

Sono nel vuoto, lungo una carica q_1 (positiva) o distanza r

Energia Potenziale elettrostatica

la carica q_1 genera un campo elettrostatico
e se mettiamo un sys con $Q_{finale} = q_1$ in posto lo spostiamo.

$$\underline{E}(r) = k_e \frac{q_1}{r^2} \hat{r}$$

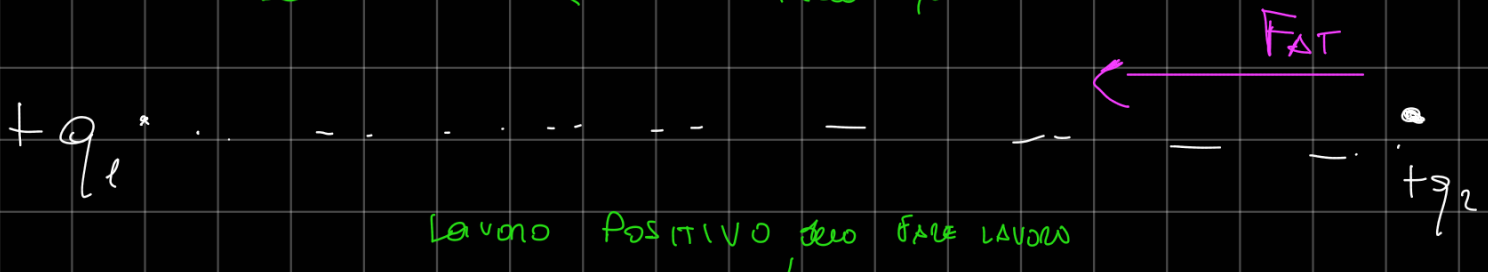
Sopponiamo di avere ora una carica q_2 , all'infinito, sulla quale non si eserciterà nessuna forza e quindi del campo elettrostatico. $r \rightarrow +\infty, \underline{E}(r) = 0$

Mettiamo q_2 e la portiamo ad una certa distanza R dalla carica q_1 . Sulla carica q_2 agisce una forza elettrica di tipo repulsivo



$$F_{eq_2} = q_2 \underline{E}(r)$$

Per portare la carica q_2 dall'infinito a R , dovremo esercitare un lavoro, soprattutto per vincere la forza elettrostatica. Forza meccanica per vincere la elettrostatica



Lavoro positivo, per fare lavoro

$$\underline{F}_{AT} = - \underline{F}_{el}$$

Dovremo applicare una forza uguale e opposta alla forza elettrostatica

Mi muovo una linea radiale, e mi sposto lungo quella

di resistenza. ∇ spostando il
 lavoro elemento di carica
 $\leftarrow \leftarrow$ se posso
 in queste direzioni, sono in
 Energia non va prodotta né richiesto consumo.
 energia immessa. solo forma di Energia
 POTENZIALE ELETTROSTATICA

$$dW_{AT} = \frac{F_{AT}}{l_{AT}} \cdot dl = F_{AT} dl$$

$$\mathbb{F}_{\Delta T} = \left| \mathbb{F}_{AT} \right| \quad d\ell = \left| d\underline{\ell} \right|$$

Per principio di 3^o principio di linearità
 ΔZ - vedere,

una porta su q_1 , però q_1 la finiamo.

Dall'infinito, fino a f , qual è il lavoro totale? la supposizione dei lavori infinitesimi
 so il lavoro da f a Q_2 $\rightarrow F_{el} = Q_2 \ln \frac{Q_1}{Q_2}$ con

$$W_{AT} = \int_{-\infty}^p F_{AT} \cdot d\ell = \int_{-\infty}^p F_{el} \cdot d\ell =$$

$$d\ell = \hat{r} dr$$

il bene e'

$$= - \int_{\infty}^R k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r} \cdot d\vec{l} = - \int_{\infty}^R k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} dr =$$

$$W_{AT} = \int_R^\infty k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} dr = k_e q_1 q_2 \underbrace{\int_R^\infty \frac{1}{r^2} dr}_{\text{radiale}} =$$

$$= \text{ke } q_1 q_2 \left[\frac{-1}{r} \right]_{\mathbb{R}}^{\infty} = \frac{r^{-2}}{-1} \left[\frac{-1}{r} \right]_{\mathbb{R}}^{\infty} = \frac{-1}{r}$$

TIENE CONTO ANCHE DEI SEPI

$$W_{AT} = \frac{k_e q_1 q_2}{R}$$

$$[N_m] = [J]$$

long. sp.

