

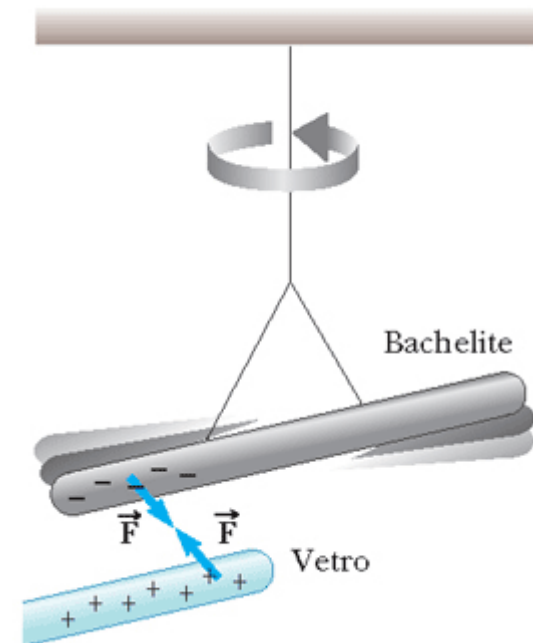
Elettricità

Carica elettrica

Gli esperimenti dimostrano che vi sono due differenti specie di cariche elettriche, chiamate **positiva** e **negativa**. Una bacchetta di bachelite (o plastica) che è stata strofinata con la lana (o un materiale acrilico) viene sospesa a un filo.

Avviciniamo una bacchetta di vetro strofinata con lana alla bacchetta di bachelite

La bacchetta di bachelite viene attirata verso la bacchetta di vetro.

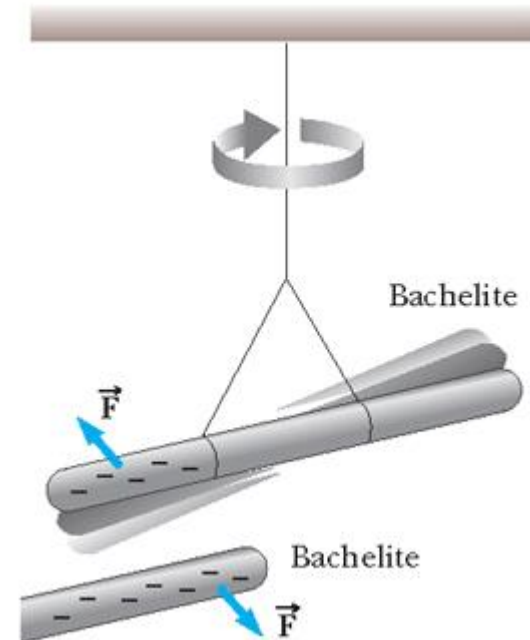


Carica elettrica

Se due bacchette di bachelite cariche (o due bacchette di vetro cariche) vengono avvicinate l'una all'altra, la forza fra esse è **repulsiva**.

Queste osservazioni dimostrano che la bachelite ed il vetro hanno cariche di specie diversa.

Cariche dello stesso segno si respingono mentre cariche di segno opposto si attraggono.



Carica elettrica: trasferimento per strofinio

Quando due oggetti inizialmente neutri vengono **caricati strofinandoli insieme, nel processo non vengono create cariche.**

Gli oggetti diventano carichi in quanto elettroni vengono ***trasferiti*** da un corpo all'altro.

Un oggetto guadagna una certa quantità di carica negativa mentre l'altro perde la stessa quantità di carica negativa e quindi rimane con una carica positiva. La sola variazione riguarda la carica che è stata trasferita tra i due oggetti.

Principio di conservazione della carica elettrica:
la carica netta in un sistema isolato si conserva sempre.

Carica elettrica

Il **nucleo** è composto da due tipi di particelle: i **protoni**, con **carica positiva** $q_p = -q_e$, e i **neutroni**, privi di carica.

Un atomo di **numero atomico Z** possiede **Z protoni** nel nucleo (carica del nucleo $Q = Z \cdot q_p$) e **Z elettroni** intorno al nucleo

Particella	Carica	Massa
Elettrone	$q_e = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$	$m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$
Protone	$q_p = +1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$	$m_p = 1,673 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Neutrone	$q_n = 0$	$m_n = 1,675 \times 10^{-27} \text{ kg}$

Carica elettrica

In condizioni normali ogni atomo è neutro.

Accade però che in alcuni corpi gli elettroni possono venire rimossi dai loro atomi come succede quando un panno di lana viene strofinato su una bacchetta di plastica. In questo modo uno dei due corpi si carica negativamente e l'altro positivamente.

La carica elettrica, NON VIENE CREATA NÉ DISTRUTTA

Principio di conservazione della carica elettrica

carica elettrica Q, q unità di misura S.I. coulomb (C) \equiv ampere x secondo

C è la quantità di carica elettrica trasportata da una corrente di 1 ampere in 1 sec

Q multiplo intera carica elettrica elementare

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

Carica elettrica: trasferimento per contatto

- Nei corpi **conduttori** esistono **cariche elettriche libere di muoversi**. Se si trasferisce carica elettrica a un conduttore, la carica si ridistribuisce su di esso.
- Nei corpi **isolanti** non esistono cariche libere di muoversi. Elettrizzando un isolante, la carica trasferita resta localizzata.
- I materiali **semiconduttori** hanno proprietà di conduzione elettrica intermedie e sono alla base di tutti i **dispositivi elettronici**

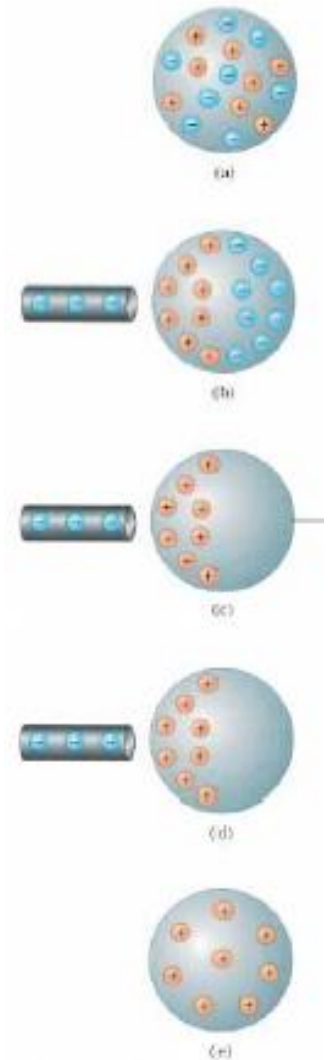
Carica elettrica

**Elettrizzazione per strofinio,
per contatto, e
per induzione**

Carica elettrica

Nel **processo di induzione di carica** sulla sfera, la bacchetta di bachelite carica non perde alcuna delle sue cariche negative, poiché essa non viene mai in contatto con la sfera.

