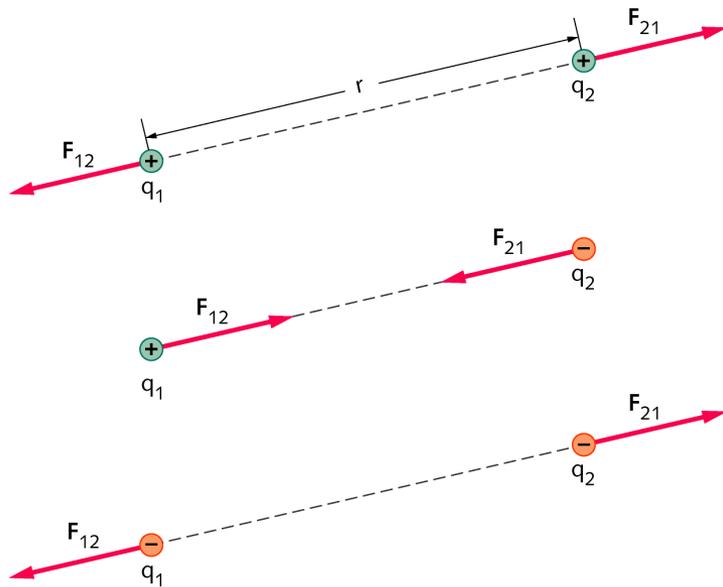


CAMPI VETTORIALI

Tratteremo il caso particolare del campo elettrico, ma potremmo egualmente parlare di campo magnetico o campo gravitazionale.

Il concetto di campo nasce storicamente per trattare le interazioni a distanza tra masse (campo gravitazionale, con solo forze attrattive) o cariche (campo elettrostatico, con forze attrattive e repulsive).

Le forze elettrostatiche sono descritte dalla legge di Coulomb:



$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$K = 8.99 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$$

Il protone ha una carica $q_p = 1.60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

L'elettrone ha una carica $q_e = -1.60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

NEWTON E COULOMB

Analizziamo le analogie e le differenze tra la legge di Coulomb, e la legge di Newton della gravitazione universale.

$$F_G = G \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad F_e = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Nelle due leggi l'intensità della forza diminuisce con il quadrato della distanza tra gli oggetti ed entrambe le forze dipendono da un prodotto di grandezze intrinseche: nel caso della forza elettrica la grandezza intrinseca è la carica, nel caso della gravità è la massa.

Ugualmente significative sono le differenze. In particolare, la forza di gravità è sempre attrattiva, mentre quella elettrica può essere attrattiva o repulsiva. Come conseguenza, la forza elettrica risultante tra corpi neutri, come la Terra e la Luna, è fondamentalmente nulla, poiché la forza attrattiva e quella repulsiva si annullano a vicenda. La gravità è invece sempre attrattiva, quindi la forza gravitazionale risultante fra la Terra e la Luna non è nulla. Per questo motivo in astronomia la gravità riveste un ruolo fondamentale, mentre le forze elettriche giocano un ruolo molto meno importante.

A livello atomico si verifica esattamente l'opposto. Per esempio, se confrontiamo la forza elettrica e quella gravitazionale tra un protone e un elettrone, in un atomo di idrogeno, facendo il rapporto che non dipende dalla distanza, troviamo che la forza elettrica è maggiore di quella gravitazionale di quasi 40 ordini di grandezza.

$$\frac{F_e}{F_G} = -\frac{k}{G} \frac{q_p q_e}{m_p m_e} = 2.26 \cdot 10^{39}$$

I valori delle costanti che entrano nell'equazione sono:

$$k = 8.99 \cdot 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$$

$$G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$$

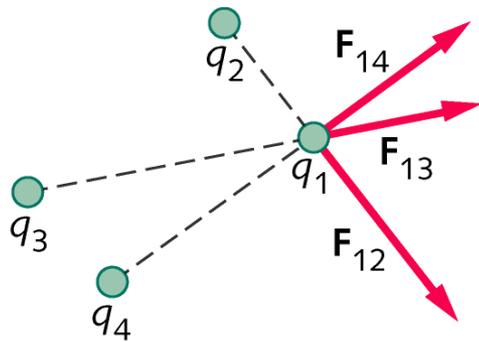
$$q_p = 1.60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$q_e = -q_p$$

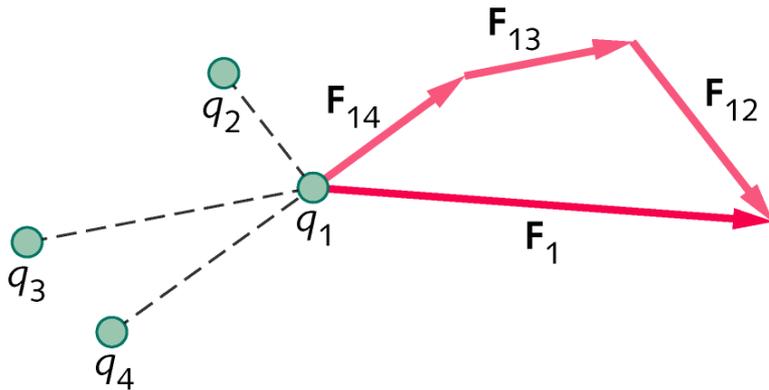
$$m_p = 1.673 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

Evidentemente, quindi, la forza di gravità non gioca alcun ruolo a livello atomico. La ragione per cui la gravità domina a livello astronomico è che, anche se la forza è incredibilmente debole, è sempre attrattiva e agisce su corpi estremamente grandi. La forza elettrica, al contrario, è molto intensa, ma tra corpi neutri sparisce.



