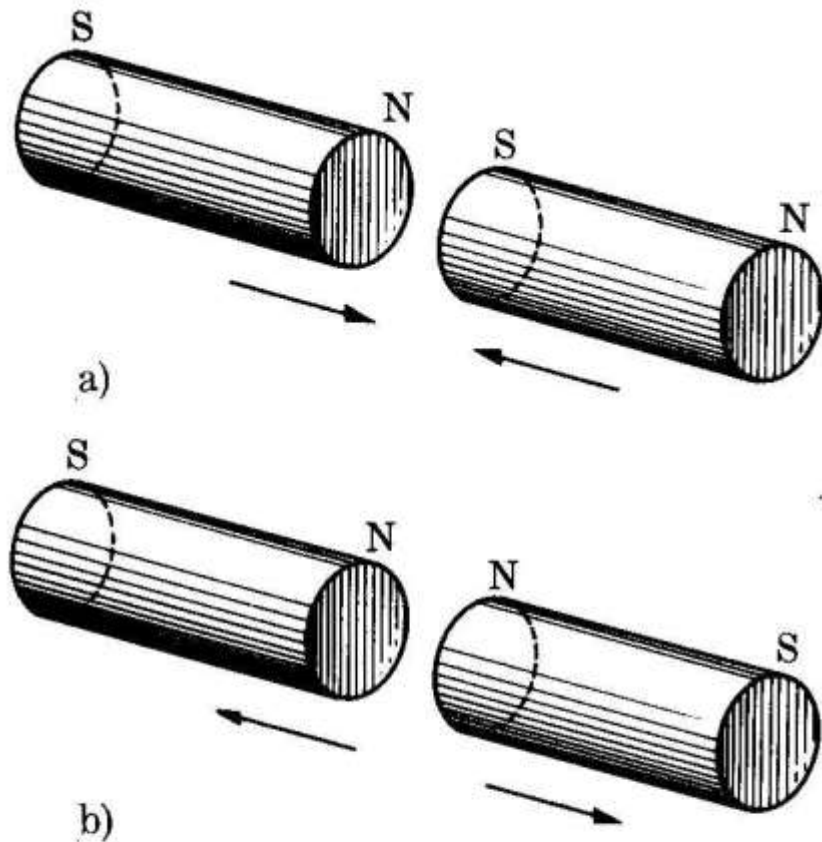


# **INTERAZIONE MAGNETICA**

- **Evidenza dell'interazione magnetica;**
- **Le sorgenti delle azioni magnetiche;**
- **Forze tra poli magnetici, il campo magnetico;**
- **Forza magnetica su una carica in moto;**
- **Particella carica in moto in un campo magnetico uniforme;**
- **Forza magnetica su una carica in moto;**
- **Particella carica in moto in un campo magnetico uniforme;**
- **Principio di sovrapposizione degli effetti per  $\mathbf{B}$**

# INTERAZIONE MAGNETICA



**Figura 22.1** Interazione tra due sbarre magnetizzate. (a) Poli opposti si attraggono. (b) Poli uguali si respingono.

Dall'analisi delle forze che si scambiano delle sbarrette di alcuni minerali di ferro (es. magnetite) (dopo aver escluso la natura gravitazionale o elettrica delle interazioni) si introduce una nuova proprietà della materia:

## IL MAGNETISMO

Nelle sbarrette il MAGNETISMO appare concentrato agli estremi, che vengono chiamati **poli magnetici**.

Dalla attrazione o repulsione dei poli si deduce l'esistenza di due tipi di poli magnetici: **NORD** e **SUD**

*L'interazione tra poli magnetici uguali è repulsiva, mentre l'interazione tra poli diversi è attrattiva.*

Si potrebbe sviluppare un discorso analogo a quello visto con la carica elettrica.

Cioè introdurre:

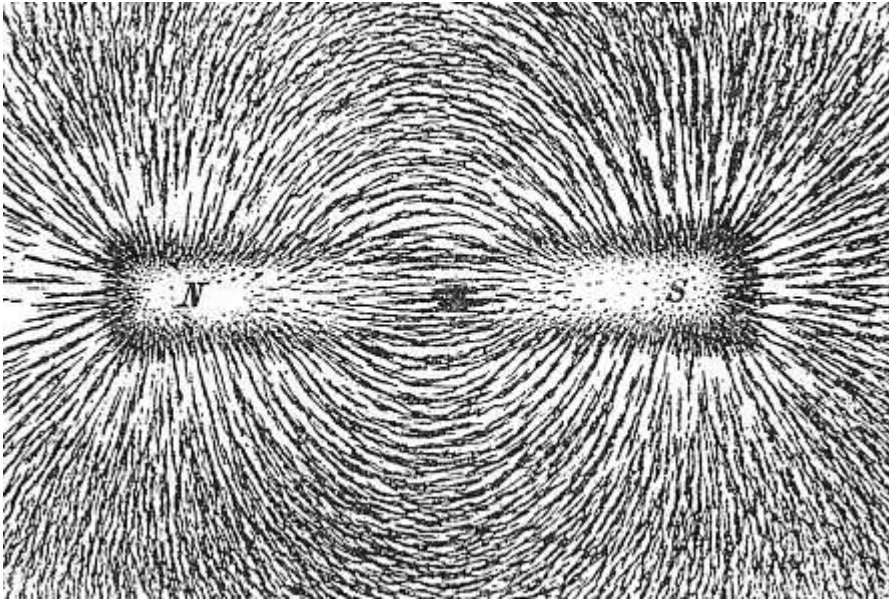
l'equivalente di una carica magnetica e

l'equivalente della Legge di Coulomb

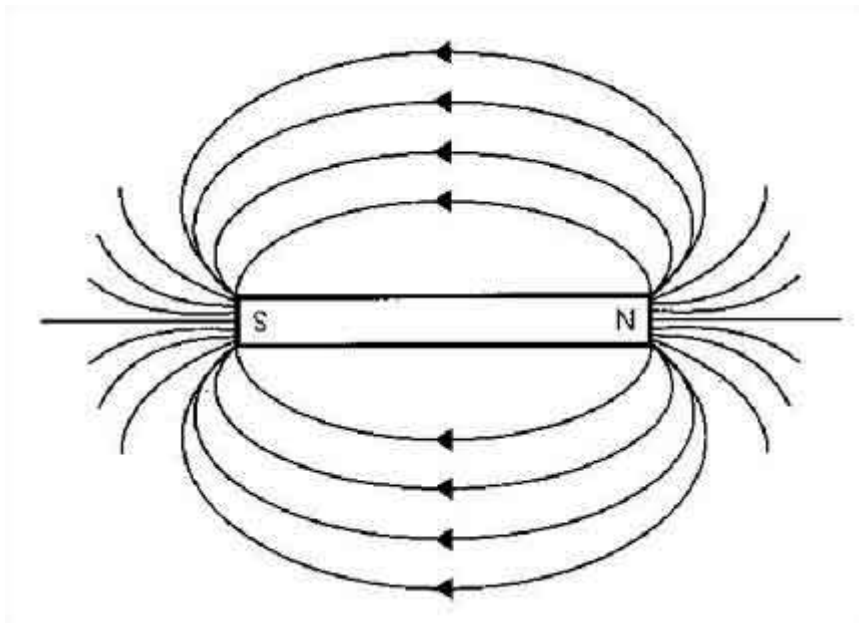
per il magnetismo

STORICAMENTE SI E' FATTO COSI'

