Centro Stampa

N° 2582

FISICA 2
TEORIA TEMI ESAME
2018-19

DI COLETTO MARTINA

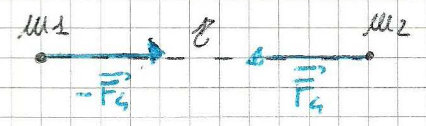
Premessa:

Si tratta degli appunti di Fisica II (6 crediti) tenuto dal professor Trigiante, in coda sono presenti anche alcuni temi d’esame.

ELETTROMAGNETISMO → variazione campi elettrici / magnetici

4 INTERAZIONI FONDAMENTALI:
1. GRAVITAZIONALE
2. ELETTROMAGNETICA
3. NUCLEARI FORTI
4. NUCLEARI DEBOLI

1. LEGGE della GRAVITAZIONE UNIVERSALE di NEWTON



$$|F_G| = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$G = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{N m^2}{kg^2}$$

↳ descrive molti fenomeni MA è un'approssimazione
⇒ generalizzata da EINSTEIN

- MASSA GRAVITAZIONALE = coincide con la massa inerziale → tutti i corpi possiedono la capacità di esercitare / subire forza gravitaz.
  ↳ "CARICA GRAVITAZIONALE" (≠ forza elettrostatica)

FORZA ELETTROSTATICA fra cariche fisse
↳ 2. LEGGE di COULOMB
- non tutti i corpi possiedono CARICA ELETTRICA, normalmente la materia è NEUTRA
- ci sono 2 tipi di cariche elettriche → può essere una forza ATTRATTIVA o REPULSIVA
  (≠ gravitazionale → solo ATTRATTIVA)

FORZA ELETTROSTATICA causa la COESIONE della MATERIA
+ responsabile delle PROPRIETÀ CHIMICHE degli ELEMENTI

▶ INTERAZIONI NUCLEARI → solo a CORTO RAGGIO ($< 10^{-15}$ m), devono avvicinarsi

NUCLEARI FORTI: mantiene uniti nel NUCLEO NEUTRONI e PROTONI

NUCLEARI DEBOLI: DECADIMENTI RADIOATTIVI β

▶ INTERAZIONE ELETTROSTATICA (cariche separate dal vuoto)

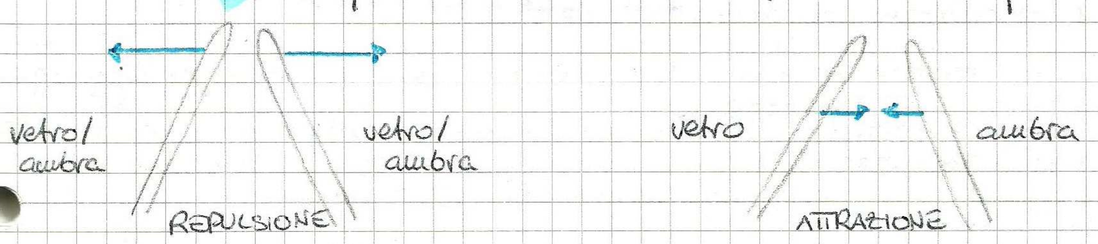
alcuni materiali possono attrarre piccoli corpuscoli → forza elettrostatica

CARICA ELETTRICA = capacità di esercitare / subire forza elettrica

MA in condizioni normali la MATERIA è NEUTRA ⇒ ELETTRIZZAZIONE
(può essere elettrizzazione per strofinio) → oggetto elettrizzato

1600 → GILBERT → 1° a studiare interazione elettrostatica

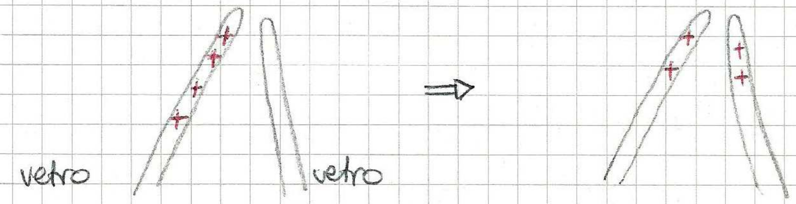
PROPRIETÀ: 1) 2 tipi di CARICA ELETTRICA (elettrizzate con panno di lana)



CARICA POSITIVA → barra di vetro
CARICA NEGATIVA → barra di ambra
} → tipo di carica = SEGNO

CARICHE possono essere trasferite da un oggetto all'altro + sono entrambe presenti nella materia

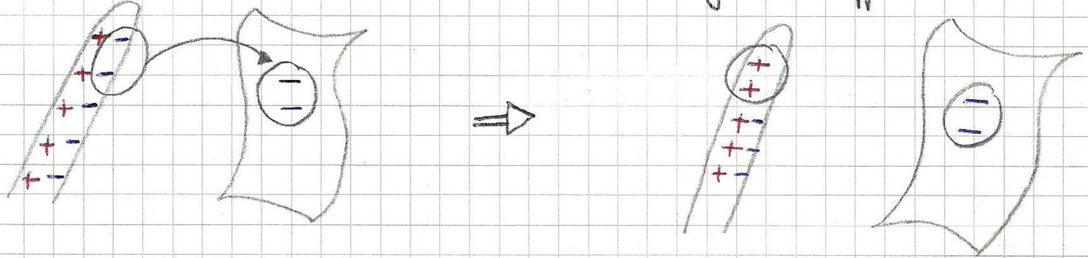
- barra carica positivamente + barra neutra → ELETTRIZZAZIONE



- per STROFINAMENTO si formano cariche di segno OPPOSTO
  (MA) se rimessi in contatto gli oggetti elettrizzati si NEUTRALIZZANO → cariche si equilibrano

- MATERIA NEUTRA → ci sono cariche positive e negative che si compensano perfettamente fino a distanze atomiche (10^{-10} m)

barra + panno neutri → portatori di carica estratti dalla barra e depositati sul panno
⇒ carica positiva non è più schermata
⇒ ECCESSI di CARICA uguali e opposti



↓

2) CARICA ELETTRICA si CONSERVA (non si crea e non si distrugge)
(2 cariche sono uguali e opposte se si compensano perfettamente
↳ verificato e osservato senza eccezioni

3) CARICA ELETTRICA si trasferisce sempre in MULTIPLI INTERI di una quantità elementare = CARICA ELEMENTARE
(Millikan - 1900)

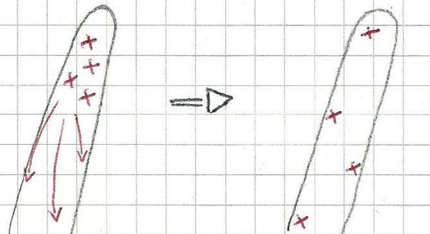
$$q_+ = n e_+ \qquad q_- = n e_- \qquad n = 0, 1, 2, \dots$$

$e_\pm = \pm e$
↳ stessa carica ma con segno opposto

4) Possiamo ordinare i materiali in una SEQUENZA TRIBOELETTRICA
↳ strofino con un materiale successivo, si carica positivamente
precedente, " negativamente
(pelle di coniglio, vetro, lana, ambra, ...)

