

M. FRANCESIO
M. MARCHETTI
R. REDELBERGER
S. TERZIOTTI

Il pendolo di Foucault

Relazione su una esperienza realizzata da un gruppo di insegnanti

1) INTRODUZIONE

Nell'ambito del corso di Meccanica in- detto dalla sezione A.I.F. di Mantova, un gruppo di colleghi ha messo a punto, quale ricerca sperimentale, un Pendolo di Foucault.

L'esperienza ha potuto mostrare, oltre agli evidenti obiettivi didattici, il discreto interessamento di un pubblico formato non solo dagli abituali « addetti ai lavori » ma anche da curiosi e semplici cittadini, e soprattutto da studenti di diverse scuole di città e provincia.

Non ci soffermeremo nella descrizione della « macchina », che verrà fatta più avanti, ma a grandi linee si può dire che era composta da: sgancio elettromagnetico, sospensione sferica, impianti ottici e cronometrici.

L'aver affrontato e superato, anche con notevoli difficoltà, diversi problemi ha permesso ad ogni singolo componente del gruppo di lavoro di arricchirsi di un bagaglio tecnico e scientifico difficilmente raggiungibile con il solo studio o la sola presenza passiva ad un esperimento.

Se è permessa un'analogia sportiva, abbiamo praticato lo « sport della Fisica » non da spettatori, ma da atleti.

Per ultimo vorremmo ricordare che, nel tentativo di superare l'abituale divisione fra materie scientifiche e letterarie, si è inquadrato l'esperimento anche dal punto di vista storico per poter affermare che ogni disciplina è sempre, e soprattutto, umana.

2) CENNI STORICI

Nel 1750, duecento anni dopo la morte di Copernico, ancora si discuteva presso le Università sulla validità o meno delle teorie eliocentriche; teorie che in realtà e-

rano ancora più antiche, di millenni, nelle intuizioni di Aristarco, Nicita e Plutarco (1).

Tanta resistenza all'accettazione di una nuova e più razionale visione dell'universo si può spiegare, a nostro avviso, oltre che con remore di carattere religioso, essenzialmente con la difficoltà di evidenziare con dati sperimentali una cognizione che andava contro le impressioni sensoriali.

Un secolo dopo, circa, lo scienziato parigino Jean Battiste Léon Foucault concepì ed attuò un esperimento che faceva « vedere » la rotazione della Terra.

La prova si basava sulla proprietà del pendolo per la quale il piano di oscillazione rimane inalterato; è ovvio che per un osservatore solidale con la Terra sembrerà invece che il piano del pendolo ruoti, così come sembra che il sole ruoti attorno al nostro pianeta.

Foucault, che nacque nella capitale francese il 18 settembre 1819, fu uno straordinario scienziato che arrivò alla fisica nonostante, si può dire, il volere dei suoi che lo avevano spinto a laurearsi in medicina: come si vede, cambiano i tempi ma non le mode.

Ben presto però abbandonò la professione di medico per dedicarsi ai celebri esperimenti sulle correnti elettriche; sulla velocità della luce, etc. ma quello che ci interessa in questa sede è l'esperimento del « pendolo sferico ».

Egli fece una prima prova nella cantina della sua casa di Parigi, all'angolo di Rue d'Assas e di Rue di Vangirard, nel 1851 (2).

L'esperimento interessò talmente l'allora presidente Luigi Napoleone (il futuro Napoleone III) che questi pretese che venisse riproposto in una sede più degna ed imponente: il Pantheon di Parigi.

In questa seconda prova il pendolo era

composto da una sfera del peso di 28 kg e di un filo della lunghezza di 67 metri il quale era attaccato al centro della volta dell'edificio con un dispositivo particolarmente curato per ridurre il più possibile gli attriti e permettere al pendolo stesso di oscillare liberamente in ogni direzione.

In partenza la sfera era tenuta ferma ad un supporto con una cordicella e, quando tutto il sistema era perfettamente in quiete, la messa in moto avveniva bruciando la corda.

Sotto la sfera c'era una punta che poteva lasciare dei segni su della sabbia; dalle striature lasciate si vedeva che la sfera dopo ogni oscillazione si era spostata di un piccolo trattino; un più raffinato sistema di riferimento permetteva di controllare che il pendolo siffatto ruotava alla velocità di 11 gradi circa all'ora, facendo un giro completo di 360 gradi in quasi 32 ore.

Un cronista dell'epoca ci racconta che questo esperimento fu così interessante ed emozionante che alcune spettatrici diedero luogo a crisi isteriche mentre altri giuravano di avvertire che la Terra ruotava sotto i piedi (3).

