

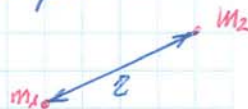
ELETTROMAGNETISMO

Due corpi possono interagire tra loro attraverso un contatto fisico, oppure anche senza il contatto fisico nel modo detto **A DISTANZA**.

A sua volta l'interazione a distanza può essere di varia natura, esempio dovuta alla gravitazione universale (studiata da Newton)

Altro tipo di interazione a distanza a noi interessante è quella magnetica ed elettrica

$$F_{1,2} = \gamma \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$



FORZA MAGNETICA: 1) forza con cui si attraggono/repungono due magneti permanenti.
2) forza con cui un magnete attrae pezzetti di ferro

L'aggettivo magnetico deriva dal nome antico della città Toros di Magnesia un tempo chiamata **MAGNESIA**, nei dintorni della quale si estrasse un minerale = **MAGNETITE** che godeva della proprietà di attrarre pezzetti di ferro.

FORZA ELETTRICA: 1) forza con cui due bacchette di materiale NON METALLICO, se strofinate con un panno, si respingono/attraggono
forza attrattiva che una bacchetta di materiale NON METALLICO, se strofinata con un panno, esercita su pezzetti di carta, zucchero eccetera.

L'aggettivo elettrico deriva dal nome antico con cui i Greci designavano l'ambra = **ELEKTRON**, sostanza che se strofinata, attrava piccoli pezzi di stoffa, capelli eccetera.

Un tempo l'origine della forza magnetica si pensava fosse disgiunta da quella elettrica. Dato da parte di carica magnetica e carica elettrica pensavano a due diversi fenomeni per quasi tutto il 1700.

Solo con l'avvento della PILA DI VOLTA la scienza che studia detti fenomeni ha subito un notevole impulso, perché si è passati dall'uso delle **MACCHINE ELETTROSTATICHE** con produzione "irregolare" di energia elettrica, alla pila appunto che eroga un modo continuo. Nel 1820 OERSTED conduce poi il famoso esperimento con un filo conduttore delle cariche elettriche e di un filo con accanto l'ago di una bussola e nota che il passaggio di corrente elettrica influenza la direzione dell'ago.



Da OERSTED si sa che non sono solo **CARICHE MAGNETICHE** a generare un campo magnetico, ma anche cariche elettriche: l'esperimento segna la nascita del fenomeno detto **ELETTROMAGNETISMO** e delle forze elettromagnetiche il cui UNICO AGENTE è la CARICA ELETTRICA.

CARICA ELETTRICA

Prima di entrare nel merito di cos'è e come si comporta una carica elettrica, diciamo che esistono vari comportamenti dei corpi nei confronti di questa:

CONDUTTORI: materiali che NON hanno la proprietà di trattenere la carica elettrica; i cosiddetti elettroni sono liberi di muoversi e possono così di perdere le cariche elettriche verso i corpi circostanti con cui sono in contatto.

Esempio di conduttori sono: ARGENTO - RAME - ORO - ALLUMINIO
FERRO - PIOMBO - GRAFITE

Se strofinati con un panno "NON si elettrizzano"

ISOLANTI: materiali che hanno la proprietà di trattenere la carica elettrica; in essi gli elettroni NON sono liberi di muoversi e non possono perciò disperdersi verso i corpi circostanti con cui sono in contatto.
 Esempio di isolanti sono: AMBRA - GOMMA - NYLON - PORCELLANA
 BEESWAX - VETRO - SHELLAC - ACQUA PURA - ARIA
 Se strofinati con un panno "si elettrizzano"

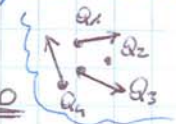
SEMICONDUTTORI: materiali che non trattenono la carica solo sotto CERTE PARTICOLARI CONDIZIONI, la carica può muoversi solo a determinate condizioni esempio: silicio drogato

La carica elettrica è una proprietà della materia e non è percepibile dai nostri sensi; ci accorgiamo della sua presenza solo attraverso le forze da essa generate:
 MISURIAMO LA CARICA ELETTRICA ATTRAVERSO LA FORZA AGENTE SU ESSA e per i metodi storici indicati sopra divenno