▶ ISOLANTI e CONDUTTORI

- ISOLANTI \ DIELETTRICI → cariche non possono muoversi
- CONDUTTORI → eccesso di carica si muove e si redistribuisce per raggiungere un equilibrio
(metalli, Terra, noi ...)



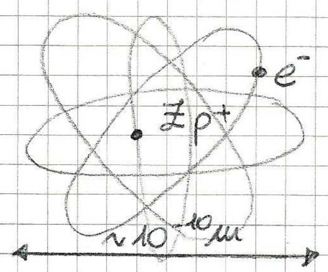
↳ DISPERSIONE della CARICA
↓
per elettrizzare devo tenere la barra di ferro con un materiale ISOLANTE

- SOSTANZA PORTATRICE di CARICA ELETTRICA POSITIVA → PROTONI : p^+ $+e$
- " " " " NEGATIVA → ELETTRONI: e^- $-e$

↳ carica uguale e opposta

MATERIA → ATOMI : Z protoni + Z elettroni (in condizioni normali)

$\downarrow +Ze$ $\quad\quad \downarrow -Ze$



fino a $10^{-10}\,m$ gli elettroni schermano i protoni

NUCLEO: • PROTONI : $Z\,p^+$ | → MASSA: $m_p \sim m_n \sim 2000\, m_e$

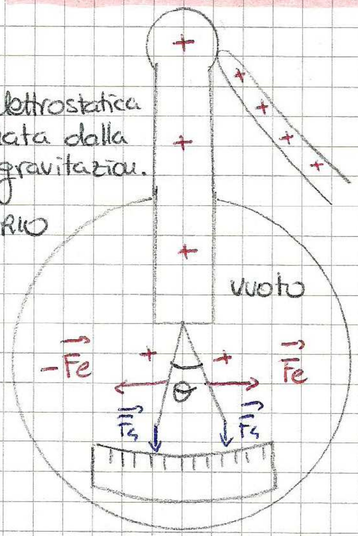
• NEUTRONI : $\sim Z\,n$

⇒ massa concentrata nel nucleo ($10^{-15}\,m$) → regione puntiforme

▸ DEFINIZIONE OPERATIVA di CARICA ELETTRICA

ELETTROSCOPIO a FOGLIOLINE = ci consente di stabilire se un oggetto è più o meno carico di un altro = STATO di ELETTRIZZAZIONE RELATIVO + informazioni sul tipo di carica

forza elettrostatica bilanciata dalla forza gravitazion. ↓ EQUILIBRIO



→ 2 foglie metalliche (di solito oro)

+ cilindro conduttore + sfera metallica

+ bulbo in cui è praticato il vuoto

+ fogliotine si possono divaricare → posizione proiettata su una SCALA

⇒ inizialmente NEUTRO

→ contatto ⟶ FOGLIOLINE SI DIVARICANO

⇒ acquistano una carica proporzionale alla carica totale dell'oggetto

⇒ θ = angolo di divaricazione

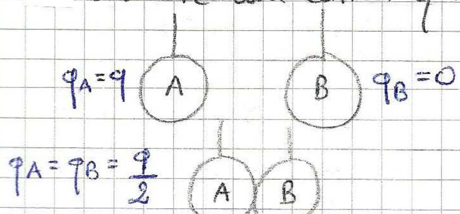
↳ maggiore è la CARICA, maggiore è la divaricazione

2 oggetti posti in contatto con lo stesso elettroscopio scarico determinano lo stesso θ hanno la stessa quantità di carica assoluta

↳ se metto prima in contatto con uno positivo e poi con uno negativo le cariche si neutralizzano in parte o totalmente e le fogliotine si avvicinano

1) procedimento per stabilire se 2 quantità di carica sono uguali o uguali e opposte

+ dividere una carica q in tante parti uguali → SOTTOMULTIPLI dell'UNITÀ di MISURA



sferette con FILO ISOLANTE ⇒ alla fine hanno la stessa carica ⇒ CONSERVAZIONE CARICA

posso dividere q in n parti uguali ripetendo tale procedimento

2) procedura sperimentale facilmente riproducibile per definire con la massima precisione una quantità di riferimento di carica da usare come UNITÀ di MISURA

q_0 = CARICA CAMPIONE ⇒ $q = h\,q_0$ $\quad h \in \mathbb{R}$ numero reale

$$\begin{cases} h > 0 & q \text{ POSITIVO} \\ h < 0 & q \text{ NEGATIVO} \end{cases}$$

SI → $q_0 = 1$ COULOMB (MA) come grandezza fondamentale non si considera la CARICA ELETTRICA, ma l'INTENSITA' di CORRENTE ELETTRICA

INTENSITA' di CORRENTE (Ampere) : $i = \frac{dq}{dt}$ = misura la QUANTITA' di CARICA ELETTRICA che attraversa la SEZIONE di un CONDUTTORE nell'UNITA' di TEMPO

↳ si determina con maggior precisione

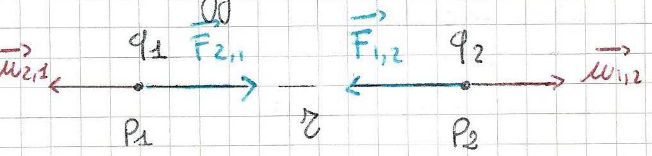
$dq = i\,dt$ → $[Q] = [IT]$

$1C = 1A \cdot 1\,sec$

↳ quantita' di carica enorme

- LEGGE di COULOMB = governa tutti i fenomeni elettrostatici descrivendo la forza elettrostatica agente tra 2 corpi puntiformi nel vuoto

oggetti a distanza molto maggiore della loro dimensione



$\vec{F}_{1,2} = K \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}_{1,2}$ $K > 0$

{1 → esercita la forza
{2 → subisce la forza

$\vec{F}_{2,1} = -\vec{F}_{1,2} = -K \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}_{1,2} = K \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}_{2,1}$

