



**Istituto di Istruzione Superiore**  
*LICEO SCIENTIFICO TECNOLOGICO*  
*“L. DA VINCI “ LANCIANO*

**LABORATORIO DI FISICA**

*ESPERIENZA N° 3*

**SECONDO PRINCIPIO DELLA DINAMICA**

ALUNNO: **Nanni Mario**

CLASSE: **3 LST - A**

DATA: **19/01/2012**

---

*insegnante: prof. Quintino d'Annibale*

*I.T.P.: prof. Remigio Enrico*

*Anno scolastico: 2011/2012*

## OBIETTIVI:

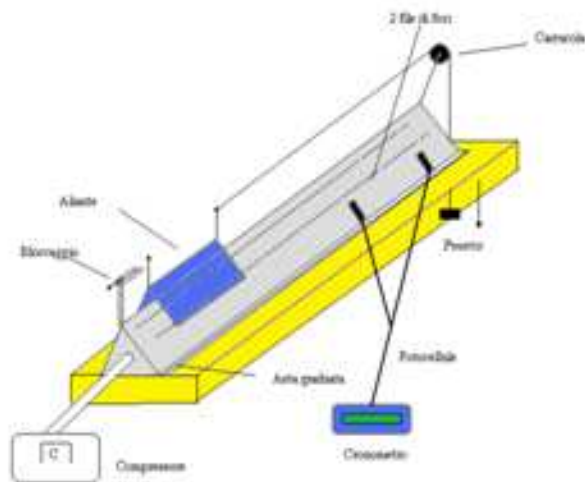
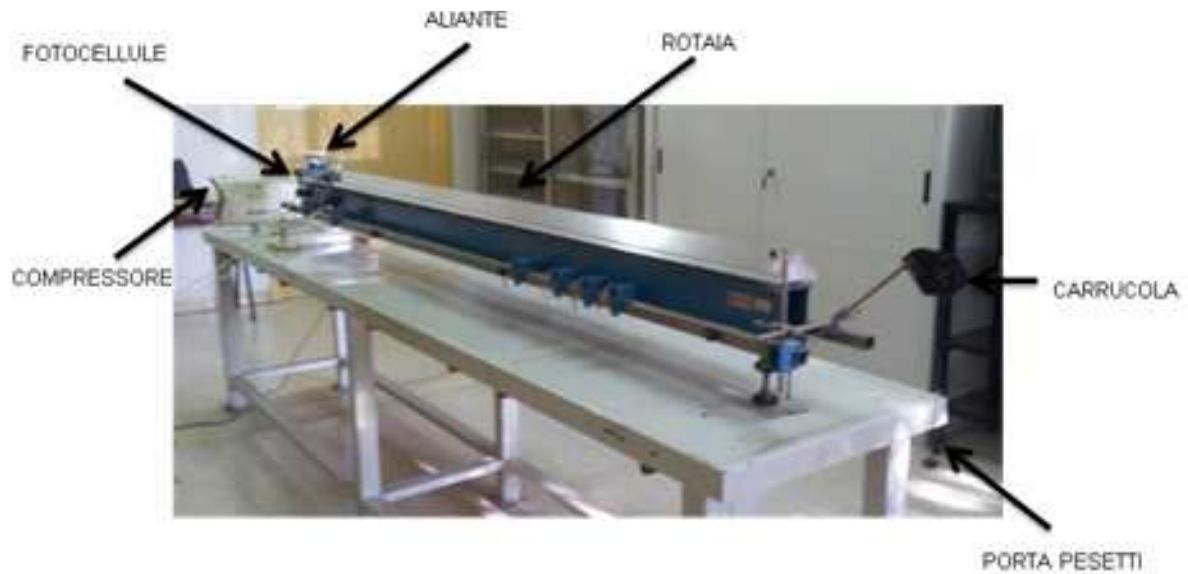
Verifica sperimentale del secondo principio della dinamica mediante due fasi:

- 1) Forza costante.
- 2) Massa del sistema costante.