La carica di un oggetto per induzione non richiede alcun contatto con l'oggetto che induce la carica. Ciò è diverso dal processo di carica di un oggetto mediante strofinio, che richiede il contatto fisico fra i due oggetti.



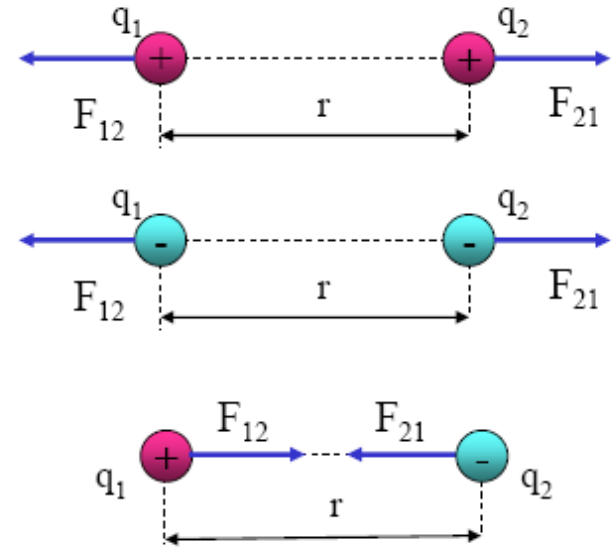
Carica elettrica e forza di Coulomb

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

$$\frac{1}{4\pi \epsilon_0} \approx 9 \cdot 10^9 \text{ C}^{-2} \text{ N m}^2$$

ϵ_0 = costante dielettrica del vuoto = $8.86 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$

ϵ_r = costante del mezzo relativa al vuoto



**forza attrattiva per
cariche di segno
opposto**

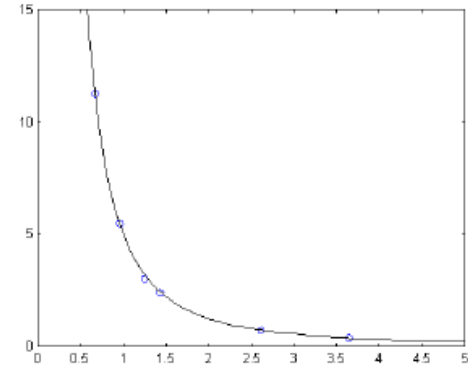
**forza repulsiva per
cariche di segno uguale**

Carica elettrica e forza di Coulomb

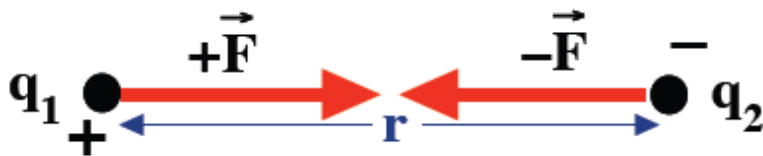
$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

$\epsilon_r = 1$ nel vuoto

$\epsilon_r > 1$ nella materia

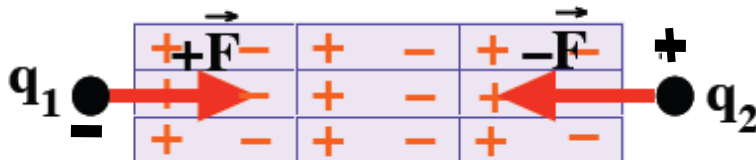


distanza r tra 2 cariche



vuoto

La forza Coulombiana nella materia è meno intensa che nel vuoto (a parità di q ed r)



materia

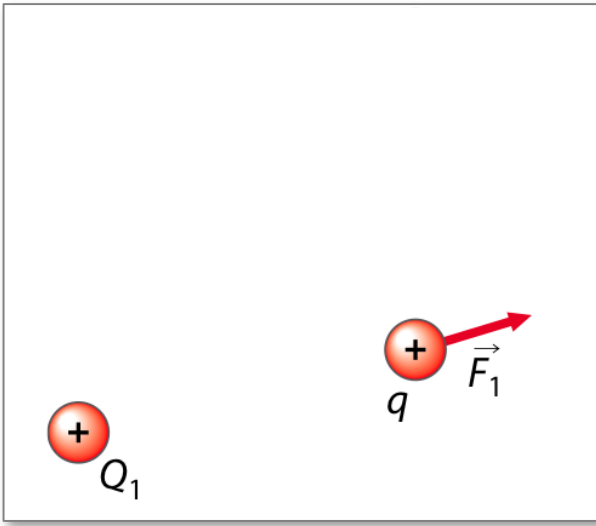
Carica elettrica e forza di Coulomb

ϵ_r : costante dielettrica relativa del mezzo.

Tabella 1 Costanti dielettriche relative di alcuni materiali					
Gas		Liquidi		Solidi	
Aria	1,00059	Petrolio	2,1	Paraffina	2,1
Metano	1,00094	Olio di silicone	2,2	Plexiglas	3,4
Anidride carbonica	1,00097	Benzolo	2,3	Mica	3 ÷ 6
Elio	1,00007	Alcool etilico	28	Porcellana	4 ÷ 7
Idrogeno	1,00027	Acqua	80	Vetro	4 ÷ 15

Carica elettrica e forza di Coulomb

Principio di sovrapposizione: in un sistema di cariche, la **forza su una carica q** è la **somma vettoriale delle forze** esercitate su q da ciascuna delle altre cariche del sistema

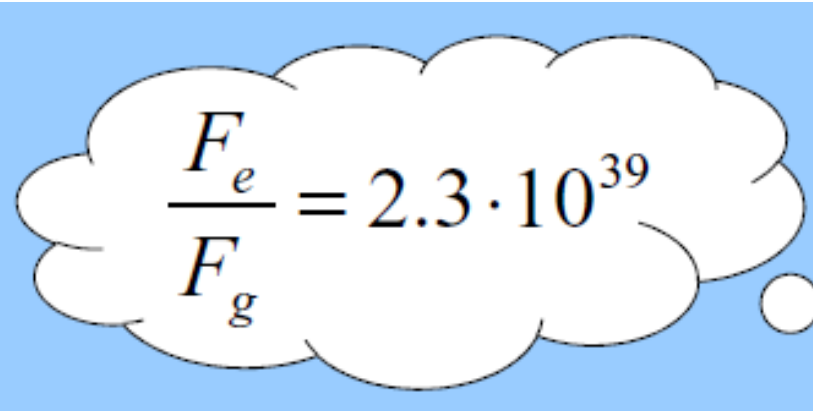


Esercizio 1

L'elettrone e il protone in un atomo di idrogeno si trovano a una distanza media $r = 0.53 \cdot 10^{-10} \text{ m}$, che coincide con le dimensioni dell'atomo. Calcolare l'intensità della forza gravitazionale e della forza elettrica tra il protone e l'elettrone.