- PROPRIETA' :
  - $|\vec{F}_{1,2}| \propto \frac{1}{r^2}$

    $|\vec{F}_{1,2}| \propto |q_1 q_2|$ → possono essere positive o negative

    $q_1 q_2 > 0$ → $\vec{F}_{1,2}$ parallela concorde con $\vec{u}_{1,2}$ → REPULSIVA

    $q_1 q_2 < 0$ → $\vec{F}_{1,2}$ parallela discorde con $\vec{u}_{1,2}$ → ATTRATTIVA

  - diretta lungo la CONGIUNGENTE
  - $K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 8,9875 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2} \sim 9 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$

    ε_0 = COSTANTE DIELETTRICA nel VUOTO

    $\varepsilon_0 = 8,8542 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{m^2 N}$

    $e = 1,6022 \cdot 10^{-19}\ C$

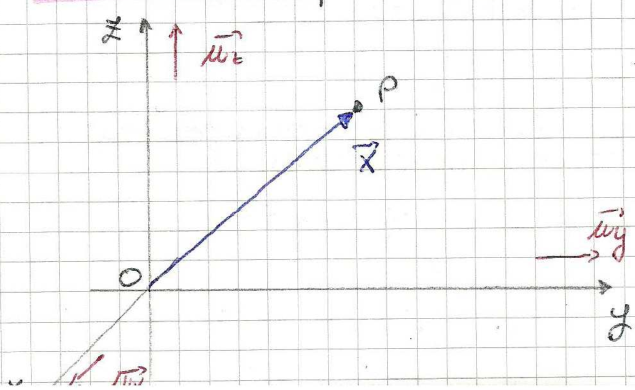
    $\frac{\Delta q}{e} = \frac{10^{-7}}{10^{-19}} \sim 10^{12} >> 1$ → quantita' di carica a livello macroscopico ha un numero altissimo di PORTATORI

    ⇒ CARICA DISCRETA

    (MA) ci appare CONTINUA, portatori troppo piccoli

- $\vec{F}_{1,2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}_{1,2}$ ESPERIMENTO di COULOMB

- INTERAZIONE tra più CARICHE PUNTIFORMI

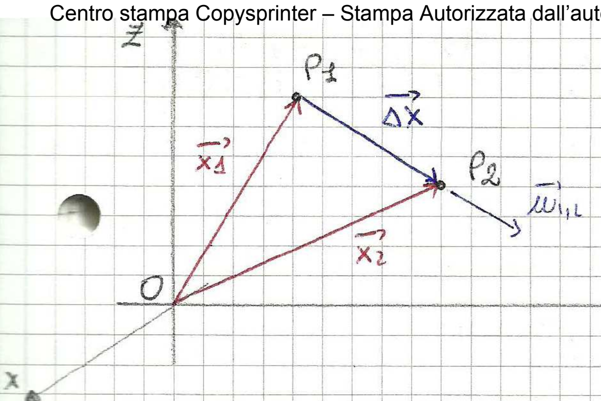


punto P completamente definito dal VETTORE POSIZIONE

$\vec{r} = \vec{OP} = \vec{x}$

↳ posso decomporlo

$\vec{x} = x\vec{u}_x + y\vec{u}_y + z\vec{u}_z = (x, y, z)$ ↳ notazione matriciale



SISTEMA CARTESIANO ORTOGONALE

$P_1 \quad \vec{x_1} = (x_1, y_1, z_1)$

$P_2 \quad \vec{x_2} = (x_2, y_2, z_2)$

VETTORE POSIZIONE RELATIVA tra P_1 e P_2

↳ $\vec{\Delta x} = \vec{P_1P_2} = \vec{x_2} - \vec{x_1} = (x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1) =$

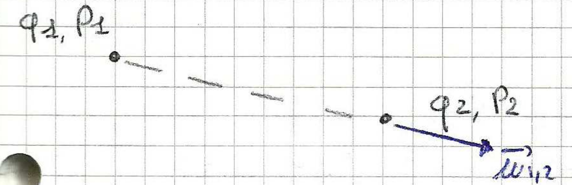
$= (x_2 - x_1)\vec{u_x} + (y_2 - y_1)\vec{u_y} + (z_2 - z_1)\vec{u_z}$

$$|\vec{P_1P_2}| = |\vec{\Delta x}| = \sqrt{(x_2-x_1)^2 + (y_2-y_1)^2 + (z_2-z_1)^2} = r$$

$\vec{u}_{1,2}$ → versore associato al vettore posizione relativa

$$\vec{u}_{1,2} = \frac{\vec{\Delta x}}{|\vec{\Delta x}|} = \frac{\vec{P_1P_2}}{|\vec{P_1P_2}|} = \frac{\vec{\Delta x}}{r} = \frac{\vec{x_2} - \vec{x_1}}{|\vec{x_2} - \vec{x_1}|}$$

→ esplicitiamo la dipendenza dalla posizione dei 2 punti



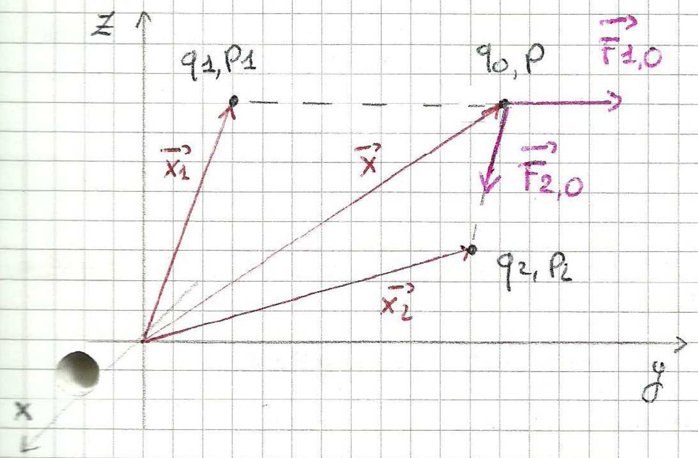
$$\vec{F}_{1,2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1q_2}{r^2}\vec{u}_{1,2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1q_2}{r^2}\frac{\vec{\Delta x}}{r} =$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1q_2(\vec{x_2}-\vec{x_1})}{r^3} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1q_2(\vec{x_2}-\vec{x_1})}{|\vec{x_2}-\vec{x_1}|^3}$$

$\vec{x_2} - \vec{x_1}$ → posizione della carica che subisce la forza meno quella che la esercita

