

CAMPO ELETTRICO

Si definisce **campo elettrico** (o elettrostatico) una qualunque regione dello spazio nella quale si manifestano azioni su cariche elettriche.

1. DESCRIZIONE DEL CAMPO

Per descrivere un campo elettrico si osserverà il comportamento di una carica q (**carica di prova**) posta in esso. La carica esploratrice q è per convenzione *positiva*.

In generale su q agirà una forza \vec{F}_e diversa punto per punto.

Utilizzando una carica $2q$, doppia della precedente, si misurerebbero in ogni punto forze di intensità doppia delle precedenti.

Quindi la forza \vec{F}_e , agente in ogni punto del campo sulla carica q , è:

$$\vec{F}_e = q \vec{E}$$

dove \vec{E} è un vettore caratteristico di quel punto in quel campo.

Il vettore \vec{E} è detto vettore intensità del campo elettrico nel punto P ed è:

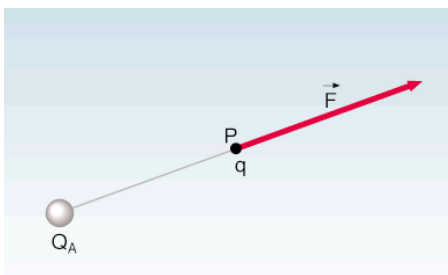
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q}$$

La direzione di \vec{E} coincide con quella di F ; il verso è quello di F se la carica Q generatrice del campo è positiva, è invece opposto a quello di F se Q è negativa.

Nel S.I. l'unità di misura di \vec{E} è:

$$\frac{\text{Newton}}{\text{Coulomb}} ; \left[\frac{N}{C} \right]$$

2. CAMPO GENERATO DA UNA SOLA CARICA ELETTRICA PUNTIFORME Q



L'intensità della forza \vec{F} esercitata da Q sulla carica esploratrice $+q$ posta a distanza r è data dalla legge di Coulomb:

$$F = k \frac{Qq}{r^2}$$

La direzione della forza \vec{F} è la contingente al punto A dove è posta la carica Q con il punto P in cui si trova $+q$.

Il vettore \vec{E} ha la direzione di \vec{F} ed è rivolto verso Q se Q è una carica negativa, in verso opposto se Q è una carica positiva.



\vec{E} dipende dalla carica Q , o dalla distribuzione di carica, che dà origine al campo ed è indipendente dalla carica q che esplora il campo. Infatti, se la carica esploratrice q dista r da Q , l'intensità di \vec{E} sarà:

$$E = \frac{k \frac{Qq}{r^2}}{q} = k \frac{Qq}{r^2} \cdot \frac{1}{q} = k \frac{Q}{r^2} \Rightarrow \boxed{\vec{E} = k \frac{Q}{r^2}}$$

Quindi: *il vettore intensità del campo elettrico in un punto P non dipende dalla carica esploratrice $+q$, ma dipende unicamente dalla carica generatrice Q che crea il campo e dalla distanza r del punto P dalla carica Q .*

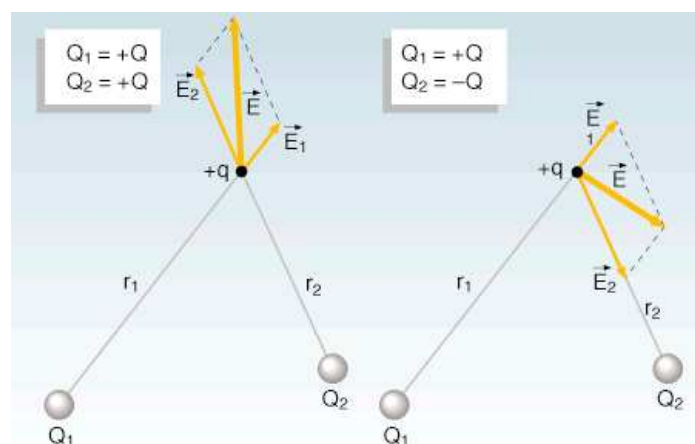
3. CAMPO GENERATO DA PIÙ CARICHE ELETTRICHE

La forza che agisce su una carica $+q$ posta in un punto P è la risultante delle forze dovute ad ogni singola carica

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_n$$

per cui il campo elettrico generato dalle n cariche è la risultante delle intensità dei campi generati separatamente dalle singole cariche

