

# CAPITOLO 1

# *elettrizzazione*

- Strofinio
- Contatto
- Induzione elettrostatica
- polarizzazione

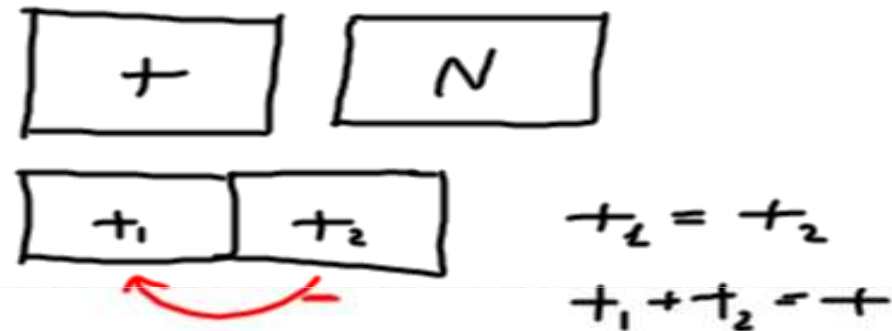
## *Conduttori ed isolanti*

- L'elettrone sull'ultima orbita, nei conduttori, non è legato al buco di energia potenziale del suo nucleo, essendo così libero di muoversi all'interno del reticolo
- Negli isolanti è legato al buco di energia potenziale del suo nucleo, non essendo così libero di muoversi nel reticolo.

# Contatto, induzione elettrostatica e polarizzazione

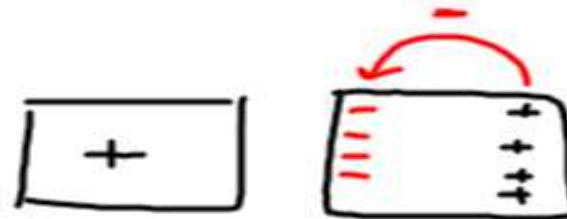
## CONTATTO

prevede un oggettivo passaggio di cariche da un corpo ad un altro



## IND. ELET.

le cariche si spostano all'interno del corpo



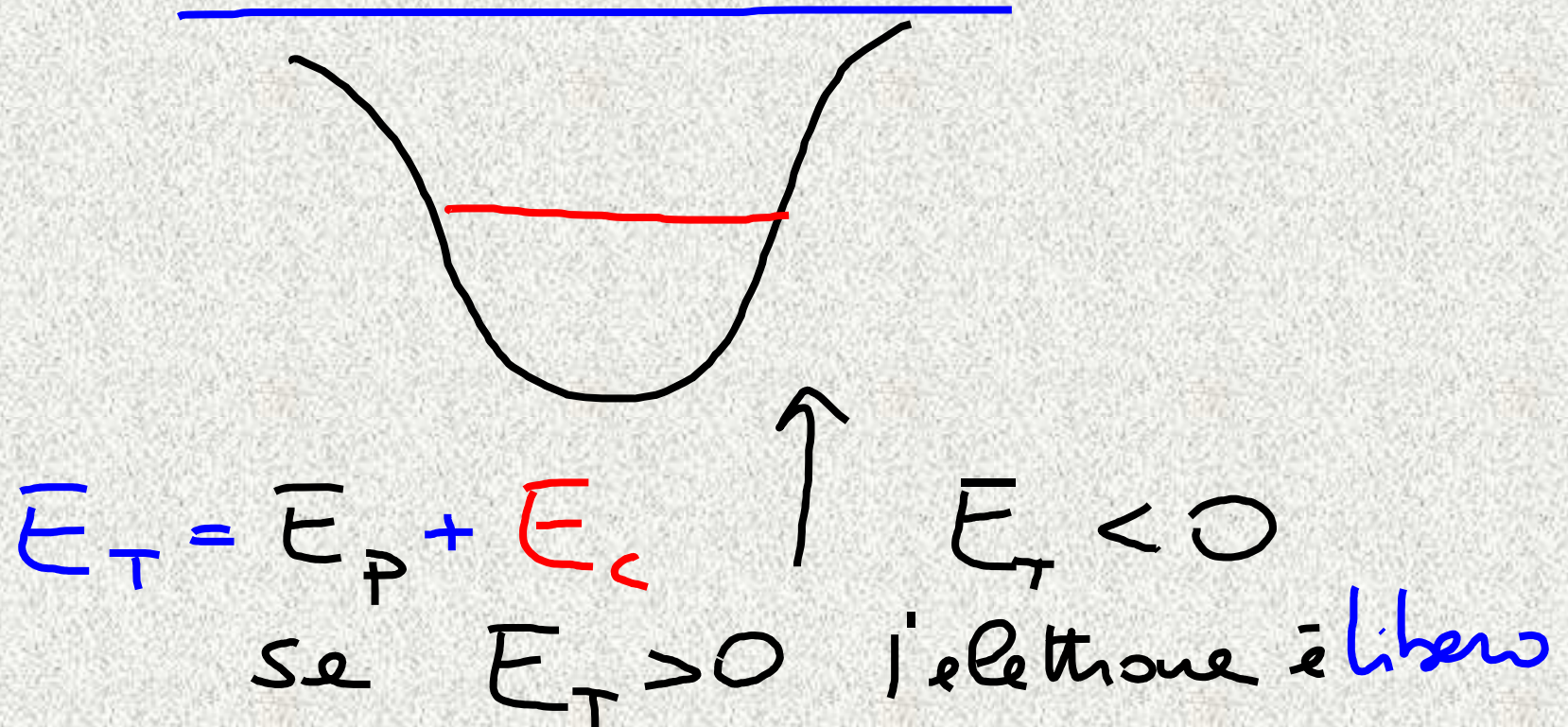
## POLARIZZAZIONE

le cariche si orientano rimanendo vincolate al loro nucleo



La polarizzazione riguarda gli isolanti e  
l'induzione riguarda i conduttori

# strofinio



strofinando il lavoro della forza d'attrito dà energia cinetica agli elettroni e alcuni di loro raggiungono un'energia totale maggiore di 0 il che li rende svincolati dall'oggetto e permette loro di passare sull'altro oggetto (che sarà quello che richiede più energia per liberare gli elettroni)



# *Legge di Coulomb*

$$F = k \frac{qQ}{r^2}$$

Q = carica generatrice del campo

q = carica di prova ovvero una carica talmente piccola da generare un campo che non modifica in maniera sostanziale quello creato da Q (si rimanda al concetto di campo slide 12)

## *Analisi di k*

- È una costante che dipende dal mezzo, la sua formula è la seguente:

