INDICE

undici capitoli, novantotto pagine

1. Il campo elettrico e il potenziale 1
- 1.1 La legge di Coulomb e il campo elettrico 2
- 1.2 Il flusso e il teorema di Gauss 4
- 1.3 Il potenziale e l'energia potenziale elettrica 6
- 1.4 I condensatori 8

2. La corrente continua 10
- 2.1 La corrente elettrica e le leggi di Ohm 11
- 2.2 Resistenze in serie e in parallelo 12
- 2.3 Le leggi di Kirchhoff 14
- 2.4 Potenza, effetto Joule e circuito RC 17

3. Il campo magnetico 19
- 3.1 I magneti e le linee di campo 20
- 3.2 Le forze fra correnti 21
- 3.3 Il campo di un filo, di una spira, di un solenoide 23
- 3.4 La forza su un filo e il motore elettrico 26
- 3.5 Gauss e Ampère per B (liceo scientifico) 27
- 3.6 Il magnetismo nella materia 29

4. Cariche in moto nel campo magnetico 30
- 4.1 La forza di Lorentz e il moto circolare 31
- 4.2 Il selettore di velocità e lo spettrometro di massa ... 34
- 4.3 L'effetto Hall (liceo scientifico) 35

5. L'induzione elettromagnetica 36
- 5.1 Il flusso e la legge di Faraday-Neumann 37
- 5.2 La legge di Lenz 40
- 5.3 La fem cinetica e le correnti di Foucault 43
- 5.4 L'autoinduzione e il circuito RL (liceo scientifico) 44
- 5.5 L'energia del campo magnetico (liceo scientifico) . 46

6. La corrente alternata (liceo scientifico) 47
- 6.1 L'alternatore e i valori efficaci 48
- 6.2 I circuiti con R, L e C 49
- 6.3 Il circuito RLC e la risonanza 50
- 6.4 Il trasformatore 53

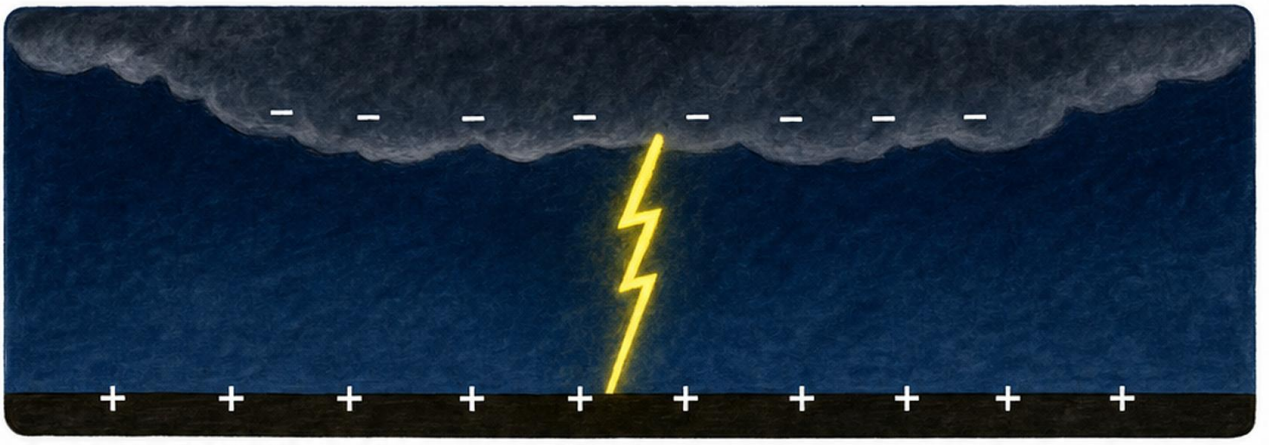
7. Maxwell e le onde elettromagnetiche 54
- 7.1 Il campo elettrico indotto 55
- 7.2 La corrente di spostamento (liceo scientifico) 56
- 7.3 Le equazioni di Maxwell (liceo scientifico) 57
- 7.4 Le onde elettromagnetiche e la velocità della luce 59
- 7.5 L'energia delle onde (liceo scientifico) 61
- 7.6 Lo spettro elettromagnetico e la polarizzazione 63