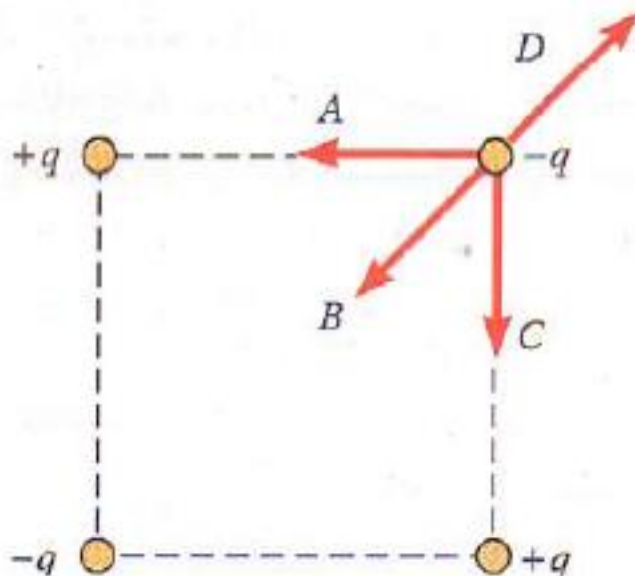
$$F_g = G \frac{m_e m_p}{r^2} = \frac{6.67 \cdot 10^{-11} \cdot 9.11 \cdot 10^{-31} \cdot 1.67 \cdot 10^{-27}}{(0.53 \cdot 10^{-10})^2} = 3.61 \cdot 10^{-47} \text{ N}$$

$$F_e = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{9 \cdot 10^9 (1.6 \cdot 10^{-19})^2}{(0.53 \cdot 10^{-10})^2} = 8.2 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$


$$\frac{F_e}{F_g} = 2.3 \cdot 10^{39}$$

Esercizio 3

Considera le quattro cariche puntiformi poste ai vertici del quadrato mostrato in figura. Quale vettore ha la direzione e il verso della forza che agisce sulla carica in alto a destra?



Concetto di Campo

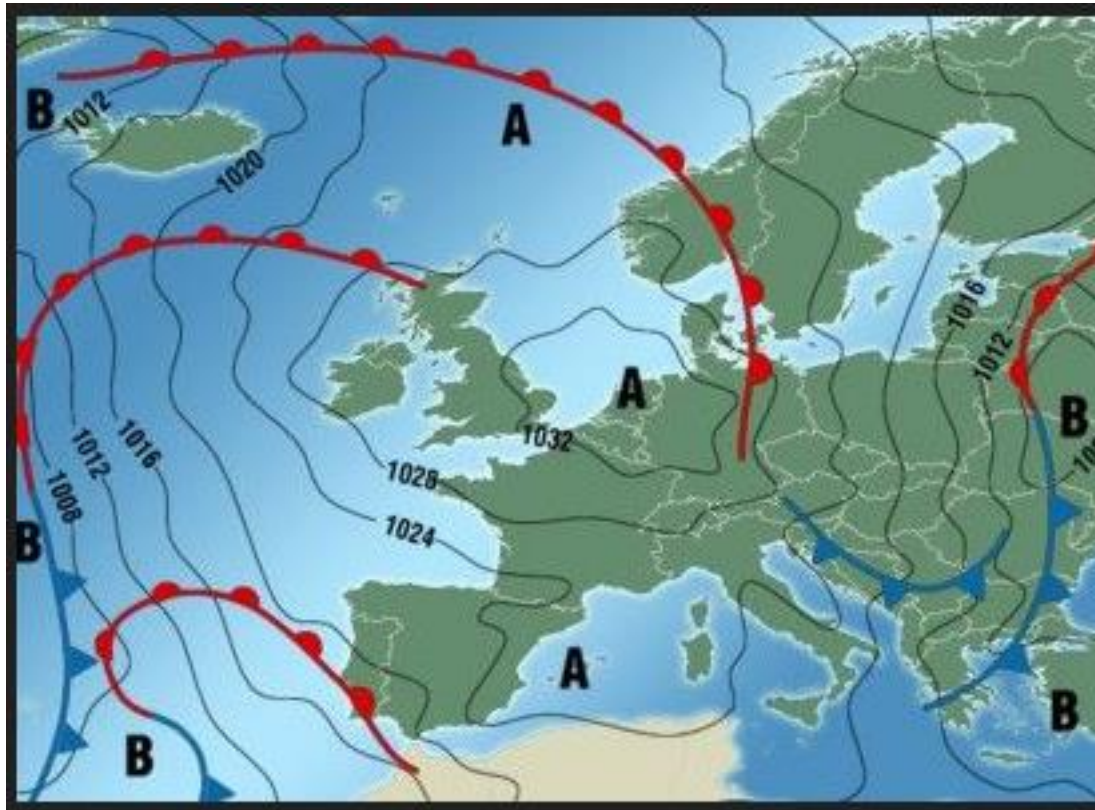
Il fatto che un corpo possa influenzare a distanza lo stato di moto di un altro corpo, porta a ritenere che la regione di spazio in cui i due corpi giacciono si trovi in uno stato particolare che chiamiamo campo.

Il primo pensiero che viene è che questo stato sia un attributo della materia che riempie lo spazio. Il fatto che il suono richieda un mezzo di sostegno, quale l'aria, ha fatto pensare in passato che, anche per le azioni elettriche, magnetiche e gravitazionali che si propagano nel vuoto, dovesse esistere un qualche supporto. Tuttavia le esperienze eseguite per cercare di metterne in luce le proprietà, portarono alla conclusione che un simile mezzo non esiste.

