

# Magnetismo

Geofisica

Scienze Geologiche – UNIFE

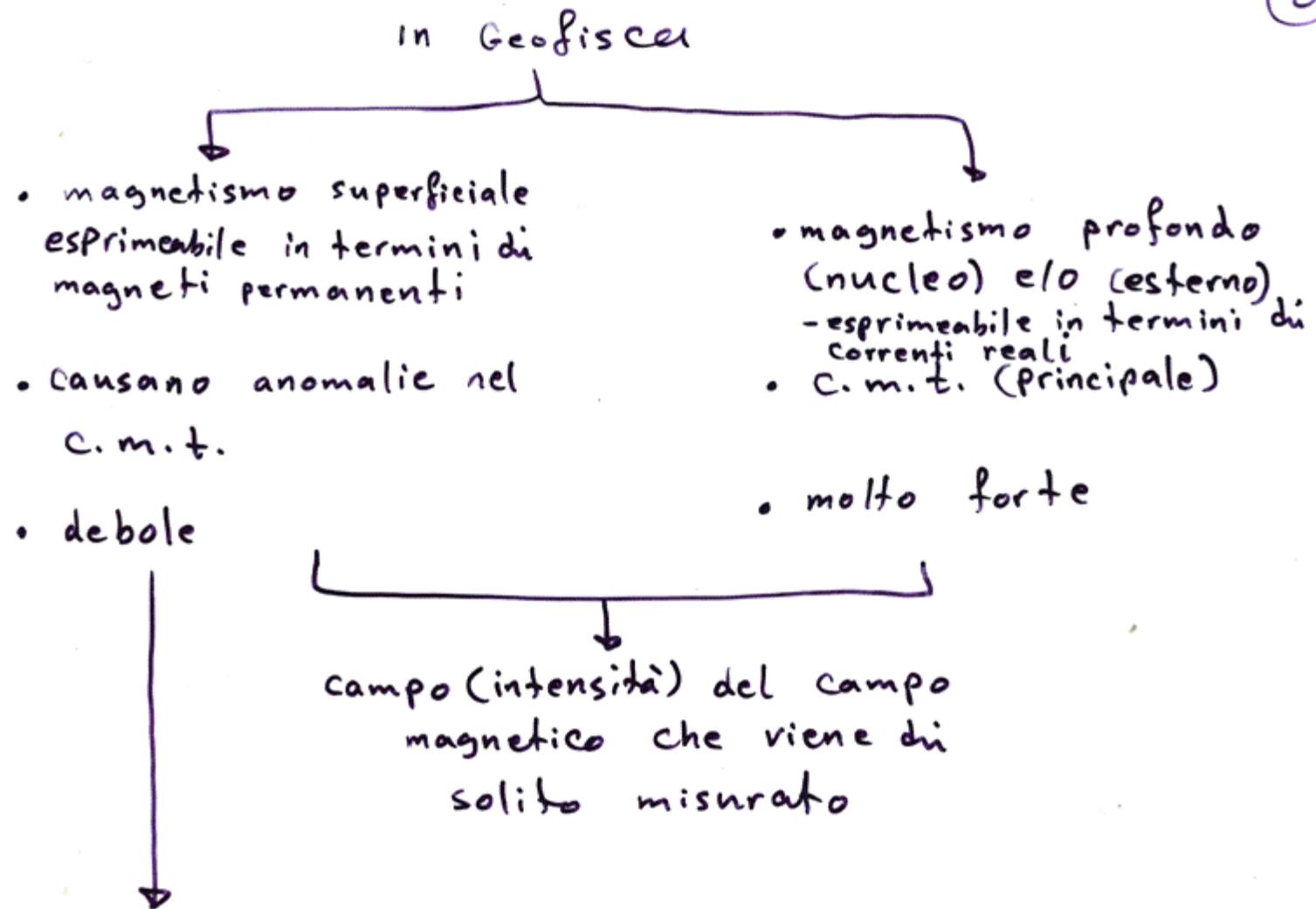
Aa 2018-2019

Concetti base

# Magnetismo: introduzione

origine ..

(2)



Rappresenta l'obiettivo delle prospezioni magnetiche

Il ruolo del c.m.t. è simile a quello della gravità normale o teorica  $g_t$

# Magnetismo: introduzione

## origine ....

C.m.t. : dipolo geomagnetico

**Ogni corpo presente nel sottosuolo è soggetto al campo magnetico terrestre, che è costituito da tre componenti:**

1. **campo principale o endogeno**: di origine interna, è abbastanza costante nel tempo;
2. **campo esterno o esogeno**: piccola componente che varia molto velocemente nel tempo, il cosiddetto “rumore”; è di origine esterna e può essere di tipo naturale (ad es. interazione tra la magnetosfera e il vento solare) oppure artificiale (ad es. disturbi dovuti a linee elettriche e telecomunicazioni), varia rapidamente nel tempo e nello spazio;
3. **variazioni del campo principale**: sono anomalie locali del campo magnetico terrestre prodotte da corpi **magnetizzati nel sottosuolo**.

**metodi magnetici**  
**Fine parte 6 (ultima)**

# Magnetismo: introduzione

Applicazioni.....in sintesi.....

