

# Introduzione alla dinamica

*Luciano Battaia*

Versione del: 12 gennaio 2007

# *Il problema del sistema di riferimento*

Introduzione

❖ Sistema di Rif.

❖ Basi logiche

I principi

Es. di interazioni

Problemi

- In cinematica tutti i sistemi di riferimento sono assolutamente equivalenti: il problema è solo quello di descrivere il moto da un assegnato punto di osservazione.
- Poiché il moto cambia al cambiare del S.R., il legame tra le cause del moto e il moto stesso sarà diverso a seconda del S.R. Per costruire la dinamica avremo dunque bisogno di precisare la scelta del S.R.

# *Necessità di fondare la dinamica su basi logicamente corrette*

## Introduzione

❖ Sistema di Rif.

## ❖ Basi logiche

I principi

Es. di interazioni

Problemi

- Il problema è estremamente complicato e non si può dare una ricetta semplice come per la geometria. Ci arriveremo per approssimazioni successive.
- Seguiremo una strada che, seppur non esente da critiche, è sostanzialmente accettabile dal punto di vista della logica, è sufficientemente semplice da essere trattata al livello di Scuola Media Superiore , è quella più diffusa, infine prende dal modello di Newton tutto quello che si può conservare.

# Il primo principio

Introduzione

**I principi**

❖ **Il 1° principio**

- ❖ Osservazioni
- ❖ Massa
- ❖ Massa Inerziale
- ❖ Massa inerz.(2)
- ❖ M.inerz-M.grav.
- ❖ Il 2° principio
- ❖ Il 3° principio
- ❖ Az.a distanza
- ❖ Progr.per mecc.
- ❖ S.R.inerziali

Es. di interazioni

Problemi

Esistenza di un sistema di riferimento “speciale”.

**Esiste un S.R., detto INERZIALE, nel quale un corpo, posto a distanza infinita da ogni altro corpo, si muove di moto rettilineo ed uniforme.**

# Osservazioni sul primo principio

Introduzione

I principi

❖ Il 1° principio

❖ Osservazioni

❖ Massa

❖ Massa Inerziale

❖ Massa inerz.(2)

❖ M.inerz-M.grav.

❖ Il 2° principio

❖ Il 3° principio

❖ Az.a distanza

❖ Progr.per mecc.

❖ S.R.inerziali

Es. di interazioni

Problemi

- Il principio non esclude che di sistemi di riferimento siffatti ne esistano più d'uno, e in effetti proveremo che ce ne sono infiniti.
- Il principio non dà alcuna informazione su come determinare un tal sistema di riferimento. In realtà il problema è complesso e non esiste alcuna possibilità di verifica sperimentale diretta, in quanto non è possibile avere un corpo infinitamente distante da ogni altro corpo. E' un problema di grande importanza, perché ha come conseguenza che la fisica che si fonda sul "metodo sperimentale", assume come assioma fondamentale una condizione non sperimentalmente verificabile. In ogni caso, qualunque sia la strada che si segue, prima o poi ci si imbatte in problemi di questo tipo (si veda, per esempio, E.Mach, *La meccanica nel suo sviluppo storico critico*, del 1883).

# Definizione di massa

Introduzione

**I principi**

❖ Il 1° principio

❖ Osservazioni

**❖ Massa**

❖ Massa Inerziale

❖ Massa inerz.(2)

❖ M.inerz-M.grav.

❖ Il 2° principio

❖ Il 3° principio

❖ Az.a distanza

❖ Progr.per mecc.

❖ S.R.inerziali

Es. di interazioni

Problemi

Principio di “azione e reazione”.

**Due corpi  $A$  e  $B$ , nel sistema inerziale di cui abbiamo postulato l'esistenza, inducono uno sull'altro accelerazioni opposte (cioè aventi stessa direzione e verso opposto) e aventi rapporto costante nei moduli.**

# Massa Inerziale

Introduzione

**I principi**

- ❖ Il 1° principio
- ❖ Osservazioni
- ❖ Massa

**Massa Inerziale**

- ❖ Massa inerz.(2)
- ❖ M.inerz-M.grav.
- ❖ Il 2° principio
- ❖ Il 3° principio
- ❖ Az.a distanza
- ❖ Progr.per mecc.
- ❖ S.R.inerziali

Es. di interazioni

Problemi

Utilizzando questo principio è possibile dare una definizione di MASSA INERZIALE per tutti i corpi.

