Dinamica del Punto Materiale

Testo(FMLP): Cap. 4 par.4, Cap.5

La Natura delle Forze

F.Bloisi

La natura delle forze
Le interazioni fondamentali

Le forze sono il modo in cui si esplica l'interazione tra due oggetti ed, a livello fondamentale, esistono solo 4 tipi di interazione

- Interazione gravitazionale
- Interazione elettromagnetica
- Interazione nucleare forte
- Interazione nucleare debole

e si cerca addirittura di vederle come differenti espressioni della medesima interazione.

Nella pratica si prendono in considerazione varie „tipologie“ di forze legate più alla situazione sperimentale in cui si osservano che non alla natura della forza.

F.Bloisi

La natura delle forze
Forze

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17

(cenni)
v. FG2

Interazione gravitazionale
- **Legge di Gravitazione Universale**
- **Forza Peso**

Interazione elettromagnetica
- **Forza di Culomb (elettrostatica)**

Reazioni vincolari
- **Reazione normale**
- **Attrito (radente) statico / dinamico**
- **Attrito viscoso**

Tensione di una fune

Forze elastiche

F.Bloisi

La natura delle forze
Interazione gravitazionale

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17

Legge di Gravitazione Universale

Tra due punti materiali dotati di „massa gravitazionale“ agisce una forza attrattiva avente

modulo: **proporzionale ad entrambe le masse ed inversamente proporzionale al quadrato della distanza tra di esse**

$$\boxed{\left|\vec{F}_g\right| = G_U \frac{m_1 m_2}{r_{12}^2}}$$

$$G_U = 6.67259\ 10^{-11}\ \mathrm{N\,m^2/kg^2}$$

direzione: **la retta d'azione passa per i due punti**

verso: **attrattivo**

Nota

Si può dimostrare che una sfera omogenea genera la stessa forza gravitazionale di un punto materiale, di pari massa, posto in corrispondenza del suo centro.

F.Bloisi

La natura delle forze
Interazione elettrostatica

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17

Forza di Coulomb

Tra due punti materiali dotati di „carica elettrica“ agisce una forza, attrattiva o repulsiva, avente

modulo: proporzionale ad entrambe le cariche ed inversamente proporzionale al quadrato della distanza tra di esse

$$\left|\vec{F}_e\right| = k_e \frac{|q_1||q_2|}{r_{12}^2} \qquad k_e = 8.98755179\ 10^9\ \mathrm{N\,m^2/C^2}$$

direzione: la retta d'azione passa per i due punti

verso: attrattivo per cariche di segno differente
repulsivo per cariche di segno uguale

Nota

Si può dimostrare che una sfera omogenea genera la stessa forza di Coulomb di un punto materiale, di pari carica, posto in corrispondenza del suo centro.

F.Bloisi

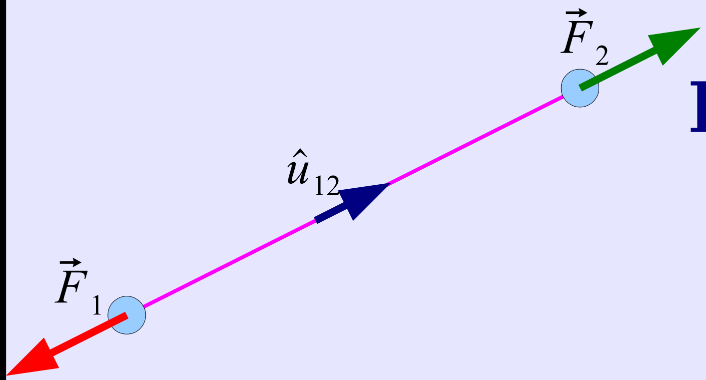
La natura delle forze
Massa inerziale e massa gravitazionale

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17

Forza di interazione Elettrostatica

(„massa“ elettrostatica)

