

CONDUTTORI

Conduttori: atomi esterni liberi di muoversi e muoversi

Modello: ioni positivi circondati da "gas di elettroni" libero, che possono muoversi liberamente, gli elettroni sono sempre in movimento a causa dell'agitazione termica.

Essendo gli elettroni liberi, possono muoversi a seguito di una forza elettrostatica.

Se gli elettroni agisce una Forza elettrostatica
carica elettrone causata dal campo elettrico del nucleo, penso

$$\bullet F_e = -q E(r)$$

Elettroni distribuiti in modo uniforme
(ma sempre in movimento) nel metallo

Corpo elettricamente neutro se $\# el = \# prot$

in quel punto senza campo $E = 0$ altrimenti si muoveranno

Applico un campo elettrostatico

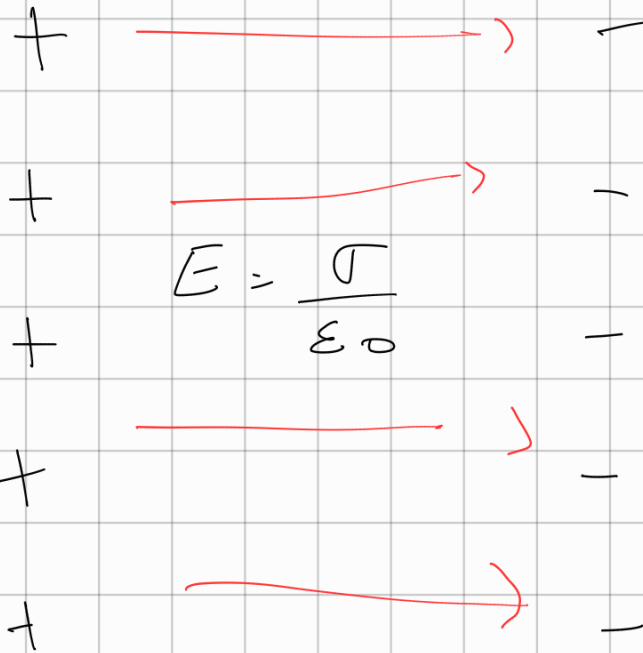
Su queste distrib. , infinite, uguali, e opposte piano

ho 2
DISTRIBUI
di carica $\sigma_+ = \sigma$

campo elettrostatico esterno
linee di forza

$$\sigma_- = -\sigma$$

$$E = 0$$



$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

$$E = 0$$

dell'esterno il campo el. è nullo, all'interno il campo è uniforme

• ora sotto punto in ^{cond.} condizione in questo

Campo elettrostatico (gli elettroni si muovono per portarsi sulla superficie del conduttore per trovare una condiz. di equilibrio)

appla
un corpo

le cariche si dispongono così nel

conduttore

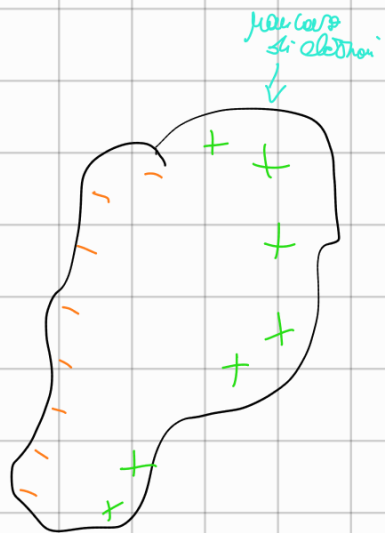
per ottenere situazione
di equilibrio

Ho 2 sistemi di
cariche che creano
interno generano
un campo elettrico
interno.

in ogni punto all'interno
esistono 2 campi el.
uno interno e uno esterno

DISTRIBUZIONE cariche interne
TC. in tutti i punti
interni il campo sarà nullo

+
+
+
+
+
+
+
+
+
+



corpo immerso in un
campo.

-
-
-
-
-
-
-
-
-
-

Eq elettrostatico:
campo totale interno
del conduttore è
nullo

elettroni avranno
movimento di carica
che tende all'equilibrio

Gli elettroni si muovono in modo da
far tornare all'interno un campo
elettrostatico nullo. 10^{-16} secondi.

Cosa succede dopo il transitorio?
(dopo la nuova situazione di equilibrio)

dopo situas. di eq.

all'interno del conduttore non può
emergere un campo elettrico, $\neq 0$
Sono ancora ancora nel transitorio.

Altrimenti in equilibrio due
distribuzioni di carica, distribuisce
piena un campo

CONTRAZIONE di questi due camp.

$$E = 0$$

La distribuzione è tale da generare
all'interno un campo uguale e
opposto a quello esterno, in modo
tale che il campo interno è 0.

La distrib. di elettroni non è
più uniforme, ma ci sono coriche
superficiali più dense, e anche
nelle sup non sono uniformi, ma
il corpo è sempre elettric. neutro.