$|\vec{x_2} - \vec{x_1}|$ → distanza tra le 2 cariche

- EFFETTO di 2 CARICHE su una 3ª CARICA



$q_1, P_1, \vec{x_1} \qquad q_2, P_2, \vec{x_2} \qquad q_0, P, \vec{x}$

ciascuna carica esercita una forza su q_0 secondo la legge di Coulomb

↳ attrattiva/repulsiva dipende poi dalle cariche (disegno arbitrario)

↳ 2 forze esercitate simultaneamente su q_0

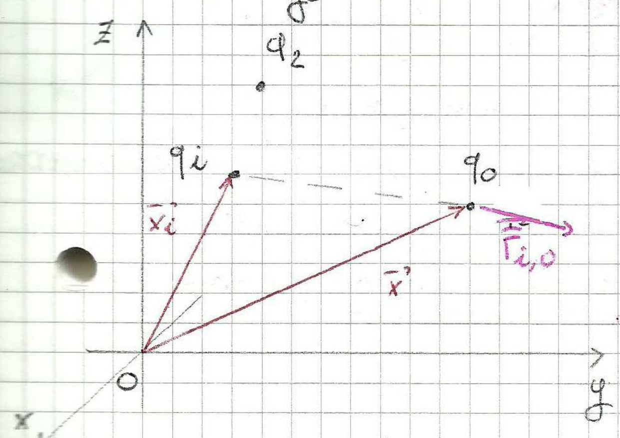
$$\vec{F}_{1,0} = \frac{q_1q_0}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(\vec{x}-\vec{x_1})}{|\vec{x}-\vec{x_1}|^3}$$

$$\vec{F}_{2,0} = \frac{q_2q_0}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(\vec{x}-\vec{x_2})}{|\vec{x}-\vec{x_2}|^3}$$

FORZA RISULTANTE determina il moto

$$\vec{F}_0 = \vec{F}_{1,0} + \vec{F}_{2,0} = \frac{q_1q_0}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(\vec{x}-\vec{x_1})}{|\vec{x}-\vec{x_1}|^3} + \frac{q_2q_0}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(\vec{x}-\vec{x_2})}{|\vec{x}-\vec{x_2}|^3} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q_1q_0(\vec{x}-\vec{x_1})}{|\vec{x}-\vec{x_1}|^3} + \frac{q_2q_0(\vec{x}-\vec{x_2})}{|\vec{x}-\vec{x_2}|^3}\right)$$

↳ possiamo generalizzare considerando un SISTEMA di CARICHE SORGENTI che esercitano forze su una CARICA CAMPIONE q_0



$q_1, P_1, \vec{x_1}, \; q_2, P_2, \vec{x_2}, \; \ldots, \; q_n, P_n, \vec{x_n}$ CARICHE SORGENTI

q_i → carica GENERICA $\quad i = 1, \ldots, n$

$q_0, P, \vec{x}$ CARICA CAMPIONE

$\vec{F}_{i,0}$ → esercitata dalla i-esima carica sulla carica campione

$$\vec{F}_{i,0} = \frac{q_iq_0}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(\vec{x}-\vec{x_i})}{|\vec{x}-\vec{x_i}|^3}$$

FORZA RISULTANTE: $\vec{F_0} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F_{i,0}} = \sum_{i=1}^{n} \frac{q_i q_0}{4\pi\varepsilon_0} \frac{(\vec{x}-\vec{x_i})}{|\vec{x}-\vec{x_i}|^3} = \frac{q_0}{4\pi\varepsilon_0} \sum_{i=1}^{n} \frac{q_i(\vec{x}-\vec{x_i})}{|\vec{x}-\vec{x_i}|^3}$

↳ esplicitata la dipendenza dalla posizione delle particelle

$\vec{F_0}$ PROPORZIONALE alla CARICA su cui agisce la forza

▸ CAMPO ELETTROSTATICO $\vec{E}(\vec{x})$ generato dalle CARICHE SORGENTI $q_1, \dots, q_n$

$\vec{E}(\vec{x}) = \frac{\vec{F_0}}{q_0}$ => non dipende dalla CARICA CAMPIONE q_0

$$\vec{E}(\vec{x}) = \frac{\vec{F_0}}{q_0} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \sum_{i=1}^{n} \frac{q_i(\vec{x}-\vec{x_i})}{|\vec{x}-\vec{x_i}|^3}$$

modo per descrivere l'azione di un sistema di cariche su una carica campione in modo che non dipenda dalla carica campione

↳ dipende dalle posizioni delle cariche

$\vec{F_0} = q_0 \vec{E}(\vec{x})$

NB: CAMPO ELETTROSTATICO perché generato da CARICHE FISSE

Matematicamente non dipende da q_0, ma fisicamente non è proprio così

↳ CARICHE SORGENTI potrebbero essere spostate dalle forze esercitate da q_0

=> consideriamo q_0 sufficientemente PICCOLA affinché non modifichi le cariche sorgenti

▸ PRINCIPIO di SOVRAPPOSIZIONE

$$\vec{E}(\vec{x}) = \frac{\vec{F_0}}{q_0} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\vec{F_{i,0}}}{q_0} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\vec{E_i}(\vec{x})}{q_0}$$

↳ campo elettrico associato alla carica q_i

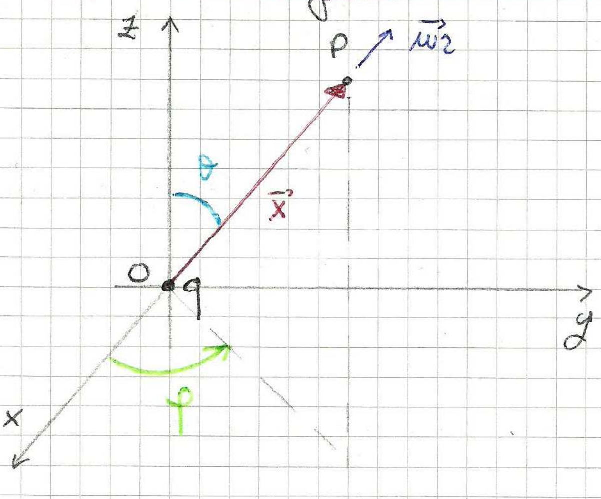
$$\vec{E_i}(\vec{x}) = \frac{\vec{F_{i,0}}}{q_0} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} q_i \frac{(\vec{x}-\vec{x_i})}{|\vec{x}-\vec{x_i}|^3}$$

somma totale dei campi sorgenti nello stesso punto

- CAMPO VETTORIALE = in ogni punto dello spazio è specificato da un VETTORE

$\vec{x} \longrightarrow \vec{E}(\vec{x})$ => funzione a valori vettoriali

- CAMPO ELETTRICO generato da una SINGOLA CARICA → posta nell'origine



sistema a SIMMETRIA SFERICA

=> il campo generato avrà SIMMETRIA SFERICA

$$\vec{E}(\vec{x}) = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \frac{\vec{x}-0}{|\vec{x}-0|^3} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \frac{\vec{x}}{|\vec{x}|^3}$$

