Corso di Fisica Generale 1
a.a. 2018/2019

corso di laurea in Ingegneria dell'Automazione,
Informatica, Biomedica, Telecomunicazioni ed Elettronica
canali CIS-FER e RON-Z

11° lezione (8 / 11 / 2018)

Prof. Laura VALORE

Email : laura.valore@na.infn.it / laura.valore@unina.it

Pagina web : www.docenti.unina.it/laura.valore

Ricevimento : appuntamento per email – studio presso il Dipartimento di Fisica
(Complesso Universitario di Monte Sant'Angelo, Edificio 6) – stanza 1H09

Oppure Laboratorio (Hangar) 1H11c0

prova in aula

test a scelta multipla

Forze conservative e non conservative

Una forza si dice CONSERVATIVA se :

1. il lavoro da essa compiuto su una particella che percorre un cammino chiuso è zero

2. il lavoro da essa compiuto su una particella che si muove tra due punti qualsiasi è indipendente dal percorso

Esempio di forze conservative :
forza gravitazionale
forza elastica

Esempio di forza non conservativa :
forza di attrito

Il Teorema dell'Energia Cinetica (detto anche Teorema delle Forze Vive) è valido sia per le forze conservative che per quelle non conservative :

$$L_{tot} = L_C + L_{NC} = \Delta K$$

Conservazione dell'energia meccanica

- L'energia meccanica di un sistema è la somma dell'energia cinetica K e dell'energia potenziale U :

$$E_{mec} = K + U$$

Assumiamo di essere in un sistema isolato, ovvero che non ci sia possibilità che forze esterne al sistema possano modificare l'energia all'interno del sistema, e che stiano agendo solo forze conservative :

$$\left.\begin{aligned} \Delta K &= L \\ \Delta U &= -L \end{aligned}\right\} \quad \Delta K = -\Delta U \rightarrow K2 - K1 = -(U2 - U1) \rightarrow$$

$$K2 + U2 = K1 + U1$$

principio di conservazione dell'energia meccanica

Quando in un sistema isolato agiscono solo forze conservative, la somma dell'energia cinetica e dell'energia potenziale (energia meccanica) del sistema non cambia

Azione di una forza esterna su un sistema (sistema NON isolato)

Il lavoro svolto da una forza esterna su un sistema è l'energia ceduta o assorbita dal sistema stesso → c’è variazione di energia!

Quando le forze esterne sono molteplici, l'energia ceduta o assorbita corrisponde al lavoro totale.

Il lavoro L è :

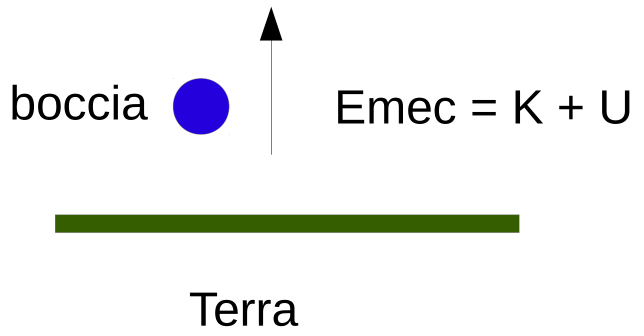
- positivo se l'energia viene ceduta al sistema
- negativo quando viene sottratta dal sistema.

L’energia del sistema NON si conserva! Sto fornendo o sottraendo energia

Lavoro di una forza esterna su un sistema : senza attrito ...

In assenza di attrito, il lavoro svolto dalla forza esterna sul sistema corrisponde alla variazione di energia meccanica :

$$L_F = \Delta E_{mec} = \Delta K + \Delta U$$

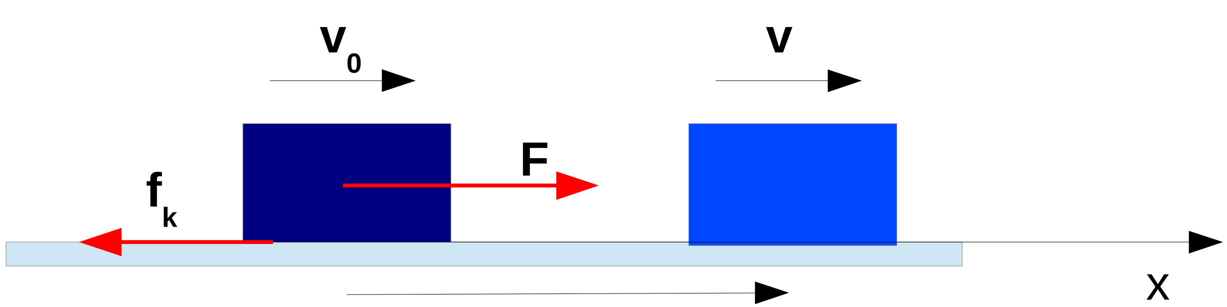


... e con attrito

Lavoro svolto dalla forza applicata sul sistema in presenza di attrito : il lavoro finisce parte in energia cinetica e parte in energia termica