Dopo questo esperimento Foucault divenne nel 1855 titolare dell'Osservatorio Imperiale di Parigi ed ottenne nello stesso anno la Copley Medal della Royal Society.

Purtroppo il grande scienziato venne a mancare in età relativamente ancora giovane, morendo in Parigi l'11 febbraio del 1868.

Naturalmente, ci si potrebbe chiedere come mai questo esperimento non mostra che la terra ruota attorno al suo asse in 24 ore; la risposta si trova nel fatto che solamente ai poli noi avremmo una velocità di rotazione del piano del pendolo di 15° all'ora, mentre alle altre latitudini essa risulta via via inferiore fino ad annullarsi all'equatore.

In seguito l'esperimento di Foucault venne ripetuto varie volte nelle più disparate sedi; si può ricordare quella del 1902 fatta ancora nel Pantheon nelle stesse condizioni della prima volta, per celebrare il 50° anniversario di tale prova.

3) DIPENDENZA DELL'ESPERIMENTO DALLA LATITUDINE

Abbiamo accennato parlando dell'esperimento fatto da Foucault nel 1852 ad una rotazione completa del piano di oscillazione del pendolo in circa 32 h anziché 24 h.

Ci sembra opportuno illustrare i motivi per cui ciò accade.

Dimostreremo, in altre parole, come la rotazione del piano del pendolo dipenda dalla latitudine alla quale viene messo a punto l'esperimento.

Proponiamo questa dimostrazione, e non quelle presenti in alcuni testi consultati, perché più rispondente alle esigenze didattiche.

Facciamo riferimento alla figura 1), precisando quanto segue:

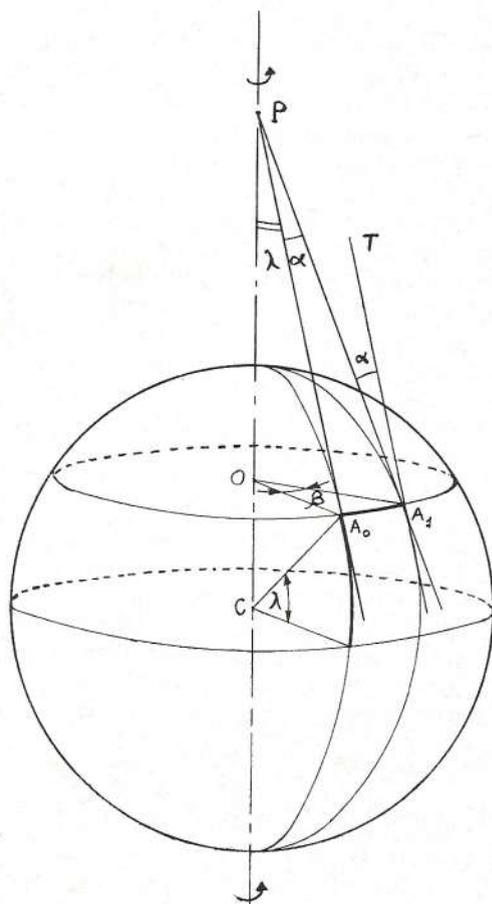


Fig. 1

1) il sistema di riferimento da noi scelto è quello delle stesse fisse;

2) A_0 e A_1 rappresentano due posizioni successive, negli istanti t_0 e t_1 , dello stesso punto, scelto arbitrariamente sulla superficie terrestre, in cui è in oscillazione il pendolo;

3) supponiamo il tempo $t_1 - t_0$ abbastanza breve da poter confondere il segmento A_0A_1 con l'arco di circonferenza corrispondente.

Mettiamo in moto il pendolo in modo che il suo piano di oscillazione al tempo t_0 coincida col piano del meridiano passante per A_0 ad una latitudine qualsiasi λ . Un osservatore in A_0 , che guardi oscillare il pendolo, lo vede puntare verso NORD, cioè lungo la tangente al meridiano terrestre in A_0 (direzione A_0P).

Al tempo t_1 lo stesso osservatore, ora in A_1 a causa della rotazione della Terra, vedrà il pendolo puntare sempre nella stessa direzione, cioè lungo la retta A_1T . Infatti, come è noto, in un sistema di riferimento inerziale il piano di oscillazione del pendolo non varia.

Tuttavia, rispetto ad un sistema di riferimento terrestre, il piano del pendolo è ruotato, nell'intervallo di tempo $\Delta t = t_1 - t_0$, dell'angolo α formato dalla tangente al meridiano per A_1 e dalla direzione di osservazione A_1T .

Nello stesso intervallo di tempo la Terra è ruotata dell'angolo β .

