



**Corso di Laurea Specialistica in  
MEDICINA e CHIRURGIA  
corso integrato FISICA - disciplina FISICA**

# **ELETTROSTATICA**

## **parte I<sup>a</sup>**

- CARICA ELETTRICA E FORZA DI COULOMB
- CAMPO ELETTROSTATICO
- ENERGIA POTENZIALE ELETTROSTATICA
- POTENZIALE ELETTRICO
- TEOREMA DI GAUSS

# CARICA ELETTRICA e FORZA di COULOMB

4<sup>a</sup> grandezza fondamentale :



carica elettrica  $Q, q$

(\*)

dimensioni  $[Q] = [i] [t]$

• unità di misura S.I.

coulomb (C)  $\equiv$  ampere x secondo (\*)

(\*) nel S.I. la grandezza fondamentale elettrica é la corrente elettrica ( $i = \Delta q / \Delta t$ ) la cui unità é l'**ampere**

# CARICA ELETTRICA e FORZA di COULOMB

*caratteristiche:*

- positiva (+), negativa (-)
- Q multipla intera carica elettrica elementare

$$e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

- conservazione della carica elettrica
- azioni di forza tra cariche elettriche:  
**forza di Coulomb (da legge di Coulomb)** 

# CARICA ELETTRICA e FORZA di COULOMB

- legge di Coulomb

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

$\epsilon_0$  = costante dielettrica del vuoto =  $8.86 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}$

$\epsilon_r$  = costante del mezzo relativa al vuoto

$G \approx 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ kg}^{-2} \text{ N m}^2$  (forza di gravità)  
(sensibile per masse molto grandi)

$\frac{1}{4\pi \epsilon_0} \approx 9 \cdot 10^9 \text{ C}^{-2} \text{ N m}^2$  (forza elettrostatica)  
(materia quasi sempre neutra !!!)

# CARICA ELETTRICA e FORZA di COULOMB

- legge di Coulomb

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

$\epsilon_0$  = costante dielettrica del vuoto =  $8.86 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}$   
 $\epsilon_r$  = costante del mezzo relativa al vuoto

- forza **attrattiva** per cariche di segno opposto
- forza **repulsiva** per cariche di segno uguale

# CARICA ELETTRICA e FORZA di COULOMB

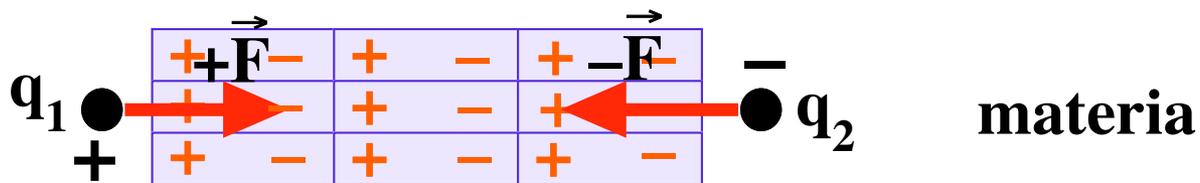
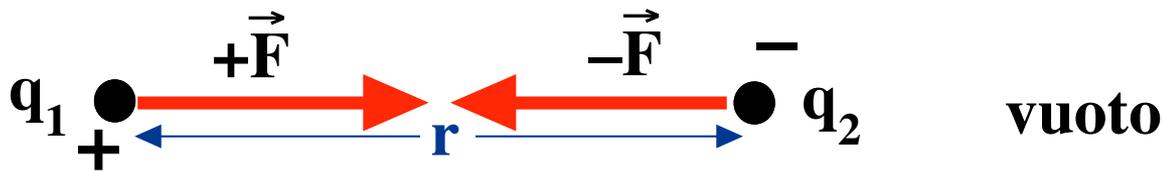
- legge di Coulomb

