Conduttori in equilibrio in un campo elettrostatico

Conduttori = materiali solidi, liquidi o gassosi in cui sono presenti cariche che possono muoversi liberamente (**cariche mobili**)

Conduttori solidi = metalli,
in cui le cariche mobili sono elettroni

Nei fenomeni elettrostatici le cariche sono fisse $\Rightarrow$ **il campo elettrico** all'interno di un conduttore **in equilibrio elettrostatico deve essere nullo**

$$\boxed{\mathbf{E}_{\mathrm{INT}} = 0}$$

altrimenti $\boxed{\mathbf{F} = q\,\mathbf{E}_{\mathrm{INT}} \neq 0}$

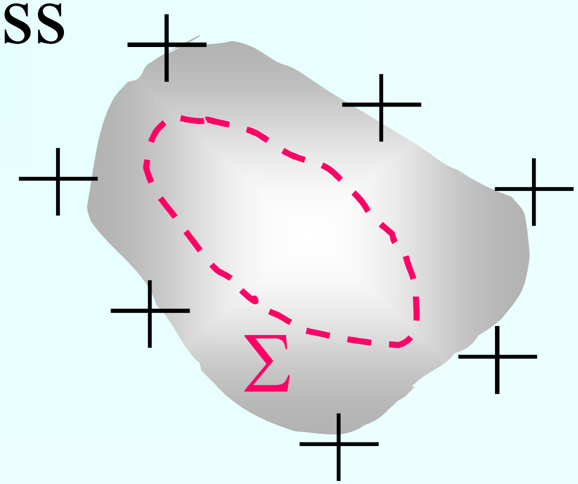
determinerebbe un moto ordinato di elettroni

Un conduttore può essere caricato per contatto o per induzione: **un conduttore carico possiede un eccesso o un difetto di elettroni**

Il fatto che $\mathbf{E}_{INT} = 0 \Rightarrow$

1) la carica ceduta al conduttore deve essere localizzata sulla sua superficie

Applicando infatti il teorema di Gauss ad una **superficie chiusa** Σ interna al conduttore



$$\oint \mathbf{E}_{INT} \bullet d\mathbf{\Sigma} = \frac{q_{INT}}{\varepsilon_0}$$

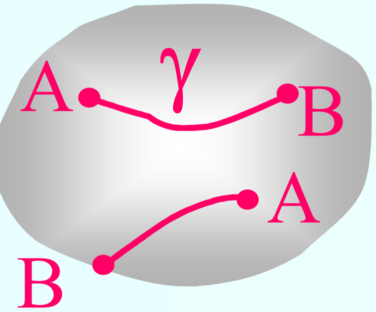
$$\boxed{q_{INT} = 0}$$

Se il conduttore è caricato negativamente:
gli elettroni in eccesso si portano in superficie

Se il conduttore è caricato positivamente:
gli atomi sprovvisti degli elettroni sottratti
si trovano in superficie

2) I punti interni e quelli della superficie di un conduttore sono equipotenziali

A e B punti nell'interno di un conduttore



W lavoro per spostare una carica da A a B

$$W = q\int_A^B \mathbf{E}_{INT} \bullet d\mathbf{s} = q\left(V_A - V_B\right)$$

Essendo $\mathbf{E}_{INT} = 0$, $W = q\left(V_A - V_B\right) = 0$

$$\boxed{V_A = V_B}$$

La dimostrazione è analoga per un punto B della superficie

La superficie di un conduttore è una **superficie equipotenziale**

quindi

3) E_{EST} è normale alla superficie del conduttore

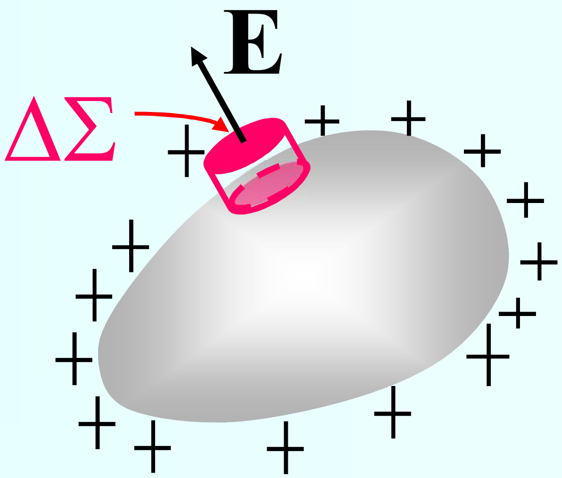
Intensità del campo elettrico nei punti esterni ad un conduttore