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots + \vec{E}_n$$

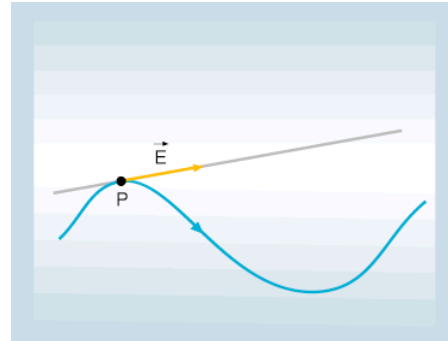
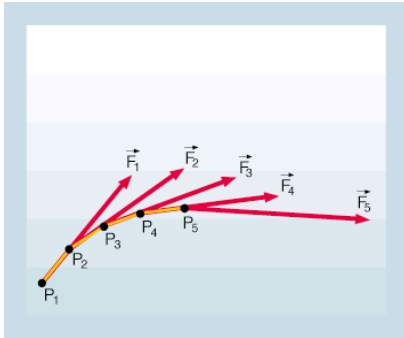


4. LINEE DEL CAMPO ELETTRICO

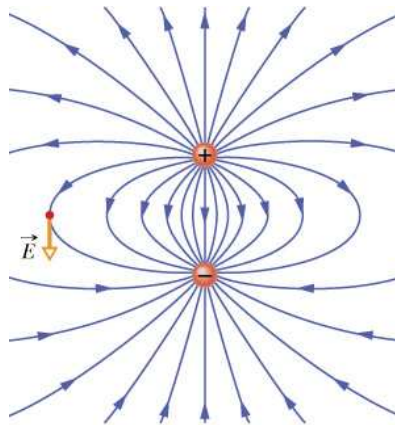
Per visualizzare il campo elettrico si utilizza il metodo ideato da *Faraday* basato sul concetto di *linea di campo* ed in particolare, essendo il campo elettrico di tipo vettoriale, di *linea di forza*.

Le linee di forza sono delle linee che godono delle seguenti proprietà:

- sono in ogni punto tangenti al vettore che rappresenta il campo;
- sono orientate nel verso del vettore campo elettrico;

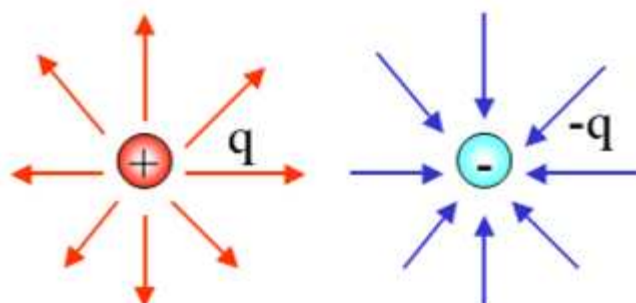


- la loro densità è direttamente proporzionale all'intensità del campo elettrico;
- per ogni punto passa una sola linea di forza che **parte da una carica positiva e termina all'infinito** oppure **proviene dall'infinito e termina in una carica negativa** o ancora **parte da una carica positiva e termina in una negativa**;
- due linee di forza non si possono mai incrociare.



4.1 Campo elettrico generato da una sola carica puntiforme

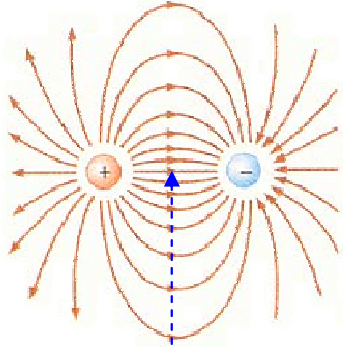
Le linee di forza del campo elettrico generato da una sola carica sono semirette.



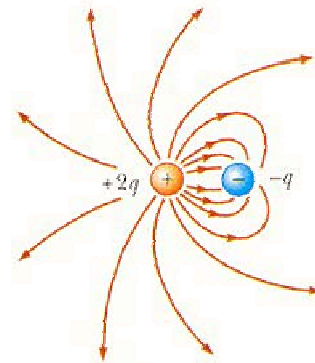
4.2 Campo elettrico generato da due cariche puntiformi

Le linee di forza del **campo generato da due cariche** sono linee curve.

Campo generato da due cariche opposte di uguale valore.



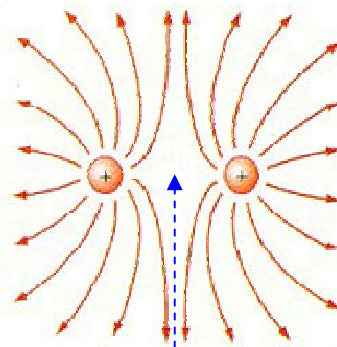
Campo generato da due cariche opposte di diverso valore.



