

$$R_{\text{NUCLEO}} \sim 10^{-14} \text{ m}$$

$$R_{\text{ATOMO}} \sim 10^{-10} \text{ m}$$

Le cariche microscopiche non sono in condizioni statiche nelle materie ...

Il campo  $\vec{E}$  MICROSCOPICO  
varia rapidamente su  
scale atomiche

$$\sim 10^{-15} \text{ s}$$

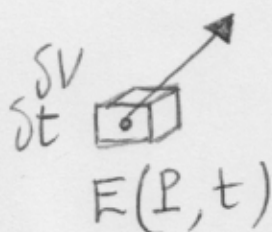
scale tempo  
(moto elettronici)

$$\sim 10^{-9} \text{ m}$$

scale spazio  
(dimensioni atomiche)

$\langle E \rangle_{\delta V \delta t}$

Studiamo le proprietà del campo "MACROSCOPICO"  
mediato su scale molto maggiori di  
quelle atomiche



il punto nello spazio e l'istante di tempo  
sono da intendersi in sense fisico:

$$\delta V \quad \text{PUNTO } P = \text{VOLUME} \gg 10^{-9} \text{ m}$$

$$\delta t \quad \text{ISTANTE } t = \text{INTERVALLO} \gg 10^{-15} \text{ s}$$

[Le equazioni dell'elettromagnetismo sono lineari  
valgono sia per i campi microscopici che per le loro medie]

•  $\langle E \rangle_{\delta V \delta t}$  può essere statico ...

•  $\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta V}$  ... IL limite si intende per  
 $\Delta V$  piccolo rispetto a distanze  
microscopiche ma grande  
rispetto a quelle atomiche ...

$$j = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

• Il moto di cariche si intende per  $d \gg$  atomiche  
moto "microscopico"

$\vec{E}$   
nel VUOTO

$\vec{E}$   
CONDUTTORI

$q$  "libere"  
moto macroscopico

$\vec{E}$   
DIELETTRICI

$q$  "vincolate" agli  
atomi  
- dipoli

$q_i$   $\rho$   $dq$

[Le equazioni dell'elettromagnetismo sono diverse  
rispetto a quelle statiche, che per la loro natura  
valgono solo per campi magnetici e per la loro natura  
valgono solo per campi magnetici.]

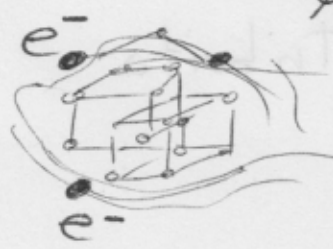
... IL campo elettrico è indotto per  
DV piccolo rispetto a distanza  
macroscopica ma grande  
rispetto a quella statica.

$$\rho = \frac{\Delta \phi}{\Delta V}$$
$$j = \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

Il moto di carica si indaga per >> statica  
"macroscopica"

# ELETTROSTATICA con CONDUTTORI

Conduttore → contiene cariche libere di muoversi su distanze microscopiche "portatori di carica"

• Metalli: elettroni liberi  $N \sim 10^{30} / m^3$   
 ... approx. sono come un gas in moto termico vincolati al metallo degli ioni ...

• Elettroliti  
 ... sali in acqua  $Na^+ Cl^-$  ... portatori di carica di entrambi i segni

• Gas ...

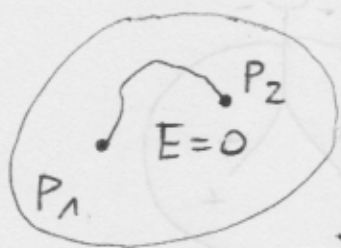
• Semiconduttori ...

## CONDUTTORI IN EQUILIBRIO

1)  $\vec{E}_{INT} = 0$  ... equilibrio!  
 $E \leftarrow e^-$

2)  $V = COST$

$$\Delta V = - \int_{P_1}^{P_2} \vec{E} \cdot d\vec{l}$$



$\Delta V = 0$  per  $P_1, P_2$  interni  
 → per continuità  $V$  cost anche in superficie



3)  $Q_{INT} = 0$



$$E=0 \Rightarrow \Phi_S = \frac{Q_{INT}}{\epsilon_0} = 0$$

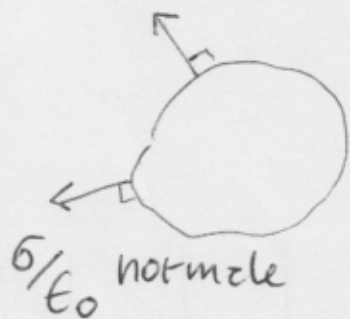
$$\int_{VOL} \rho dV = 0$$

$$\rho = 0$$

La carica in un conduttore è distribuita solo sulla superficie  $\sigma_{SUP}$

$$Q = \int_{SUP} \sigma \cdot dS$$

4)  $\vec{E} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \vec{n}$  sulla superficie



