3 - LEGGI DI NEWTON

3,1 INTRODUZIONE

La **DINAMICA** è la parte della Fisica classica che studia il moto di un corpo o di un sistema, in base alle cause che lo determinano e lo condizionano. Queste possono essere schematizzate e formalizzate da ciò che viene definito " **FORZA** ".

Lanciamo un bastone in aria e osserviamo il suo moto. Come "insieme" ha un moto parabolico, ma se osservato più in dettaglio notiamo che ha anche un moto rotatorio "su se stesso". Questo per dire che in generale il moto può essere assai complesso, ma comunque lo possiamo interpretare come la somma di due moti (principio di sovrapposizione) di un **moto puramente traslazionale** (il moto parabolico), tipico del punto materiale che nel caso di corpi estesi o sistema di corpi studieremo come **moto del centro di massa**, ed un **moto puramente rotazionale**, che avviene attorno al centro di massa, se il corpo è libero di muoversi, o attorno ad un vincolo, detto polo, nel caso che il corpo sia vincolato a particolari traiettorie.

Possiamo quindi pensare di studiare la **DINAMICA** **esaminando separatamente questi moti, cioè il moto puramente traslazionale** (per cui vale sempre l'approssimazione di punto materiale), ed **il moto puramente rotazionale attorno ad un asse fisso**. L'estensione ad un moto generale più complesso sarà poi ovvia.

La dinamica del punto materiale, formalmente più semplice, ci permette di introdurre concetti fondamentali della dinamica come FORZA, ENERGIA, LAVORO (di una forza), QUANTITA' Di MOTO, ecc.. Questi concetti poi verranno estesi allo studio del moto di corpi rigidi o sistemi di punti materiali in maniera più completa ed approfondita che tenga conto delle struttura e forma del sistema in esame.

3,2 LEGGI DI NEWTON

La **DINAMICA** si basa su **tre principi** fondamentali, noti come " **Leggi di Newton** ", che come tutti i principi in Fisica sono la generalizzazione di fatti sperimentali. E' opportuno osservare che tali leggi vanno viste come **" un sistema di leggi reciprocamente correlate** " e non enunciazioni isolate e scorrelate; **cioè se sottoponiamo a verifica sperimentale una di tale leggi, non possiamo prescindere dall'accettare verificata anche le altre due**.

Quando diciamo che al **FORZA è la causa del moto**, intendiamo che il fatto che un corpo si metta in movimento o il moto descriva una certa traiettoria, dipende dalle interazione con il mondo esterno , cioè dalle **FORZE**. Ricordiamo che studiare il moto significa poter determinare posizione, velocità e accelerazione di un corpo **noto il suo stato iniziale** e che questi parametri **puramente cinematici** sono in ultima analisi ricavabili **conoscendo li vettore l'accelerazione**. Quindi alla **FORZA** sarà strettamente collegata l'accelerazione. La relazione tra forze applicate (o risultante delle forze) e accelerazione acquistata dal corpo, verrà espressa da una certa proprietà dei corpo che definiremo **MASSA** del corpo.

Le leggi della meccanica derivano da due sotto-insiemi di leggi: **Legge delle Forze** e **Legge del Moto** che possono essere così lette:

a) (Legge delle forze). L'interazione tra ambiente e corpo viene schematizzata con la Forza. Note le proprietà del corpo e dell'ambiente in cui il corpo si muove, si deve determinare il modo di valutare la forza ad esso applicata
b) (Legge del moto). La Forza si manifesta imprimendo al corpo una accelerazione (e non una velocità). Nota la forza che agisce sul corpo si deve determinare il modo di calcolare l'accelerazione prodotta

Possiamo esaminare più ampiamente tali concetti esaminando separatamente le tra Leggi, tenendo sempre presente che costituiscono un sistema di leggi strettamente correlato.

3,3 1^a LEGGE di NEWTON o PRINCIPIO DI INERZIA

Può essere enunciata nel modo seguente: " **Ogni corpo (o punto materiale) non sottoposto a forze esterne si trova in stato di quiete o moto rettilineo uniforme** ", che significa anche che possiamo avere moto anche senza forze applicate.