In questa zona i campi si rafforzano perché la carica di prova q^+ è respinta verso destra dalla carica positiva e attratta verso destra dalla carica negativa.

Il campo della carica positiva “vince” su quello della carica negativa perché la carica positiva è doppia di quella negativa.

Campo generato da due cariche positive.



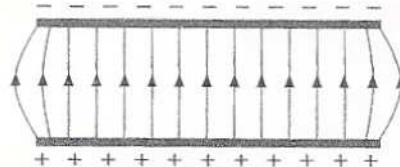
In questa zona i campi tendono ad annullarsi perché la carica di prova q^+ è respinta verso destra dalla prima carica e respinta verso sinistra dalla seconda.

4.3 Campo elettrico uniforme

Un *campo elettrico* si dice *uniforme* se assume lo stesso valore (in intensità, direzione e verso) in qualsiasi punto dello spazio.

Ad esempio, il campo generato dalla distribuzione uniforme di cariche elettriche uguali e di segno opposto su due piastre metalliche piane e parallele, può essere considerato uniforme (salvo che nella regione dei bordi).

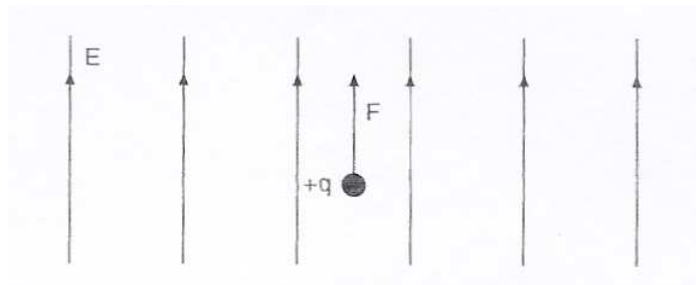
Le linee di forza del campo uniforme sono rette parallele fra loro ed equidistanti.



4.3.1 Comportamento di una carica puntiforme all'interno di un campo uniforme

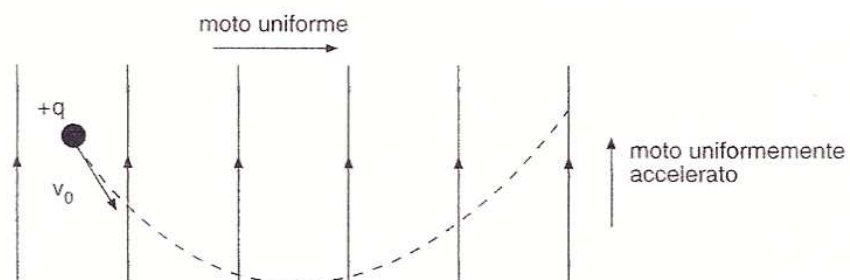
- Se inseriamo una *carica* positiva q di massa m , *in quiete*, all'interno di un campo uniforme di intensità E , diretto come in figura, essa viene sottoposta all'azione della forza $F = Eq$ di intensità costante e avente stessa direzione e stesso verso del campo.

La carica si muoverà di moto uniformemente accelerato con accelerazione costante \vec{a} di modulo $a = \frac{F}{m} = \frac{Eq}{m}$.



- Se la *carica* è *in moto* con velocità iniziale v_0 e direzione obliqua rispetto alle linee di forza, il moto risulta dalla composizione del moto uniformemente accelerato nella direzione del campo e del moto uniforme nella direzione ad esso perpendicolare.

La traiettoria seguita dalla carica sarà parabolica (come quella di un proiettile nel campo gravitazionale terrestre).



5. CAMPO ELETTRICO DI UN DIPOLO

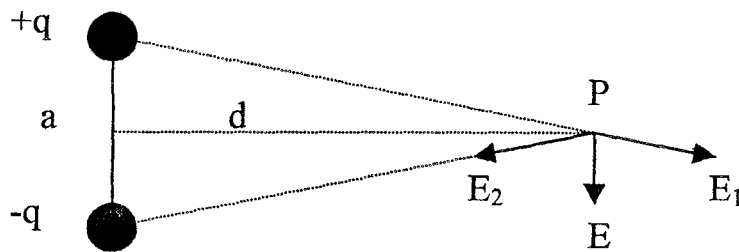
Un campo elettrico importante è quello generato da un dipolo elettrico.

Un dipolo elettrico è *una coppia di cariche puntiformi di segno opposto $+q$ e $-q$, poste a distanza piccolissima tra loro.*

La retta passante per le due cariche si chiama *asse del dipolo*.