INDUZIONE ELETTROSTATICA

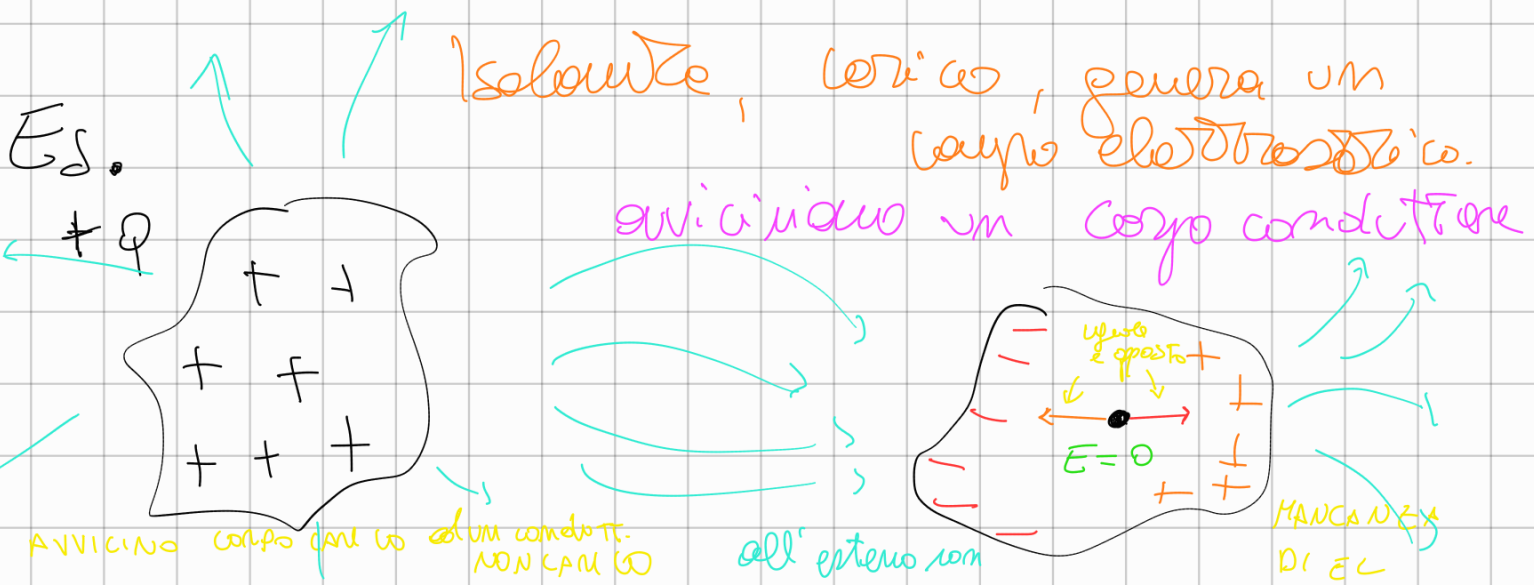
- In un corpo omogeneo, in condizioni di equilibrio elettrostatico, il campo elettrico ^{stato} interno di ~~completione~~ ^{sempre} è sempre NULLO.

~~sempre~~ solo con campo esterno

Facciamo in cui le cariche si distribuiscono, in presenza di un campo elettrostatico esterno, in modo tale che il campo elettrico interno è $= 0$.

INDUZIONE ELETTROSTATICA

Il campo esterno INDUCE una redistribuzione di cariche interne, affinché ^{interno} $E_{\text{interno}} = 0$.



c'è questa compens. di cariche

nella sup. ^{vicina} del conduttore si ridistribuiscono
cariche negative, nella parte lontana
mancheranno cariche positive

res. elettr. carica
E.C. $E=0$
in tutti i pt.

Ma essendo una distrib. di carica
all'interno, ci saranno 2 campi interni $= 0$

Cioè sono campo esterno
+ campo della redistrib.

elettrostatici, in ogni punto uguali e
opposti.

La distrib. di carica interna genera però un
campo el. ESTERNO

La distribuzione di carica però genera
anche un campo elettrostatico all'
esterno, che si soma con
il campo esterno già esistente.

all'esterno avranno composizione dei due campi

si modificano
LINEE DI FORZA ESTERNE

Le linee di forza del campo generato
dalla sorgente sono modificate

dalla presenza del conduttore.

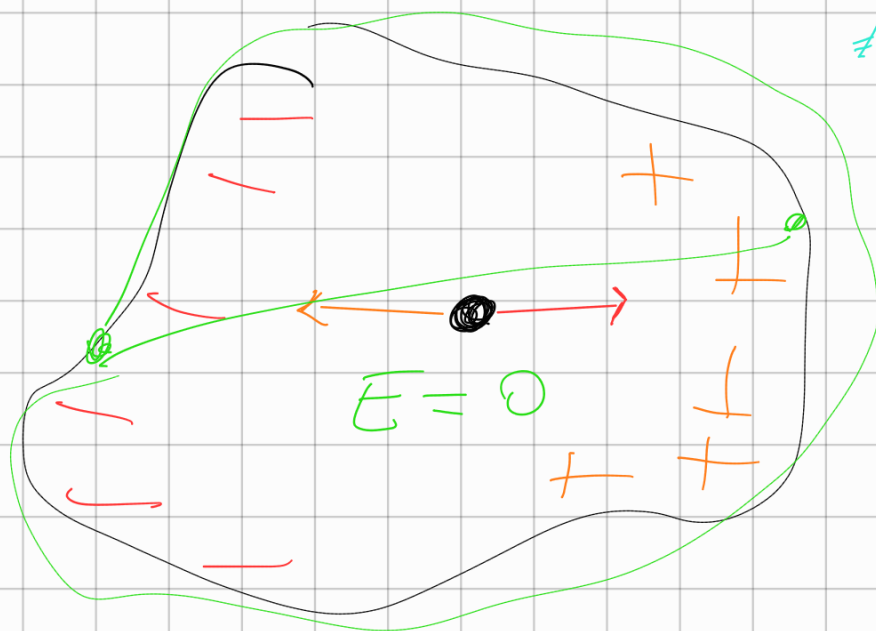
CONSEQUENZA $E=0$

• Se il campo è 0 in tutti i pt.,

Se devo andare da un polo all'altro,
farò il lavoro

$$\underline{E}(\underline{r}) = -\nabla V(\underline{r})$$

$\neq 0$ quando c'è una
variaz. di potenziale



IL POTENZIALE
RIMANE COSTANTE
NEL CONDUTTORE

Posso spostarmi liberamente nel conduttore
il lavoro sarà sempre pari a zero.