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

$\epsilon_r = 1$  nel vuoto

$\epsilon_r > 1$  nella materia

esempio  $\epsilon_r$  (H<sub>2</sub>O)  $\approx 80$



# CAMPO ELETTROSTATICO

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

(cariche elettriche puntiformi)  
**q unitaria positiva**

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

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

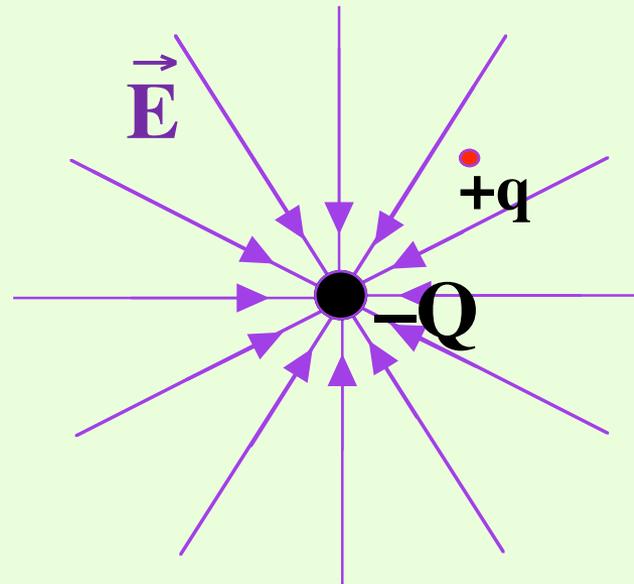
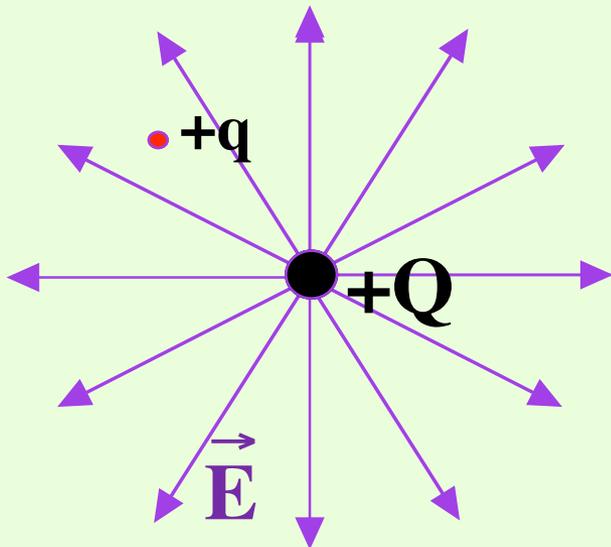
- unità di misura: S.I. newton coulomb<sup>-1</sup> (N C<sup>-1</sup>)

# CAMPO ELETTROSTATICO

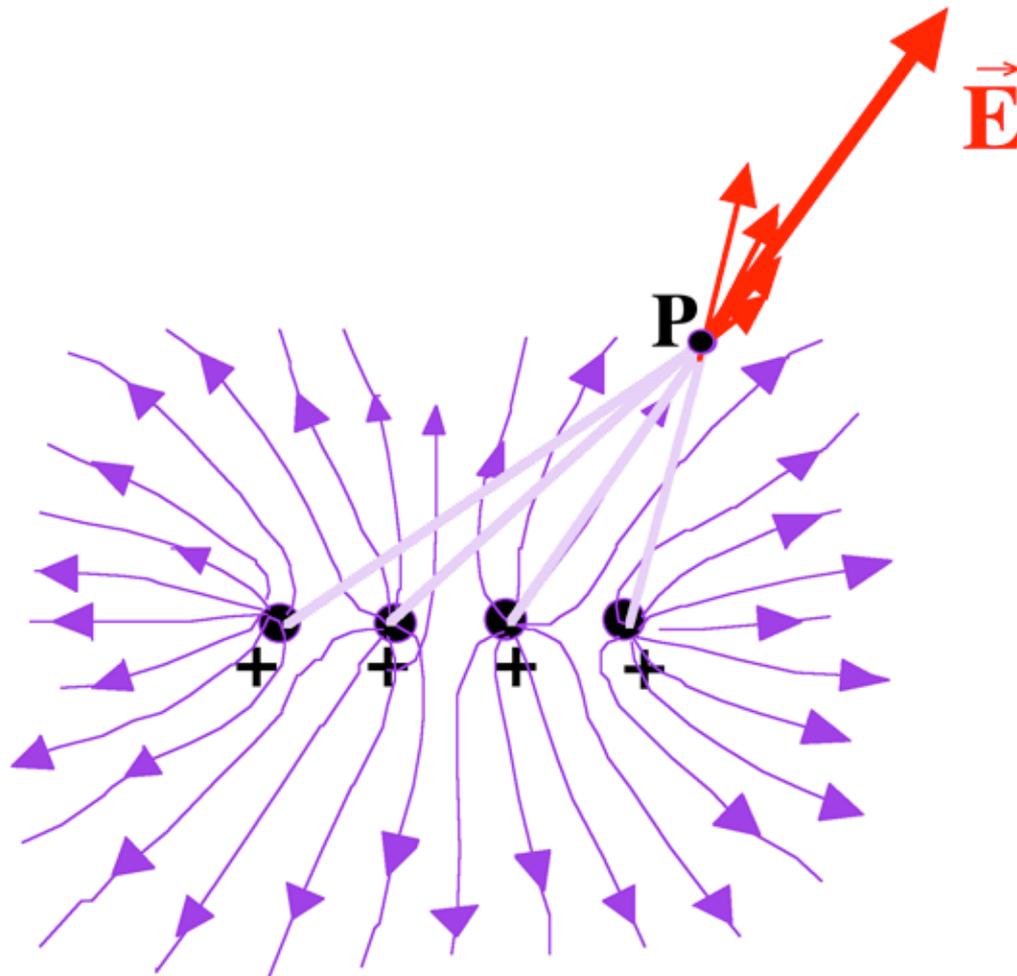
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