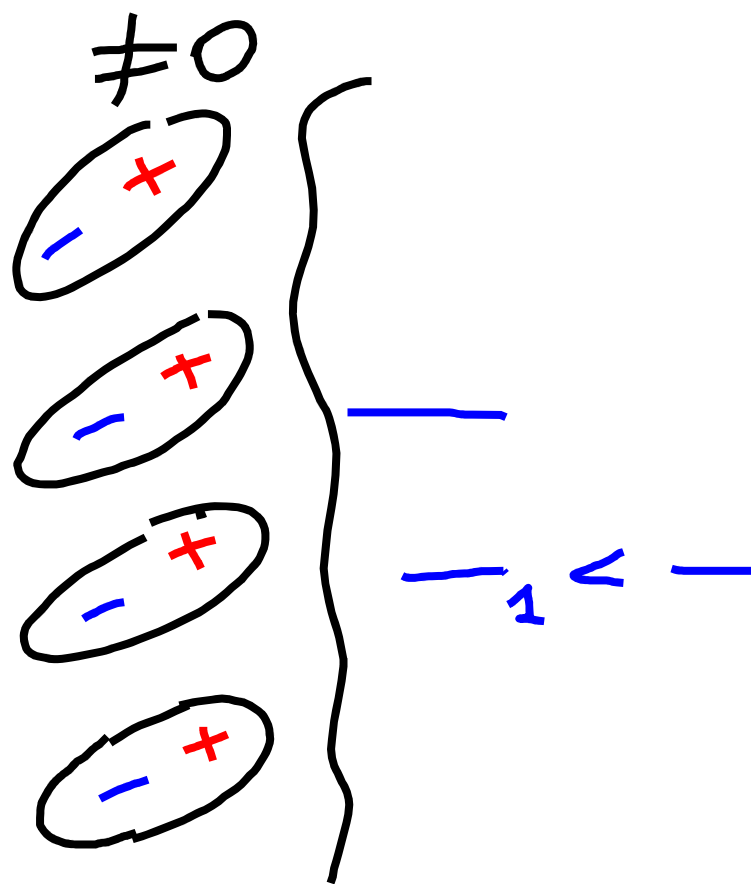
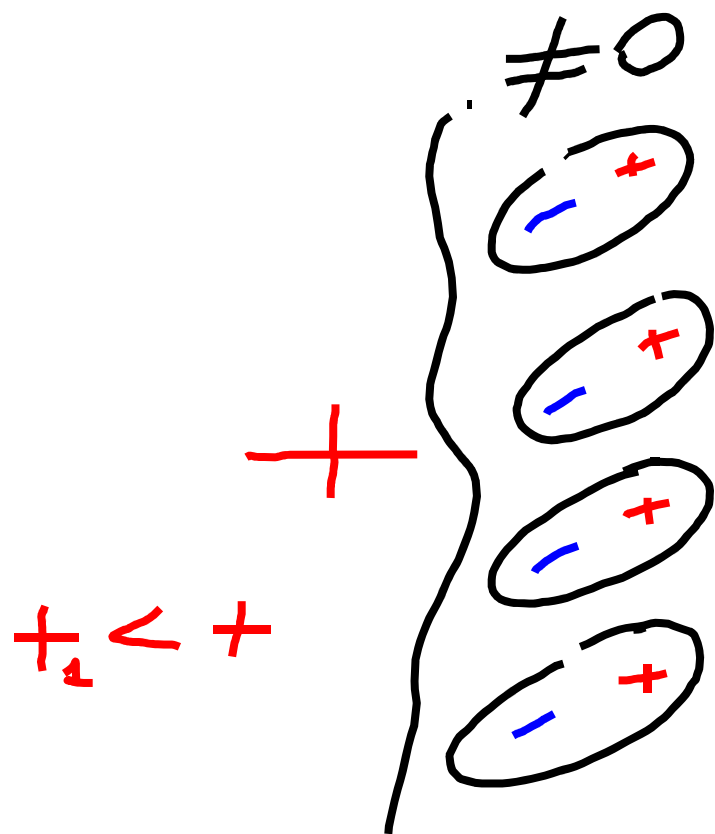
$$K = \frac{1}{4 \pi \epsilon}$$

Dove  $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$  ( $\epsilon_0$  è la costante dielettrica nel vuoto ed  $\epsilon_r$  è la costante dielettrica del mezzo, ed è sempre  $>1$  ed  $=1$  nel vuoto.)

K nel vuoto si indica con  $K_0$  e vale  $8,9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$

Dall'analisi di  $k$  si evince che la forza nel mezzo è sempre minore che nel vuoto, e ciò dipende dal fatto che il mezzo si polarizza, e offusca parzialmente le cariche. Quello che accade è schematizzato nel disegno seguente:





# Parallelismo fra legge di Coulomb e la legge di gravitazione universale

$$F = k \frac{qQ}{r^2}$$

## SIMILITUDINI:

- Entrambe dipendono dall'inverso del quadrato della distanza
- Entrambe dipendono dal prodotto degli oggetti che creano il campo
- Entrambe dipendono da una costante
- Entrambe sono forze a distanza

## DIFFERENZE:

$$F = G \frac{mM}{r^2}$$

- La costante  $k$  è molto grande ( $8,9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ ) ed è diversa nei vari mezzi e nel vuoto (vedi prima)
- La costante  $G$  è molto piccola ( $6,7 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{Kg}^2$ )
- La forza gravitazione è solo attrattiva mentre la forza di Coulomb è sia attrattiva sia repulsiva

# CAPITOLO 2

# *Il vettore campo elettrico*

Una carica ferma curva lo spazio intorno a sé generando un campo chiamato campo elettrico.