A partire dagli inizi del '900 si iniziò a pensare che le azioni elettromagnetiche e gravitazionali, che si propagano nello spazio vuoto, non hanno affatto bisogno di un mezzo di sostegno e che il campo gravitazionale e quello elettromagnetico sono semplicemente un modo di essere, una qualità dello spazio in quanto tale.

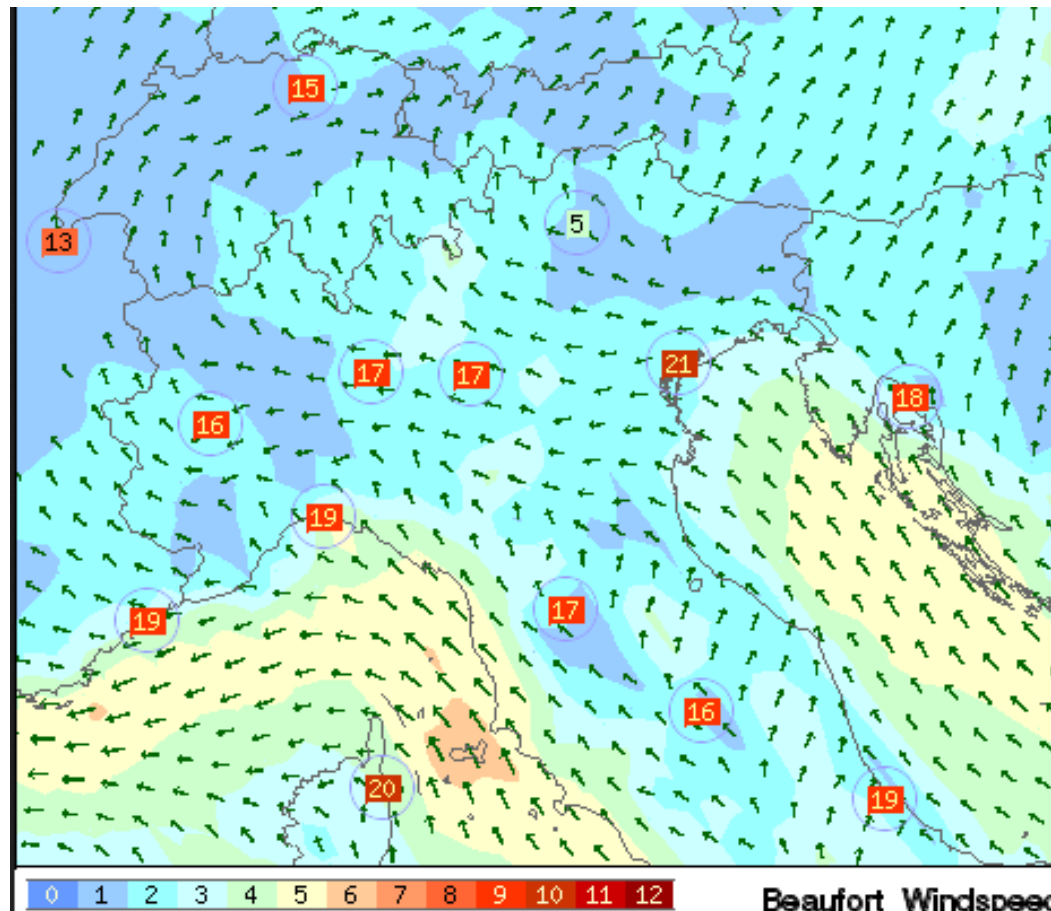
Concetto di Campo

- **Campo scalare:** ad ogni punto dello spazio rappresentato è associato il valore di una grandezza scalare: la pressione



Concetto di Campo

• **Campo vettoriale:** ad ogni punto dello spazio rappresentato è associato il valore di un vettore: la velocità dei venti.



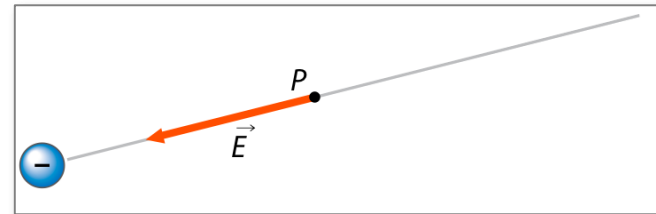
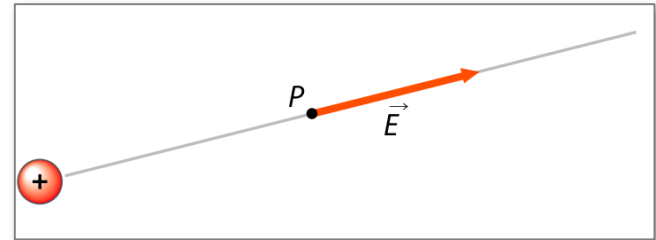
Campo elettrostatico

Il campo elettrico generato da una carica puntiforme Q è un vettore che in un punto P a distanza r da Q ha:

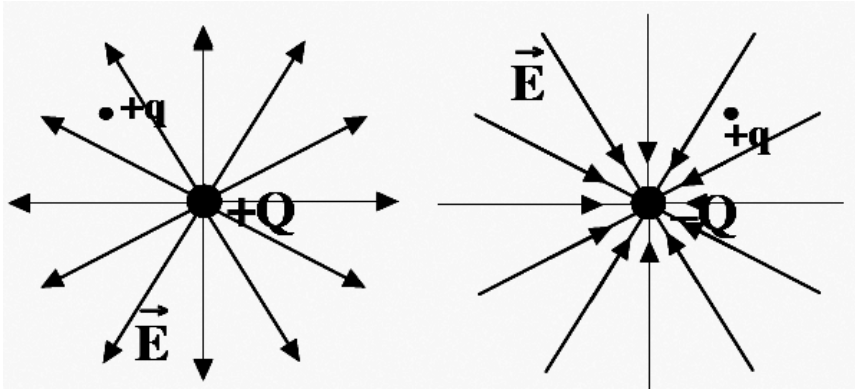
Modulo: $E = \frac{F}{q}$

Direzione: la congiungente Q e P

Verso: **uscente** se la carica sorgente del campo Q è **positiva**,
entrante se Q è **negativa**