A



B

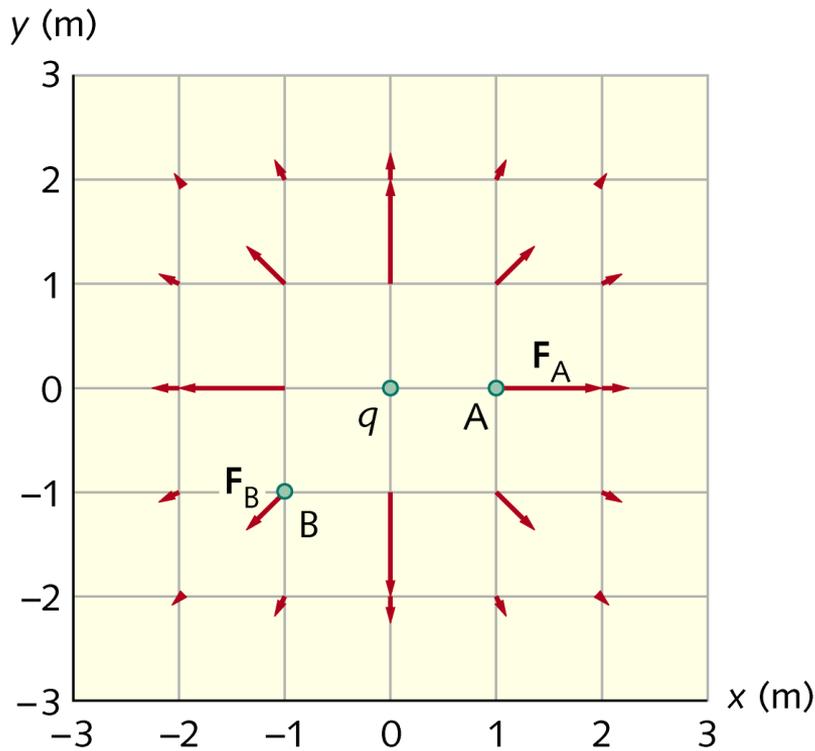
A. Sulla carica q_1 sono esercitate forze dalle cariche q_2 , q_3 , e q_4 . Queste forze sono, rispettivamente, \mathbf{F}_{12} , \mathbf{F}_{13} e \mathbf{F}_{14} .

B. La forza risultante che agisce su q_1 , che abbiamo etichettato con \mathbf{F}_1 , è la somma vettoriale di \mathbf{F}_{12} , \mathbf{F}_{13} e \mathbf{F}_{14} .

SOVRAPPOSIZIONE

La forza elettrica, come tutte le forze, è una grandezza vettoriale. Perciò, quando una carica risente della forza esercitata da due o più cariche, la forza risultante su di essa è la somma vettoriale delle singole forze.

Questa proprietà è chiamata sovrapposizione delle forze.