Poiché l'angolo $\widehat{A_0PA_1}$ è congruente all'angolo $\widehat{PA_1T}$, per determinare la relazione esistente tra α e β consideriamo i triangoli isosceli $\triangle A_0OA_1$ e $\triangle A_0PA_1$ di base comune A_0A_1 .

E' immediato constatare che: $\alpha < \beta$.

Ciò l'angolo α di rotazione del piano del pendolo è minore dell'angolo β della corrispondente rotazione terrestre.

Si noti inoltre che $\triangle A_0OA_1$ è la proiezione di $\triangle A_0PA_1$ sul piano del parallelo passante per A_0 . Ne deriva che se scegliessimo come latitudine 90° (POLO) i due triangoli coinciderebbero e di conseguenza $\hat{\alpha} = \hat{\beta}$, cioè

il piano del pendolo compierebbe una rotazione completa in 24 h.

Se scegliessimo, invece, come latitudine 0° (EQUATORE) le due tangenti A_0P e A_1P sarebbero parallele, e quindi $\alpha = 0$, cioè non si assisterebbe alla rotazione del piano del pendolo.

Da queste considerazioni possiamo dedurre che l'angolo di rotazione del piano del pendolo nell'intervallo di tempo Δt dipende dalla latitudine.

Per cercare il legame tra l'angolo α e la latitudine λ osserviamo che la velocità periferica v del punto A_0 , che nel tempo Δt si sposta in A_1 , è la medesima sia rispetto al punto O , sia rispetto al punto P .

La velocità angolare, invece, nel primo caso coincide con quella della terra (ω), nel secondo con quella del piano di oscillazione del pendolo (ω_r).

Possiamo così scrivere:

$$v = \omega_r \cdot OA_0, \quad v = \omega \cdot PA_0$$

$$\text{da cui } \omega_r \cdot OA_0 = \omega \cdot PA_0.$$

Essendo $OA_0 = PA_0 \sin \lambda$, otteniamo:

$$\frac{\omega_r}{\omega} = \sin \lambda$$

4) DESCRIZIONE TECNICA

Le caratteristiche del pendolo realizzato da noi per ripetere l'esperienza di Foucault erano le seguenti:

lunghezza = 14,8 metri

periodo di oscillazione = 7,72 secondi

massa della sfera = 21,2 chilogrammi

massa del filo di sospensione = 92 grammi.

La realizzazione ha presentato diverse difficoltà, soprattutto per mettere a punto il sistema di sospensione. L'aiuto di una ditta locale specializzata nella lavorazione di fili in acciaio è stato determinante per la riuscita del dispositivo.

Si tratta di un anello in ferro, (Fig. 2 a), del diametro di circa 50 mm, con avvitata verso l'interno, alla estremità del diametro verticale, una vite lunga circa 20 mm (diametro 6 mm) recante in punta una cavità emisferica nella quale alloggia una sferetta di acciaio, del tipo per cuscinetti, avente il diametro di 2 mm.

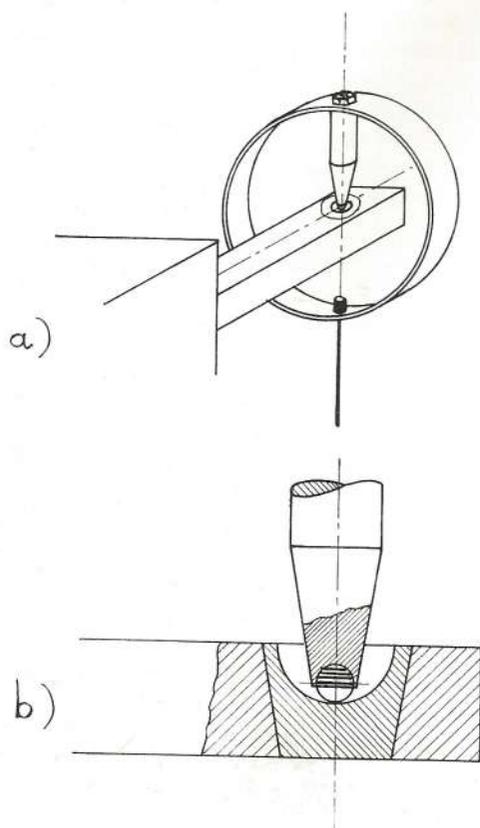


Fig. 2- a) Sistema di sospensione.
 b) Particolare ingrandito della sospensione.

All'altra estremità del diametro verticale dell'anello è fissato, per mezzo di un morsetto, il filo di sospensione del pendolo, in acciaio armonico del diametro di 1 mm.