Altro non è che la **Legge di inerzia** di Galileo, dove per " inerzia " si intende la " resistenza " ad un cambiamento dello stato (posizione, velocità e accelerazione) del corpo. Questo enunciato ci dice che se non ci sono forze (o più in generale se la risultante delle forze applicate è nulla), o il corpo è in equilibrio stabile (sempre fermo) o se è in moto e quindi ha velocità non nulla, allora il moto è necessariamente rettilineo e uniforme, cioè $\vec{\mathbf{a}} = \mathbf{0}$

La **1^a Legge della Dinamica** può essere formalizzata nel modo seguente:

$$\boxed{\sum \vec{\mathbf{F}} = \mathbf{0} \quad \Leftrightarrow \quad \vec{\mathbf{a}} = \mathbf{0}} \qquad \textbf{(3,1)}$$

Apparentemente la I^a Legge della Dinamica non ci fornisce alcun mezzo che possa essere direttamente utilizzata nella soluzione dei problemi di Dinamica e quindi si tende a dargli una importanza relativa. In realtà **la I^a Legge della Dinamica definisce proprio il sistema di riferimento nel quale devono essere scritte le leggi del moto e nel quale le leggi del moto sono valide.**

Sistema di riferimento inerziale è quel sistema di riferimento nel quale vale la I^a Legge. Cioè,fissato il sistema di riferimento spazio-temporale per studiare il moto di un punto materiale (o più generale un corpo), è proprio vero che se sono nelle condizioni per cui vale la relazione $\sum \vec{\mathbf{F}} = \mathbf{0}$, constato sperimentalmente che è proprio $\vec{\mathbf{a}} = \mathbf{0}$? Se ciò è vero, il sistema di riferimento scelto per studiare il moto è un sistema di riferimento inerziale.

La condizione $\sum \vec{\mathbf{F}} = \mathbf{0}$ è possibile se un corpo non interagisce in alcun modo con l'esterno, e allora si dice "**isolato**" oppure è soggetto a più interazioni contemporaneamente i cui effetti si escludano a vicenda. Nella nostra realtà può accadere solo il secondo caso. Un esempio molto semplice è il seguente: un oggetto sollevato nella mia mano è fermo, cioè in **quiete**. Tuttavia io mi stanco, cioè faccio uno sforzo per sostenere il sasso e quindi mi accorgo che deve esserci una " forza " intesa proprio in senso primitivo legato al concetto di sforzo muscolare, applicata al sasso. Possiamo giungere alla conclusione che ci siano **più interazioni che si compensano** a vicenda. Una interazione è sicuramente quella della mia mano, infatti se tolgo la mano il sasso cade, ma le altre? Apparentemente quando il sasso cade non "vedo" nessuna interazione con altri corpi o sistemi. Questo mi suggerisce che possono esistere delle **interazioni a distanza** ; sono prodotte da quelle grandezze fisiche che chiameremo **campi**.

Per capire che cosa si intende per "verifica se vale il Principio di inerzia", consideriamo il seguente esperimento. Dischetti metallici appoggiati a pastiglie di ghiaccio secco, possono scorrere sopra un piano il più liscio possibile. Il ghiaccio secco fondendo forma uno stato di aria al di sotto dei dischetti per cui possono galleggiare senza contatto con il piano. Possiamo considerarli preticamente "**isolati**". Viene dato un impulso ai dischetti per cui acquistano una certa velocità (l'impulso non è una forza; in realtà vedremo che si può definire l'impulso di una forza. L'impulso fornisce accelerazione, nel senso che fa variare il modulo di una velocità, che è $\neq 0$ solo nel brevissimo intervallo di tempo in cui agisce l'impulso). La velocità può essere misurata fotografando la loro posizione rispetto un'asta graduata mentre la traiettoria può essere valutata sempre rispetto ad un sistema di riferimenti visivi. Il tempo di flash della macchina costituisce l'orologio per a misura del tempo. Nelle migliori condizioni sperimentali, con una velocità iniziale di **1 m/sec** si è giunti ad osservare un moto rettilineo e uniforme con una variazione velocità, su distanze di 4 metri, inferiore all'**1%**. Questo significa che se il piano fosse stato sufficientemente esteso, mi sarei aspettato un moto rettilineo di circa 200 m nonostante la modesta velocità iniziale. $[(\mathbf{v}_{xf}^{\,2} = \mathbf{v}_{x0}^{\,2} + 2\,\mathbf{a}_x(\mathbf{x}_f - \mathbf{x}_0)]$

Questo ci permette di dire che per moti su distanze dell'ordine dei metri, quindi considerando un **moto locale** e in quelle condizioni sperimentali, il principio di inerzia risulta valido.