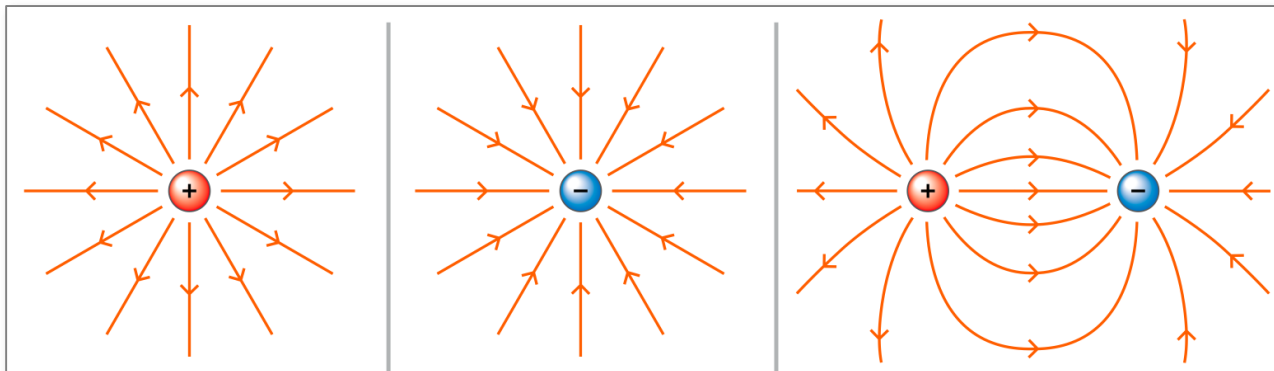
Campo elettrostatico



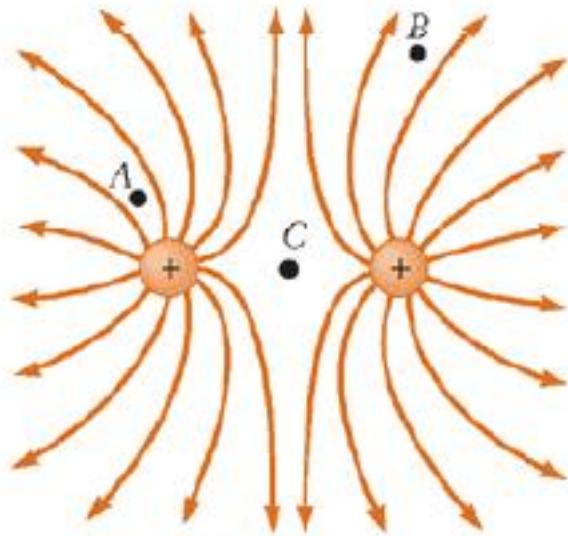
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad \vec{E} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \frac{Q}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

Rappresentazione tramite **LINEE DI FORZA** o **LINEE DI CAMPO ELETTRICO**

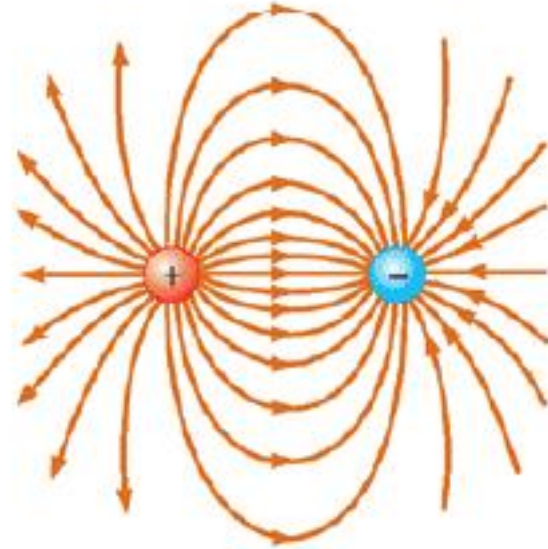
- La direzione del campo elettrico in un punto è tangente alla linea di campo.
- Le linee di campo elettrico vanno dalle cariche positive verso le cariche negative.
- Linee ravvicinate, maggiore è l'intensità del campo in quella regione
- Le linee di campo non si incrociano mai.



Campo elettrostatico



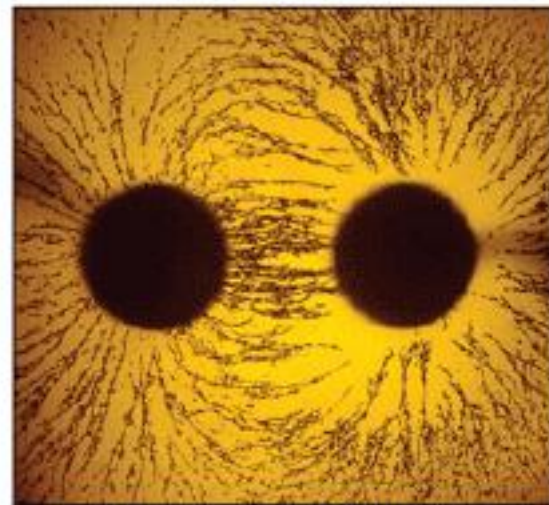
(a)



(a)



(Douglas C. Johnson/Cat Poly Pomona)

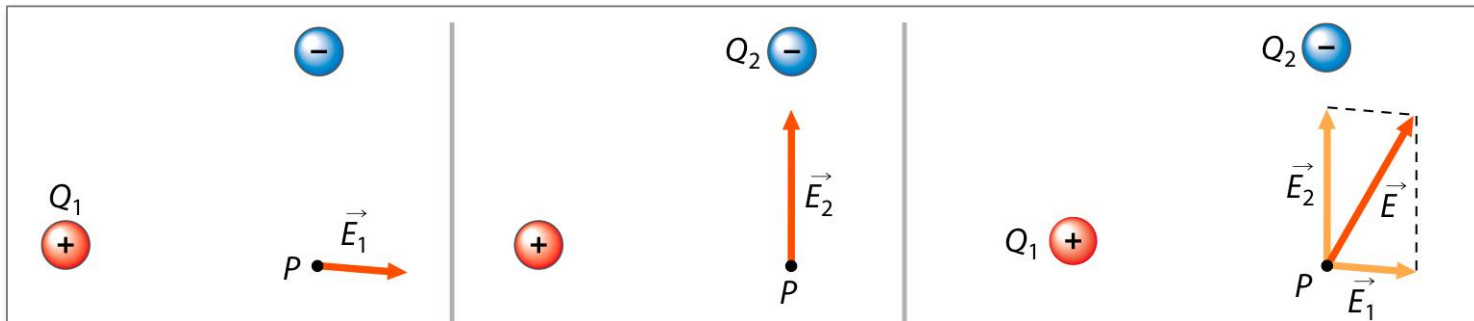


(Douglas C. Johnson/Cat Poly Pomona)