Il campo elettrico \vec{E} generato dal dipolo ad una distanza d sull'asse del segmento congiungente le cariche, nell'ipotesi che d sia molto più piccola della distanza a tra le due cariche, può essere approssimato da:

$$E = k_0 \frac{aq}{d^3}$$



Il dipolo è quindi caratterizzato sia dal valore delle cariche sia dalla loro distanza e per tale motivo si identifica un dipolo dal valore che assume la grandezza $aq = p$ detta *momento di dipolo elettrico*.

Si attribuisce carattere vettoriale al momento di dipolo elettrico assumendo come direzione quella dell'asse del dipolo e come verso quello che va da $-q$ a $+q$.

Nel S.I. l'unità di misura del momento di dipolo elettrico è il *coulomb metro* (C m).

6. FLUSSO DEL CAMPO ELETTRICO

Grandezza che caratterizza un campo elettrico ed esprime il numero di linee di forza che attraversano una superficie posta all'interno del campo.

Si chiama **flusso** Φ di un campo elettrico \vec{E} attraverso una superficie di area S , il prodotto dell'area S per la componente E_n di E nella direzione normale n alla superficie S :

$$\Phi(E) = E_n \cdot S$$

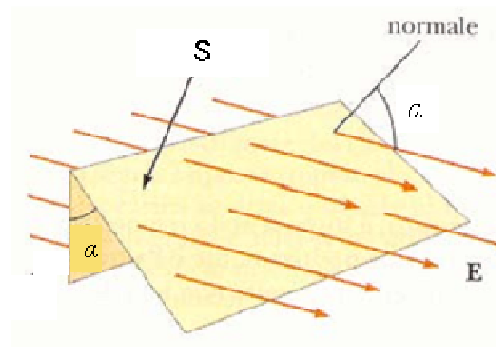
6.1 Campo elettrico uniforme (costante nel tempo)

– Se S è **obliqua** rispetto a E

Se consideriamo un campo elettrico **uniforme** e una superficie piana di area S **obliqua** rispetto a $E \Rightarrow$

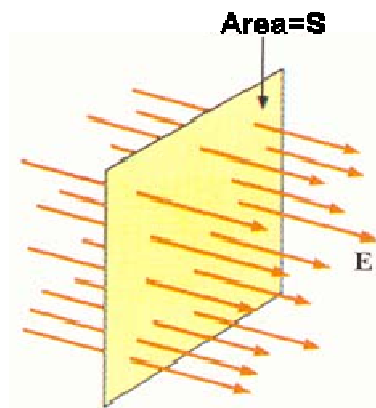
$$\Phi(E) = E_n \cdot S = E \cdot \cos \alpha \cdot S$$

dove α è l'angolo formato dalla normale n e la direzione di E .



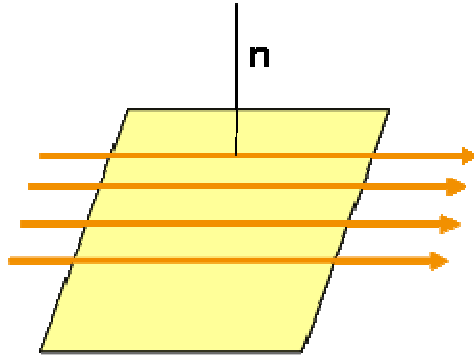
– Se S è **perpendicolare** a E

Si ha: $\alpha = 0$, $\cos \alpha = 1$, $E_n = E \cdot 1 = E \Rightarrow \Phi(E) = E \cdot S$



– Se S è **parallela** a E

Si ha: $\alpha = 90^\circ, \cos 90^\circ = 0, E_n = E \cdot 0 = 0 \Rightarrow E_n = 0$ e quindi $\Phi(E)=0$



Quindi:

- Il flusso risulta **proporzionale** al numero N di linee di forza di E che attraversano la superficie S .
- Il numero N di linee di forza è **massimo** quando S è **perpendicolare** a E ;
- Il numero N di linee di forza è **nulla** quando S è **parallela** a E .

