MASTER COPY
PISA

Fisica II	Dott.ssa Giuliana Rizzo	29 Settembre 2014

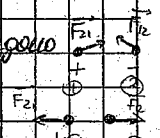
Testo di riferimento: SERWAY - JEWETT "Fisica per scienze ed ingegneria" volume 2 (quarta ed 2009) EdiSES

Elettrostatica

Nota sin dall'antichità per ambra ed elettrodi (ELEKTRON) solo nel 600 Coulomb e Millikan

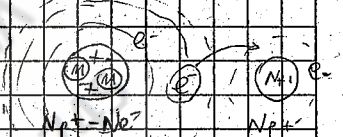
Le proprietà delle cariche elettriche: 2 caratteristiche convenzionali → positivo ? per
→ negativo ? algebra

1) Esistono 2 tipi di cariche elettriche: POSITIVO e NEGATIVE
   - cariche dello stesso segno si attraggono respingono
   - cariche del segno opposto si attraggono



2) In un sistema isolato la carica si conserva: la carica non si crea ne si distrugge ma si può spostare da un corpo all'altro

3) con un'operazione di strofinio possiamo attaccare un elettrone (acquistare e cedere un elettrone)



4) La carica è quantizzata: esiste sempre in multipli interi della q elementare

$q_{e^-} = -1{,}6 \cdot 10^{-19}\ C$ Coulomb = carica fondamentale per convenzione

$p^+ = +1{,}6 \cdot 10^{-19}\ C$

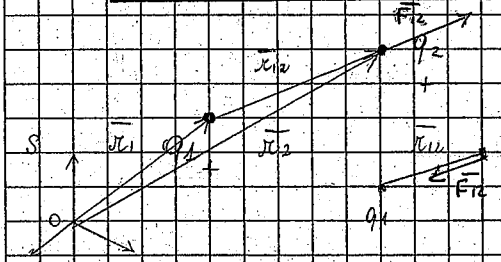
$Ne^-(1C) = \dfrac{1}{1{,}6 \cdot 10^{-19}} = 10^{18}\ e^-$

$Q > 0$ (atomo caricato positivamente) $Q < 0$

- **Conduttori**: materiali nei quali le cariche elettriche sono quasi "libere" di muoversi all'interno del materiale sotto l'azione di Forze elettriche (campi elettrici)
- **Isolanti**: materiali nei quali le cariche non possono muoversi in presenza di forze elettriche (es anche H_2O pura contiene ed aria, altre a plastica (forze reticolari))
- **Semiconduttori**: materiali intermedi, dove il numero di portatori liberi possono variare di molti ordini di grandezza.

Forza di Coulomb

Descrive la forza nel vuoto (tra cariche puntiformi)



$$\vec{F}_{C,1\to 2} = \frac{k\, q_1 q_2}{|\vec{r}_{12}|^2}\,\hat{r}_{12} = \frac{k\, q_1 q_2\, \vec{r}_{12}}{|\vec{r}_{12}|^3}$$

$\vec{r}_{12}$ = vettore posizione della q_2 che subisce la forza rispetto alla q_1 che esercita la forza

$\vec{r}_{12} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$ $\quad \hat{r}$ = versore

$(\vec{r})$

$q_1, q_2 > 0$ Ha direzione della congiungente delle 2 cariche ($\vec{r}_{12}$) ma repulsiva, diretta proprio come $\hat{r}_{12}$.

$q_1, q_2 < 0$ Ha direz della congiungente ed è attrattiva

MASTER COPY
PISA

Caratteristiche della forza di Coulomb:

1) È una legge vettoriale = $\vec{F_c}$ è un VETTORE (e come tale va trattato l'algebra dei vettori da utilizzare!)

→ direzione $\hat{r}_{12}$ = direzione congiungente le 2 cariche ($\hat{r}$) è il versore = vettore di lunghezza unitaria

→ verso $q_1, q_2 > 0$ cariche stesso segno (+ +, − −) → forza repulsiva $q_1 q_2 < 0$ (+ −, − +) → attrattiva

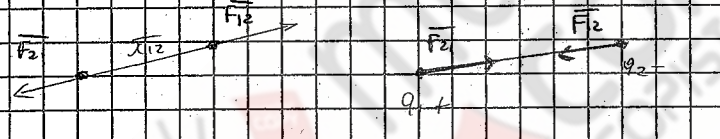
→ modulo $\propto q_1 q_2$ $\propto \frac{1}{r_{12}^2}$ inverso del quadrato della distanza tra le cariche

$k = 9 \cdot 10^9 \ \frac{N \cdot m^2}{C^2}$ costante nel S.I.