La sferetta alloggiata nella punta della vite viene fatta appoggiare sul fondo di una cavità emisferica, Fig. 2 b), del diametro di 10 mm, fresata in un blocchetto di acciaio speciale al Cromo-Nichel, tipo UNI 100 C6. Sia la sferetta sia la cavità sono state lucidate e lubrificate in modo da consentire un rotolamento praticamente senza attrito dell'una sull'altra. E' stato così possibile ottenere libere oscillazioni del pendolo in tutte le direzioni.

Data l'impossibilità di saldare il blocchetto di acciaio, perché altrimenti si sa-

rebbe alterata l'alta qualità del materiale, gli venne data la forma di un tronco di cono (recante la cavità emisferica dalla parte della base maggiore) e venne incastrato a pressione in un alloggiamento delle stesse dimensioni ricavato in una sbarretta in ferro fissata ad una trave del soffitto.

L'ambiente nel quale è stato montato il pendolo era la tromba delle scale del Liceo Classico di Mantova: il punto di sospensione si trovava nella soffitta della scuola, la sfera oscillante e tutte le apparecchiature erano a piano terra, quasi 15 metri più sotto.

Data la lunghezza del pendolo, ogni piccola perturbazione faceva vibrare il filo di sospensione e per ottenere che filo e sfera fossero in posizione di totale riposo al momento della messa in moto del sistema, e venisse eliminata ogni vibrazione del filo durante le oscillazioni, abbiamo adottato un sistema di sgancio elettromagnetico.

Per misurare la rotazione del piano di oscillazione del pendolo abbiamo adottato un sistema ottico che permetteva di proiettare su uno schermo l'ombra del filo (4). Nella Fig. 3 è rappresentato lo schema del dispositivo visto di lato e dall'alto.

Il fascio di luce del proiettore P viene fatto convergere dalla lente a corto fuoco L_1 sul tratto AB del filo di sospensione. La lente L_2 a lungo fuoco serve a formare l'immagine (capovolta e ingrandita) del tratto AB del filo sullo schermo quando la sfera è nella posizione 2.

Il sistema ottico era stato approntato in modo da ingrandire 5 volte lo spessore del filo e i relativi spostamenti. Dallo spostamento x' dell'ombra del filo sullo schermo era possibile conoscere lo spostamento laterale x del tratto AB del filo e, nota l'ampiezza a delle oscillazioni, risalire all'angolo di rotazione α del piano di oscillazione del pendolo.

Dopo varie prove abbiamo trovato che la durata di 20 oscillazioni, pari a 2,56 minuti primi, era sufficiente sia per le misure, sia per l'osservazione diretta dello spo-

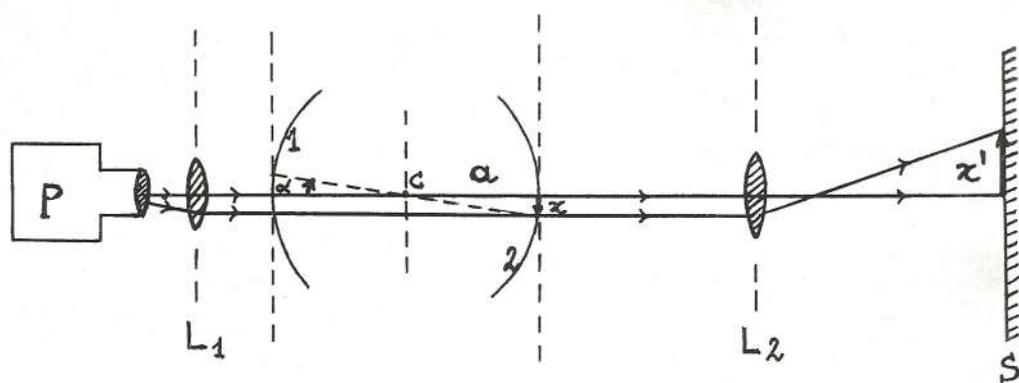
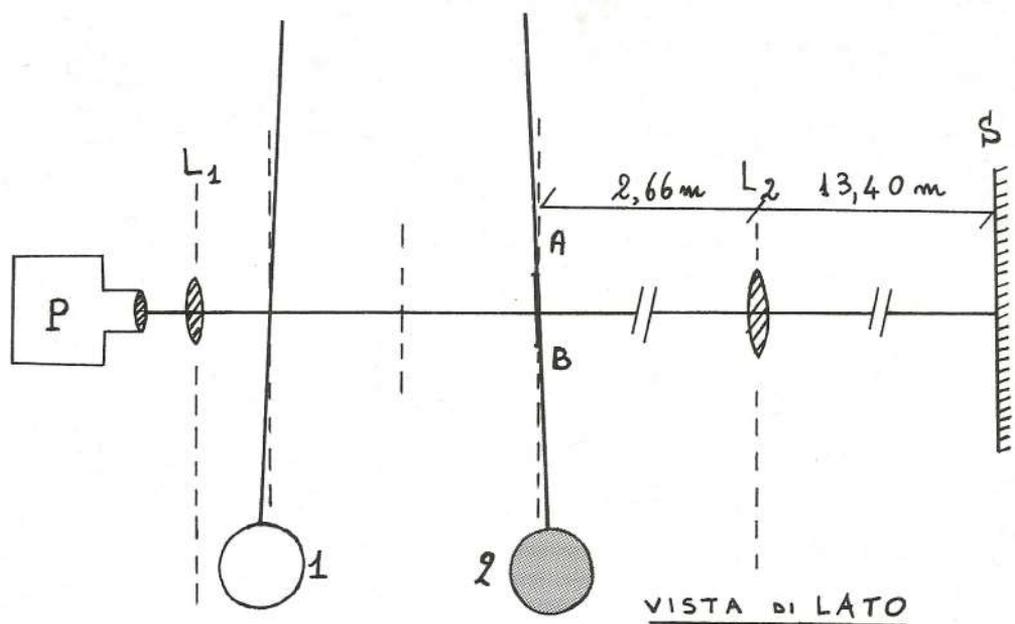