FORZA ELETTRICA = F_e = forza esercitata su di una carica elettrica FERMA, da altre cariche elettriche circostanti, le quali possono essere indifferentemente ferme ed in moto; indicheremo tali studi come ELETTROSTATICA



FORZA MAGNETICA = F_m = forza esercitata su di una carica elettrica IN MOTO, da altre cariche elettriche circostanti, le quali possono essere indifferentemente ferme ed in moto; indicheremo tali studi come ELETTROMAGNETISMO



Per con dei semplici esperimenti; per strofinio di un panno su una bacchetta di varia natura (vetro, bachelite) si scopre che esistono almeno due tipi di forze

FORZA REPULSIVA: se strofiniamo due pezzi dello stesso materiale ISOLANTE e misuriamo la forza interagente tra essi (esempio VETRO-VETRO oppure BACHELITE-BACHELITE)

FORZA ATTRATTIVA: se strofiniamo due pezzi di diverso materiale ISOLANTE, ma opportunamente selezionati, e misuriamo la forza interagente tra essi (esempio VETRO-BACHELITE)



Si nota che mentre due corpi dello stesso materiale, se strofinati, danno sempre luogo ad una forza REPULSIVA, il contrario tra corpi strofinati di diverso materiale dà luogo ad una forza a volte repulsiva e a volte attrattiva.

Si conclude che ci sono due tipi di carica elettrica, che PER CONVENZIONE divenno

carica elettrica POSITIVA (+): con comportamento simile al VETRO

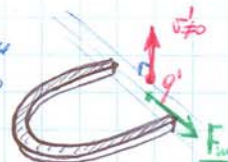


carica elettrica NEGATIVA (-): con comportamento simile alla BACHELITE

Altri tipi di forze non sono usati, perché non esclusi, cioè la carica elettrica potrebbe avere anche una struttura più complessa.

Se la carica q' è sottoposta ad una interazione con un magnete, la forza magnetica F_m è ortogonale al vettore velocità della stessa

$$\underline{F_m} \perp \underline{v'}$$



ed il suo modulo è proporzionale oltre che al valore di q' anche alla velocità v'

$$F_m = q' \cdot v' \times B$$

\underline{B} = campo magnetico

Passiamo ora in rassegna i 4 principi fondamentali dell'elettromagnetismo che riassume:

- PRINCIPIO di CONSERVAZIONE della CARICA
- PRINCIPIO di INVARIANZA
- PRINCIPIO di SOVRAPPOSIZIONE degli EFFETTI
- PRINCIPIO di CONSERVAZIONE dell'ENERGIA

I principi elencati, in quanto tali, NON sono dimostrati; ognuno di essi si descrive come segue

CONSERVAZIONE della CARICA

Si osserva, nel condurre l'esperimento di strofinio con un pezzo di un materiale isolante, SEMPRE che avvicinando l'oggetto elettrizzato al pezzo (sia esso vetro che bacchette) una forza attrattiva: la conclusione è che:



NEUTRO



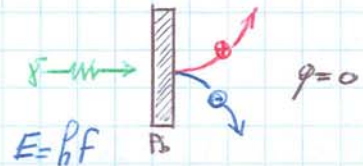
POSITIVO (+)



NEGATIVO (-)

nella materia sono normalmente presenti cariche di segno opposto in UGUAL QUANTITÀ, i cui effetti si annullano a vicenda, per cui la materia si appare priva di carica, ossia **NEUTRA**.
Cane a dire che: le cariche elettriche NON possono essere né create né distrutte, in ogni processo di elettrizzazione si ROMPE SOLO l'EQUILIBRIO fra cariche positive e negative.
Tale fondamentale principio non ha mai trovato alcuna smentita sperimentale neanche su scala sub-atomica o su scala cosmica: **LA CARICA ELETTRICA COMPLESSIVA DI UN SISTEMA ISOLATO RIMANE COSTANTE**

Ulteriore esempio della conservazione della carica lo si ha nel bombardare con raggi γ una lastra di piombo; si libera in tal modo 2 cariche elettriche: una positiva (+) ed una negativa (-); ma il bilancio finale è ancora zero $q=0$



