

# 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)**

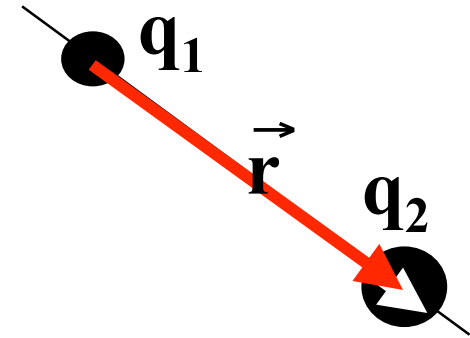
## Proprietà fondamentali:

- 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

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

attrazione tra cariche opposte  
repulsione tra cariche uguali

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

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

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):

Es.

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

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

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

# Forza di Coulomb nella materia

Normalmente, la forza di Coulomb si scrive nella forma

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

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

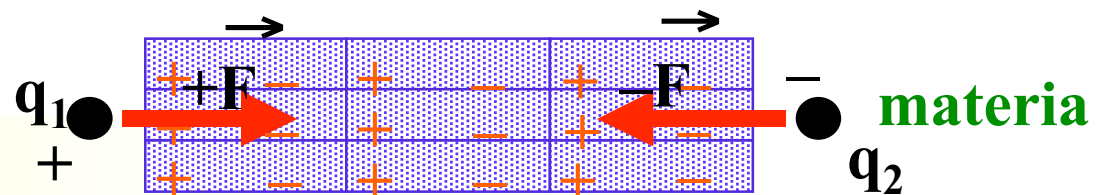
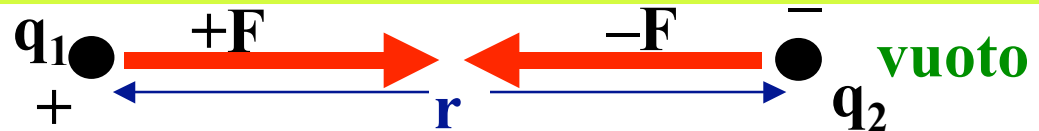
In generale:

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

$\epsilon_r$  = costante dielettrica relativa al mezzo

$\epsilon_r = 1$  nel vuoto e nell'aria

> 1 nei materiali ( $\approx 80$  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

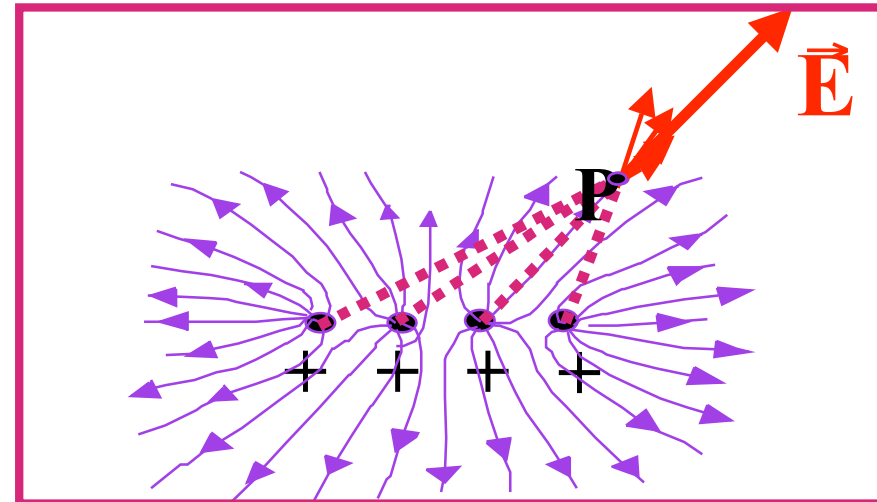
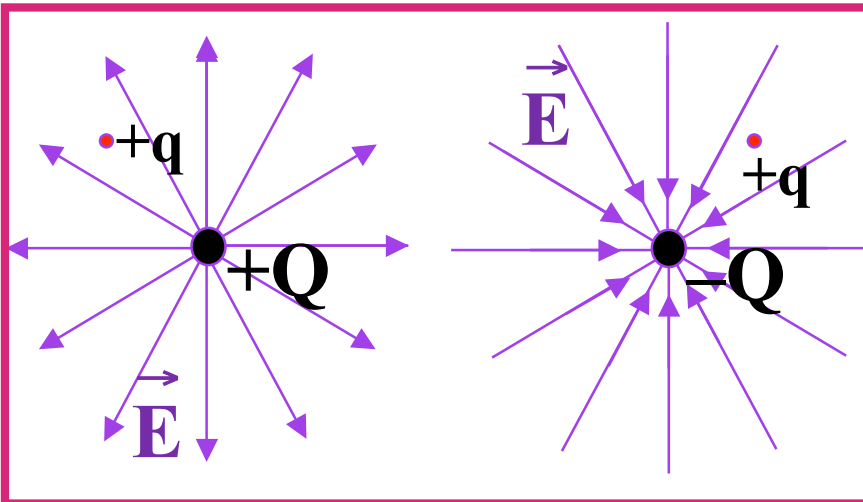
## Carica puntiforme $Q$ :

