1) La legge di azione e reazione (terza legge di Newton) per spiegare il moto di corpi a contatto.
2) La legge di Coulomb ed il principio di sovrapposizione: esempio del calcolo del dipolo elettrico.
3) Il teorema di Gauss e il calcolo del campo elettrostatico per la distribuzione lineare uniforme di carica elettrica.
4) Il teorema di Gauss e il calcolo del campo elettrostatico per la distribuzione piana uniforme di carica elettrica.
5) Dipolo elettrico: campo elettrico sull'asse del dipolo e potenziale.
6) Forza di Coulomb come esempio di forza conservativa.
7) Potenziale, energia potenziale e lavoro del campo elettrico.
8) Condensatore piano: andamento del campo elettrico, del potenziale dentro e fuori il condensatore e sua capacita'.
9) Spiegazione del comportamento di resistori in serie ed in parallelo.
10) Spiegazione del comportamento di condensatori in serie ed in parallelo.
11) Circuiti RC: carica e scarica del condensatore. Comportamento alla stazionarieta`.
12) Leggi di Ohm microscopica e macroscopica.
13) Moto di una carica elettrica in un campo magnetico uniforme.
14) Forza tra due fili paralleli percorsi da correnti stazionarie.
15) La legge di Biot-Savart ed il calcolo del campo magnetico prodotto da una spira circolare percorsa da corrente stazionaria sull'asse della spira.
16) Legge di Ampere e calcolo del campo magnetico all'interno di un solenoide rettilineo percorso da corrente stazionaria.
17) La legge di Faraday-Lenz e l'autoinduttanza.

Link utili:
http://www.fisica.uniud.it/~giannozz/Corsi/FisI/Slides/CampiElettrici.pdf

1) La legge di azione e reazione (terza legge di Newton) per spiegare il moto di corpi a contatto.

Il terzo principio della dinamica afferma che:

> Per ogni forza che un corpo A esercita su di un altro corpo B, ne esiste istantaneamente un'altra uguale in modulo e direzione, ma opposta in verso, causata dal corpo B che agisce sul corpo A.

Il terzo principio della dinamica è noto anche attraverso la formulazione originaria di Newton, "ad ogni azione corrisponde sempre una uguale ed opposta reazione", dove il termine "azione" deve essere inteso nell'accezione generale di forza.[5][4] In termini matematici il terzo principio può essere riassunto come:

$$\mathbf{F}_{A\to B} = -\mathbf{F}_{B\to A}$$

Il terzo principio della dinamica in termini moderni implica che tutte le forze hanno origine dall'interazione di diversi corpi, in base al terzo principio se solo un corpo singolo si trovasse nello spazio, questo non potrebbe subire alcuna forza perché non vi sarebbe alcun corpo su cui la corrispondente reazione possa essere esercitata.[6]

Un esempio chiaro è l'applicazione al sistema Terra-Luna TL, di cui sono sottosistemi la Terra **T** e la Luna **L**. La forza totale esercitata dalla Terra sulla Luna deve essere uguale ma di senso opposto alla forza totale esercitata dalla Luna sulla Terra, in accordo con la legge di gravitazione universale.

Un esempio tipico che si può fare di applicazione controintuitiva del principio, è quello della semplice camminata: nella situazione noi imprimiamo forza al suolo all'indietro tramite il piede, il suolo reagisce con una forza uguale e contraria che poi è quella che ci spinge in avanti. Ma il suolo invece sembra non subire alcuna forza, poiché non accelera: la contraddizione si risolve considerando che la massa inerziale della Terra è enorme in confronto a quella dell'individuo, e perciò la forza si traduce in un'accelerazione piccola al punto da essere inosservabile.

Questa legge è anche nota con il nome di *principio di azione e reazione*. Essa riconosce in primo luogo il fatto che le forze nascono sempre dall'interazione tra due corpi.

Se su un sistema formato da due corpi non agiscono forze esterne, risulta

$$\frac{d\mathbf{q}(t)}{dt} = 0,$$

ovvero la quantità di moto del sistema rimane costante (legge di conservazione della quantità di moto). Ne segue che la variazione della quantità di moto del corpo 1 $\Delta\mathbf{q}_1$ deve equilibrare quella del corpo 2, $\Delta\mathbf{q}_2$, ovvero $\Delta\mathbf{q}_1 = - \Delta\mathbf{q}_2$. Poiché inoltre $\mathbf{q} = m\,\mathbf{v}$, se le masse dei corpi rimangono costanti, risulta $m_1\,\Delta v_1 = - m_2\,\Delta v_2$, ovvero le variazioni di velocità (in modulo) sono inversamente proporzionali alle masse dei corpi.

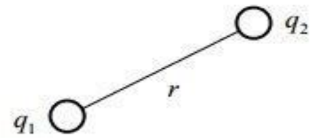
Dividendo entrambi i membri di questa equazione per il tempo Δt in cui avviene l'interazione tra i due corpi, abbiamo, sempre per la legge II,

$$\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$$

dove $\mathbf{F}_{12}$ è la forza esercitata dal corpo 2 sul corpo 1 e $\mathbf{F}_{21}$ è la forza esercitata dal corpo 1 sul corpo 2.

2) La legge di Coulomb ed il principio di sovrapposizione: esempio del calcolo del dipolo elettrico.