$$L_F = \Delta E_{mec} + \Delta E_{th}$$

Attraverso esperimenti si puo' verificare che $\Delta E_{th} = f_k d$



Conservazione dell'energia

Se un sistema è <u>isolato</u>, quindi NON agiscono forze esterne, non possono esserci trasferimenti di energia tra il sistema e l'esterno.

Lavoro totale di tutte le forze (conservative e non) interne al sistema

$$L_{tot} = 0 \rightarrow \Delta E = \Delta E_{mec} + \Delta E_{th} + \Delta E_{int} = 0$$

L'energia totale di un sistema isolato si conserva

Entro il sistema isolato possono avvenire trasferimenti di energia, tra K ed U, o tra K ed Eth, ma la somma di tutte le forme di energia all'interno del sistema NON CAMBIA

La conservazione dell'energia di un sistema isolato possiamo anche scriverla come :

$$\Delta E_{mec} + \Delta E_{th} + \Delta E_{int} = 0 \rightarrow Emec{,}2 = Emec{,}1 - \Delta E_{th} - \Delta E_{int}$$

ovvero in un sistema isolato possiamo mettere in relazione le energie relative ad un certo istante con tutte le energie ad un altro istante qualsiasi, senza bisogno di considerare gli stati intermedi.

Conservazione dell'energia

L'energia totale di un sistema, somma della sua energia meccanica e delle sue energie interne (inclusa quella termica), puo' variare solo se viene ceduta o assorbita energia dall'esterno

Abbiamo visto finora che l'unico modo di trasferire energia ad un sistema o dal sistema è compiere lavoro. Se L è il lavoro svolto sul (o dal) sistema, allora :

$$L = \Delta E = \Delta E_{mec} + \Delta E_{th} + \Delta E_{int}$$

variazione di altre forme di energia interna, a parte quella termica

Centro di massa (o baricentro)

- Il centro di massa di un corpo (o di un sistema di corpi) è il punto che si muove come se :

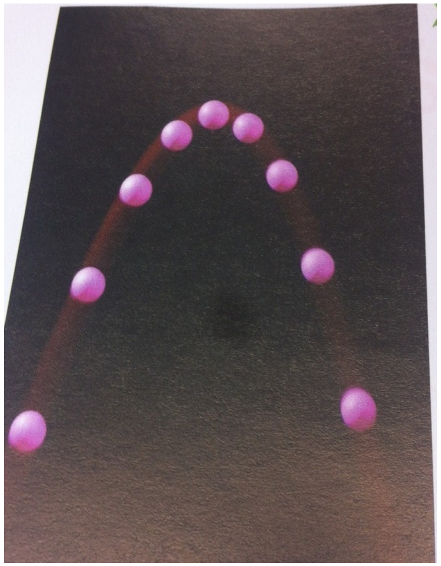
    1) tutta la massa del corpo fosse concentrata in quel punto

    2) tutte le forze esterne agissero in quel punto

Il moto complicato di un oggetto esteso i cui punti non si muovono tutti allo stesso modo puo' essere semplificato studiando il moto del suo centro di massa.

ESEMPIO 1 :

Una palla lanciata in aria senza farla roteare segue una traiettoria parabolica, tutti i suoi punti si muovono assieme e possiamo assimilarla ad una particella



Centro di massa

- Il centro di massa di un corpo (o di un sistema di corpi) è il punto che si muove come se :

  1) tutta la massa del corpo fosse concentrata in quel punto

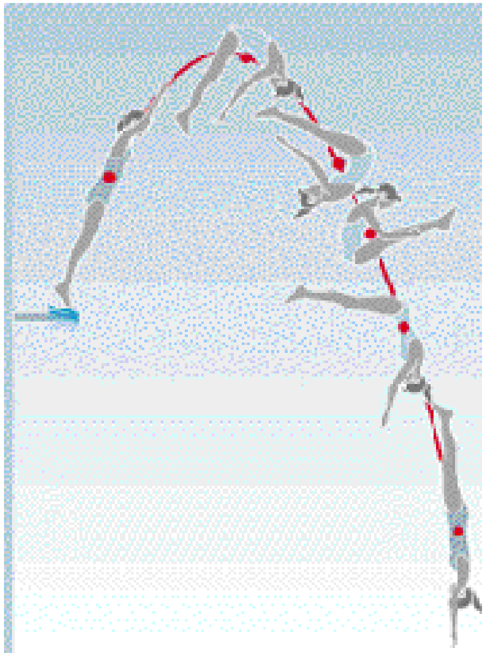
  2) tutte le forze esterne agissero in quel punto