$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ costante dielettrica nel vuoto $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \ \frac{C^2}{m^2 \cdot N}$

Notazione più veloce: $\vec{F_c} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r}$ r è il vettore posizione di una carica rispetto all'altra

Continuano a valere i principi della dinamica → III° principio di Newton



$\vec{F_{21}} = -\vec{F_{12}}$

$\vec{F_{21}} = \frac{k q_1 q_2}{|\vec{r}_{21}|^2} \hat{r}_{21}$

Analogie e contrasti con la forza di attrazione gravitazionale

- non è mai repulsiva (è sempre attrattiva)

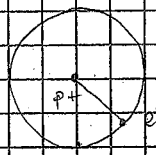
$\vec{F}_{G,1\to 2} = -\frac{G m_1 m_2}{|r_{12}|^2} \hat{r}_{12}$

Analogie con $\vec{F_c}$: • direzione • modulo $\propto m_1 m_2 \propto \frac{1}{|\vec{r}_{12}|^2}$

Differenze con $\vec{F_c}$: • verso (sempre attrattiva) • nella costante $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \ \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$

$\frac{|\vec{F_c}|}{|\vec{F_G}|} = 10^{40}$ (a caso)

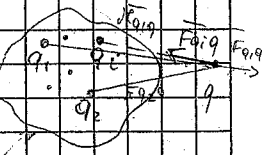
k e G hanno 20 ordini di grandezza. Il rapporto tra i moduli è di 40 ordini di grandezza



$r = 0{,}5 \cdot 10^{-10}\ m = 1 \text{ Å}$ $m_p = 10^{-27}\ kg$ $m_e = 9 \cdot 10^{-31}\ kg$

Relazione di un numero discreto di cariche puntiformi

Per la $\vec{F_c}$ vale il principio di sovrapposizione degli effetti:



• q $\vec{F}_{q,\Delta q_i} = \sum_{i=1}^{N} \vec{F}_{q,q}$ la forza totale sulla q è la somma vettoriale delle $\vec{F_c}$ che le q_i esercitano su q

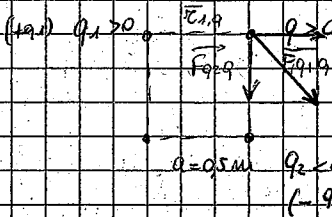
D q_i = distribuzione delle cariche q_i

$\hat{r}_{1,2} = \frac{\vec{r}_{12}}{||\vec{r}_{12}||}$

$\vec{F}_{q,\Delta q_i} = \sum_{i=1}^{N} \frac{k q_i q}{(|\vec{r}_{q,q}|)^2} \hat{r}_{q,q} = \sum_{i=1}^{N} \frac{k q_i q}{|\vec{r}_{q,q}|^3} \vec{r}_{q,q}$

30 Settembre 2011

•) Problema: $q_1 > 0$ e $q_2 < 0$; $|q_1| = |q_2| = 2\,\mu C$ sono i vertici di un quadrato di lato $a = 0{,}5\,m$



$\vec{F}_{tot} \overset{?}{=} q$

$$\sum_{i=1}^{N} \vec{F}_{q_i q} = \vec{F}_{q_1 q} + \vec{F}_{q_2 q} = k\frac{q_1 q}{|\vec{r}_{1q}|^2}\hat{r}_{1q} + k\frac{q_2 q}{|\vec{r}_{2q}|^2}\hat{r}_{2q}$$

[a] Abbiamo utilizzato il metodo grafico con la regola del parallelogramma

Direzione $\vec{F}_{tot}$ è $45°$ rispetto all'asse orizzontale

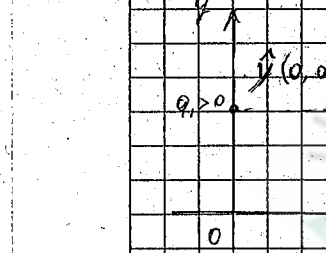
$|F_{1q}| = |F_{2q}| = k\frac{q_1 q}{a^2}$

Modulo $|\vec{F}| = k\frac{q_1 q}{a^2}\sqrt{2}$ — $\sqrt{2}$ perché è l'ipotenusa del triangolo isoscele di lato 1