Per portare dall'8 a R

lavoro che devo fare contro LE F del campo el. per tenere queste cariche a R l'uno dell'altro

W_{AT} = lavoro anche di portare l'altra carica al corpo el per portare q_2 da ∞ all'infinito

È equivalente all'energia potenziale in dinamica.

also un oggetto. L'oggetto compie un lavoro che si CONSERVA sotto forma di ENERGIA POTENZIALE nel corpo

Stessa cosa, qui W_{AT} si conserva nel sistema sotto forma di ENERGIA POTENZIALE ELETTROSTATICA

Se q_1 positiva e q_2 negativa, il lavoro sarà negativo. la forza meccanica da applicare avrà

sposta verso fuori, stiamo "frenando" il sistema,

e il sistema che fa un lavoro su di noi

ENERGIA POT. ELETTROSTATICA dovuta a 2 cariche puntiformi

$W_{AT} = U =$
energia che devo spendere per portare in questa configurazione.

$$k_e \frac{q_1 q_2}{R} [J] [N_m]$$

(R) distanza tra due cariche

Espressione di Coulomb, il potenziale elettrostatico dipende solo da R, e non dipende dal

Caminio che ho fatto

FORZA Elett. è una
FORZA CONSERVATIVA!

Dimostrare che POTENZIALE ELETTROSTATICO
È CONSERVATIVO!

$$U = - \int_P^Q \underline{E}(r) q_2 \cdot d\underline{l}$$

Prendo un SAR la
origine in q_1 ,
fatto più o meno
multiplicare per $d\underline{l}$

Sopprimiamo le mosse d'inverno
lungo una linea, facciamo un altro percorso

$\underline{r}$ vettore posizione q_1

$\vec{E} \cdot d\vec{l} = |\vec{E}||d\vec{l}|\cos\alpha$

$\vec{E} \cdot d\vec{l}$ con $\vec{E}$ orientato verso $d\vec{l}$ (spostamento)

$\vec{r} \cdot d\vec{l} = r dl \cos\alpha = dr$
rapp. da q_1 al punto

$$U = - \int_P^Q \underline{E}(r) q_2 \cdot d\underline{l} = - \int_P^Q k_e q_1 q_2 \frac{1}{r^2} (\vec{r} \cdot d\vec{l}) =$$

sostituendo dr

il lavoro che faccio, è equivalente al lavoro cheizzo
per spostarmi dal punto a punto + dr

$$= \frac{k_e q_1 q_2}{R}$$

Posso scegliere qualsiasi
percorso

È una proprietà dei campi elettrostatici.

NON CONTA CAMMINO SCELTO MA CAMMINO

INIZIALE E FINALE - LAVORO NON DIP. dal cammino.

IL CAMPO ELETTRICO E' UN CAMPO VETTORIALE
CONSERVATIVO. il lavoro e' lo stesso,
qualsiasi sia il percorso.

3 coriche

Una volta che la carica e' nella posizione R, se

volevo portare una 3^a carica q_3 ad una certa posiz.