## MATERIALE E STRUMENTI:

- Rotaia a cuscino d'aria
- Pesetti (da 10 gp)
- Fotocellule
- Cronometro digitale (sensibilità: 1/1000 sec)
- Asta graduata (portata: 2.5m; sensibilità: 1mm)

## SCHEMA DELL'APPARATO:



### FUNZIONE DELLE PARTI:

- L'aliante scorre lungo la rotaia, che grazie all'aria prodotta dal compressore che fuoriesce dalle due serie di fori, permette il sollevamento di quest'ultimo in modo tale che gli attriti vengono ridotti quasi del tutto.
- Le fotocellule sono posizionate lungo il binario ad una certa distanza l'una dall'altra, e rilevano il tempo che l'aliante impiega a percorrere questo spazio.

### SCHEMA DI MISURA:

FASE 1):

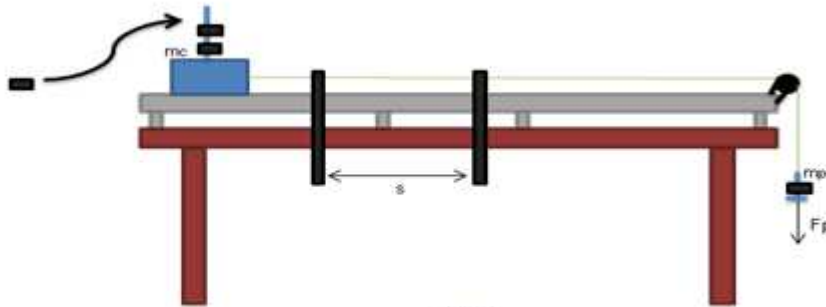


Fig.3

FASE 2):

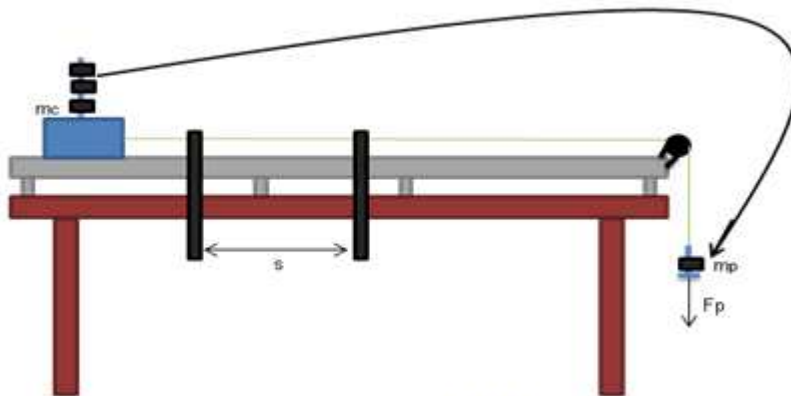


Fig.4

Questi due schemi di misura ci illustrano quali grandezze dobbiamo considerare e lo spazio (s) che intercorre tra le due fotocellule. Inoltre mostrano dove devono essere posizionati i pesetti nelle due fasi della prova. Nella fase 1  $F_p=k$ , mentre nella fase 2  $(m_c+m_p)=k$ .

### RICHIAMI TEORICI:

La seconda legge di Newton afferma che la sommatoria delle forze esterne di un sistema, è uguale al prodotto tra la massa del sistema e la sua accelerazione:

$$\sum \vec{F} = m \times \vec{a}$$

Questa legge è scomponibile anche nelle sue componenti scalari:

$$\sum F_x = m \times a_x \qquad \sum F_y = m \times a_y \qquad \sum F_z = m \times a_z$$

Quindi possiamo ricavare l'accelerazione con una formula inversa. Come sappiamo però, dato che al carrello è applicata una forza costante, sulla rotaia si muove di moto rettilineo uniformemente accelerato, le cui leggi sono:

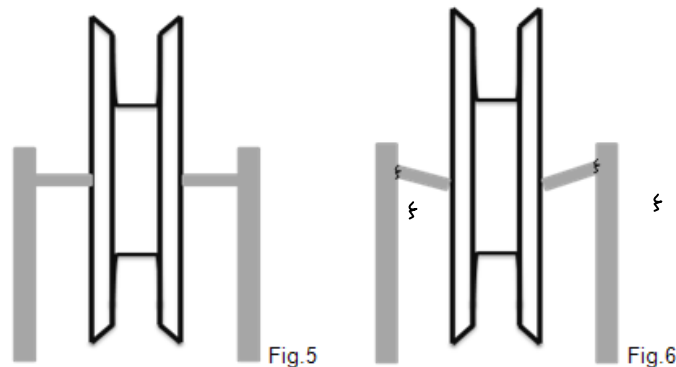
$$\begin{cases} s - s_0 = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \\ v = v_0 + a t \end{cases}$$

Quindi i valori rispettivi di accelerazione cinematica ( $a_{cin}$ ) e accelerazione dinamica ( $a_{din}$ ) si possono ricavare dalle due leggi espresse precedentemente in modo da poterli confrontare.