[b] Metodo analitico: Scrivo i vettori in componenti "cartesiane" e le sviluppo

$$\vec{F}_{q_1 q} = \frac{k\,q_1 q}{|\vec{r}_{1q}|^3}\vec{r}_{1q}$$

$\vec{r}_{1q}$ = vettori posizione di q rispetto a 1 = $\vec{r}_q - \vec{r}_1$

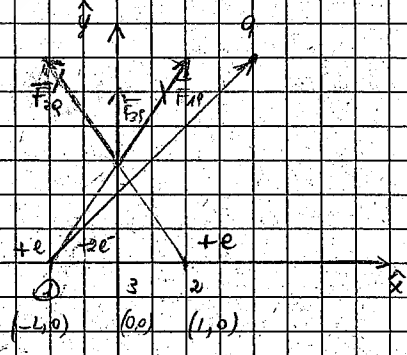


$$\vec{F}_{q_1 q} = k\frac{q_1 q}{|\vec{r}_{1q}|^3}\vec{r}_{1q} \qquad \vec{r}_{1q} = \frac{k\,q_1 q\,(q,0)}{a^3}$$

$\vec{r}_{1q} = (a,a) - (0,a) = (a,0)$

•) $\vec{F}_{tot}(x,y) \overset{?}{=}$ Per il principio di sovrapp.

$$= \sum_{i=1}^{N}\vec{F}_{q_i q} = k\frac{q_1 q}{|\vec{r}_{1q}|^2}\hat{r}_{1q} + k\frac{q_2 q}{|\vec{r}_{2q}|^2}\hat{r}_{2q} + k\frac{q_3 q}{|\vec{r}_{3q}|^2}\hat{r}_{3q}$$



In questo caso $\vec{r}_{1q}$ è la posizione, o meglio il vettore posizione di q che subisce la forza rispetto a q_1 che esercita la forza

$\vec{r}_{1q} = \vec{r}_q - \vec{r}_1 = (x,y) - (-1,0) = (x+1, y)$

$\vec{r}_{2q} = \vec{r}_q - \vec{r}_2 = (x,y) - (1,0) = (x-1, y)$

$\vec{r}_{3q} = (x,y)$

$|\vec{r}_{iq}|^3 = \left[\left(x^2+y^2\right)^{\frac{1}{2}}\right]^3 = \left[|x^2+y^2|^{\frac{3}{2}}\right]$

Utilizziamo quindi la formula con il cubo del vettore!

$$\sum F_{q_i q} = \frac{k\,q_i q}{|\vec{r}_{iq}|^3}\vec{r}_{iq}$$

$$\Rightarrow \bar{F}_{cq}(x,y) = \frac{k\,e\,q}{|(x+L)^2+y^2|^{\frac{3}{2}}}(x+L,y) + \frac{k\,e\,q}{|(x-L)^2+y^2|^{\frac{3}{2}}}(x-L,y) + \frac{k\,2e\,q}{|x^2+y^2|^{\frac{3}{2}}}(x,y) =$$

(poiché carica negativa di $-2q$)

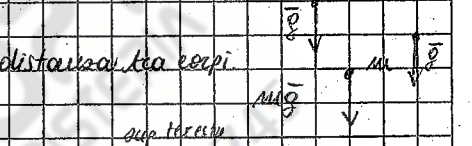
$$= k\,e\,q\left[\hat{x}\left(\frac{x+L}{|(x+L)^2+y^2|^{\frac{3}{2}}} + \frac{x-L}{|(x-L)^2+y^2|^{\frac{3}{2}}} - \frac{2x}{|x^2+y^2|^{\frac{3}{2}}}\right) + \hat{y}\left(\frac{y}{|(x+L)^2+y^2|^{\frac{3}{2}}} + \frac{y}{|(x-L)^2+y^2|^{\frac{3}{2}}} - \frac{2y}{|y^2+y^2|^{\frac{3}{2}}}\right)\right]$$

Ora procediamo ad immaginare una altra carica simmetrica (disegno in giallo)

$\bar{F}_{cq}(x,y) \Rightarrow \bar{F}_q(0,y) = \hat{y}\,|\bar{F}_q| = \frac{k\,e\,q}{\dots} \Rightarrow \hat{x} = 0 \Rightarrow$ ok verificato

Il concetto di Campo

Utilizzato in fisica per descrivere le interazioni a distanza tra corpi



(es) $\bar{g} = \hat{V}_{vert}\, g \qquad g = 9{,}8\ \frac{m}{s^2}$

↳ ha lo stesso valore in tutti i punti vicino alla sup terrestre

$\bar{F}_m(P) = m(\bar{g})$ Campo di accelerazione gravitazionale vicino alla sup terr.