$Q > 0 \rightarrow$  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

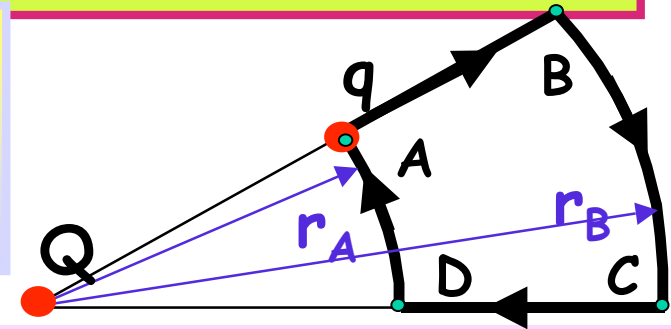


# Energia potenziale elettrostatica

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 puo' 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.

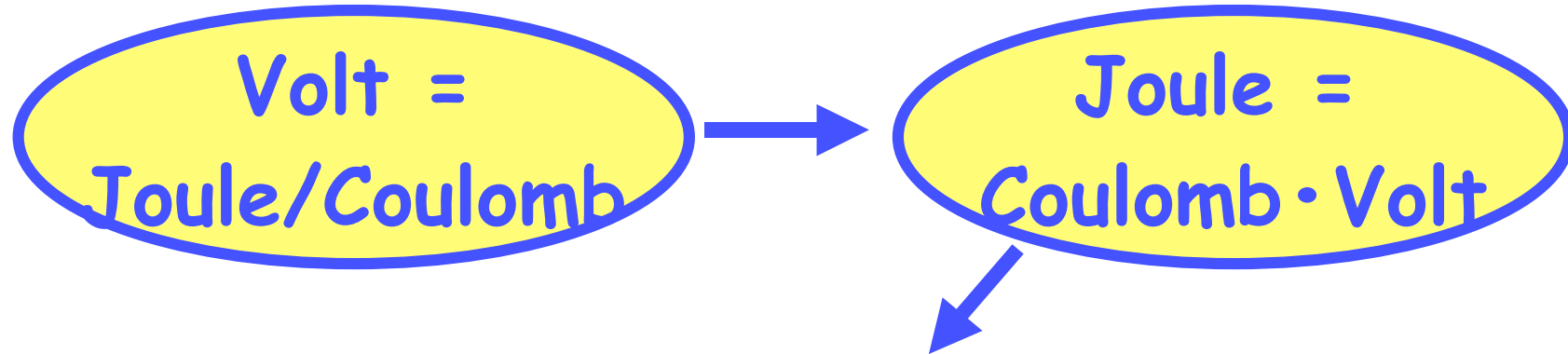
$\Delta V = V_B - V_A$  = lavoro (energia) necessario per spostare la carica di 1 coulomb da A a B

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

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

pila  $\rightarrow \Delta V = 1.5 \text{ V}$  (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

