

DISTRIBUZIONE DELLA CARICA NEI CONDUTTORI

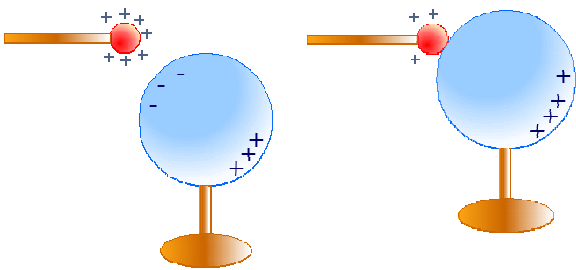
I corpi conduttori sono caratterizzati dal fatto di avere moltissimi elettroni liberi di muoversi (*elettroni di conduzione*).

Cosa accade se un corpo conduttore viene caricato elettricamente? Come si distribuisce la carica?

Quando a un conduttore isolato viene data una carica elettrica Q , questa si muove attraverso il conduttore finché viene raggiunta una condizione di equilibrio, in cui tutte le cariche sono e restano ferme: si dice che il conduttore è in **equilibrio elettrostatico**.

L'esperienza mostra che, in queste condizioni, la carica elettrica è distribuita sulla superficie del conduttore.

Consideriamo una sfera conduttrice neutra posta su una base isolante e carichiamola per contatto con un corpo positivo.

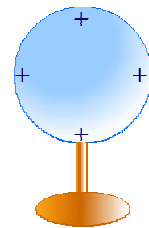


In seguito al contatto alcuni elettroni del conduttore passano sul corpo carico annullandone parte della carica.

Sul corpo conduttore rimane allora un eccesso di carica positiva.

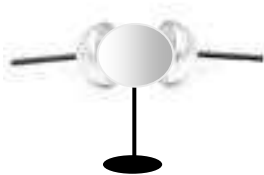
Allontanando il corpo carico, le cariche (positive) in eccesso sul conduttore si respingono reciprocamente portandosi il più lontano possibile tra loro e cioè sulla superficie del conduttore.

Si è così raggiunto uno stato di equilibrio cioè le cariche sono ferme: si dice che il conduttore è in **equilibrio elettrostatico**.



Le cariche in eccesso su un conduttore, sia positive che negative, si dispongono sempre sulla superficie esterna del conduttore (anche nel caso in cui nel conduttore siano presenti delle cavità interne).

Esperimento: emisferi di Cavendish



Una sfera metallica elettrizzata ed isolata, viene racchiusa con due emisferi metallici muniti di manici isolanti. Togliendo i due emisferi ed avvicinando alla sfera un elettroscopio, si nota che questa è scarica, mentre i due emisferi sono elettrizzati.

Questo esperimento dimostra che la carica si distribuisce esclusivamente sulla superficie esterna del conduttore.

Esperimento: pozzo di Faraday



In un conduttore cavo (*pozzo di Faraday*) s'introduce un corpo elettrizzato, ad esempio una sfera elettrizzata tenuta con un manico isolante. Il pozzo è montato su un elettroscopio. Introdotta la sfera, in modo che non tocchi le pareti del pozzo, si nota che le foglie dell'elettroscopio divergono. Il pozzo si è elettrizzato e manifesta sulla parete interna e su quella esterna due cariche indotte di segno opposto, di valore identico a quella della sfera (**induzione completa**).

DENSITÀ SUPERFICIALE DI CARICA ELETTRICA

La **densità superficiale** di carica elettrica è definita come il rapporto fra la carica ΔQ distribuita sulla superficie di area ΔS e l'area ΔS stessa

$$\sigma = \frac{\Delta Q}{\Delta S}$$

Questa grandezza è, in generale, diversa da punto a punto della superficie di un conduttore; essa è grande nei punti ove la superficie del conduttore è molto curva e convessa verso l'esterno, come si verifica in una punta, ed è piccola ove la superficie è quasi piana.