L'esperienza mostra che due corpi carichi *puntiformi*, posti nel vuoto a distanza r, interagiscono con una forza diretta lungo la retta congiungente i due corpi, attrattiva o repulsiva a seconda dei segni delle reciproche cariche, la cui intensità è tanto maggiore quanto più le cariche sono vicine e tanto maggiore quanto maggiore è il valore di ciascuna di esse:



$$F = k\frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

Con q_1 e q_2 abbiamo indicato i valori delle rispettive cariche espressi in Coulomb, ed r ed F sono ovviamente espressi in metri e Newton. k è una costante di proporzionalità che nel Sistema Internazionale vale $k = 9\times10^9\,\frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$, e le sue unità di misura sono quelle che occorrono per far ritornare Newton al primo membro. Rimarchiamo il fatto che la legge sopra esposta, detta *legge di Coulomb*, vale esclusivamente per oggetti puntiformi. Un oggetto rigorosamente puntiforme è una entità solo teorica, tuttavia le particelle elementari possono essere considerate puntiformi, a patto che la distanza r coinvolta nella legge di Coulomb sia molto grande rispetto alle loro dimensioni.

Una notevole proprietà delle forza elettrica che studieremo, fa sì che la legge di Coulomb valga anche per oggetti carichi estesi nei quali le cariche siano distribuite con simmetria rigorosamente sferica. Si può mostrare che se due sfere cariche, poste ad una distanza che permetta di trascurare le possibili variazioni della distribuzione di cariche sull'una ad opera dell'altra, interagiscono secondo la legge di Coulomb dove al posto di r andrà inserita la distanza fra i centri[2].

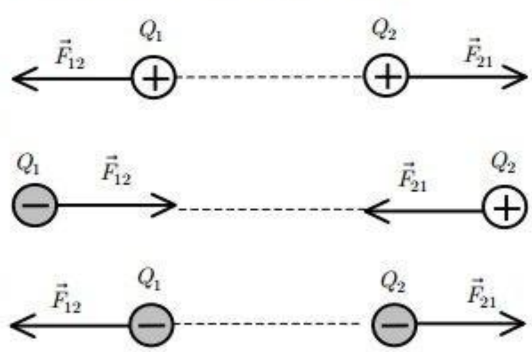
Per avere una espressione della legge di Coulomb in termini vettoriali, che contenga cioè anche informazioni sul verso della forza, dovremo aggiungere il simbolo di un *versore* $\hat{\mathbf{r}}_1$.

Intenderemo con $\hat{\mathbf{r}}_1$ un vettore di modulo 1 orientato dalla prima carica, q_1 verso la seconda q_2, (*cioè sempre uscente dalla carica della quale si vuol esprimere la forza da essa esercitata*) ed eliminando il modulo, si ottiene:

$$\vec{\mathbf{F}}_{21} = k\frac{q_1 q_2}{r^2}\hat{\mathbf{r}}_1 \qquad \textit{forza esercitata su } q_2 \textit{ da } q_1$$

La formula ora fornisce, oltre all'intensità, anche la direzione della forza che *la carica q_1 esercita su q_2*. Precisamente, se le due cariche hanno lo stesso segno , cioè se $q_1 q_2 > 0$, allora q_1 esercita su q_2 una forza che ha direzione $\hat{\mathbf{r}}_1$, cioè uscente da q_1 e quindi repulsiva. Se invece $q_1 q_2 < 0$, cioè le due cariche hanno segno diverso, allora q_1 esercita su q_2 una forza che ha direzione $-\hat{\mathbf{r}}_1$, cioè entrante in q_1 *e quindi* attrattiva.

Si noti che $\vec{F}_{21}$ va pensata applicata su q_2 mentre $\vec{F}_{12}$ applicata su q_1, come si vede in figura. Riflettere anche sul fatto che, a norma del principio di azione e reazione, è sempre e comunque $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$ anche se q_1 e q_2 sono molto differenti in valore.



Allo scopo di semplificare alcune formule dell'elettromagnetismo, si paga il piccolo prezzo di complicare un pochino l'espressione della legge di Coulomb, ponendo al posto di k l'espressione:

$$k = \frac{1}{}$$

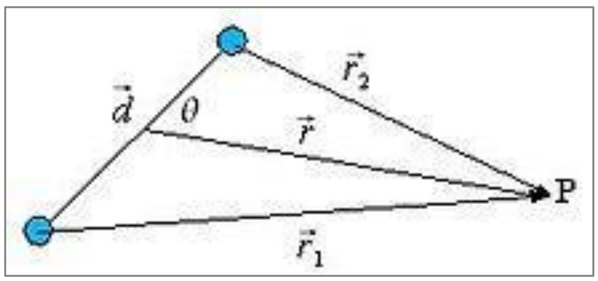
A completamento di quanto detto va enunciata l'altra fondamentale proprietà dell'interazione elettrica, che va sotto il nome di *principio di sovrapposizione*.

Nel caso in cui si avesse a che fare con tre o più cariche puntiformi, vincolate a stare in prefissate posizioni, ci si potrebbe chiedere se la presenza di q_3 accanto a q_1 e q_2 impedisca di utilizzare la legge di Coulomb nella stessa forma, o per dire meglio dire in che modo q_3 modifica la forza che le altre due si scambiano quando essa non c'è.