# Barretta di magnetite in presenza di limatura di ferro

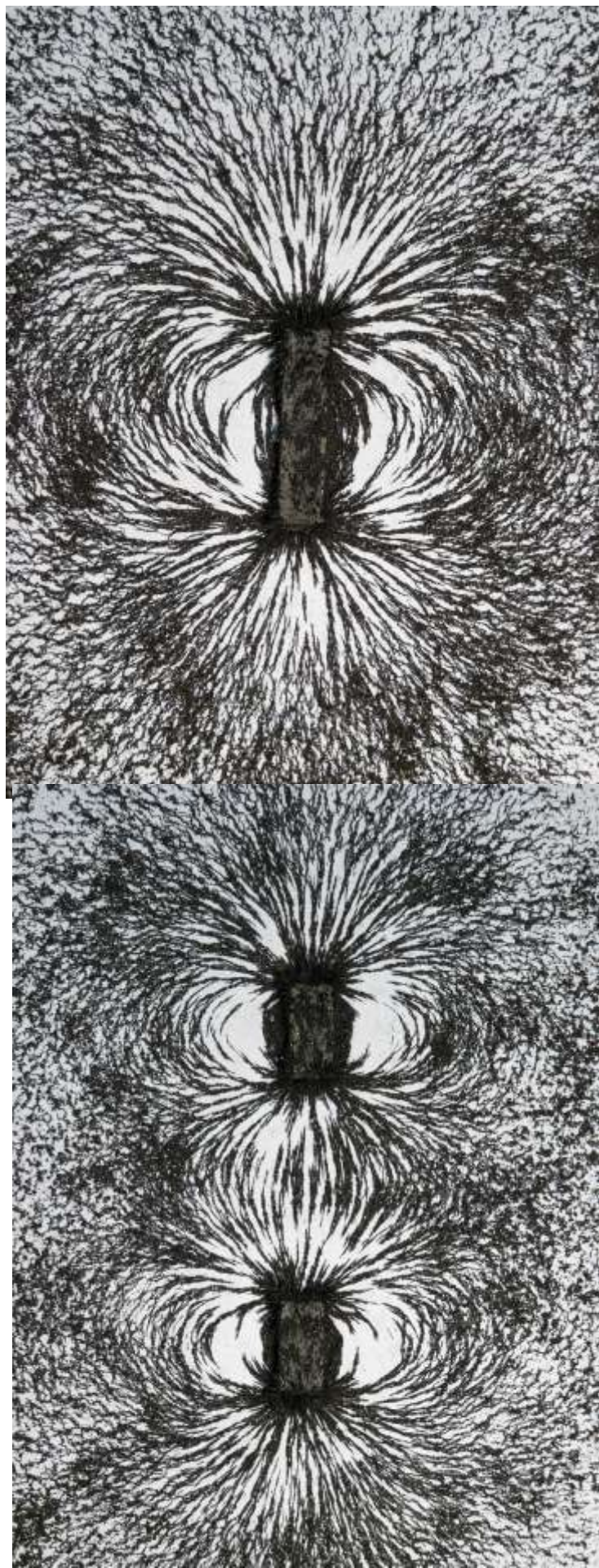


Si deduce l'esistenza di linee di campo magnetiche



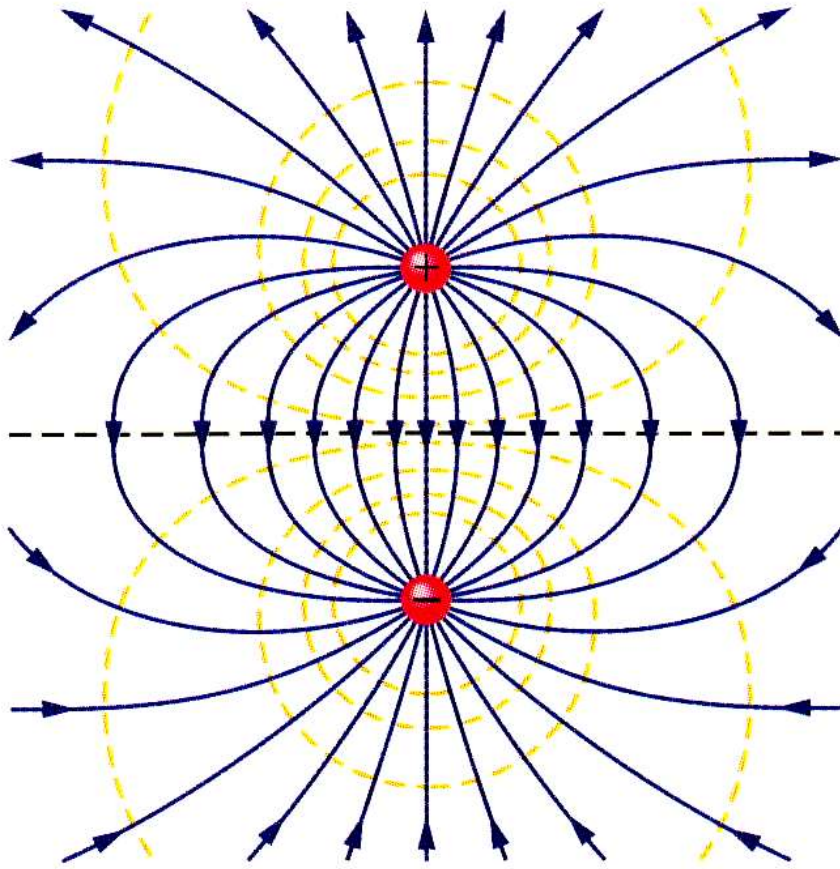
Se una sbarretta vien  
spezzata,

le due sbarrette figlie  
si comportano in modo  
analogo.