Se ripetiamo l'esperimento utilizzando un tavolo lungo un centinaio di metri, ripetendo l'esperimento si trova che la traiettoria del moto, non più locale, è una curva percorsa a velocità costante solo in modulo. La curvatura su un centinaio di metri risulta di qualche grado; **ci deve essere una accelerazione radiale non nulla**. Quindi pur rimanendo uguali (in impulso e modalità di movimento) le condizioni sperimentali, il che sembrerebbe la cosa più importante, **questa volta il principio di inerzia non risulta più verificato non avendo più un moto rettilineo e uniforme**. Il moto risultante e lo stesso di quello risultante da un moto rettilineo e uniforme rispetto ad un piano fisso ed il moto, sempre uniforme, dovuto alla rotazione del piano. In questo caso i blocchetti si muovono restando praticamente sospesi sul cuscino di gas e quindi dal tavolo solidale con la terra e durante lo spostamento il sistema di riferimento fisso rispetto alla terra ruota con la terra sotto i blocchetti.

Possiamo concludere dicendo che in tutte le esperienze terrestri, su intervalli di tempo di ore e in regioni di spazio "locali" (centinaia di metri; che sono poi quelli che in pratica si studiano in meccanica classica), può essere trascurato l'effetto della rotazione terrestre e il sistema solidale con la terra (sistema di laboratorio) costituisce un sistema di riferimento inerziale. Per moti più estesi (chilometri) sarebbe più opportuno il sistema delle stelle fisse (centro nel sole e direzione verso due stelle fisse), che però crolla per moti intergalattici).

Si può inoltre dimostrare, dalle relazioni cinematiche sui moti relativi di sistemi di riferimento, che sistemi di riferimento in moto relativo con vettore velocità costante tra loro o con un sistema fisso ($\vec{\mathbf{v}}_{\mathbf{tra}} = \mathbf{cost}$), sono ancora sistemi di riferimento inerziali.

3,4 2^a LEGGE di NEWTON o LEGGE FONDAMENTALE DELLA DINAMICA

E' detta "**legge fondamentale della dinamica**" perché ci permette di ricavare le relazioni da cui determinare l'accelerazione e quindi il moto cui è soggetto un corpo, in relazione alle cause che lo determinano o lo influenzano. Questa legge verrà formalizzata in maniera leggermente diversa a seconda del sistema che si sta studiando (punto materiale, insieme di punti materiali, corpo rigido vincolato o libero). E' pertanto fondamentale definire correttamente il di **sistema** che si sta studiando.

Prima di formulare la 2^a Legge di Newton è opportuno fare alcune osservazioni per illustrare i concetti di **Forza** e **Massa**.

- **Forza**.

  Individuiamo nella "Forza" la causa che determina l'accelerazione di un corpo. Analogamente un corpo in quiete si mette in moto, perché su di esso inizia ad agire una forza. Queste forze sono la conseguenza di interazioni che il corpo ha con l'esterno, o in sistema di corpi anche tra di loro. Sono le "**leggi delle forze**" che ci forniscono i criteri per formalizzare queste interazioni che possono anche derivare da puri dati sperimentali (es. forze elastiche).

  Possiamo definire la **Forza** che si manifesta su un corpo come la **misura dell'interazione** che avviene su di esso da parte di un "sistema esterno" . Non necessariamente questa interazione avviene per contatto diretto ma può avvenire anche a distanza (es. forze dovute a "Campi").

  Tutte le forze naturali oggi conosciute si possono suddividere tra: **forze gravitazionali**, **elettromagnetiche**, **nucleari deboli** e **interazioni forti** (tra particelle elementari). Le ultime due si manifestano solo a distanze inferiori a 10^{-12} cm. Le forze gravitazionale ed elettromagnetiche derivano da un'azione la cui intensità decresce con il quadrato delle distanza.

  In meccanica intervengono solamente i primi due tipi di forza: **gravitazionale**, dovuta all'effetto della massa della terra su tutti i corpi e che conferisce un **Peso** a tutti i corpi; **elettromagnetiche**, che derivano dalle reciproche interazioni tra le molecole dei corpi. Di natura elettromagnetica sono tutte le forze dovute a contatto diretto tra i corpi (elastiche o di attrito).

Il fatto che la forza si manifesti con una accelerazione ci autorizza a dire che la **forza è un vettore** con la stessa direzione e verso dell'accelerazione che da essa deriva. Questa affermazione risulta verificata sperimentalmente. In realtà **sarebbe più corretto dire che è l'accelerazione ad avere la stessa direzione e verso della forza che la produce**. Non e detto però che coincida con la direzione e verso del moto.