=> USO COORDINATE POLARI SFERICHE

φ = angolo orientato fra 2 semipiani = ANGOLO DIEDRO

$r \geq 0 \qquad 0 \leq \theta \leq \pi \qquad 0 \leq \varphi < 2\pi$

$\vec{u_r}$ → versore associato al vettore posizione del punto e dipende da P

$\vec{u_r} = \frac{\vec{x}}{|\vec{x}|} \qquad r = |\vec{x}|$

$\vec{E}(\vec{x}) = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{|\vec{x}|^2}\frac{\vec{x}}{|\vec{x}|} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{r^2}\vec{u_r} = E(r)\vec{u_r}$ → forma più generale di un campo generato da sistemi a simmetria sferica

↳ CAMPO RADIALE il cui modulo dipende solo dalla distanza

• q_0 $\vec{x}$

$\vec{F_0} = q_0\vec{E}(\vec{x}) = \frac{q_0 q}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\vec{u_r}}{r^2}$ FORZA RADIALE

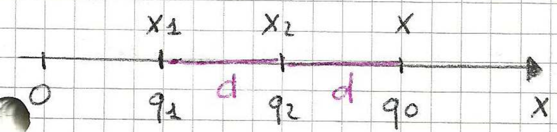
CAMPO ELETTRICO = forza esercitata x unità di carica

↳ VERSO : forza esercitata su una carica UNITARIA POSITIVA

MODULO: rapporto tra la forza e la carica stessa

$$\left[\vec{E}(\vec{x}) = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\vec{x}}{|\vec{x}|^3} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{(x^2+y^2+z^2)^{3/2}}(x,y,z) \text{ COORDINATE CARTESIANE}\right]$$

ESERCIZIO:



$\vec{x_1} = x_1\vec{u_x}$

$\vec{x_2} = x_2\vec{u_x}$

$\vec{x} = x\vec{u_x}$

$$\left.\begin{aligned}\vec{F}_{1,0} &= \frac{q_0 q_1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\cancel{(x-x_1)}\,\vec{u_x}}{(x-x_1)^{\cancel{3}2}}\\ \vec{F}_{2,0} &= \frac{q_0 q_2}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\cancel{(x-x_2)}\,\vec{u_x}}{(x-x_2)^{\cancel{3}2}}\end{aligned}\right\} \rightarrow \vec{F_0} = \vec{F}_{1,0} + \vec{F}_{2,0} = \frac{q_0}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q_1}{(x-x_1)^2} + \frac{q_2}{(x-x_2)^2}\right)\vec{u_x}$$

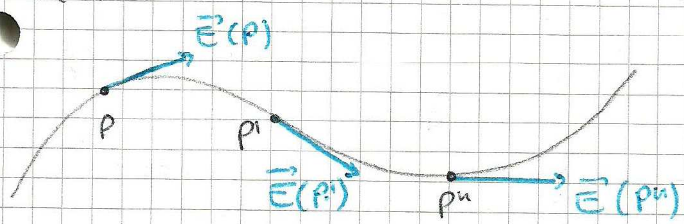
EQUILIBRIO su un punto materiale ⇒ $\vec{F_0} = 0$

$\Rightarrow \frac{q_1}{(x-x_1)^2} + \frac{q_2}{(x-x_2)^2} = 0$, $\frac{q_1}{4d^2} + \frac{q_2}{d^2} = 0$, $q_1 = -4q_2$ RAPPORTO tra le cariche

→ condizione per cui ci sia equilibrio

• CAMPO VETTORIALE descritto in termini di LINEE di CAMPO

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



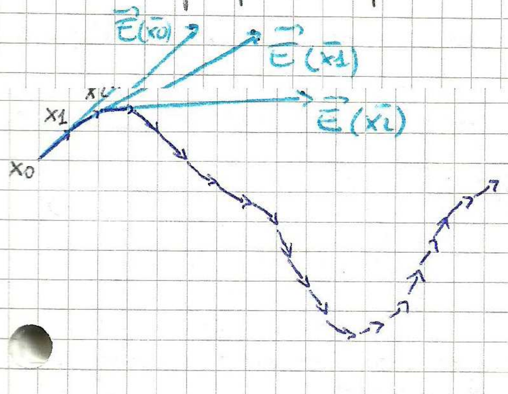
LINEA di CAMPO = linea orientata nello spazio tangente in ogni punto al vettore che definisce il campo in quel punto

+ verso concorde a quello del campo

• linea di campo passante per x_0 → 1. calcolo il campo elettrico in x_0

2. mi sposto di poco seguendo il vettore → $\Delta\vec{x_0}$

3. mi ritrovo nel punto x_1 e ripeto il procedimento, ottengo un vettore diverso → $\Delta\vec{x_1}$



$\vec{x_1} = \vec{x_0} + \Delta\vec{x_0}$

$\vec{x_2} = \vec{x_1} + \Delta\vec{x_1}$

$\vec{x_3} = \vec{x_2} + \Delta\vec{x_2}$

...

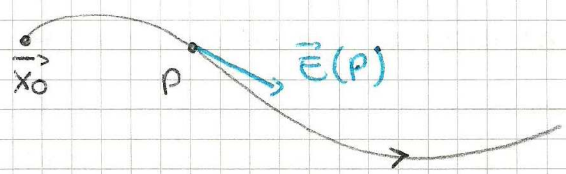
n ⇒ successione di piccoli spostamenti

⇒ ottengo una SPEZZATA

↳ considero spostamenti sempre più piccoli e numerosi →

=> tende a una LINEA CONTINUA

$\begin{cases} |\Delta x_i| \to 0 \\ n \to \infty \end{cases}$



direzione Δx_i = direzione della tangente al limite

↳ nel verso fissato sulla curva

=> definisce in MODO UNIVOCO la curva in un punto

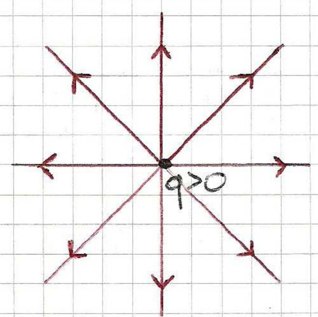
↳ esiste una e una sola LINEA di CAMPO passante per un punto per costruzione

- REGOLA di FARADAY (1800) -> linee di campo distribuite in modo tale che in ogni punto la DENSITA' delle LINEE sia proporzionale al MODULO del CAMPO

↳ abbiamo informazioni su direzione, verso e modulo del campo con tale rappresentazione.

