

## COMPOSIZIONE DI FORZE 2

Su un pannello verticale si realizza la struttura di Fig. 26.2.

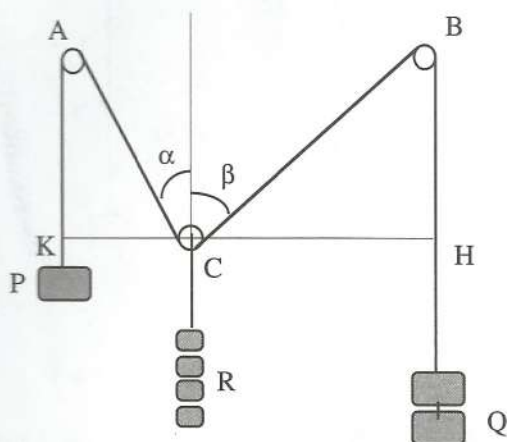


Fig. 26.2. In questo caso si studia l'equilibrio con pesi diversi.

Mantenendo fissi i contrappesi P e Q, si varia la massa R e si misurano, per ogni caso, le distanze AC, BC, CK e CH, e gli angoli  $\alpha$  e  $\beta$ , in modo da poter ricostruire la situazione in un disegno. Al variare del contrappeso R, che cosa si conserva nella posizione di equilibrio?

Il poligono delle forze è un triangolo ( Fig. 26.3).

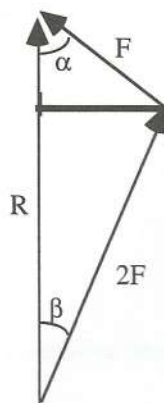


Fig. 26.3. Il poligono delle forze di risultante nulla. F è costante; R variabile.

Si ha equilibrio quando  $F \sin \alpha = 2F \sin \beta$ .

All'equilibrio, il seno di un angolo è doppio del corrispondente.

Si può anche togliere il contrappeso R e sostituirlo con un disco graduato al cui

centro è collocata una puleggina (Fig. 26.4)

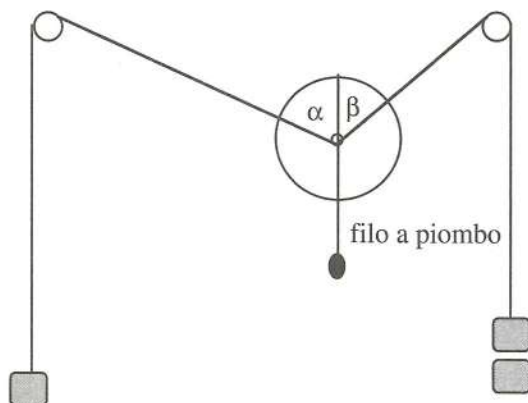


Fig. 26.4. Il disco graduato consente la misura degli angoli.

Si può allora raccogliere un certo numero di coppie di valori di  $\alpha$  e  $\beta$  e cercare la relazione tra i due angoli.

Un'altra istruttiva situazione fisica è suggerita dalla Fig. 26.5

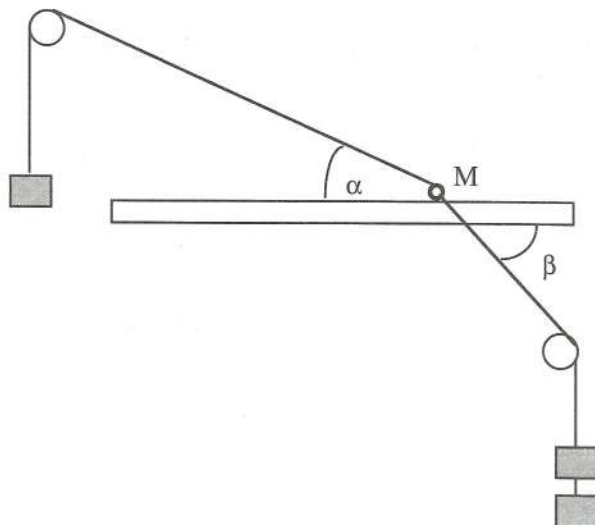


Fig. 26.5. Legge della rifrazione per le forze.

Due pezzi di spago che passano per due carrucole sostengono due pesi (uno doppio dell'altro) sono legati ad una matita che scorre liberamente sul bordo di un regolo orizzontale liscio. Si cerca la posizione per la quale la matita è in equilibrio e si misurano gli angoli  $\alpha$  e  $\beta$ . Si confrontano infine i coseni. Si ripete la prova scambiando i pesi.

## 27. IMMAGINI DA UN FORO

**Finalità della dimostrazione:** Bella esercitazione sulla formazione delle immagini.

**Fascia di età in cui si può proporre:** Scuola media - liceo

**Grado di difficoltà concettuale:** Modesto.

**Grado di difficoltà di realizzazione:** Facile

**Materiali richiesti:** Una lampada a filamento rettilineo.

Foglio di alluminio

Foglio di plexiglass 4X4 cm.