- **Massa**.

Arrestare un carrello pieno, risulta più difficile che non arrestare un carrello vuoto anche se questi sono perfettamente identici e si muovono con la stessa velocità. Questa differenza la attribuiamo ad una diversa proprietà dei due carrelli che chiamiamo "**Massa**". Il carrello pieno ha massa superiore al carrello vuoto.

Possiamo allora definire "**Massa inerziale**" una proprietà che hanno tutti i corpi e che è indice della difficoltà a variare il suo moto. In altre parole la "**Massa inerziale**" è la **misura dell'inerzia del corpo a variare il suo stato di quiete o moto rettilineo e uniforme**. Si può dimostrare che essa è una proprietà intrinseca dei corpi e dipende solo dal loro **volume V** e dal tipo di materiale con cui sono composti, cioè la **densità** δ. Vale la relazione: $\mathbf{m} = \delta \cdot \mathbf{V}$

2ª Legge di Newton

Possiamo ora enunciare la **2ª Legge delle Dinamica** nel modo seguente: " **L'accelerazione che subisce un corpo è proporzionale alla risultante delle forze ad esso applicate** ".

La **2ª Legge delle Dinamica** può essere formalizzata nel modo seguente:

$$\boxed{\sum \vec{\mathbf{F}} = \mathbf{m} \cdot \vec{\mathbf{a}}} \qquad \mathbf{(3,2)}$$

Nel **Sistema Internazionale** (S.I.) la forza si misura in **Newton (N)**

$$[\mathbf{N}] = [\mathbf{Kg}] \cdot [\mathbf{l}] \cdot [\mathbf{t}]^{-2}$$

La forza di **1 N** imprime ad una massa di **1 Kg** un'accelerazione di **1 m/s²**

OSSERVAZIONI

a) Da quanto scritto sembrerebbe che la **(3,1)** sia un caso particolare della **(3,2)**, cioè quando $\vec{\mathbf{a}} = \mathbf{0}$. In realtà la **validità e l'importanza** della 1ª Legge sono **indipendenti** dalla 2ª Legge. La 1ª Legge della Dinamica **definisce il sistema di riferimento** nel quale devono essere scritte le leggi del moto, cioè i vari vettori $\vec{\mathbf{a}}$ e $\vec{\mathbf{F}}$ vanno scritti riportandoli in un sistema di riferimento per il quale valga il principio di inerzia. Se ciò non fosse, per mettendoci in condizioni sperimentali identiche, cioè a parità interazioni del sistema con l'esterno, troveremmo valori differenti per l'accelerazione $\vec{\mathbf{a}}$ del sistema.

Infatti, ripensiamo **all'esercizio del sasso lanciato dall'uomo sul carrello** in moto rettilineo uniformemente accelerato. Riferiamoci al moto lungo l'asse x. Per l'osservatore solitale con il terreno, il moto del sasso, secondo l'asse x, risulta un moto uniforme, mentre per l'uomo su carrello risulta uniformemente accelerato.

Si dimostra che **sistemi di riferimento anche in moto**, ma con velocità $\vec{\mathbf{v}} = \mathbf{Cost}$, cioè **rettilineo e uniforme**, costituiscono ancora **sistemi di riferimento inerziali**.

b) la $\sum \vec{\mathbf{F}} = \mathbf{m} \cdot \vec{\mathbf{a}}$ è una legge sperimentale dedotta dal moto di un punto soggetto ad una forza, ma è anche una legge vettoriale, cioè questa relazione equivale sempre a tre equazioni relative ai tre moti proiettati sugli assi (principio di sovrapposizione).

c) **La Forza si manifesta attraverso una accelerazione $\vec{a}$, cioè un vettore che risulta ad essa proporzionale; la costante di proporzionalità è la massa (inerziale).** La forza è un vettore applicato che ha la stessa direzione e verso dell'accelerazione istantanea del corpo.

3,5 3ª LEGGE DI NEWTON o PRINCIPIO DI AZIONE E REAZIONE

Il soggetto della 1ª e 2ª Legge della Dinamica è il corpo o il sistema in esame. L'interazione con l'esterno si formalizza con una forze e si manifesta attraverso l'accelerazione che il sistema subisce nulla ci dicono di che cosa subisce il sistema interagente.