6.2 Campo elettrico non uniforme (varia da punto a punto)

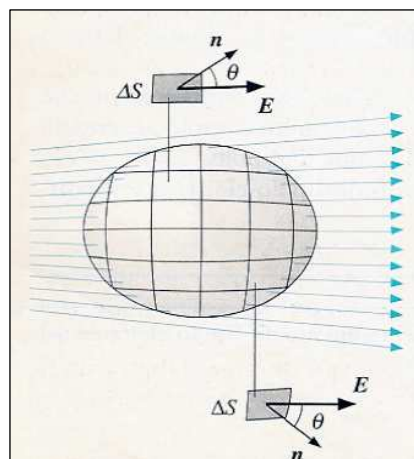
Consideriamo un campo elettrico non uniforme e una superficie S non piana. Per calcolare il flusso occorre dividere la superficie S in un numero grandissimo m di areole ΔS_i ($i=1, 2, \dots, m$) ciascuna così piccola da poter considerare E_i costante su tutte le superfici $\Delta S_i \Rightarrow$ il flusso Φ attraverso una di queste areole è dato da

$$\Phi(E_i) = E_{in} \cdot \Delta S_i$$

Un valore approssimato del flusso sarà:

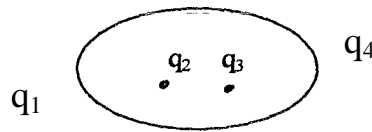
$$\Phi(E) = E_{1n} \cdot \Delta S_1 + E_{2n} \cdot \Delta S_2 + \dots + E_{mn} \cdot \Delta S_m \quad (1)$$

Il valore esatto si trova calcolando il limite per $m \rightarrow \infty$ della (1).



6.3 Flusso del campo attraverso una superficie chiusa

Consideriamo una superficie S chiusa.



In questo caso il vettore \vec{E} viene "legato" alle cariche che lo creano indipendentemente dalla loro dislocazione entro S.

Il vettore \vec{E} gode di una proprietà fondamentale e generale espressa dal *teorema di Gauss*.

6.4 Teorema di Gauss

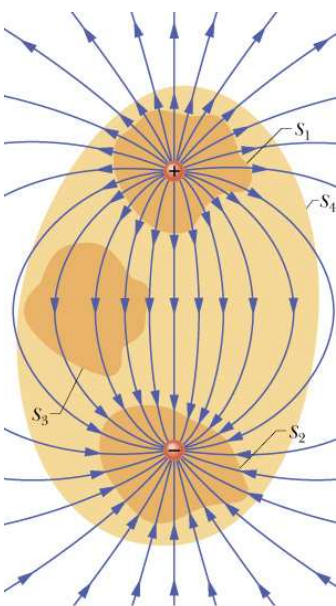
Il flusso del campo elettrico attraverso una qualunque superficie chiusa è dato dal rapporto tra la carica q contenuta entro la superficie e la costante di elettrica del mezzo in cui si opera.

Quindi:

Se S è la superficie chiusa considerata e q_i sono le cariche contenute in S, il flusso uscente da S è dato da

$$\Phi(\mathbf{E}) = \frac{q_1 + q_2 + \dots + q_n}{\epsilon} = \frac{1}{\epsilon_0 \epsilon_r} \sum_{i=1}^n q_i$$

dove Σ è estesa a tutte e sole le cariche q_i contenute nella superficie chiusa S considerata. Le cariche posta all'esterno di S non contribuiscono affatto a $\Phi(\mathbf{E})$.



In figura:

La superficie S_1 racchiude la carica positiva.

La superficie S_2 racchiude la carica negativa.

La superficie S_3 non racchiude nessuna carica.

La superficie S_4 racchiude tutte e due le cariche e quindi una carica totale nulla.

Nota

La legge di Gauss mette in relazione il flusso Φ di un campo elettrico attraverso una superficie chiusa (una superficie gaussiana) con la carica q_{int} che è racchiusa all'interno della superficie.

6.5 Flusso di una superficie sferica

Se la superficie S chiusa è sferica di raggio r e Q , carica puntiforme, è posta nel centro $\Rightarrow E = K \frac{Q}{r^2}$ ha lo stesso valore in tutti i punti della sfera di raggio r ed è perpendicolare alla superficie sferica in tutti i suoi punti $\Rightarrow E_n = E \Rightarrow \Phi(E)$ uscente dalla sfera è dato da

$$\Phi(E) = E \cdot S = k \frac{Q}{r^2} \cdot 4\pi r^2 = 4\pi k Q = 4\pi \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot Q = \frac{Q}{\epsilon} \Rightarrow \Phi(E) = \frac{Q}{\epsilon}$$

Se il campo è generato da più cariche puntiformi ad esempio n si ha:

$$\Phi(E) = \frac{1}{\epsilon} \sum_{i=1}^n Q_i$$

Flusso uscente

- Se la carica Q è positiva le linee di forza sono semirette uscenti da $Q \Rightarrow \Phi(E) > 0$
- Se la carica Q è negativa le linee di forza sono semirette entranti in $Q \Rightarrow \Phi(E) < 0$