Il cdm è il punto geometrico corrispondente al valor medio della distribuzione della massa del sistema nello spazio

ESEMPIO 2

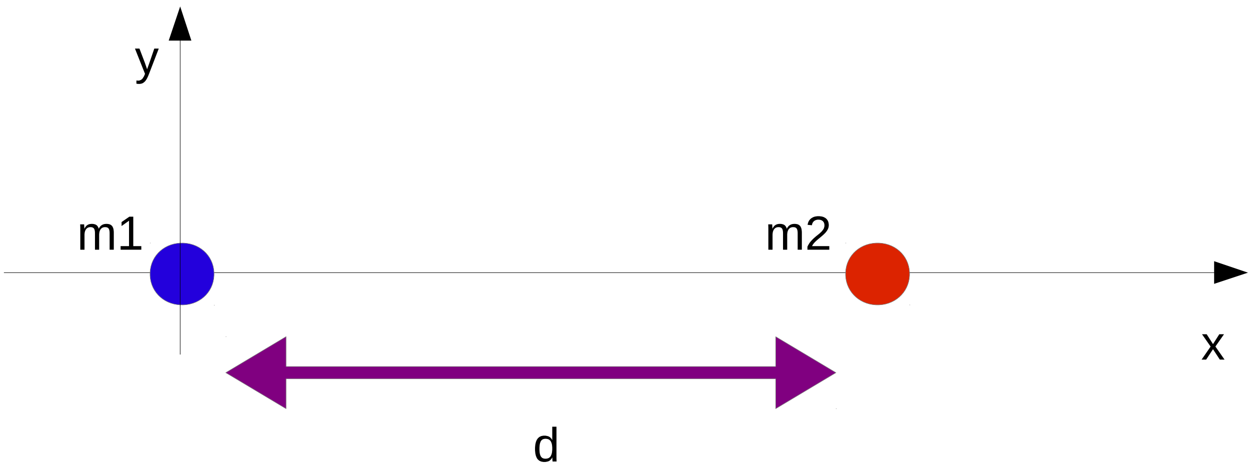
un tuffatore che salta dal trampolino : ogni parte del corpo si muove in modo diverso, seguendo traiettorie diverse.

Il centro di massa seguirà una traiettoria parabolica : tutte le altre parti si muovono attorno al centro di massa.



Centro di massa di un sistema di particelle

consideriamo un sistema di 2 particelle di massa m1 ed m2, separate da una distanza d. L'origine dell'asse x coincide con la posizione di m1.

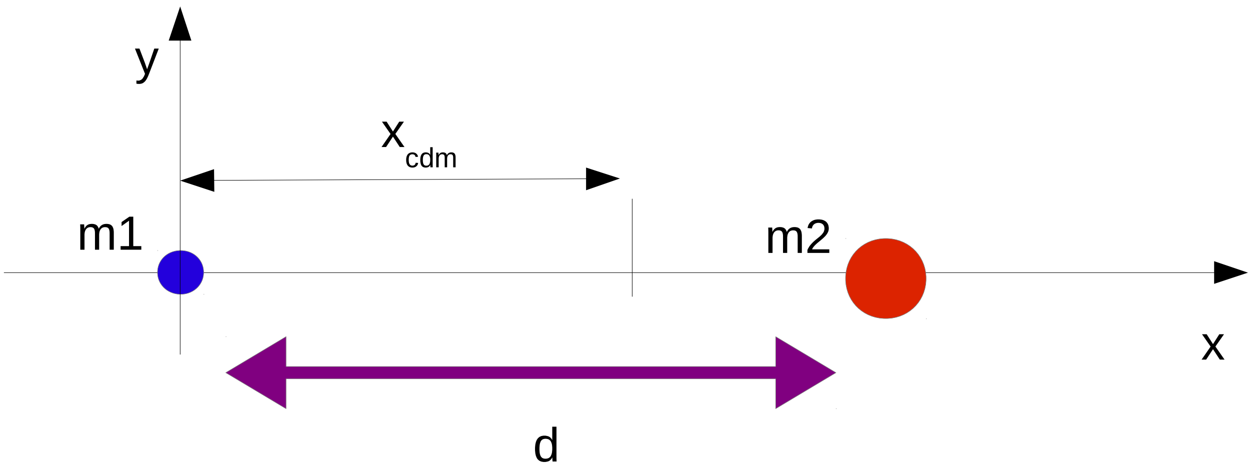


La posizione del centro di massa x_{cdm} di questo sistema di 2 punti materiali è :