...che si basano sulla variazione della **suscettività magnetica e la magnetizzazione rimanente**

Le indagini magnetometriche si usano per:

## (A) Localizzazione

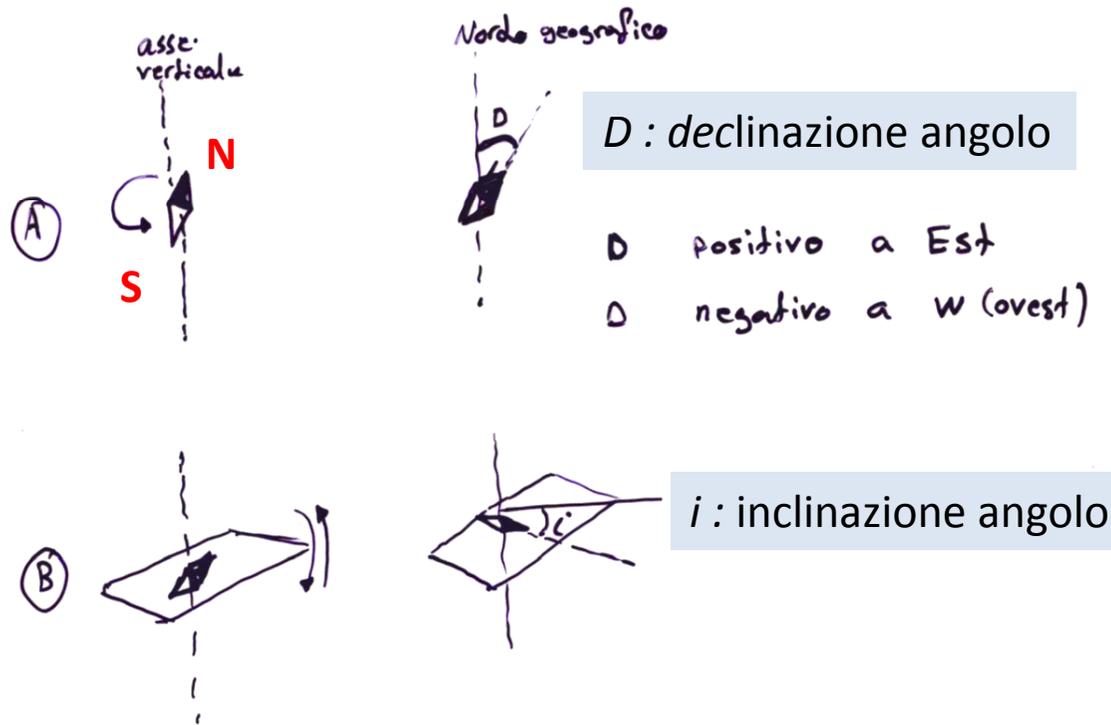
- **Tubi, cavi, oggetti magnetici**
- **Ingressi di miniere**
- **Testa pozzi persi**
- **Ordini militari in-esplosi (UOX) sia a terra sia in mare**

## (B) Rilevamento

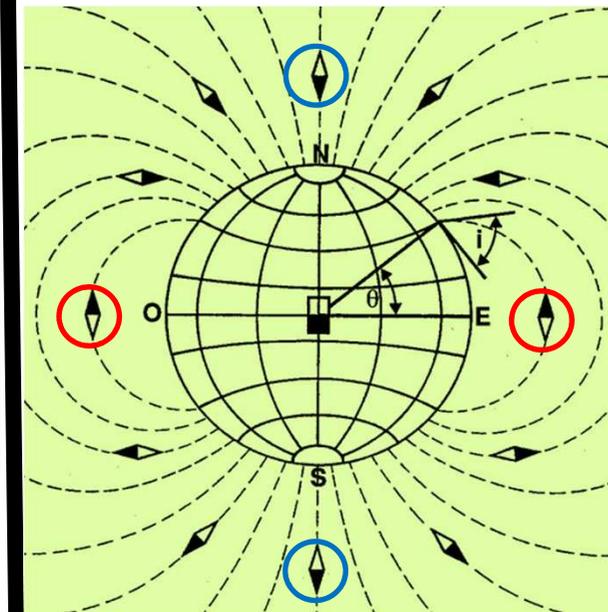
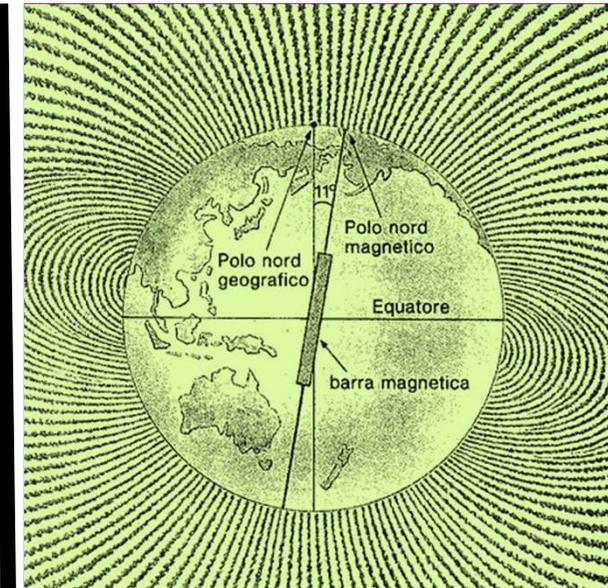
- **Struttura della terra**
- **Esplorazioni petrolifere**
- **Attività vulcaniche**
- **Geotermia**
- **Geologia, risorse minerarie**
- **Ambiente**
- **Archeologia**

# Magnetismo: il campo magnetico- dipolare

- tra 2 sostanze magnetiche "magneti" esiste una forza che determina l'attrazione o la repulsione in base all'orientamento reciproco oltre alla loro distanza
- sulla Terra esiste un altro tipo di effetto