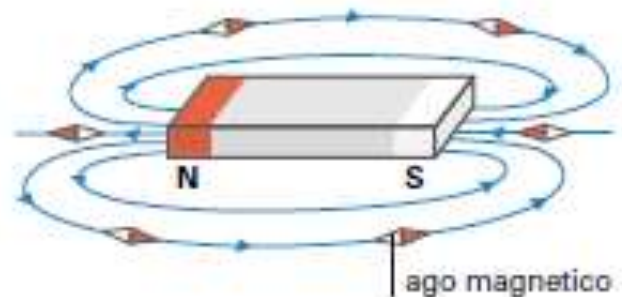
# Confrontiamo con le linee di campo di un dipolo elettrico



con le linee di campo di una barretta di magnetite



a Un magnete genera nello spazio un campo magnetico; le linee del campo possono essere visualizzate mediante la limatura di ferro.



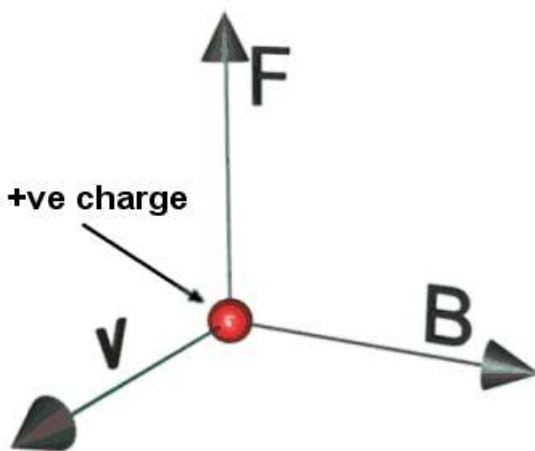
b Un ago magnetico, posto in un campo magnetico, permette di individuarne la direzione e il verso: la direzione del campo è quella dell'asse dell'ago, il verso è indicato dal polo nord dell'ago.

# FORZA MAGNETICA SU UNA CARICA IN MOTO

Sperimentalmente si osserva che:

- una carica elettrica in quiete posta in un campo magnetico non subisce alcuna forza;
- una carica elettrica che si muove con una velocità  $\mathbf{v}$  in una regione ove esiste un campo magnetico  $\mathbf{B}$  subisce una forza

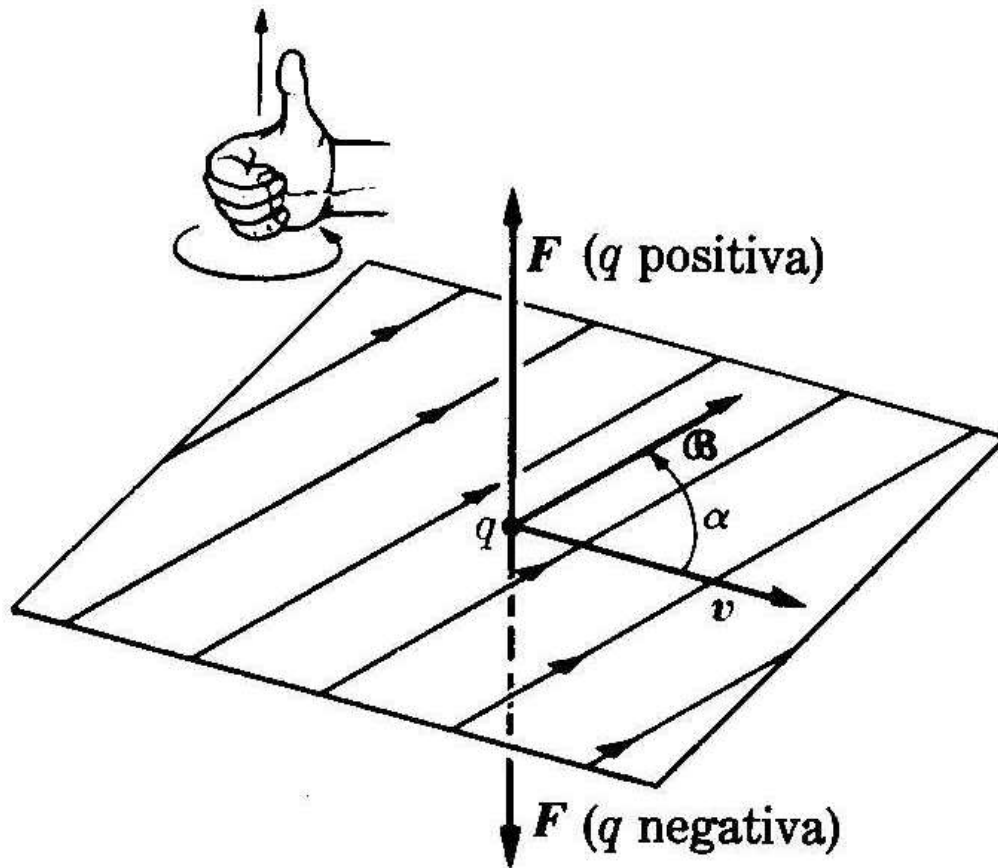
di modulo proporzionale alla carica e alla componente della velocità perpendicolare al campo magnetico, di direzione perpendicolare al piano definito dal vettore velocità della carica e dal campo magnetico, di verso dato dalla regola della mano destra.



$$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

In formula tale forza è esprimibile come:

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$



In modulo la forza vale:  $F = qvB\sin\alpha$

Tramite questa relazione è definibile l'unità di misura del campo magnetico:

$$\text{nel S.I. } [B] = \frac{Ns}{Cm} = \text{Tesla}$$



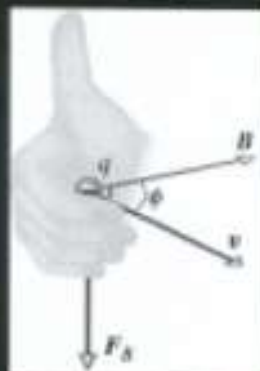
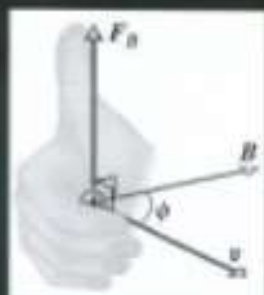
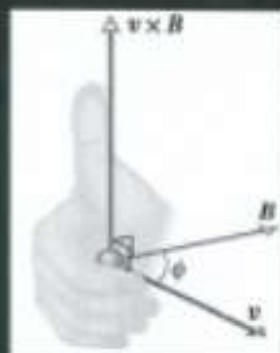
La forza dovuta al campo magnetico si determina sperimentalmente osservando l'azione del campo su diverse particelle in condizioni di moto differenti. Si trova che

$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B} \quad \text{Forza di Lorentz}$$

La relazione così trovata ci dice che il campo magnetico agisce solo su particelle dotate di carica e già in moto con velocità  $v$ .