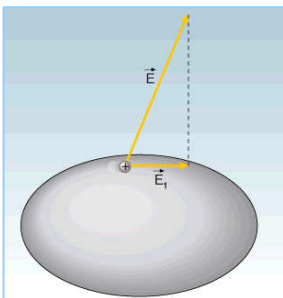
Nel caso di un conduttore isolato di forma sferica, la carica che gli viene data si distribuisce uniformemente sulla sua superficie e la sua densità sarà:

$$\sigma = \frac{Q}{4\pi \cdot r^2}$$

CAMPO ELETTRICO E POTENZIALE IN UN CONDUTTORE ISOLATO

a) Campo Elettrico

All'interno di un conduttore carico in equilibrio elettrostatico il campo è nullo ($\vec{E} = 0$).



Se così non fosse sulle cariche agirebbe una forza $\vec{F} = \vec{E} \cdot q$ che causerebbe un movimento continuo di cariche all'interno del conduttore e quindi il conduttore non potrebbe essere in equilibrio elettrostatico.

Sulla superficie esterna il vettore campo \vec{E} ha direzione \perp alla superficie.

Se \vec{E} risultasse obliquo alla superficie, il suo componente $\vec{E}_{//}$ parallelo alla superficie darebbe origine ad una forza \vec{F} che muoverebbe le cariche elettriche presenti sulla superficie del conduttore.

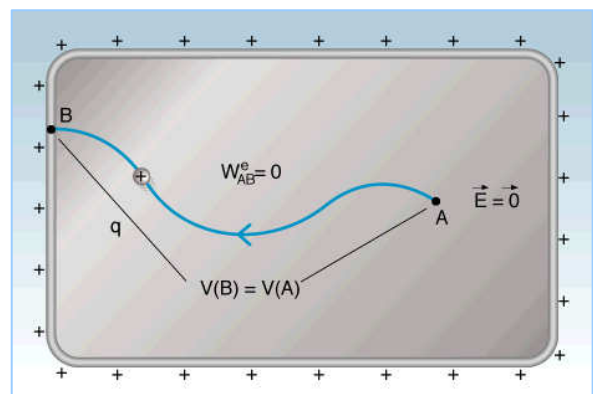
b) Potenziale Elettrico

È immediato riconoscere che, in condizioni di equilibrio elettrostatico, tutti i punti interni (e sulla superficie) di ciascun conduttore sono allo stesso potenziale. Se così non fosse esisterebbe tra due punti opportuni A e B una d.d.p. Le cariche positive poste in A e B si muoverebbero dal punto a potenziale maggiore al punto a potenziale minore, mentre quelle negative si muoverebbero in verso opposto.

Il conduttore non sarebbe in equilibrio.

Quindi:

Il potenziale è lo stesso in tutti i punti all'interno e all'esterno del conduttore carico in equilibrio elettrostatico.



La superficie esterna è una **superficie equipotenziale**.

PROBLEMA GENERALE DELL'ELETTROSTATICA

Il problema generale dell'elettrostatica consiste in:

Dati n conduttori carichi in equilibrio elettrostatico, determinare il valore del potenziale in tutti i punti dello spazio oppure il campo elettrico.

Si può dimostrare che la densità di carica superficiale in un punto P che appartiene alla superficie di un conduttore, è:

$$\sigma_P = E_P \cdot \varepsilon \quad \longrightarrow \quad \boxed{E_P = \frac{\sigma_P}{\varepsilon}} \quad \text{Teorema di Coulomb}$$

ε è la costante dielettrica assoluta del mezzo.

Quindi:

Il campo elettrico in prossimità di un conduttore è proporzionale alla densità di carica.