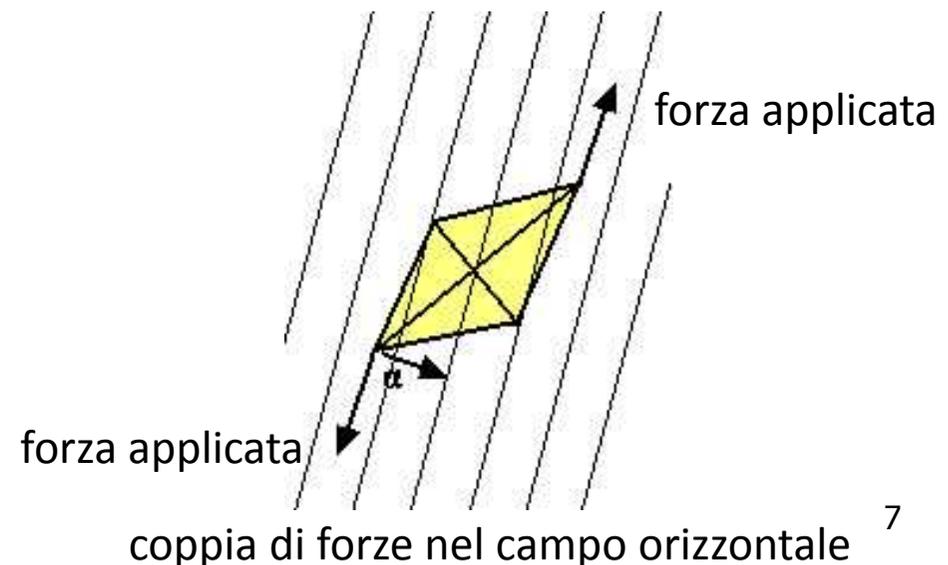
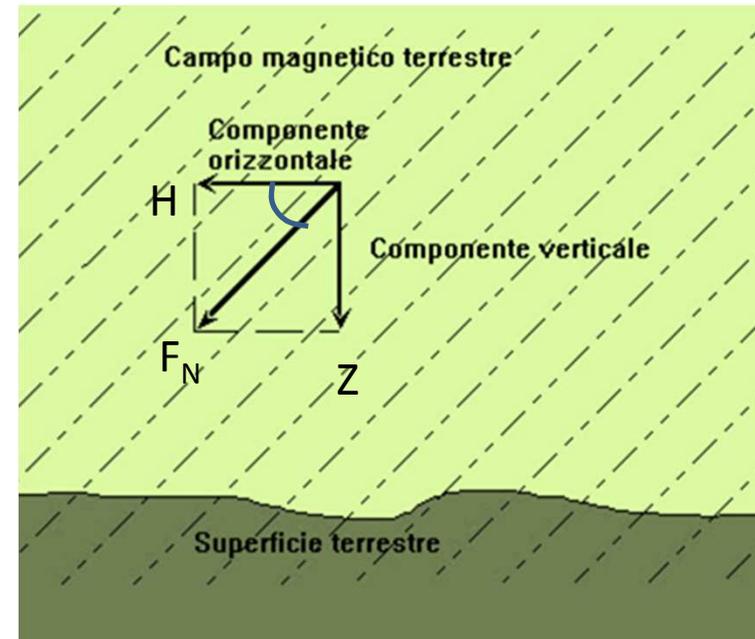


A e B=→ indicano la presenza di un campo magnetico terrestre c.m.t.



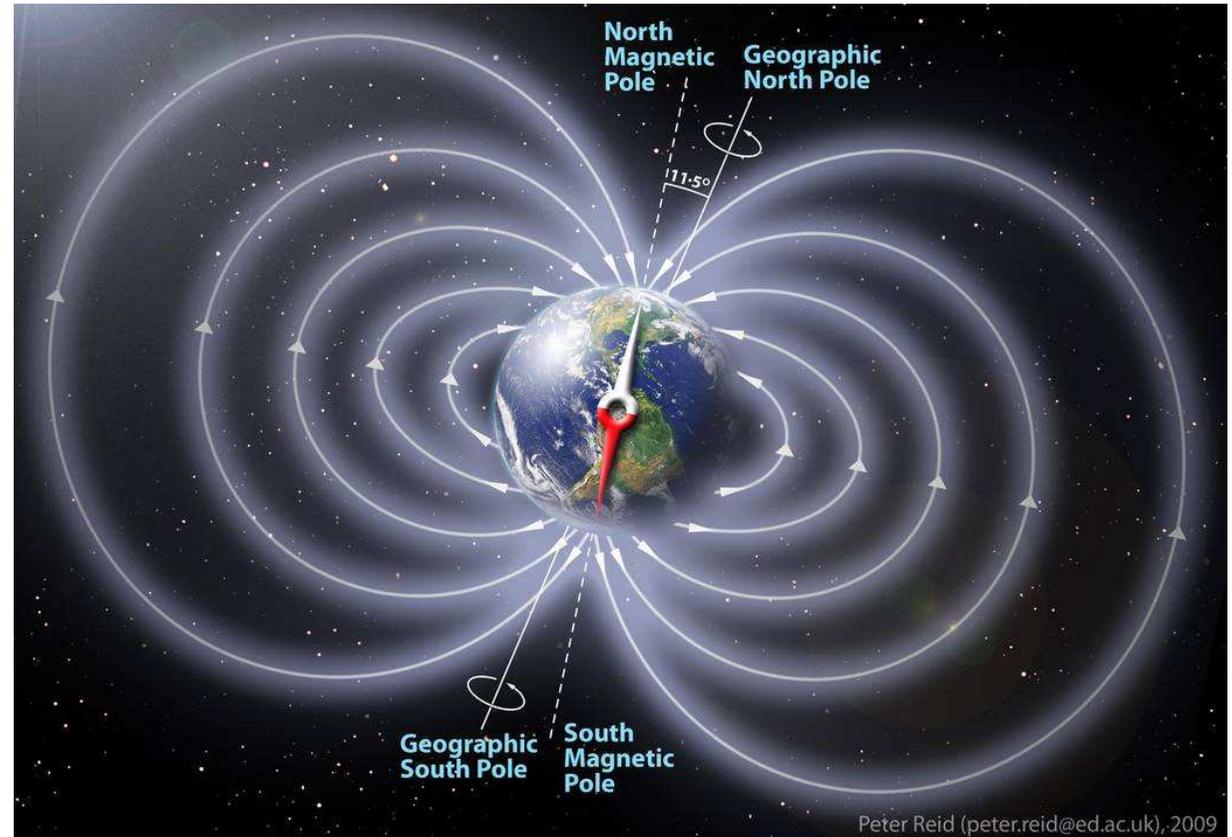
# Magnetismo: il campo magnetico è vettoriale - dipolare