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

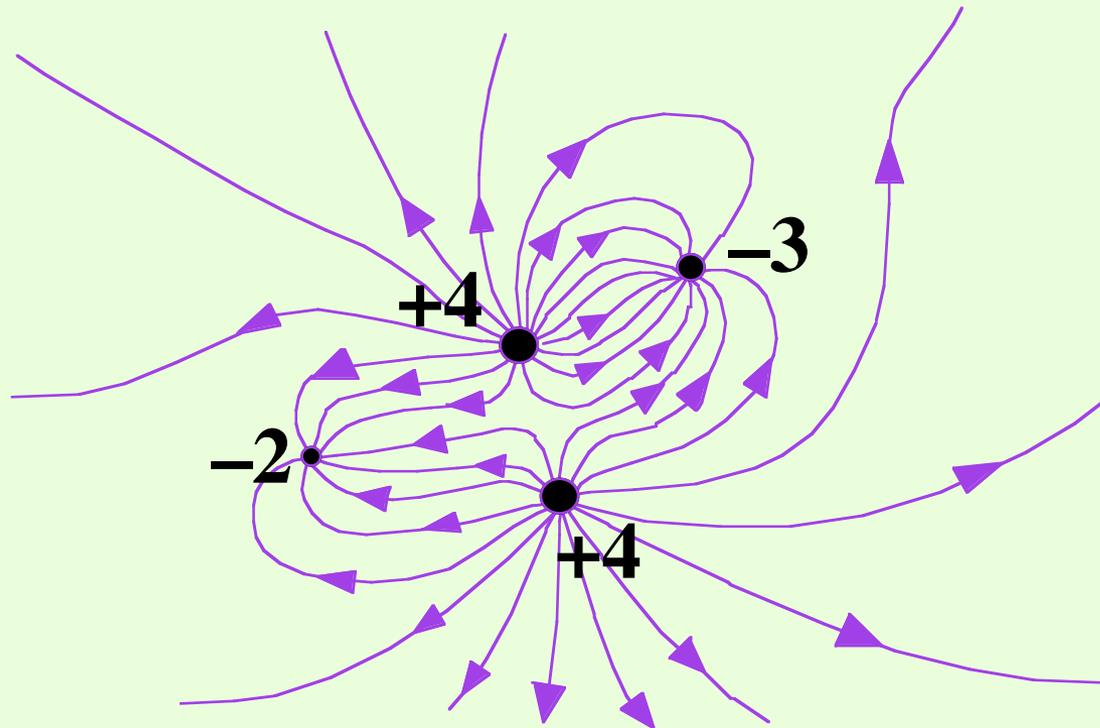
**q unitaria positiva**



# CAMPO ELETTROSTATICO



# CAMPO ELETTROSTATICO

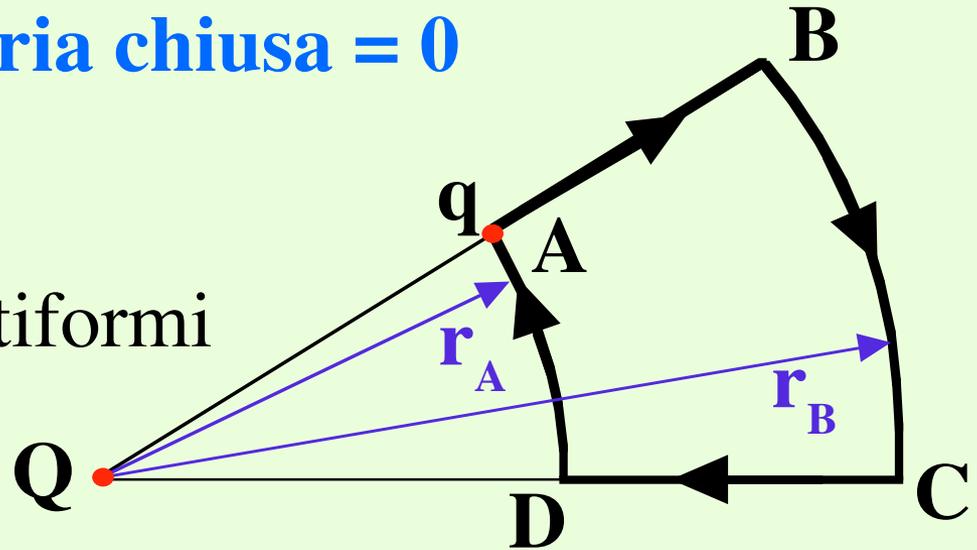


# ENERGIA POTENZIALE ELETTROSTATICA

campo di forze conservativo ?

lavoro  $L$  lungo traiettoria chiusa = 0

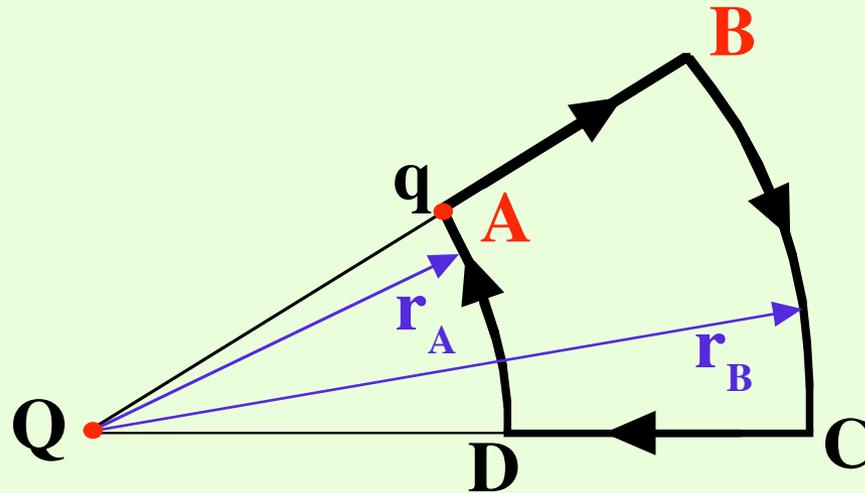
- cariche elettriche puntiformi



$$L = \sum_{ABCD} \vec{F} \cdot \vec{\Delta s} = \int_{ABCD} \vec{F} \cdot \vec{ds} = \int_{ABCD} F \, d\ell \cos \alpha =$$