8. La relatività ristretta (liceo scientifico) 64
- 8.1 L'etere e l'esperimento di Michelson-Morley 65
- 8.2 I postulati di Einstein 66
- 8.3 La relatività della simultaneità 67
- 8.4 La dilatazione dei tempi 68
- 8.5 La contrazione delle lunghezze 70
- 8.6 Le trasformazioni di Lorentz e le velocità 72
- 8.7 Massa, energia e quantità di moto 74

9. La nascita dei quanti (liceo scientifico) 77
- 9.1 Il corpo nero e l'ipotesi di Planck 78
- 9.2 L'effetto fotoelettrico 79
- 9.3 L'effetto Compton 82
- 9.4 Il fotone 83

10. L'atomo e i quanti (liceo scientifico) 84
- 10.1 I modelli di Thomson e Rutherford 85
- 10.2 Gli spettri e l'atomo di Bohr 86
- 10.3 De Broglie e il dualismo onda-particella 89
- 10.4 Il principio di indeterminazione 91

11. Il nucleo (liceo scientifico) 92
- 11.1 Il nucleo e l'energia di legame 93
- 11.2 La radioattività 94
- 11.3 La legge del decadimento 95
- 11.4 La fissione e la fusione 98



un temporale: di solito la base della nuvola è negativa e il suolo positivo; il fulmine nube-suolo è la scarica fra i due

CAPITOLO 1

IL CAMPO ELETTRICO E IL POTENZIALE

LA FORZA SENZA CONTATTO

Fisica - quinta

"una carica elettrica modifica lo spazio intorno a sé: il campo descrive la forza per unità di carica, il potenziale l'energia potenziale per unità di carica, e un condensatore immagazzina energia nel campo"

DOVE LA TROVI



il parafulmine: la scarica passa dall'asta al filo e va a terra



nel flash della fotocamera un condensatore si scarica in un lampo

IN QUESTO CAPITOLO

1.1 la legge di Coulomb e il campo elettrico
1.2 il flusso e il teorema di Gauss
1.3 il potenziale e l'energia potenziale elettrica
1.4 i condensatori

ALL'ESAME

per gli altri licei il campo elettrico è di quinta («una descrizione in termini di energia e potenziale»), per lo scientifico del secondo biennio. il quadro della seconda prova di fisica (scientifico) chiede il teorema di Gauss.

IL CAMPO ELETTRICO DA COULOMB ALLE LINEE DI CAMPO

FISICA - QUINTA - IL CAMPO ELETTRICO E IL POTENZIALE

"il campo di cariche ferme è, in ogni punto, la forza per unità di carica su una carica di prova; le sue linee escono dalle positive ed entrano nelle negative"

1. LA CARICA E LA LEGGE DI COULOMB

$$F = k \cdot |q_1 \cdot q_2| / r^2$$

cariche dello stesso segno si respingono, di segno opposto si attirano; la carica si misura in coulomb (C).
vale per due cariche puntiformi ferme nel vuoto a distanza r, con $k = 8{,}99 \cdot 10^9\ N \cdot m^2/C^2$: F è il modulo delle due forze, che hanno versi opposti.

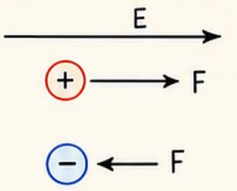
OCCHIO!

il campo E c'è anche dove non c'è la carica di prova, e non dipende da q: se q raddoppia, raddoppia F.