$$x_{cdm} = \frac{m2}{m1 + m2} d$$

Centro di massa di un sistema di particelle

$$x_{cdm} = \frac{m2}{m1 + m2}\, d$$



Supponiamo che sia presente solo la particella m1 : in questo caso, il centro di massa deve coincidere con la posizione di m1, ed infatti l'equazione ci dice che se m2=0 → x_{cdm} = 0.

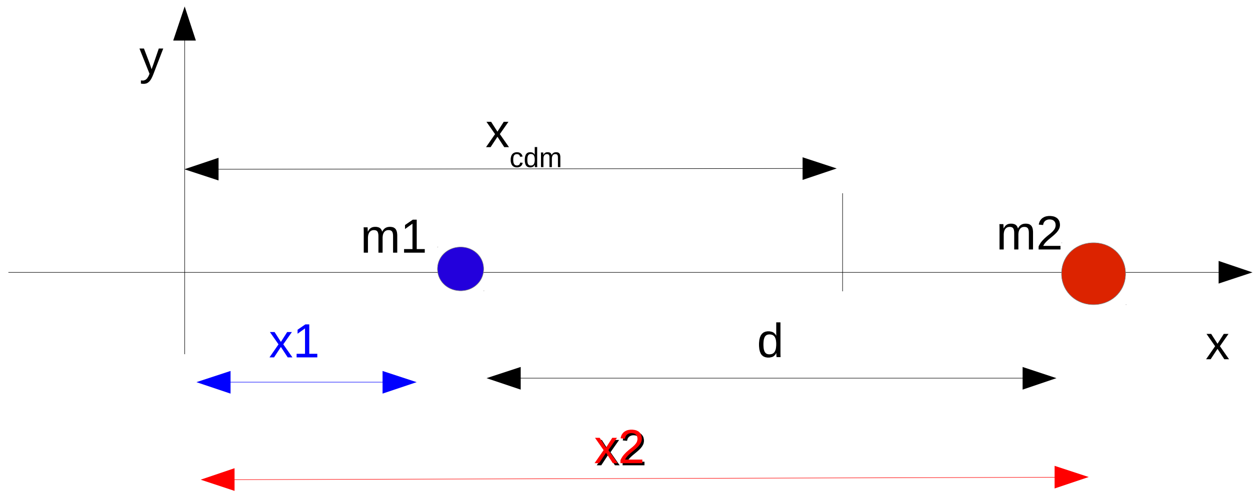
Se invece esiste solo m2 → m1 = 0, x_{cdm} = d

Se m1 = m2, possiamo intuire che il cdm si debba trovare esattamente a metà strada : infatti se m1 = m2 = m →x_{cdm} = [m/(2m)] d → d/2

Se m1 ed m2 ≠ 0, la posizione del cdm deve essere sempre compresa tra 0 e d, ovvero il centro di massa è sempre situato in un punto compreso tra le posizioni delle due particelle.

Centro di massa di un sistema di particelle
origine del sistema di riferimento traslata

consideriamo un sistema di 2 particelle di massa m1 ed m2, separate da una distanza d. L'origine dell'asse x NON coincide con la posizione di m1.



$$x_{cdm} = \frac{m1x1 + m2x2}{m1 + m2}$$

m1 + m2 = M

$$x_{cdm} = \frac{m1x1 + m2x2}{M}$$

se x1 = 0, ovvero se l'origine degli assi coincide con la posizione di m1, ricaviamo l'equazione precedente.