$E_{\text{tangente}}$  continua  $E_{INT} = 0 \Rightarrow E_{\text{SUP}} = 0$

$$\Delta E_{\perp} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

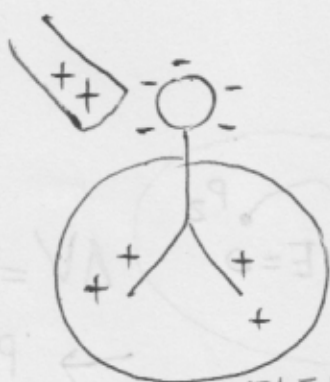
quindi  $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \vec{n}$



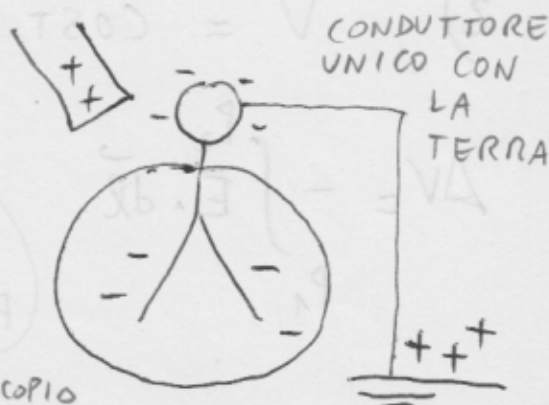
□ INDUZIONE ELETTROSTATICA nel conduttore:



La Q si distribuisce per dare  $E_{INT}$  al conduttore: nullo

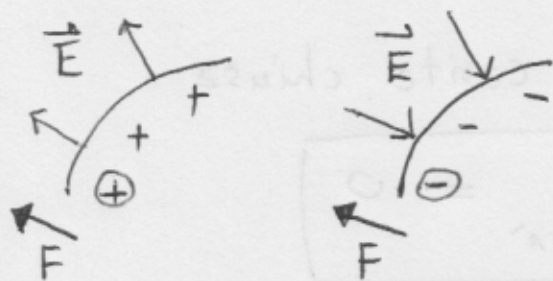


ELETTROSCOPIO



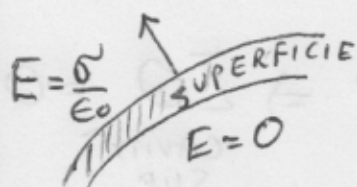
CONDUTTORE UNICO CON LA TERRA





Le cariche sentono una  $F$  verso l'esterno che tende a strapparle dalla superficie

$$F = qE$$



$$\langle E \rangle = \frac{1}{2} \sigma / \epsilon_0$$

Conduttore

campo medio

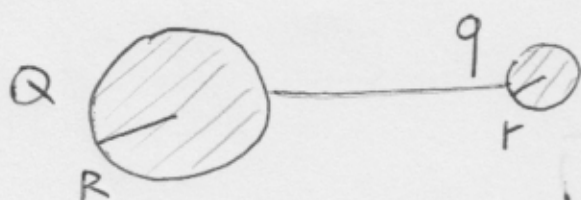
Pressione

$$P = \frac{F}{S_{UP}} = \frac{\langle E \rangle Q_{SUP}}{S_{UP}}$$

$$= \frac{\sigma^2}{2\epsilon_0}$$

$$\frac{N}{m^2}$$

□ Nel conduttore in equilibrio la  $Q$  si distribuisce con una densità superficiale  $\sigma$  che dipende dalla geometria:  $\rightarrow P$  varia



... sfere conduttrici lontane ma collegate

$$V_i = \frac{Q_i}{4\pi\epsilon_0 R_i} \approx \text{isolate.}$$

$$V_1 = V_2 \quad \text{cost}$$

$$\Rightarrow \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} \rightarrow \frac{Q}{R} = \frac{q}{r}$$

$Q \propto R^2$  geometria



$$\Rightarrow \sigma = \frac{Q}{4\pi R^2} \quad \sigma \propto \frac{1}{R_{\text{raggio}}}$$

$$\Rightarrow E_{\text{SUP}} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad E \propto \frac{1}{R_{\text{raggio}}} \Rightarrow$$

$$P_{\text{SUP}} \propto \frac{1}{r^2}$$

# CAVITA' in CONDUTTORE

22



su un conduttore con una cavit  chiusa e vuota:

$$\sigma_{\text{SUP CAVITA}} = 0$$

Infatti:

a)  $E_{\text{INT Conduttore}} = 0 \Rightarrow \text{gauss} \dots Q_{\text{INT}} = 0 \Rightarrow \sum Q_{\text{CAVITA SUP}} = 0$