Siamo in grado di misurare la forza che si esercita sulla carica di prova( $q$ ) quando entra nel campo della prima e attraverso la seguente formula di ricavare il valore del campo

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

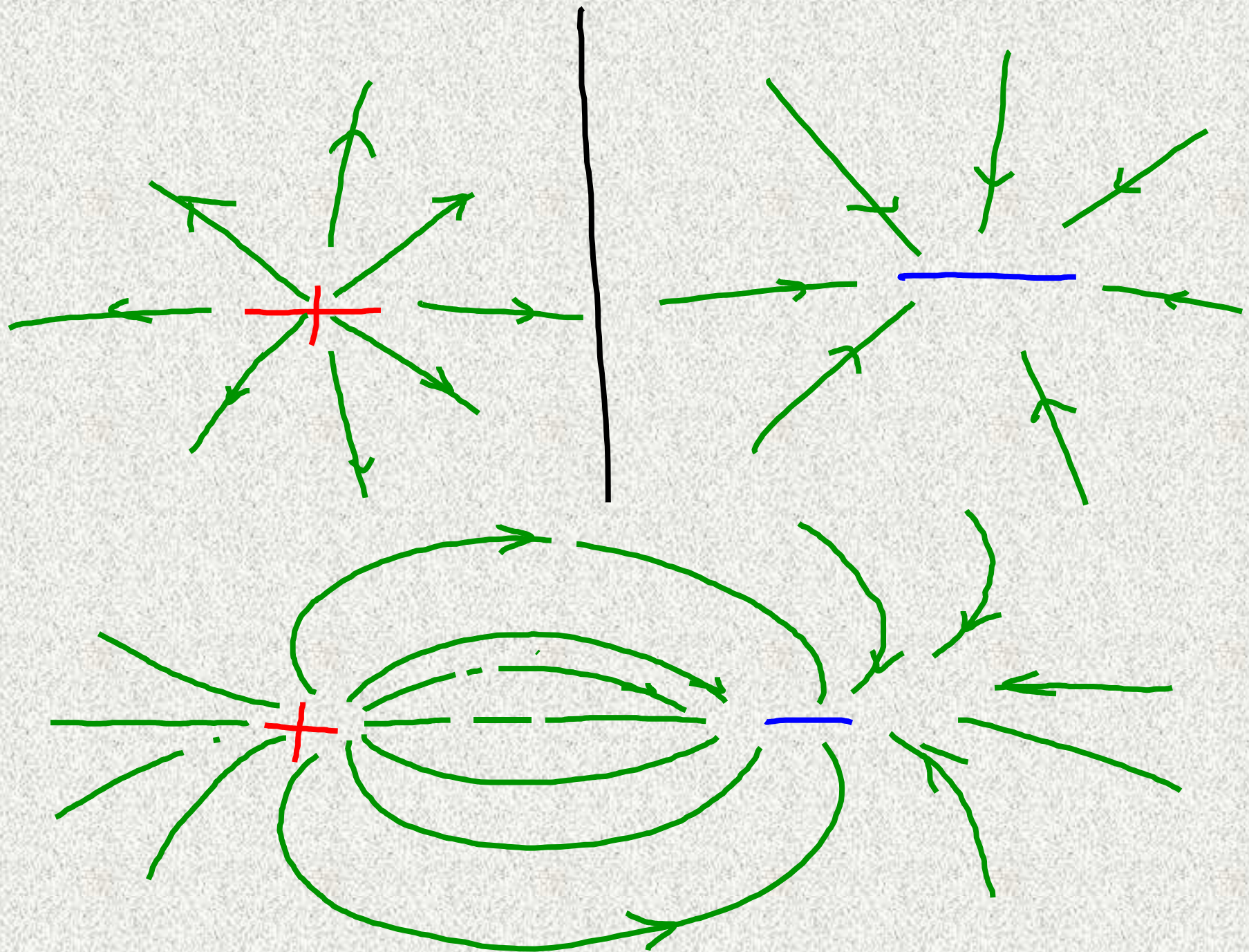
Dobbiamo ricordare che il campo è un “a monte” rispetto alla forza infatti basta una sola carica per avere un campo mentre la forza si ha soltanto se si hanno almeno 2 cariche.

# *Linee del campo elettrico*

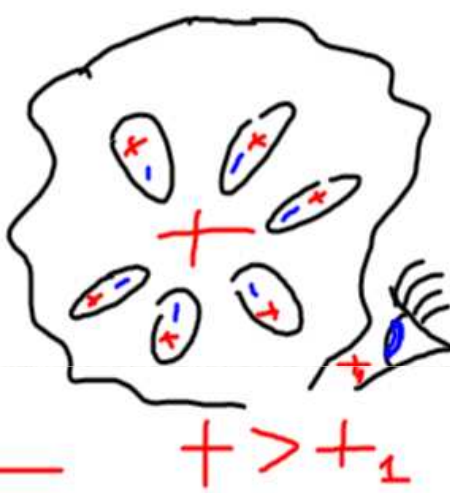
Sono una costruzione ideale per visualizzare il campo. Le linee di campo non si disegnano tutte, ma solo alcune con le seguenti proprietà:

- Ogni linea di campo è tangente al campo in ogni punto (per ogni punto passa una sola linea di campo)
- Sono orientate nel verso del vettore campo elettrico
- Escono dalle cariche positive ed entrano in quelle negative
- La loro densità è direttamente proporzionale all'intensità del campo elettrico





# Campo della carica puntiforme

$$\vec{F} = k \frac{qQ}{r^2} \Rightarrow$$
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = k \frac{Q}{r^2}$$


VALE QUANTO DETTO  
PER LA FORZA

## *Flusso di un vettore attraverso una superficie*

Definiamo il vettore superficie come un vettore che ha per intensità il valore della superficie, per direzione la perpendicolare alla superficie, mentre il verso è definito uscente solo nel caso che la superficie sia chiusa.

Il flusso del vettore  $\vec{E}$  attraverso una superficie  $S$  è il prodotto scalare fra il suddetto vettore e il vettore superficie

$$\Phi = \vec{E} \cdot \vec{S}$$

Il flusso di un vettore attraverso  
una superficie chiusa è diverso  
da 0 soltanto se all'interno  
della superficie ci sono  
sorgenti o pozzi,  
altrimenti è uguale a 0



# *Teorema di Gauss*

Il flusso di un campo elettrico attraverso una superficie chiusa è uguale al rapporto tra la somma delle cariche all'interno della superficie e la costante dielettrica

$$\Phi = \frac{\sum Q}{\epsilon}$$

\*La dimostrazione di questo teorema si trova a PAG.44 del terzo volume dell'AMALDI



# *Campo elettrico generato da una distribuzione piana infinita di carica*

- È perpendicolare al piano infinito di carica
- È uscente se la carica è positiva, è entrante se è negativa
- Il modulo è uguale in tutti i punti non appartenenti al piano infinito di carica e vale

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon}$$

La dimostrazione di questo enunciato si trova a pag. 45-47 del terzo volume dell'Amaldi

$\sigma_+$

$E_2$

$E_1$

$$E_1 = E_2 = \frac{\sigma}{2\epsilon}$$

# CAPITOLO 3

# *Energia potenziale elettrica*

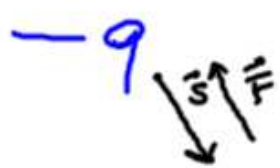
L'energia potenziale elettrica di una carica di prova  $q$  in un punto A del campo è uguale al lavoro fatto contro le forze del campo per portare la carica dall'infinito (considerato come 0 di energia potenziale) al punto A del campo.