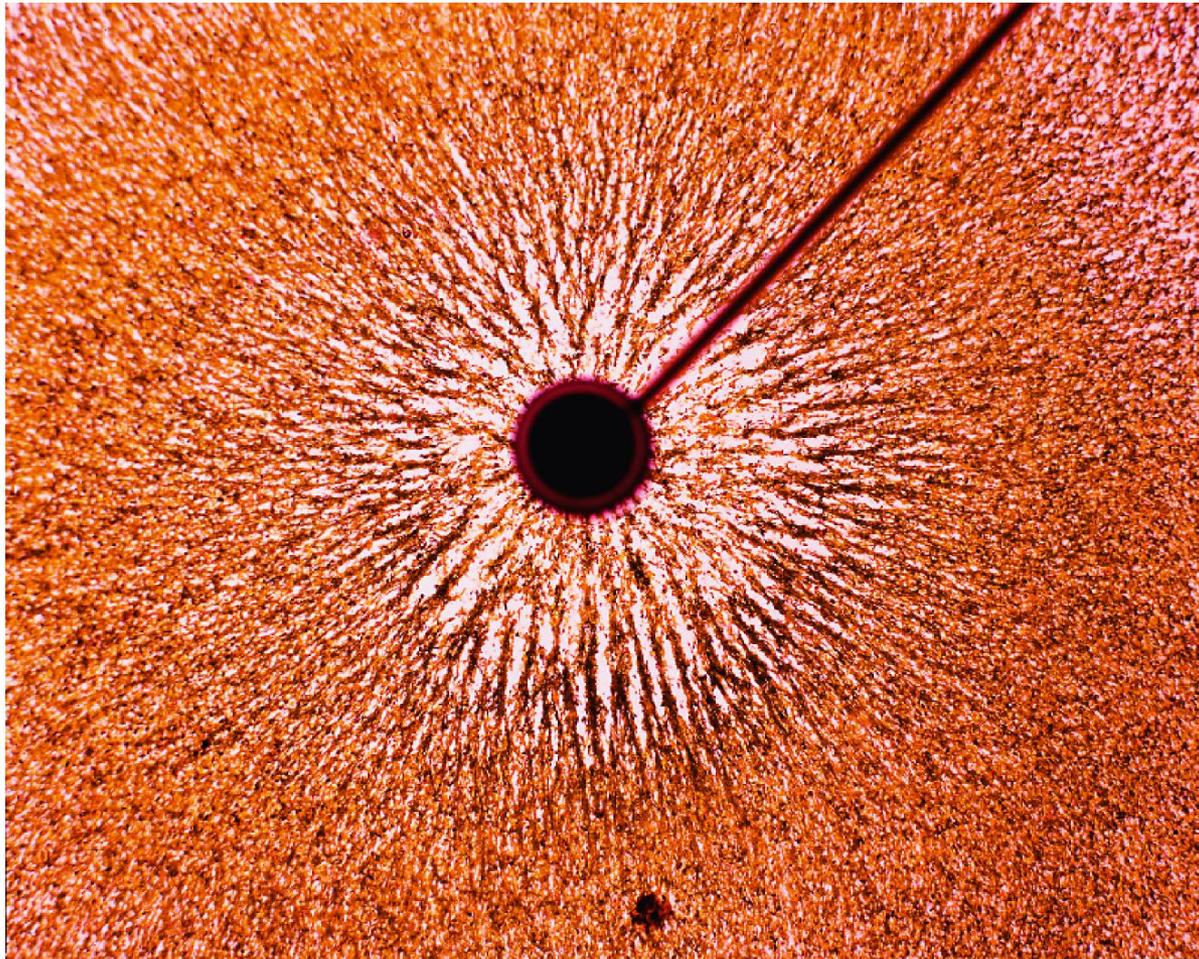


CAMPO ELETTRICO

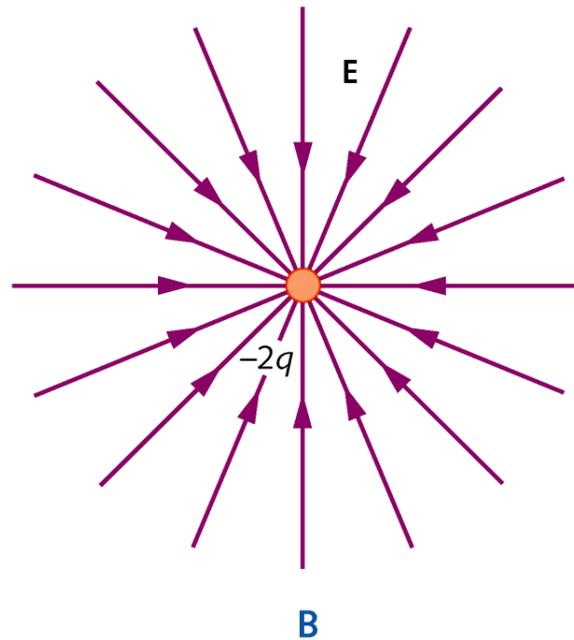
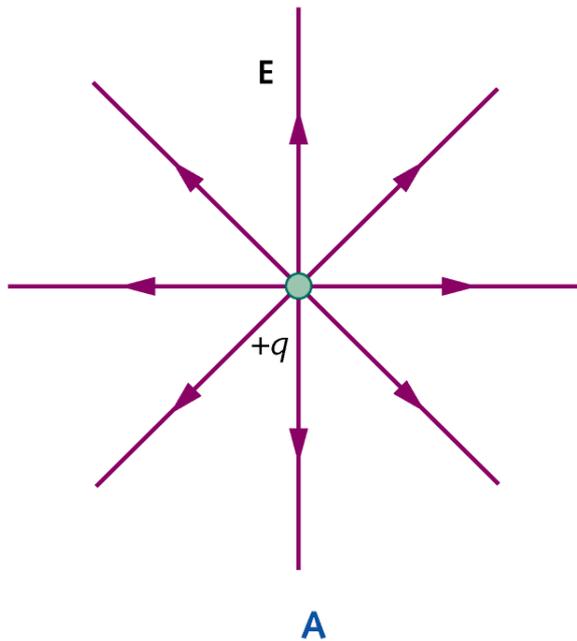
Consideriamo una carica positiva puntiforme q situata nell'origine di un sistema di assi coordinati. Se posizioniamo una «carica di prova» positiva, q_0 , nel punto A, la forza esercitata su di essa è indicata dal vettore F_A . Se invece mettiamo la carica di prova nel punto B, essa risentirà della forza F_B . A ogni punto dello spazio corrisponde un determinato valore della forza. In questo senso, la figura visualizza il «campo di forze» associato alla carica q .

Poiché l'intensità della forza in ogni punto della figura è proporzionale a q_0 (secondo la legge di Coulomb), risulta conveniente dividere per q_0 e definire per ogni punto dello spazio una forza per unità di carica, indipendente da q_0 . Chiamiamo tale forza per unità di carica «campo elettrico», E . La sua definizione è la seguente:

Se una carica di prova q_0 risente di una forza, F , in una data posizione, il campo elettrico, E , in quella posizione è: $E = F/q_0$.



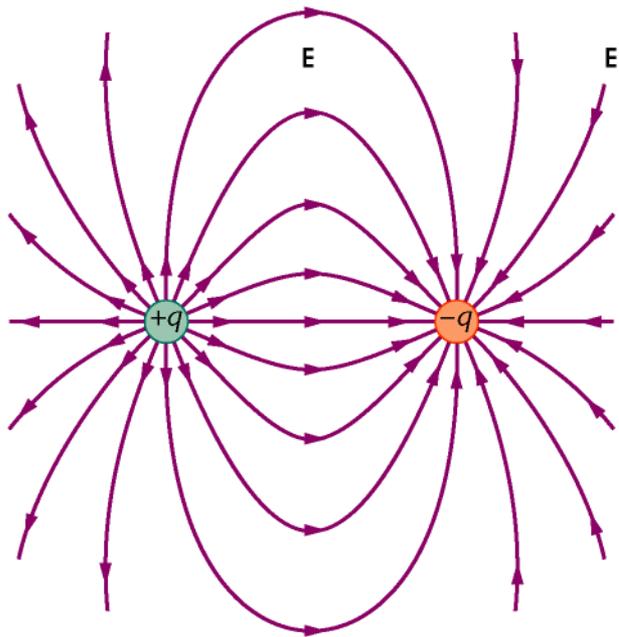
Semi di erba sospesi nell'olio. A causa degli effetti della polarizzazione, i semi tendono ad allinearsi nella direzione del campo elettrico. Qui, i semi sono allineati radialmente a causa del campo elettrico del filo carico, al centro della fotografia.



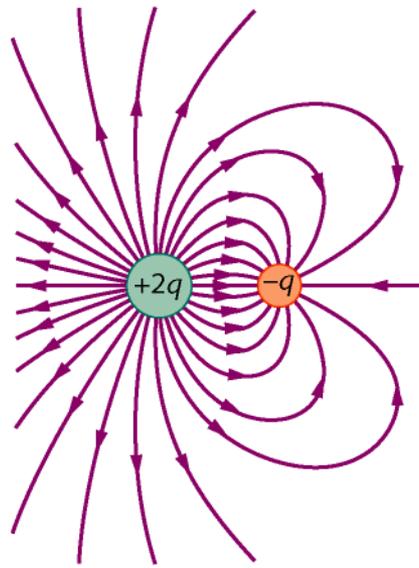
Otteniamo un metodo efficace per disegnare le linee del campo elettrico utilizzando le seguenti regole:

1. In ogni punto hanno la direzione del vettore campo elettrico E in quel punto.
2. Partono dalle cariche positive (+) o dall'infinito.
3. Finiscono nelle cariche negative (—) o all'infinito.
4. Sono più dense dove E ha un'intensità maggiore; in particolare, il numero di linee entranti o uscenti da una carica è proporzionale all'intensità della carica.