NON FACCIAMO QUANTO LO SOSTIENE.
E' ORTOGONALE ALLA FORZA

• Tutto il conduttore è una

1) regione EQUIPOTENZIALE

e se mi muovo lungo la superficie,
e faccio lavoro 0, significa che
in tutta la parte di una
superficie, il corpo

2) CAMPO ELETTROSTAT. E' SEMPRE ORTOG. ALLA SUP. EQUIPOT. t.c.
 se c'è METTO UNA CARICA E MI SPOSTO, NON FACCIO LAVORO

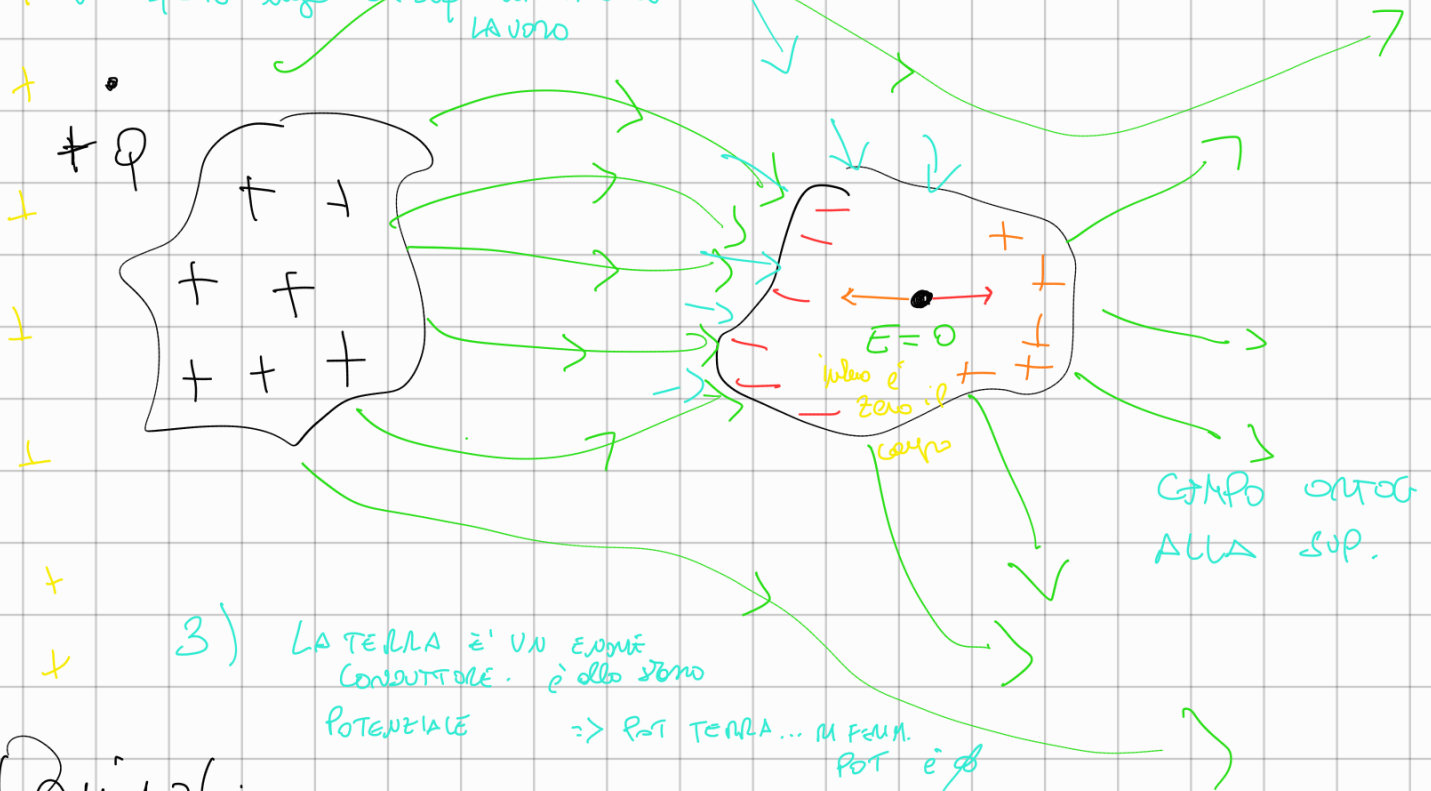
elettrostatico e' NON MACE
il conduttore, la parte tangente
 e' sempre $= 0$

Il MOTIVO PER CUI LINEE DI FORZA INTERNE SONO PERP. ALLA SUP

ANCHE LA SUP e' equipot, quindi se
 + mi sposto lungo la sup. NON FACCIO LAVORO

LINEE DI FORZA
 ESTERNE, coulomb

dalla carica di
 carica interna al conduttore

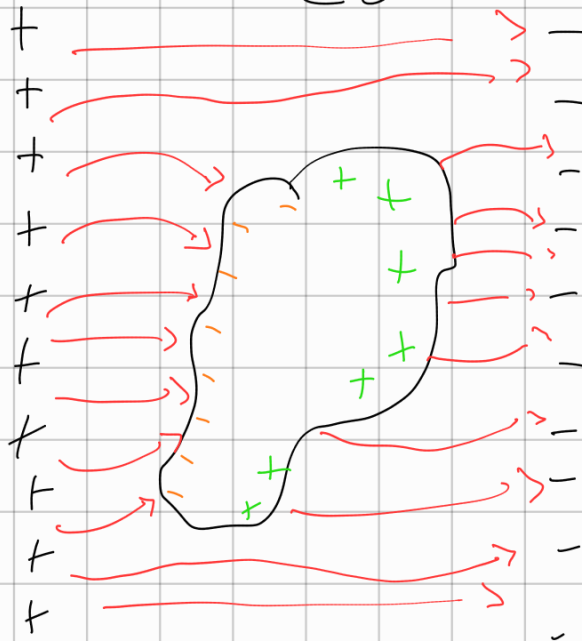


3) LA TERRA E' UN ENORME
 CONDUTTORE. e' allo stesso
 POTENZIALE => POT. TERRA... in forma
 POT. e' 0