L'energia potenziale di un sistema di più cariche è data dalla somma di energie potenziali che si ottengono scegliendo le cariche a coppie in tutti i modi possibili

Dalla definizione segue:



# Carica di prova e carica generatrice del campo con segni opposti



$$\vec{F} \cdot \vec{s} = F \cdot s \cos \alpha = -F \cdot s \Rightarrow E_p$$

negativa e crescente in modulo  
quando ci avviciniamo alla  
carica generatrice  $\Rightarrow$  BUCO



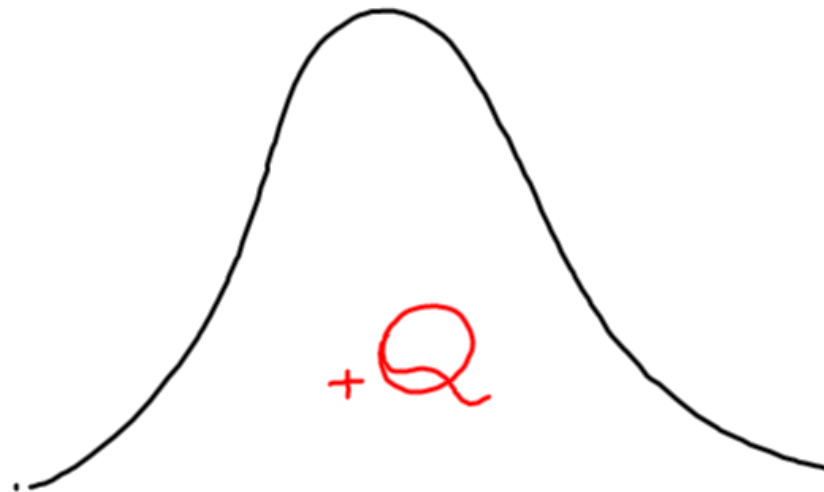
Questo è il caso degli elettroni nel campo generato dai protoni vedi slide 5



# Carica di prova e carica generatrice del campo con segni uguali



$\vec{F} \cdot \vec{s} = F \cdot s \cos \alpha = F \cdot s \Rightarrow E_p$   
positive e crescente in modulo  
quando ci avviciniamo alla  
carica generatrice  $\rightarrow$  PICCO



*Notiamo che:*

Lasciata libera una carica di qualunque segno nel campo di un'altra carica, va sempre verso livelli di energia potenziale minore

# *Potenziale elettrico*

Il potenziale elettrico (si misura in Volt) nel punto A è uguale al rapporto dell'energia potenziale  $U_A$  (dovuta all'iterazione di ciascuna delle cariche che generano il campo con la carica di prova  $q$  posta in A) e la stessa carica di prova  $q$

$$V_A = \frac{U_A}{q}$$

Notiamo che il potenziale dipende solo dalla carica generatrice del campo; come  $E$  è un campo vettoriale così  $V$  è un campo scalare

## Potenziale di una singola carica

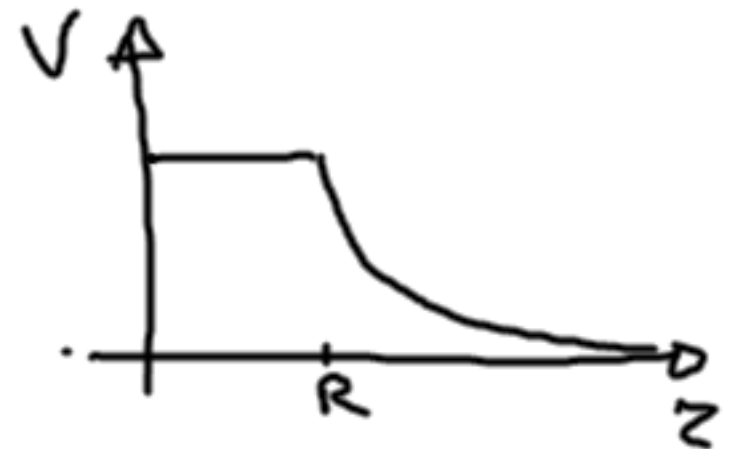
$$V = k \frac{Q}{r}$$

Potenziale di una sfera carica isolata (raggio  $R$ )

Per  $r \geq R$

$$V = k \frac{Q}{r}$$

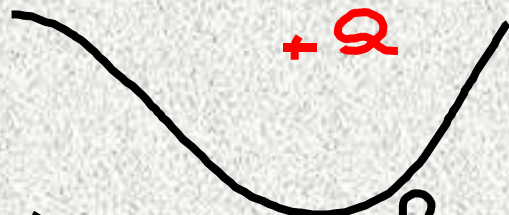
Se la sfera è conduttrice il potenziale all'interno è uguale a quello sulla superficie.





$-q$

$+q$



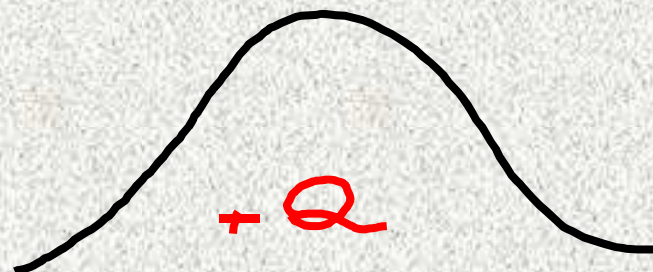
Se divido per la  
carica di prova negative



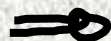
alla CARICA POSITIVA

CORRISPONDE UN

PICCO DI POTENZIALE



Se divido per la  
carica di prova positiva



Nello stesso modo si ricave che

alla CARICA NEGATIVA CORRISPONDE  
UN BUCO DI POTENZIALE



*Notiamo che:*

Se lasciata libera, una carica positiva, nel campo di un'altra carica, va sempre verso livelli di potenziale minore, viceversa la carica negativa va verso livelli di potenziale maggiore

# *Circuitazione*

La circuitazione di  $E$  (si indica con  $\Gamma_{\mathcal{L}}(E)$ ) lungo una linea chiusa orientata  $\mathcal{L}$  è la somma dei prodotti scalari relativi a tutti i tratti di  $\mathcal{L}$ .