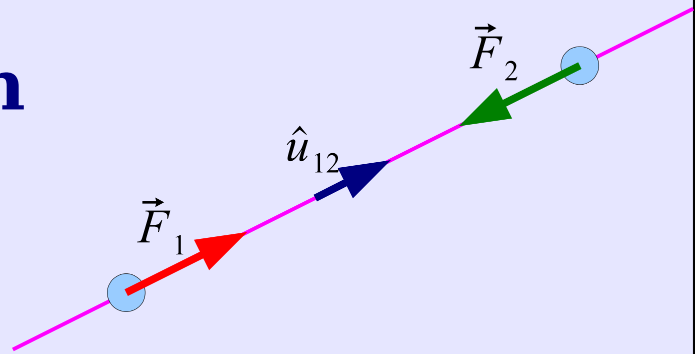
$$\vec{F}_2^{(\mathrm{e})} = k_e \frac{m_1^{(\mathrm{e})} m_2^{(\mathrm{e})}}{r_{12}^2}\,\hat{u}_{12}$$



Forza di interazione Gravitazionale

(„massa“ gravitazionale)

$$\vec{F}_2^{(\mathrm{g})} = -G_U \frac{m_1^{(\mathrm{g})} m_2^{(\mathrm{g})}}{r_{12}^2}\,\hat{u}_{12}$$



$$\vec{F} = m^{(\mathrm{i})}\vec{a}$$

Legge di Newton

(„massa“ inerziale)

Si osserva che ◄ Osservazioni sperimentali

La „*massa inerziale*“ e la „*massa gravitazionale*“ hanno sempre lo stesso valore, per cui solitamente si parla semplicemente di „*massa*“.

Non c'è nessuna relazione con la „*massa elettrostatica*“ (che in effetti solitamente si chiama „*carica elettrica*“ o semplicemente „*carica*“.

F.Bloisi

La natura delle forze
Forza peso

$$\vec{F}^{(g)} = -G_U \frac{M^{(g)}_{\text{Terra}}\, m^{(g)}}{\left(R_{\text{Terra}}(\lambda)+h\right)^2}\ \hat{u}_{\text{Terra}}$$

$$\vec{F}^{(g)} = m^{(g)} \left(G_u \frac{M^{(g)}_{\text{Terra}}}{\left(R_{\text{Terra}}(\lambda)+h\right)^2} \right) \left(-\hat{u}_{\text{Terra}}\right)$$

$$\vec{F}^{(g)} = m^{(g)}\ \ g_{\text{Terra}}(\lambda, h)\ \ \hat{u}_{\text{Vert}}$$

$$g_{\text{Terra}}(\lambda, h) = G_u \frac{M^{(g)}_{\text{Terra}}}{\left(R_{\text{Terra}}(\lambda)+h\right)^2}$$

$$\boxed{\vec{f}_p = m^{(g)}\ \ g_n\ \ \hat{u}_{\text{Vert}}}$$

$G_U = 6.67259\ 10^{-11}\ \ \mathrm{N\,m^2/kg^2}$

$M_{\text{Terra}} = 5.97219\ 10^{24}\ \ \mathrm{kg}$

$R_{\text{Terra}} = 6378.1\ \ \mathrm{km}$ (equatore)

$R_{\text{Terra}} = 6356.8\ \ \mathrm{km}$ (polo)

$R_{\text{Terra}} = 6371.0\ \ \mathrm{km}$ (medio)

$h = -427\ \ \mathrm{m}$ (Mar Morto)

$h = 8848\ \ \mathrm{m}$ (Monte Everest)

$g_{\text{Terra}}(\text{equatore}) = 9.796\ \ \mathrm{m/s^2}$

$g_{\text{Terra}}(\text{polo}) = 9.862\ \ \mathrm{m/s^2}$

$g_n = 9.80665\ \ \mathrm{m/s^2}$ (valore normale)

La natura delle forze
Accelerazione di gravità

$$\vec{F}_p = m^{(g)}\, g_n\, \hat{u}_{\text{Vert}}$$

$$m^{(g)}\, g_n\, \hat{u}_{\text{Vert}} = m^{(i)} \vec{a} \qquad \vec{a} = \frac{m^{(g)}}{m^{(i)}}\, g_n\, \hat{u}_{\text{Vert}}$$

$$\vec{F} = m^{(i)} \vec{a}$$

Si osserva che ◀ Osservazioni sperimentali

In prossimità della superficie della Terra qualunque oggetto „*<u>cade</u>*“ con la medesima accelerazione pari all'„*<u>accelerazione normale di gravità</u>*“.

$$|\vec{a}| = g_n$$

ne segue che

i valori della „*<u>massa gravitazionale</u>*“ e della „*<u>massa inerziale</u>*“ coincidono.

$$m^{(g)} = m^{(i)}$$

F.Bloisi

La natura delle forze
Reazione vincolare normale

Vincolo ◀ Definizione

Un „vincolo“ impone delle limitazioni al possibile moto di un punto materiale.