Se  $A$  e  $B$  sono due corpi interagenti e  $a_{BA}$ ,  $a_{AB}$ , sono, rispettivamente, le accelerazioni prodotte da  $B$  su  $A$  e da  $A$  su  $B$ , si ha:

$$a_{BA} = k a_{AB}.$$

La costante  $k$  prende il nome di **Massa Relativa (Inerziale)** di  $B$  rispetto ad  $A$ ,  $m_{BA}$ . Se si sceglie, arbitrariamente, un valore  $m_A$ , si pone, per definizione:

$$m_B = m_{BA} m_A,$$

e questo consente di ottenere  $m_B$  per ogni corpo  $B$ .



# Massa inerziale (2)

Introduzione

I principi

- ❖ Il 1° principio
- ❖ Osservazioni
- ❖ Massa
- ❖ Massa Inerziale
- ❖ Massa inerz. (2)
- ❖ M.inerz-M.grav.
- ❖ Il 2° principio
- ❖ Il 3° principio
- ❖ Az.a distanza
- ❖ Progr.per mecc.
- ❖ S.R.inerziali

Es. di interazioni

Problemi

Tenendo conto di quanto detto si ha:

$$m_B \mathbf{a}_{AB} = m_A \mathbf{a}_{BA}.$$

Abitualmente si sceglie come corpo  $A$  il “campione di massa” depositato a Sèvres, a cui si attribuisce  $m_A = 1$ .

È chiaro da quanto detto che questa nuova “caratteristica” dei corpi ha una dimensione indipendente da quelle di lunghezza e di tempo, la dimensione di massa appunto; per essa si usa una nuova unità di misura, detta chilogrammo.

# Massa inerziale e Massa gravitazionale

## Introduzione

### I principi

- ❖ Il 1° principio
- ❖ Osservazioni
- ❖ Massa
- ❖ Massa Inerziale
- ❖ Massa inerz.(2)

### ❖ M.inerz-M.grav.

- ❖ Il 2° principio
- ❖ Il 3° principio
- ❖ Az.a distanza
- ❖ Progr.per mecc.
- ❖ S.R.inerziali

## Es. di interazioni

## Problemi

La definizione di massa che abbiamo dato differisce da quella, di tipo “gravitazionale” che si dà utilizzando una bilancia a bracci uguali, in cui interviene la proprietà dei corpi di essere attratti dalla terra.

È possibile provare (con un “esperimento ideale” sostanzialmente dovuto a Newton) che le due definizioni portano a valori diversi, ma in ogni caso proporzionali e dunque identificabili se si usano opportune unità di misura.

È comunque merito di Einstein l’aver capito che l’identificazione delle due definizioni di massa è la chiave per una comprensione completa della teoria della gravitazione. (**Principio di equivalenza**).

# Il “secondo principio”

Introduzione

**I principi**

- ❖ Il 1° principio
- ❖ Osservazioni
- ❖ Massa
- ❖ Massa Inerziale
- ❖ Massa inerz.(2)
- ❖ M.inerz-M.grav.

**❖ Il 2° principio**

- ❖ Il 3° principio
- ❖ Az.a distanza
- ❖ Progr.per mecc.
- ❖ S.R.inerziali

Es. di interazioni

Problemi

Definizione di forza.

**Nel sistema di riferimento di cui abbiamo postulato l'esistenza, se un corpo di massa  $m$  sta accelerando con accelerazione  $a$ , diremo, per definizione, che è sottoposto ad una forza  $f$ , e porremo:**

$$f \stackrel{\text{def}}{=} ma.$$

Questa formula, qui proposta solo come definizione di forza, prende il nome di *Equazione fondamentale della dinamica*, per un motivo che apparirà chiaro in seguito.

# Corollario: il 3° Principio

Introduzione

**I principi**

- ❖ Il 1° principio
- ❖ Osservazioni
- ❖ Massa
- ❖ Massa Inerziale
- ❖ Massa inerz.(2)
- ❖ M.inerz-M.grav.
- ❖ Il 2° principio
- ❖ Il 3° principio**
- ❖ Az.a distanza
- ❖ Progr.per mecc.
- ❖ S.R.inerziali

Es. di interazioni

Problemi

(formulazione classica).