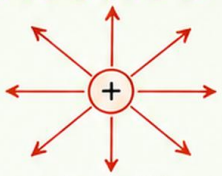
2. IL CAMPO ELETTRICO

$$E = F/q \qquad F = q \cdot E$$

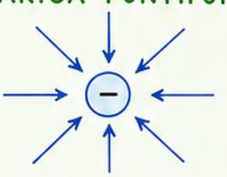
E è la forza su una carica di prova positiva q, piccola da non disturbare le altre, divisa per q; si misura in N/C.
il suo verso è quello della forza su una carica positiva; su una carica q la forza è $F = q \cdot E$, opposta a E se q è negativa.



3. IL CAMPO DI UNA CARICA PUNTIFORME



carica positiva



carica negativa

$$E = k \cdot |Q| / r^2$$

vale per una carica Q puntiforme ferma nel vuoto, a distanza r, e fuori da una sfera carica a simmetria sferica, con r dal centro.
le linee di E escono da una carica positiva ed entrano in una negativa; raddoppiando r, E diventa un quarto.

4. LE LINEE DI CAMPO

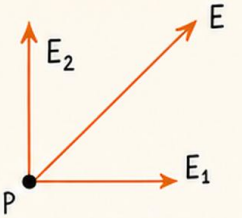
una linea di campo è tangente a E in ogni suo punto e ne ha il verso: con cariche ferme esce da quelle positive ed entra in quelle negative.

dove le linee sono più fitte il campo è più intenso; dove E non è nullo, due linee non si incrociano.

5. LA SOVRAPPOSIZIONE

$$E = E_1 + E_2$$

E_1 ed E_2 sono i campi che due cariche ferme nel vuoto produrrebbero da sole in un punto P: in P il campo totale è la loro somma vettoriale.
con lo stesso verso si sommano i moduli, con verso opposto si sottraggono e il campo totale ha il verso del maggiore.



6. UN ESEMPIO CON I NUMERI

$q_1 = +2{,}0\ \mu C$ e $q_2 = +3{,}0\ \mu C$, ferme nel vuoto, distano $r = 0{,}30$ m.
campo di q_1 dove sta q_2: $E = 8{,}99 \cdot 10^9 \cdot 2{,}0 \cdot 10^{-6} / 0{,}30^2 \approx 2{,}0 \cdot 10^5$ N/C, uscente da q_1.
forza su q_2: $F = q_2 \cdot E = 3{,}0 \cdot 10^{-6} \cdot 2{,}0 \cdot 10^5 = 0{,}60$ N, repulsiva, come per Coulomb.

TRUCCO

per il verso di E: dove spingerebbe una carica di prova positiva.

7. DA RICORDARE

① Coulomb: $F = k \cdot |q_1 \cdot q_2| / r^2$, cariche puntiformi ferme nel vuoto; repulsiva se i segni sono uguali, attrattiva se opposti.
② $E = F/q$, con q di prova positiva e piccola; su una carica q: $F = q \cdot E$, opposta a E se q è negativa.
③ carica puntiforme Q ferma nel vuoto: $E = k \cdot |Q| / r^2$, uscente se $Q > 0$, entrante se $Q < 0$; con più cariche ferme E è la somma vettoriale.

⚠ I TRABOCCHETTI

1) sommare i moduli dei campi senza guardare i versi: due campi opposti si sottraggono.
2) credere che una carica libera segua sempre una linea di campo: se la linea è curva, la carica se ne stacca.

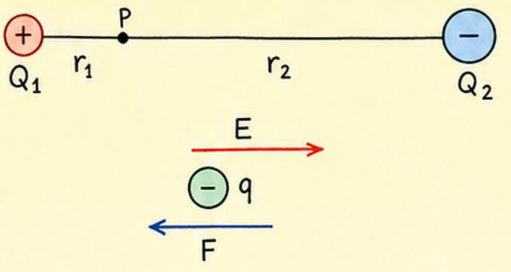
COME SI TROVA IL CAMPO DI DUE CARICHE IN UN PUNTO

Fisica – quinta – il campo elettrico e il potenziale

"il campo di due cariche ferme in un punto è la somma vettoriale dei due campi: prima i versi, poi i moduli; su una carica q la forza è $F = q \cdot E$"

IL PROBLEMA

due cariche puntiformi ferme nel vuoto distano 0,30 m: $Q_1 = +1{,}0\ \mu C$ a sinistra e $Q_2 = -4{,}0\ \mu C$ a destra. nel punto P della retta che le unisce, fra le due e a 0,10 m da Q_1, quanto vale il campo elettrico? e che forza subisce lì una carica $q = -2{,}0$ nC?