L'esperienza mostra che vale una regola *additiva degli effetti*: la forza che q_2 e q_3 esercitano su q_1 è pari alla somma vettoriale delle forze che q_2 eserciterebbe su q_1 come se q_3 non ci fosse, e della forza che q_3 eserciterebbe su q_1 come se q_2 non ci fosse.

> **PRINCIPIO DI SOVRAPPOSIZIONE**: IN UN INSIEME DI TRE O PIÙ CARICHE PUNTIFORMI, LA FORZA CON LA QUALE INTERAGISCONO DUE QUALUNQUE DI LORO PUÒ ESSERE CALCOLATA COME SE LE ALTRE NON CI FOSSERO, E LA FORZA RISULTANTE SU UNA QUALUNQUE DI ESSE È LA SOMMA VETTORIALE DI TUTTE LE FORZE CALCOLATE IN QUESTO MODO.

Dipolo



Date due cariche di segno opposto e uguale modulo q, il momento elettrico $\mathbf{p}$ è definito come:[1]

$$\mathbf{p} = q\mathbf{d}$$

5) Dipolo elettrico: campo elettrico sull'asse del dipolo e potenziale.

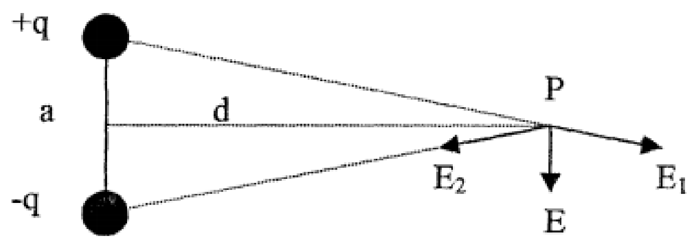
Un dipolo elettrico è un sistema composto da due cariche elettriche uguali e opposte di segno e separate da una distanza costante nel tempo. È uno dei più semplici sistemi di cariche che si possano studiare e rappresenta l'approssimazione basilare del campo elettrico generato da un insieme di cariche globalmente neutro, trattandosi del primo termine dello sviluppo in multipoli di quest'ultimo.

5. CAMPO ELETTRICO DI UN DIPOLO

Un campo elettrico importante è quello generato da un dipolo elettrico.
Un dipolo elettrico è ***una coppia di cariche puntiformi di segno opposto +q e –q, poste a distanza piccolissima tra loro***.
La retta passante per le due carche si chiama ***asse del dipolo***.

Il campo elettrico $\vec{E}$ generato dal dipolo ad una distanza **d** sull'asse del segmento congiungente le cariche, nell'ipotesi che **d** sia molto più piccola della distanza **a** tra le due cariche, può essere approssimato da:

$$\boxed{E = k_0 \frac{aq}{d^3}}$$



Il dipolo è quindi caratterizzato sia dal valore delle cariche sia dalla loro distanza e per tale motivo si identifica un dipolo dal valore che assume la grandezza $aq = p$ detta ***momento di dipolo elettrico***.
Si attribuisce carattere vettoriale al momento di dipolo elettrico assumendo come direzione quella dell'asse del dipolo e come verso quello cha va da –q a +q.
Nel S.I. l'unità di misura del momento di dipolo elettrico è il ***coulomb metro*** (C m).

Il potenziale elettrostatico di una carica è:

$$V(\mathbf{r}) = \frac{q}{4\pi\varepsilon} \left| \frac{1}{\mathbf{r}} \right|$$

Dove con r si è indicato il vettore posizione rispetto alla carica puntiforme q fissata come centro del sistema di riferimto, ε è la permittività elettrica del mezzo (questa equazione vale anche in un mezzo diverso dal vuoto).
È semplice, quindi, calcolare il potenziale generato dal sistema delle due cariche (di segno opposto), come somma dei potenziali delle singole cariche:

$$V(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2) = \frac{q}{4\pi\varepsilon} \left| \frac{1}{\mathbf{r}_1} - \frac{1}{\mathbf{r}_2} \right| = \frac{q}{4\pi\varepsilon} \frac{|\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1|}{\mathbf{r}_1 \cdot \mathbf{r}_2}$$

Ora per $r >> d$ tramite sviluppo di Taylor troncato al prim'ordine si ottiene:

$$|\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1| = d\cos\theta \qquad \mathbf{r}_1 \cdot \mathbf{r}_2 \simeq r^2$$

si ottiene alla fine la seguente espressione per il potenziale di dipolo:

$$V(\mathbf{r}, \mathbf{p}) = \frac{qd\cos\theta}{4\pi\varepsilon r^2} = \frac{\mathbf{r} \cdot \mathbf{p}}{4\pi\varepsilon r^3}$$

dove si è contratta la notazione col prodotto scalare:

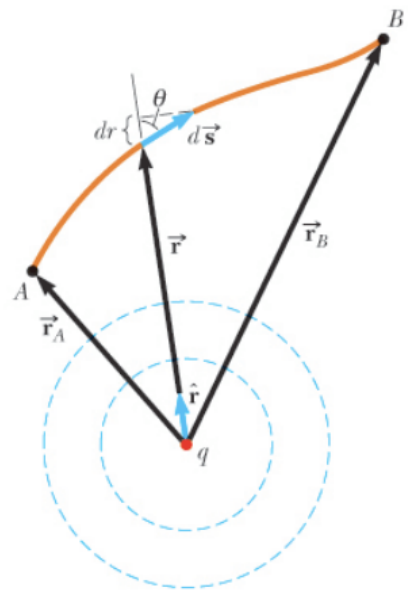
$$\mathbf{r} \cdot \mathbf{p} = r \cdot p\cos\theta$$

Il potenziale risulta essere nullo sull'asse del dipolo e diminuisce con l'inverso del quadrato della distanza. Da notare che le considerazioni riguardanti il dipolo valgono formalmente sia nel vuoto che in presenza di materia quando $d << r$.