### DESCRIZIONE DELL'ESPERIENZA:

#### ACCORDIMENTO:

Nel posizionare i pesetti sul rispettivo supporto, è importante che non si superi un certo peso, in quanto sovraccaricare la carrucola potrebbe verificarne il cedimento, come mostra la figura 6. Per questo non effettuiamo misurazioni con una massa superiore ai 110g.



#### PER UN CORRETTO SVOLGIMENTO DELLA PROVA:

- Ci accertiamo che il filo sia nella sede della carrucola.
- Quando posizioniamo la seconda fotocellula per fissare uno spazio che rimane costante per tutta la prova, è importante leggere correttamente la distanza tramite l'asta graduata che si trova sulla rotaia, in modo tale da non avere problemi nei calcoli.
- Effettuiamo più di una misurazione, per evitare degli errori grossolani e ottenere misure di tempo più attendibili.

Per lo svolgimento della prova utilizziamo la rotaia a cuscino d'aria;

#### Operazioni comuni ad entrambe le fasi:

1. Azzerare il cronometro prima di ogni nuova misurazione;
2. Accendere il compressore e attendere qualche secondo per permettere all'aria di stabilizzarsi all'interno della rotaia e porre l'aliante in condizioni di minimo attrito;

#### **Fase 1:** Forza costante e Massa variabile

- 1) Dopo aver posto l'aliante sulla rotaia, lo blocchiamo con il relativo sistema di bloccaggio, e colleghiamo ad esso tramite un filo, un pesetto che permetterà a questo corpo di mettersi in moto;
- 2) Posizioniamo ad una certa distanza, le fotocellule che sono collegate ad un cronometro, il quale rileverà i tempi che l'aliante impiega a percorrere tale spazio;

- 3) Nelle misurazioni andremo a variare solo la massa del carrello, mentre la forza applicata rimarrà costante;
- 4) Sbloccare l'aliante e fermarlo soltanto dopo che esso raggiunge la seconda fotocellula;
- 5) Ad ogni misurazione rilevare il tempo sul cronometro;
- 6) Riportare tutte le misurazioni in tabella e effettuare gli opportuni calcoli.

**Fase 2:** Massa costante e Forza variabile

- 1) Dopo aver posto l'aliante sulla rotaia, lo blocchiamo con il relativo sistema di bloccaggio, e colleghiamo ad esso tramite un filo, un pesetto che permetterà a questo corpo di mettersi in moto;
- 2) La distanza tra le fotocellule rimane invariata, quindi ha lo stesso valore della fase 1;
- 3) In questa fase facciamo variare la forza applicata, mantenendo la massa del sistema costante. La forza viene fatta variare ad ogni misurazione, spostando pesetti (in numero di tre) dal carrello al porta pesetti (supporto che si trova collegato al filo), in modo tale che aumentando la massa del supporto aumenta anche la forza applicata al sistema, ma non ne varia la massa;
- 4) Sbloccare l'aliante e fermarlo soltanto dopo che esso raggiunge la seconda fotocellula;
- 5) Ad ogni misurazione rilevare il tempo sul cronometro;
- 6) Riportare tutte le misurazioni in tabella e effettuare gli opportuni calcoli.