$$= L_{ABCD} = L_{AB} + L_{BC} + L_{CD} + L_{DA}$$

# ENERGIA POTENZIALE ELETTROSTATICA

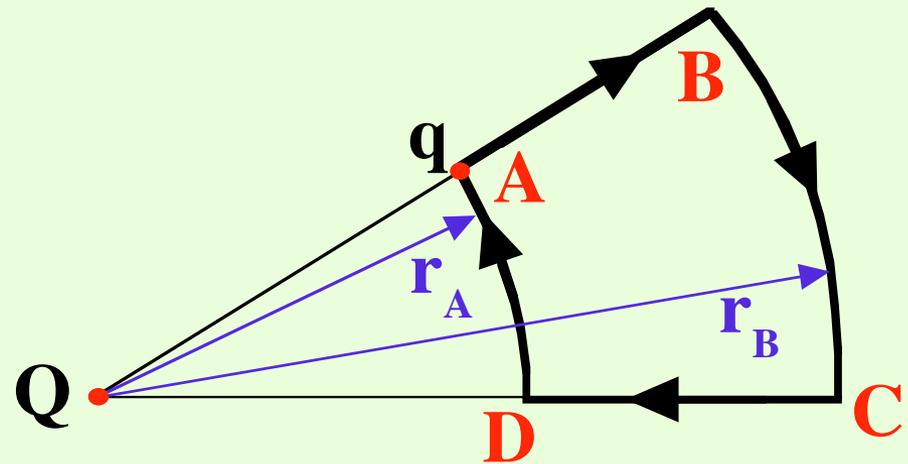


$$\begin{aligned} \bullet L_{AB} &= \int_{AB} \mathbf{F} \, d\ell = \int_{r_A}^{r_B} \frac{1}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \frac{q Q}{r^2} \, dr = \\ &= \frac{q Q}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \left[ -\frac{1}{r} \right]_{r_A}^{r_B} = \frac{q Q}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \left[ \frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right] \end{aligned}$$