6) Forza di Coulomb come esempio di forza conservativa.

Energia potenziale di due cariche

Si può dimostrare che la forza di Coulomb è *conservativa* e quindi esiste una *energia potenziale elettrostatica*. Consideriamo per semplicità una carica q_1 nel campo generato da un'altra carica q_2 fissa nell'origine.
L'energia potenziale si ricava dal lavoro fatto dalla forza elettrica fra r_A e r_B:



$$U(r_B) - U(r_A) = -\int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{s}$$

ed ha la seguente espressione: $\boxed{U(r) = \frac{kq_1q_2}{r}}$

Il risultato è analogo al caso della forza di gravità; l'energia potenziale gravitazionale $U(r) = -GMm/r$ si riduce alla forma nota $U = mgh$ sulla superficie della terra

8) Condensatore piano: andamento del campo elettrico, del potenziale dentro e fuori il condensatore e sua capacita'.

Il condensatore piano è un condensatore ideale formato da due piani conduttori perfetti affacciati. Se viene applicata una tensione continua ai due piani si crea un accumulo di cariche sulle due facce e di conseguenza un campo elettrico. Al variare della distanza e della superficie dei piani si varia la capacità (espressa in Farad) ovvero la quantità di cariche che si possono accumulare.
Questo principio viene sfruttato nei componenti reali che sono di fatto spesso costituiti da una o piu' coppie di piani affacciati separati da un dielettrico.
Il condensatore può essere visto come una batteria che si scarica (e si carica) molto rapidamente (teoricamente in tempo nullo se non c'è una resistenza). Viene per esempio utilizzato negli alimentatori in continua per filtrare e mantenere costante la tensione in uscita. Oppure se utilizzato con particolari circuiti può risuonare e generare una tensione alternata. Qualsiasi ricevitore radio sfrutta questo componente per sintonizzarsi su una determinata frequenza.

Se si applica una tensione elettrica alle armature, le cariche elettriche si separano e si genera un campo elettrico all'interno del dielettrico. L'armatura collegata al potenziale più alto si carica positivamente, negativamente l'altra. Le cariche positive e negative sono uguali ed il loro valore assoluto costituisce la carica *Q* del condensatore. La carica è proporzionale alla tensione applicata e la costante di proporzionalità è una caratteristica di quel particolare condensatore che si chiama *capacità elettrica* e si misura in farad:

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

Ossia la capacità è uguale al rapporto tra la carica elettrica fornita Q e la tensione elettrica applicata ΔV. La capacità di un condensatore piano (armature piane e parallele) è proporzionale al rapporto tra la superficie *S* di una delle armature e la loro distanza *d*. La costante di proporzionalità è una caratteristica dell'isolante interposto e si chiama **permittività elettrica assoluta** e si misura in farad/m.

La capacità di un condensatore piano a facce parallele è quindi:

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

In figura non sono rappresentati i cosiddetti *effetti di bordo* ai confini delle facce parallele dove le linee di forza del campo elettrico da una faccia all'altra non sono più rettilinee ma via via più curve.

L'energia immagazzinata in un condensatore è pari al lavoro fatto per caricarlo. Si consideri, ora, un condensatore con capacità *C*, con carica +*q* su una piastra e -*q* sull'altra. Per muovere un piccolo elemento di carica *dq* da una piastra all'altra sotto l'azione della differenza di potenziale *V=q/C*, il lavoro necessario è *dW*:

$$\mathrm{d}W = V\,\mathrm{d}q = \frac{q}{C}\,\mathrm{d}q$$

Integrando questa equazione, infine, si può determinare l'energia potenziale *U* immagazzinata dal condensatore. Gli estremi dell'integrazione saranno 0, ovvero un condensatore scarico, e *Q*, ovvero la carica immessa sui piatti del condensatore:

$$W = \int_0^Q \frac{q}{C}\,\mathrm{d}q = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2}CV^2 = U$$

9) Spiegazione del comportamento di resistori in serie ed in parallelo.

RESISTENZE IN SERIE

Collegamento di resistenze in serie e in parallelo.

Due o più resistori si dicono collegati in serie quando sono attraversati dalla stessa corrente. In fig. 1 sono riportate tre resistenze collegate in serie e sulla destra è riportato il simbolo della resistenza equivalente R_T, ossia di quella resistenza che dal punto di vista circuitale si comporta in modo perfettamente analogo alle tre resistenze. Quanto vale tale resistenza?