APPLICO PRINCIP. DI SUPERPOSIZIONE EFFETTIVA

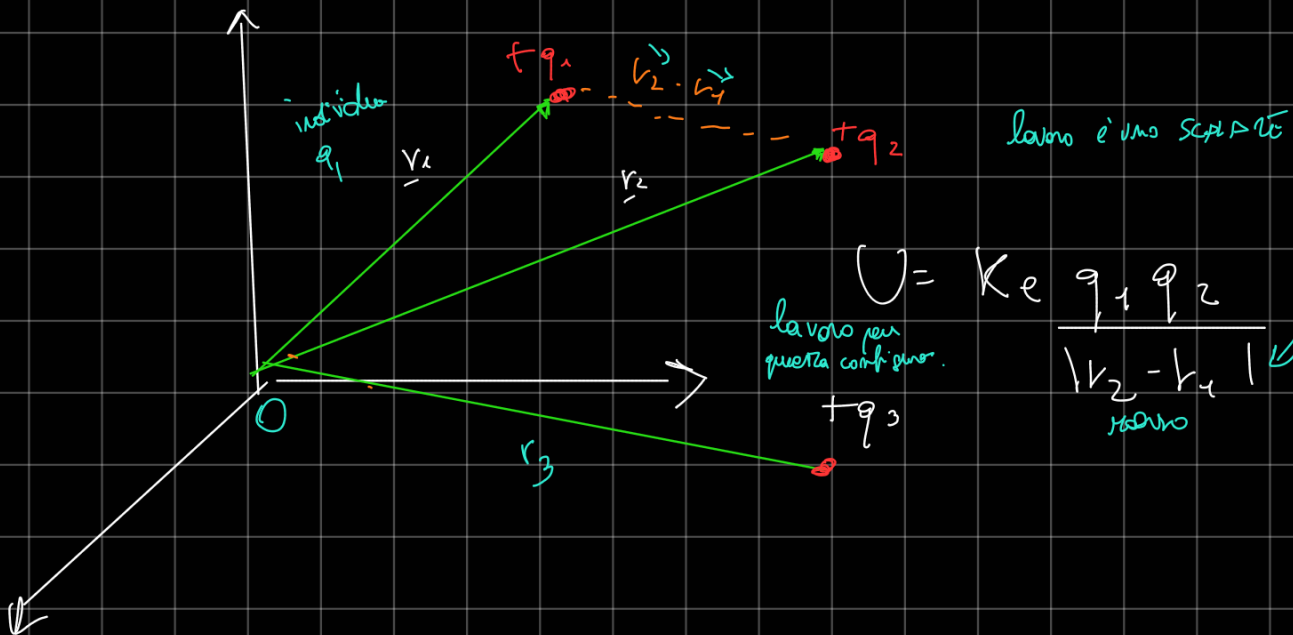
muovo q_3
agiscono 2 camp.
di q_1 e q_2

devo calcolare sistema di energie potenziale elettrostatica

El tot e' somma di
3 termini

metto un solo
generalizzatore

$$\vec{E}(r) = k_e \frac{q_1}{r^2} \hat{r}$$



lavoro e' una scala

$$U = k_e \frac{q_1 q_2}{|r_2 - r_1|}$$

lavoro per questa coppia.

lavoro

di stato
tra le
due

mi calcolo per il LAVORO solo se ci fosse corpo generato da
 q_1 , e poi ci aggiungo lavoro per spostarlo se
ci fosse solo campo q_2

aggiungo 3^a carica

$U = \frac{k_e q_1 q_2}{|r_2 - r_1|} + \frac{k_e q_1 q_3}{|r_3 - r_1|} + \frac{k_e q_2 q_3}{|r_3 - r_2|} \quad [J]$

lavoro speso per costruire questa config
 lavoro se ci fosse q_1 per primo in quel punto
 lavoro per elettrone associato a quello sistema di cariche
 lavoro solo q_2 nei pressi di q_1
 lavoro solo q_1 e q_3
 lavoro solo q_2 e q_3

Caso N cariche puntiformi $(q_1, q_2, \dots, q_N)$
 in posizione $(r_1, r_2, \dots, r_N)$

$U_{tot} = \frac{1}{2} k_e \sum_{i=1}^N \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^N \frac{q_i q_j}{|r_j - r_i|}$

È un lavoro, non joule

moltiplico per $\frac{1}{2}$ perché conto 2 volte le coppie

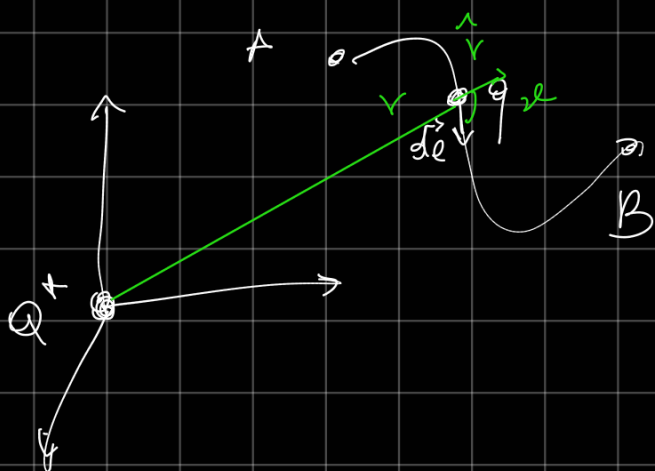
Es. 3 cariche

$U_3 = \frac{1}{2} k_e \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \frac{q_i q_j}{|r_j - r_i|} =$