- le bussole vengono costruite vincolando gli aghi magnetici in modo da permettere la loro rotazione soltanto su un piano orizzontale.
- un ago non orientato secondo le linee di flusso sarà soggetto ad **una coppia di forze proporzionale alla componente stessa ed al seno dell'angolo formato tra l'ago ed il campo magnetico**
- questa coppia di forze provocherà il movimento dell'ago



# Magnetismo: il campo magnetico dipolare

La Terra ha un campo magnetico la cui origine è dovuta alla dinamica del fluido (ferro+Ni) presente nel nucleo esterno del pianeta.



Il c.m.t. misurato sulla superficie del terreno è la somma della sovrapposizione di campi di origine **interna** (*i*) alla Terra e campi di origine **esterna** (*e*), come quelli dovuti alle correnti elettriche che circolano nella ionosfera e nella magnetosfera.

# Magnetismo: il campo magnetico è vettoriale - dipolare

## Considerazioni:

- (1) I magneti sono dei dipoli,
- (2) il c.m.t è conservativo come nel caso del potenziale gravimetrico,
- (3) le linee di forza sono vettoriali,
- (4) per cui due masse magnetiche cariche possono attrarsi oppure respingersi in presenza di c.m.

## Magnetismo: il campo magnetico - definizioni

$\vec{F}$  Forza magnetica

$\vec{B}$  Induzione magnetica

$\vec{H}$  Campo magnetico terrestre

$\vec{M}$  Momento magnetico

$\vec{I}$  Intensità di magnetizzazione

$k$  Suscettività magnetica (o  $\chi$ )

# Magnetismo: riassunto Unità



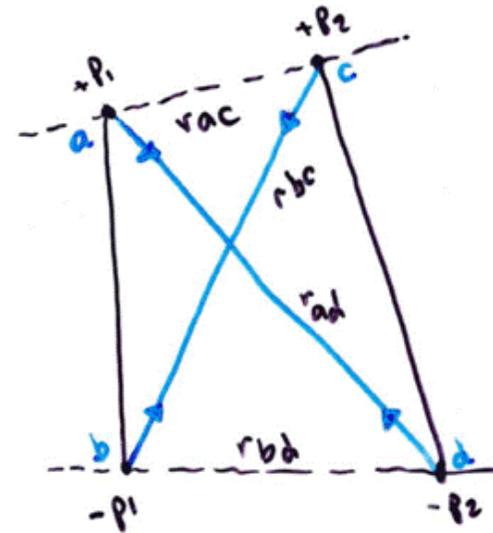
| Descrizione parametro                                   | Simbolo      | Unità SI                                         | Unità c.g.s.                          | cgs/MKS                 |
|---------------------------------------------------------|--------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| Polo magnetico                                          | $\rho$       | A m                                              | $(\text{dina})^{1/2} \cdot \text{cm}$ |                         |
| Permeabilità magnetica                                  | $\mu$        | H/m                                              | adimensionale                         | $1/4\pi \times 10^{-7}$ |
| Permeabilità magn. relativa                             | $\mu_r$      | adimensionale                                    | Adimensionale                         |                         |
| Intensità campo indotto                                 | $B$          | <b><math>\text{Wb/m}^2 = \text{Tesla}</math></b> | Gauss/gamma                           | $10^4$                  |
| Intensità campo Magnetico                               | $H$          | A/m                                              | Oersted                               | $4\pi \times 10^3$      |
| Intensità di magnetizzazione                            | $J$ o $I$    | A/m                                              | Oe                                    | $4\pi \times 10^3$      |
| Momento Magnetico                                       | $M$          | $\text{A} \cdot \text{m}^2$                      | $\text{Oe} \cdot \text{cm}^3$         | $10^3$                  |
| Suscettività Magnetica                                  | $K$ o $\chi$ | adimensionale                                    |                                       |                         |
| Nota: Gauss= $(\text{dina})^{1/2} \cdot \text{cm}^{-1}$ |              |                                                  |                                       |                         |
| Nota: 1 Gamma= $10^{-5}$ Oe                             |              |                                                  |                                       |                         |
| <b>1 Gamma=1 nT (nano Tesal)</b>                        |              |                                                  |                                       |                         |
| Nota: 1 Tesla= $10^4$ Oe                                |              |                                                  |                                       |                         |

# Magnetismo: il campo magnetico - forze

## I poli magnetici

— Charles Coulomb (1736-1806)

ha descritto la relazione esistente tra i magneti in termini della forza esercitata su dei punti  $\Rightarrow$  POLI MAGNETICI  $(-P_1, +P_1, -P_2, +P_2)$