Centro di massa di un sistema di particelle

sistema di piu' particelle

Per un sistema di n particelle, possiamo generalizzare l'espressione precedente :

$$x_{cdm} = \left(\frac{m1x1 + m2x2 + m3x3 + \ldots\ldots + m_n x_n}{M} \right) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^{n} m_i x_i$$

Se le particelle sono distribuite in uno spazio tridimensionale, occorrono 3 coordinate per definire il centro di massa :

$$x_{cdm} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^{n} m_i x_i \qquad y_{cdm} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^{n} m_i y_i \qquad z_{cdm} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^{n} m_i z_i$$

Centro di massa di un sistema di particelle
notazione vettoriale

Per un sistema di n particelle, possiamo generalizzare l'espressione precedente :

$$x_{cdm} = \left(\frac{m1x1 + m2x2 + m3x3 + \ldots\ldots + m_n x_n}{M} \right) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^{n} m_i x_i$$

Se le particelle sono distribuite in uno spazio tridimensionale, occorrono 3 coordinate per definire il centro di massa :

usando la notazione vettoriale :

$$\mathbf{r}_{cdm} = x_{cdm}\,\mathbf{i} + y_{cdm}\,\mathbf{j} + z_{cdm}\,\mathbf{k}$$

quindi l'equazione che definisce la posizione del centro di massa puo' essere scritta così :

$$\mathbf{r}_{cdm} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^{n} m_i \mathbf{r}_i$$

Distribuzione continua di materia

Un oggetto qualsiasi contiene un numero enorme di particelle → puo' essere considerato come una distribuzione continua di materia. Le masse delle singole particelle sono infinitesime (m → d*m*) e al posto della sommatoria usiamo l'integrale.

In questo caso, le equazioni che descrivono la posizione del cdm si modificano come segue :

$$x_{cdm} = \frac{1}{M} \int x \, dm \qquad y_{cdm} = \frac{1}{M} \int y \, dm \qquad z_{cdm} = \frac{1}{M} \int z \, dm$$

Per ora prendiamo in considerazione solo oggetti UNIFORMI, cioè la cui densità ρ sia la stessa in qualsiasi punto dell'oggetto.

$$\rho = dm/dV = M/V$$

quindi possiamo scrivere le equazioni di sopra anche in funzione del volume :

$$x_{cdm} = \frac{1}{V} \int x \, dV \qquad y_{cdm} = \frac{1}{V} \int y \, dV \qquad z_{cdm} = \frac{1}{V} \int z \, dV$$

Verifica

1)Dove si trova il centro di massa della piastra del disegno?

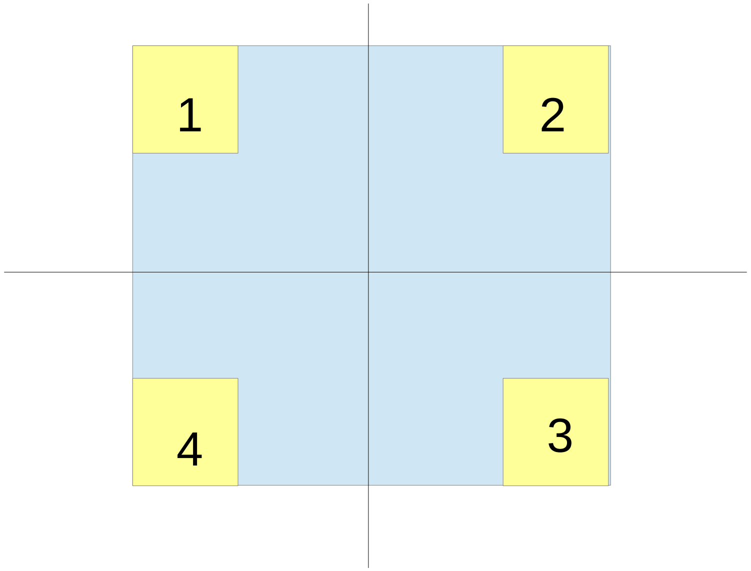
2)Dove si trova il cdm una volta rimosso :

a)Il quadratino 1

b)I quadratini 1 e 2

c)I quadratini 1 e 3

d)I quadratini 1,2 e 3



Problema svolto 9.1

Seconda legge di Newton per un sistema di punti materiali

Come si muove il centro di massa sotto l'azione di forze esterne?

Dato un sistema di punti materiali sottoposto all'azione di una forza esterna, l'equazione che governa il moto del suo centro di massa è :

$$\mathbf{F}_{net} = M\mathbf{a}_{cdm}$$

dove :

1. $\mathbf{F}_{net}$ è la somma vettoriale di tutte le forze esterne agenti sul sistema. Non vanno considerate le forze interne, ovvero quelle che i punti materiali del sistema esercitano tra loro!

2. M è la massa totale del sistema : deve restare invariata, nessuna massa deve entrare o lasciare il sistema che in questo caso si dice CHIUSO.