**Tenendo conto della definizione di massa e forza che abbiamo dato, possiamo concludere che due corpi che interagiscono si esplicano, vicendevolmente, due forze tali che:**

$$\mathbf{f}_{AB} = -\mathbf{f}_{BA},$$

**ovvero che**

**ad ogni azione corrisponde una reazione uguale e contraria.**

# Il problema delle azioni a distanza

## Introduzione

### I principi

- ❖ Il 1° principio
- ❖ Osservazioni
- ❖ Massa
- ❖ Massa Inerziale
- ❖ Massa inerz.(2)
- ❖ M.inerz-M.grav.
- ❖ Il 2° principio
- ❖ Il 3° principio

### Az.a distanza

- ❖ Progr.per mecc.
- ❖ S.R.inerziali

## Es. di interazioni

## Problemi

Esistono alcuni punti deboli in questa presentazione dei principi della dinamica, tuttavia il problema più grosso è legato al concetto di “azione a distanza” che è implicito in questa formulazione: due corpi  $A$  e  $B$  interagiscono tra di loro (Princ. di azione e reazione) a qualunque distanza si trovino e in particolare ognuno dei due corpi deve essere istantaneamente “informato” della posizione raggiunta dall’altro corpo, per poter interagire correttamente con esso. Se ci fosse un ritardo nel passaggio dell’informazione ci sarebbe un intervallo di tempo in cui il principio di azione e reazione non è valido. Ebbene, in base alle più moderne teorie, questo non è possibile. Nonostante ciò i principi appena formulati consentono la costruzione di una teoria fisica che funziona egregiamente nella stragrande maggioranza delle situazioni di interesse comune.

# Un programma per la meccanica

## Introduzione

### I principi

- ❖ Il 1° principio
- ❖ Osservazioni
- ❖ Massa
- ❖ Massa Inerziale
- ❖ Massa inerz.(2)
- ❖ M.inerz-M.grav.
- ❖ Il 2° principio
- ❖ Il 3° principio
- ❖ Az.a distanza
- ❖ Progr.per mecc.
- ❖ S.R.inerziali

## Es. di interazioni

## Problemi

Introdotti, con i principi fondamentali, i concetti di massa e forza, occorre ora, per via strettamente sperimentale, determinare le **Leggi di Forza**, cioè imparare a calcolare le forze agenti sui punti sulla base delle proprietà dei punti stessi e dello spazio circostante: se riusciremo in questo intento potremo utilizzare la legge  $f = ma$  come un'equazione in cui sono date le forze e la massa e da cui possiamo quindi ricavare la accelerazione. Con i metodi cinematici ormai noti, dalla conoscenza della accelerazione (e delle condizioni iniziali del moto) potremo successivamente ricavare il moto stesso. Non solo un tal programma ha avuto sostanzialmente successo, ma la ricerca fisica ha portato a concludere che i possibili tipi di interazioni fra punti sono in effetti raggruppabili in pochissime (non più di quattro) categorie fondamentali.

# Individuazione di un S.R. inerziale

## Introduzione

### I principi

- ❖ Il 1° principio
- ❖ Osservazioni
- ❖ Massa
- ❖ Massa Inerziale
- ❖ Massa inerz.(2)
- ❖ M.inerz-M.grav.
- ❖ Il 2° principio
- ❖ Il 3° principio
- ❖ Az.a distanza
- ❖ Progr.per mecc.

### S.R.inerziali

## Es. di interazioni

## Problemi

- Come già accennato l'individuazione di un S.R. inerziale non può essere fatta direttamente sulla base del primo principio della dinamica.
- A posteriori si può concludere che un Sistema “solidale” alle stelle “fisse” è, con ottima approssimazione, inerziale.
- Proveremo che ogni sistema in moto rettilineo ed uniforme rispetto ad uno inerziale è, a sua volta, inerziale.
- Se non si considerano tempi troppo lunghi, tenendo conto del tipo di moto del sole rispetto alle stelle fisse, del fatto che il moto di rotazione terrestre è molto lento, mentre quello di rivoluzione avviene su un'orbita con enorme raggio, si può concludere che, con ottima approssimazione, un sistema solidale alla terra può essere considerato inerziale.