In gravimetria: massa per ciascuno dei corpi presenti nel sottosuolo

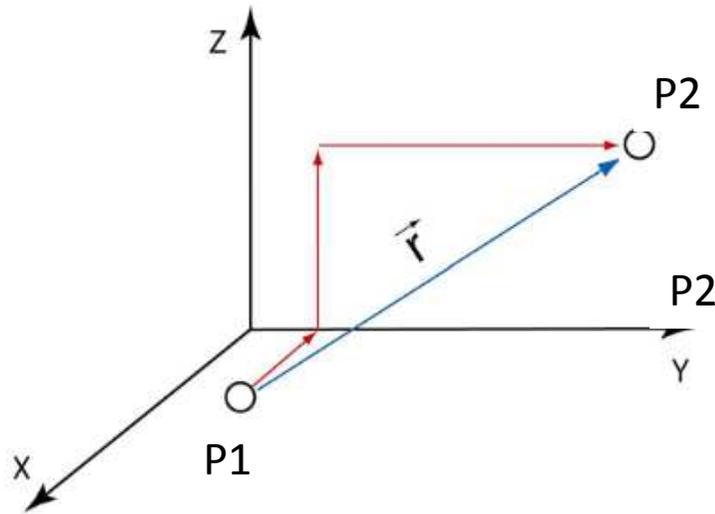
+P: quello che cerca il Nord geografico

-P: quello che cerca il Sud



bussola

# Magnetismo: il campo magnetico – legge di Coulomb



$$F = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{P_1 \cdot P_2}{r^2}$$

$$|r| = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

$\mu_0$ : permeabilità magnetica del vuoto. Il suo valore nel sistema di unità **SI** è:  $4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$  e **1** nel sistema di unità in **cgs**  
Spesso si esprime in  $\mu$  quindi  $\mu = \mu_r \times \mu_0$ .

$P_{1,2}$ : masse poli unitari (o intensità)

$\mu$ : è una grandezza fisica che esprime l'attitudine del materiale a magnetizzarsi in presenza di un campo magnetico.

- È la permeabilità magnetica del mezzo interposto tra i due poli

Unità: H/m (o N/A<sup>2</sup>)

# Magnetismo: il campo magnetico – forza totale

- un magnete è circondato di un campo di forza → Campo magnetico

- assunzione:

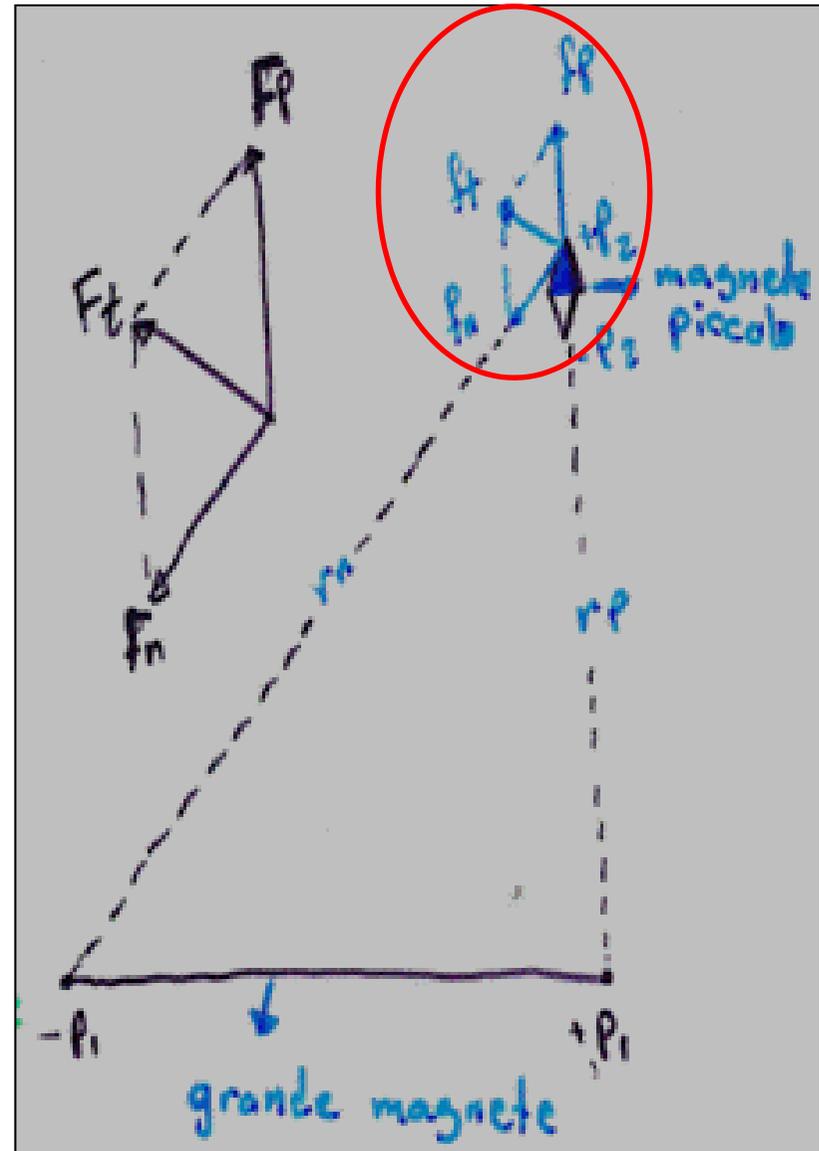
- $\mu=1$  (c.g.s)

-il magnete «grande» esercita una **forza di respingimento** su  $+p_2$  e di **attrazione** su  $-p_1$  del magnete «piccolo»...

$$f_n \text{ (attrazione)} = \left(\frac{p_1}{r^2}\right) p_2$$

$$f_p \text{ (respingimento)} = \left(\frac{p_1}{r^2}\right) p_2$$

$$f_{\text{totale}} = f_p + f_n$$



Introducendo il concetto dell'intensità del campo magnetico...