**CALCOLI:**

I calcoli che verranno effettuati, per entrambi le fasi riguardano le accelerazioni, cioè  $a_{cin}$  e  $a_{din}$ . Dalla seconda legge di Newton possiamo ricavare il valore di accelerazione dinamica. Nel nostro caso la forza applicata al carrello, è la forza peso (dei pesetti) che si trovano sul rispettivo supporto, mentre la massa del sistema è data da  $m_c + m_p$ . Quindi:

$$\sum \vec{F} = m \times \vec{a} \Rightarrow \vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m}$$

Nel nostro caso:

$$F_p = (m_c + m_p) \times a_{din} \Rightarrow a_{din} = \frac{F_p}{(m_c + m_p)}$$

Mentre l'accelerazione cinematica può essere ricavata dalla legge del moto rettilineo uniformemente accelerato:

$$s - s_0 = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

Sappiamo che la posizione iniziale del corpo è uguale a zero, e la velocità iniziale è uguale a zero. Di conseguenza si ha:

$$s - s_0 = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \Rightarrow s = \frac{1}{2} a t^2$$

Dato che la legge rappresenta uno spazio, assumiamo il suo valore positivo. Quindi possiamo calcolare l'accelerazione cinematica:

$$a_{cin} = \frac{2s}{t^2}$$

L'accelerazione cinematica in un certo senso rappresenta il valore sperimentale, che andiamo a confrontare con il valore teorico rappresentato dall'accelerazione dinamica.

Dato che noi dei pesetti che applicano la forza al corpo abbiamo soltanto la massa, per ricavare l'accelerazione dinamica abbiamo bisogno della  $F_p$ :

$$F_p = m_p \times g$$

Quindi la forza peso è data dal prodotto della massa del pesetto e l'accelerazione gravitazionale. Infine calcoliamo anche la differenza delle due accelerazioni:

$$\Delta a = a_{cin} - a_{din}$$

**TABELLE DI RILEVAZIONE:**

**FASE 1:**

N°	t(s)	m <sub>p</sub> (kg)	m <sub>c</sub> (kg)
1	0.874	0.02	0.264
	0.875		
	0.873		
2	0.919	0.02	0.294
	0.919		
	0.918		
3	0.966	0.02	0.324
	0.965		
	0.967		
4	1.007	0.02	0.354
	1.008		
	1.007		
5	1.051	0.02	0.384
	1.051		
	1.052		

**FASE2:**

N°	t(s)	m <sub>p</sub> (kg)	m <sub>c</sub> (kg)
1	1.051	0.02	0.384
	1.051		
	1.052		
2	0.663	0.05	0.354
	0.664		
	0.662		
3	0.526	0.08	0.324
	0.526		
	0.525		
4	0.450	0.11	0.294
	0.451		
	0.450		

**TABELLE DI CALCOLO:**

**FASE 1:**

N°	t(s)	t <sup>2</sup> (s <sup>2</sup> )	m <sub>p</sub> (kg)	m <sub>c</sub> (kg)	a <sub>cin</sub> (m/s <sup>2</sup> )	a <sub>din</sub> (m/s <sup>2</sup> )	Δa(m/s <sup>2</sup> )	m <sub>sist</sub> × a <sub>din</sub> (N)
1	0.874	0.764	0.02	0.264	0.785	0.690	0.095	0.19596
2	0.919	0.844	0.02	0.294	0.711	0.624	0.087	0.19593
3	0.966	0.933	0.02	0.324	0.643	0.569	0.074	0.19573
4	1.007	1.014	0.02	0.354	0.591	0.524	0.067	0.19597
5	1.051	1.104	0.02	0.384	0.543	0.485	0.058	0.19594

<b>V max</b>	0.19597
<b>V min</b>	0.19573
<b>V m</b>	0.19590
<b>d</b>	0.00012
<b>lr</b>	0.00061
<b>l%</b>	0.061

**FASE 2:**

$$V_m = \frac{V_{\max} + V_{\min}}{2} \quad d = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{2}$$

$$i_r = \frac{d}{V_m} \quad i_{\%} = i_r \times 100$$

N°	t(s)	t <sup>2</sup> (s <sup>2</sup> )	m <sub>p</sub> (kg)	m <sub>c</sub> (kg)	a <sub>cin</sub> (m/s <sup>2</sup> )	a <sub>din</sub> (m/s <sup>2</sup> )	Δa(m/s <sup>2</sup> )	$\frac{f_p}{a_{din}}$ (kg)	$\frac{a_{din}}{f_p} \left(\frac{1}{kg}\right)$
1	1.051	1.104	0.02	0.384	0.543	0.485	0.058	0.40412	2.4745
2	0.663	0.439	0.05	0.354	1.367	1.213	0.154	0.40395	2.4755
3	0.526	0.276	0.08	0.324	2.174	1.940	0.234	0.40412	2.4744
4	0.450	0.202	0.11	0.294	2.970	2.670	0.3	0.40374	2.4768