1 DOVE SONO CARICHE E PUNTO?

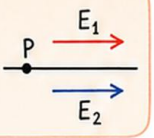
FAI: disegna la retta, le cariche e P, con le distanze di P dalle cariche.

ESEMPIO: $r_1 = 0{,}10$ m da Q_1; $r_2 = 0{,}30 - 0{,}10 = 0{,}20$ m da Q_2.

2 CHE VERSO HA CIASCUN CAMPO?

FAI: il campo di una carica positiva punta via da essa, quello di una negativa verso di essa: guarda dove sta P.

ESEMPIO: Q_1 è positiva: E_1 in P va a destra. Q_2 è negativa: E_2 in P va ancora a destra.



3 QUANTO VALE CIASCUN MODULO?

FAI: $E = k \cdot |Q|/r^2$, $k = 8{,}99 \cdot 10^9\ N \cdot m^2/C^2$, per una carica puntiforme ferma nel vuoto; Q in C ($1\ \mu C = 10^{-6}$ C), r in m.

ESEMPIO: $E_1 = 8{,}99 \cdot 10^9 \cdot 1{,}0 \cdot 10^{-6}/0{,}10^2 \approx 9{,}0 \cdot 10^5$ N/C; $E_2 = 8{,}99 \cdot 10^9 \cdot 4{,}0 \cdot 10^{-6}/0{,}20^2 \approx 9{,}0 \cdot 10^5$ N/C.

4 COME SI SOMMANO?

FAI: campi sulla stessa retta: stesso verso, si sommano i moduli; versi opposti, si sottraggono, col verso del maggiore. altrimenti: per componenti.

ESEMPIO: stesso verso: $E = 9{,}0 \cdot 10^5 + 9{,}0 \cdot 10^5 = 1{,}8 \cdot 10^6$ N/C, verso destra.

5 QUANTO VALE LA FORZA SU q?

FAI: $F = |q| \cdot E$, con q in C ($1\ nC = 10^{-9}$ C) e E il campo totale in P.

ESEMPIO: $F = 2{,}0 \cdot 10^{-9} \cdot 1{,}8 \cdot 10^6 = 3{,}6 \cdot 10^{-3}$ N.

6 IN CHE VERSO PUNTA?

FAI: come E se q è positiva, opposta a E se q è negativa.

ESEMPIO: q è negativa: F è opposta a E e punta a sinistra, verso Q_1.

OCCHIO!

sul segmento fra due cariche di segno opposto i campi hanno lo stesso verso; fra due dello stesso segno, verso opposto.

TRUCCO

per il verso di F, disegna E e capovolgi la freccia se q è negativa.

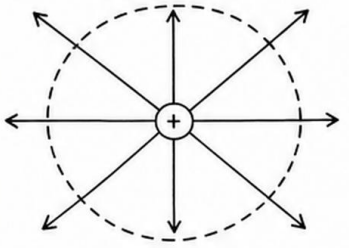
IL TEOREMA DI GAUSS

SUPERFICIE CHIUSA, CARICA INTERNA

Fisica - quinta - il campo elettrico e il potenziale

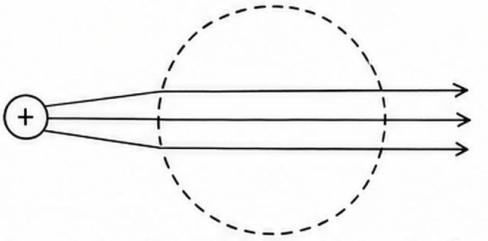
"il flusso del campo elettrico attraverso una superficie chiusa dipende solo dalla carica racchiusa, non dalla forma né dalle cariche fuori"