La circuitazione è un indice della vorticosità di un campo  
Quindi, se la circuitazione di  $v$  è:

- Positiva, nella zona ci sono vortici dello stesso verso di  $\mathcal{L}$
- Negativa, nella zona ci sono vortici con verso opposto a quello di  $\mathcal{L}$
- Uguale a 0, nella zona dove non ci sono vortici

# *Circuitazione del campo elettrico*

La circuitazione del campo elettrico  
è sempre uguale a 0

Dimostrazione di questo a pag 79 del terzo volume dell'Amaldi.

# CAPITOLO 5



# *Conduttori in equilibrio elettrostatico*

Un conduttore carico è in equilibrio elettrostatico quando le cariche sono ferme

Sperimentalmente si osserva che le cariche libere in tale conduttore si collocano sulla superficie del conduttore stesso, con una densità che aumenta all'aumentare della curvatura. Nel caso di elevate curvature si osserva il potere delle punte: in prossimità delle punte di un conduttore carico il campo elettrico è molto intenso.

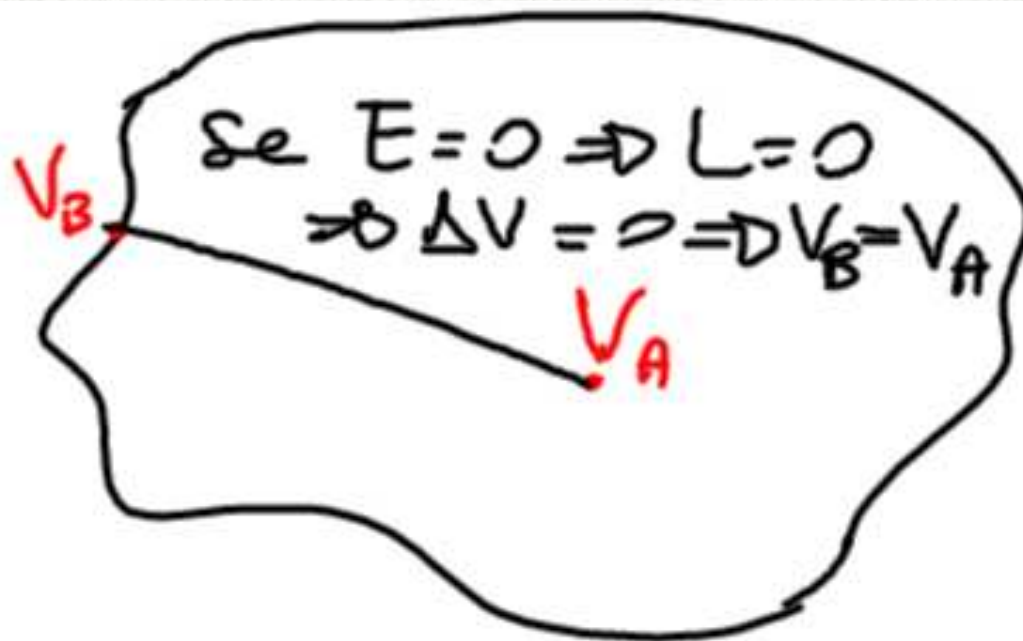


# *Campo elettrico nel conduttore in equilibrio elettrostatico*

- All'interno del conduttore il campo è zero. La dimostrazione si fa per assurdo (negando la tesi): assumendo che il campo sia diverso da zero, allora ci sarà una forza, di conseguenza un'accelerazione e dunque movimento delle cariche, il che contraddice l'ipotesi per cui la tesi deve essere vera:  $E=0$
- Sulla superficie del conduttore il campo è perpendicolare alla superficie stessa. La dimostrazione è equivalente alla precedente, considerando che movimento in verticale non può esserci perché siamo sulla superficie.

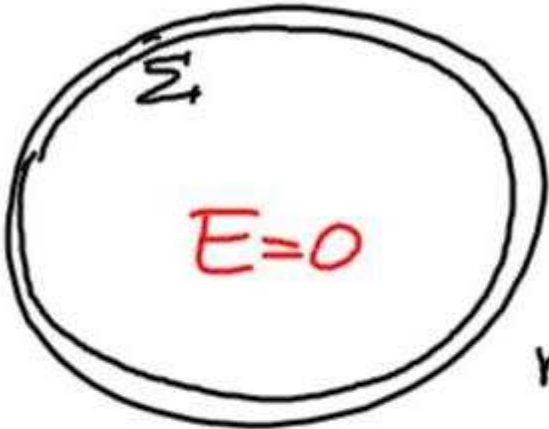
# Potenziale in un conduttore in equilibrio elettrostatico

- Il potenziale è uguale in tutti i punti all'interno e sulla superficie del conduttore carico in equilibrio elettrostatico



- Dimostriamo il fatto osservato sperimentalmente per cui le cariche si distribuiscono tutte sulla superficie

la dimostrazione:



A diagram of a spherical conductor represented by two concentric circles. The outer circle is labeled with the Greek letter  $\Sigma$  at the top. Inside the inner circle, the text  $E=0$  is written in red.

$$\phi(\vec{E}) = \sum \frac{Q}{\epsilon}$$

ma  $\vec{E} = 0$  (all'interno del conduttore)

$$\Rightarrow 0 = \sum \frac{Q}{\epsilon}$$
$$\Rightarrow \sum Q = 0$$

C.V.D

## *Problema generale dell'elettrostatica*

Consiste nel trovare il potenziale o il campo elettrico in tutti i punti dello spazio.

La risoluzione richiede matematica complessa, però ricordiamo che il campo elettrico è legato alla densità superficiale di carica della seguente formula:

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



# *Capacità di un conduttore*

$$C = \frac{Q}{V}$$

È il rapporto fra la carica che mettiamo su un conduttore isolato inizialmente a potenziale 0 e il potenziale a cui sale una volta caricato.