$= \frac{k_e}{2} \left[\frac{q_1 q_2}{|r_2 - r_1|} + \frac{q_1 + q_3}{|r_3 - r_1|} \right] +$

$+ \frac{k_e}{2} \left[\frac{q_2 - q_1}{r_1 - r_2} \right] \dots \leftarrow$ conto 2 volte

LAVORO DUNQUE SPESO Carica di prova q posit.
da A a B contro le forze del campo. UNITARI



$$L_{AB} = \int_A^B \vec{E}(r) \cdot q \cdot d\vec{e}$$

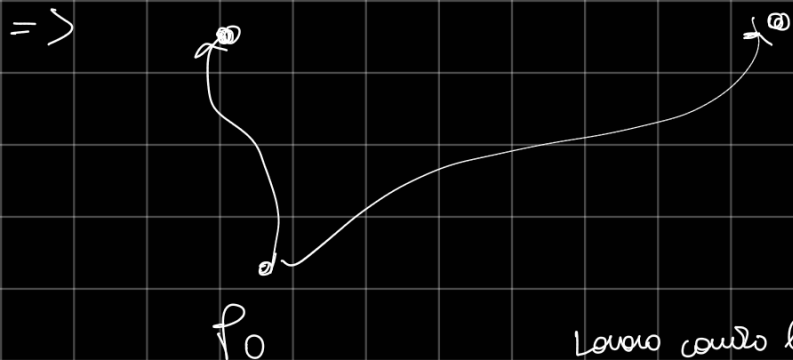
$$= \int_{r_A}^{r_B} kQ \frac{\hat{r} \cdot d\vec{e}}{r^3} = \int_{r_A}^{r_B} \frac{kQ dr}{r^2}$$

$|r| \cdot |d\vec{e}| \cos \alpha = r dr$

$$\Rightarrow L_{AB} = kQ \left[\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right]$$

LAVORO non DIP. del percorso. F. elettrostatica è conservativa e posso def. una energia POT.