Esempi di vincoli sono il binario ferroviario per un treno o il pavimento per una sedia.

L'azione del vincolo si esplicatramite alcune forze

Reazione vincolare normale

Un vincolo è in grado di esercotare, su di un oggetto posto in contatto con esso, una forza detta „reazione vincolare normale“ che ha

modulo: **tale da impedire il moto in direzione ortogonale purché inferiore al „carico di rottura“**
direzione: **ortogonale al vincolo**
verso: **dal vincolo verso il punto materiale**

$$\boxed{f_N = f_N \, \hat{u}_N} \qquad f_N < f_{N\,max}$$

F.Bloisi

La natura delle forze
Forze di attrito statico/dinamico

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17

Vincolo liscio/scabro ◀ Definizione

Un vincolo „liscio“ (a differenze di un vincolo „scabro“) non è in grado di esercitare una forza (di attrito) tangente alla superficie di contatto.

Nella realtà vi sono sempre forze di attrito, per cui il vincolo liscio è una schematizzazione applicabile in situazioni in cui l'attrito è molto basso (superfici ben levigate, o altri accorgimenti).

Attrito statico

Se il punto di contatto è fermo rispetto al vincolo la forza esercitata dal vincolo tende a mantenere fermo il punto materiale esercitando una forza che non supera un valore che dipende dalla reazione normale e dal „coefficiente di attrito statico“

$$\boxed{f_s = f_s \hat{u}_T} \qquad f_s \le \mu_s f_N$$

Attrito dinamico

Se il punto di contatto si muove sul vincolo la forza di attrito dinamico dipende dalla reazione normale e „coefficiente di attrito dinamico“ ed ha verso opposto alla velocità con cui il punto di muove rispetto al vincolo

$$\boxed{\vec{f}_d = -\mu_d f_N \hat{v}} \qquad \mu_d < \mu_s$$

F.Bloisi

La natura delle forze
Forze di attrito viscoso

Attrito viscoso

Quando il moto avviene in un fluido le interazioni sono più complesse ma, per velocità non molto elevate, si riscontrano due casi

in un liquido la „forza di attrito viscoso“ è proporzionale alla velocità

$$\boxed{\vec{f}_v = -\gamma \eta \, \vec{v}}$$

mentre in un gas è proporzionale al quadrato della velocità

$$\boxed{\vec{f}_v = -\frac{1}{2} C \rho A v^2 \, \hat{v}}$$

η **Viscosità (del liquido)**

γ **Coefficiente di forma (dell'oggetto)** $\gamma_{\text{sfera}} = 6\pi R_{\text{sfera}}$

ρ **Densità (del gas)**

C **Coefficiente aerodinamico (dell'oggetto)** $C = 0.1 \div 0.4$ valori tipici

A **Sezione normale (dell'ogetto)**

F.Bloisi

La natura delle forze
Tensione di una fune

Fune ideale ◀ Definizione

Una fune ideale è

inestensibile

priva di massa

perfettamente flessibile

ed esercita, a ciascuna delle sue estremità, una forza che ha

il medesimo modulo (detto „tensione della fune“)

la direzione della fune

verso di „trazione“

Una fune è in grado di trasferire il punto di applicazione di una forza e, se unita ad un opportuno sistema di carrucole, può anche modificarne la direzione ma (nell'ipotesi di fune ideale) ne lascia inalterata l'intensità (ossia il modulo), a patto che non superi il „carico di rottura“ della fune.

