19}) \cdot (-1.6 \cdot 10^{-19}) / (10^{-10})^2$$
$$= - 23 \cdot 10^{9+(-19)+(-19)-(-20)} = - 23 \cdot 10^{-9} = - 2.3 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$

La forza coulombiana è 10^{39} volte più grande di quella gravitazionale!

Es.

Forza di Coulomb nella materia

Normalmente, la forza di Coulomb si scrive nella forma

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \rightarrow \text{costante di Coulomb nel vuoto}$$

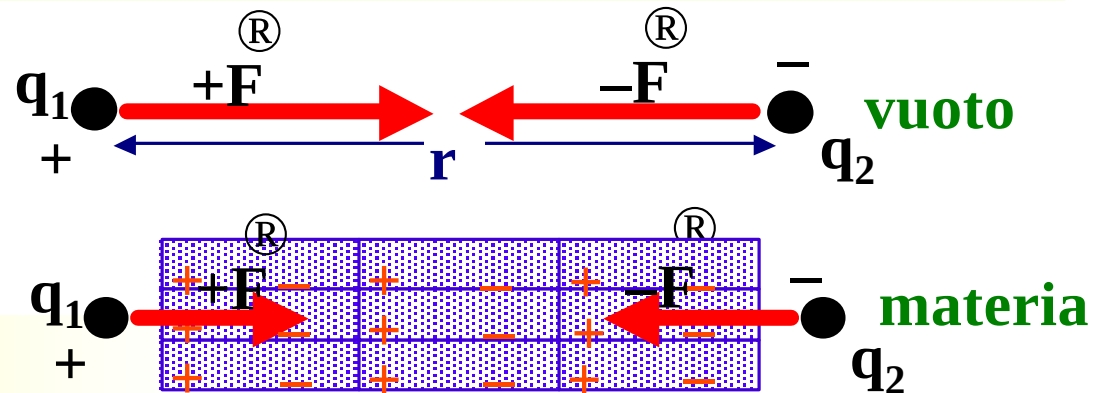
$\rightarrow \epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$

In generale:

$$K = 1/(4\pi\epsilon_0\epsilon_r)$$

ϵ_r = costante dielettrica
relativa al mezzo

$\epsilon_r = 1$ nel vuoto e nell'aria
> 1 nei materiali (>80 nell'acqua)



Nell'acqua la forza è
80 volte più debole!

Campo elettrico

Tra due cariche q e Q poste a distanza r si esercita la forza


$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \frac{q Q}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

Una carica Q crea attorno a se' un campo elettrico

La regione di spazio attorno a una carica elettrica Q è sede di un **campo di forza elettrico**: ogni altra carica q ("carica di prova") che si trova in quella regione risente di una forza di attrazione/repulsione dovuta alla presenza della carica "sorgente" Q .

Carica di prova unitaria positiva
 $q = + 1 \text{ C}$

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



N/C

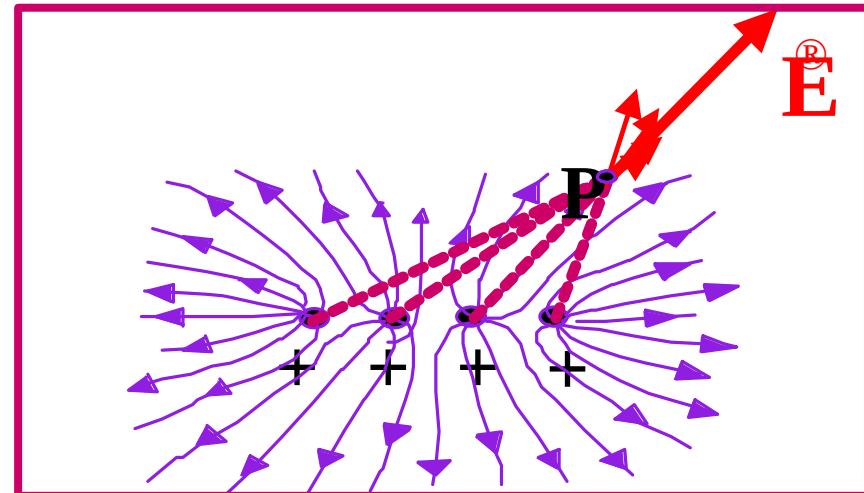
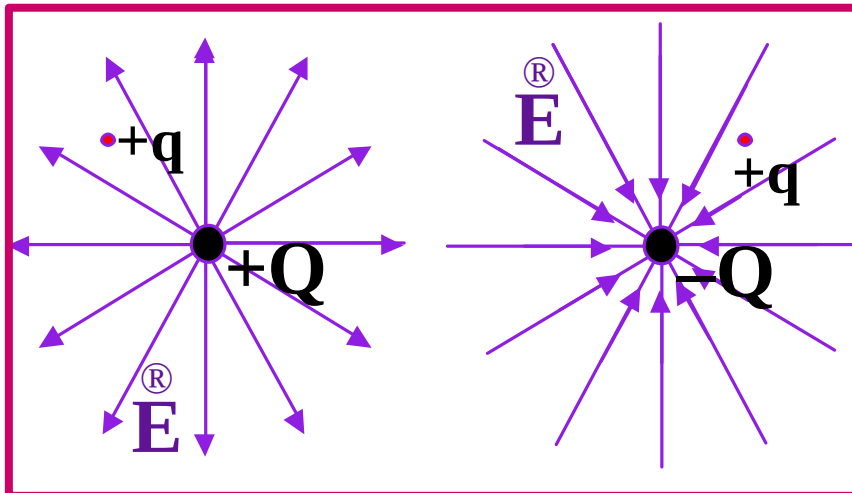
Campo elettrico: esempi