$$\Rightarrow L_{AB} = \varphi(B) - \varphi(A)$$



LAVORO contro le forze del campo

non DIP. dal cammino

1) pto carico da $P_0 \rightarrow A$ $L_1 = \varphi(A) - \varphi(P_0)$

da $P_0 \rightarrow B$ $L_2 = \varphi(B) - \varphi(P_0)$

$$\Rightarrow L_{AB} = \varphi(B) - \varphi(P_0) + \varphi(P_0) - \varphi(A)$$

$P \rightarrow P_0 \rightarrow B$
cammino arbitrario

$$\varphi(P) - \varphi(P_0) = - \int_{P_0}^P \vec{E}_{el}(r) \cdot d\vec{e}$$

definito o non di una costante

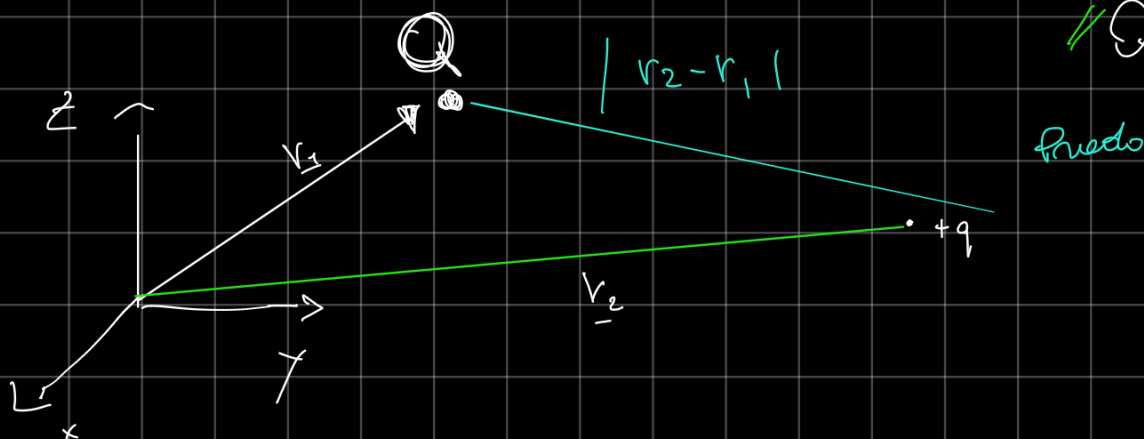
POT. elettrostatica

calcolo da punto a punto
non dip. dal
cammino

$$V(P) = V(P_0) - \int_{P_0}^P \vec{E}_{el}(r) \cdot d\vec{r}$$

Ci mettiamo nello spazio...
in cui c'è un corpo elettrostatico
generato da $+Q$

e pensiamo una carica
di prova, che non perturba
il campo elettrostat. prodotto
da Q



$$Q \gg q$$

Quanto vale lavoro per portare q da infinito, fino a una posizione

$$U = k_e \frac{Qq}{|r - r_1|} = \left\{ k_e \frac{Q}{|r - r_1|} \right\} q$$

ENERGIA POT
" LAVORO FATTO per portare q_2 ad una distanza da r_1

Lavoro per portare in un punto una carica
positiva unitaria dall'infinito a r

$\frac{U}{q}$, è una grandezza che dipende solo
della carica sorgente, ed è una
proprietà del campo

POTENZIALE ELETTROSTATICO

$$V(r) = \frac{U}{q} = k_e \frac{Q}{|r - r_1|} \left[\frac{J}{Coulomb} \right]$$

generato in tutti i
punti dello spazio dalla carica Q

è il lavoro che si deve compiere contro le Forze del

Corpo per portare una carica ^{positiva} unitaria da ∞ a r .

$V(r)$ è funzione del raggio, varia in base a come varia Q .

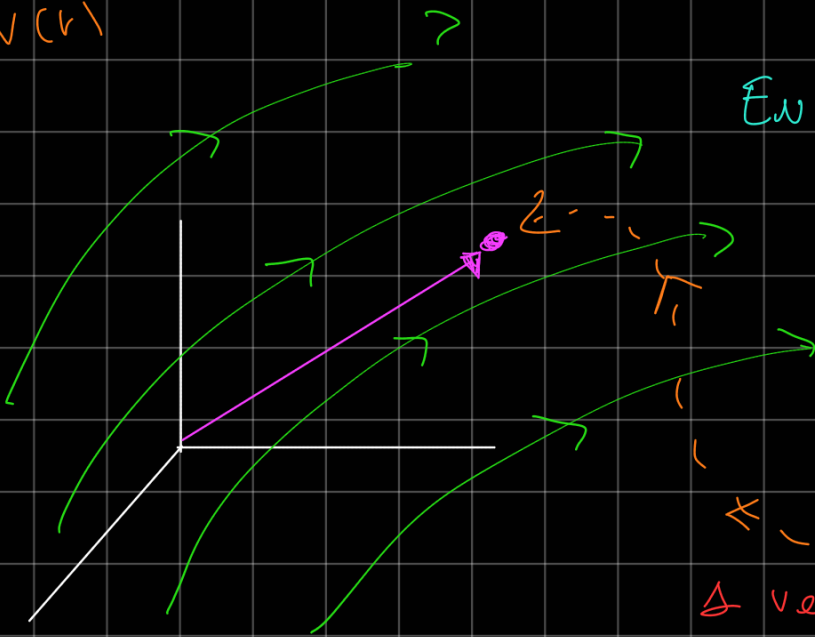
$V(r) = - \int_{\infty}^r E(r') \cdot dr' = \frac{k_e Q}{R}$

$\rightarrow$ punto finale, può di osservazione

$\downarrow$ campo elettrico lungo tutto il cammino

pot. nel punto r

qui può solo parlar di $V(r)$



EW. POTENTIAL = POT $\cdot Q_2$

Lavoro per portare carica positiva unitaria da ∞ a r moltiplicato per la carica

$\Delta V \text{ volt} = \text{lavoro fatto dalla forza del corpo per portare carica pos. unitaria da } \infty \text{ a } r \cdot \text{facendo lavoro 1 J per una carica di } 1 \text{ C} \dots$
 ma un POT. di ΔV
Energia elettrostatica
 carica

POTENZIALE ELETTROSTATICO

$\frac{J}{\text{Coulomb}} = \text{VOLT}$

$V(r) = - \int_{r_0}^r E(r') \cdot dr' + V(r_0)$

$V(r_0) \rightarrow 0 \Rightarrow$ se distrib. finita

non confondere energia pot. elettrostatica (è un numero, che appartiene ad una configurazione di cariche).
 con il potenziale elettrostatico (funzione ϕ)

punto).