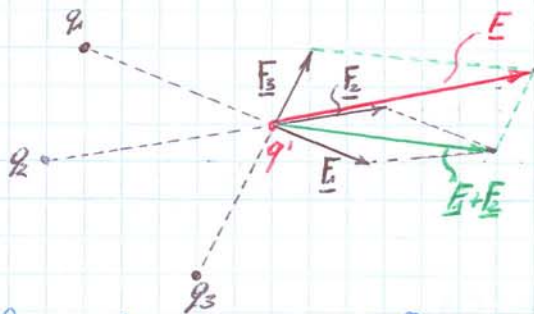
INVARIANZA

Altro principio sperimentalmente confermato, e mai smentito, è che la carica elettrica rimane invariata al cambiare del sistema di riferimento

SOVRAPPOSIZIONE EFFETTI

Eseguiamo ancora una volta un esperimento come segue: abbiamo la carica q' ed altre tre cariche q_1, q_2, q_3 eguali sulla prima abbiamo dimostrato che ogni carica q_1, q_2, q_3 esercita su q' una forza indipendente dalle altre cariche presenti.

$$F = F_1 + F_2 + F_3$$



La forza F totale agente su q' è pari alla somma vettoriale delle forze di ogni singolo agente $F = F_1 + F_2 + F_3$ ed è misurata in COLOMB

$$1 [C] = 10^7 \times C^2 \quad \text{ove} \quad c = 2,998 \times 10^8 \text{ m/s velocità della luce}$$

$$\downarrow 10^7 \times (2,998)^2 \times 10^{16} = (2,998)^2 \times 10^9 [N] \approx 9 \times 10^9 [N] \quad \text{con approssimazione } +0,13\%$$

Dal punto di vista elettrostatico $1 [C]$ è un valore smisurato ecco perché spesso si fa riferimento alla più piccola unità di carica che sia mai stata trovata, e cioè:

CARICA ELEMENTARE: carica dell'elettrone $e = 1,6022 \times 10^{-19} [C]$ nel SI

L'elettrone possiede una carica pari ad $-e$ e a spingere puntiforme, ossia senza struttura interna; menzioniamo qui i QUARK (sono 4 tipi) e possiedono carica frazionaria di $\pm 1/3$ e $\pm 2/3$ ma non sono mai stati osservati isolati.

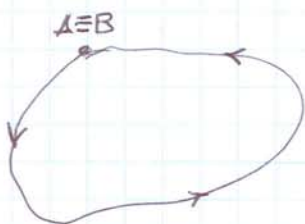
CONSERVAZIONE ENERGIA

Senza dare anticipazioni su campi elettrici e, differenza di potenziale, le condizioni di applicazione del principio di conservazione dell'energia sono:

- la particella di massa m e carica q si muove da un punto A ad un altro B
- tra il punto A ed il punto B esiste una differenza di potenziale $V_A - V_B$
- q è lavoro sulla particella m fatto dalle forze del campo elettrico $W_{AB} = qV_A - qV_B$
- il lavoro del campo elettrico ha aumentato l'energia cinetica $W_{AB,K} = \frac{1}{2} m v_B^2 - \frac{1}{2} m v_A^2 = E_{KB} - E_{KA}$

Considerato che dalla meccanica vale $W = \Delta E_K$, durante il moto della particella carica IN UN CAMPO ELETTROSTATICO, LA SOMMA DELL'ENERGIA CINETICA E DELL'ENERGIA POTENZIALE È COSTANTE

$$E_{KB} + qV_B = E_{KA} + qV_A \quad \text{principio di conservazione dell'energia}$$



Considerato un circuito, del moto risulta che $\int_A^B E ds = V_A - V_B$

$$\oint E ds = V_A - V_A = 0$$

lungo una "circolazione" del campo elettrico E la differenza di potenziale è nulla; è questo un altro modo di esprimere le PROPRIETÀ CONSERVATIVE DELLE FORZE ELETTROSTATICHE