<b>V max</b>	0.40412	2.4768
<b>V min</b>	0.40374	2.4744
<b>V m</b>	0.40398	2.4753
<b>d</b>	0.00019	0.0012
<b>Ir</b>	0.00047	0.00048
<b>I%</b>	0.047	0.048

Lo spazio **s** tra le due fotocellule non è inserito in tabella, perché è costante per tutta la prova:

$$s = k = 0.3m$$

Volendo è possibile calcolare anche l'errore percentuale tra le due accelerazioni.

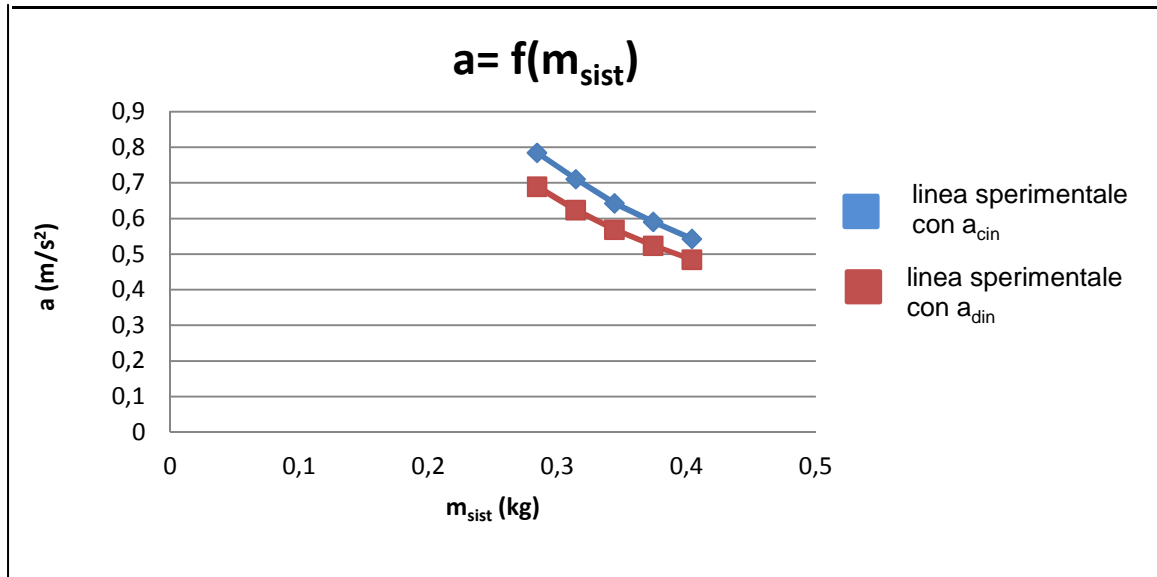
$$\text{Errore \%} = \frac{\text{valore sperimentale} - \text{valore teorico}}{\text{valore teorico}}$$

Dai calcoli dell'errore percentuale risulta che nella prima fase c'è stato un errore percentuale medio circa del 13%, mentre nella seconda fase l'errore percentuale medio è stato circa del 12%.