$\oint E = 0$   
per campo conservativo

Se fosse  $Q_{+} + Q_{-} = Q_{\text{INT}} = 0$

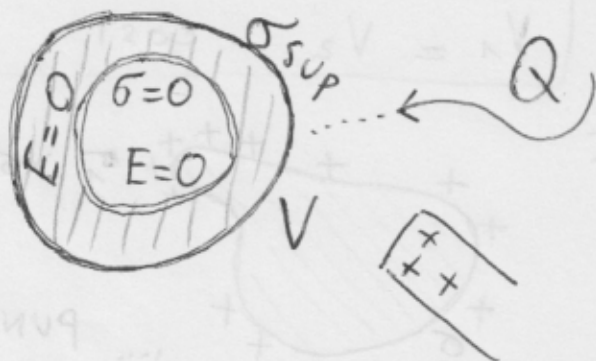
avrei un  $\vec{E}$  interno alla cavit 

quindi  $\oint_{\Gamma} E$  su una curva  $\Gamma \parallel E$

sarebbe  $\neq 0$  ( $\oint E = \int_{\Gamma_{\text{INT}}} E + \int_{\Gamma_{\text{CONDUT}}}$ )

$\Rightarrow E_{\text{CAVITA}} = 0$

## SCHERMO ELETTROSTATICO



Lo spazio interno   separato dallo spazio esterno

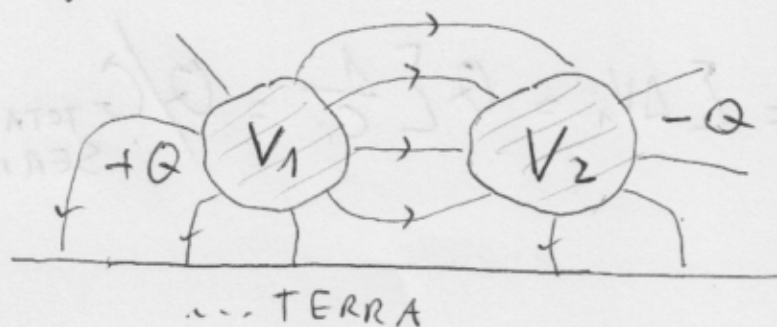
Se trasporto una carica  $Q$  o avvicino corpi carichi varia il potenziale ma  $\sigma$  si ridistribuisce per produrre  $E_{\text{INT}} = 0$   $E_{\text{CAVITA}} = 0$

... Gabbia di Faraday

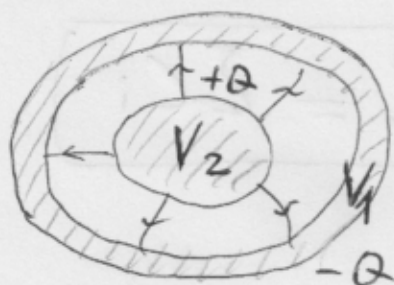


Conduttore isolato

$$C \stackrel{\text{def}}{=} \frac{Q}{V}$$

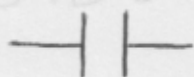
F ≡ FARAD

Per conduttori:  
... Situazione generale

Induzione completa

≡ tutte le linee di campo  
vanno dal conduttore 1  
al 2

$$Q_1 = -Q_2$$

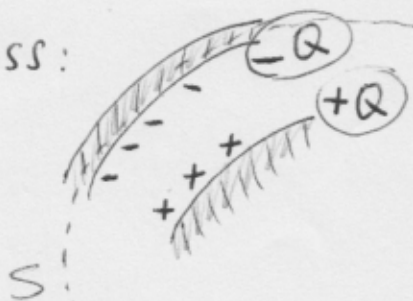
Def CONDENSATORE

$$C \equiv \frac{Q}{\Delta V}$$

Capacità del condensatore

... per Gauss:

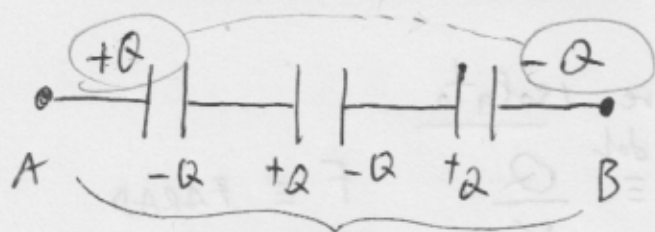
$$E_{int} = 0$$



- Conduttore sferico  
Condensatore piano  
- sferico  
- cilindrico

.. calcoli di  
capacità

## CONDENSATORI IN SERIE



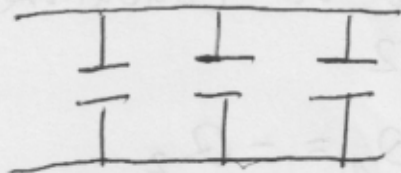
$$\frac{1}{C} = \sum \frac{1}{C_i}$$

→ STESSA Q

$$\Delta V_i = \frac{Q}{C_i}$$

$$\Delta V = \sum \Delta V_i = Q \sum \frac{1}{C_i} = Q / C_{\text{TOTALE SERIE}}$$

## CONDENSATORI IN PARALLELO



$$C = \sum C_i$$

→ STESSA  $\Delta V$

$$Q_i = \Delta V C_i \quad Q = \sum Q_i = \Delta V \sum C_i = \Delta V C_{\text{TOTALE PARALLELO}}$$