$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \frac{\hat{u}_r}{r^2}$ -> direzione RADIALE in ogni punto -> $\begin{cases} \text{ENTRANTE} : q < 0 \\ \text{USCENTE} : q > 0 \end{cases}$

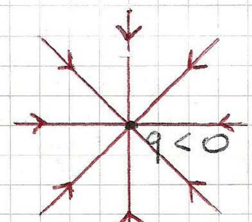
$q > 0$ CAMPO USCENTE



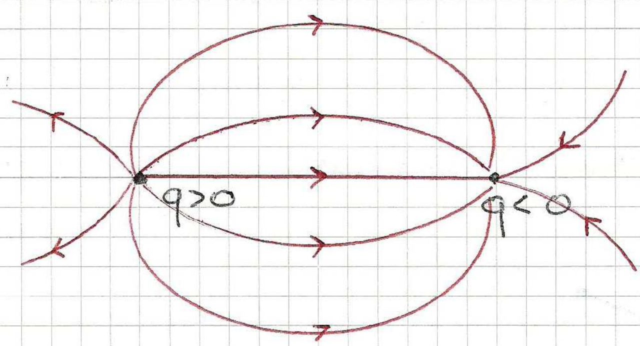
$|\vec{E}'(\vec{x}')| = \frac{|q|}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$ dipende solo dalla distanza

=> linee di campo UNIFORMEMENTE DISTRIBUITE

$q < 0$ CAMPO ENTRANTE

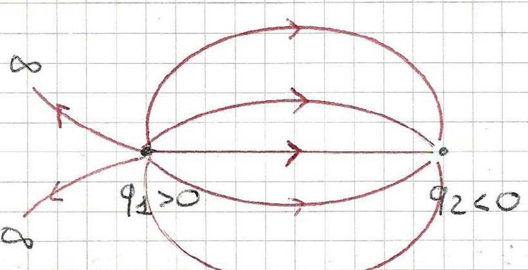


Linee di campo si originano in una carica POSITIVA e terminano in una CARICA NEGATIVA



- Linee di campo si originano all'INFINITO o in una CARICA POSITIVA e terminano o all'INFINITO o in una CARICA NEGATIVA

$|q_1| > |q_2|$



Tutte le linee che si originano in ⊕ terminano in ⊖

MA alcune si originano in ⊕ e terminano all'infinito

PROPRIETÁ: 1. LINEE di CAMPO **non** si intersecano, UNICA in ogni punto

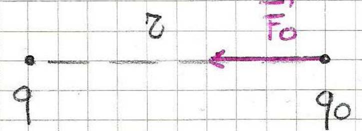
2. DENSITÁ delle LINEE di CAMPO $\propto |\vec{E}|$

3. SI ORIGINANO all'INFINITO o SU CARICHE POSITIVE e TERMINANO all'INFINITO o SU CARICHE NEGATIVE

- CAMPO è più che un'ENTITÁ GEOMETRICA, è un'ENTITÁ FISICA

AZIONE a DISTANZA = rappresentazione dell'interazione tra 2 particelle

↳ AZIONE ISTANTANEA di una carica sull'altra tramite una forza $\vec{F}$ (tempo zero)

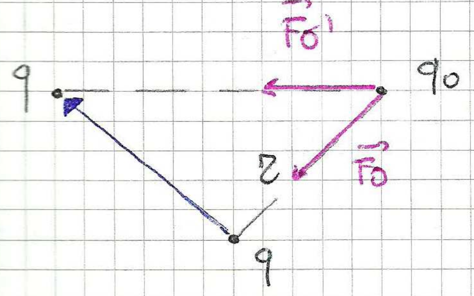


=> CAUSA e EFFETTO simultanee indipendentemente dalla distanza

-> descrizione puramente geometrica

$\vec{F_0} = q_0 \vec{E}(\vec{x}')$

(MA) rappresentazione inadeguata per oggetti che si muovono a velocità prossime a quelle della luce



spostiamo q molto rapidamente $\sim c$

=> cambia la forza esercitata su q_0

↓

(MA) cambia con un RITARDO rispetto allo spostamento

↳ ritardo proporzionale alla distanza r

=> incompatibile con la descrizione di AZIONE a DISTANZA ISTANTANEA

=> descrizione dell'interazione come AZIONE a CONTATTO

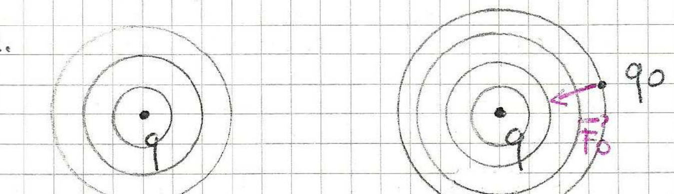
↓

"mediata" dal CAMPO ELETTRICO $\vec{E}(\vec{x}')$ = entità fisica dotata di una propria energia

INTERAZIONE **non** istantanea

-> avviene in 2 MOMENTI: 1. q genera intorno a sé un CAMPO $\vec{E}(\vec{x}')$

1.