LEGGI DI COULOMB

Consideriamo in principio un caso generale, ove si hanno 2 cariche PUNTFORMI q_1 e q_2 ad una distanza di interazione r , si osserva che la FORZA ELETTRICA che agisce reciprocamente tra le stesse, sia essa attrattiva che repulsiva, è inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza ed agente lungo la direzione congiungente le due cariche

$$\underline{F}_{e12} \propto \frac{1}{r^2} \underline{u}_1$$

$$\underline{F}_{e21} \propto \frac{1}{r^2} \underline{u}_2$$



Si osserva poi che se considero $q_2 = 2q_1$ risulta $\underline{F}_{e21} = +2\underline{F}_{e12}$ cioè la forza elettrica è proporzionale anche alle cariche q_1 e q_2

$$\underline{F}_{e12} \propto \frac{q_1 q_2}{r^2} \underline{u}_1$$

$$\underline{F}_{e21} \propto \frac{q_2 q_1}{r^2} \underline{u}_2$$

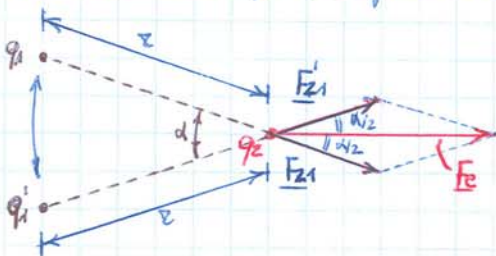
La proporzionalità \propto prende il nome di $k_e = \text{costante di proporzionalità}$ e la forza elettrica è espressa da

legge di Coulomb,

$$\underline{F}_{e12} = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} \underline{u}_1$$

$$k_e = 10^{-9} \times \text{C}^2 \approx 9 \times 10^9 [\text{N}]$$

Riformuliamo brevemente alla proporzionalità della forza rispetto alle cariche, e dimostriamolo. Prese due cariche q_1 e q_1' uguali ed agenti su di una carica q_2 alla stessa distanza r per come è costruito il sistema



$$\underline{F}_{e22} = \underline{F}_{e21} \quad \text{e per la sovrapposizione degli effetti}$$

$$\underline{F}_e = \underline{F}_{e12} \cos \frac{\alpha}{2} + \underline{F}_{e1'2} \cos \frac{\alpha}{2} = 2 \underline{F}_{e12} \cos \frac{\alpha}{2}$$

se ora $\alpha \rightarrow 0$ \underline{F}_{e12} ed $\underline{F}_{e1'2}$ saranno la stessa retta d'azione

$$\underline{F}_e = \underline{F}_{e12} \cos 0 + \underline{F}_{e1'2} \cos 0 = 2 \underline{F}_{e12}$$

cioè se raddoppio q_1 che genera \underline{F}_{e21} risulta che $2q_1$ genera $2 \underline{F}_{e21}$ } CVD

Con la legge di Coulomb ed il principio di sovrapposizione degli effetti si può costruire TUTTA l'elettrostatica nel vuoto.

Dalla legge di Coulomb vanno ricordate ALMENO 2 osservazioni

- Un campo di forze elettriche è un campo di forze centrali, in quanto la direzione della \underline{F}_e è radiale \underline{u}_r , ma sappiamo che un campo di forze centrali è un CAMPO CONSERVATIVO = le forze elettriche sono conservative
le cariche elettriche generano campi di forze centrali

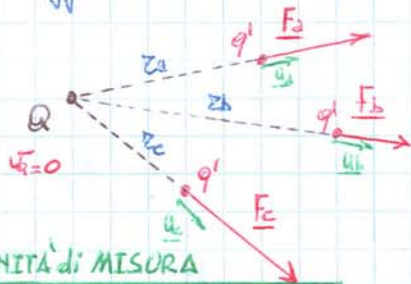
- La carica elettrica conserva il "flusso" attraverso una superficie chiusa (fattore $\frac{1}{r^2}$)

Se poi $q_1 = Q$ la velocità NULLA ($\underline{v}_1 = 0$ caso ELETTROSTATICO)

$$\underline{F}_{e12} = k_e \frac{q_1 Q}{r^2} \underline{u}_1$$

CAMPO ELETTRICO (elettrostatico)