Teorema di Gauss applicato ad un **cilindretto di altezza infinitesima** con una base interna al conduttore ed una esterna, sufficientemente piccole da poterle considerare parallele alla superficie del conduttore

E normale alla superficie

Unico contributo al flusso:
flusso di **E** attraverso la base esterna

$$\oint_S \mathbf{E} \bullet d\mathbf{\Sigma} = E\,\Delta\mathbf{\Sigma} = \frac{q_{INT}}{\varepsilon_0} = \frac{\sigma\,\Delta\Sigma}{\varepsilon_0}$$

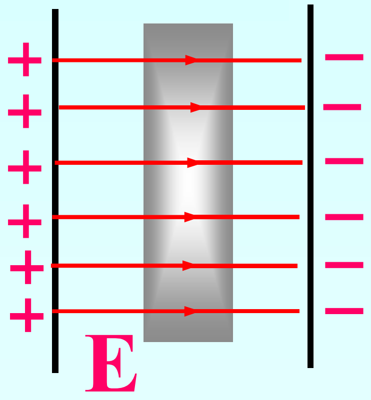


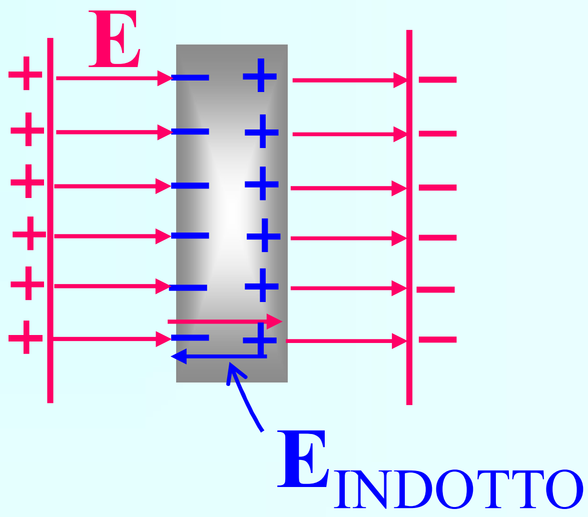
$$\boxed{\mathbf{E} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\mathbf{n}}$$

n versore della normale uscente dal conduttore

Conduttori in presenza di un campo elettrostatico

Conduttore **scarico** introdotto in un campo elettrostatico **E**: inizialmente $\mathbf{E}_{INT} \neq 0$





$\mathbf{E}_{INT}$ determina uno spostamento degli elettroni, che si accumulano su una parte della superficie esterna, lasciando un eccesso di cariche positive dall'altra parte

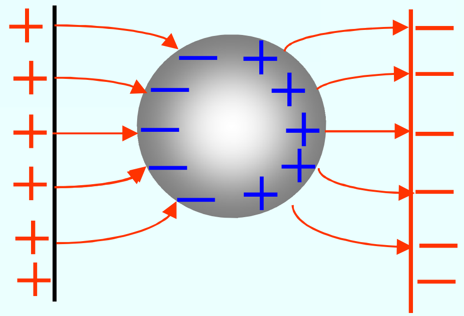
La distribuzione di **cariche indotte** sulla superficie del conduttore genera un **campo elettrostatico indotto** che si somma al campo esterno:

fenomeno dell' **induzione elettrostatica**

Si raggiunge una **situazione di equilibrio elettrostatico** (cessa il movimento degli elettroni) quando all' interno del conduttore

$$\mathbf{E}_{\mathrm{INDOTTO}} = -\mathbf{E} \quad \text{quindi} \quad \mathbf{E}_{\mathrm{INT}} = 0$$

La distribuzione delle cariche indotte può alterare il campo elettrico anche nei punti esterni