Quindi

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

$$E = 0$$



$$E = 0$$

Potenziale di una sfera

PRENDO SUP. GAUSS INTERNA AL CONDOTTORE

Se campo elettrostatico interno è 0,

per superficie interna chiusa all'interno
del conduttore, il flusso è $= 0$

quindi non ha all'interno carica

netta $\neq 0$ Carica netta interna $= 0$

Se faccio avvicinare la sup interna alla

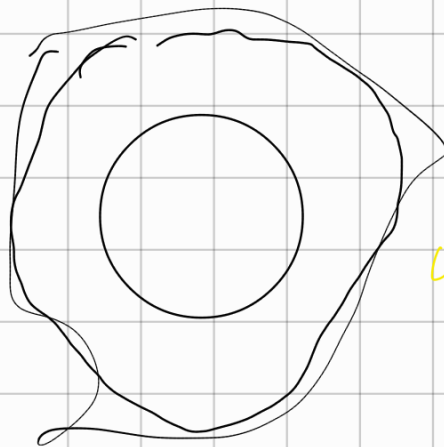
superf. del conduttore, anche se

sono vicinissimo, il flusso è ancora

nullo
FLUSSO È 0 perché il CAMPO È 0.
 $\Rightarrow$ Q carica netta È $\emptyset$

HO DENSITA' DI CARICA
SOLO SULLA SUP.

IN UN CONDOTTORE
LA DISTRIBUZIONE DI CARICHE
INDOTTE È SUPERFICIALE



LA CARICA È
DISTRIBUITA SULLA
SUPERFICIE

4) DISTRIBUZIONE
DI CARICHE

Sono portati dall'ipotesi che il conduttore
sia elettricamente neutro, la carica totale

rimane 0, o quello che è
 il Flusso totale o 0, sono se
 piccoli flussi interni e' = 0, perché

$$E(\text{int}) = 0$$

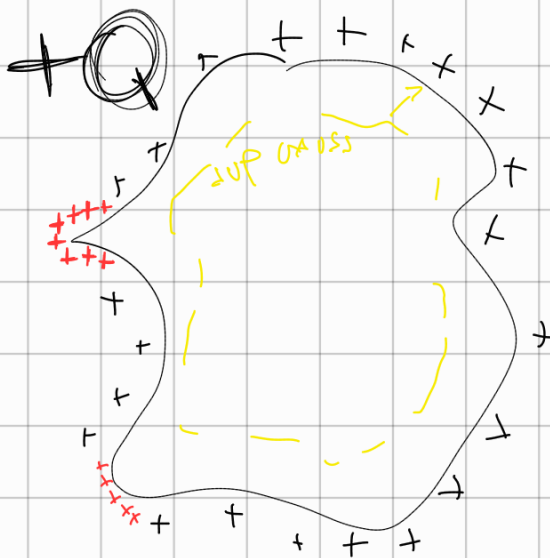
PMMA ENA SCALCO...

Cosa succede se carico un conduttore?
 INVERSO SUL CONDUTTORE CARICA POSITIVA

CARICA 01
 si distribuiscono t.c. $E(\text{int}) = 0$

UN CONDUTTORE

dove va a finire
 questa carica con
 cui ho caricato
 il conduttore?
 gli elettroni si
 ridistribuiscono
 subito.



$\sigma(r')$

Flusso intorno è
 sempre nullo. $E=0$...

CARICA INVERSATA E' SEMPRE
 SULLA SUPERFICIE IN MODO
 NON UNIFORME ma tale
 da la distrib. da $E(\text{int})$
 nullo

Se carico un conduttore,
 La carica si distribuisce sulla superficie
 in modo non uniforme (dipende da $\sigma(r')$
 in modo tale che il campo elettro-
 statico sia sempre 0.

Dove si distribuiscono di più le cariche?

Qualitativamente, la carica si addensa dove il conduttore ha maggior curvatura maggiore.

La carica si distribuisce in modo uniforme quando il corpo è sferico.

ES. SFERA

Ho SIMM. SFERICA PERF. TACC angoli solidi

Qui la distrib. è UNIFORME

$$\sigma = \frac{Q}{4\pi R^2}$$

Carica / sup

$$\sigma = \frac{Q}{du}$$

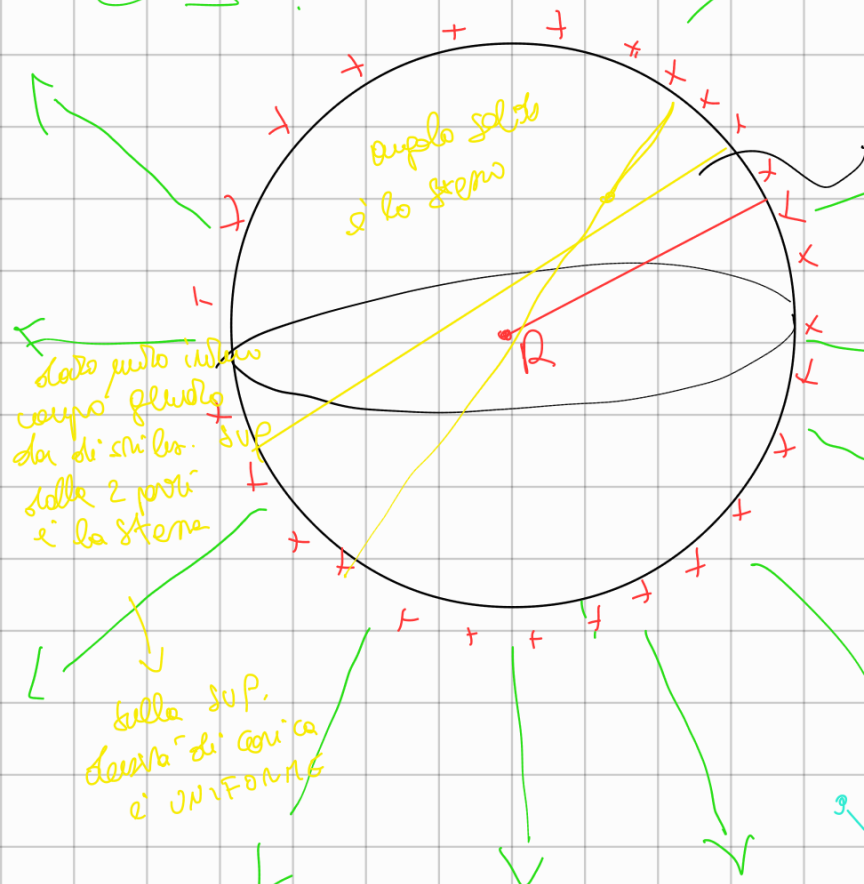
Per trovare, all'esterno e come se avessi un punto carico, con dens. radiale

punto esterno

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

se integro lungo una linea radiale ...