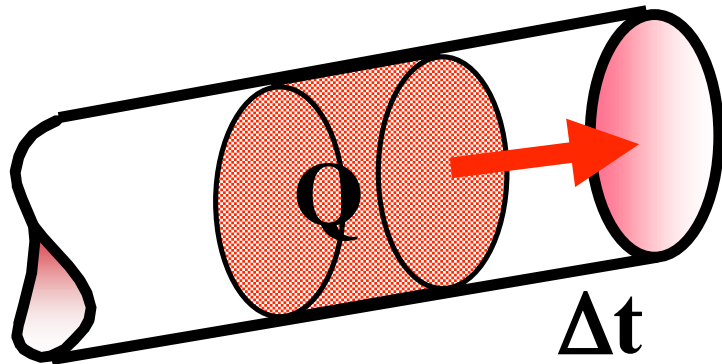
$$\text{elettronVolt (eV)} = \underbrace{(1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C})}_{e} \cdot (1 \text{ V}) = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$e \rightarrow$  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 =  $\frac{\text{quantità di carica}}{\text{intervallo di tempo}}$



$$i = \Delta Q / \Delta t$$

$$A = C/s$$

ampère

Analogia tra il moto di:

cariche elettriche → int.corrente

fluidi → portata

L'**ampère** (=coulomb/sec) è la 5<sup>a</sup> **grandezza fondamentale** MKS.

Il coulomb (=ampère·sec) diventa una grandezza derivata.

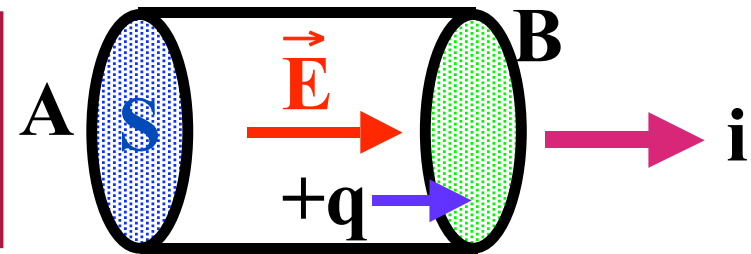
**Quanti elettroni scorrono in 1 A di corrente?**

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

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)

→ corrente continua

$i(t)$  variabile (periodica)

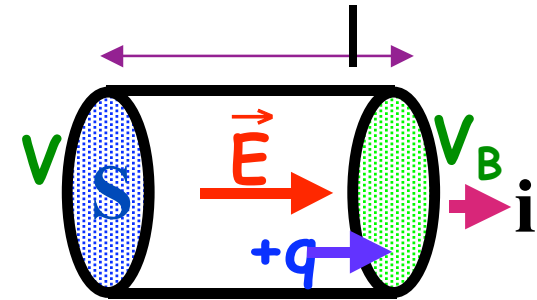
→ corrente alternata

# Leggi di Ohm

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

1<sup>a</sup> legge di Ohm:  $\Delta V = V_A - V_B = Ri$

2<sup>a</sup> legge di Ohm:  $R = \rho l/S$



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 ( $\rightarrow$  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 =  $\frac{\text{differenza di potenziale}}{\text{intensità di corrente}}$



$$R = \Delta V / i$$

$$\Omega = V / A$$

Dipende da:

- geometria del circuito
- tipo di sostanza
- temperatura

ohm

$$R = \rho l / S$$

$$\rho = RS / l$$

$\rho =$  resistività' elettrica

dipende dalla temperatura

$$\Omega \cdot \text{m}^2 / \text{m} = \Omega \cdot \text{m}$$

unità pratica:  $\Omega \cdot \text{cm}$

# Conduttori e isolanti

A parità di d.d.p.,  
passa una corrente maggiore  
quando la resistenza è minore.

$$\Delta V = Ri$$

$$R = \rho l/S$$

A parità di circuito, la resistenza è  
direttamente proporzionale alla resistività.

**Conduttori: bassa  $\rho$**

**metalli:**

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

**conduttori elettrolitici:**

liq. interstiziale  $\rightarrow \rho \sim 10^2 \Omega \cdot \text{cm}$

**Isolanti: alta  $\rho$**

acqua distillata  $\rightarrow \rho \sim 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$

membrana assone  $\rightarrow \rho \sim 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$

vetro  $\rightarrow \rho \sim 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$