Inoltre possiamo notare che:

- $\vec{F}_B = 0$  se  $\vec{v} \parallel \vec{B}$
- $\vec{F}_B \perp \vec{v}$  e  $\vec{B} \Rightarrow \vec{F}_B$  non compie lavoro  $\Rightarrow E$  si conserva
- la particella si muove su una traiettoria circolare in un piano  $\perp \vec{B}$



## Particella carica in moto in un campo magnetico uniforme

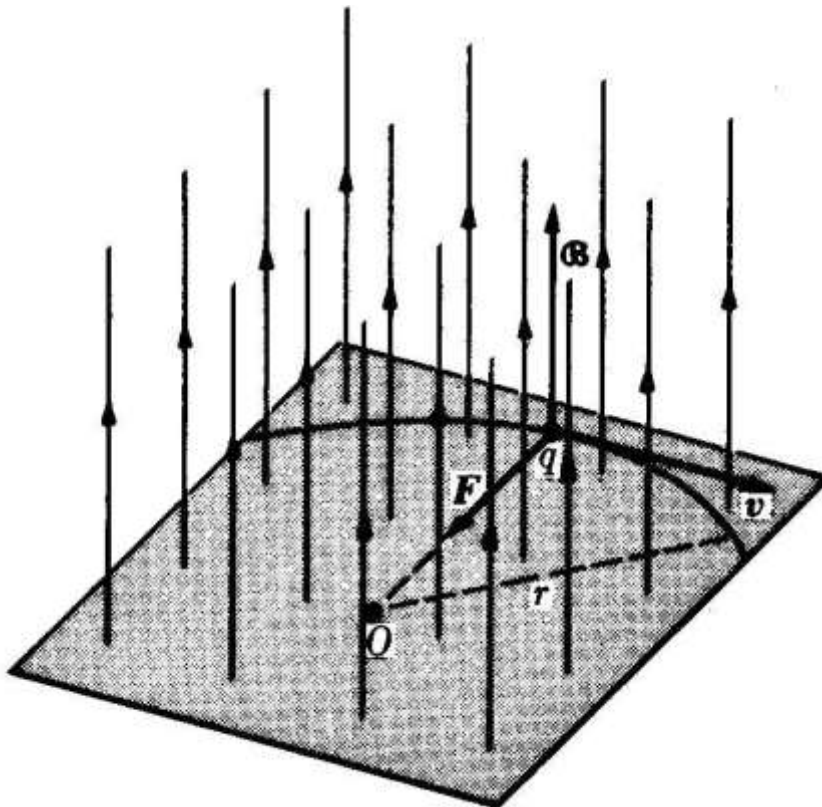
1) Consideriamo una particella di carica  $q$  in moto con vettore velocità  $\mathbf{v}$  perpendicolare al vettore campo magnetico  $\mathbf{B}$  uniforme.

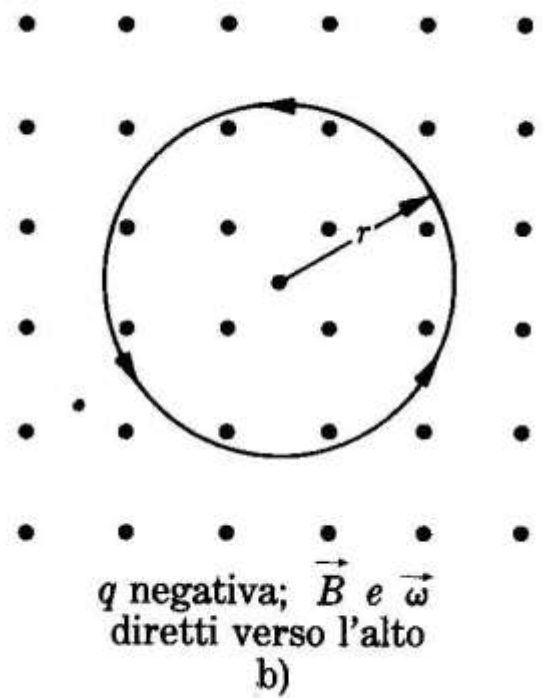
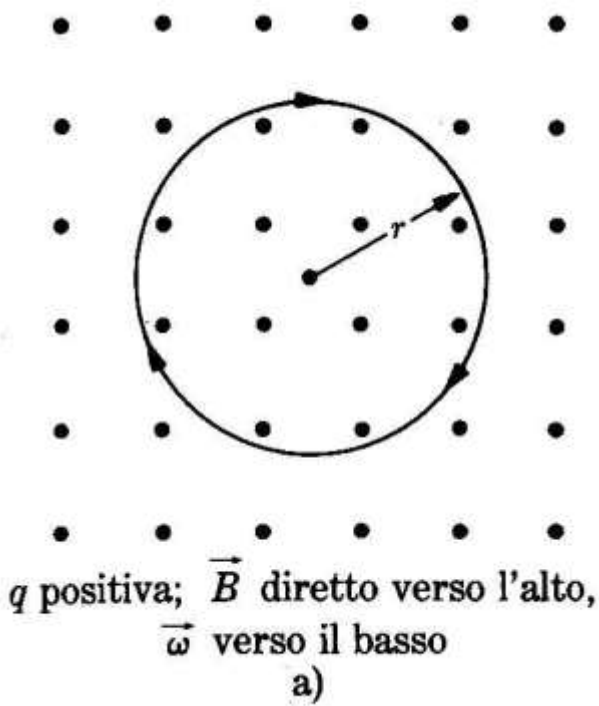
La forza  $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$  è sempre perpendicolare alla velocità.

Quindi la direzione di  $\mathbf{v}$  cambia ma il modulo rimane costante.

Infatti:  $\vec{F} \cdot \vec{v} = \text{potenza} = 0$

Il campo magnetico non compie lavoro, quindi non induce una variazione di energia cinetica, e quindi non cambia  $v^2$  (ossia il suo modulo)





Si instaura quindi un moto circolare uniforme con

$$\text{acc. centripeta} = \frac{v^2}{r} = \frac{F}{m} = \frac{qvB}{m}$$

Quindi

il raggio dell'orbita è:  $r = \frac{mv}{qB}$  ; con  $\omega = \frac{v}{r}$

La velocità angolare è  $\omega = \frac{q}{m} B$

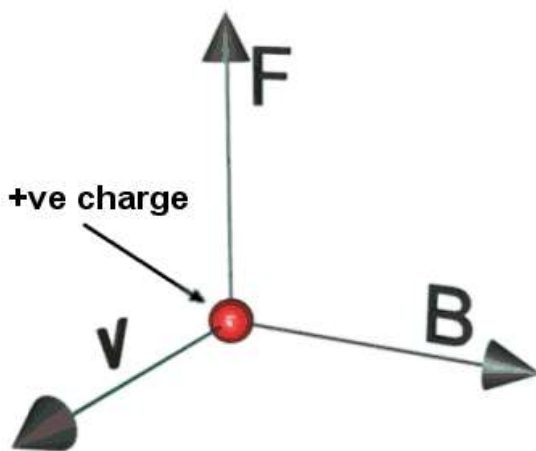
detta frequenza ciclotronica

# FORZA MAGNETICA SU UNA CARICA IN MOTO

Sperimentalmente si osserva che:

- una carica elettrica in quiete posta in un campo magnetico non subisce alcuna forza;
- una carica elettrica che si muove con una velocità  $\mathbf{v}$  in una regione ove esiste un campo magnetico  $\mathbf{B}$  subisce una forza

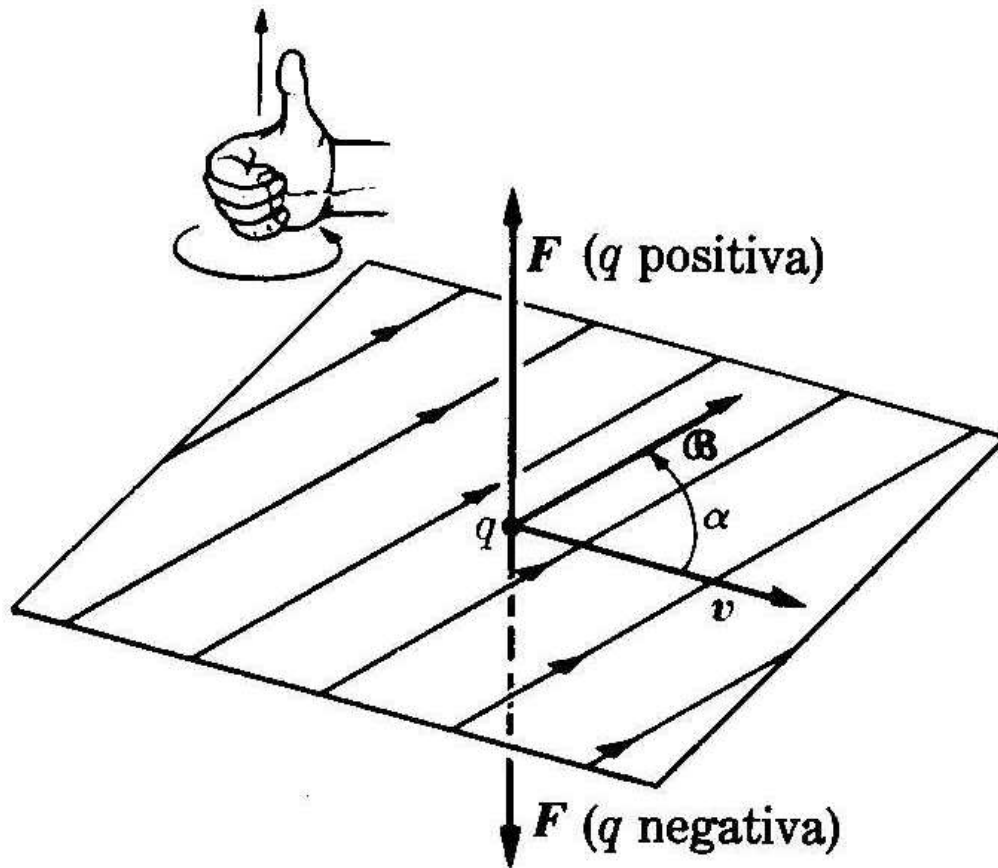
di modulo proporzionale alla carica e alla componente della velocità perpendicolare al campo magnetico, di direzione perpendicolare al piano definito dal vettore velocità della carica e dal campo magnetico, di verso dato dalla regola della mano destra.



$$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

In formula tale forza è esprimibile come:

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$



In modulo la forza vale:  $F = qvB\sin\alpha$

Tramite questa relazione è definibile l'unità di misura del campo magnetico:

$$\text{nel S.I. } [B] = \frac{Ns}{Cm} = \text{Tesla}$$



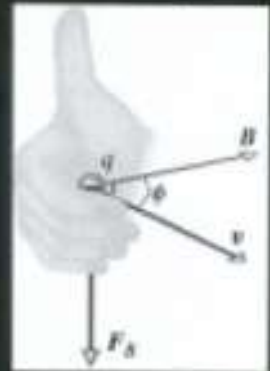
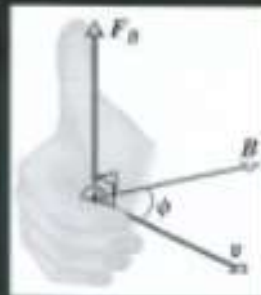
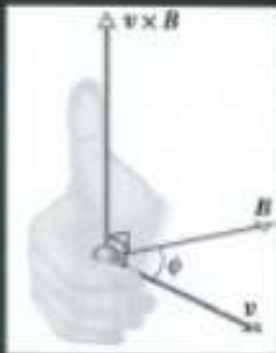
La forza dovuta al campo magnetico si determina sperimentalmente osservando l'azione del campo su diverse particelle in condizioni di moto differenti. Si trova che

$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B} \quad \text{Forza di Lorentz}$$

La relazione così trovata ci dice che il campo magnetico agisce solo su particelle dotate di carica e già in moto con velocità  $v$ .

Inoltre possiamo notare che:

- $\vec{F}_B = 0$  se  $\vec{v} \parallel \vec{B}$
- $\vec{F}_B \perp \vec{v}$  e  $\vec{B} \Rightarrow \vec{F}_B$  non compie lavoro  $\Rightarrow E$  si conserva
- la particella si muove su una traiettoria circolare in un piano  $\perp \vec{B}$