Carica elettrostatica
tutti i punti esterni



dato punto interno corpo sferico da distrib. sup delle 2 parti e la sfera

sulla sup. densità di carica è UNIFORME

Potenziale di una sfera?

lo calcoliamo a partire da

un singolo punto: Carico elettrico

e' notevole

Pot. Sfera carica, distribuzione

è uguale in tutti i punti per simmetria, distribuzione uniforme.

$$V(R) = k_e \frac{Q}{R}$$

distrib. unif.

POT. Sulla sup.

$$V(R) - V(\infty) = - \int_{\infty}^R k_e \frac{Q}{r^2} \hat{r} \cdot \hat{r} dr$$

$$V(r) = k_e \frac{Q}{r}$$

r perovica

||

distrib. unif.

considera

TUTTI

I PUNTI sulle

SUP. hanno qual

POTENZ. (sup. equipot.)

DOVE SI DISTRIBUISCONO LE CARICHE?

INVERSO Q sulla

carica e lontano Q sul filo

Sfera piccola — conduttore — Sfera più grande

ma sono lo stesso conduttore

qui va Q_2

Q_+

qui va

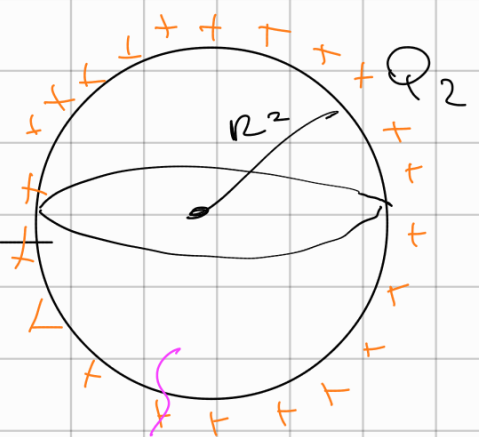


$$\sigma_1 = \frac{Q_1}{4\pi R_1^2}$$

$$\sigma = \frac{Q}{S}$$

SFERE LONTANE COSI' NON INTERAGISCONO DEDO

cond. con (NOV 7)



$$\sigma_2 = \frac{Q_2}{4\pi R_2^2}$$

carica si riversa sul conduttore.

Q_1 e Q_2 unif. si distribuiscono

le sfere lontane in modo che
il campo di uno non influenzi
l'altro

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad \text{conservaz. della carica}$$

Avviciniamo una carica Q , un po' di carica
si distribuisce su Q_1 , un po' su Q_2

Quanto varia il potenziale? è lo STESSO,
sono COLLEGATE
, sup. EQUIPOT.

$$V_2 = k_e \frac{Q_2}{R_2}$$

$$V_1 = k_e \frac{Q_1}{R_1}$$

ma siccome le sfere sono unite

da un conduttore, sono tutte

regioni equipotenziali. quindi

$$V_1 = V_2 \quad \Rightarrow \quad k_e \frac{Q_1}{R_1} = k_e \frac{Q_2}{R_2}$$

$$Q = \sigma S = \sigma 4\pi R^2$$

area

$$\Rightarrow \frac{Q_1}{R_1} = \frac{Q_2}{R_2} \quad \text{ma } Q_1 = \sigma_1 4\pi R_1^2$$

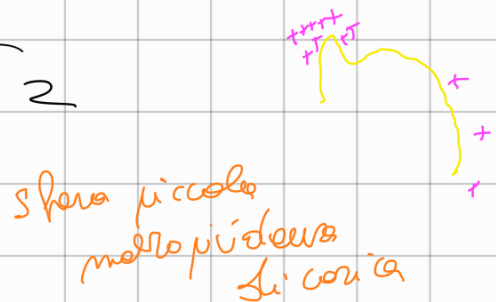
$$\Rightarrow \frac{\sigma_1 \cancel{4\pi} R_1^{\cancel{2}}}{\cancel{R_1}} = \frac{\sigma_2 \cancel{4\pi} R_2^{\cancel{2}}}{\cancel{R_2}}$$

$$\Rightarrow \sigma_1 R_1 = \sigma_2 R_2$$

Siccome $R_1 < R_2$, $\sigma_1 > \sigma_2$

$$\sigma_1 = \left(\frac{R_2}{R_1} \right) \sigma_2$$

> 1



Le cariche si addensano MAGGIORMENTE dove la curvatura è più grande.

La Terra è di per sé un enorme conduttore.

DENSITÀ DI CARICA
MAGGIORE se CURVATURA
MAGGIORE

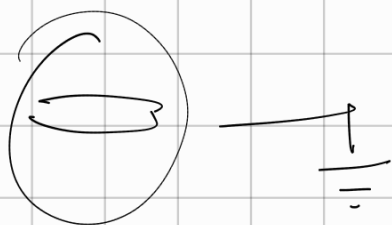
e tutta la Terra è una

regime equipotenziale, e può
arrivare qualsiasi volta,
che sarà così piccola che la
terra non cambierà il suo
potenziale

La terra è una struttura che
tiene il potenziale inalterato,
e quindi lo potenziamo e
l'ipertensione.

"METTERE A TERRA" significa
mettere una struttura al potenziale
di Terra.