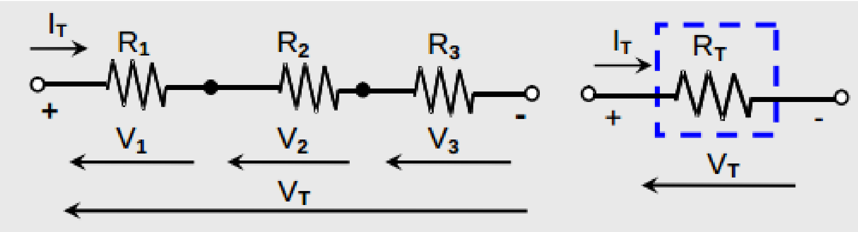


Fig. 1 – Resistenze in serie

$$V_1 = R_1 * I_T \qquad V2 = R_2 * I_T \qquad V_3 = R_3 * I_T$$

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 \qquad V_T = R_T * I_T$$

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

Ecco ora una sintesi delle principali caratteristiche di questa configurazione.

1. Resistenza totale è la somma delle singole resistenze
$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$
2. La corrente è la stessa in ogni resistenza
$$I_T = I_1 = I_2 = I_3 = \dots$$
3. La tensione totale è la somma della tensione su ogni singola resistenza
$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$$

RESISTENZE IN PARALLELO

Due o più resistori si dicono collegati in parallelo quando ai loro capi è applicata la stessa differenza di potenziale. In fig. 2 sono riportate tre resistenze collegate in parallelo e sulla destra è riportato il simbolo della resistenza equivalente R_T. Ossia di quella resistenza che dal punto di vista circuitale si comporta in modo perfettamente analogo alle tre resistenze. Quanto vale tale resistenza?

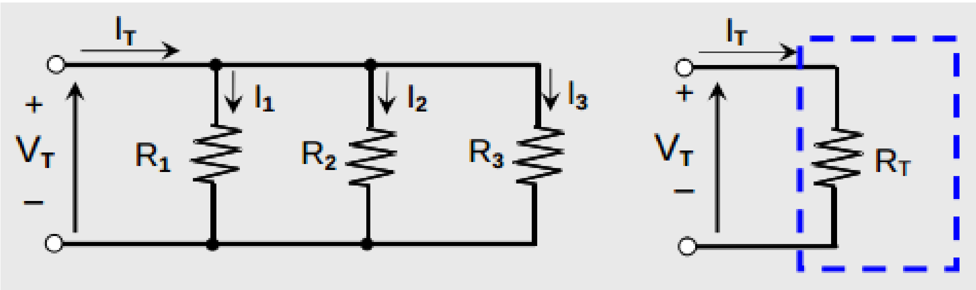


Fig. 2 – Resistenze in parallelo

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

$$I_1 = V_T/R_1 \qquad I_2 = V_T/R_2 \qquad I_3 = V_T/R_3$$

$$V_T = R_T * I_T$$

$$R_T = 1/(1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3)$$

Ecco ora una sintesi delle principali caratteristiche di questa configurazione.

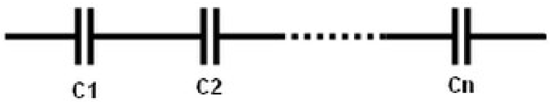
1. Il reciproco della resistenza totale è uguale alla somma dei reciproci delle singole resistenze
   $$1/R_T = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$$
2. La corrente totale è uguale alla somma delle correnti che attraversano le singole resistenze
   $$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$
3. La differenza di potenziale è la stessa per tutte le resitenze
   $$V_T = V_1 = V_2 = V_3$$

10) Spiegazione del comportamento di condensatori in serie ed in parallelo.

Condensatori in Serie e Parallelo

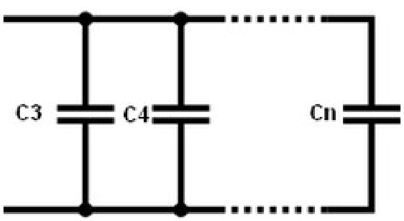
Abbiamo visto nelle resistenze che nel caso di un collegamento in serie il loro valore ohmico aumenta, mentre nel caso di un collegamento in parallelo diminuisce.
Nei condensatori avviene l'esatto contrario: una serie di due condensatori porterà a ridurre la loro capacità(è come se la distanza tra le due piastre aumentasse) ma in compenso aumenterà la loro tensione di lavoro.
Nel caso di un collegamento in parallelo i condensatori avranno una capacità superiore(è come se si aumentassero le dimensioni delle due piastre), facendo restare invariata la loro tensione di lavoro. Vediamo quindi il modo in cui si calcolano questi due vaolori derivanti.

Condensatori in serie: il valore della capacità che otterremo se collegheremo due condensatori in serie risulterà sempre inferiore alla capacità più piccola. Ad esempio se C1 avesse una capacità di 100nF e C2 di 10nF, la capacità finale risulterà sicuramente inferiore a 10nF.



La formula per ricavare la capacità finale di una serie è: **(C1xC2):(C1+C2)**, di conseguenza Ctot=(100x10):(100+10)=9.09nF.
Se ad esempio nel nostro circuito ci fossero n condensatori, la formula per ricavare la capacità totale si trasforma in: **1:C1 + 1:C2 +... 1:RCn**;
Questa è una formula ricavata solo per velocizzare le operazioni in fase di progettazione.

Condensatori in parallelo: il valore che otterremo nel caso di un collegamento in parallelo, sarà sempre maggiore di ogni singolo valore capacitivo. E' facile intuire il perché se osserviamo questa formula: **Ctot=C3+C4**, di conseguenza 100+10=110nF. Di conseguenza per ricavare la capacità totale di n condenzatori si utilizzerà la formula: **C3+C4+...Cn**.