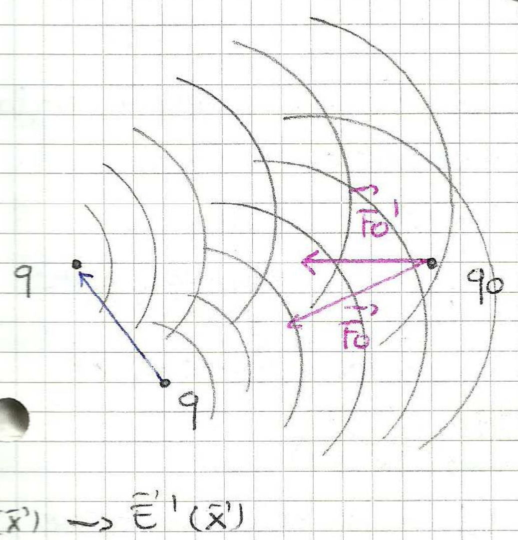


2. campo $\vec{E}(\vec{x}')$ esercita su q_0 una FORZA

$\vec{F_0} = q_0 \vec{E}(\vec{x}')$

=> INTERAZIONE LOCALIZZATA in un punto

↳ l'agente è il campo, non più la carica a distanza



spostandosi q -> CAMBIA il CAMPO

=> cambiamento si propaga in tutto lo spazio tramite la PERTURBAZIONE alla VELOCITÁ della LUCE

↓

ONDA ELETTROMAGNETICA

-> si propaga a velocità finita, perciò si ha un RITARDO proporzionale alla distanza

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

$\vec{F_0} = \vec{E}(\vec{x}') q_0 \qquad \vec{F_0}' = \vec{E}'(\vec{x}') q_0$

NB: propagazione come su un lenzuolo

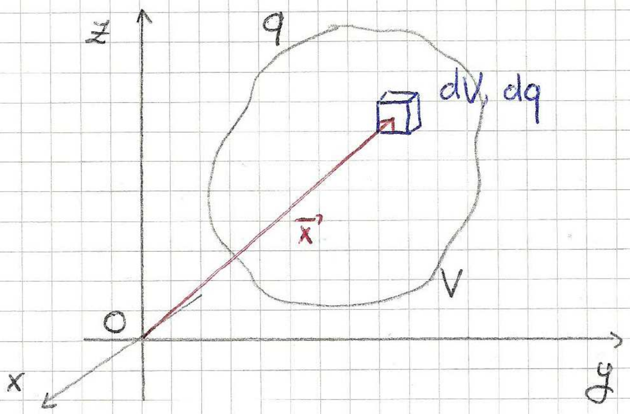
→ onda elettromagnetica propagandosi porta l'informazione della nuova posizione delle cariche

DISTRIBUZIONE CONTINUA di CARICA

oggetti puntiformi = dimensioni molto più piccole delle distanze relative → semplificazione

MA in natura non esistono, ci sono CORPI ESTESI

↳ carica DISTRIBUITA con CONTINUITÀ sul corpo



DENSITÀ di VOLUME di CARICA

↓

funzione del punto x

$\rho(\vec{x}')$

considero un volumetto infinitesimo, ma pur sempre macroscopico

↓

contiene un n° suff. di portatori elementari

$\rho(\vec{x}) = \frac{dq}{dV}$ → CARICA per UNITÀ di VOLUME

↳ funzione continua del punto

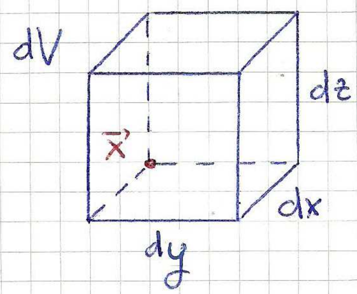
$[\rho] = [Q L^{-3}]$ → $C\,m^{-3}$

$dq = \rho(\vec{x})\,dV$

↳ considero un parallelepipedo con spigoli // agli assi

↓

descritti da variazioni infinitesime



$dV = dx\,dy\,dz$

$dq = \rho(\vec{x}')\,dV = \rho(x,y,z)\,dx\,dy\,dz$

CARICA TOTALE: $q = \underbrace{\sum dq}_{\text{volumetti}} = \int_V dq = \int_V \rho(\vec{x})\,dV = \int_V \rho(x,y,z)\,dx\,dy\,dz$ INTEGRALE di VOLUME

volume diviso in tanti volumetti infinitesimi

[→ nei casi di interesse si calcola come un integrale triplo]

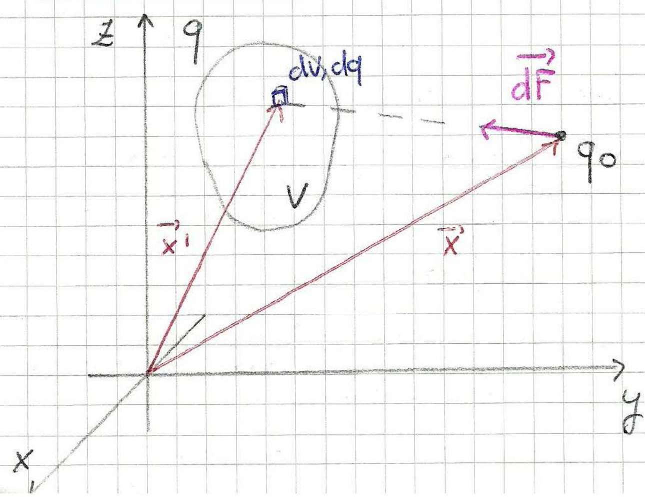
Se la DISTRIBUZIONE è OMOGENEA → $\rho(\vec{x}) = \rho$ = costante → non dipende dal punto

$\Rightarrow q = \int_V \rho\,dV = \rho \int_V dV = \rho V$

$\Rightarrow \rho = \frac{q}{V}$ → se la distribuzione non è omogenea mi fornisce una densità media

CORPO ESTESO + CARICA PUNTIFORME

→ dobbiamo ricondurci al caso di 2 cariche puntiformi



considero VOLUMETTO INFINITESIMO

$dq = \rho(x')\,dV$

$\vec{x}' = (x', y', z')$ → coordinate punto generico

dq esercita una FORZA INFINITESIMA $\vec{dF}$

$\vec{dF} = \frac{dq \cdot q_0}{4\pi\varepsilon_0} \frac{(\vec{x}-\vec{x}')}{|\vec{x}-\vec{x}'|^3}$

↳ parte infinitesima della forza totale

$$\vec{F_0} = \sum_{\text{volumetti}} d\vec{F} = \int_V d\vec{F} = \int_V \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_0\, dq\, (\vec{x}-\vec{x}_i)}{|\vec{x}-\vec{x}'|^3} = \frac{q_0}{4\pi\varepsilon_0} \int_V \rho(\vec{x}') \frac{(\vec{x}-\vec{x}')}{|\vec{x}'-\vec{x}'|^3}\, dV =$$

$dV = dx'\,dy'\,dz'$ COORDINATE del PUNTO GENERICO = condizioni di integrazione

$$= \frac{q_0}{4\pi\varepsilon_0} \int_V \rho(x', y', z') \frac{(\vec{x}-\vec{x}')}{|\vec{x}-\vec{x}'|}\, dx'\,dy'\,dz'$$

integrale a 3 variabili

x = fisso

$\vec{F_0} = (F_x, F_y, F_z)$

$$F_y = \frac{q_0}{4\pi\varepsilon_0} \int \rho(x', y', z') \frac{(y-y')}{|\vec{x}'-\vec{x}'|}\, dx'\,dy'\,dz' \rightarrow \text{è un numero}$$