Carica puntiforme Q :

$Q > 0 \rightarrow$ linee di forza uscenti
(F repulsiva su q)

$Q < 0 \rightarrow$ linee di forza entranti
(F attrattiva su q)

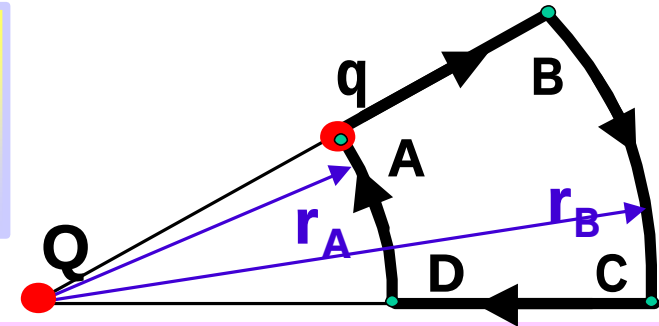
Distribuzione di cariche:
risultante vettoriale del
contributo di ciascuna carica
separatamente dalle altre



Energia potenziale elettrostatica

La forza coulombiana e' conservativa:
il lavoro compiuto per spostare una carica q in un campo elettrico lungo una traiettoria chiusa e' nullo.

Il lavoro $L_{AB} = -L_{BA}$ per portare q da A a B dipende solo dalla posizione relativa di A e B e non dal cammino seguito.



Energia potenziale gravitazionale:
lavoro per sollevare m da A a B ("contro" la f.peso) $\rightarrow L_{AB} = U_A - U_B$
Se $U_A = 0$ ("terra") $\rightarrow U_B =$ energia potenziale nel punto B

Energia potenziale elettrostatica:
lavoro per spostare q da A a B ("contro" la f.coulombiana) $\rightarrow U_A - U_B$
Se $U_A = 0$ ("terra") $\rightarrow U_B =$ energia potenziale nel punto B

Potenziale elettrico

Il lavoro compiuto “contro” la forza coulombiana si ritrova sotto forma di **energia potenziale** “immagazzinata” dalla carica.

In ogni punto del campo elettrico si può definire un'energia potenziale rispetto a un punto di riferimento **arbitrario** a energia potenziale **nulla**.

Potenziale elettrico in un punto = energia potenziale di una carica unitaria positiva ($q=+1$ C) in quel punto

potenziale elettrico = $\frac{\text{lavoro per portare la carica } q \text{ da "terra" a P}}{\text{carica trasportata } q}$
(nel punto P)

$$V = L/q$$

V

Volt =
Joule/Coulomb

$$V = J/C = (N \cdot m)/C$$
$$E = N/C = V/m$$

Differenza di potenziale

Poiché, come per il campo gravitazionale, il punto di riferimento del valore del potenziale ($V=0$) è arbitrario, non conta il valore assoluto del potenziale in ogni punto ma la **differenza** tra due valori di potenziale, che non cambia anche se cambia il valore di riferimento arbitrario.