Campo $\bar{g}(P) \overset{def}{=} \frac{\bar{F}_m(P)}{m}$ è la forza che subirebbe una massetta di prova m messa in P divisa per la m stessa.

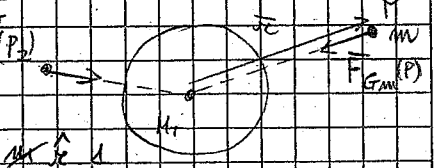
↓ indicazione

$\bar{g}(P)$ è in realtà un campo UNIFORME = non varia nei diversi punti dello spazio
o non COSTANTE = non varia nel tempo
(approssimato)

(Forza elastica, la forza di att gravit non sono unif.) $\bar{F}_q = \ominus\, G\frac{m_1 m_2}{|\bar{r}_{12}|^2}\hat{r}_{12}$

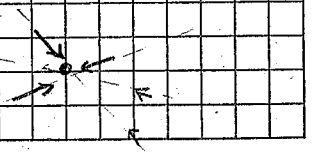
$\bar{G}(P) = \frac{\bar{F}_m(P)}{m} = (*)$ Forza che una massetta subirebbe in un punto della superficie terrestre prato la massetta stessa

↓ Acc. di gravità dovuta alla Terra



$\bar{F}_{Gm}(P) = -\frac{G\,M_T\,m}{|\bar{r}|^2}\hat{r} = (*) -\frac{G\,M_T}{|\bar{r}|^2}\hat{r}\ \frac{1}{m}$

Il campo qui non è UNIFORME
(dipende dalla posizione e dall'intensità) (ii)
del punto nello spazio



Serve per esprimere una difficoltà concettuale: il concetto di azione a distanza è stato superato dall'introduzione del concetto di CAMPO

Def: **Il campo elettrico** $\vec{E}(P)$ in ogni punto dello spazio P $\equiv_{def} \frac{\vec{F}_q(P)}{q}$ è la forza che subirebbe una CARICHETTA di prova q messa in P, divisa per q.

(è $|\vec{E}|$ per unità di carica dimensionalmente)

dim $[\vec{E}] = \left[\frac{\vec{F}}{q}\right]$ = unità di misura nel S.I.

$= \frac{N}{C}$

Proprietà: 1) È un campo **vettoriale** deriva da una forza

2) il campo è indipendente dalla carica di prova e riassume l'effetto di tutte le possibili sorgenti di forza elettrica in quel punto.

3) Direzione e verso di $\vec{E}(P)$ la visualizza immaginando la forza che subirebbe una $q>0$ di prova in quel punto.

① consideriamo la carica di prova ma:

Per capire direzione e verso, sono la direz. e la forza che subirebbe una carica positiva in quel punto.

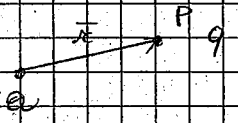
Impareremo a calcolare $\vec{E}(P)$ e sappiamo che la forza che subirebbe una carica in un punto P $\rightarrow \vec{F}_q(P) = q\,\vec{E}(P)$

Ritorno ad una carica puntiforme come descriviamo il campo elettrico?

Campo generato da Q puntiforme

↓

$\vec{E}(\vec{x})$

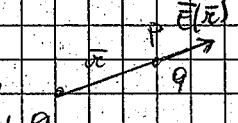


$\vec{x}$ = vettore posizione del punto in cui calcolo il campo rispetto alla sorgente del campo $\vec{E}$ (in questo la carica Q uniforme che genera questo campo

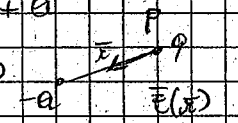
$$\vec{E}(P) = \frac{\vec{F}_q(P)}{q} = \frac{1}{q}\,\frac{kQq}{|\vec{x}|^2}\,\hat{x}$$

⊛

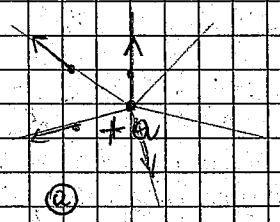
2 casi: $Q>0$

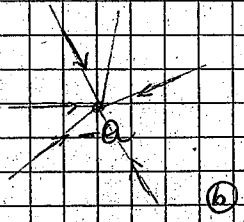


$Q<0$



- direzione radiale
- verso: $Q>0$ uscente ⓐ
  $Q<0$ entrante ⓑ
- modulo: $\propto \frac{|Q|}{|\vec{x}|^2}$





Valendo il principio di sovrapp. per la forza elettrica => Per la proprietà distributiva vale anche per il campo elettrico

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745