DINAMICA – RIEPILOGO CONCETTI FONDAMENTALI

La dinamica studia il moto dei corpi in relazione alle cause (vale a dire le **forze**) che lo provocano.

Riepiloghiamo le tre leggi fondamentali della dinamica.

La prima legge della dinamica, o prima legge di Newton, o **principio di inerzia** afferma che un corpo permane nel proprio stato di quiete o di moto rettilineo uniforme finché non agisce su di esso una qualche forza esterna.

Chiamiamo **inerziale** un sistema di riferimento rispetto al quale vale il principio di inerzia. Se un sistema è inerziale anche tutti i sistemi di riferimento in moto rettilineo uniforme rispetto ad esso sono inerziali.

Il **principio galileiano di relatività** afferma che le leggi della fisica sono le medesime in tutti i sistemi di riferimento inerziali.

Il secondo principio della dinamica o seconda legge della dinamica o (seconda) **legge di Newton** afferma che in un sistema di riferimento inerziale l'accelerazione di un punto materiale è direttamente proporzionale alla risultante (vettoriale) $\vec{F}$ delle forze agenti su di esso e inversamente proporzionale alla **massa** del punto materiale:

$$\vec{F} = m\vec{a}. \tag{1}$$

In un sistema inerziale un corpo non soggetto a forze si muove di moto rettilineo uniforme.

Il terzo principio della dinamica o terza legge della dinamica (di Newton) o **principio di azione e reazione** afferma che, se un corpo esercita una forza su un secondo corpo, quest'ultimo esercita sul primo una forza con stesso modulo e direzione ma verso opposto. In formule, se chiamiamo $\vec{F}_{12}$ la forza che il corpo 2 esercita sul corpo 1 e $\vec{F}_{21}$ la forza che il corpo 1 esercita sul corpo 2, abbiamo

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}. \tag{2}$$

In forma più forte, il terzo principio afferma anche che se i corpi 1 e 2 sono puntiformi le forze $\vec{F}_{12}$ e $\vec{F}_{21}$ giacciono lungo la congiungente i due corpi.

Le forze di attrito statico e dinamico si hanno quando due corpi vengono premuti l'uno contro l'altro. Tali forze si oppongono ad ogni movimento relativo delle due superfici in contatto (chiamate superfici **scabre**, vale a dire non liscie, se vi è attrito). La forza di **attrito statico** tra due superfici ha modulo massimo proporzionale al modulo N della forza normale tra le due superfici:

$$F_s \leq \mu_s N, \tag{3}$$

con il coefficiente di proporzionalità μ_s detto coefficiente di attrito statico. Se la forza F applicata ad uno dei due corpi in direzione tangenziale alla superficie di contatto ha modulo maggiore di F_s, allora il corpo si mette in movimento. In questo caso agisce una forza di **attrito dinamico**

$$F_d = \mu_d N, \tag{4}$$

che si oppone al moto, vale a dire che ha stessa direzione ma verso opposto alla velocità relativa delle due superfici. Il coefficiente di attrito dinamico $\mu_d < \mu_s$. La forza di attrito dinamico non giustifica il raggiungimento di una velocità limite quando viene applicata una forza esterna. Infatti tale forze di attrito diminuisce solo l'accelerazione del corpo ma non l'annulla. Si raggiunge invece una velocità limite nel caso in cui sia presente una forza di **attrito viscoso**, proporzionale alla velocità del corpo.

La seconda equazione della dinamica $\vec{F} = m\vec{a} = m\frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$ ammette un'unica soluzione una volta che sono specificate le condizioni iniziali, vale a dire posizione $\vec{r}_0 = \vec{r}(t_0)$ e velocità $\vec{v}_0 = \vec{v}(t_0)$ al tempo iniziale t_0. In generale la soluzione è ottenibile solo numericamente, con l'ausilio di un calcolatore. Soluzioni analitiche sono però possibili in casi particolarmente semplici.

Nel caso di un **moto armonico** unidimensionale, vale a dire che un corpo di massa m è soggetta ad una **forza di richiamo elastica**

$$\vec{F} = -kx\hat{i}, \tag{5}$$

la seconda equazione della dinamica,

$$m\,\frac{d^2x}{dt^2} = -kx, \quad k > 0, \tag{6}$$

è risolubile analiticamente. La soluzione è data da

$$x(t) = A\sin(\omega t + \phi_0), \tag{7}$$

con

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \tag{8}$$

chiamata **pulsazione del moto armonico**, e l'**ampiezza** A e la **fase** ϕ_0 determinate dalle condizioni iniziale, $x(t_0)$ e $v(t_0)$. Il moto è peridico, vale a dire che

$$x(t+T) = x(t), \tag{9}$$

con **periodo**

$$T = \frac{2\pi}{\omega}. \tag{10}$$

Il moto armonico descrive universalmente le **piccole oscillazioni** di un qualsiasi sistema fisico attorno alle sue posizioni di **equilibrio stabile**, dove diciamo che un punto è di equilibrio stabile quando allontanandosi di poco da una posizione di equilibrio si rimane nelle vicinanze di tale posizione. Ad esempio le piccole oscillazioni di un **pendolo** di lunghezza l attorno alla posizione di equilibrio, con la massa m in posizione verticale e in basso rispetto al punto di sospensione del pendolo, sono armoniche di periodo

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\,, \tag{11}$$

con g accelerazione di gravità.

La **legge di gravitazione universale** afferma che due qualsiasi corpi di masse m_1 e m_2 non nulle si attraggono fra di loro (**attrazione gravitazionale**). Le forze di gravitazione esistenti fra due punti materiali sono fra loro opposte (in accordo con il principio di azione e reazione), hanno come retta di applicazione la retta individuata dalla posizione dei due punti e modulo proporzionale al prodotto delle masse dei due corpi e inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza r:

$$F = G\,\frac{m_1 m_2}{r^2}, \tag{12}$$

con G detta **costante di gravitazione universale**.

Le **forze apparenti** non sono spiegabili in termini di una qualche interazione (gravitazionale, elettrostatica,...) tra corpi ma vengono introdotte al solo fine di usare la seconda legge della dinamica anche in sistemi di riferimento non inerziali. Forze apparenti sono la **forza di trascinamento**

$$F_{\mathrm{tr}} = -m\vec{a}_{\Omega}, \tag{13}$$

dovuta al fatto che il corpo di massa m si muove solidale ad un sistema non inerziale che accelera con accelerazione $\vec{a}_{\Omega}$ rispetto ai sistemi inerziali, la **forza centrifuga**

$$\vec{F}_{\mathrm{centriguga}} = m\omega^2\vec{r} \tag{14}$$

che appare se il corpo è solidale con un sistema non inerziale che ruota con velocità angolare $\vec{\omega}$ rispetto ai sistemi inerziali, e la **forza di Coriolis**

$$\vec{F}_C = -2\vec{\omega} \times \vec{V}, \tag{15}$$

che appare quando il corpo si muove con velocità $\vec{V}$ rispetto al sistema non inerziale rotante con velocità angolare $\vec{\omega}$. La forza centrifuga è una forza di trascinamento in quanto appare se l'oggetto ruota solidale con il sistema non inerziale.

Un corpo di massa m in prossimità della superficie terrestre è soggetto, a causa dell'attrazione gravitazionale esercitata dalla Terra, ad una **forza peso** $\vec{P}$ diretta verso il basso e data da

$$\vec{P} = m\vec{g}, \tag{16}$$

con $\vec{g}$ accelerazione di gravità, di modulo $g = GM/R^2$, con M massa della Terra e R raggio terrestre.