Conduttore sferico

1. La carica è distribuita uniformemente sulla superficie, quindi la *densità di carica superficiale* è costante e vale:

$$\sigma = \frac{Q}{4\pi r^2}$$

2. Il *campo* è nullo in tutti i punti interni ed è diretto perpendicolarmente alla superficie.
3. Il *campo* ha lo stesso modulo in tutti i punti equidistanti dal centro.
4. Il *campo* (nei punti esterni al conduttore) generato da tale conduttore è

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q}{r^2}$$

5. Il *potenziale* di un conduttore sferico carico è:

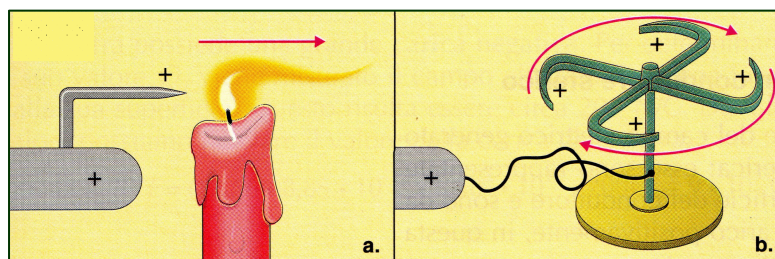
$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q}{r}$$

POTERE DISPERSIVO DELLE PUNTE

In prossimità delle punte di un conduttore carico, le cariche elettriche si addensano \Rightarrow la densità superficiale di carica è molto elevata \Rightarrow il campo elettrico, essendo direttamente proporzionale alla densità (*teor. di Coulomb*), è tanto intenso da accelerare gli ioni dell'aria che urtando con le molecole neutre dell'aria producono nuovi ioni.

Gli ioni con carica uguale a quella della punta sfuggiranno dal conduttore sotto l'azione della forza elettrica repulsiva.

L'effetto complessivo è un rapido scaricarsi della punta, mentre la zona antistante a essa diventa sede di un vero e proprio "vento" di ioni.



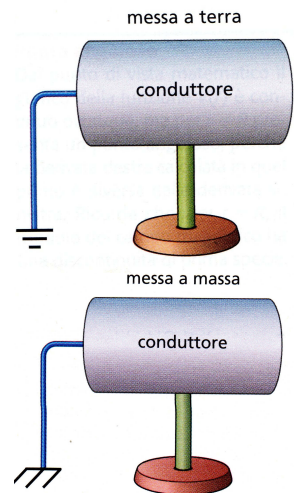
CONVENZIONI

Corpo conduttore "messo a terra".

Conduttore collegato con la terra (ha lo stesso potenziale della Terra).

Corpo conduttore "messo a massa".

Conduttore collegato elettricamente con un contenitore metallico (→ *gabbia di Faraday*) che lo contiene (ha lo stesso potenziale del contenitore metallico).



CAPACITA' DI UN CONDUTTORE

Se si dà una carica Q a un conduttore isolato, nelle cui vicinanze non esistono né altri conduttori, né cariche fisse, esso assume un potenziale V .

Se la carica diventa $2Q, 3Q, 4Q, \dots$ si nota che il potenziale diventa $2V, 3V, 4V, \dots \Rightarrow$ che il potenziale V è sempre proporzionale a Q .

Quindi:

Per un conduttore carico isolato è costante il rapporto tra la carica e il potenziale che esso può assumere

Il rapporto costante

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

ha il nome di **capacità elettrostatica** del conduttore.

C è indipendente sia da q sia da V , ma dipende dal mezzo materiale in cui è immerso il conduttore e dalla geometria del conduttore.

Nel Sistema Internazionale l'unità di capacità è il **farad** ossia la capacità di un conduttore che assume il potenziale di 1 volt quanto gli viene data la carica di 1 coulomb

$$1F = \frac{1C}{1V}$$

Il farad è molto grande e pertanto si usano spesso i suoi sottomultipli:

$$1 \text{ microfarad} = 10^{-6} \text{ farad} = 1 \mu\text{F}, \quad 1 \text{ picofarad} = 10^{-12} \text{ farad} = 1 \text{ pF}.$$

CAPACITÀ DI UNA SFERA CONDUTTRICE

Se la sfera è isolata ed è di raggio r il potenziale è $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r}$

e quindi $C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}} = 4\pi\epsilon_0 r \Rightarrow C = 4\pi\epsilon_0 r$

da cui si nota che C è direttamente proporzionale a r raggio della sfera.