3. $\mathbf{a}_{cdm}$ è l'accelerazione del solo centro di massa del sistema.

come tutte le equazioni vettoriali, possiamo scriverla come 3 equazioni scalari :

$F_{net,x} = Ma_{cdm,x}$ $\quad$ $F_{net,y} = Ma_{cdm,y}$ $\quad$ $F_{net,z} = Ma_{cdm,z}$

Dimostrazione $F_{net} = ma_{cdm}$

Per un sistema di n particelle :

$$\mathbf{r}_{cdm} = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{n} m_i\mathbf{r}_i \quad \rightarrow \qquad M\mathbf{r}_{cdm} = \sum_{i=1}^{n} m_i\mathbf{r}_i = m_1\mathbf{r}_1 + m_2\mathbf{r}_2 + m_3\mathbf{r}_3 + \dots m_n\mathbf{r}_n$$

derivando la posizione di ciascuna particella i-esima rispetto al tempo : $\mathbf{v}_i = d\mathbf{r}_i/dt \rightarrow$

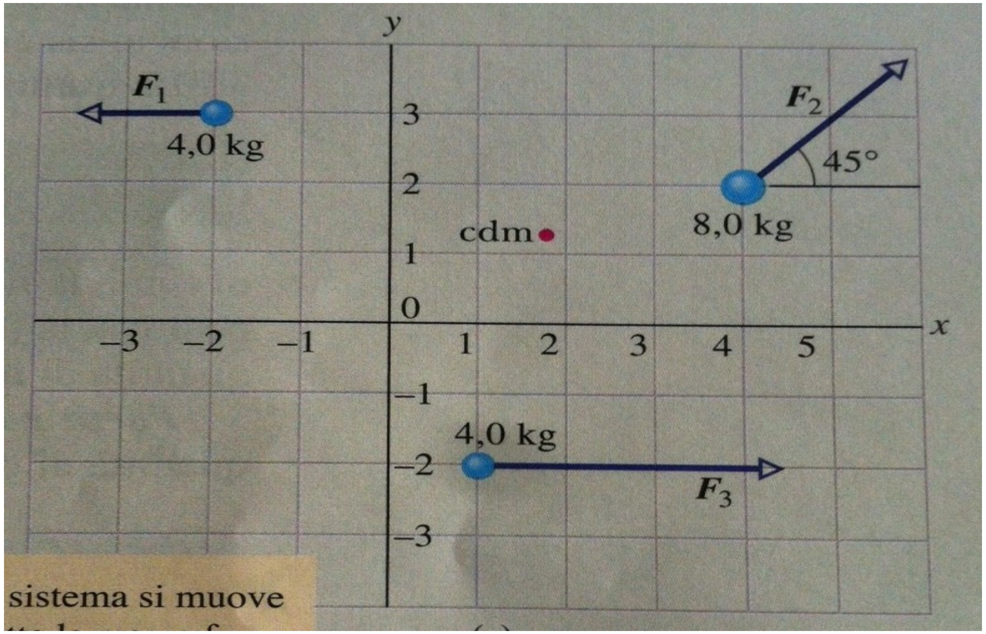
$$M\mathbf{v}_{cdm} = \sum_{i=1}^{n} m_i\mathbf{v}_i = m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2 + m_3\mathbf{v}_3 + \dots m_n\mathbf{v}_n$$

derivando ancora la velocità rispetto al tempo : $\mathbf{a}_i = d\mathbf{v}_i/dt \rightarrow$

$$M\mathbf{a}_{cdm} = \sum_{i=1}^{n} m_i\mathbf{a}_i = m_1\mathbf{a}_1 + m_2\mathbf{a}_2 + m_3\mathbf{a}_3 + \dots m_n\mathbf{a}_n = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 + \dots \mathbf{F}_n = \mathbf{F}_{net}$$

queste forze sono sia interne che esterne. Per il principio di azione e reazione, le forze interne si annullano in coppie azione-reazione
Restano quindi solo le forze esterne

Esercizio svolto 9.3
moto del centro di massa di 3 particelle



Sistema di 3 particelle, ciascuna soggetta all'azione di una forza esterna.
Tutte le particelle sono inizialmente a riposo.

F1 = 6,0 N
F2 = 12 N
F3 = 14 N

qual è l'accelerazione del centro di massa e in che direzione si muove?

Quantità di moto di un corpo puntiforme

La quantità di moto di una particella è :

$$\vec{\mathbf{p}} = m\vec{\mathbf{v}}$$

- E' una grandezza vettoriale o scalare?
- Che direzione e verso ha ?
- Qual è la sua unità di misura nel S.I.?

La quantità di moto è detta anche *momento lineare* della particella.