carica dentro



superficie chiusa

carica fuori

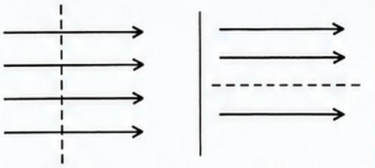


carica positiva dentro: le linee escono; carica fuori: tante linee entrano quante escono

1. IL FLUSSO DEL CAMPO ELETTRICO

$\Phi = E \cdot S \cdot \cos\theta$

il flusso dice quanto campo elettrico E attraversa una superficie di area S: la formula è per un campo uniforme e una superficie piana.
θ è l'angolo fra E e la normale scelta alla superficie: Φ è massimo con E lungo la normale ($\theta = 0°$), nullo con E parallelo alla superficie ($\theta = 90°$); si misura in $N \cdot m^2/C$.



massimo nullo

OCCHIO!

se il flusso attraverso una superficie chiusa è nullo, la carica racchiusa è nulla, ma E sulla superficie non lo è per forza.

2. LA SUPERFICIE CHIUSA

per una superficie chiusa la normale punta fuori: il flusso è positivo dove le linee escono, negativo dove entrano.

3. IL TEOREMA DI GAUSS

$$\Phi = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

per una superficie chiusa nel vuoto: Φ è il flusso del campo totale, Q la carica totale racchiusa con il suo segno, $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\ C^2/(N \cdot m^2)$ la costante dielettrica del vuoto.
non contano la forma della superficie né dove stanno le cariche dentro.

4. LE CARICHE FUORI NON CONTANO

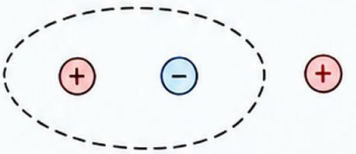
una carica fuori dalla superficie chiusa fa entrare tante linee quante ne fa uscire: il flusso totale non cambia, anche se cambia E sulla superficie.

5. DA GAUSS A COULOMB

carica puntiforme positiva Q ferma nel vuoto, sfera di raggio r con il centro nella carica: per simmetria E è perpendicolare alla sfera e uguale ovunque; l'area è $4\pi \cdot r^2$.
$\Phi = E \cdot 4\pi \cdot r^2 = Q/\varepsilon_0$ dà $E = \dfrac{Q}{4\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r^2} = k \cdot Q/r^2$: è la legge di Coulomb, con $k = 1/(4\pi \cdot \varepsilon_0)$.

6. UN ESEMPIO CON I NUMERI

una superficie chiusa nel vuoto racchiude +5,0 nC e −3,0 nC; una carica di +8,0 nC sta fuori.
$Q = 5{,}0 - 3{,}0 = 2{,}0$ nC;
$\Phi = 2{,}0 \cdot 10^{-9}/(8{,}85 \cdot 10^{-12}) \approx 2{,}3 \cdot 10^2\ N \cdot m^2/C$.



TRUCCO

somma le cariche dentro la superficie chiusa, con il segno, e dividi per ε_0 (nel vuoto): hai il flusso.

7. DA RICORDARE

① flusso: $\Phi = E \cdot S \cdot \cos\theta$, per un campo uniforme e una superficie piana.
② Gauss: per una superficie chiusa nel vuoto, $\Phi = Q/\varepsilon_0$, con Q la carica totale racchiusa.
③ superficie chiusa: il flusso non dipende dalla forma né dalle cariche fuori.

⚠ I TRABOCCHETTI

1) contare anche le cariche fuori dalla superficie.
2) usare $\Phi = Q/\varepsilon_0$ con una superficie aperta: vale solo se è chiusa.