Fig. 3 - Schema del dispositivo di proiezione dell'ombra del filo.

stamento dell'ombra anche da diversi metri di distanza.

5) RISULTATI

Durante la presentazione dell'esperimento al pubblico e alle scolaresche sono state effettuate delle misure. La rotazione apparente del piano del pendolo veniva evidenziata su uno schermo bianco median-

te lo spostamento dell'ombra del filo. In pochi minuti è stato possibile osservare uno spostamento di qualche centimetro.

Da questo e dagli altri dati a nostra disposizione siamo risaliti alla latitudine di Mantova utilizzando la relazione dimostrata nel precedente paragrafo. Nella tabella sono riportati i dati:

x' (mm)	x (mm)	a (mm)	$\omega = \frac{x}{a t} 57,2^\circ$ (gradi/minuto)	$\frac{\omega}{\omega_\tau} = \text{sen } \lambda$	λ (gradi)
24	4,8	650	0,17	0,68	43
23	4,6	650	0,16	0,64	40
23	4,6	650	0,16	0,64	40
23	4,6	650	0,16	0,64	40
25	5,0	650	0,17	0,68	43
25	5,0	650	0,17	0,68	43
27	5,4	660	0,18	0,73	47
25	5,0	660	0,17	0,68	43
27	5,4	660	0,18	0,73	47

x' = spostamento dell'ombra del filo, ingrandito 5 volte

x = spostamento del filo

a = ampiezza di oscillazione

$\omega_\tau = 0,25$ gradi/minuto, velocità angolare della Terra

ω = velocità angolare del piano di oscillazione del pendolo

$t = 2,56$ minuti, durata di 20 oscillazioni del pendolo

λ = latitudine del luogo

Confrontando i valori di λ con la latitudine di Mantova che è di $45^\circ 09' 27''$, si può osservare che essi non si discostano sensibilmente dal valore corretto. Se si considera che la misura maggiormente affetta da errore è quella di x' , che ha in media un'incertezza intorno all'8%, ci sembra che i risultati da noi ottenuti dimostrino abbastanza bene il buon funzionamento del sistema e la validità dell'esperimento.

Purtroppo, non siamo riusciti ad accertare le ragioni per cui i nostri dati risultano per lo più minori di quello corretto.

A titolo di cronaca può interessare sapere che a vedere l'esperimento si sono avvicinate una ventina di classi di diversi

istituti, della città e della provincia, per un totale di circa 400 studenti.

Desideriamo ringraziare la Presidenza del Liceo Classico « Virgilio », il tecnico G. Ravanini, l'Industria Trafileria Applicazioni Speciali per la loro collaborazione.

BIBLIOGRAFIA

- 1) The Project Physics Course, Unità 2 « Moto nei cieli », Zanichelli Bologna, 1974.
- 2) L. Roudaux e G. De Vaucoulers, « Astronomia », De Agostini Novara, 1960.
- 3) « Collier's Encyclopedia », Crowell - Collier Educational Corporation, U.S.A. 1970, Vol. X.
- 4) H. Meiners, « Physics Demonstration Experiments », Ronald Press Company, New York 1970.