La **3ª Legge della Dinamica** vede l'interazione da entrambe le parti e stabilisce proprio una relazione tra le forze che intervengono in queste interazioni a due corpi. La possiamo enunciare nel modo seguente: " **Ad ogni azione corrisponde una reazione uguale e contraria; le azioni tra due corpi sono sempre uguali in modulo e dirette in versi opposti** ".

Formalmente possiamo scrivere:

$$\boxed{\vec{F}_{A(B)} = -\vec{F}_{B(A)}}$$

Quando ci sono delle **interazioni**, le forze **compaiono sempre a coppie**. Si deve notare che **tali forze sono applicate a corpi diversi**.

OSSERVAZIONE FINALE

Ricordiamo che il **problema generale della dinamica** consiste nel determinare il moto di un corpo. Noto lo stato dinamico di un corpo ad un certo istante e le forze ad esso applicate, risolvendo **l'equazione del moto** si determina l'accelerazione cui è soggetto il corpo. **Se le forze che intervengono sono costanti**, dalla 2ª Legge di Newton deduciamo che **anche l'accelerazione è costante**. Ricavata l'accelerazione si è in grado di stabilire il tipo di moto e determinare lo stato del sistema ad un qualunque altro istante. Nel caso in cui le forze non fossero costanti, qualora avessimo informazioni sufficiente per sapere come esse variano nel tempo, saremmo in grado di ripetere lo stesso procedimenti istante per istante.

Generalmente **tratteremo solo casi di forze costanti nel tempo e quindi le accelerazioni che si ricaveranno saranno poi costanti** e quindi studieremo moti uniformemente accelerati. Allora, noto il vettore accelerazione, attraverso le relazioni puramente cinematiche che abbiamo visto e che legano accelerazione a velocità e quindi al raggio vettore, siamo in grado di determinare istante per istante lo stato del corpo.

Vedremo solo un caso particolare di **forza variabile ma nello spazio**, **cioè le forza elastica**, che però presenta alcune importanti proprietà.

Faremo cenno a particolari forze variabili nel tempo, ma di durata brevissima e che vengono dette **forze impulsive**, delle quali si potranno avere valori medie.

E' importante osservare che nei casi reali di moto si hanno delle generalizzazioni dei casi precedenti. Qualora le informazioni in nostro possesso siano sufficienti, i problemi reali di fatto presentano sono una maggior complessità analitica ma non concettuale.

3,5 IMPULSO E QUANTITA' DI MOTO

Nell'introdurre la Cinematica è stato detto che lo stato "meccanico" di un corpo trattato come punto materiale è completamente individuato quando sono note la posizione, la velocità e l'accelerazione e va notato che la **trattazione cinematica**, non tenendo conto delle cause del moto, cioè le forze, **trascura completamente la massa** dei corpi. Per una trattazione " dinamica " del moto la massa non può essere trascurata e quindi è più opportuno parlare di uno "**stato dinamico**" dei corpi anche se trattati come punti materiali (trascurando semplicemente la forma e dimensione geometrica).

Definiamo una nuova grandezza fisica detta " **Quantità di moto** $\vec{p}$ " e espressa da:

$$\boxed{\vec{p} = m \cdot \vec{v}}$$

che rappresenta un vettore che ha come **modulo** $|\vec{p}| = m \cdot |\vec{v}|$ e **direzione e verso** quello della velocità istantanea nel punto considerato.

La **dimensione** delle Quantità di Moto è data da:

$$[p] = [m] \cdot [l] \cdot [t]^{-1}$$

e nel **S.I.** si misura in **Kg · m/s** o **N · s**

Tenendo conto delle relazioni puramente cinematiche tra velocità e accelerazione possiamo scrivere:

$$m \cdot \vec{a} = m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} = m \cdot \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$$

che nel caso di **massa costante** e ricordando la definizione di "Quantità di moto" si può scrivere:

$$m \cdot \vec{a} = m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d(m \cdot \vec{v})}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

Allora la **2ª Legge di Newton** può essere espressa in nuova forma

$$\boxed{\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}}$$

che può essere letta nel modo seguente: " **la risultante delle forze applicate ad un corpo di massa m è uguale alla derivata della quantità di moto associata al corpo** "

Questa rappresenta **l'espressione più generale della legge fondamentale del moto** e ha validità più generale in quanto è applicabili anche nei casi di sistemi a massa variabile (si pensi al moto di un'auto la cui massa durante il moto diminuisce per effetto del consumo di carburante).