CONDENSATORI

(serbatoi di cariche)

Nel considerare la capacità di un conduttore si è supposto che questo fosse isolato, cioè lontano da ogni altro conduttore e si è visto che la sua capacità è sempre molto piccola. Se invece si avvicina al primo conduttore un altro conduttore scarico, questo si carica per induzione. Le cariche indotte alterano il potenziale del primo conduttore e lo fanno diminuire. Si ha così un aumento della capacità del primo conduttore ($C = \frac{Q}{V}$).

In generale:

La capacità di un conduttore aumenta se vicino ad esse si pone un secondo conduttore scarico.

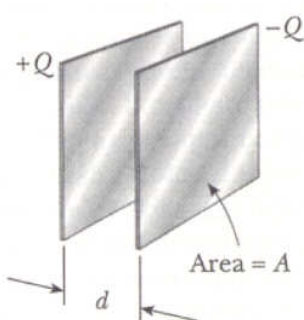
Un dispositivo in grado di possedere una grande carica pur avendo un piccolo potenziale si chiama *condensatore*.

Un **condensatore** è un sistema fisico costituito da due conduttori (detti *armature*) isolati tra i quali si sia stabilita una differenza di potenziale. I due conduttori sono disposti in modo che quando su uno è posta la carica $+Q$, l'altro, per induzione, acquista la carica $-Q$.



CONDENSATORE PIANO

Un *condensatore piano* è formato da due lastre metalliche (*armature*) parallele, poste a una distanza piuttosto piccola rispetto alla loro estensione.



Caricando un'armatura positivamente e collegando l'altra a terra, questa si carica per induzione negativamente.

La prima armatura passa dal potenziale nullo al potenziale V , La seconda, che è messa a terra, rimane al potenziale nullo della terra. Quindi il potenziale V della prima armatura è la d.d.p. tra le due armature del condensatore.

LA CAPACITÀ DI UN CONDENSATORE PIANO

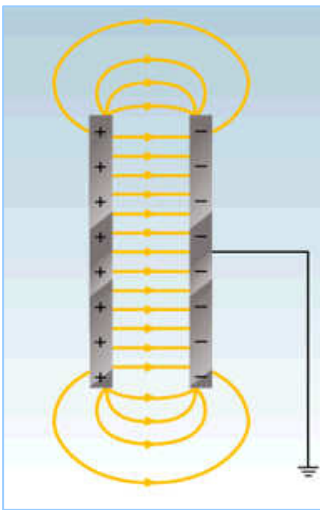
Dagli esperimenti fatti si è visto che la carica presente sull'armatura positiva di un condensatore è direttamente proporzionale alla d.d.p. esistente tra le due armature

Quindi, la capacità sarà:

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

dove ΔV indica la differenza di potenziale tra le due armature.

CAMPO ELETTRICO GENERATO DA UN CONDENSATORE PIANO



Nello spazio tra le due armature, e attorno a esse, si crea un campo elettrico.
 All'esterno del condensatore risulta $E=0$.
 All'interno delle armature il campo è uniforme, quindi:

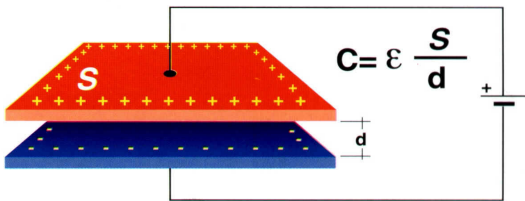
$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Si può far vedere che

$$C = \epsilon \frac{S}{d}$$

Infatti:

$$\Delta V = E \cdot d = \frac{\sigma}{\epsilon} d = \frac{Q}{S} \frac{d}{\epsilon} \Rightarrow C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{Q}{\frac{Qd}{S\epsilon}} = \frac{S\epsilon}{d}$$



Da cui si vede che la capacità dipende solamente dalle caratteristiche geometriche del condensatore.

COLLEGAMENTO DI CONDENSATORI

Nei circuiti elettrici compaiono spesso due o più condensatori collegati tra loro, il loro effetto complessivo è descritto dalla *capacità equivalente*.