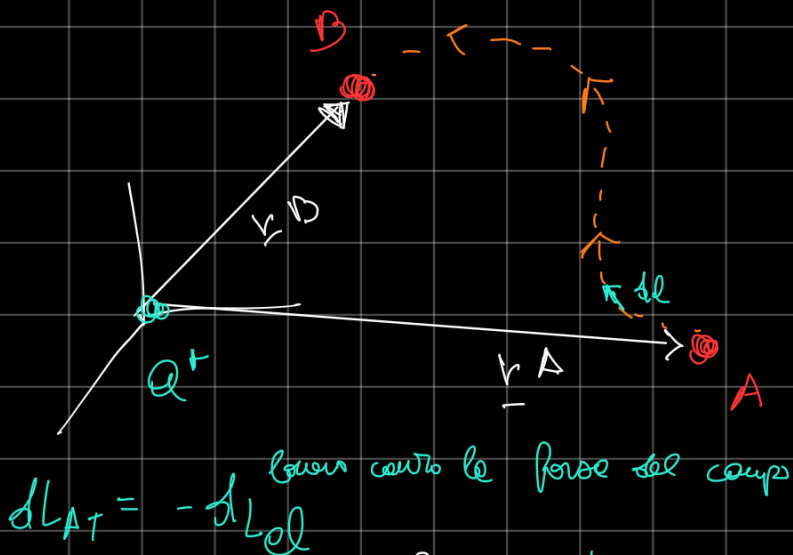
IL LAVORO NON DIPENDE DAL CAMMINO CHE FACCIAMO (potenziale elettrostatico)

Fino ad ora ho scelto sistemi di cariche finite.

Quando ho distribuzioni infinite di cariche, il campo elettrostatico non è 0, andando all'infinito ($r \rightarrow \infty$) come calcolo allora il lavoro fatto? il potenziale elettrostatico è meglio quindi definirlo come DIFFERENZA DI POTENZIALE

DIF. POTENZIALE DUE PUNTI ^{TNA} nella parte

Dal una regione di spazio, prendiamo 2 punti.



Lavoro per portare la carica dal punto A al punto B

valgiamo spostare carica positiva unitaria $q+ = 1$ Coulomb

$$dL_{AT} = -dL_{el}$$

$$L_{AB} = - \int_A^B \underline{E} \cdot d\underline{l}$$

non dipende dal lavoro che faccio quello cammino allora potrei scegliere un

ausl. da A a B

[illegible]

campo elettrostatico è conservativo

$$V(r) = - \int_r^{\infty} \frac{E}{l} \cdot dl + C$$

non è perfetto come
però se ci spingiamo
un po' di più, la
diff. è sempre grande

Il potenziale elettrico allora è definito
sempre a meno di una costante

der konstante Koeffizient a

POT.
ELETTRICO

$$V(A) = \int_A^B E_{el} \cdot d\ell + V(\infty)$$

carica elettrizzata
è molto
all'infinito ...

la costante allora è il potenziale
all'infinito. $V(g) = 0$ per
finire. Se la distribuzione è infinita

animo $V(g) = 0$ per corse
finita

Se la distanza è infinita
si arriva non posso dire... $v(\vartheta) \neq 0$

Qua + il piacere per un punto qualsiasi

Se la distribuzione di carica è finita, $C = 0$
 $r \rightarrow +\infty$

Se la distribuzione è infinita $V(\infty) = 0$

$r \rightarrow +\infty$ $C \neq 0$, $V(\infty) \neq 0$

Il potenziale e la diff. di pot. è un lavoro
per portare la carica da un
punto all'altro o dall'infinito ad un
punto (pot. elettrico)

Distribuzione di carica finita $V(\infty) = 0$

e $V(r) = \int \underline{E}_d \cdot d\mathbf{l}$

Se la distribuzione è infinita, allora
possiamo calcolare solo la diff. di
potenziale, prendendo un potenziale
di riferimento (per noi, 0 S.E.M.)