Se considero ora una "carica di prova" $q' = q_1$, che immagino di "tenere in mano" e spostare in vari punti dello spazio (sempre con $v=0$ quando effettuo le misure), e che sia soggetta alla carica $q_2 = Q$, trovo che al variare della distanza $r_i = a, b, c, \dots$ varia anche la forza elettrica di cui affronto di q'



$$F_i = k_e \frac{q'Q}{r_i^2} u_i = q' k_e \frac{Q}{r_i^2} u_i \quad i=a,b,c, \dots \quad \text{DEFINIAMO}$$

CAMPO ELETTRICO \rightarrow
$$\underline{E} = \frac{\underline{F}_e}{q'}$$
 nella definizione di E q' ha $v=0$
nella definizione di E Q non necessariamente
ha $v=0$

UNITA' di MISURA

$\frac{[N]}{[C]} = \frac{Nm}{Cm} = \frac{J}{Cm} = \frac{[V]}{[m]}$
--

nel caso elettrostatico, ossia $v_a=0$, con Coulomb vale

CASO ELETTRISTICO C.E.
$$\underline{E} = k_e \frac{Q}{r^2} \underline{u}_r$$

Si osserva che sia per la legge di Coulomb che per la definizione di campo elettrico, si fa riferimento a CARICHE PUNTIFORMI; perciò detta legge definizione di E pur avendo carattere generale, trovano un preciso risultato solo quando si opera con cariche puntiformi.

In tali ipotesi, per la carica Q si riconosce che nei confronti di q' posso generare

$$\underline{F}_e = q' k_e \frac{Q}{r^2} \underline{u}$$

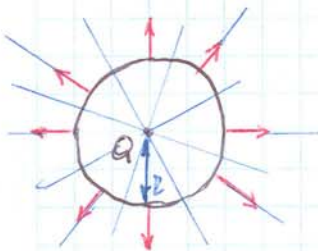
$$\underline{E} = k_e \frac{Q}{r^2} \underline{u} = \frac{\underline{F}_e}{q'}$$

Per il campo elettrico della carica puntiforme Q VALE il principio di sovrapposizione degli effetti, la dimostrazione è immediata

dato $\underline{F} = \underline{F}_1 + \underline{F}_2 + \dots + \underline{F}_n \rightarrow \underline{E} = \frac{\underline{F}}{q'} = \frac{\underline{F}_1}{q'} + \frac{\underline{F}_2}{q'} + \dots + \frac{\underline{F}_n}{q'} = \underline{E}_1 + \underline{E}_2 + \dots + \underline{E}_n$

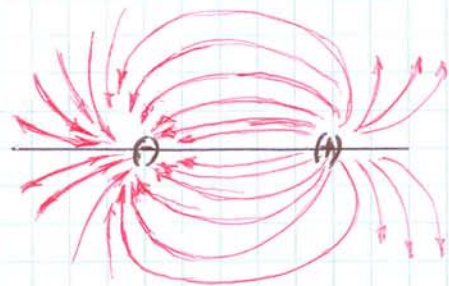
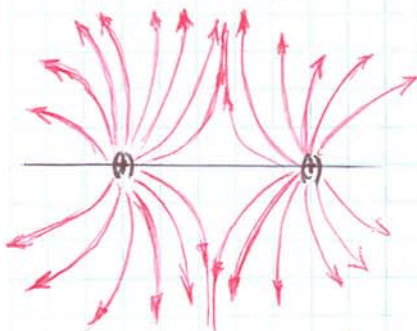
$$\underline{E} = \sum_{i=1}^n \underline{E}_i$$

Per la sua visualizzazione grafica, considerato che nel PIANO le forze con stessa distanza r da Q hanno la stessa intensità e tutte con direzione radiale che si diparte dalla carica Q stessa, per chiarezza grafica NON disegno le forze così generate ma le **LINEE di FORZA**



LINEA DI FORZA: linea tale che la tangente in ogni suo punto dà la direzione del vettore campo elettrico nel punto stesso

Disegno un esempio del dipolo elettrico e delle linee di forza da esso generate



per convenzione

le linee di forza si dipartono dal polo positivo
le linee di forza convergono nel polo negativo