Campo elettrostatico

- Il campo elettrico generato da un **sistema di cariche puntiformi** è la **somma vettoriale** dei campi generati dalle singole cariche

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots$$



Campo elettrostatico

Campo di forze conservative

Ad ogni punto dello spazio è possibile assegnare una **energia potenziale elettrostatica U** , purché ci siano almeno due cariche presenti: *la carica che “genera” il campo e la carica di prova.*

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

Potenziale elettrico

POTENZIALE ELETTRICO, potenziale associato al campo elettrico creato dalla distribuzione di carica

Il potenziale elettrico è definito come l'energia potenziale fornita dal campo elettrostatico $E(r)$ per unità di carica che subisce il campo:

$$V(r) = \frac{U(r)}{q} \quad \text{Unità di misura nel SI: Volt (V) = [J/C]}$$

Spostare una carica q per una differenza di potenziale ΔV richiede (o libera)

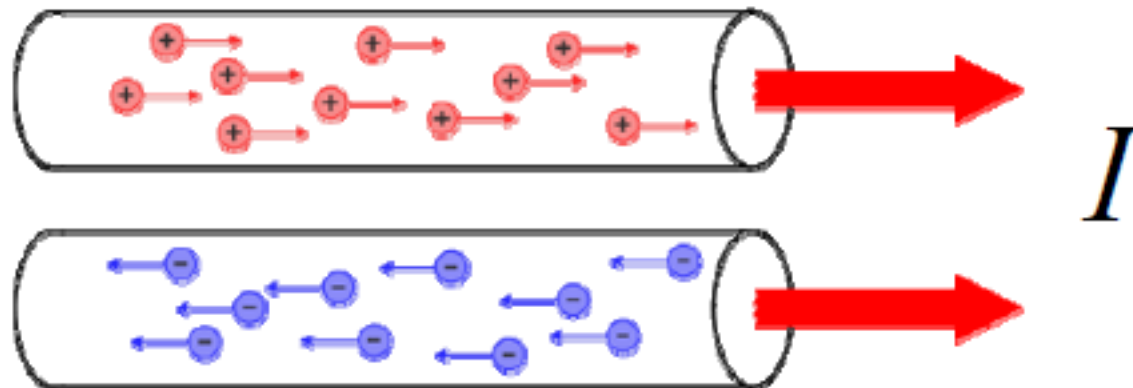
una quantità di energia pari a $q \cdot \Delta V$

Corrente elettrica nei conduttori

- In un conduttore in equilibrio elettrostatico le cariche di conduzione si muovono in maniera disordinata per effetto dell'agitazione termica.
- Se si considera una qualsiasi sezione del conduttore, poichè i portatori di carica si muovono in modo casuale, il flusso netto di carica attraverso tale sezione è nullo.
- Per avere una corrente elettrica stazionaria è necessario che ci sia un flusso netto di carica attraverso una sezione di un conduttore.
 - Tale flusso netto di carica può essere mantenuto applicando un campo elettrico all'interno del conduttore.

Portatori di carica e verso della corrente

- Nei conduttori sono presenti cariche di conduzione positive, negative o di entrambi i segni (elettroni di conduzione nei metalli, ioni positivi e negativi nelle soluzioni, ecc.) che possono muoversi liberamente nel materiale
- Il verso della corrente elettrica è quello in cui si muovono le cariche positive:
 - Se i portatori di carica sono carichi positivamente, il verso della corrente coincide con quello in cui si muovono i portatori di carica
 - Se i portatori di carica sono carichi negativamente, il verso della corrente è opposto rispetto a quello del moto dei portatori di carica



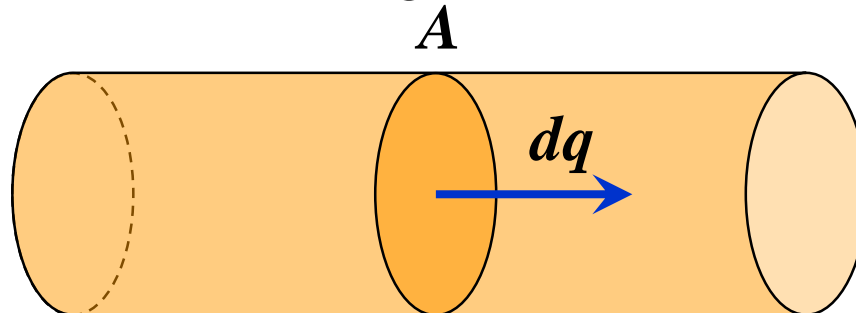
Corrente elettrica

Si consideri una sezione A di un conduttore e sia dq la carica elettrica totale che attraversa la sezione A in un intervallo di tempo dt

- Si definisce la corrente elettrica come rapporto:

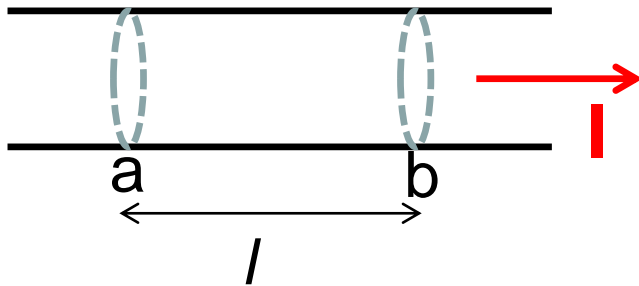
$$i = \frac{dq}{dt}$$

- La corrente elettrica è una grandezza scalare



Unità di misura A (Ampere) = carica di 1 Coulomb attraversa una superficie in 1 s

Leggi di Ohm

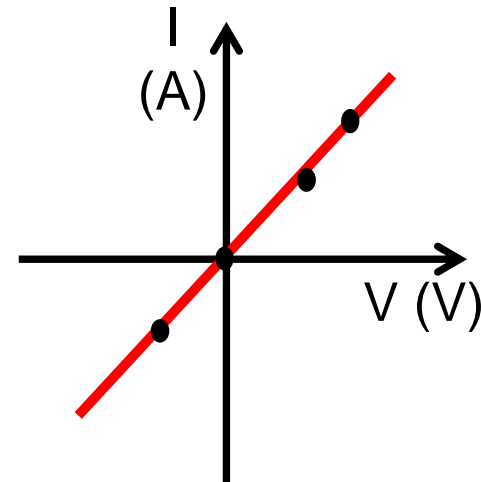


Conduttore in equilibrio elettrostatico: $\mathbf{E} = 0$
Quando circola corrente $\mathbf{E} \neq 0 \Rightarrow$
Corrente nella direzione di \mathbf{E}

$V_a - V_b = V$ Si osserva che V ed I sono proporzionali

Costante di proporzionalità: R

$$R = \frac{V}{I}$$



Unità di misura nel S.I.: Ohm (Ω).