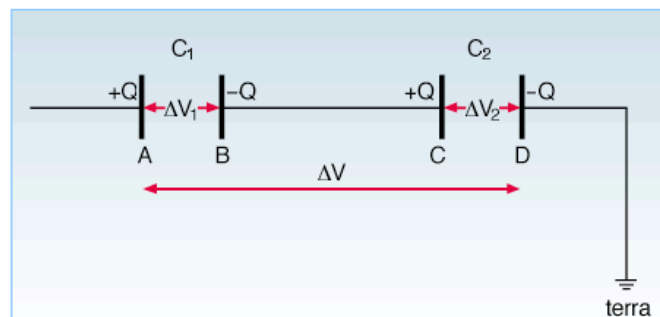
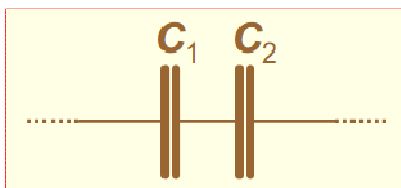
La *capacità equivalente* è la capacità del condensatore il cui effetto è equivalente a quello delle capacità dei due o più condensatori inseriti nel circuito.

In un sistema di componenti elettrici il simbolo grafico usato per indicare un condensatore è:



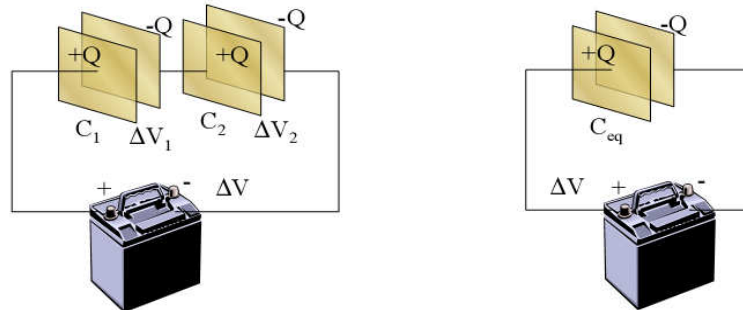
1. Collegamento in serie

Due o più condensatori si dicono *collegati in serie* quando l'armatura negativa (positiva) di uno di essi è collegata elettricamente a quella positiva (negativa) del successivo.



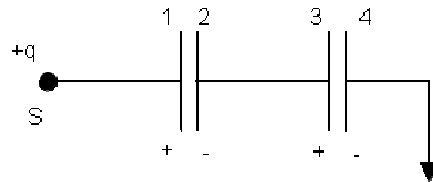
La capacità del gruppo di condensatori (*capacità equivalente*) si ricava dalla relazione:

$$\frac{1}{C_t} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$



Dimostrazione

Per dimostrare la validità della formula viene posta una carica $+q$ sull'armatura **1** del primo condensatore e si analizza come si carica il gruppo.



Per effetto del collegamento fra i due condensatori, l'armatura **2** e l'armatura **3** costituiscono un unico conduttore e, poiché le armature di un condensatore sono a distanza molto piccola, se confrontata con le loro dimensioni, questo conduttore subisce induzione completa da parte dell'armatura **1**. Sull'armatura **2** si raccoglie la carica $-q$ e sull'armatura **3** la carica $+q$.

Con considerazioni analoghe si giustifica la comparsa di una carica $-q$ sull'armatura **4** e la dispersione di una carica $+q$ al suolo.

Se ΔV_1 è la d.d.p. tra le armature del primo condensatore e ΔV_2 quella tra le armature del secondo, la d.d.p. fra l'armatura **1** e la **4** è

$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2$$

perché le armature **2** e **3** sono allo stesso potenziale.