# Magnetismo: il campo magnetico – intensità totale

Introducendo il concetto dell'intensità del campo magnetico...

- l'intensità dovuta al polo negativo ( $-P_1$ )

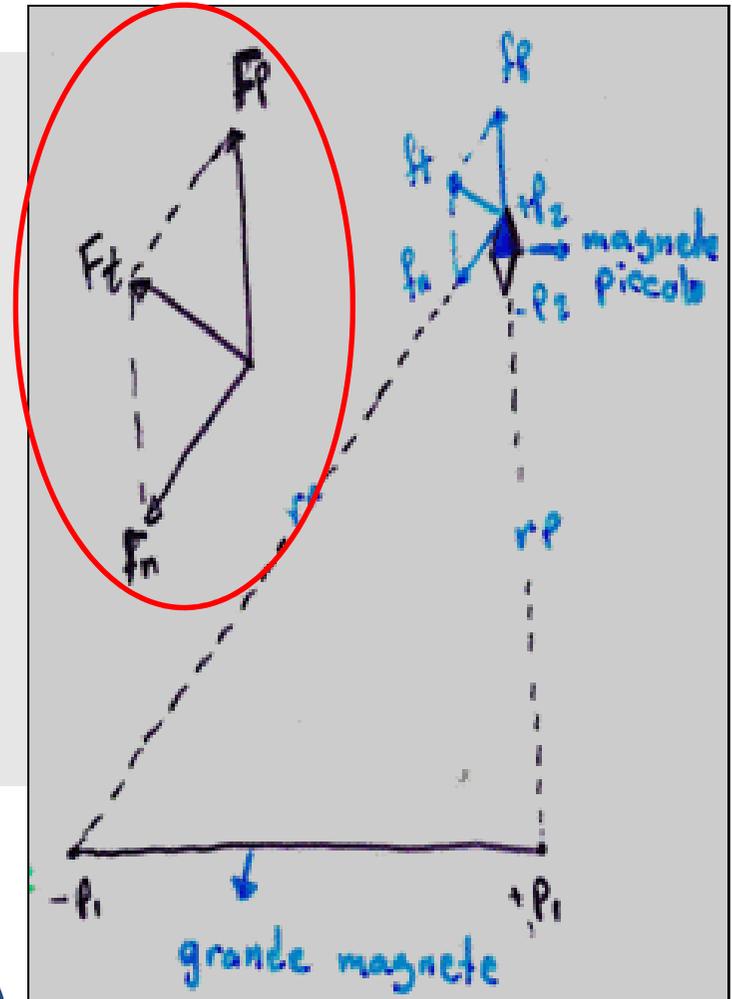
$$F_n = \frac{P_1}{r_n^2}$$

- l'intensità dovuta al polo positivo ( $+P_1$ )

$$F_p = \frac{P_1}{r_p^2}$$

- la forza totale esercitata sul  $p_2$  è data da

$$f_t = F_T P_2$$



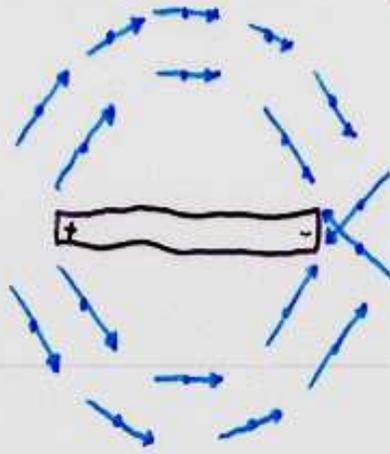
Il campo magnetico del magnete grande:

(1) Forza totale ( $f_t$ )      (2) intensità totale ( $F_T$ )

Se il magnete piccolo si sposta ( $f_t$ ) e ( $F_T$ ) si modificano di conseguenza

# Magnetismo: il campo magnetico – forza ed intensità

$\vec{L}$  in direzione di  $f_t$   
 $L = F_T$



Unità intensità  $F_T$ :

$$F_T = \frac{f_t}{p_2} = \frac{\text{forza}}{\text{polo unitario}} = 1 \text{ oersted}$$