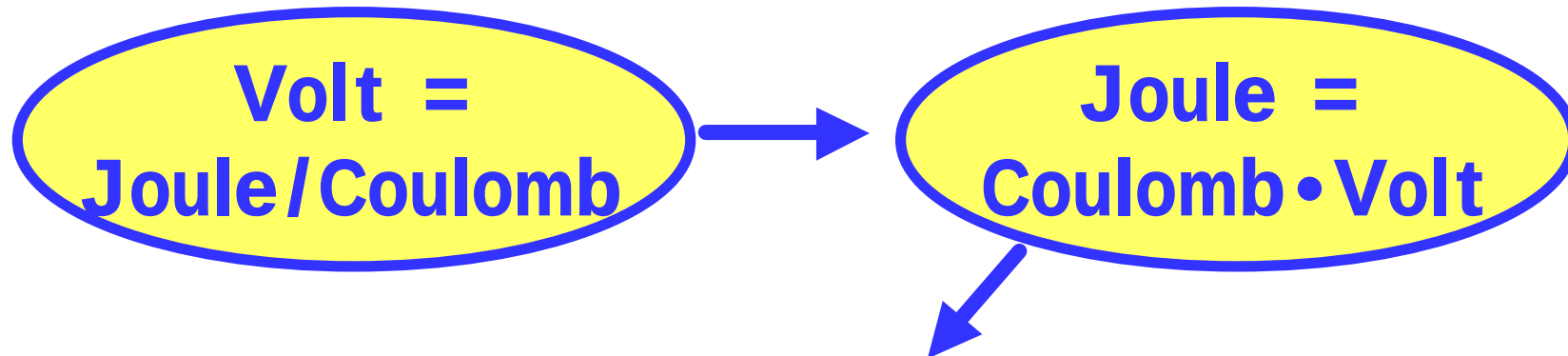
$DV = V_B - V_A$ = lavoro (energia) necessario per spostare la carica di 1 coulomb da A a B

diff.di potenziale (d.d.p.) o tensione elettrica
fornita ad es. da:

rete elettrica $\rightarrow DV = 220 \text{ V}$ (alternata a 50 Hz)

pila $\rightarrow DV = 1.5 \text{ V}$ (stilo)

ElettronVolt



Lavoro = Energia = Carica elettrica • Potenziale elettrico

**Unità di misura pratica di energia su scala atomica:
energia di 1 elettrone in una d.d.p. di 1 V**

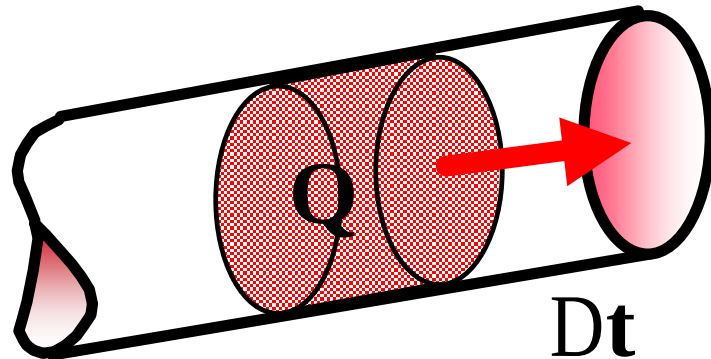
$$\text{elettronVolt (eV)} = \underbrace{(1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C})}_{e} \cdot (1 \text{ V}) = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$e \rightarrow$ carica elettrone

$$1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J} \rightarrow 1 \text{ J} = 1 / (1.6 \cdot 10^{-19}) \text{ eV} = 6.25 \cdot 10^{18} \text{ eV}$$

Corrente elettrica

intensità di corrente = $\frac{\text{quantità di carica}}{\text{intervallo di tempo}}$



$$i = DQ/Dt$$

$$A = C/s$$

ampère

Analogia tra il moto di:
cariche elettriche → int.corrente
fluidi → portata

L'**ampère** (=coulomb/sec) è la 5^a **grandezza fondamentale** MKS.
Il coulomb (=ampère•sec) diventa una grandezza derivata.

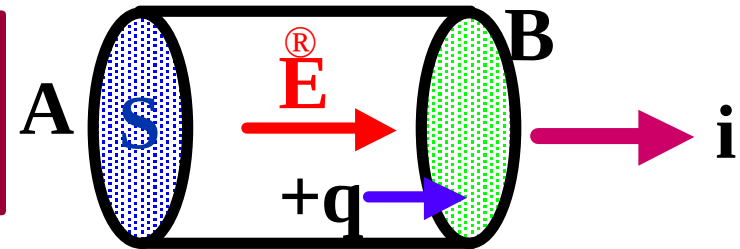
Quanti elettroni scorrono in 1 A di corrente?

$$1 A = 1 C/s = (Ne) C/s = N \cdot (1.6 \cdot 10^{-19}) C/s \rightarrow N = 1/(1.6 \cdot 10^{-19}) = 6.25 \cdot 10^{18} \text{ elettroni.}$$

Es.

Moto delle cariche elettriche

Normalmente la materia è elettricamente neutra: le cariche + (protoni) e - (elettroni) stanno legate dall'attrazione negli atomi.