# *I primi esempi di interazioni*

Introduzione

I principi

**Es. di interazioni**

**❖ Primi esempi**

- ❖ Peso
- ❖ F.ze di contatto
- ❖ Attrito
- ❖ Funi tese
- ❖ Carrucole
- ❖ F.ze centripete

Problemi

Nonostante le interazioni fondamentali siano solo di pochi tipi, è d'uso comune, perché importante nelle applicazioni, considerare alcuni tipi di interazioni in modo dettagliato e con procedimenti specifici, anche se esse rientrano, come apparirà chiaro più avanti, in una delle categorie fondamentali che saranno oggetto di studio specifico.

Questo modo di procedere è anche legato al fatto che la trattazione matematica delle interazioni fondamentali è spesso difficile, mentre risulta agevole la trattazione di casi particolari di notevole interesse applicativo.



# Il peso dei corpi

Introduzione

I principi

**Es. di interazioni**

❖ Primi esempi

**❖ Peso**

❖ F.ze di contatto

❖ Attrito

❖ Funi tese

❖ Carrucole

❖ F.ze centripete

Problemi

Una prima osservazione sperimentale per i corpi che si trovino in prossimità della superficie terrestre è quella che, se lasciati liberi, essi sono attratti verticalmente verso il basso e si muovono con accelerazione  $g$ : essi sono dunque, in base alla definizione, sottoposti ad una forza, detta forza peso e indicata con  $W$ , data da

$$W = mg.$$

Sulla base di tutti gli esperimenti effettuati si giunge poi alla conclusione che ogni corpo, in prossimità della superficie terrestre è sottoposto ad una forza, costante in regioni non troppo estese, detta **peso** e data dalla formula citata, indipendentemente dalla presenza contemporanea di altre interazioni. Essa ha sempre la direzione della verticale del luogo e verso “verso il basso”.

# Interazioni originate dal contatto tra corpi

Introduzione

I principi

Es. di interazioni

❖ Primi esempi

❖ Peso

❖ F.ze di contatto

❖ Attrito

❖ Funi tese

❖ Carrucole

❖ F.ze centripete

Problemi

- Un corpo “appoggiato” sopra un altro corpo subisce una forza (reazione del piano di appoggio) che ha una componente perpendicolare alla superficie di appoggio e una tangente.
- La componente perpendicolare (reazione vera e propria), nel caso che i due corpi non possano penetrare uno nell’altro, è esattamente uguale alla forza normale con cui il corpo appoggiato preme sul piano di appoggio.
- La componente tangente è detta attrito, è assente nel caso di superfici lisce, e dipende dal tipo di superfici a contatto. È, in ogni caso, diversa se i due corpi sono fermi uno rispetto all’altro (attrito statico) o sono in moto relativo (attrito dinamico); in quest’ultimo caso occorre ulteriormente distinguere se uno dei due corpi striscia sull’altro o se vi rotola sopra (attrito volvente).

# Le leggi dell'attrito

Introduzione

I principi

Es. di interazioni

❖ Primi esempi

❖ Peso

❖ F.ze di contatto

❖ Attrito

❖ Funi tese

❖ Carrucole

❖ F.ze centripete

Problemi

- La forza di attrito statico è indipendente, entro grandi limiti, dall'area di contatto, e ha valori da un minimo di zero ad un massimo uguale alla minima forza necessaria per far iniziare il moto al corpo appoggiato. Detta  $N$  la parte normale della forza premente e  $F_s$  la forza di attrito statico, si ha:

$$F_s \leq \mu_s N .$$

- La forza di attrito dinamico ha le stesse caratteristiche dell'attrito statico, è praticamente indipendente dalla velocità relativa delle due superfici e la sua espressione è data da

$$F_d = \mu_d N .$$

- I coefficienti  $\mu_s$  e  $\mu_d$  sono detti coefficienti di attrito statico e dinamico rispettivamente e si ha  $\mu_s \geq \mu_d$ .

# Funi tese

Introduzione

I principi

**Es. di interazioni**

- ❖ Primi esempi
- ❖ Peso
- ❖ F.ze di contatto
- ❖ Attrito

**❖ Funi tese**

- ❖ Carrucole
- ❖ F.ze centripete

Problemi

- Le funi tese hanno la funzione di trasmettere le forze. Esse possono resistere solo a una trazione, non ad una compressione.
- Si indica abitualmente con  $T$  la forza (detta Tensione) che esse esercitano sui corpi.
- Se, come è d'uso, le funi si considerano prive di massa (o meglio di massa trascurabile) la tensione risulta avere sempre lo stesso modulo lungo la fune (anche se questa scorre su carrucole prive di attrito), ha direzione tangente alla fune stessa e verso opportuno (come detto può solo tirare, non spingere).