"Tutto si ricondurrà a Terra"



Superficie di carica

Mettere a Terra
un conduttore
così hanno lo stesso potenziale
Sfera conduttrice

+

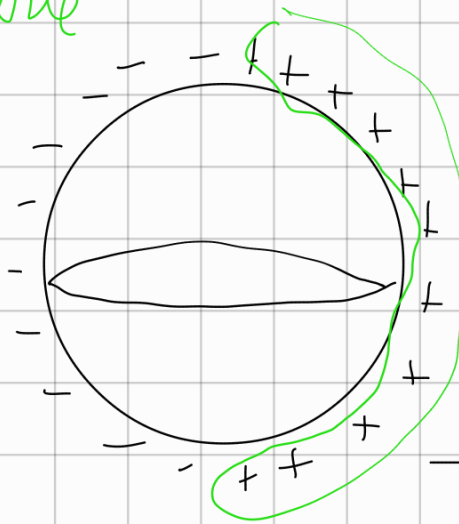
+

+

+

+

+



Cariche negative
che sono nella
parte opposta della
Terra

quando colleghi questo a Terra, la Terra
annullerà le cariche positive

+

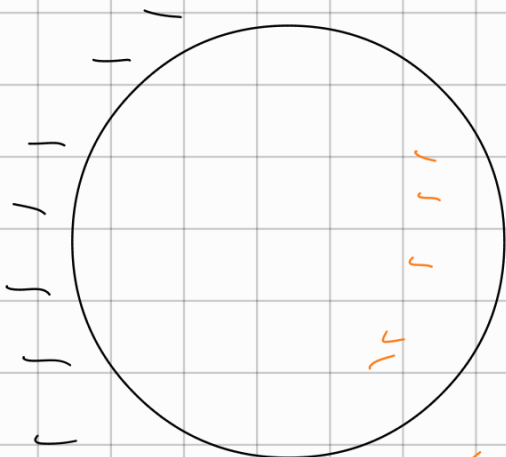
+

+

+

+

+



La sfera non
è più isolata

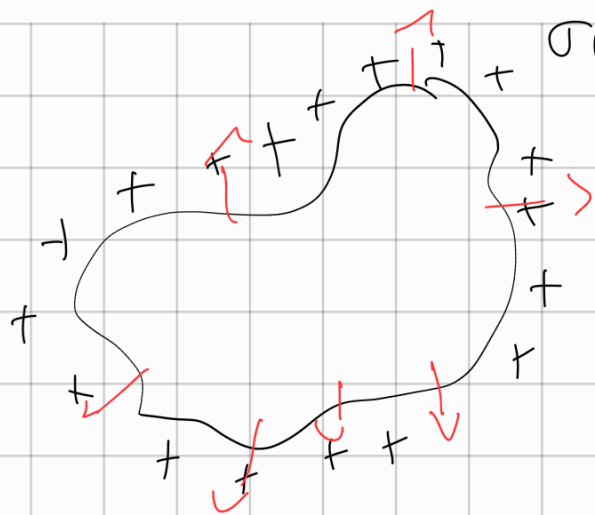
Quindi
qui allora
solo cariche negative

il campo elettrostatico interno
rimane 0

Ma un conduttore

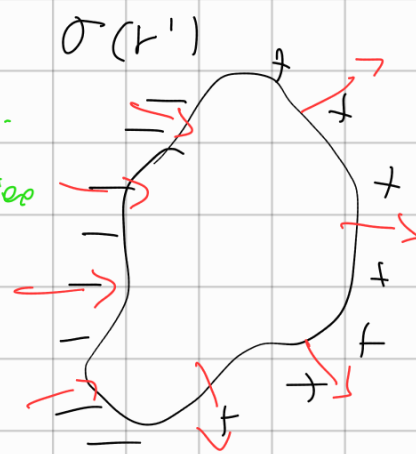
QUANTO VALE CAMPO EL SUL CONDUTTORE?

Se dove la densità è maggiore e che la dens. del campo è
perpendicolare alla SUPERFICIE



Conduttore carico

densità
che dipende
dal punto di
osservazione



Conduttore
scarico

In entrambi i casi, il campo elettrico
esterno è nullo, e può trovarsi con
Gauss

Zoom sul conduttore...

sol. equipot. linee Forze
equipot.

Voglio LEGARE
DENSITA' DEL CONDUTT. SUP
AL VALORE DEL CAMPO
EL.

da

$\sigma(r')$
densità



$\Delta h \rightarrow 0$, E costante

$\sigma'(x', y', z')$

AMP
CONDUTT

$E = 0$

Flusso SUP GAUSS
(CHiusa)

di altezza Δh
e sup Δa

Flusso facci' estere = 0

Flusso facci' interna = 0

No flusso solo sulla facci' esterna

σ, E enormi
effetto punta

E cost. sulla sup.

Prendo cilindretto infinitesimo
e calcolo il flusso del campo el. attraverso
questo cilindro.

Il campo elettrost. so che è normale

Registraz. - 1.13 h DA GAUSSI
GAUSSI σ costante sulla sup. inf.

$$\iint_S \underline{E}(r) \cdot \hat{n} \, dS = E_n \, dA + 0 =$$

$$= \frac{\sigma(x', y', z') \, dA}{\epsilon_0}$$

Contribuisco
al flusso
solo la
faccia
superiore $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$

ϵ_0

IN UN CONDUTTORE la distrib. di carica è sup.