*Capacità di una sfera conduttrice carica isolata*

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r}} = 4\pi\epsilon_0 r$$



# *condensatore*

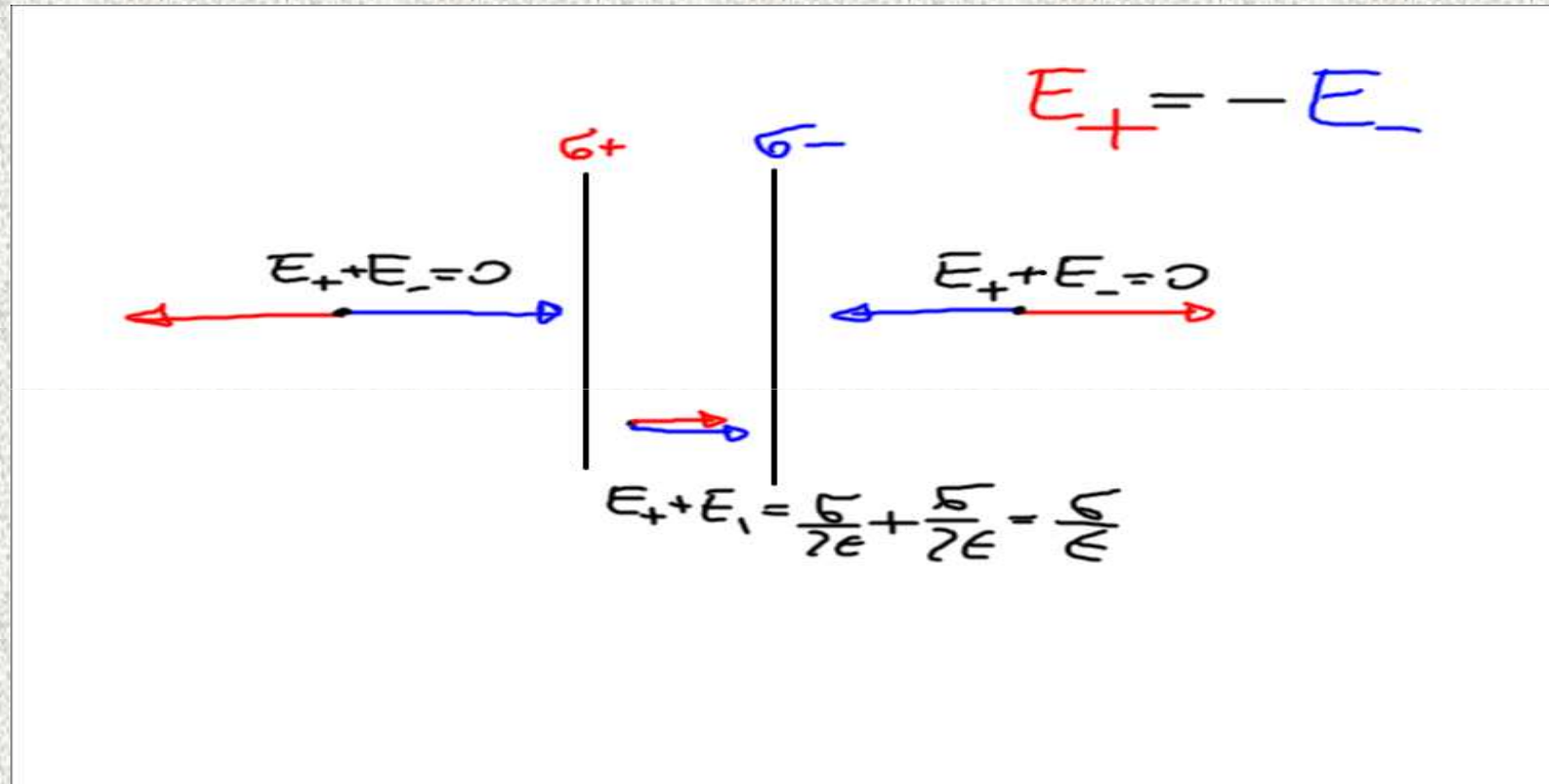
È un dispositivo caratterizzato da due superfici (armature) tali per cui caricando una l'altra si carica per induzione.

Se le armature sono due lastre metalliche parallele e poste ad una distanza molto piccola rispetto alla loro dimensione un condensatore si definisce piano

La capacità di un condensatore è :  $C = \frac{Q}{\Delta V}$

# Campo elettrico del condensatore: (vedi dia positiva 37)

ricordando che le linee di campo sono uscenti per la lastra positiva e viceversa



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

*All'interno del condensatore*

$$E = 0$$

*All'esterno del condensatore*

# La capacità di un condensatore piano

SAPENDO CHE  $C = \frac{Q}{\Delta V}$  e  $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$   
 $V = E \cdot d$  (nel cond. piano)

$$\Rightarrow C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{Q}{Ed} = \frac{Q}{\frac{\sigma}{\epsilon} d} =$$
$$= \frac{\cancel{Q} \epsilon}{\frac{\cancel{Q}}{S} d} = \frac{S \epsilon}{d}$$

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

$S$  superficie delle  
armature,  
 $d$  distanza fra esse

# CAPITOLO 6



# *La corrente elettrica*

- Si definisce corrente elettrica un moto ordinato di cariche elettriche.
- Per convenzione, la corrente elettrica ha direzione nella quale le cariche positive si muovono.
- Per far avvenire il movimento delle cariche è necessario che ci sia una differenza di potenziale.



# *L'intensità di corrente*

Viene definita intensità di corrente elettrica il rapporto tra la quantità di carica che attraversa una sezione di conduttore e l'intervallo di tempo impiegato

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

L'unità di misura dell'intensità di corrente elettrica è l'Ampere(A)

$$1A = \frac{1C}{1s}$$

La corrente elettrica si definisce continua quando la sua intensità non cambia nel tempo.

# *I generatori di tensione e i circuiti elettrici*

- Si chiama generatore ideale di tensione continua un dispositivo capace di mantenere ai suoi capi una differenza di potenziale costante, per un tempo indeterminato e qualunque sia la corrente che lo attraversa
- Un circuito elettrico è un insieme di conduttori connessi in modo continuo e collegati a un generatore;
  - se la catena di conduttori non è interrotta, il circuito si dice chiuso e in esso fluisce una corrente elettrica.
  - se è interrotta, il circuito si dice aperto e in esso non c'è corrente.

# Resistenza

Qualunque conduttore oppone al passaggio degli elettroni una “resistenza”, con questo termine teniamo conto degli “urti” che gli elettroni hanno con gli ioni del reticolo e della conseguente cessione di energia cinetica (il conduttore infatti si riscalda per “effetto joule” (vedi successiva diapositiva)). La resistenza aumenta all’aumentare della temperatura (aumenta infatti il numero di urti). La resistenza, come enuncia la **seconda legge di Ohm**, si ricava in base alla seguente relazione:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