Multipli e sottomultipli dei valori capacitivi:

11)Circuiti RC: carica e scarica del condensatore. Comportamento alla stazionarieta`.

carica e scarica del condensatore

Consideriamo dal punto di vista temporale il processo di carica di un condensatore. La carica elettrica che si crea sulle armature quando si sottopone un condensatore a una d.d.p., non raggiunge istantaneamente il suo valore massimo Q = CΔV. Questo avviene perché man mano che la carica si accumula sull'armatura, aumenta la forza di repulsione tra le cariche e perciò aumenta il lavoro necessario al generatore per accumulare altre cariche. La legge che esprime il valore della carica in funzione del tempo q(t), durante il processo di *carica* del condensatore è $q(t) = Q(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$, in cui Q indica il valore finale della carica, R la resistenza elettrica del circuito con il quale il condensatore si carica e C la capacità del condensatore. Pertanto, il grafico relativo alla legge sarà di tipo esponenziale.
La rapidità con cui la carica del condensatore aumenta dipende dal prodotto RC, che rappresenta la costante di tempo τ. Dopo un tempo t=RC, il condensatore raggiungerà il 63% della carica totale Q, dopo t=2RC l'86%, dopo t=3RC il 95% e dopo t=4RC il 98%.

Con l'analogo ragionamento, analizzando la fase di *scarica* si giunge a stabilire che il valore della carica q rilevabile sulle armature del condensatore dopo un tempo t, è espresso dalla relazione $q(t) = Qe^{-\frac{t}{RC}}$.
Tenendo presente della proporzionalità diretta tra la carica e il potenziale, un'analoga legge di tipo esponenziale esprime la variazione della d.d.p. ai capi del condensatore, in funzione del tempo.

Carica: $V(t) = V_o(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$ Scarica: $V(t) = V_o e^{-\frac{t}{RC}}$

in regime stazionario il condensatore è un circuito aperto

12) Leggi di Ohm microscopica e macroscopica.

Legge di OHM: La resistenza determina l'intensità della corrente che fluisce attraverso il circuito, ai cui capi è applicata una differenza di potenziale. Con il termine resistenza R si definisce il rapporto fra la tensione agli estremi di un conduttore e l'intensità della corrente I che fluisce al suo interno.

R = V / I

La legge di Ohm Macroscopica è una legge che lega la intensità di corrente (I) in un mezzo con la differenza di potenziale (V) **c**he si instaura ai capi del mezzo in esso tramite un parametro noto come resistenza (R).

Ovvero:

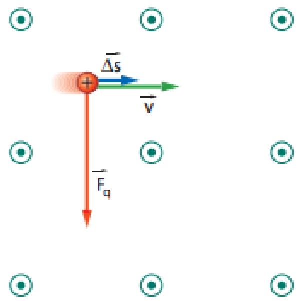
$V = R * I$

Questo quando consideriamo un intero mezzo.

Se invece analizziamo una sezione del mezzo stesso è conveniente definire la densità di corrente attraverso la sezione e riferirci al campo elettrico applicato. In questo modo possiamo legare le cariche elettriche che si muovono (determinando la corrente) attraversando quella sezione, con la causa che provoca tale movimento di cariche ovvero il campo elettrico.

La densità di corrente (J) si può definire come il prodotto delle cariche in moto (dato dal prodotto del numero n di cariche per la carica elementare dell'elettrone q) con la velocità media delle cariche stesse (vd). Tale velocità media è data dal prodotto del campo elettrico (E) con una quantità (che racchiude in sé anche le proprietà microscopiche del reticolo cristallino) chiamata mobilità μ.
Quindi abbiamo che:
$J = (n*q*\mu)*E = \sigma * E$
dove $\sigma = n*q*\mu$ è detta conducibilità.
Come vedi σ racchiude in sé grandezze microscopiche (numero di cariche, carica dell'elettrone e mobilità). Per questo la relazione di sopra è detta legge di Ohm microscopica.
Inoltre invertendo la conducibilità otteniamo la resistività: $\rho = 1/\sigma$
Quindi la legge di Ohm microscopica si può riscrivere come:
$E = \rho * J$

13) Moto di una carica elettrica in un campo magnetico uniforme.



Il moto di una carica in un campo magnetico uniforme

La forza di Lorentz, che agisce su una carica puntiforme q in moto, ha sempre direzione perpendicolare alla velocità vettoriale con cui si muove la carica e, quindi, al suo spostamento istantaneo (figura a lato).

Ciò significa che il lavoro W compiuto da $\vec{F}_q$ sulla carica è sempre nullo:

$$W = 0.$$

Il teorema dell'energia cinetica afferma che la variazione di energia cinetica $\Delta K = K_f - K_i$ di un punto materiale è uguale al lavoro W delle forze che agiscono su di esso.
Nel caso della forza di Lorentz abbiamo

$$\Delta K = W = 0.$$

Quindi l'energia cinetica della carica puntiforme non cambia. Ciò significa che

la forza di Lorentz non può cambiare il valore della velocità di una carica.

Modifica invece la direzione del vettore velocità.