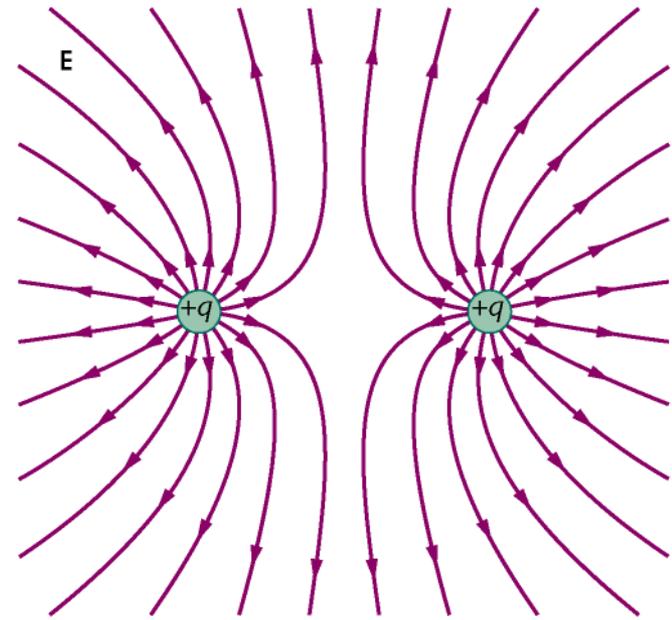
Nella figura vediamo le linee del campo elettrico prodotto da due cariche puntiformi differenti.



A



B



C

Linee del campo elettrico per un sistema di cariche.

A. Le linee del campo elettrico di un dipolo formano delle curve chiuse che diventano più rade allontanandosi dalle cariche.

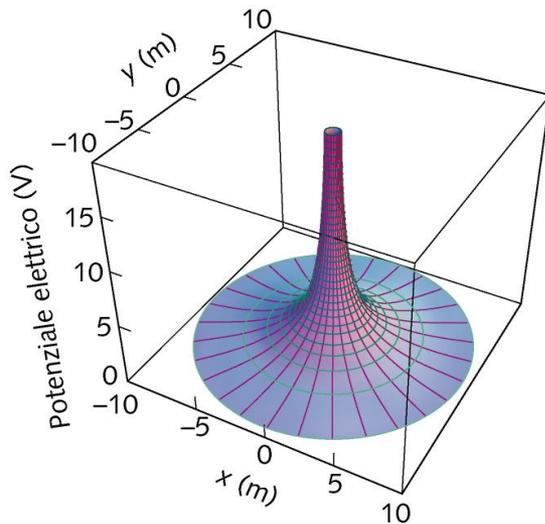
B. In un sistema con una carica netta risultante, alcune linee del campo si estendono all'infinito. Se le cariche hanno segno opposto, alcune linee del campo partono da una carica e terminano sull'altra.

C. Tutte le linee del campo di un sistema con cariche dello stesso segno si estendono all'infinito.

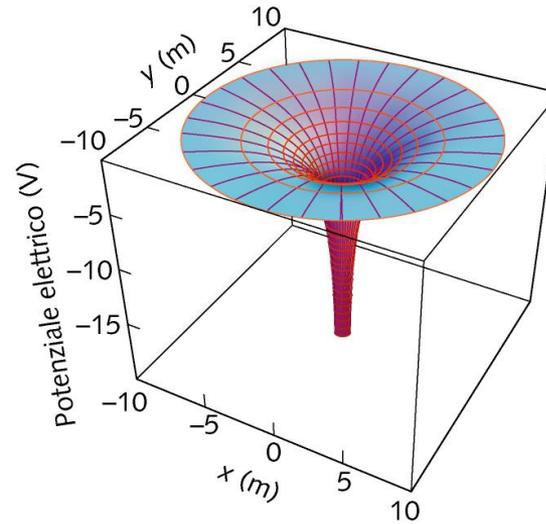
POTENZIALE ELETTRICO

Risulta utile definire una grandezza che è uguale alla variazione di energia potenziale per unità di carica, cioè al rapporto fra la variazione di energia potenziale e la carica di prova, U / q_0 . Questa grandezza, che è indipendente dalla carica di prova q_0 , è chiamata potenziale elettrico, V .

Per una coppia di cariche puntiformi l'energia potenziale è $U = kq q_0 / r$ ed il potenziale di una carica q è quindi $V = kq / r$. Si è scelto di porre U , e quindi V , uguali a zero a distanza infinita dalla carica.



A



B

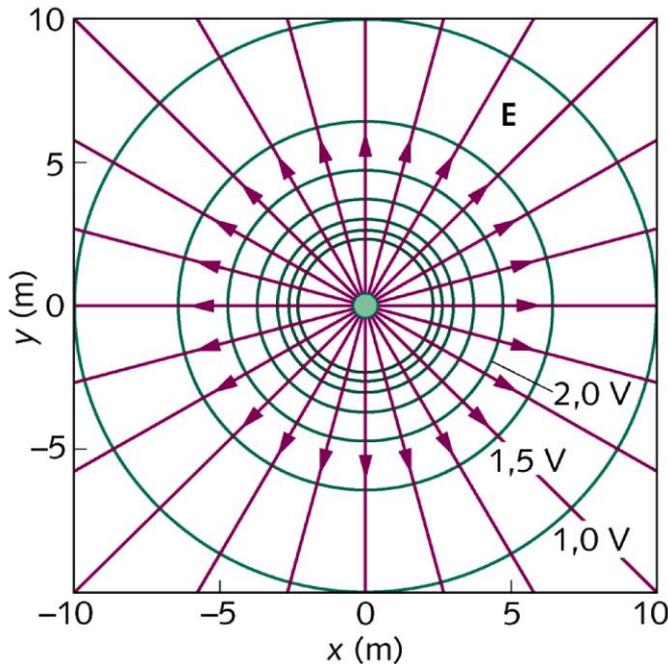
Il potenziale elettrico di una carica puntiforme.