**Semiconduttori**

silicio  $\rightarrow \rho \sim 100 \Omega \cdot \text{cm}$

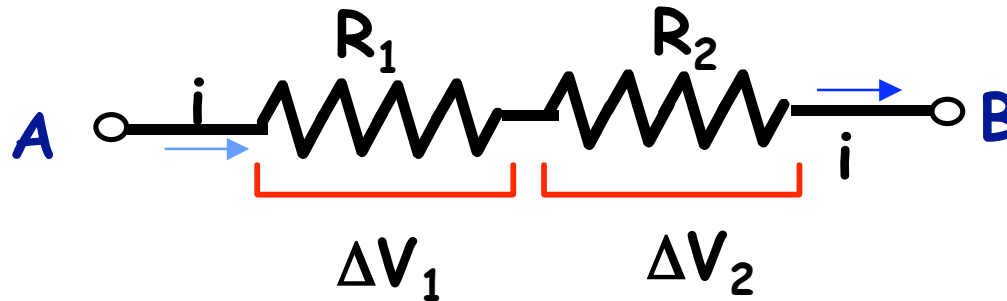
germanio  $\rightarrow \rho \sim 1 \Omega \cdot \text{cm}$



# Collegamenti di resistenze

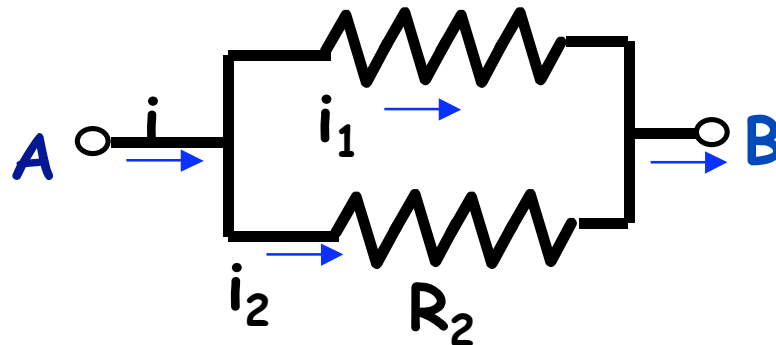
Nei circuiti elettrici:

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** ( $\Delta T=L$ ) diventa **calore**.

## Potenza dissipata:

$$W = L/\Delta t = (q\Delta V)/\Delta t = \Delta V \cdot q/\Delta t = \Delta V \cdot i$$

Watt=  
Volt · Ampere

... o, sostituendo dalla 1<sup>a</sup> legge di Ohm:  $W = \Delta V^2/R = i^2 R$

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

# 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



$F_{C \text{ acqua}} \approx F_{C \text{ aria}}/81$  ( $\epsilon_r \text{ H}_2\text{O}=81$ )

2) Dissociazione el.



urti agitaz.termica  $\rightarrow$  rottura legami

3) No ricombinazione



asimmetria molecola  $\text{H}_2\text{O}$

**Conduttori elettrolitici**

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

**Isolanti elettrolitici**

forte legame covalente (sostanze organiche)

Es.

**NaCl in acqua:**

parziale dissociazione (84%)

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

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

tot. 184 particelle

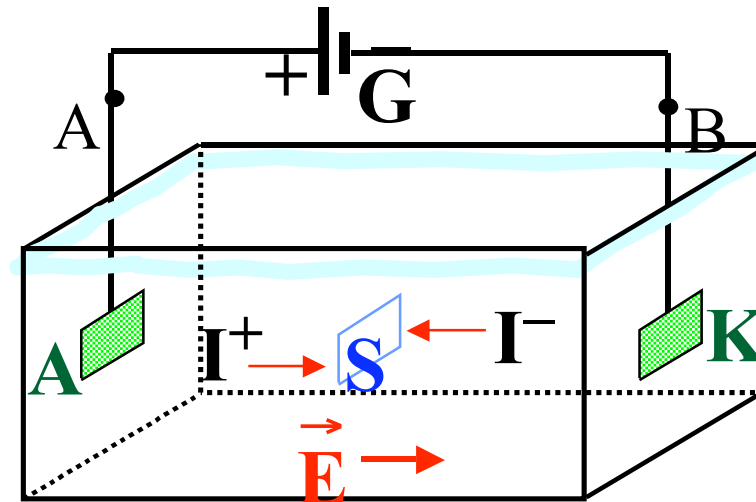


# Elettrolisi

## Cella elettrolitica:

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

d.d.p. → 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