Quantità di moto di un corpo puntiforme

La quantità di moto di una particella è :

$$\vec{\mathbf{p}} = m\vec{\mathbf{v}}$$

- E' una grandezza vettoriale
- Ha stessa direzione e verso del vettore velocità della particella
- La sua unità di misura è il kg · m/s

La quantità di moto è detta anche <u>*momento lineare*</u> della particella.

Relazione tra forza e quantità di moto per un punto materiale

La quantità di moto di una particella è :

$$\vec{\mathbf{p}} = m\vec{\mathbf{v}}$$

La seconda legge di Newton $\mathbf{F}_{\mathbf{net}} = m\mathbf{a}$ puo' essere espressa anche così :

$$\mathbf{F}_{net} = d\mathbf{p}/dt$$

E' facile infatti dimostrare che $\mathbf{F}_{net} = d\mathbf{p}/dt = d(m\mathbf{v})/dt = m(d\mathbf{v}/dt) = m\mathbf{a}$

La rapidità di variazione della quantità di moto una particella è proporzionale alla forza netta che agisce sulla particella ed ha la stessa direzione di quella forza

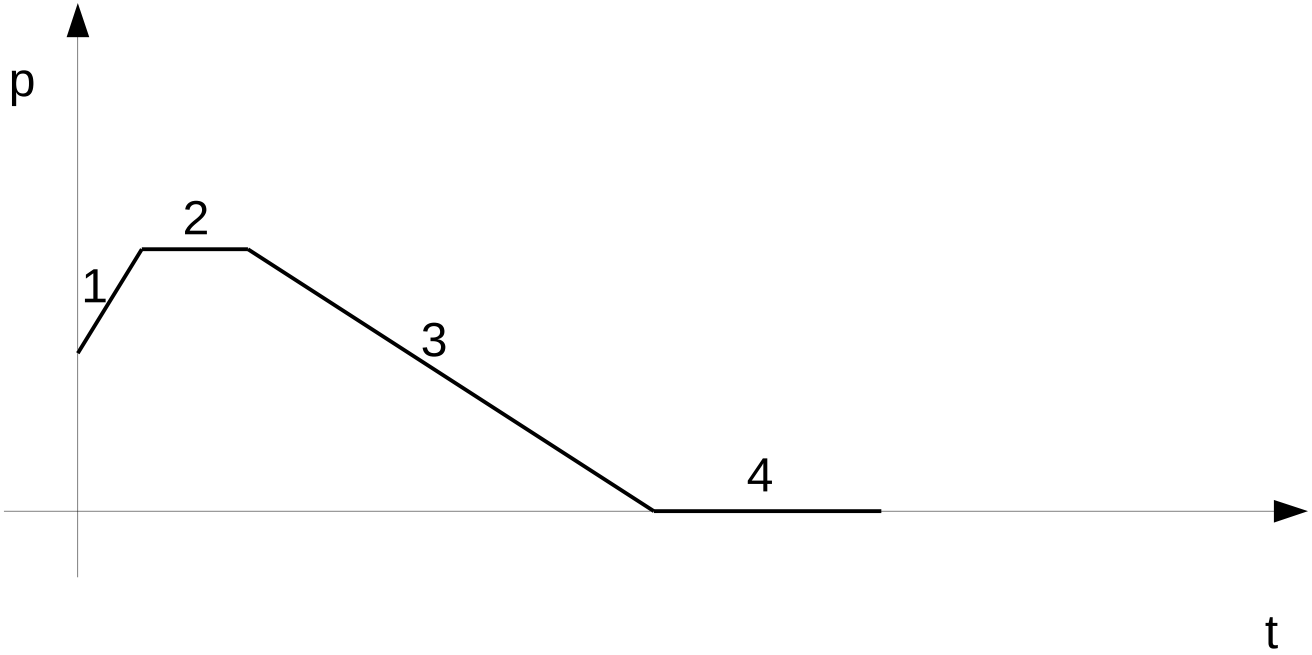
Quando sulla particella agisce una forza esterna, la sua quantità di moto cambia. Viceversa, la quantità di moto puo' variare solo in presenza di una forza esterna, altrimenti resta costante.

Verifica

In figura è riportato l'andamento della quantità di moto di una particella che si muove lungo l'asse x in funzione del tempo. Su di essa agisce una forza diretta lungo lo stesso asse.

a) Ordinate le regioni indicate secondo valori decrescenti del modulo della forza

b) In quali regioni la particella rallenta?