Se la differenza di potenziale di 1V ai capi di un conduttore determina una corrente di 1A, allora la resistenza del conduttore è pari a 1 Ω

Leggi di Ohm

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

ρ = resistività

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \text{conducibilità}$$

ρ dipende dalla temper

20°	Sostanza	Resistività ($\Omega \text{ m}$)
Conduttori	Argento	1.47×10^{-8}
	Rame	1.72×10^{-8}
	Alluminio	2.63×10^{-8}
Semiconduttori	Germanio	0.60
	Silicio	2300
Isolanti	Zolfo	1×10^{15}
	Vetro	$10^{10} \div 10^{14}$
Conduttori ionici	Fluidi corporei	circa 0.15

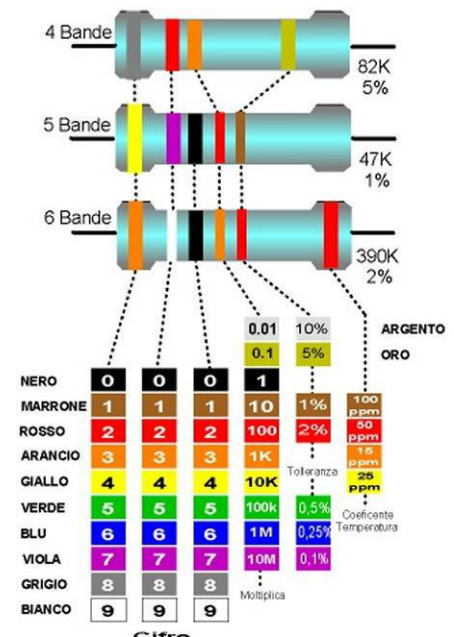
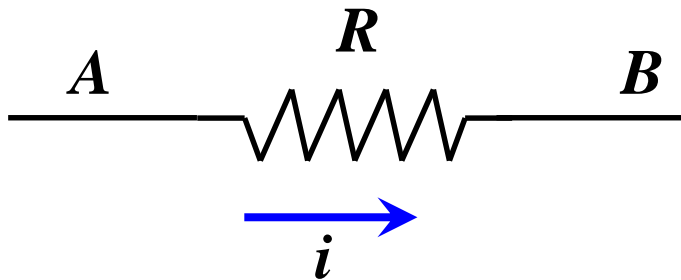
Quanto vale la resistenza di un conduttore metallico in cui circola una corrente di 6 A sotto l'azione di una differenza di potenziale pari a 120V?

$$R \equiv \frac{\Delta V}{I} = \frac{120V}{6A} = 20 \Omega$$

Cosa ne è della resistenza se si raddoppia la differenza di potenziale ai capi del conduttore?

Resistenza

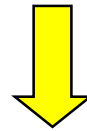
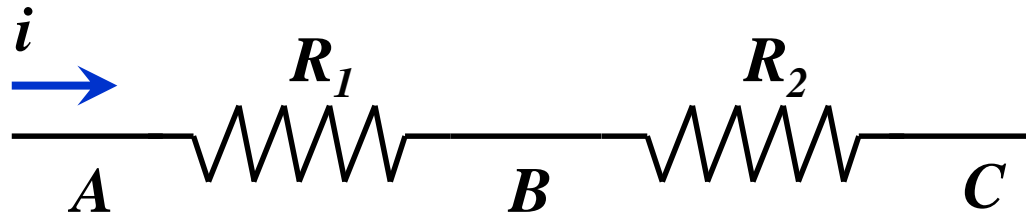
- Applicando la stessa d.d.p. ai capi di diversi conduttori ne risultano correnti diverse
- La resistenza rappresenta quindi la tendenza del conduttore ad opporsi al flusso delle cariche che lo attraversano
- I conduttori per i quali la corrente che fluisce nel conduttore è proporzionale alla d.d.p. applicata sono detti conduttori ohmici



Resistenze in serie

Il collegamento in serie si realizza concatenando le resistenze

Le resistenze collegate in serie sono attraversate dalla stessa corrente

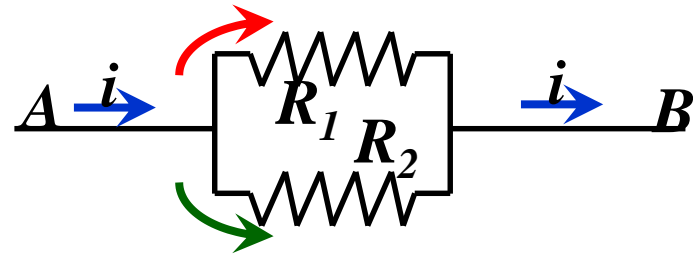


$$R_{\text{eq}} = R_1 + R_2$$

$$R_{\text{eq}} = R_1 + R_2 + \dots + R_N$$

Resistenze in parallelo

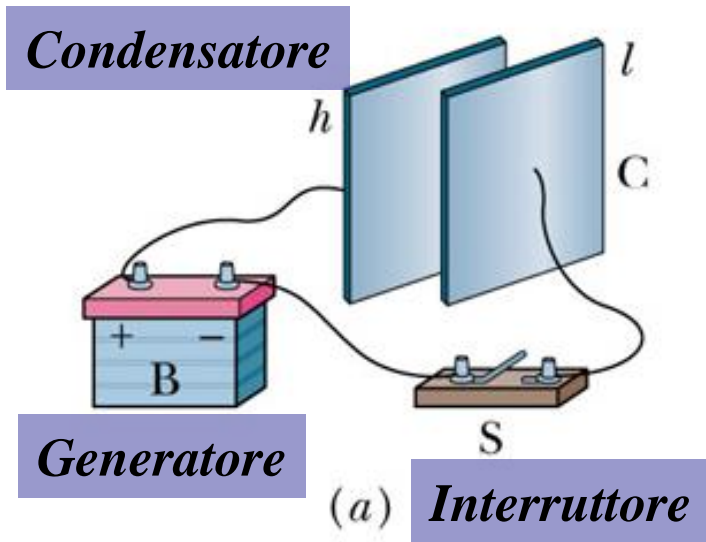
- Il collegamento in parallelo si realizza collegando tutte le resistenze alla stessa d.d.p.