NON È COSTANTE (ma T.C. $E_{\text{cond}} = 0$) più deve dare

raggio curvatura minima. e il campo el. è perpendic. alla sup. eqipot. e in ogni punto il campo vale $\frac{\sigma}{\epsilon_0}$

In ogni punto della superficie, il campo elettrost.
è

TEO DI COULOMB

Campo più
forte sulle punte

$$E_n(x', y', z') = \frac{\sigma(x', y', z')}{\epsilon_0}$$

Campo elettrico sulla sup. di
un conduttore



In un conduttore, il MODULO del campo

normale alla superficie e' $\frac{\sigma}{\epsilon_0}$

ATTEN

PAUSA

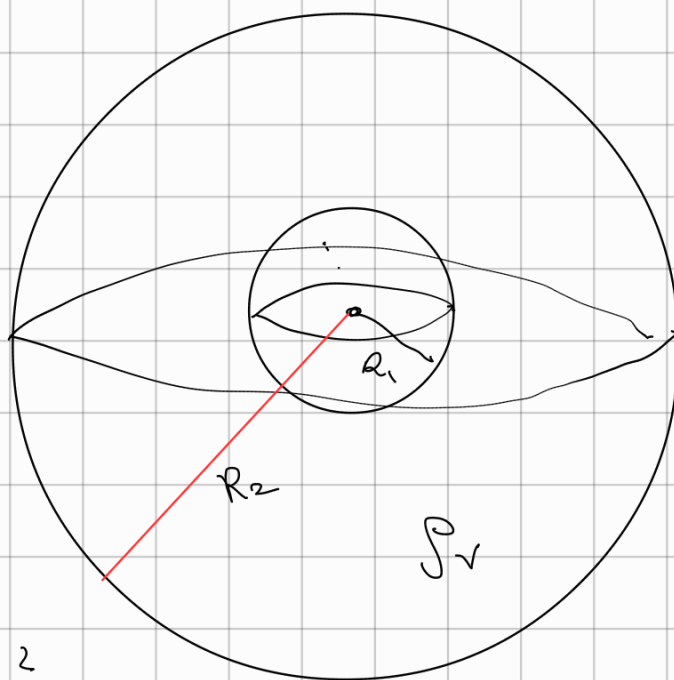
ESERCIZI

$$g_r = \frac{k}{r}$$

$$R_1 = 0,5 \text{ m}$$

$$R_2 = 2 R_1$$

$$k = 2.125 \cdot 10^{-9} \text{ C/m}^2$$

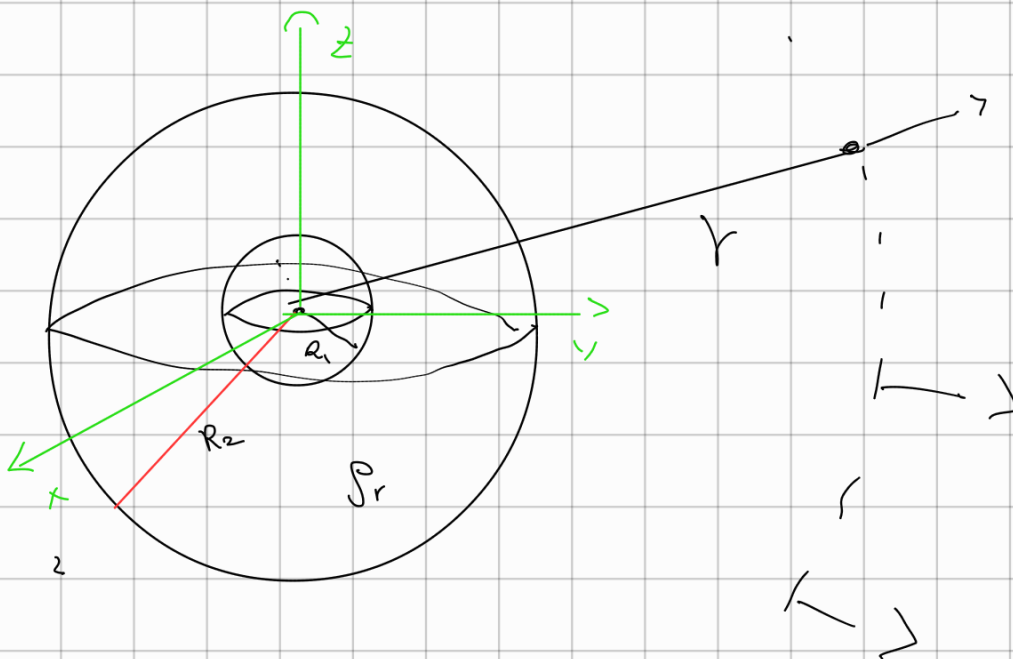


Potenziale sulla superficie della sfera,
deve vincere il campo elettrico:

per posizioni sulla sup.

Sfera sup. equipotenziale, basta trovarla su
un punto della sfera

Prendi superficie di Gauss con raggio r_1
con sup. sferica



$$r > R_2$$

area sup. externa

$$\iint_S \vec{E} \cdot \hat{r} \cdot \hat{r} \, dS = E_r \underbrace{4\pi r^2} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$Q = \iiint \rho_v(v') \, dv'$$

$$dv = r^2 \sin\theta \, dr \, d\theta \, d\varphi = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \int_{R_1}^{R_2} \frac{k}{r} r^2 \sin\theta \, dr \, d\theta \, d\varphi$$

valores solo de R_1 a R_2

$$= k 4\pi \int_{R_1}^{R_2} r \, dr = k 4\pi \left(\frac{R_2^2}{2} - \frac{R_1^2}{2} \right) =$$

$$= k 2\pi (R_2^2 - R_1^2)$$

$$Q = k 2\pi (4R_1^2 - R_1^2) = k 6\pi R_1^2 \quad C$$

$$\boxed{r > R_2} \Rightarrow \underline{E(r)} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{k 6\pi R_1^2 \hat{r} \frac{V}{m}}{r^2}$$