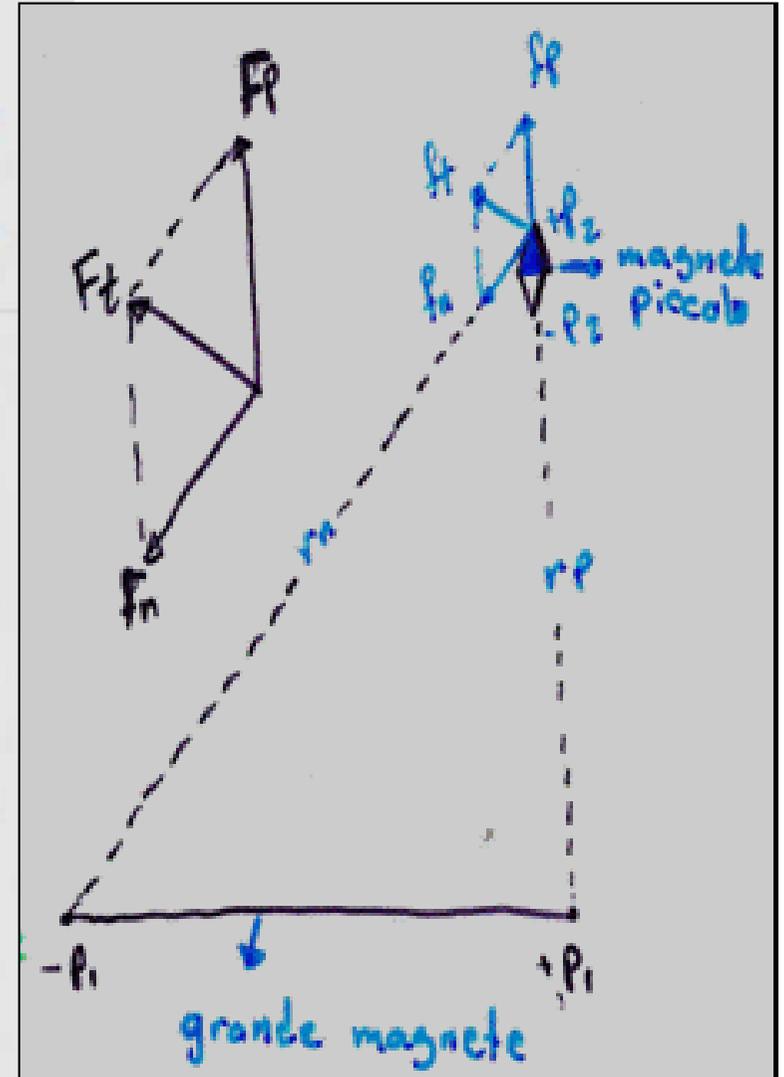
Hans Oersted  
Fisico danese

1 oersted =  $\frac{1 \text{ dina}}{1 \text{ unità di polo unitario}}$

nelle esplorazioni magnetiche si usa di solito una unità diversa (sottomultiplo)  $\Rightarrow$  **Gamma  $\gamma$**

1 gamma =  $10^{-5}$  oersted

1  $\gamma$  numericamente = 1 nT (nano tesla) nel sistema unità SI

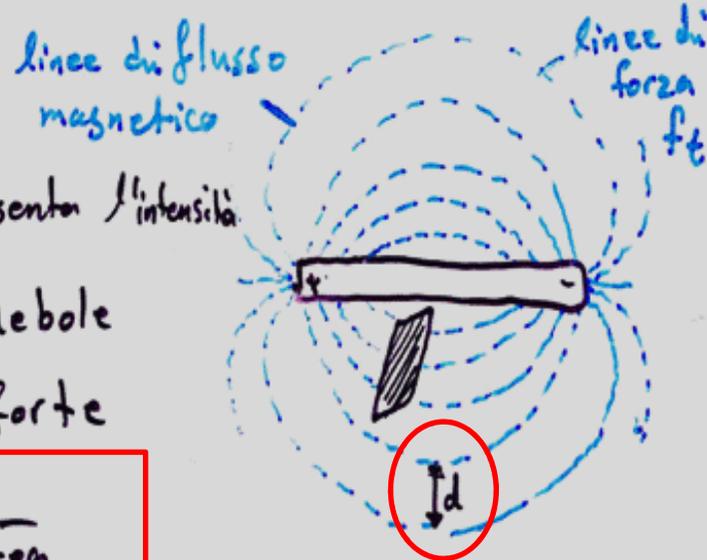


# Magnetismo: riassunto Unità



| Descrizione parametro                                   | Simbolo      | Unità SI                                         | Unità c.g.s.                          | cgs/MKS                 |
|---------------------------------------------------------|--------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| Polo magnetico                                          | $\rho$       | A m                                              | $(\text{dina})^{1/2} \cdot \text{cm}$ |                         |
| Permeabilità magnetica                                  | $\mu$        | H/m                                              | adimensionale                         | $1/4\pi \times 10^{-7}$ |
| Permeabilità magn. relativa                             | $\mu_r$      | adimensionale                                    | Adimensionale                         |                         |
| Intensità campo indotto                                 | $B$          | <b><math>\text{Wb/m}^2 = \text{Tesla}</math></b> | Gauss/gamma                           | $10^4$                  |
| Intensità campo Magnetico                               | $H$          | A/m                                              | Oersted                               | $4\pi \times 10^3$      |
| Intensità di magnetizzazione                            | $J$ o $I$    | A/m                                              | Oe                                    | $4\pi \times 10^3$      |
| Momento Magnetico                                       | $M$          | $\text{A} \cdot \text{m}^2$                      | $\text{Oe} \cdot \text{cm}^3$         | $10^3$                  |
| Suscettività Magnetica                                  | $K$ o $\chi$ | adimensionale                                    |                                       |                         |
| Nota: Gauss= $(\text{dina})^{1/2} \cdot \text{cm}^{-1}$ |              |                                                  |                                       |                         |
| Nota: 1 Gamma= $10^{-5}$ Oe                             |              |                                                  |                                       |                         |
| <b>1 Gamma=1 nT (nano Tesal)</b>                        |              |                                                  |                                       |                         |
| Nota: 1 Tesla= $10^4$ Oe                                |              |                                                  |                                       |                         |

# Magnetismo: il campo magnetico – significato fisico dell'intensità



d: grande  $\rightarrow F_T$  debole  
 d: piccola  $\rightarrow F_T$  forte

$$F_T = \frac{\text{n.º di linee}}{\text{unità di Area}}$$

•  $\Xi$  L'intensità del campo magnetico di diversi dipoli è rappresentato da

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i \text{ dei magneti}$$

$\Rightarrow$  Risulta in un campo complesso in quanto l'elemento di base è il dipolo



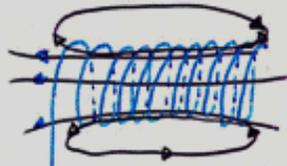
# Magnetismo: il campo magnetico – Momento Magnetico