Verifica

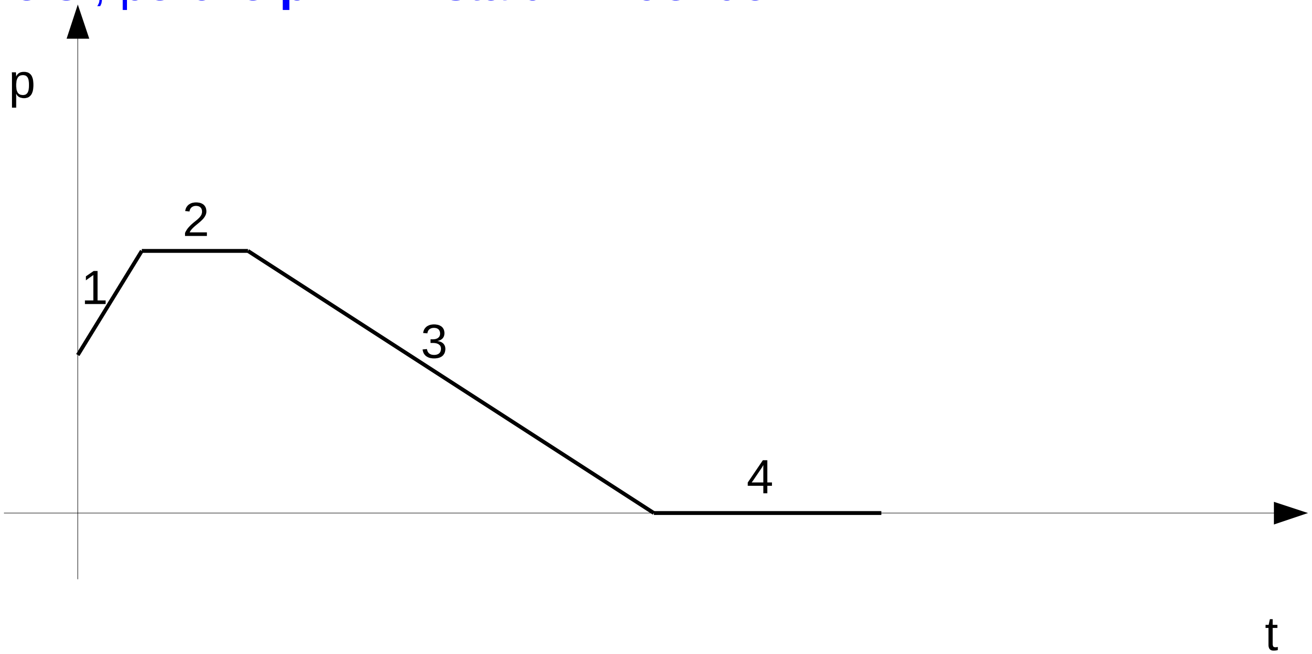
In figura è riportato l'andamento della quantità di moto di una particella che si muove lungo l'asse x in funzione del tempo. Su di essa agisce una forza diretta lungo lo stesso asse.

a) Ordinate le regioni indicate secondo valori decrescenti del modulo della forza

il modulo della forza è la rapidità di variazione di **p** : 1, 3, 2 e 4 (uguali)

b) In quali regioni la particella rallenta?

nella regione 3 , perché **p** = m**v** sta diminuendo



Quantità di moto di un sistema di punti materiali

Consideriamo un sistema di punti materiali, ciascuno con una propria massa, velocità e quantità di moto.

I punti materiali possono interagire tra di loro ed essere soggetti all'azione di una o piu' forze esterne

La quantità di moto del sistema è :

$$\mathbf{P} = \mathbf{p}1 + \mathbf{p}2 + \mathbf{p}3 + \dots\ \mathbf{p}N = m_1\mathbf{v_1} + m_2\mathbf{v_2} + \dots. + m_N\mathbf{v_N}$$

da cui → $\mathbf{P} = M\,\mathbf{v_{cdm}}$

La quantità di moto di un sistema di particelle è uguale al prodotto della massa totale del sistema per la velocità del suo centro di massa

Relazione tra forza e quantità di moto di un sistema di punti materiali

Derivando l'espressione precedente :

$$\mathbf{P} = M\,\mathbf{v}_{cdm} \rightarrow d\mathbf{P}/dt = M\,d\mathbf{v}_{cdm}/dt = M\mathbf{a}_{cdm}$$

La seconda legge di Newton per un sistema di punti materiali è

$$\mathbf{F}_{net} = d\mathbf{P}/dt$$

in cui $\mathbf{F}_{net}$ è la forza risultante esterna che agisce sul sistema di particelle.