IL TEOREMA DI GAUSS AL LAVORO

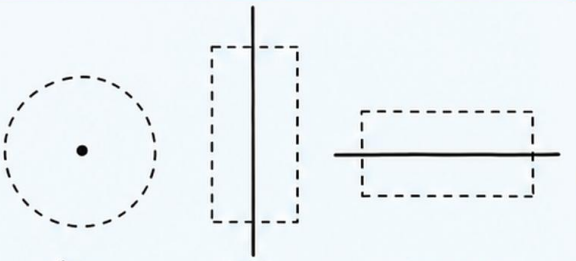
Fisica - quinta - il campo elettrico e il potenziale

"con la simmetria Gauss dà E; in un conduttore in equilibrio E è nullo dentro il metallo e la carica in eccesso sta sulla superficie"

1. LA SIMMETRIA SCEGLIE LA SUPERFICIE

con la simmetria si sceglie una **superficie chiusa**: dove c'è flusso E è costante e **perpendicolare**, altrove è parallelo.
sfera con il centro nella carica, **cilindro** con l'asse sul filo, **scatola piatta** a cavallo del piano.

esempio: sfera uniforme ferma, $Q = +2{,}0\ \mu C$, nel vuoto; fuori, a 0,50 m dal centro: $E = 8{,}99 \cdot 10^9 \cdot 2{,}0 \cdot 10^{-6}/0{,}50^2 \approx 7{,}2 \cdot 10^4$ N/C.



2. I CAMPI NEL VUOTO

DISTRIBUZIONE	CAMPO	DOVE VALE
carica ferma, puntiforme o a simmetria sferica	$E = k \cdot \lvert Q\rvert / r^2$	fuori, r dal centro
filo lungo con carica uniforme	$E = \lvert Q\rvert / (2\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \ell \cdot r)$	lontano dalle estremità
piano esteso con carica uniforme	$E = \lvert Q\rvert / (2 \cdot \varepsilon_0 \cdot S)$	lontano dai bordi
condensatore piano	$E = \lvert Q\rvert / (\varepsilon_0 \cdot S)$	fra le armature, lontano dai bordi

ε_0: costante dielettrica del vuoto; $k = 1/(4\pi \cdot \varepsilon_0)$; Q: carica totale (del filo su un tratto ℓ, del piano e di un'armatura su un'area S); r: distanza dal centro o dal filo; E esce da $Q > 0$, entra in $Q < 0$.

3. I CONDUTTORI IN EQUILIBRIO

in un conduttore in equilibrio elettrostatico le cariche sono ferme: dentro il metallo **E è nullo**, altrimenti si muoverebbero.

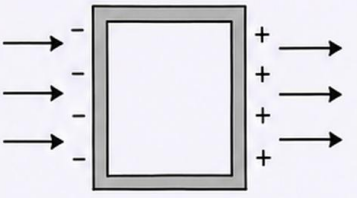
per Gauss la carica in eccesso sta **sulla superficie**, e subito fuori E è **perpendicolare** ad essa.



4. LA GABBIA DI FARADAY

dentro una cavità vuota di un conduttore in equilibrio il **campo è nullo**, anche con un campo esterno.

una scatola metallica chiusa, come l'abitacolo di un'auto, è una **gabbia di Faraday**.



OCCHIO!
vicino a un piano uniformemente carico, lontano dai bordi, **E** non dipende dalla distanza.

TRUCCO
in un conduttore in equilibrio la carica in eccesso sta **sulla superficie**.

5. DA RICORDARE

1. con la simmetria, Gauss dà **E**.
2. nel vuoto: campi della tabella, con le loro condizioni.
3. conduttore in equilibrio: **E = 0** nel metallo; cavità vuota: **E = 0** anche con un campo esterno.

⚠ I TRABOCCHETTI
1) usare le formule del filo e del piano vicino a estremità e bordi.
2) pensare che la carica in eccesso stia dentro il conduttore.