La fune può esercitare solo un atrazione, ossia la forza è sempre diretta dall'oggetto cui è fissata la fune verso la fune.

$$\boxed{\vec{f}_T = T\,\hat{u}_{\mathrm{T}}} \qquad f_T < f_{\mathrm{T\,max}}$$

F.Bloisi

La natura delle forze
Forze elastiche

Si è visto che una molla elicoidale può essere utilizzata per misurare le forze dato che la sua deformazione è proporzionale alla forza applicata. Si può, in effeti, definire come

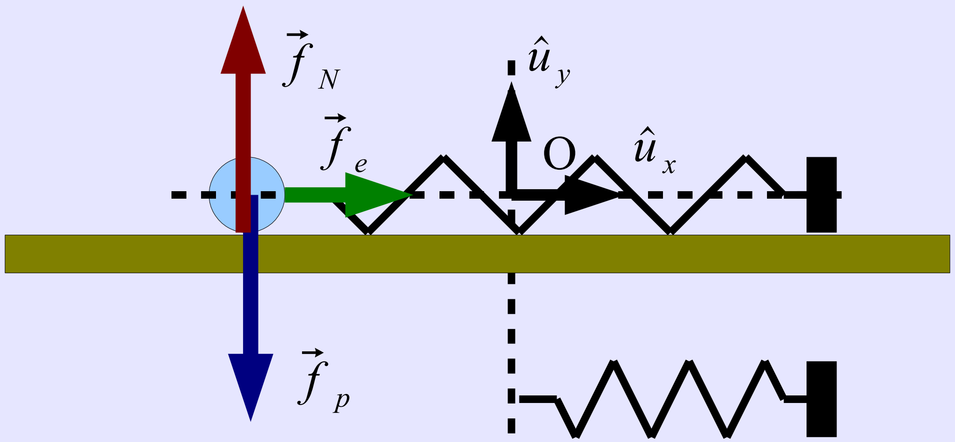
Forza elastica ◀ Definizione

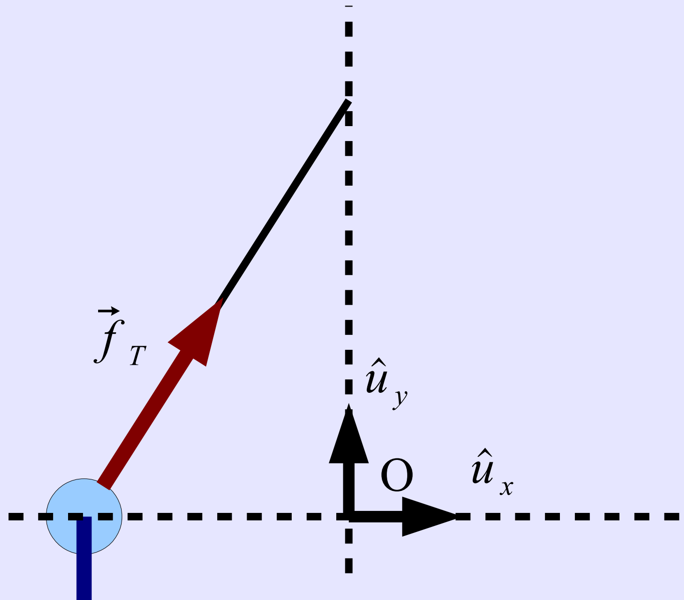
qualunque forza che sia proporzionale allo spostamento del punto di aplicazione da una posizione di riferimento.

$$\boxed{\vec{f}_e = -k_e \, \Delta \vec{r}}$$

Nota

La componente orizzontale della tensione della fune in un pendolo è (per angoli piccoli) una forza elastica:





$$T_x \simeq -\frac{m\, g_n}{L} \Delta x$$

F.Bloisi

La natura delle forze
Diagramma di corpo libero

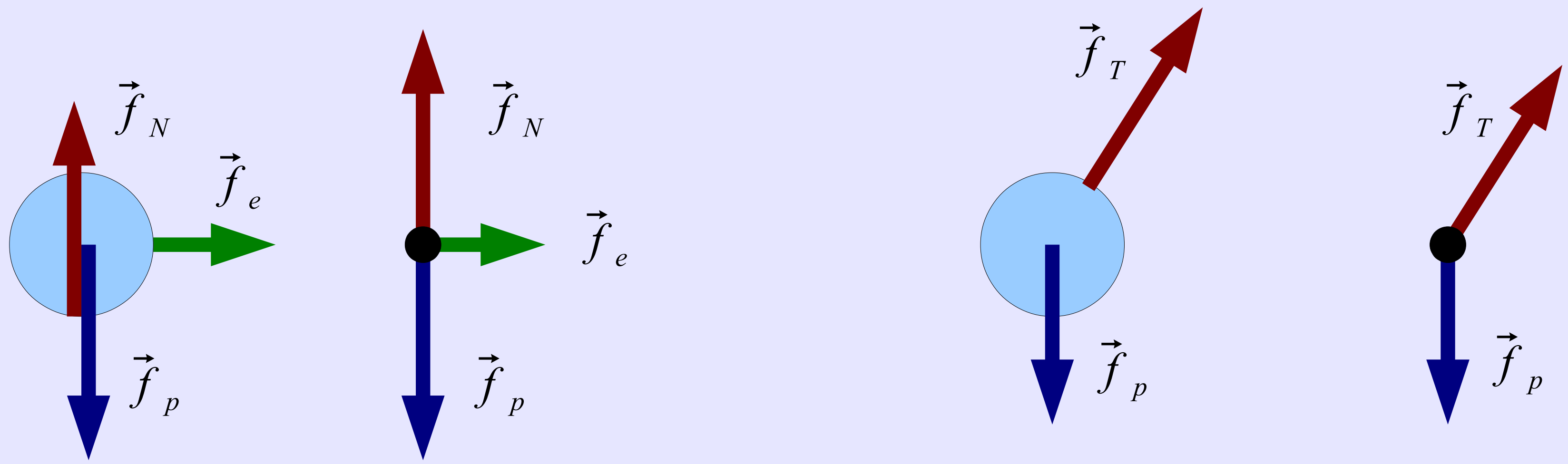
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17

Le forze sono „vettori applicati“ poiché in alcune situazioni è importante conoscere non solo „modulo“, „direzione“ e „verso“ della forza, ma anche il suo „punto di applicazione“.

Se si schematizza un oggetto come un „punto materiale“ ovviamente l'informazione relativa al punto di applicazione non può essere utilizzata. In tal caso è utile e chiaro il

Diagramma di corpo libero

uno schema in cui si rappresenta solo il punto materiale e le forze ad esso applicate.



F.Bloisi

La natura delle forze
Sintesi

Forza di gravità	$\boxed{\vec{F}_g = -G_U \frac{m_1 m_2}{r_{12}^2} \hat{u}_{12}}$	$G_U = 6.67259\ 10^{-11}\ \mathrm{N\,m^2/kg^2}$
Forza peso	$\boxed{\vec{f}_p = m^{(\mathrm{g})}\ g_n\ \hat{u}_{\mathrm{Vert}}}$	$g_n = 9.80665\ \mathrm{m/s^2}$
Reazione vincolare normale	$\boxed{\vec{f}_{\mathrm{N}} = f_{\mathrm{N}}\ \hat{u}_{\mathrm{N}}}$	$f_{\mathrm{N}} < f_{\max}$
Forza di attrito statico	$\boxed{f_s = f_s\ \hat{u}_{\mathrm{T}}}$	$f_s \leq \mu_s f_{\mathrm{N}}$
Forza di attrito dinamico	$\boxed{\vec{f}_d = -\mu_d f_{\mathrm{N}}\ \hat{v}}$	$\mu_d < \mu_s$
Attrito viscoso in un liquido	$\boxed{\vec{f}_v = -\gamma\, \eta\, \vec{v}}$	$\gamma_{\mathrm{sfera}} = 6\pi R_{\mathrm{sfera}}$
Attrito viscoso in un gas	$\boxed{\vec{f}_v = -\frac{1}{2} C \rho A v^2\ \hat{v}}$	$C = 0.1 \div 0.4$ valori tipici
Tensione di una fune	$\boxed{\vec{f}_T = T\, \hat{u}_{\mathrm{T}}}$	$f_T < f_{\mathrm{T\,max}}$
Forza elastica	$\boxed{\vec{f}_e = -k_e\ \Delta \vec{r}}$	

F.Bloisi

La natura delle forze
?

?

FG1/P03/L02 (v13)

F.Bloisi