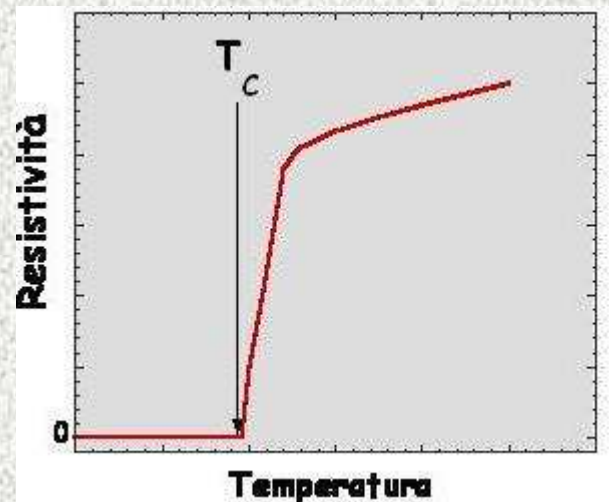
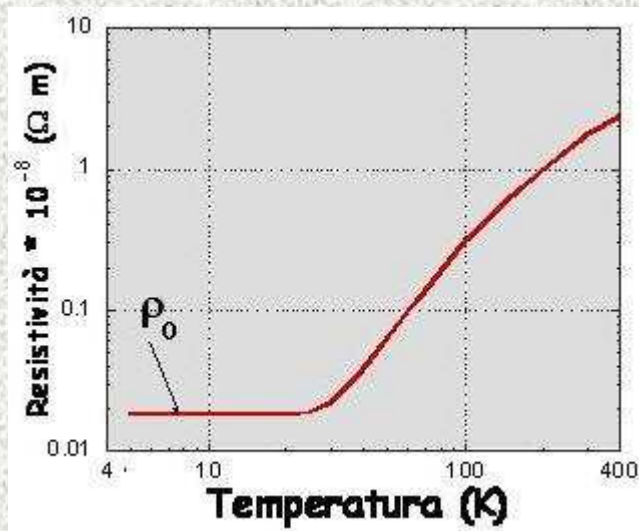
Dove  $\rho$  è la resistività ( $\Omega \cdot m$ ) che dipende dal materiale,  $l$  ed  $S$  rispettivamente la lunghezza e la sezione del conduttore.



# Resistività

La resistività dipende fortemente dalla temperatura, nel caso dei conduttori secondo la seguente relazione:

$$\rho \cong \rho_{293} (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$



## *La prima legge di Ohm*

Mette in relazione la differenza di potenziale e l'intensità di corrente in un circuito. Le due grandezze sono direttamente proporzionali e la costante di proporzionalità è la resistenza elettrica:

$$V = Ri$$

VINCOLI: questa legge è vera per conduttori ohmici a temperatura costante



# *Effetto Joule*

Si definisce potenza dissipata da un resistore la rapidità con cui l'energia elettrica viene trasformata in energia termica (ossia energia interna) del resistore:

$$P = \frac{L}{\Delta t} = \Delta V \cdot q \cdot \frac{1}{\Delta t} = i \cdot R \cdot i = i^2 \cdot R$$

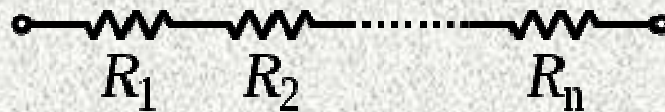
L'effetto Joule è verificabile osservando l'aumento di temperatura dell'acqua in un calorimetro in cui è contenuta una resistenza percorsa da corrente utilizzando la relazione

$$mc \Delta T = i^2 R \Delta t$$

# *Collegamenti in serie e in parallelo*

- Più conduttori sono collegati in serie se sono posti in successione tra loro e in essi fluisce la stessa corrente elettrica.
- Più conduttori sono collegati in parallelo se hanno gli estremi connessi tra loro e hanno ai loro capi la stessa differenza di potenziale.

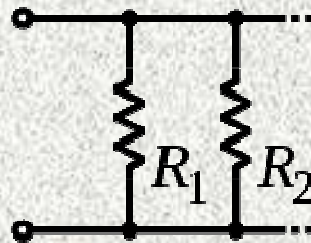
La resistenza equivalente a due resistenze in serie è uguale alla somma delle resistenze



Considerando che  $\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2$  e  $I = I_1 = I_2$

$$R_E = \frac{\Delta V}{I} = \frac{\Delta V_1 + \Delta V_2}{I} = \frac{\Delta V_1}{I} + \frac{\Delta V_2}{I} = R_1 + R_2$$

- La resistenza equivalente a due resistenze in parallelo è data dalla seguente formula:



$$R_E = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Considerando che  $\Delta V = \Delta V_1 = \Delta V_2$  e  $I = I_1 + I_2$

$$R_E = \frac{\Delta V}{I} = \frac{\Delta V}{I_1 + I_2} \Rightarrow \frac{1}{R} = \frac{I_1 + I_2}{\Delta V} = \frac{I_1}{\Delta V_1} + \frac{I_2}{\Delta V_2} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Da cui si ricava la formula sopra indicata.



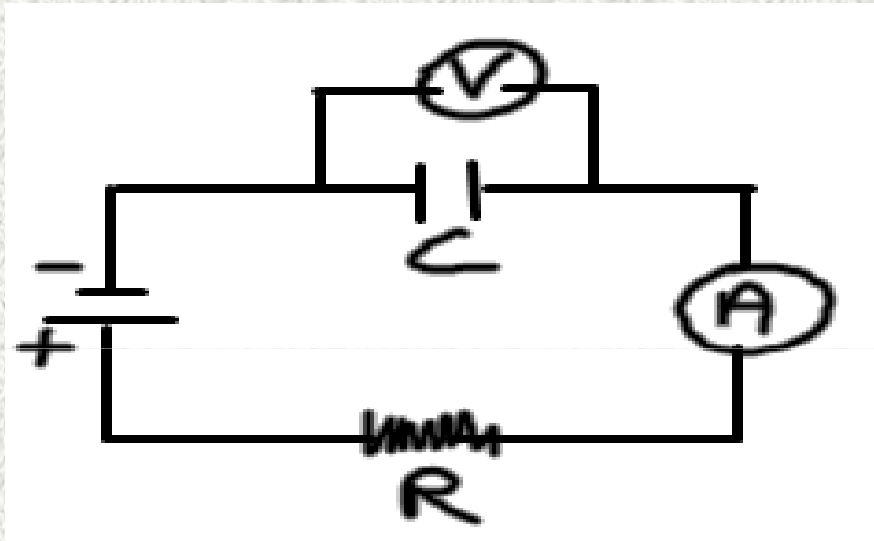
# *Le leggi di Kirchhoff*

Ricordando che, in un circuito, il nodo è un punto in cui si incontrano almeno tre conduttori e una maglia un tratto di circuito chiuso enunciamo le seguenti leggi:

- La somma delle intensità di corrente entranti in un nodo è uguale alla somma delle correnti uscenti (a logica rimanda alla legge di conservazione della carica)
- La somma algebrica delle differenze di potenziale in una maglia è uguale a zero