- A. Il potenziale elettrico vicino a una carica positiva forma un «picco di potenziale».
- B. Il potenziale elettrico vicino a una carica negativa forma una «buca di potenziale».

Superfici equipotenziali

Una mappa con le curve di livello è un utile strumento per gli escursionisti. La prima cosa che notiamo quando guardiamo una tale mappa è una serie di linee chiuse, i livelli, ciascuna delle quali denota una diversa altitudine. Quando le linee sono più vicine fra loro, l'altitudine varia più rapidamente, quando invece sono più spaziate la superficie è quasi pianeggiante.

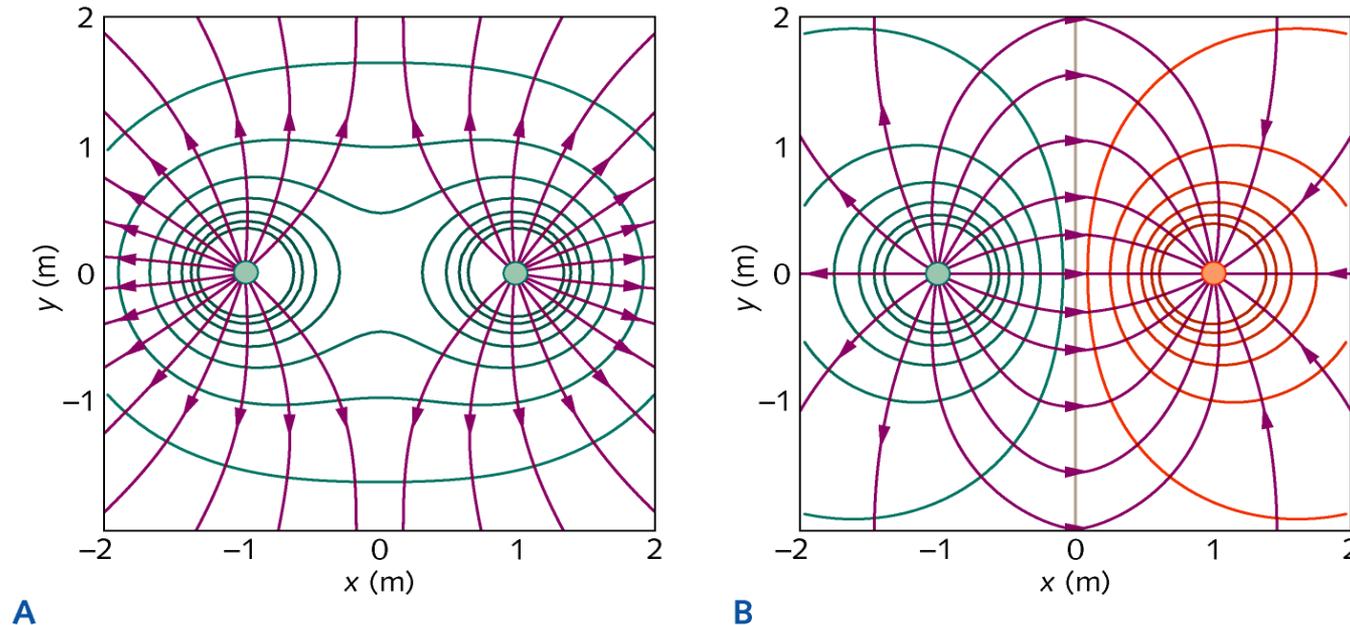
Uno strumento simile può aiutarci a visualizzare il potenziale elettrico di una o più cariche elettriche. Consideriamo, per esempio, una singola carica positiva posta nell'origine. Abbiamo appena visto una rappresentazione tridimensionale del grafico del potenziale («picco di potenziale»). Lo stesso potenziale è ora mostrato sotto forma di mappa di livelli. In questo caso, le linee di livello, piuttosto che rappresentare altitudini, indicano il valore del potenziale.



Poiché il valore del potenziale in ogni punto di una data linea è uguale a quello di qualsiasi altro punto sulla stessa curva, diciamo che queste linee rappresentano superfici equipotenziali. La rappresentazione grafica delle superfici equipotenziali fornisce anche importanti informazioni sull'intensità e la direzione del campo elettrico. Esso è più intenso nei pressi della carica, dove le superfici equipotenziali sono più vicine fra loro, rispetto a quando è più lontano dalla carica, dove le superfici equipotenziali sono più spaziate,

Il campo elettrico punta nella direzione in cui diminuisce il potenziale elettrico.

Il campo elettrico è sempre perpendicolare alle superfici equipotenziali.



Superfici equipotenziali di due cariche puntiformi.

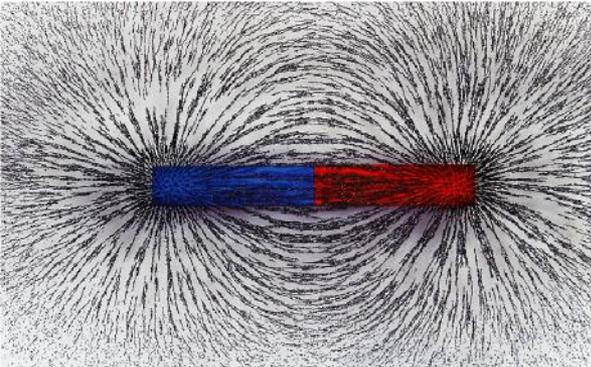
A. Nel caso di due cariche positive uguali, il campo elettrico tra esse è debole perché il campo prodotto da una carica si oppone a quello prodotto dall'altra. Di conseguenza, il potenziale elettrico è praticamente costante fra le cariche.