CAMPO GENERATO da una DISTRIBUZIONE CONTINUA di CARICA

$$\vec{E}(\vec{x}) = \frac{\vec{F_0}}{q_0} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \int_V \rho(\vec{x}) \frac{(\vec{x}-\vec{x}')\, dV}{|\vec{x}-\vec{x}'|^3} = \int_V d\vec{E}$$

$$d\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} dq \frac{(\vec{x}-\vec{x}')}{|\vec{x}-\vec{x}'|}$$

↳ somma dei campi elementari generati da quantità infinitesime di carica

NB: FORZE ELETTROSTATICHE = generate da cariche fisse

(MA) esistono altri tipi di FORZE ELETTRICHE

↳ es. forze esercitate sui portatori di carica in una pila

• DEFINIZIONE PIÙ GENERALE di FORZA ELETTRICA

FORZA ELETTRICA = agisce su un oggetto in quanto questo è dotato di carica elettrica

$\vec{F} \propto q_0$ = carica elettrica su cui agisce → vale se q_0 abbastanza piccola

$\vec{F_0} = q_0 \underbrace{\vec{E}(\vec{x})}$

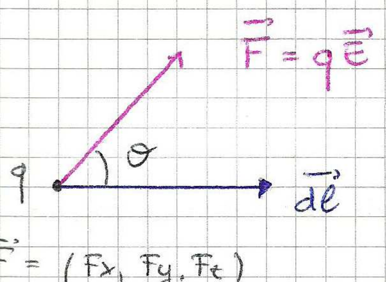
↳ agente della forza

FORZA ELETTRICA = azione di un campo su una carica posta al suo interno

→ scambio di ENERGIA tra CAMPO e CARICA ELETTRICA a seguito dell'interazione

⇓

descrivibile attraverso il LAVORO compiuto dalla FORZA ELETTRICA esercitata dal campo sulla carica

• 

$\vec{F} = q\vec{E}$ → forza e campo sono costanti

$dW = \vec{F}\,d\vec{l} = |\vec{F}||d\vec{l}|\cos\theta = q\vec{E}\cdot d\vec{l}$

• $\vec{F} = (F_x, F_y, F_z)$

$\vec{E} = (E_x, E_y, E_z)$

$d\vec{l} = (dl_x, dl_y, dl_z)$

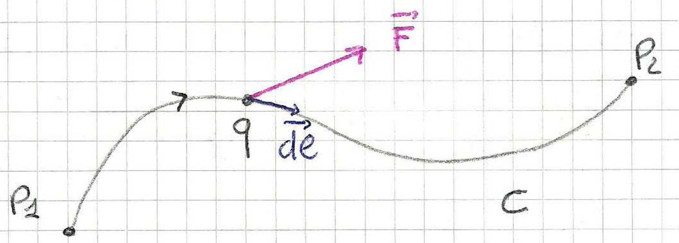
$$\rightarrow dW = \vec{F}\,d\vec{l} = F_x dx + F_y dy + F_z dz = q(E_x dx + E_y dy + E_z dz)$$

↳ LAVORO ELEMENTARE

- spostamento di una CARICA = descritto dalla curva e dal verso = tratto di curva ORIENTATO

$C_{P_1 \to P_2}$

forza e campo sono diversi in ogni punto



CONSIDERO SPOSTAMENTI INFINITESIMI

↳ F e E costanti

+ lavoro additivo

$$W_{C_{P_1\to P_2}} = \int dW = \int_{C_{P_1\to P_2}} \vec{F}\cdot d\vec{\ell} = q\int_{C_{P_1\to P_2}} \vec{E}\cdot d\vec{\ell}$$

↳ integrale di linea

SE: $F(\vec{x})$, $E(\vec{x})$ dipendono solo dalla posizione di q

$$\Rightarrow \quad W_{C_{P_1\to P_2}} = -W_{C_{P_2\to P_1}}$$ (fissato C) → stesso spostamento in verso opposto

↳ spostamenti con lo stesso modulo + tangenti alla stessa curva MA verso opposto

⇒ lavori elementari a 2 a 2 uguali e opposti all'andata e al ritorno

$$W_{C_{P_1\to P_2}} = \int_{C_{P_1\to P_2}} \vec{F}\,d\vec{\ell} = \int_{C_{P_2\to P_1}} \vec{F}(-d\vec{\ell}\,') = -\int_{C_{P_2\to P_1}} \vec{F}\cdot d\vec{\ell}\,' = -W_{C_{P_2\to P_1}}$$

$$\int_{C_{P_1\to P_2}} \vec{E}\cdot d\vec{\ell} = -\int_{C_{P_2\to P_1}} \vec{E}\cdot d\vec{\ell}\,'$$

Se punto finale e iniziale coincidono : $P_1 = P_2 = P$

↳ spostamento = linea chiusa orientata

$$W_C = \oint_C \vec{F}\cdot d\vec{\ell} = q\oint_C \vec{E}\cdot d\vec{\ell}$$ → CIRCUITAZIONE di $\vec{F}$ lungo C

$$\mathcal{E} = \oint_C \vec{E}\cdot d\vec{\ell}$$ → CIRCUITAZIONE di $\vec{E}$ lungo C

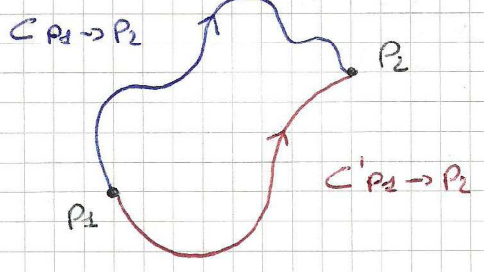
= FORZA ELETTROMOTRICE = fem

↳ non è una forza

$$\Rightarrow \quad W_C = q\oint_C \vec{E}\cdot d\vec{\ell} = q\,\mathcal{E}$$

FORZA CONSERVATIVA

- $\vec{F}$ è conservativa ⟺ lavoro da essa compiuto non dipende dal percorso seguito, ma solo dai punti iniziali e finali



$\forall P_1, P_2$, $\forall C, C'$

$$W_{C_{P_1\to P_2}} = W_{C'_{P_1\to P_2}} = W_{P_1\to P_2}$$