Conduttore **carico** introdotto in un campo elettrico:

all'equilibrio la distribuzione superficiale di carica è pari alla somma della carica iniziale del conduttore e della carica indotta

Due o più conduttori collegati da un filo conduttore hanno la stesso potenziale

Esempio
Conduttore formato da due sfere conduttrici di raggio R_1 ed R_2 poste a grande distanza d ($d \gg R_1$ ed R_2 in modo che sia trascurabile l'induzione elettrostatica)
collegate tra loro da un filo conduttore

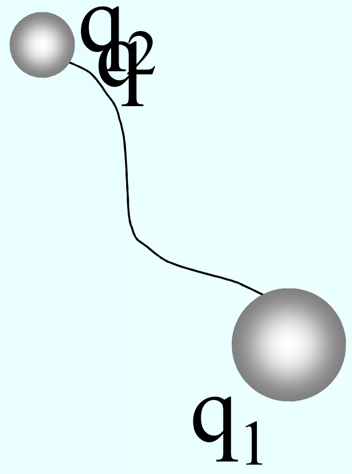
q carica complessiva fornita al conduttore

All'equilibrio le due sfere sono **equipotenziali**:

$$V_1 = V_2$$

Carica presente sul filo trascurabile

q_1 e q_2 cariche sulle due sfere



conservazione della carica

$$q_1 + q_2 = q \qquad (1)$$

$$V_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1}{R_1} = $$

$$= V_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_2}{R_2}$$

$$\frac{q_1}{R_1} = \frac{q_2}{R_2} \qquad (2)$$

Da (1) e (2) $\Rightarrow$

$$\boxed{q_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} q} \qquad \boxed{q_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} q}$$

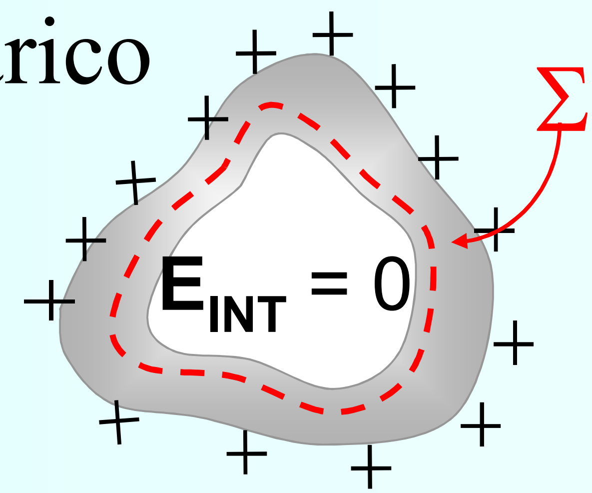
$$q_1 = 4\pi R_1^2 \sigma_1 \qquad q_2 = 4\pi R_2^2 \sigma_2$$

$$\sigma_1 R_1 = \sigma_2 R_2 \quad \Rightarrow \quad \boxed{\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{R_2}{R_1}} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\frac{E_1}{E_2} = \frac{R_2}{R_1}}$$

Densità di carica e campi elettrici inversamente proporzionali ai raggi di curvatura

Conduttore cavo – Schermo elettrostatico

Consideriamo un conduttore carico che abbia una cavità interna



Σ superficie chiusa

che racchiude la cavità

$\mathbf{E}_{\mathbf{INT}} = 0$ all'interno del conduttore $\Rightarrow$

$\Phi_E = 0$ attraverso Σ $\Rightarrow$

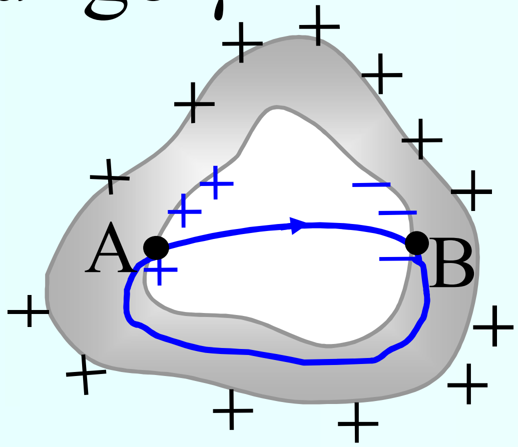
la carica sulle pareti della cavità è nulla