B. Per cariche uguali di segno opposto (dipolo), il campo elettrico è intenso fra le due cariche e il potenziale varia rapidamente.

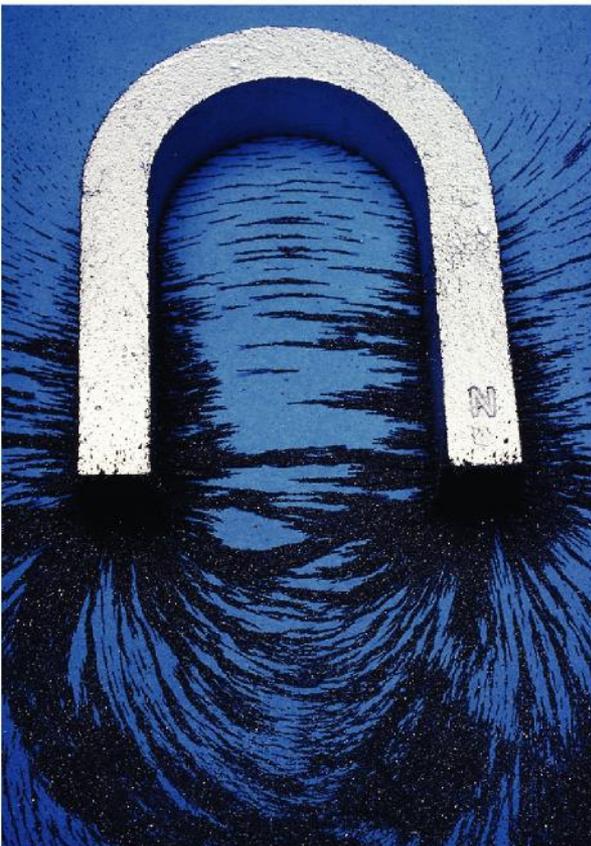
Linee del campo magnetico

Così come le cariche elettriche creano intorno a sé un campo elettrico, un magnete crea un campo magnetico. Il campo magnetico, che rappresentiamo con il simbolo B , può essere visualizzato utilizzando una sottile limatura di ferro spolverizzata su una superficie liscia. Se una sottile lastra di vetro o di plastica è posta sopra una barra magnetica, quando mettiamo la limatura di ferro sul vetro, questa si allinea al campo magnetico, dando una buona rappresentazione del campo prodotto dal magnete. Vediamo effetti simili se un magnete è piegato in modo da avvicinare i due poli (“magnete a ferro di cavallo”).

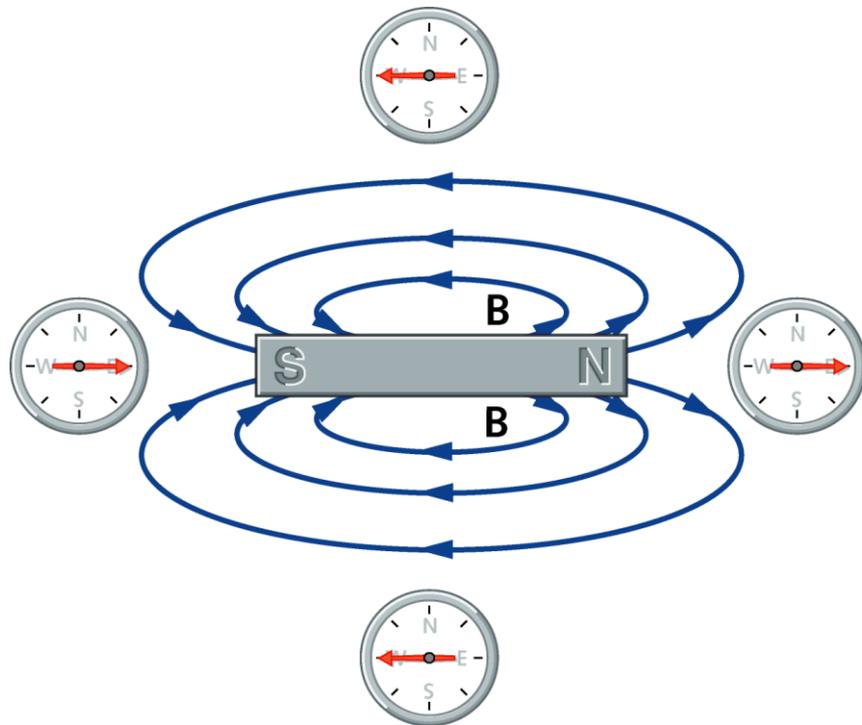
In entrambi i casi osserviamo che la limatura si accumula vicino ai poli dei magneti, dove il campo magnetico è più intenso.