# ENERGIA POTENZIALE ELETTROSTATICA

- $L_{BC} = 0$

- $L_{DA} = 0$



- $L_{CD} = - \int_{CD} \mathbf{F} \, d\ell = \frac{qQ}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \left[ \frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right] = -L_{AB}$

$$\begin{aligned} L_{ABCD} &= L_{AB} + L_{BC} + L_{CD} + L_{DA} = \\ &= L_{AB} + 0 - L_{AB} + 0 = 0 \end{aligned}$$

forza elettrostatica :

**conservativa**

# ENERGIA POTENZIALE ELETTROSTATICA

$$L_{AB} = \frac{q Q}{4\pi \varepsilon_0 \varepsilon_r} \frac{1}{r_A} - \frac{q Q}{4\pi \varepsilon_0 \varepsilon_r} \frac{1}{r_B} = U(r_A) - U(r_B)$$

$$U(r) = \frac{q Q}{4\pi \varepsilon_0 \varepsilon_r} \frac{1}{r}$$

**funzione energia potenziale elettrostatica**  
(cariche elettriche puntiformi)

$$\vec{F} = -\mathit{grad} U(r)$$

# POTENZIALE ELETTRICO

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

carica puntiforme:

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

differenza di potenziale elettrico (d.d.p.)

$$\Delta V = V_B - V_A = -\frac{L_{AB}}{q}$$

$$B \rightarrow \infty \rightarrow V_B = 0$$

$$V_A = -\frac{L_{A\infty}}{q}$$

# POTENZIALE ELETTRICO

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

**carica puntiforme:**

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

dimensioni  $[M][L]^2[t]^{-2}[Q]^{-1} = [M][L]^2[t]^{-1}[i]$

• unità di misura S.I. volt (V) =  $\frac{\text{joule}}{\text{coulomb}}$

legame fra campo elettrico e potenziale elettrico: 

# CAMPO ELETTRICO e POTENZIALE ELETTRICO

campo di forza conservativo

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

$$\vec{F} = -grad U(r) = -q grad V(r)$$

$$\vec{E} = -grad V(r)$$

- ◆ modulo :  $E = \frac{\Delta V(r)}{\Delta r}$
- ◆ direzione : **moto +q**
- ◆ verso : **V decrescenti**

# CAMPO ELETTRICO e POTENZIALE ELETTRICO

modulo :  $\mathbf{E} = \frac{\Delta V(\mathbf{r})}{\Delta r}$

- unità di misura del campo elettrico S.I. :

$$\frac{\text{newton}}{\text{coulomb}} (\text{N C}^{-1}) = \frac{\text{volt}}{\text{metro}} (\text{V m}^{-1})$$

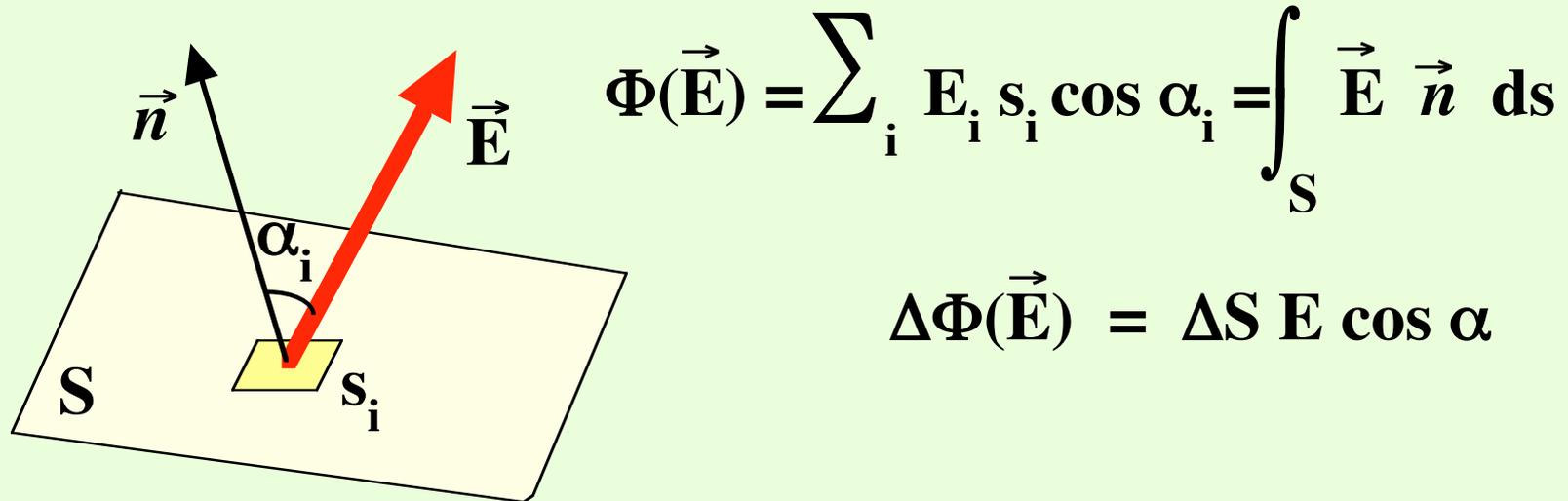
- unità di misura pratica di energia  
(scala atomica)