Nell'approssimazione di punto materiale, cioè sistema privo di struttura, ma non di massa, **la massa è sempre costante** e quindi le due **espressioni della 2ª Legge di Newton sono del tutto equivalenti** .

Tuttavia ci sono (**dinamica dei sistemi di punti materiali**) casi un cui la nuova espressione della **2ª Legge di Newton** ci fornisce utili informazioni circa le forze che agiscono su un sistema.

Osserviamo che la **2ª Legge di Newton** può essere utilizzata in due modi:

a) **note le forze**, possiamo ricavare l'accelerazione $\vec{a}$ che agisce sulla massa m;
b) **nota l'accelerazione**, possiamo avere informazioni sulla forza risultante che agisce sul sistema.

Ci sono delle forze particolari, dette " **Forze Impulsive**" che presentano due problemi:

a) agiscono per tempi estremamente brevi (centesimi di secondo);
b) variano durante la loro azione e generalmente sono **funzioni del tempo**.

Inoltre **queste forze praticamente mai conosciute a priori**, proprio per il fatto che agiscono per tempi molto brevi, non producono variazioni di direzione di moto apprezzabili, ma hanno effetti notevoli per esempio sul verso del moto o producono repentine variazioni di velocità. Si pensi per esempio al colpo di racchetta o alla bocciata a biliardo.

Nel caso quindi di **Forze Impulsive**, la relazione $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$ si può rileggere nel modo seguente: " **la risultante delle forze applicata ad un corpo equivale al rapporto tra la variazione della quantità di moto associata al corpo e il tempo in cui tale variazione avviene** "

Possiamo riscrivere la precedente relazione nella forma:

$$\sum \vec{F} \cdot dt = d\vec{p}$$

che evidenzia la relazione tra forza applicata, durata dell'interazione e variazione della quantità di moto e che va letta nel modo seguente:
" **l'azione di una forza che dura per un tempo infinitesimo dt, produce una variazione infinitesima di quantità di moto $d\vec{p}$** "

Allora se la forza agisce per un tempo molto breve, ma comunque finito e misurabile, $\Delta t = t_0 - t$, possiamo avere:

$$\int_{t_0}^{t} \vec{F} \cdot dt = \int_{t_0}^{t} d\vec{p} = \vec{p} - \vec{p}_0 = \Delta\vec{p}$$

Definiamo " **Impulso di una forza** " la quantità :

$$\boxed{\vec{J} = \int_{t_0}^{t} \vec{F} \cdot dt}$$

e allora possiamo dire che " **L'impulso di una forza applicata ad una corpo di massa m provoca la variazione della sua quantità di moto**" data da:

$$\vec{J} = \Delta\vec{p} = m(\vec{v} - \vec{v}_0) = m\Delta\vec{v}$$

Ricordando che:

$$\int_{t_0}^{t} \vec{F} \cdot dt = \overline{\vec{F}} \cdot \Delta t$$

Possiamo scrivere:

$$\vec{\mathbf{J}} = \int_{t_0}^{t} \vec{\mathbf{F}} \cdot \mathbf{dt} = \overline{\vec{\mathbf{F}}} \cdot \Delta\mathbf{t} = \Delta\vec{\mathbf{p}}$$

e quindi **conoscendo la durata dell'interazione di una forza impulsiva e misurando la variazione della quantità di moto che essa produce, possiamo ricavare il valore della forza media applicata al corpo**.

OSSERVAZIONI

a) Bisogna sempre ricordare che tutte le **relazioni scritte sono relazioni vettoriali che quindi equivalgono a sistemi di equazioni scalari** corrispondenti alle componenti del moto secondo gli assi del sistema di riferimento fissato. Per poter effettivamente utilizzare le relazioni scritte, dobbiamo esplicitare le componenti dei vettori che intervengono.

b) Tutto quanto è stato fino ad ora scritto circa le leggi del moto e le **relazioni trovate sono del tutto generali** in quanto si basano solo su definizioni di grandezze fisiche e su relazioni formali. Questo significa che formalmente queste relazioni potranno avere forme particolari a seconda del particolare moto o sistema che si sta studiando (per es. moto del punto materiale, moto del sistemi di punti materiali, moto del corpo rigido libero o vincolato). Quindi quando si deve risolvere qualche problema, per poster scrivere le relazioni nella forma corretta, sarà fondamentale saper inquadrare quale tipo di moto e a quale sistema si applichino le leggi del moto.