## Particella carica in moto in un campo magnetico uniforme

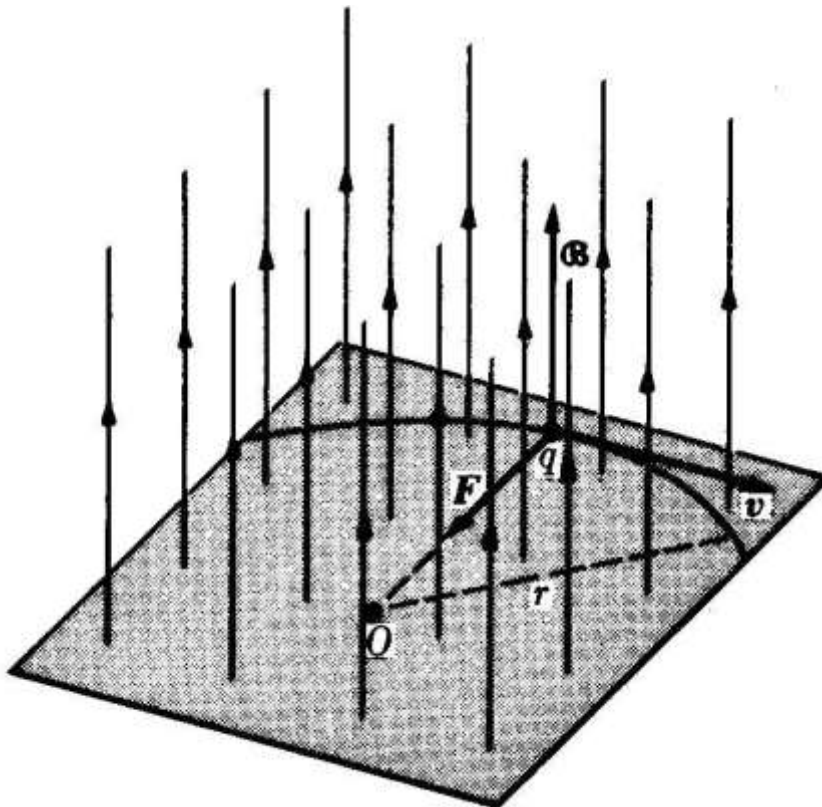
1) Consideriamo una particella di carica  $q$  in moto con vettore velocità  $\mathbf{v}$  perpendicolare al vettore campo magnetico  $\mathbf{B}$  uniforme.

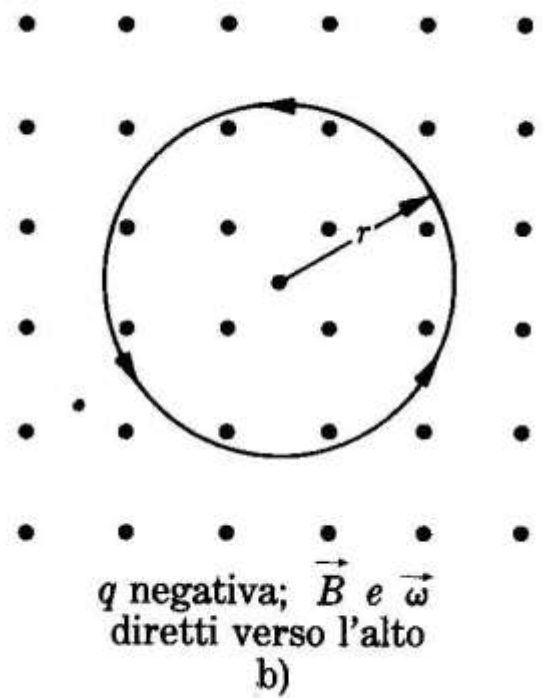
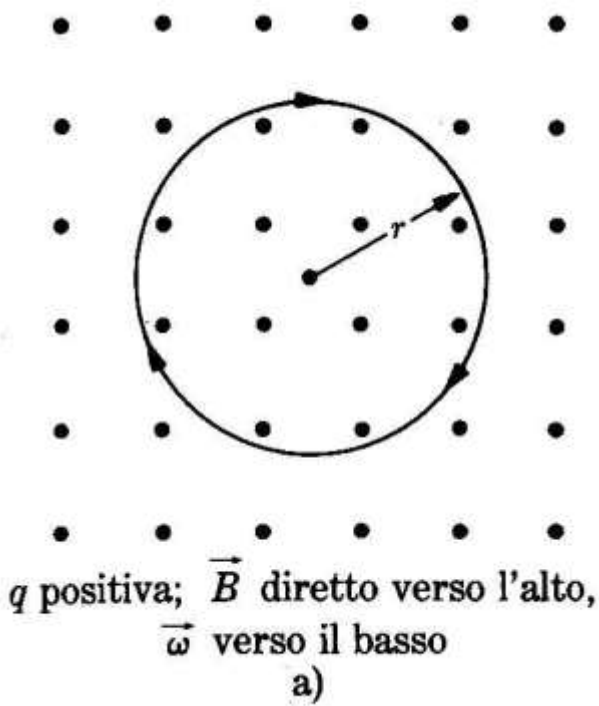
La forza  $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$  è sempre perpendicolare alla velocità.

Quindi la direzione di  $\mathbf{v}$  cambia ma il modulo rimane costante.

Infatti:  $\vec{F} \cdot \vec{v} = \text{potenza} = 0$

Il campo magnetico non compie lavoro, quindi non induce una variazione di energia cinetica, e quindi non cambia  $v^2$  (ossia il suo modulo)