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



# TEOREMA DI GAUSS

flusso del campo elettrico  $\Phi(\vec{E})$



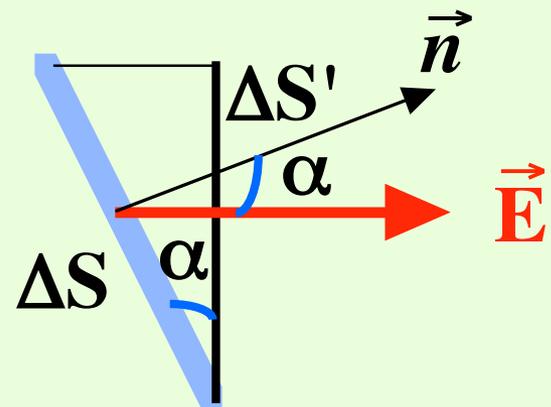
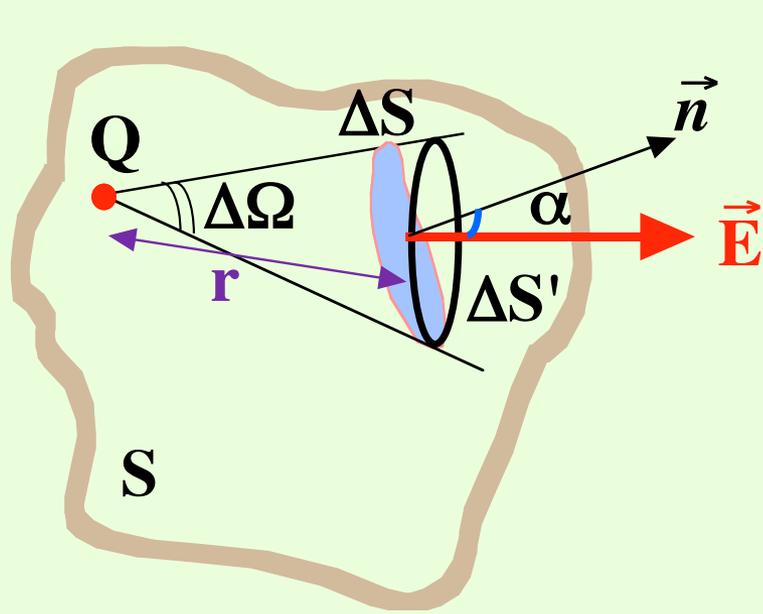
$$\Phi(\vec{E}) = \sum_i E_i s_i \cos \alpha_i = \int_S \vec{E} \cdot \vec{n} \, ds$$

$$\Delta\Phi(\vec{E}) = \Delta S E \cos \alpha$$

- unità di misura di  $\Phi(\vec{E})$  nel S.I.

$$\text{volt m}^{-1} \text{ m}^2 = \text{volt} \times \text{metro} \quad (\text{V m})$$

# TEOREMA DI GAUSS



$$\Delta\Omega = \frac{\Delta S'}{r^2} = \frac{\Delta S \cos \alpha}{r^2}$$

$$\Delta\Phi(\vec{E}) = E \Delta S' = E r^2 \Delta\Omega = \frac{Q \Delta\Omega}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r}$$

**teorema di Gauss**

**S = superficie chiusa intorno a Q :**

$$\Omega_S = \Delta\Omega_1 + \Delta\Omega_2 + \Delta\Omega_3 + \dots = 4\pi$$

$$\Phi_S(\vec{E}) = \frac{Q}{\epsilon_0 \epsilon_r}$$