# *Carica e scarica di un condensatore*

Per caricare la carica di un condensatore realizziamo il seguente circuito:



Andamento della  
corrente durante  
la carica

$$i(t) = \frac{V}{R} e^{-\frac{t}{Rc}}$$

**Quando chiudiamo il circuito gli elettroni si cominciano a collocare su una piastra del condensatore che comincia a caricarsi e ai suoi capi la differenza di potenziale comincia ad aumentare, fino ad eguagliare quella del generatore, a questo punto la differenza di potenziale è =0 e quindi la corrente elettrica smette di circolare. Levando il generatore la corrente circola in verso opposto per effetto della differenza di potenziale ai capi del condensatore fino a che questo non si scarica.**

# L'energia accumulata nel condensatore

# CAPITOLO 7



# CAPITOLO 9

# Fenomeni magnetici

Ci sono materiali che hanno la capacità di attrarre oggetti di ferro. Tale proprietà è intrinseca nei magneti naturali, ma può essere indotta in altre sostanze dette “ferromagnetiche”. Ogni magnete genera intorno a sé un campo magnetico caratterizzato da un polo nord e un polo sud, la cui direzione è quella che unisce i due poli.

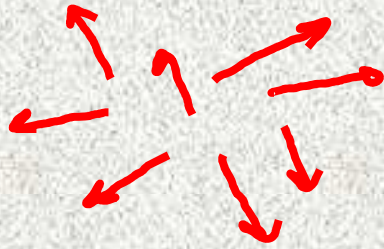
# Origine del magnetismo

L'esperienza di Oersted (vedi diapositive successive) rivelò che una corrente elettrica genera un campo magnetico, quindi che una carica in moto genera un campo magnetico. Questa scoperta, oltre a rendere legati indissolubilmente campo elettrico e magnetico in quanto una carica è ferma o in moto a seconda del sistema di riferimento, chiarì sia l'origine del magnetismo sia perché non è possibile isolare un polo magnetico, come invece accade nel caso del campo elettrico.

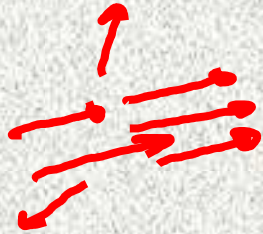
- 1) gli elettroni in rotazione intorno al loro nucleo generano dei microcampi magnetici che nei materiali non magnetici o non magnetizzati sono distribuiti casualmente e quindi hanno una risultante nulla, viceversa nel caso dei materiali magnetici i microcampi sono orientati secondo una direzione privilegiata ed hanno una risultante diversa da zero, ossia al corpo è associato un campo magnetico macroscopico.
- 2) Separando un magnete otteniamo ancora un campo magnetico con un polo positivo e negativo, dato dalla risultante dei microcampi presenti nella parte rimanente; la cosa risulta logica se pensiamo che comunque quel magnete è la risultante di microcampi, ciascuno con il suo polo negativo e positivo. Per quanto si separino i magneti, anche arrivando al singolo elettrone, troveremo un campo magnetico con due poli.



elettroni in "rotazione" intorno  
al nucleo GENERANO MICRO  
CAMPI MAGNETICI



distribuzione random  $\Sigma = 0$   
 $\Rightarrow$  oggetti NON magnetizzati



orientamento privilegiato  $\Sigma \neq 0$

$\Rightarrow$  CAMPO MAGNETICO  
MACROSCOPICO  
 $\Rightarrow$  magneti

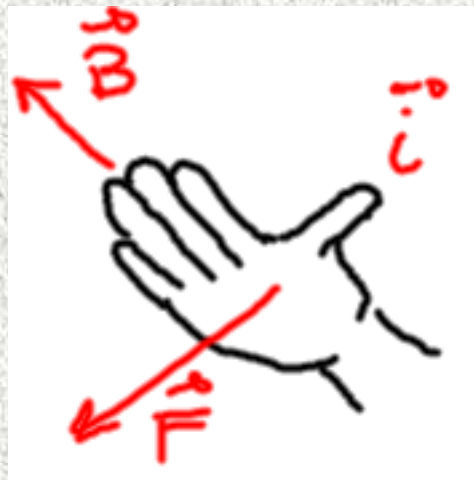


# Esperienza di Oersted

Oersted collocò un filo conduttore, inserito in un circuito, parallelamente ad un ago magnetico (il quale si dispone in maniera spontanea parallelamente alle linee del campo magnetico terrestre). Nel momento in cui nel circuito viene fatta passare corrente, l'ago magnetico comincia a formare un angolo rispetto al conduttore fino a formare, per correnti sufficientemente intense, un angolo di  $90^\circ$ . Come detto questo fece capire che cariche in moto generano un campo magnetico.

# Esperienza di Faraday

- Faraday verificò che un filo percorso da corrente posto in un campo magnetico subisce una forza la cui direzione e verso sono definite dalla regola della mano destra



Intensità del campo magnetico di un filo percorso da corrente

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{i}{d}$$

Intensità del campo magnetico nel centro di una spira percorsa da corrente

$$B = \frac{\mu_0}{2} \frac{i}{R}$$

Intensità del campo magnetico nel centro di un solenoide percorso da corrente

$$B = \mu_0 \frac{Ni}{l}$$

# Esperienza di Ampere

Ampere verificò che due fili percorsi da corrente esercitano una forza reciproca di modulo pari a:

$$F = \mu_0 \frac{i_1 \cdot i_2}{d} \cdot l$$

Dove  $i$  sono le correnti che passano nei due fili,  $l$  la loro lunghezza e  $d$  la loro distanza

La direzione e il verso della forza si ricavano per mezzo della regola della mano destra, la direzione è lungo la distanza tra i due fili e la forza è attrattiva se le correnti sono concordi e repulsiva se sono discordi.



# Le correnti indotte

Facendo osservazioni notiamo che, in alcuni casi, in un circuito che non ha generatore passa corrente, facciamo esempi di alcune situazioni tipo:

- Avvicinando o allontanando una calamita dal circuito
- Avvicinando o allontanando un circuito percorso da corrente al circuito suddetto
- Variando la resistenza e quindi l'intensità di corrente (e quindi il campo magnetico da questa generato)
- diminuendo o aumentando la superficie del circuito suddetto

Analizzando tutte queste situazioni si arriva a stabilire che sorge una corrente (detta corrente indotta) quando c'è una variazione nel tempo del flusso del campo magnetico concatenato . La differenza di potenziale che origina tale corrente è data dalla seguente formula (come si ricava successivamente, seppure in un caso particolare)

$$V = - \frac{\Delta \phi(B)}{\Delta t}$$