A



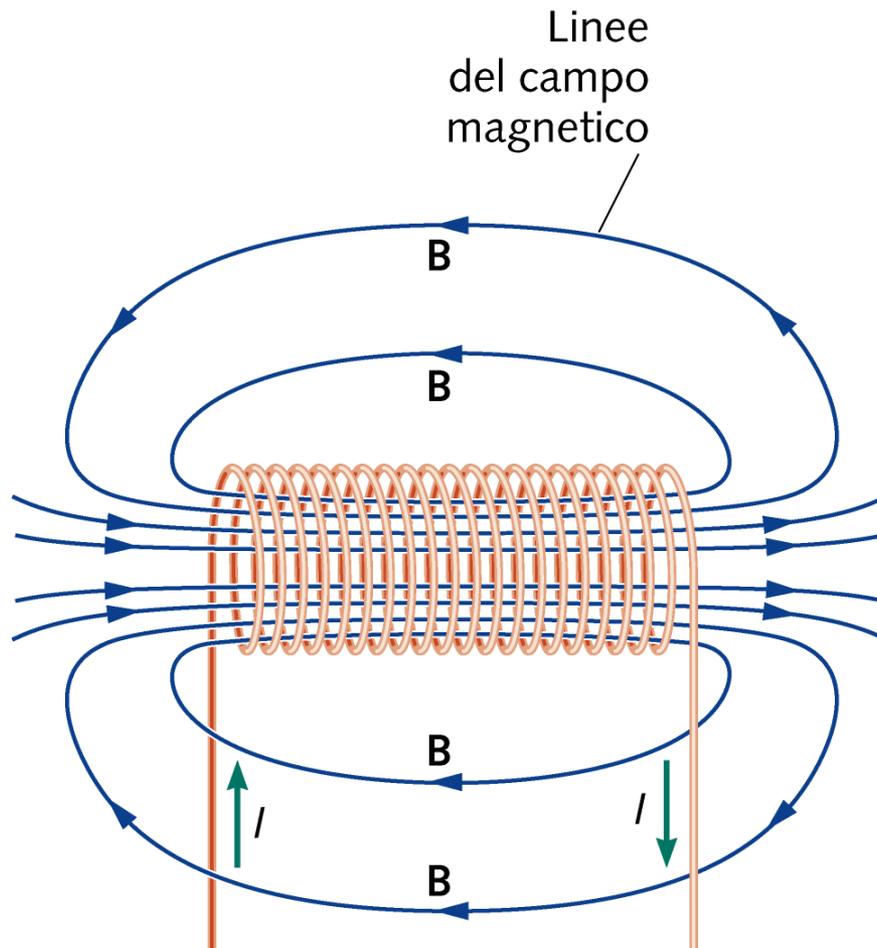
B



Linee del campo magnetico di una barra magnetica.

Le linee del campo sono più dense vicino ai poli, dove il campo magnetico B è più intenso. Inoltre sono sempre anelli che escono dal polo nord ed entrano nel polo sud.

C'è una sostanziale differenza tra campi elettrici e campi magnetici: i campi elettrici hanno come sorgenti le cariche e le linee del campo elettrico escono dalle cariche positive e entrano in quelle negative. **Non esistono invece cariche magnetiche. Le sorgenti del campo magnetico sono dipoli magnetici o correnti: tutte le linee del campo magnetico si chiudono su se stesse.**



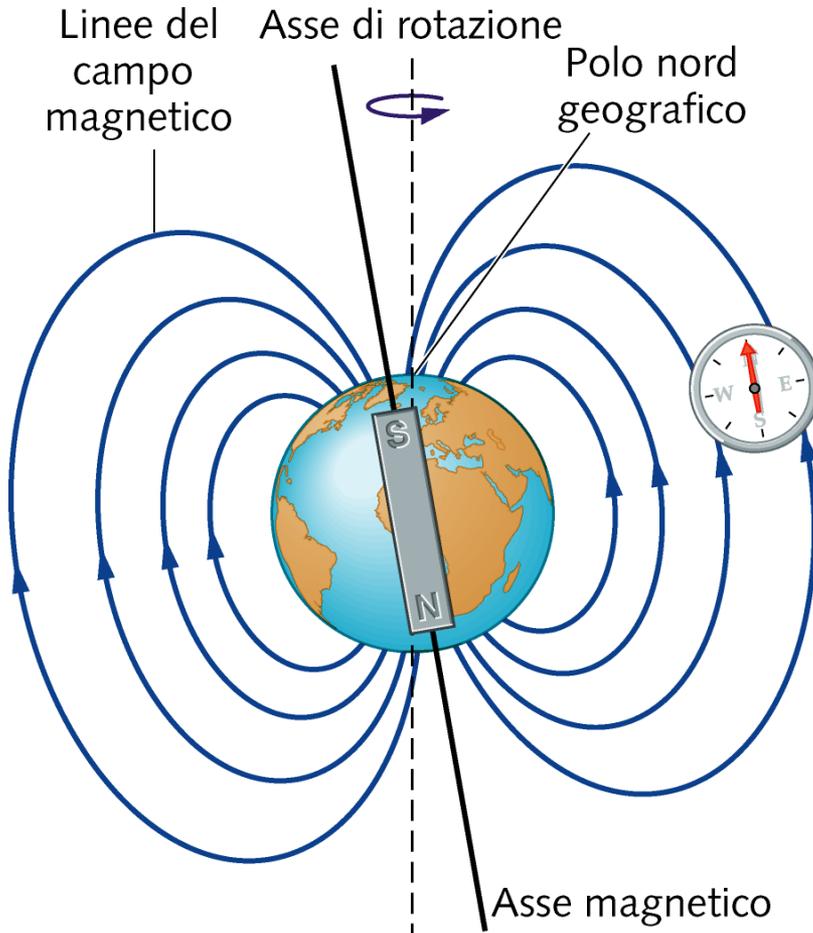
SOLENOIDE: filo avvolto in una successione di spire. Il campo magnetico all'interno del solenoide è intenso, quasi uniforme e quasi parallelo all'asse. All'esterno è debole.