Se ci fossero due distribuzioni di carica di segno opposto, delle linee di forza collegherebbero nella cavità le cariche positive con quelle negative

$$\boxed{\mathbf{E}_{CAV} \neq 0}$$

γ linea chiusa va da A a B lungo una linea di forza nella cavità ($\mathbf{E}_{CAV} \neq 0$) e da B ad A all'interno del conduttore ($\mathbf{E}_{\mathbf{INT}} = 0$)

Valutiamo la circuitazione di **E** lungo γ



$$\oint_\gamma \mathbf{E}\bullet d\mathbf{s} = \int_{A\gamma}^{B} \mathbf{E}_{CAV} \bullet d\mathbf{s} +$$

$$+ \int_{B\gamma}^{A} \mathbf{E}_{INT} \bullet d\mathbf{s} = \int_{A\gamma}^{B} E_{CAV}\, ds \neq 0$$

in contraddizione con il fatto che

E è conservativo

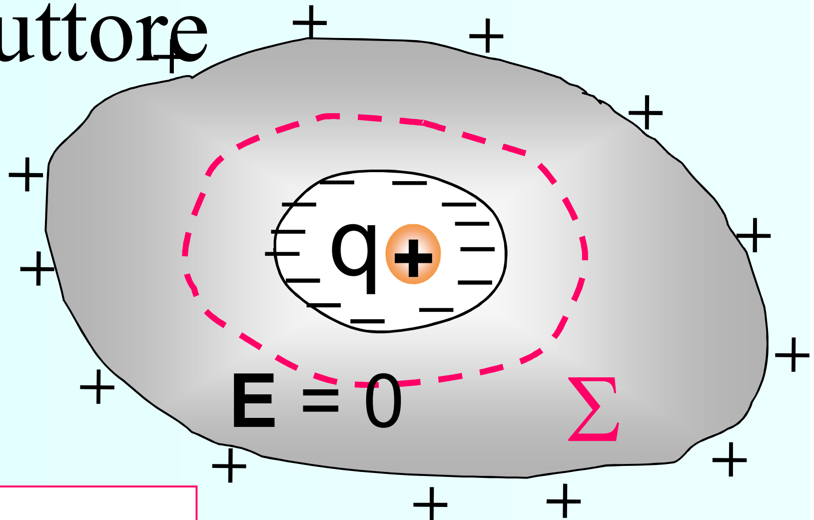
Quindi non ci possono essere cariche sulla superficie di una cavità interna e il campo nella cavità deve essere nullo

Il conduttore isola la cavità interna da tutti i campi elettrostatici esterni

V = costante in tutti i punti del conduttore, anche in quelli interni alla cavità

Introduciamo nella cavità di un conduttore scarico un conduttore che porta una carica +q

Σ superficie interna al conduttore



In condizioni di equilibrio:

$\mathbf{E} = 0$ in tutti i punti di Σ

$\Phi_E = 0$ attraverso Σ → $\boxed{q_{INT} = 0}$

Non potendosi avere accumulo di carica nei punti interni al conduttore

$-q$	carica indotta sulla superficie della cavità
$+q$	carica sulla superficie esterna del conduttore

E all’interno della cavità **dipende**
sia dalla sua forma geometrica
che dalla posizione e dal valore
della carica in essa introdotta

Non dipende invece
da variazioni della distribuzione della carica
sulla superficie esterna
o dalla presenza di campi elettrostatici esterni

Analogamente
la distribuzione della carica sulla superficie esterna
non dipende dalla posizione della carica q
posta nella cavità

Conduttore cavo = schermo elettrostatico tra spazio esterno e spazio interno

Lo spostamento di cariche entro la cavità non modifica il campo elettrico esterno

Lo spostamento di cariche all'esterno non modifica il campo nella cavità

I fenomeni elettrostatici nella cavità
non dipendono dal potenziale del conduttore cavo

Verifica sperimentale dell'azione di schermo elettrostatico

verifica della validità del teorema di Gauss

verifica della legge di Coulomb (dipendenza della forza elettrica dall'inverso del quadrato della distanza)