Dalla definizione di capacità segue che

$$\Delta V_1 = \frac{q}{C_1}, \quad \Delta V_2 = \frac{q}{C_2} \quad \text{e} \quad \Delta V = \frac{q}{C_t} \Rightarrow \frac{q}{C_t} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2}$$

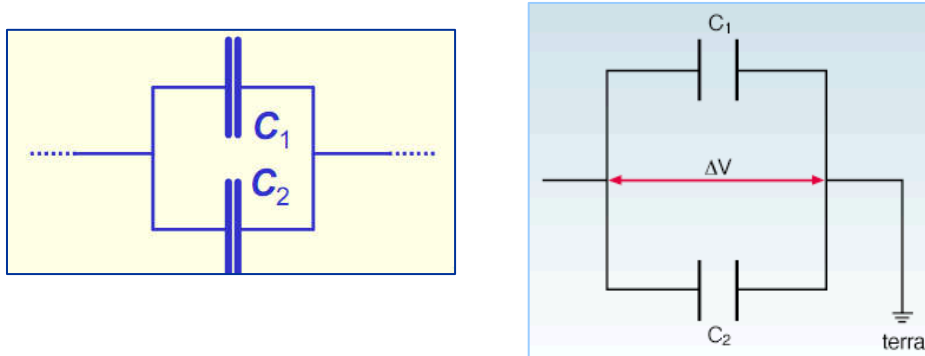
dividendo per $q \Rightarrow \frac{1}{C_t} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$

Se i condensatori sono uguali $\frac{1}{C_t} = \frac{2}{C} \Rightarrow C_t = \frac{C}{2}$

Conseguenza: La capacità di un collegamento in serie di condensatori è sempre minore della capacità dei singoli condensatori.

2. Collegamento in parallelo

Due o più condensatori si dicono *collegati in parallelo* quando l'armatura negativa (positiva) di uno di essi è collegata elettricamente a quella negativa (positiva) del successivo.



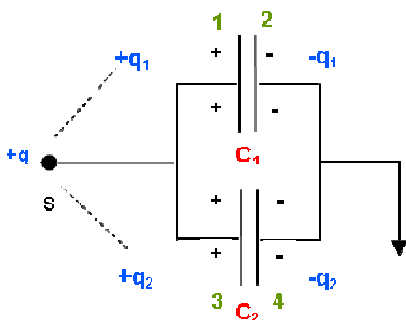
La carica q si ripartisce in q_1 e q_2 e per induzione si ha $-q_1$ e $-q_2$.

Se C_1 e C_2 sono le capacità dei due condensatori, il gruppo in parallelo ha capacità

$$C_t = C_1 + C_2 .$$

Dimostrazione

Si consideri che dalla sorgente S sia trasmessa la carica $+q$; questa si ripartisce tra le armature 1 e 3 dei due condensatori collegate con S .



Sia $+q_1$ la carica trasmessa sull'armatura 1 di C_1 e $+q_2$ la carica trasmessa sull'armatura 3 di C_2 ; ovviamente

$$q = q_1 + q_2 .$$

Per induzione si accumulano le cariche $-q_1$ e $-q_2$ sulle armature 2 e 4, mentre $+q$ si disperde a terra.

Fra le armature dei due condensatori esiste la stessa d.d.p. perché le armature corrispondenti sono collegate tra loro.

Si ottiene

$$q_1 = C_1 \Delta V, \quad q_2 = C_2 \Delta V .$$

L'insieme dei due condensatori equivale a un unico condensatore di capacità C , il quale, immagazzinata una carica q_1 ha una d.d.p. ΔV tra le armature.

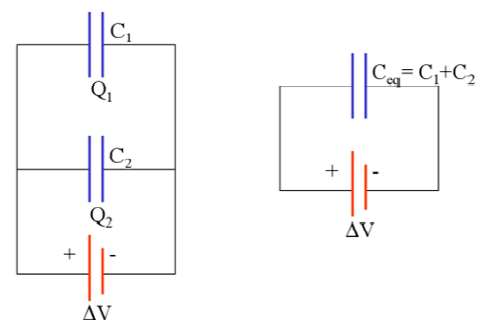
Per l'unico condensatore si ha

$$q = C_t \Delta V$$

Sostituendo in $q = q_1 + q_2$.

si ottiene $C_t \Delta V = C_1 \Delta V + C_2 \Delta V$,

e dividendo per ΔV si ha $C_t = C_1 + C_2$.



Se i condensatori sono uguali si ha:

$$C_t = 2C .$$

Se i condensatori uguali in parallelo sono n, si ottiene

$$C_t = n C .$$