Moto con velocità perpendicolare a un campo $\vec{B}$ uniforme

Consideriamo, come nella figura della pagina precedente, una carica puntiforme q positiva che si muove in un campo magnetico uniforme $\vec{B}$ con una velocità $\vec{v}$ perpendicolare alle linee del campo. Si dimostra che

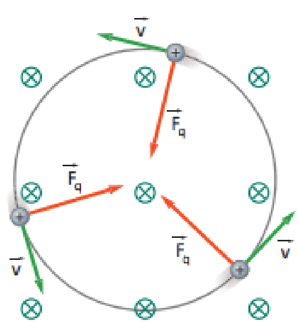
sotto le condizioni dette, la carica puntiforme q si muove di moto circolare uniforme.

Infatti, il moto è *uniforme* perché, come abbiamo visto in precedenza, il modulo di $\vec{v}$ è costante. Inoltre, se $\vec{B}$ è uniforme e perpendicolare a $\vec{v}$, la forza $\vec{F}_q$:

- è sempre perpendicolare a $\vec{v}$;
- è perpendicolare a $\vec{B}$, per cui è contenuta nel piano della figura;
- ha un valore costante dato da $F_q = qvB$.

Quindi $\vec{F}_q$ ha le proprietà della forza centripeta che, in un moto circolare uniforme, è sempre perpendicolare alla velocità del punto materiale, ha modulo costante e varia in modo da rimanere sempre nello stesso piano, che è quello in cui avviene il moto circolare stesso (figura a lato).

Si tratta della stessa cosa che accade a un satellite in orbita circolare attorno alla Terra. La forza di gravità ha modulo costante, è in ogni punto perpendicolare alla velocità (il cui valore rimane, a sua volta, costante) ed è sempre contenuta nel piano dell'orbita.



14) Forza tra due fili paralleli percorsi da correnti stazionarie.

Siano a e b due fili rettilinei, infiniti, paralleli percorsi da corrente I_a e I_b con verso concorde, come in *fig. 2*.

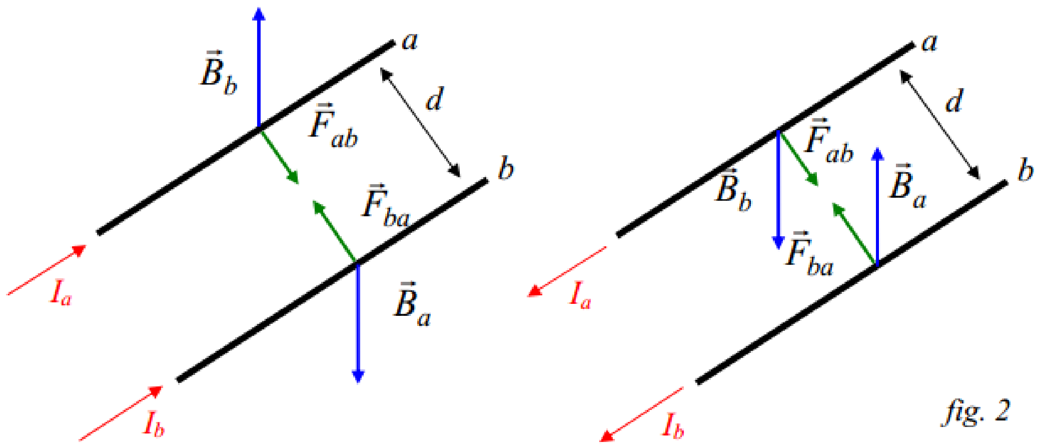


fig. 2

La corrente I_a nel filo a genera nei punti dello spazio occupati dal filo b un campo $B_a = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{I_a}{d}$ con direzione e verso in *fig 2*. Il filo b, percorso da una corrente I_b, trovandosi immerso nel campo $\vec{B}_a$, sente una forza $\vec{F}_{ba} = I_b \vec{\ell} \times \vec{B}_a$.

In modulo, si ha: $F_{ba} = I_b \ell B_a \sin 90° = \frac{\mu_0 \ell I_a I_b}{2\pi d}$ con direzione e verso in *fig. 2*, ossia il filo b sente una forza $\vec{F}_{ab}$ che lo attrae verso il filo a.

Invertendo il ruolo del filo a con quello del filo b, possiamo dire che il filo a sente una forza $F_{ab} = \frac{\mu_0 \ell I_b I_a}{2\pi d}$ che lo attrae verso il filo b (vedi *fig 2*) con $\vec{F}_{ba} = -\vec{F}_{ab}$.

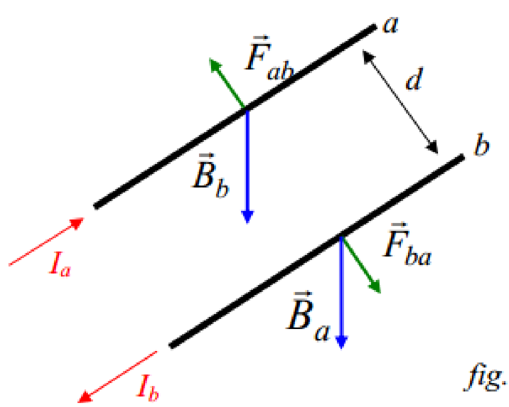


fig. 3

Se le correnti scorrono nei fili in verso opposto, si vede che la direzione e verso delle forze $\vec{F}_{ba}$ e $\vec{F}_{ab}$ è quella indicata in fig. 3 ossia correnti parallele e concordi si attraggono mentre correnti parallele e discordi si respingono.

16) Legge di Ampere e calcolo del campo magnetico all'interno di un solenoide rettilineo percorso da corrente stazionaria.