# Carrucole

Introduzione

I principi

**Es. di interazioni**

- ❖ Primi esempi
- ❖ Peso
- ❖ F.ze di contatto
- ❖ Attrito
- ❖ Funi tese
- ❖ Carrucole**
- ❖ F.ze centripete

Problemi

In molti problemi di meccanica è indispensabile l'uso di carrucole su cui possano scorrere delle funi: la loro presenza rende possibile la variazione di direzione delle funi e quindi delle forze che trasmettono. Di norma le carrucole sono lisce e vengono considerate prive di massa. Questo fa sì che esse in realtà non influiscano in alcun modo sulla soluzione del problema di moto: le funi che scorrono su di esse non le mettono in moto.

La presenza di carrucole con massa e attriti renderebbe invece difficile la soluzione del problema, in quanto tali carrucole verrebbero messe in moto dalle funi che vi scorrono sopra e non sarebbe possibile trascurarne la rotazione.

# Forze centripete

Introduzione

I principi

**Es. di interazioni**

- ❖ Primi esempi
- ❖ Peso
- ❖ F.ze di contatto
- ❖ Attrito
- ❖ Funi tese
- ❖ Carrucole

**❖ F.ze centripete**

Problemi

In un moto circolare uniforme l'accelerazione è puramente centripeta: la presenza di una accelerazione implica l'esistenza di una forza, anch'essa centripeta.

Non si tratta di un nuovo tipo di forza: essa può avere origine per esempio da una fune che costringe il punto a muoversi su una circonferenza, oppure da una guida circolare (priva di attrito), o ancora da interazioni di tipo gravitazionale, elettrostatico, magnetico, ecc.

In ogni caso si avrà:

$$F_c = m \frac{v^2}{r} .$$

# Come risolvere un problema di moto

Introduzione

I principi

Es. di interazioni

Problemi

❖ Risoluz. pb

❖ Un esempio

- Identificare il “corpo”, o i corpi, al cui moto si riferisce il problema. Nella fase iniziale il corpo sarà schematizzabile con un “punto materiale”.
- Fissare l’attenzione sull’ambiente circostante il corpo, che esercita forze sul corpo stesso.
- Scegliere un S.R., inerziale, in modo da semplificare il più possibile il problema. Poiché si deve operare con vettori e loro componenti, la scelta del S.R. sarà fatta in modo che i vettori appaiano “semplici” dal sistema scelto.
- Esaminare tutte le forze che possono agire sui vari corpi, disegnando un opportuno diagramma.
- Applicare la legge fondamentale  $f = ma$ , scrivendone le componenti sui vari assi coordinati.

# Un esempio

Introduzione

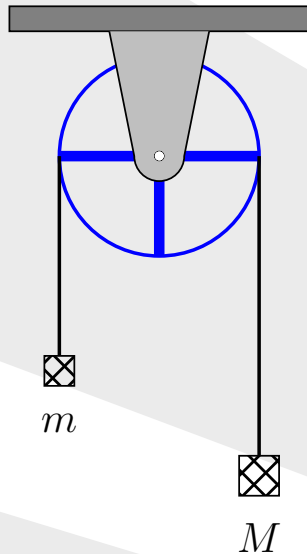
I principi

Es. di interazioni

Problemi

❖ Risoluz. pb

❖ Un esempio



I due corpi sono i punti di massa  $m$  ed  $M$ . La carrucola, liscia, e la fune, priva di massa, non “partecipano” al moto. Se indichiamo con  $T$  la tensione della fune (in entrambi i punti diretta verso l’alto), e introduciamo un S.R., per entrambi i punti, con asse  $x$  verticale ascendente, avremo  $a_1 = -a_2$  e quindi  $a_{1x} = -a_{2x}$ . L’equazione della dinamica applicata ai due punti dà:

$$\begin{cases} T - mg = ma_{1x} & (= ma) \\ T - Mg = Ma_{2x} & (= -Ma) \end{cases} .$$

La soluzione è ora immediata:

$$a = \frac{M - m}{M + m}g, \quad T = \frac{2mM}{M + m}g .$$





---

*Presentazione realizzata utilizzando  
 $\text{\LaTeX}$  e il package *Powerdot*.*