$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Leftrightarrow R_{\text{eq}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

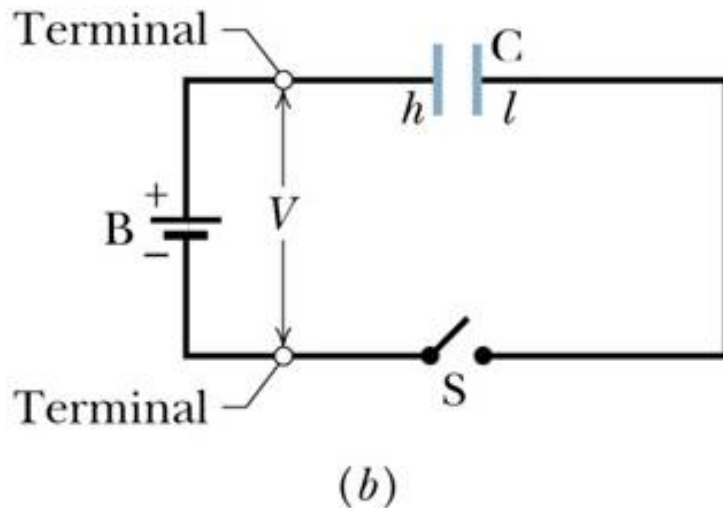
$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N}$$

Carica di un condensatore



- Il generatore è un dispositivo che mantiene una differenza di potenziale costante tra i suoi poli.

- Chiudendo l'interruttore si ha un flusso di elettroni (corrente) nel circuito, che porta ad un accumulo di carica sulle armature del condensatore.



- Il flusso di elettroni si arresta quando le cariche presenti sulle armature instaurano una differenza di potenziale che è pari a quella tra i poli del generatore

Capacità del condensatore

In ogni condensatore la carica immagazzinata sulle armature è proporzionale alla differenza di potenziale applicata tra di esse:

$[C]=[I^2T^4M^{-1}L^{-2}]$ Farad = Coulomb/Volt

$$q = C\Delta V$$

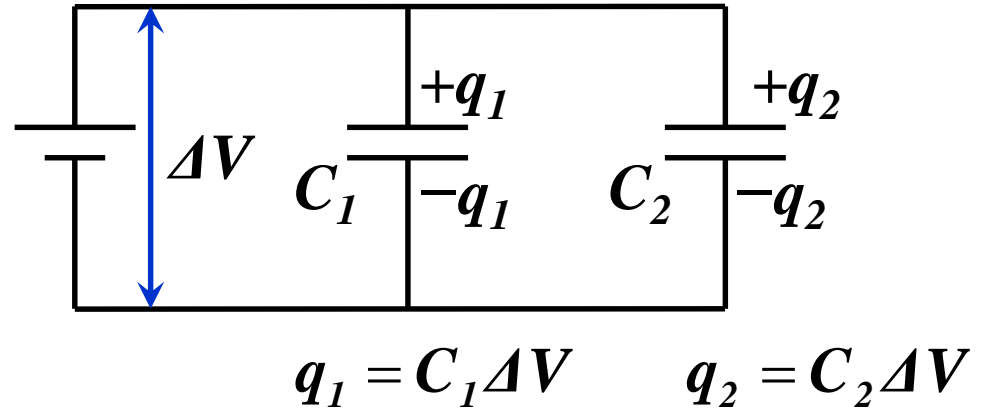
La capacità elettrostatica rappresenta la capacità del condensatore di immagazzinare carica sulle sue armature: quanto maggiore è C tanto più grande è la carica che può essere immagazzinata a parità di d.d.p. applicata.

Tabella 1
Sottomultipli del farad

1 mF = 10^{-3} F	millifarad
1 μ F = 10^{-6} F	microfarad
1 nF = 10^{-9} F	nanofarad
1 pF = 10^{-12} F	picofarad

Condensatori in parallelo

Il collegamento in parallelo si realizza collegando tutti i condensatori alla stessa d.d.p.



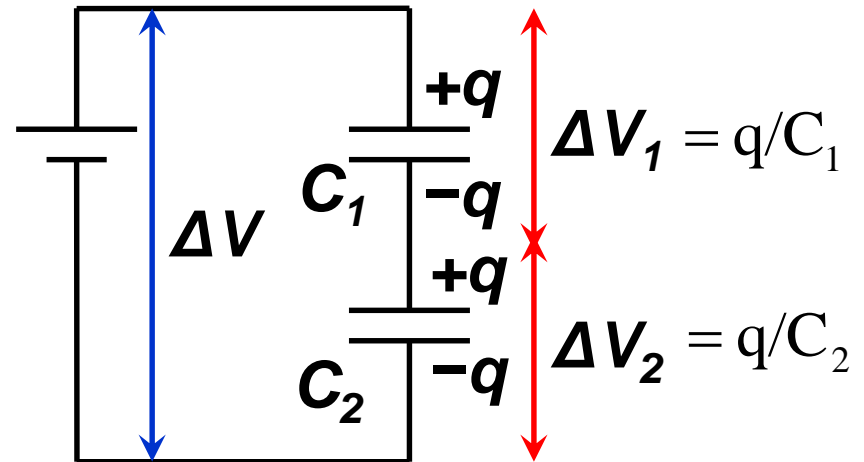
Capacità equivalente:

$$C_{\text{eq}} = C_1 + C_2$$

$$C_{\text{eq}} = C_1 + C_2 + \dots + C_N$$

Condensatori in serie

Il collegamento in serie si realizza concatenando le armature di tutti i condensatori. In questo caso le cariche dei vari condensatori sono le stesse



$$\frac{1}{C_{\text{eq}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \Rightarrow C_{\text{eq}} = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)^{-1}$$

$$\frac{1}{C_{\text{eq}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_N}$$