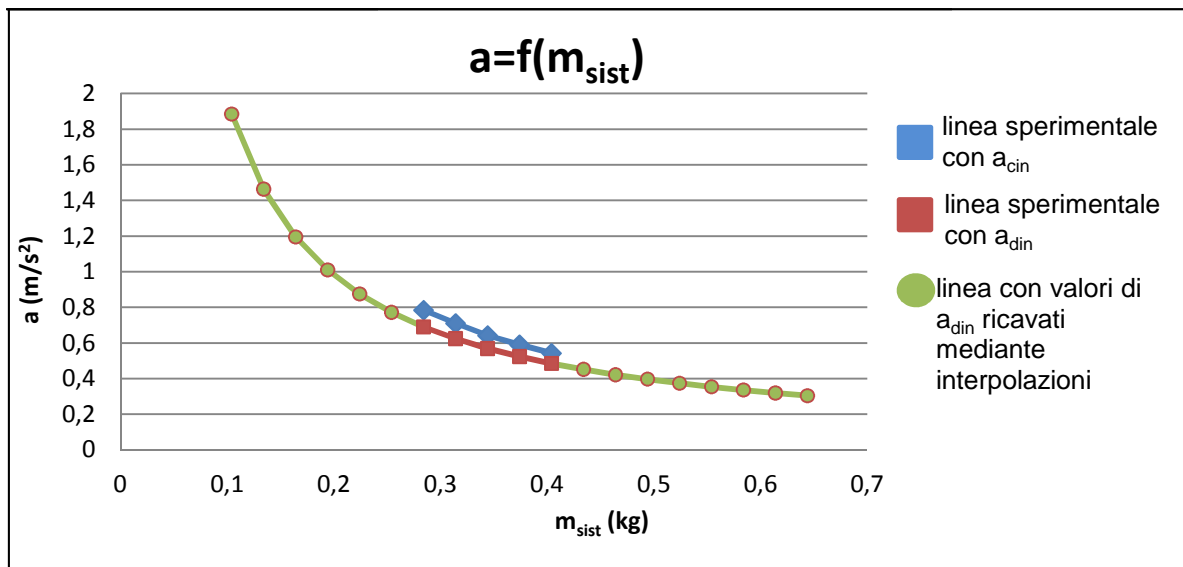
**GRAFICI:**

**PRIMA FASE:**

1) **DIAGRAMMA ACCELERAZIONE/MASSA DEL SISTEMA:**



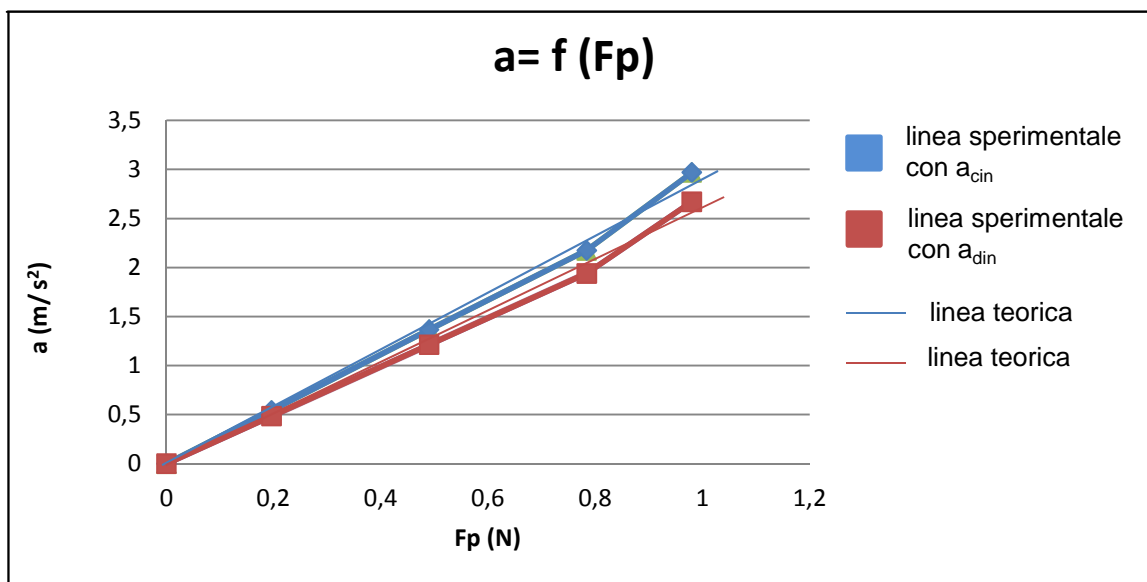
2) **DIAGRAMMA ACCELERAZIONE/MASSA DEL SISTEMA:**