Noi sulla Terra possiamo calcolare solo diff. di
potenziale e possiamo come riferimento
il potenziale della Terra.

La nostra Terra agisce come il punto

La carica ^{positiva} tende a spostarsi dal punto a poten.
più alto, a quello con potenziale più basso

non fa lavoro su una linea EQUIPOTENZIALE

Le cariche negative tendono a spostarsi dal
 più con potenziale più basso a potenziale più
 alto

Energia Potenziale Elettrostatico

$$W_{\text{el}} = \frac{k_e q_1 q_2}{R} \quad [\text{J}]$$

$$= - \int_{\infty}^R \vec{F}_{\text{el}} \cdot d\vec{l}$$

Potenziale Elettrostatico

$$V = \frac{k_e Q}{|r - r_1|} = V \left[\frac{\text{J}}{\text{C}} \right]$$

$$= - \int_{\infty}^R \vec{E}_{\text{el}} \cdot d\vec{l}$$

Diff. di Poten

$$V(B) - V(A)$$

$$= \int_A^B \vec{E}_{\text{el}} \cdot d\vec{l} = \int_A^B E_{\text{el}} dl \cos \theta$$

Campo elettrico

$$\frac{V}{L}$$

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

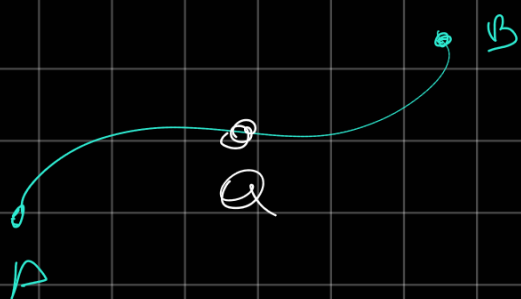
$$\text{ma } \Rightarrow \left(\frac{N \cdot m}{C \cdot m} \right)$$

$$= \frac{J}{C \cdot m}$$

$$\rightarrow \text{Campo elettrico } \underline{E(r)} \quad \left[\frac{V}{m} \right]$$

Energia Pot è un vettore.

Potenziale è una funzione che dipende dal punto
 di osservazione



Lavoro fatto per portare
carica da A a B un'idea
se possibile è

$$L_{AB} = V(B) - V(A)$$

Se vogliamo spostare carica Q $\frac{1}{C} \cdot C = J$

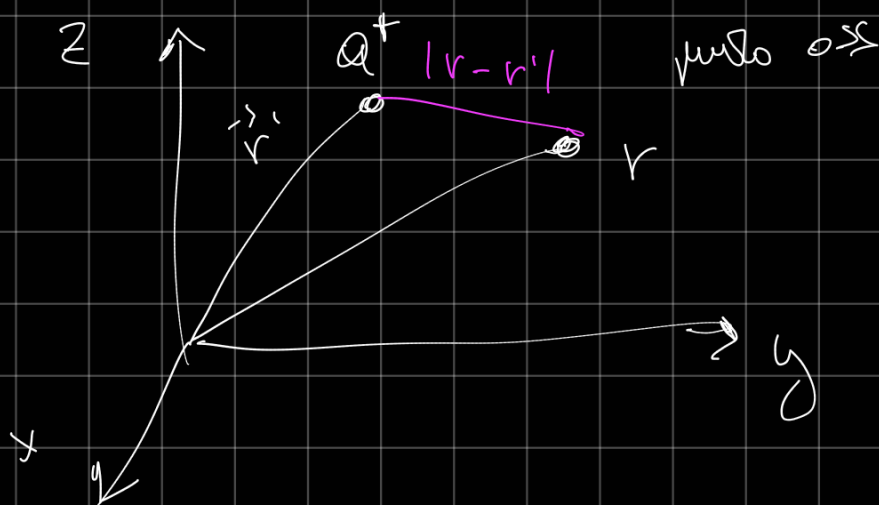
$$L = Q (V(B) - V(A))$$

lavoro per
portare carica
un'idea di A a B

$$\text{Se ho carica } Q \dots \text{ ho } Q V(B) = L_{AB}$$

in campo el. generato da
pt. q una carica q' particella
in un punto
 r

$$V(r) = k_e \frac{Q}{|r - r'|} + V(A) \text{ pt. generato da } q^+$$



Se ho N cariche puntiformi vale anche per il
 potenziale il PRINC. SOvrAPP. EFF.