Se c'è campo elettrico, si induce una separazione tra cariche + e - .
Se gli elettroni sono liberi di muoversi nella struttura atomica/molecolare (es. metalli), si crea una corrente elettrica.

**Condizione necessaria al moto di cariche:
differenza di potenziale**

**Analogia fluidi:
diff. pressione**

Direzione della corrente elettrica: moto cariche positive
(come campo elettrico: da potenziale maggiore a potenziale minore)
Moto reale della corrente: cariche negative (elettroni) in verso opposto

$i(t)$ costante (moto stazionario)
 $i(t)$ variabile (periodica)

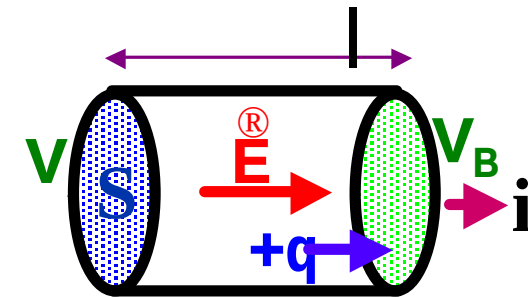
→ corrente continua
→ corrente alternata

Leggi di Ohm

In un circuito elettrico a cui e' applicata una d.d.p.:

1^a legge di Ohm: $\Delta V = V_A - V_B = Ri$

2^a legge di Ohm: $R = r l / S$



La **corrente elettrica** in un circuito è direttamente proporzionale alla **d.d.p.** applicata ai capi del circuito.

La “**resistenza**” a tale moto dipende dal tipo di sostanza, dalla geometria del circuito (lunghezza e sezione), dalla temperatura.

Analogia con i fluidi (→ legge di Poiseuille):

UGUALE!

La **portata** in un condotto è direttamente proporzionale alla differenza di **pressione** applicata ai capi del condotto.

La “**resistenza**” a tale moto dipende dal tipo di sostanza (**viscosità**), dalla geometria del circuito (lunghezza e sezione), dalla temperatura.

Resistenza e resistività'

resistenza elettrica = $\frac{\text{differenza di potenziale}}{\text{intensita' di corrente}}$



$$R = DV/i$$

$$W = V/A$$

ohm

Dipende da:

- geometria del circuito
- tipo di sostanza
- temperatura

$$R = r l / S$$

$$r = RS / l$$

r = resistività' elettrica

dipende dalla temperatura

$$W \cdot m^2 / m = W \cdot m$$

unita' pratica: $W \cdot cm$

Conduttori e isolanti

A parita' di d.d.p.,
passa una corrente maggiore
quando la resistenza e' minore.

$$DV = Ri$$
$$R = r l / S$$

A parita' di circuito, la resistenza e'
direttamente proporzionale alla resistivita'.

Conduttori: bassa r

metalli:

argento, rame, ... $\rightarrow r \sim 10^{-6} \text{ W} \cdot \text{cm}$

conduttori elettrolitici:

liq.interstiziale $\rightarrow r \sim 10^2 \text{ W} \cdot \text{cm}$

Isolanti: alta r

acqua distillata $\rightarrow r \sim 10^5 \text{ W} \cdot \text{cm}$

membrana assone $\rightarrow r \sim 10^9 \text{ W} \cdot \text{cm}$

vetro $\rightarrow r \sim 10^{13} \text{ W} \cdot \text{cm}$

Semiconduttori

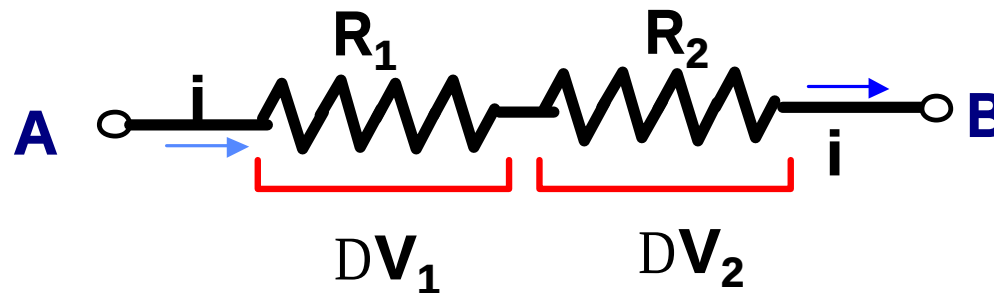
silicio $\rightarrow r \sim 100 \text{ W} \cdot \text{cm}$