Si instaura quindi un moto circolare uniforme con

$$\text{acc. centripeta} = \frac{v^2}{r} = \frac{F}{m} = \frac{qvB}{m}$$

Quindi

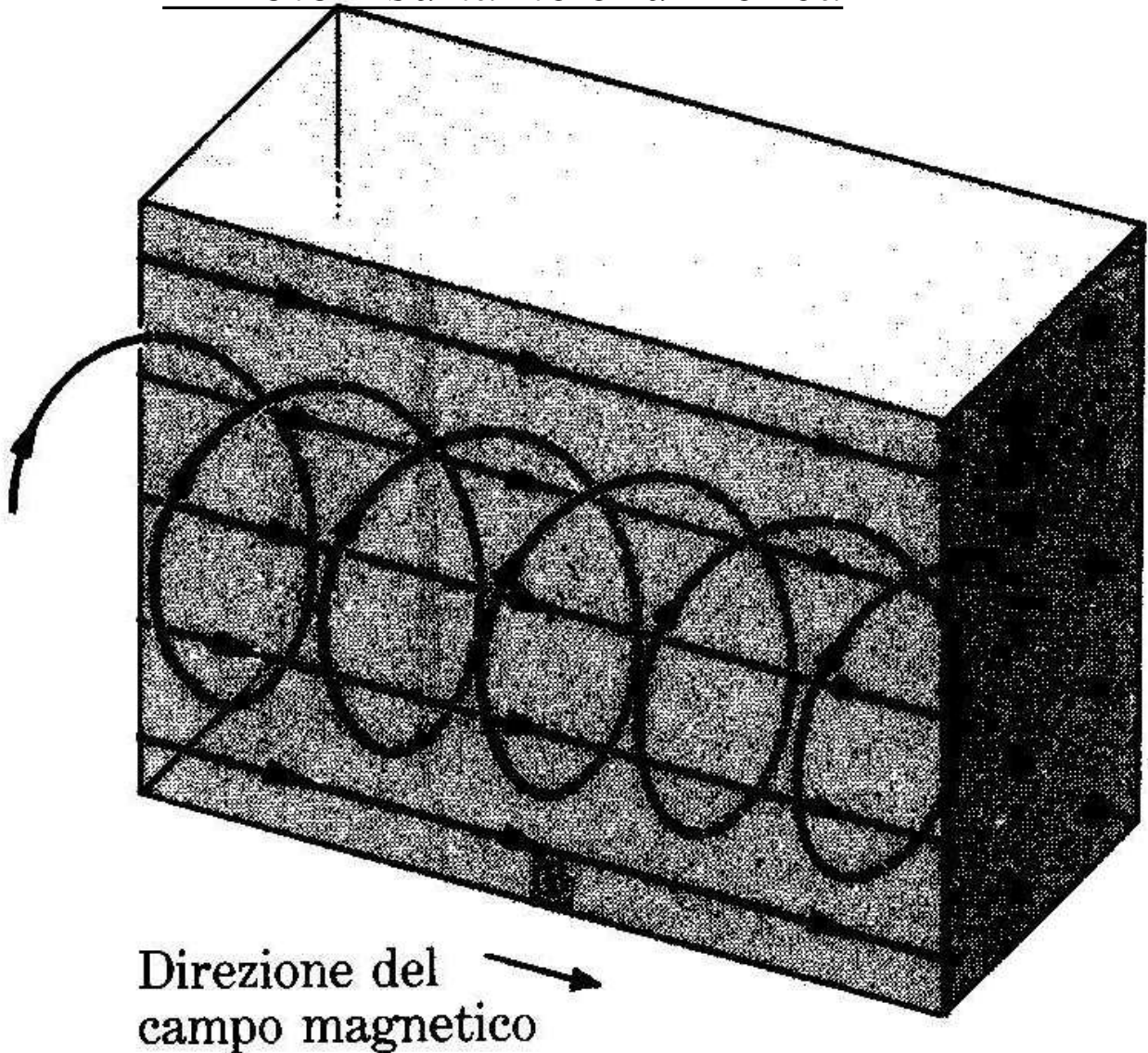
il raggio dell'orbita è:  $r = \frac{mv}{qB}$  ; con  $\omega = \frac{v}{r}$

La velocità angolare è  $\omega = \frac{q}{m} B$

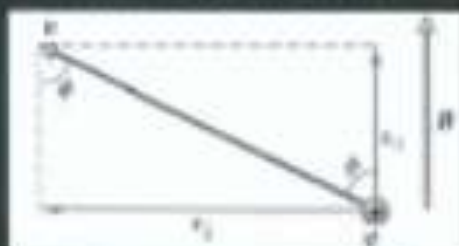
detta frequenza ciclotronica

- 2) Se la carica  $q$  entra nel campo magnetico uniforme con direzione non perpendicolare al campo, il vettore velocità può essere scomposto in
- (i) una componente parallela al campo  
(che non viene modificata)
  - (ii) una componente perpendicolare al campo  
(che cambia direzione).

Il moto risultante è un' elica

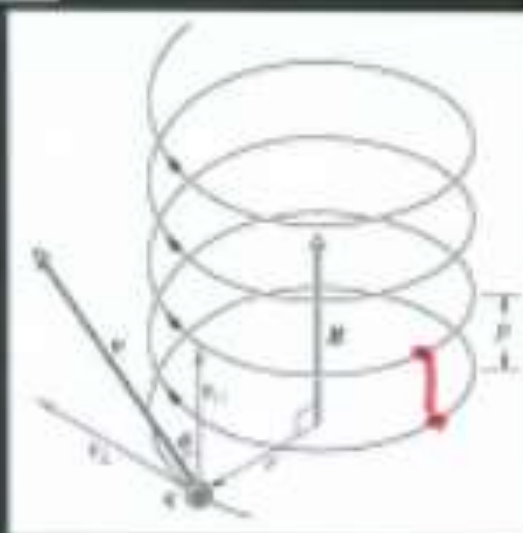


Consideriamo ora il caso in cui la particella carica abbia una componente della velocità parallela alla direzione del campo magnetico, la traiettoria risultante è un'elica.