$Q_1, \underline{r}_1$
 $Q_2, \underline{r}_2$
 $\vdots$
 $Q_n, \underline{r}_n$

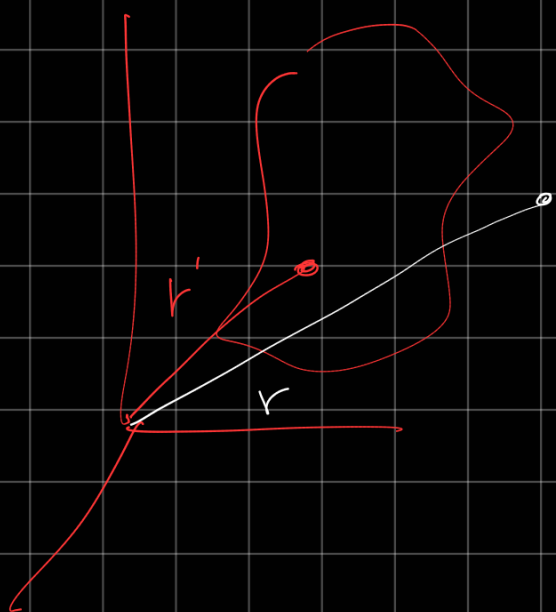


$$V(\underline{r}) = k_e \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{|\underline{r} - \underline{r}_i|}$$

$\sum_{i=1}^n$ di n
 cariche
 puntiformi

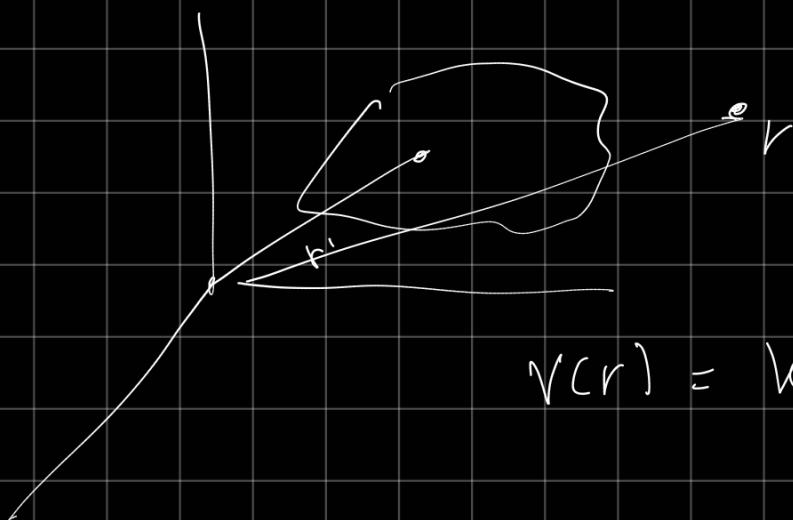
pot. generato
 dalla distrib. di cariche

DISTRIBU? di cariche
 VOLUMETICA

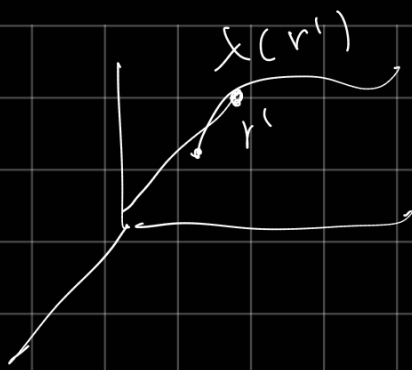


$$k_e \iiint_V \frac{\rho(\underline{r}') d\underline{r}'}{|\underline{r} - \underline{r}'|}$$

DISTRIBU? SUPERFICIALE di
 CARICA ELETTRICA



$$V(\underline{r}) = k_e \iint_S \frac{\sigma(\underline{r}') d\underline{r}'}{|\underline{r} - \underline{r}'|}$$



pot. generato da un

$$V(\underline{r}) = k_e \int \frac{\lambda(\underline{r}') d\underline{r}'}{|\underline{r} - \underline{r}'|}$$

DISTRIBUZIONE
LINEARE
DI CARICA