**SECONDA FASE:**

3) **DIAGRAMMA ACCELERAZIONE/ FORZA PESO:**





## CONCLUSIONI:

In questa esperienza la rotaia a cuscino d'aria ci ha permesso di effettuare uno studio sul secondo principio della dinamica in assenza di attrito. Infatti nella realtà l'attrito è una di quelle forze che modificano il moto dei corpi, non rendendo possibile lo studio di alcune leggi. Questa forza di attrito è sempre in opposizione al verso del moto, ed è data dal prodotto del coefficiente di attrito e la forza normale:

$$\vec{F}_a = \mu \times \vec{N}$$

Come è introdotto nella sezione "richiami teorici", ribadisco la seconda legge della dinamica:

$$\sum \vec{F} = m \times \vec{a}$$

Nella nostra esperienza, questa legge viene applicata al sistema formato dall'aliante e i pesetti, in cui l'unica forza esterna è quella applicata dai pesetti, la massa quella del sistema ( $m_c + m_p$ ), e l'accelerazione quella di tutto il sistema. Questa legge della dinamica vale sempre nei sistemi di riferimento inerziali. Quindi la rotaia a cuscino d'aria in qualche modo "riproduce" un sistema inerziale dove è possibile verificare il secondo principio della dinamica. Il concetto di massa e peso sono legati a questa legge. Vediamo che la massa di un corpo è proprio quella caratteristica intrinseca della materia che mette in relazione la forza applicata al corpo e l'accelerazione che ne risulta. Il peso invece è una proprietà estrinseca, in quanto varia al variare dell'accelerazione di gravità. Le tre equazioni scalari che ne risultano (illustrate nei richiami teorici), mettono in relazione le tre componenti della forza risultante che agisce su un corpo con le tre componenti dell'accelerazione di quel corpo. Quindi la componente dell'accelerazione lungo un asse, è causata solo dalla somma delle componenti di quell'asse. Dividendo l'esperienza in due fasi, abbiamo potuto osservare più attentamente le proprietà di questo secondo principio. Infatti:

**prima fase** abbiamo mantenuto costante la forza applicata all'aliante, e questa forza applicata da un pesetto di massa 0.02 kg, corrisponde a  $F = 0.196$  N, cioè la sua forza peso. Abbiamo però variato la massa del carrello, che aumentava di 0.03 kg a misurazione. Aumentando la massa del carrello e mantenendo la forza costante, ci siamo accorti che l'accelerazione del carrello diminuiva;

**seconda fase** mantenendo costante la massa del sistema, abbiamo fatto variare la forza applicata al carrello. Come mostra la figura 4, abbiamo spostato per ogni misurazione tre pesetti dal carrello al porta pesetti, in modo da far aumentare la forza applicata. Ovviamente la massa del carrello diminuiva, però essendo trasferita sul porta pesetti, la massa del sistema rimaneva comunque inalterata. Da questa fase abbiamo visto che con l'aumentare della forza che i pesetti applicavano al carrello, la sua accelerazione aumentava in modo considerevole. Praticamente per ogni misurazione quella massa di 0.03kg che veniva tolta dal carrello, veniva posizionata sul porta pesetti. Ovviamente in questa seconda fase della prova ci

sono state delle limitazioni, in quanto la carrucola non poteva supportare un peso maggiore di 0.11 kg, infatti si sarebbe potuto verificare un cedimento, come mostra la figura 6. Di conseguenza nella seconda fase sono state effettuate solo quattro misurazioni.

Come sappiamo il carrello si muove di moto rettilineo uniformemente accelerato e come abbiamo già visto, le leggi che regolano questo moto sono:

$$\begin{cases} s - s_0 = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \\ v = v_0 + a t \end{cases}$$