La **legge di Ampère** afferma che l'integrale lungo una linea chiusa del campo magnetico è uguale alla somma delle correnti elettriche ad essa concatenate.

Campo magnetico prodotto da un solenoide

Un numero di spire *N* avvolte su un supporto cilindrico costituisce un solenoide. Se all'interno del solenoide si introduce un nucleo di materiale ferromagnetico si ottiene una elevata densità di flusso *B*, rispetto al caso privo di nucleo (aria o vuoto).

Figura 2 a) Campo magnetico prodotto da un solenoide: le linee escono dal nord per rientrare, esternamente, nel sud; b) alcune linee di campo che si compensano in parte e originano l'andamento risultante in c); d): regola della mano destra in cui il pollice dà il verso oppure, guardando la spira frontalmente dove la corrente ha senso a*N*tiorario, lì c'è il *N*ord; e): se si osserva la spira frontale di destra lì la corrente ha verso orario, secondo la lettera *S* e quello è il sud.

Se il diametro delle spire è ridotto rispetto alla sua lunghezza *'l'*, si può ritenere pressoché ideale. In tal caso il campo magnetico interno risulta uniforme e lo si può determinare dalla (3). Infatti con il solenoide ideale può ritenersi nullo il campo al suo esterno, essendo infinita la lunghezza ideale delle linee.

Il *verso delle linee del campo* si ottiene:

- applicando la solita regola del cavatappi ad un elemento qualsiasi di conduttore percorso dalla corrente *I* oppure
- disponendo la mano destra (fig. 2d) in modo che le dita seguano il verso della corrente nelle spire abbracciate: il pollice stabilisce il Nord e quindi il verso del campo; all'altro estremo ci sarà il Sud (ricorda l'equivalenza magnete – elettromagnete lineare); oppure
- osservando frontalmente il solenoide, ponendoci cioè ad un suo estremo: se il verso della corrente che percorre la spira che si 'vede' è quello antiorario (fig. 2d), lì le linee del campo escono è vi è il Nord; se si 'vede' la corrente circolare in senso orario (fig. 2e) lì le linee sono uscenti e vi è il Sud.

All'interno del solenoide *l'intensità del vettore H* sarà tanto maggiore quanto maggiore è il prodotto *NI* e, a parità di 'amperspire', *H* sarà maggiore se la lunghezza *l* è minore, ovvero se il solenoide si sviluppa con le stesse spire e la stessa corrente, ma su una lunghezza inferiore.
Per quanto riguarda i vettori *B* e *H* valgono, dalla (3), le seguenti relazioni:

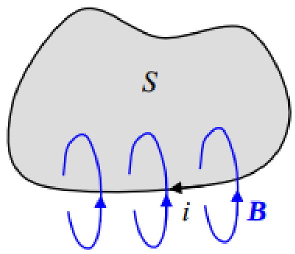
$$\vec{H} = \frac{\overline{NI}}{\vec{l}} \quad \left[\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{m}}\right] \qquad (4); \qquad \overline{B} = \mu \cdot \overline{H} = \mu \frac{N \cdot I}{l} \quad [\mathrm{T}] \qquad (5)$$

Per la legge di Ampère (3) la sommatoria dei prodotti *Hl* lungo il percorso (*l*=lunghezza del solenoide nel vuoto o aria, oppure lunghezza del materiale ferromagnetico su cui sono avvolte le spire) è uguale alla corrente *concatenata* lungo il percorso menzionato. La corrente concatenata vale *NI*, come mostra la (4).

17) La legge di Faraday-Lenz e l'autoinduttanza.

La legge di Faraday dice che: se il flusso concatenato con un circuito varia nel tempo, indipendentemente da come questa variazione sia generata, nel circuito sorge una forza elettromotrice indotta EI.

Consideriamo una spira di area S in cui scorre una corrente i. La corrente crea un campo magnetico B le cui linee di campo attraverseranno la superficie della S della spira.



E' perciò possibile calcolare un flusso concatenato con la spira: $\Phi_B = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$ e poiché questo flusso è originato dalla corrente circolante nella spira stessa è detto **flusso autoindotto Φ_I.**

$$\Phi_I = \Phi_B = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}.$$

Ora $\Phi_I \propto \vec{B} \propto i \Rightarrow \Phi_I \propto i \Rightarrow \dfrac{\Phi_I}{i} = cost$

Tale rapporto è detto coefficiente di autoinduzione o semplicemente **induttanza *L* della spira**:

$$L = \frac{\Phi_I}{i} = \frac{\text{flusso autoindotto nella spira}}{\text{corrente nella spira}} \qquad \left(\text{dimensioni: } \frac{T \cdot m^2}{A} = \frac{Wb}{A} = H \ \text{Henry}\right)$$

Si dimostra che *L* dipende solo dalla geometria del sistema.

Verifichiamo questa affermazione per un solenoide con n spire per unita di lunghezza, sezione S e lunghezza ℓ. Se il solenoide è percorso da corrente i, il flusso autoindotto con una spira è:

$$\Phi_{I,S} = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = \int_S B \cdot dS = \int_S \mu_0 n I dS = \mu_0 n I \int_S dS = \mu_0 n I S.$$

Il flusso autoindotto totale è $\Phi_{I,T} = N\Phi_{I,S}$ con N numero totale di spire del solenoide $\Rightarrow N = n\ell$