

# 1 Forze a distanza

I tre principali tipi di forza a distanza sono

- Forza Gravitazionale
- Forza Elettostatica
- Forza Magnetica

Nel presente paragrafo trattiamo soltanto le prime due, essendo l'espressione matematica della forza magnetica piú complicata delle altre.

La forza gravitazionale é espressa dalla **Legge di Gravitazione Universale** di Newton

$$F = G \frac{mM}{r^2} \quad (1)$$

Ove la Costante di Gravitazione Universale vale  $G = 6.67 \cdot 10^{11} \frac{Nm^2}{kg^2}$ . Tale forza ha direzione *radiale*, ossia va lungo la congiungente i due corpi di massa  $m$  e  $M$  ed é sempre di natura attrattiva.

La forza di interazione elettrostatica, invece, é espressa dalla **Legge di Coulomb**

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

Piú sovente, espressa nel seguente modo:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (3)$$

ove la **Costante Dielettrica del Vuoto** vale  $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$ . Anche la forza elettrostatica é di natura *radiale* soltanto che, a seconda del segno delle due cariche  $q_1$  e  $q_2$  in gioco, può essere di natura attrattiva o repulsiva.

## 2 Concetto di Campo

L'equazione 1 può essere separata in due termini:

$$g = G \frac{M}{r^2} \quad (4)$$

$$F = mg \quad (5)$$

Ove la 4 esprime il **Campo Gravitazionale** generato dal corpo di massa  $M$  a distanza  $r$  e l'equazione 5 esprime la forza a cui è soggetto il corpo di massa  $m$  sottoposto al campo gravitazionale  $g$ .

Come è ben noto, il campo gravitazionale sulla superficie della terra è  $9,81m/s^2$ . Inoltre, essendo la forza una grandezza di tipo vettoriale, anche il campo  $g$ , proporzionale alla forza, è un *campo di natura vettoriale*.

È evidente che si può fare qualcosa di analogo con la forza elettrostatica: separando l'equazione 3 in due termini si ha

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \quad (6)$$

$$F = q_e E \quad (7)$$

Ove la 6 esprime il **Campo elettrostatico** generato da un corpo dotato di carica  $q$  a distanza  $r$  e l'equazione 7 esprime la forza a cui è soggetto un altro corpo, dotato di carica  $q_e$  (spesso chiamata *carica esploratrice*) e sottoposto a un campo elettrostatico  $E$ . Da notare che il campo gravitazionale  $g$  è una accelerazione, il campo elettrico  $E$  *non* è una accelerazione, ma una nuova grandezza esprimibile in *Volt/m* o *Newton/Coulomb*.

## 3 Esempi

Un corpo sulla superficie terrestre è sottoposto a un campo gravitazionale dato dalla equazione 4 ove

- $G = 6.67 \cdot 10^{11} \frac{Nm^2}{kg^2}$

- $r = 6400km = 6.4 \cdot 10^6m$  (raggio medio della terra)
- $M = 5.98 \cdot 10^{24}kg$  (massa della terra)

Il valore di tale campo é <sup>1</sup>

$$g = 6.67 \cdot 10^{11} \frac{Nm^2}{kg^2} \frac{5.98 \cdot 10^{24}kg}{(6.4 \cdot 10^6m)^2} = 9.81m/s^2 \quad (8)$$

Se poniamo un corpo ad una distanza dal centro della terra pari al doppio del raggio della terra allora, dalla equazione 9 si deduce che il campo gravitazionale si riduce di un fattore 4 (e non 2). Questo perché la distanza a denominatore é riportata alla seconda potenza, come si vede dal seguente calcolo

$$g = 6.67 \cdot 10^{11} \frac{Nm^2}{kg^2} \frac{5.98 \cdot 10^{24}kg}{(12.8 \cdot 10^6m)^2} = 2.45m/s^2 \quad (9)$$

Studiamo, ora, il campo elettrico a cui é soggetto l'elettrone (unico!) dell'atomo di idrogeno quando si trova a orbitare intorno al nucleo, costituito da un unico protone<sup>2</sup>

$$E = 8.99 \cdot 10^9 Nm^2C^{-2} \cdot \frac{1.6 \cdot 10^{-19}C}{(5.29 \cdot 10^{-11})^2} = 5.14 \cdot 10^{11} N/C. \quad (10)$$

Ove la distanza  $r$  dell'elettrone dal nucleo é nota come *Raggio di Bohr*.

La forza che l'elettrone subisce a causa della presenza del campo elettrico 10 indotto dal nucleo é

---

<sup>1</sup>Calcolo dimensionale:  $\frac{Nm^2\cancel{kg}}{\cancel{kg}^2m^2} = m/s^2$

<sup>2</sup>L'atomo di idrogeno é costituito da un protone e un elettrone che orbita intorno. In realtà esistono in natura anche *isotopi* dell'atomo di idrogeno: atomi che hanno stesso numero atomico dell'idrogeno, ma un numero di neutroni variabile. In particolare, nel caso dell'idrogeno, esiste il *deuterio* e il *trizio*, ossia isotopi che pesano 2 volte o 3 volte di più, a causa della presenza di, rispettivamente, un neutrone e due neutroni in più.

$$F = q_e E = -1.6 \cdot 10^{-19} C \cdot 5.14 \cdot 10^{11} N/C = 8.2 \cdot 10^{-8} N \quad (11)$$

e, data la massa dell'elettrone  $m_e = 9.31 \cdot 10^{-31} kg$  l'accelerazione risulta

$$a = \frac{F}{m_e} = \frac{8.2 \cdot 10^{-8} N}{9.31 \cdot 10^{-31} kg} = 9 \cdot 10^{22} m/s^2 \quad (12)$$

Ancora, si può ricavare la velocità dell'elettrone intorno al nucleo tenendo conto che l'accelerazione centrifuga nel moto circolare uniforme é

$$a_c = v^2/r \quad (13)$$

C'è da precisare, tuttavia, che la Meccanica Newtoniana fin qui usata, mentre si applica bene per lo studio di fenomeni su grandi scale, risulta *inadeguata* per lo studio di fenomeni su scala atomica e molecolare. Su tale scala, si usa la *Meccanica Quantistica*, una teoria della fisica nata negli anni '30 del ventesimo secolo proprio a partire dalla necessità di poter correttamente predire fenomeni su scale dell'ordine di grandezza delle dimensioni di atomi, nuclei e molecole.