Quindi noi avendo il valore del tempo che è rilevato dal cronometro e lo spazio, abbiamo potuto calcolare il valore dell'accelerazione cinematica. Questi valori in tutte e due le fasi, li abbiamo confrontati con le accelerazioni dinamiche, ricavate proprio dalla seconda legge della dinamica. Se i valori di tempo e le misure delle masse sono precise, l'accelerazione dinamica potrebbe essere considerata come un valore teorico che prendiamo come riferimento per i valori di accelerazione cinematica che otteniamo dai calcoli. Nelle tabelle oltre ai dati risultati dalla prova, abbiamo calcolato il valore delle due accelerazioni e le abbiamo poste a confronto calcolandone anche la variazione  $\Delta a$ . Vediamo quindi che c'è una differenza tra i valori delle due accelerazioni. Quindi sicuramente ci sono degli errori, dovuti sia alla imperfezione degli strumenti, quali il cronometro e la bilancia. Questi errori sembrano essere di tipo sistematico, e lo si evince anche dai grafici. L'errore sistematico si riscontra in ogni misurazione con una certa regolarità e quindi si presenta anche in un numero elevato di misurazioni. Nel nostro caso è risultato sempre dello stesso segno. Un'altra cosa importante da precisare, è che nella prova non abbiamo considerato la massa del filo e quella della carrucola, che però data la loro piccola massa, possono essere trascurati. Gli errori possono essere anche attribuiti in parte alla rotaia. Prendendo in esame il valore di accelerazione dinamica, lo abbiamo utilizzato per verificare la sua correlazione con la massa nella prima fase, e con la forza nella seconda fase. Nella prima fase il prodotto tra massa e accelerazione è risultato pressoché costante come il rapporto tra la forza è l'accelerazione della seconda fase. Di questi valori costanti vi abbiamo inoltre calcolato le varie incertezze. **Dal grafico n°1 della prima fase**, l'accelerazione è in funzione della massa, e (visto il numero ridotto delle rilevazioni) non sarebbe stato possibile con certezza affermare il tipo di correlazione tra le due grandezze poste in esame, infatti solo dai calcoli in tabella emerge una loro proporzionalità inversa, infatti dalla tab. 1 si rileva:

$$m_{sist} \times a_{din} = k = 0.196N$$

proprio il valore della forza applicata.

**Il grafico n°2** viene eseguito tramite estrapolazioni, tenuto conto dei risultati sperimentali. Esso mette in risalto oltre al tipo di proporzionalità quale piccola parte di esso occupano i dati rilevati. Dal ramo che si è formato in questo secondo grafico è possibile esaminare più attentamente la variazione delle due grandezze e di conseguenza unendo questo con i risultati in tabella si evince un ramo di iperbole equilatera a testimoniare che la massa e l'accelerazione sono grandezze inversamente proporzionali, dove il loro prodotto costante, rappresenta proprio la forza esterna applicata al sistema ( $F_{peso} = 0,02 \cdot 9,8 = 0,196N$ ):

$$F_p = k = (0.19590 \pm 0.00019)N$$

Mettendo a confronto le due curve notiamo una differenza, che è infatti dimostrata dalla colonna del  $\Delta a$  riportata in tabella.

Osservando il **grafico n°3**, dove l'accelerazione è in funzione della forza peso, risulta che l'accelerazione è direttamente proporzionale alla forza peso, e nel grafico la pendenza della retta rappresenta il reciproco della massa del sistema. Questi valori sono riportati nell'ultima colonna della tabella di calcolo della fase 2. Come vediamo anche questo valore risulta pressoché costante, e questo è un'ulteriore conferma del grafico. In questa seconda fase è quindi molto evidente la correlazione tra le due grandezze, e il loro rapporto rappresenta una costante. In questo grafico le rette sono state messe a confronto anche con le rispettive linee teoriche, in modo da avere un riscontro più preciso. In riferimento alla legge del secondo principio della dinamica, è stato effettuato il rapporto tra la forza peso e l'accelerazione dinamica. Il risultato di questo rapporto è:

$$(m_c + m_p) = k = (0.40398 \pm 0.00019)kg$$

proprio il valore della massa del sistema.

Prendendo in esame i valori delle due accelerazioni, vi abbiamo calcolato l'errore percentuale, risultato del 13% nella prima fase e del 12% nella seconda. Questi errori ad esempio nella prima fase sono dovuti anche all'aumento dell'attrito, quasi sicuramente provocato dall'aumento del peso del carrello. Di conseguenza si sarebbero dovuti ottenere valori di accelerazione dinamica maggiori. Ma tornando agli errori sistematici, la misurazione della massa può essere la causa principale di questa differenza, e quindi da determinare un valore di accelerazione dinamica minore di quella cinematica. I grafici sono stati fondamentali anche perché si ha un riscontro immediato dei dati ottenuti. Naturalmente non rappresentano una situazione del tutto precisa proprio per la presenza degli errori. Però concludendo possiamo dire che siamo riusciti a verificare il secondo principio della dinamica e la correlazione che c'è tra le varie grandezze che entrano in gioco.

*Mario Nanni*