Principio di equivalenza di Ampere

in  $\text{Am}^2$  SI

Cgs:  
M si esprime in  
 $\text{Oe}\cdot\text{cm}^3$

- M descrive il magnetismo di un dipolo



dipolo magnetico  
" una spira circolare percorsa da corrente I

$$M = P \cdot l$$

$$M = niA \quad \left\{ \begin{array}{l} n: \text{numero fili} \\ \text{avvolti} \\ i: \text{corrente} \\ A: \text{sezion} \end{array} \right.$$

$$Pl = niA$$

$$\vec{M} = \vec{P}l$$

$$= \vec{P}n\vec{i}A \Rightarrow$$

$$P = niA/l = \text{Ampere}\cdot\text{meter}$$

ricordando che  $F_T = \frac{ft}{P}$

$$F_T = \frac{\text{forza (N)}}{\text{Ampere}\cdot\text{meter}} = \text{Tesla (SI)}$$

nel sistema c.g.s.

$$1 \text{ oersted} = \frac{\text{dina}}{\text{abampere}\cdot\text{centimetro}} \quad (1 \text{ abampere} = 10 \text{ Ampere})$$

$$\text{perciò } 1 \text{ tesla} = 10^4 \text{ oersted}$$

## Magnetismo: il campo magnetico – Unità misure magnetiche

### □ Sistema di unità (SI)

- 1 Tesla = 1 T = 1 N/Am
- 1 T = Wb/m<sup>2</sup>
- 1 nT = 10<sup>-9</sup> T = 1 γ = 10<sup>-5</sup> Oersted

### □ Sistema di unità (c.g.s.)

$$1 \text{ gauss (G)} = 10^{-4} \text{ T}$$

$$1 \text{ gamma (}\gamma\text{)} = 10^{-5} \text{ G}$$

# Magnetismo: riassunto Unità



| Descrizione parametro                                   | Simbolo      | Unità SI                                         | Unità c.g.s.                          | cgs/MKS                 |
|---------------------------------------------------------|--------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| Polo magnetico                                          | $\rho$       | A m                                              | $(\text{dina})^{1/2} \cdot \text{cm}$ |                         |
| Permeabilità magnetica                                  | $\mu$        | H/m                                              | adimensionale                         | $1/4\pi \times 10^{-7}$ |
| Permeabilità magn. relativa                             | $\mu_r$      | adimensionale                                    | Adimensionale                         |                         |
| Intensità campo indotto                                 | $B$          | <b><math>\text{Wb/m}^2 = \text{Tesla}</math></b> | Gauss/gamma                           | $10^4$                  |
| Intensità campo Magnetico                               | $H$          | A/m                                              | Oersted                               | $4\pi \times 10^3$      |
| Intensità di magnetizzazione                            | $J$ o $I$    | A/m                                              | Oe                                    | $4\pi \times 10^3$      |
| Momento Magnetico                                       | $M$          | $\text{A} \cdot \text{m}^2$                      | $\text{Oe} \cdot \text{cm}^3$         | $10^3$                  |
| Suscettività Magnetica                                  | $K$ o $\chi$ | adimensionale                                    |                                       |                         |
| Nota: Gauss= $(\text{dina})^{1/2} \cdot \text{cm}^{-1}$ |              |                                                  |                                       |                         |
| Nota: 1 Gamma= $10^{-5}$ Oe                             |              |                                                  |                                       |                         |
| <b>1 Gamma=1 nT (nano Tesal)</b>                        |              |                                                  |                                       |                         |
| Nota: 1 Tesla= $10^4$ Oe                                |              |                                                  |                                       |                         |

## Magnetismo: unità (SI) – un po' di confusione

In fisica, l'unità weber (**Wb**), **SI** ==> unità del flusso (magnetico)

Una densità di flusso di  $1 \text{ Wb/m}^2$  ==> è 1 Tesla

Wb (fisico tedesco: Wilhelm Eduard Weber, 1804–1891).

$$\text{Wb} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2 \cdot \text{A}} = \text{V} \cdot \text{s} = \text{H} \cdot \text{A} = \text{T} \cdot \text{m}^2 = \frac{\text{J}}{\text{A}} = 10^8 \text{Mx}$$

**Wb:**

Secondo la legge di Farady, che descrive la variazione del flusso magnetico al passaggio di corrente in un conduttore tipo spira.

Una variazione di  $1 \text{ Wb/s}$  induce una forza elettromotrice (f.e.m.) pari ad 1 volt.

V = volt,

T = tesla,

J = joule,

m = metre,

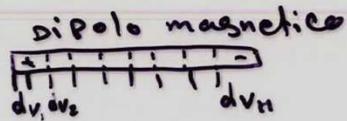
s = second,

A = ampere,

H = henry,

Mx = maxwell.

# Magnetismo: il campo magnetico – Intensità di Magnetizzazione



$dv$ : elemento di volume

ogni  $dv$  è associato ad un momento magnetico  $dM$

$$M \text{ (momento complessivo)} = \sum_{i=1}^n dmi$$

$M \propto \text{Volume}$

$$M = I V \quad \Rightarrow \quad I = \frac{M}{V}$$

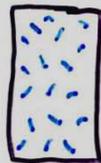
$I$ : intensità di magnetizzazione **A/m**

**Analogia con gravimetria:  $I = \rho$**

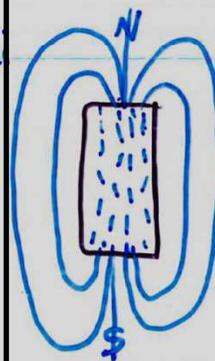
**B:** campo magnetico indotto

I materiali (loro molecole ed atomi) si comportano in diversi modi in presenza di un campo magnetico esterno  $\Rightarrow$  Domini di Weiss.

insieme di dipoli magnetici



in assenza di campo esterno



in presenza di campo esterno

**metodi magnetici**  
**Fine parte 01b**