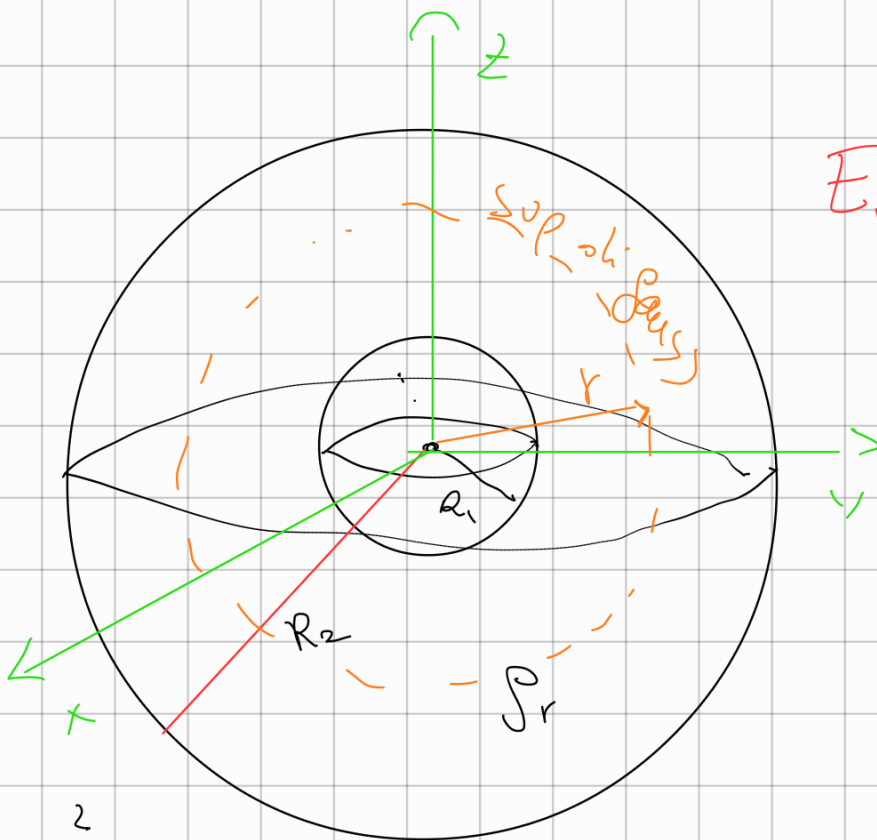
$$\underline{E(r)} = \frac{k 3 R_1^2 \hat{r} \frac{V}{m}}{2\epsilon_0 r^2}$$

mettiamoci ora dentro la struttura

$R_1 < r < R_2$ scegliamo una sfera con
superficie sferica, il campo sarà solo quello

di Gauss, campo radiale e costante in tutti i

punti, prendiamo la sfera R_1



$$E_r 4\pi r^2 = \frac{Q'}{\epsilon_0}$$

$$Q' = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \int_{R_1}^r \frac{k}{r'} (r')^2 \sin \vartheta \, dr' \, d\vartheta \, d\varphi =$$

distanza dal
centro

$$= k 4\pi \left(\frac{r^2}{2} - \frac{R_1^2}{2} \right) = k 2\pi (r^2 - R_1^2) C$$

Applico il Teo di Gauss

$$\bar{E}_r 4\pi r^2 = \underbrace{k 2\pi (r^2 - R_1^2)}_{\epsilon_0} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \bar{E}_r = \frac{k(r^2 - R_1^2)}{2\epsilon_0 r^2}$$

$R_1 < r < R_2$

$$\underline{\underline{E(r)}} = \frac{k}{2\epsilon_0} \left(1 - \frac{R_1^2}{r^2} \right) \hat{r}$$

C'è una discontinuità. Per i due campi
non trovo integrazioni, solo se li usi
risolvere e calcolo potenziale

$$V_{R_1} - V_\infty = - \int_\infty^{R_1} \underline{E}(\underline{r}) \cdot \underline{\hat{r}} \, d|\underline{r}| \quad \text{dividi in 2 cond.}$$

$$= \int_\infty^{R_2} \frac{k 3 R_1^2}{2 \epsilon_0 r^2} \hat{r} \cdot \hat{r} \, d|\underline{r}| - \int_{R_2}^{R_1} \frac{k}{2 \epsilon_0} \left(1 - \frac{R_1^2}{r^2} \right) \hat{r} \cdot \hat{r} \, d|\underline{r}|$$

$$= \frac{k e R_1^2}{2 \epsilon_0} \int_{R_2}^\infty \frac{1}{r^2} \, d|\underline{r}| + \frac{k}{2 \epsilon_0} \int_{R_1}^{R_2} d|\underline{r}| - \frac{k R_1^2}{2 \epsilon_0} \int_{R_1}^{R_2} \frac{1}{r^2} \, d|\underline{r}|$$

3 Termi

$$= \frac{k 3 R_1^2}{2 \epsilon_0} \left[-\frac{1}{r} \right]_{R_2}^\infty + \frac{k}{2 \epsilon_0} \left[r \right]_{R_1}^{R_2} - \frac{k R_1^2}{2 \epsilon_0} \left[-\frac{1}{r} \right]_{R_1}^{R_2} =$$

$$R_2 = 2 R_1$$

$$= \frac{k 3 R_1^2}{2 \epsilon_0} \left[\frac{1}{2 R_1} \right] + \frac{k}{2 \epsilon_0} (R_2 - R_1) - \frac{k R_1^2}{2 \epsilon_0} \left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{2 R_1} \right] =$$

$$= \frac{k}{2 \epsilon_0} \left[\frac{3 R_1}{2} + R_1 - \frac{R_1}{2} \right] =$$

$$= \frac{k}{2 \epsilon_0} 2 R_1 = \frac{k R_1}{\epsilon_0}$$

$$V(A) = k \frac{Q_1}{\epsilon_0}$$

il corpo e'
discontinuo,
il potenziale non lo
e'



Supponiamo che la sfera sia
inter

carica $+Q_1$. Ciò influisce

il potenziale? Influenza del peso su

il corpo cambia.

La carica netta sarà infl.

questo lo si trova

$$E_r 4\pi r^2 = \frac{Q_1 + Q}{\epsilon_0} = \frac{Q_1 + 6\pi k Q_1^2}{\epsilon_0}$$