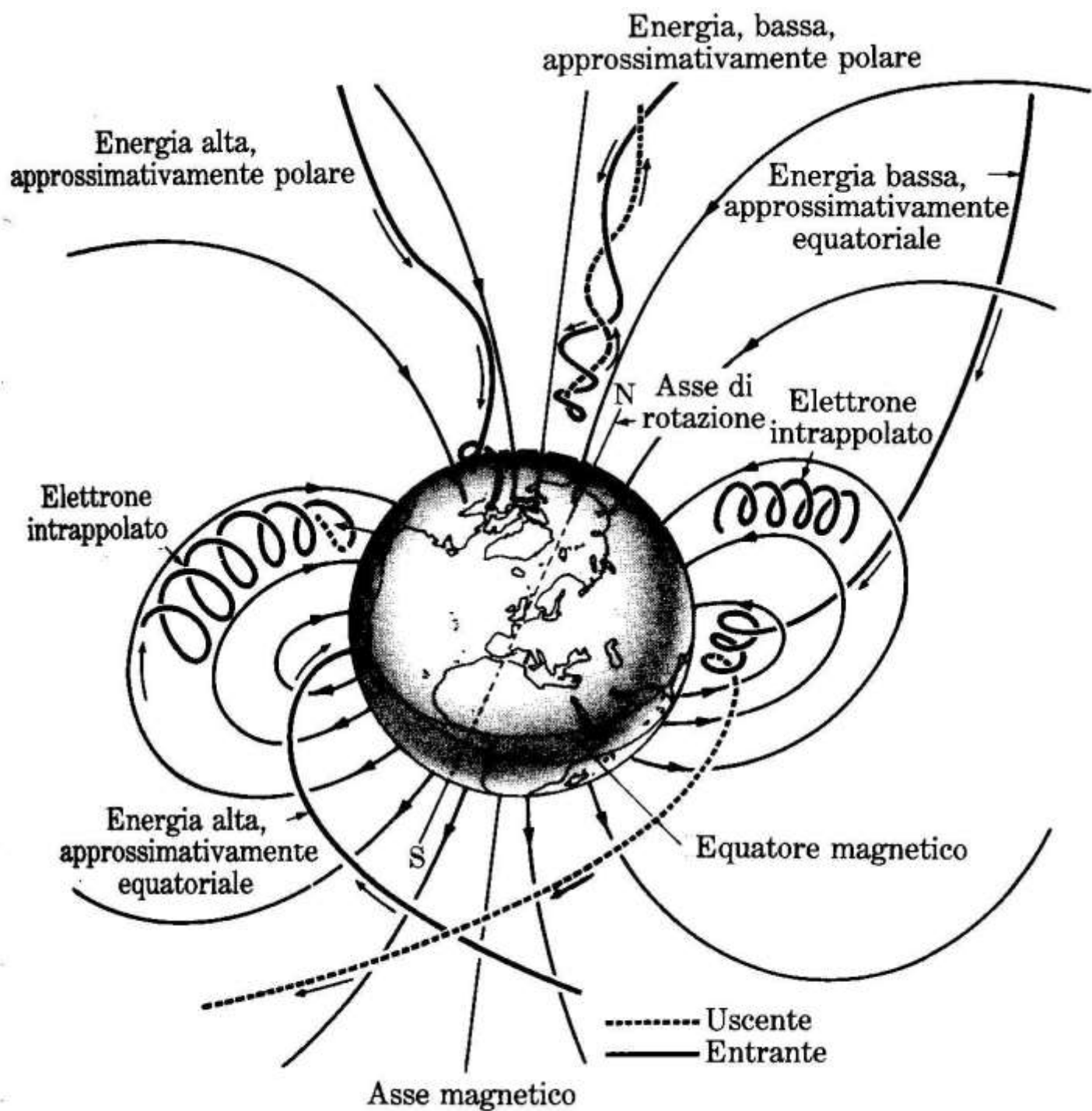


$$v_{\parallel} = v \cos \phi \text{ e } v_{\perp} = v \sin \phi$$

$v_{\parallel}$  determina il passo dell'elica,  $v_{\perp}$  il raggio







## Il principio di sovrapposizione

Per i campi magnetici, come per quelli elettrici, vale il principio di sovrapposizione. Infatti, se in un punto  $P$  dello spazio sono presenti due campi magnetici, il campo risultante è la somma vettoriale dei due campi. In particolare, il campo magnetico terrestre è sempre presente e si sovrappone ai campi creati da correnti o da magneti. L'intensità del campo magnetico terrestre [► figura 6] è dell'ordine di  $10^{-5}$  T. Esso può essere trascurato solo se i campi da studiare sono molto più intensi.

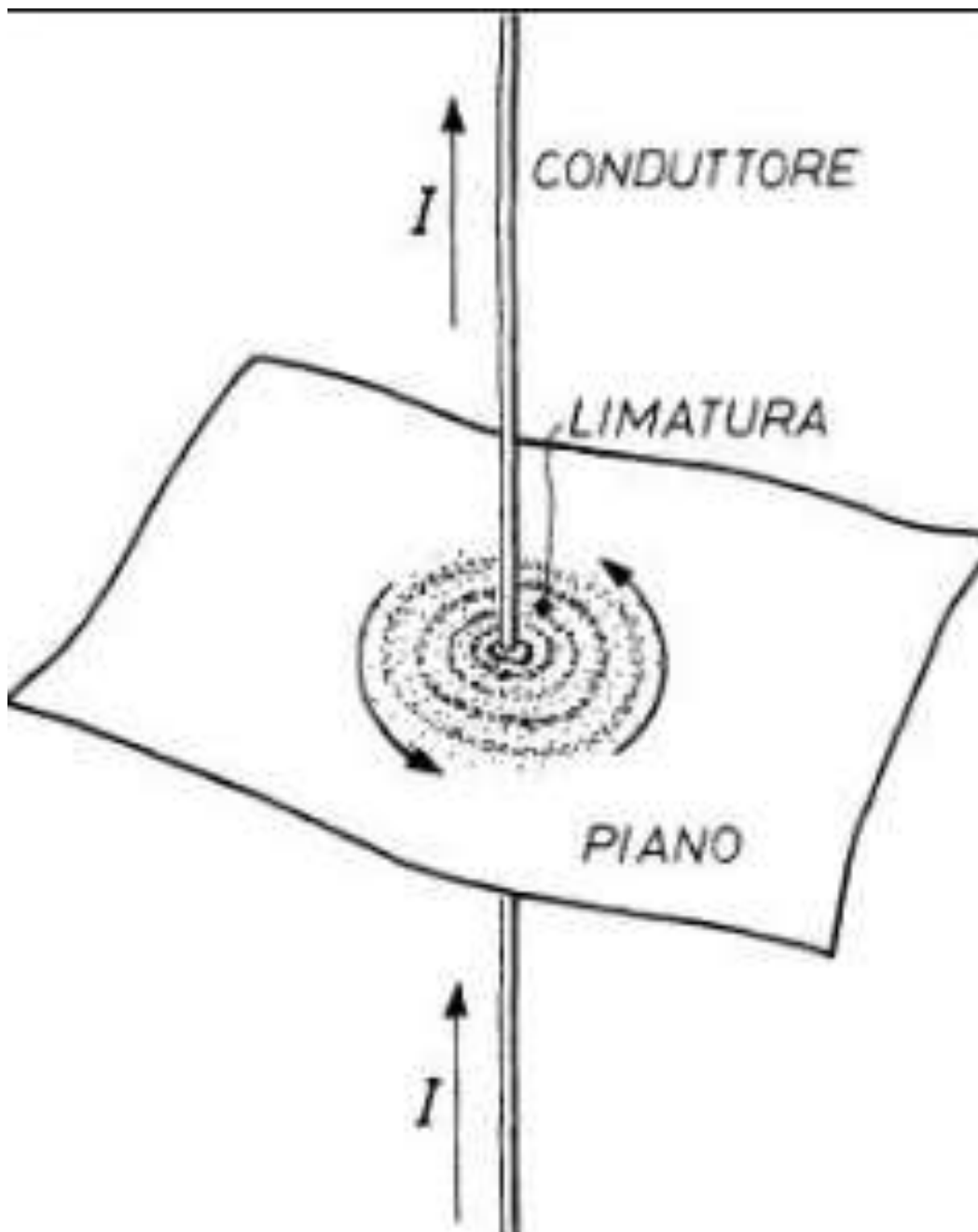
In presenza di più di una sorgente di campo  $\mathbf{B}$  si verifica sperimentalmente che, detta  $\mathbf{F}_i$  la forza di Lorentz esercitata sulla carica in moto  $q$

$$\vec{F}_i = q\vec{v} \times \vec{B}_i$$

la forza complessiva agente sulla carica in moto è la somma vettoriale delle singole forze

$$\sum_i \vec{F}_i = \sum_i q\vec{v} \times \vec{B}_i = q\vec{v} \times \sum_i \vec{B}_i = \vec{v} \times \vec{B}$$

Intorno ad un filo percorso da corrente elettrica la limatura di ferro si dispone su cerchi concentrici



Deduciamo che si è creato un campo magnetico con linee di campo rappresentate dalle circonferenze