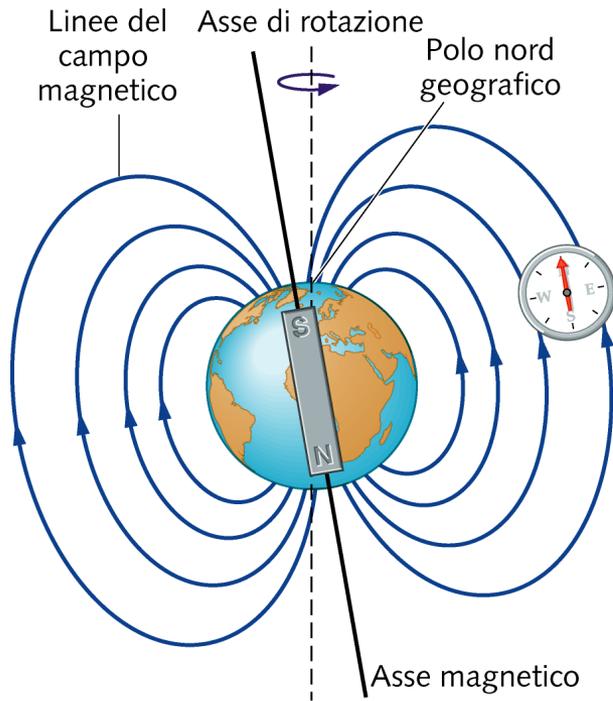
GEOMAGNETISMO

La Terra, come molti altri pianeti, produce un proprio campo magnetico. Per molti aspetti, il campo magnetico della Terra è simile a quello di una gigantesca barra magnetica, come è illustrato in figura, con un polo vicino a ciascun polo geografico della Terra. I poli magnetici non sono perfettamente allineati con l'asse di rotazione terrestre, ma sono inclinati di un angolo che varia lentamente con il tempo. Attualmente, i poli magnetici deviano rispetto all'asse di rotazione di un angolo di circa $11,5^\circ$. La posizione corrente del nord magnetico è nell'estremo nord del Canada.

Dato che il polo nord dell'ago di una bussola punta verso il polo nord magnetico della Terra e poiché gli opposti si attraggono, abbiamo che:

Il polo nord geografico della Terra è in realtà vicino al polo sud del campo magnetico della Terra.





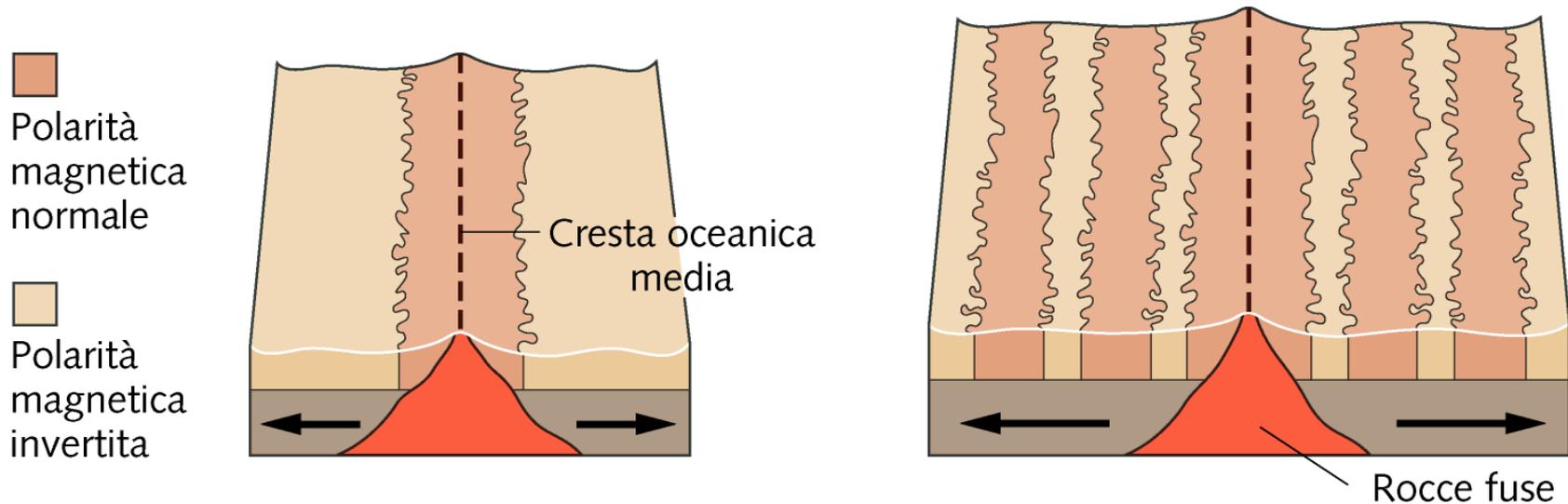
Le linee del campo sono praticamente orizzontali vicino all'equatore, mentre vicino ai poli entrano ed escono verticalmente dalla Terra. Perciò, se fossimo esattamente al polo nord magnetico, la nostra bussola punterebbe dritta verso il basso.

Sebbene sia per molti aspetti simile al campo generato da una enorme barra magnetica, il campo magnetico della Terra è molto più complesso sia nella forma sia nel comportamento, e anche il fenomeno che lo produce non è ancora del tutto chiaro. Un'ipotesi al riguardo è la «teoria della dinamo terrestre», secondo la quale la causa principale del campo magnetico terrestre è il flusso di correnti di materia fusi all'interno del nucleo della Terra. Il magnetismo nella materia è un fenomeno quantistico: riprenderemo questo discorso.

Uno dei motivi di questa perdurante incertezza sull'origine del campo magnetico della Terra è che il suo comportamento nel tempo è piuttosto complicato. I poli ruotano leggermente nel tempo; anzi sappiamo che il campo terrestre ha in realtà ribaltato il suo verso molte volte e l'ultimo ribaltamento è avvenuto circa 780 000 anni fa.

Da 980 000 a 780 000 anni fa la nostra bussola avrebbe puntato nel verso opposto a quello di oggi.

Questi antichi ribaltamenti di campo hanno lasciato una traccia permanente nelle rocce sul fondo del mare. Analizzando gli effetti di tali ribaltamenti, i geologi hanno trovato un forte supporto alla teoria della deriva dei continenti e della tettonica a placche, e hanno sviluppato una nuova branca della geologia chiamata paleomagnetismo.



Quando la roccia fusa fuoriesce dalle dorsali oceaniche, non è magnetizzata a causa della sua alta temperatura, ma quando si raffredda, si magnetizza nella direzione del campo magnetico terrestre. In effetti, il campo magnetico terrestre viene «congelato» nella roccia solidificata. A mano a mano che il fondo del mare si allarga e dell'altro materiale lungo la dorsale si solidifica, vengono «registrate» le variazioni del campo magnetico della Terra. In particolare, se in un dato momento il campo della Terra cambia verso, il campo delle rocce solidificate registra questo fatto. **Su questo effetto "globale" è basato un importante metodo di datazione.**