germanio $\rightarrow r \sim 1 \text{ W} \cdot \text{cm}$

Collegamenti di resistenze

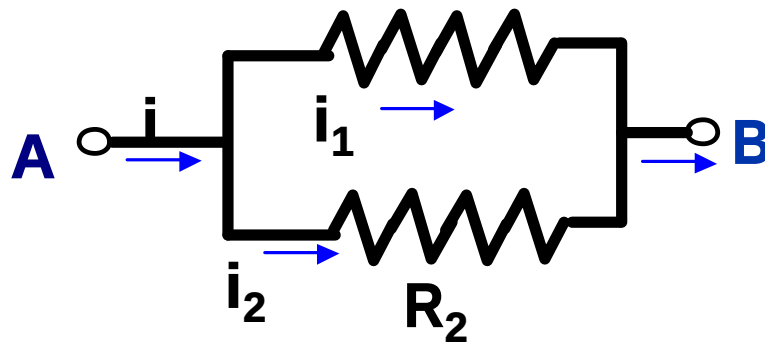
Nei circuiti elettrici:

resistenze in serie



$$R = R_1 + R_2$$

resistenze in parallelo



$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Effetto termico della corrente

Effetto Joule:

gli elettroni in moto (corrente) cedono energia cinetica agli ioni del reticolo molecolare del conduttore.

La perdita di **energia cinetica** ($DT=L$) diventa **calore**.

Potenza dissipata:

$$W = L/Dt = (qDV)/Dt = DV \cdot q/Dt = DV \cdot i$$

Watt=
Volt • Ampere

... o, sostituendo dalla 1^a legge di Ohm: $W = DV^2/R = i^2 R$

$$\begin{aligned} \text{Calore prodotto: } Q &= L = W \cdot Dt \text{ (joule)} \\ &= W \cdot Dt / 4.18 \text{ (cal)} \end{aligned}$$

Dissociazione elettrolitica

Le molecole con legame ionico nei materiali possono dissociarsi perché l'attrazione coulombiana tra gli ioni carichi è minore.

Es. $\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+\text{Cl}^-$ in acqua

- | | | |
|----------------------|---|---|
| 1) Legame più debole | → | $F_{C \text{ acqua}} \gg F_{C \text{ aria}}/81$ ($\epsilon_r \text{ H}_2\text{O}=81$) |
| 2) Dissociazione el. | → | urti agitaz.termica → rottura legami |
| 3) No ricombinazione | → | asimmetria molecola H_2O |

Conduttori elettrolitici

forte legame ionico (acidi, basi, sali in acqua)

Isolanti elettrolitici

forte legame covalente (sostanze organiche)

NaCl in acqua:

parziale dissociazione (84 %)

es. 100 molecole $\text{NaCl} \rightarrow$

84 Na^+ , 84 Cl^- , 16 $\text{NaCl} \rightarrow$

tot. 184 particelle

Es.

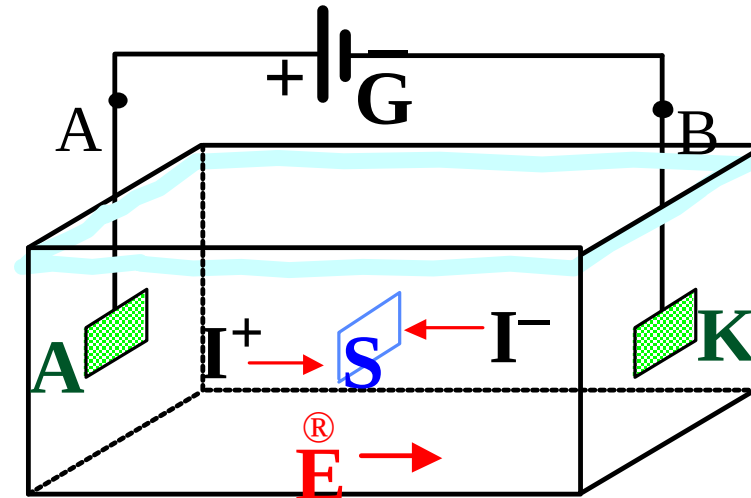
Elettrolisi

Cella elettrolitica:

soluzione acida in acqua
elettrodi A (anodo) e K (catodo)
connessi con una d.d.p. (generatore G)



d.d.p. $\rightarrow$ corrente elettrica
(estensione leggi di Ohm)



Tutti gli ioni carichi si muovono verso gli elettrodi:
gli ioni negativi verso l'elettrodo positivo (anodo)
gli ioni positivi verso l'elettrodo negativo (catodo)

Cambia la natura chimica delle sostanze:
ad es. si deposita massa agli elettrodi o evaporano gas