Schermo di carta da lucido.

**Interesse suscitato:** Buono

**Efficacia didattica:** Ottima.

Su un telaio di cartone o di legno si fissa un foglio di carta stagnola al centro del quale si pratica un forellino sottile. Si dispone il materiale come in Fig. 27.1.

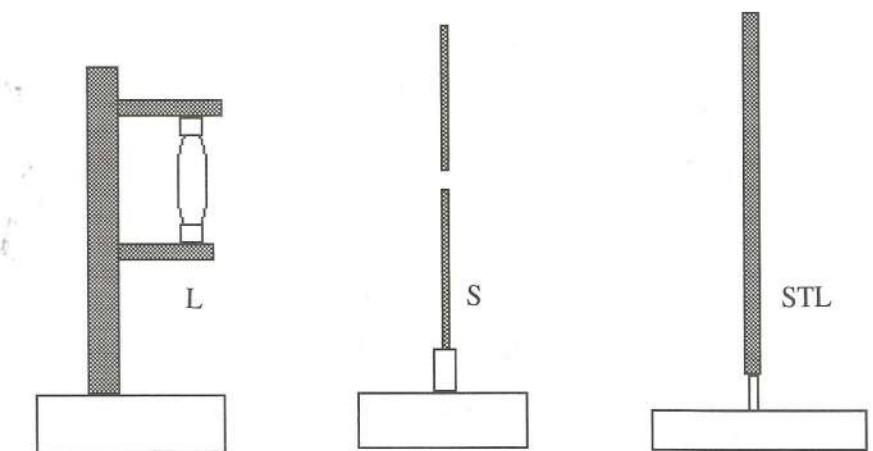


Fig. 27.1. Dispositivo per la dimostrazione. L= lampada; S = schermo con forellino; STL= schermo di carta traslucida.

Accesa la lampada, si osserva sullo schermo l'immagine del filamento. Se si traccia un segno opaco sul vetro della lampada, si può osservare la sua immagine proiettata e riconoscere che è rovesciata.

Man mano che si avvicina il foro allo schermo, l'immagine diventa più piccola e perde in nitidezza, fino a che si osserva solo l'immagine del foro. Per comprendere che cosa accade possiamo fare riferimento alla Fig. 27.2.

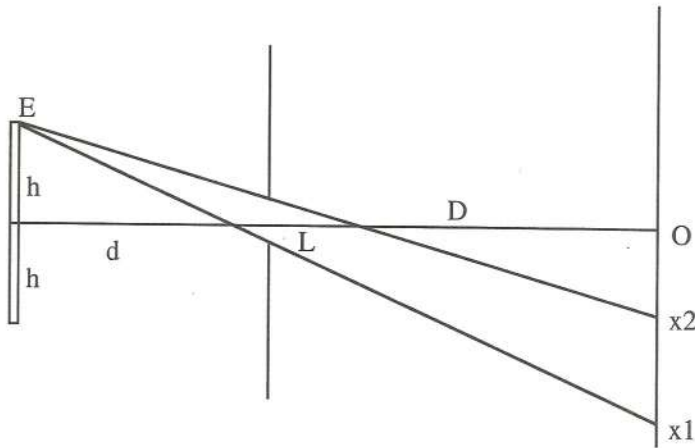


Fig.27.2. Perché la nitidezza dell'immagine diminuisce all'avvicinarsi del foro allo schermo.  $2h$  = lunghezza della lampada;  $d$  = distanza lampada-foro;  $D$  = distanza foro-schermo;  $L$  = diametro del foro.

Dall'estremo E della lampada abbiamo mandato due raggi tangenti al foro che intersecano lo schermo rispettivamente a distanza  $x_1$  e  $x_2$  da O, traccia dell'asse di simmetria.

Elementari considerazioni di geometria conducono alle proporzioni

$$\frac{x_1 - L/2}{D} = \frac{h + L/2}{d}$$

$$\frac{x_2 + L/2}{D} = \frac{h - L/2}{d}$$

da cui si ricava che

$$x_1 - x_2 = \frac{L}{d}D + L$$

Questo significa che i raggi provenienti dal punto E della lampada si distribuiscono su questo intervallo.

Osserviamo anche che la semilunghezza  $x$  dell'immagine è data da

$$x = \frac{D}{d}h$$

Poniamo che il limite dell'immagine chiara si raggiunga quando

$$x_1 - x_2 \approx x.$$

Questo si verifica per

$$\frac{d}{D} \approx \frac{h - L}{L} \approx \frac{h}{L}$$

Il modo migliore per osservare le immagini consiste nel proiettarle direttamente sul fotocatodo di una telecamera. Si realizza così una telecamera senza lente-obiettivo; una *tele-camera obscura*. E' molto interessante studiarne le proprietà.

**E se sostituiamo il foro con il suo negativo cioè con un circoletto opaco?**

Basta sostituire allo schermo di alluminio un foglio di acetato o una lastra di vetro sottile sul quale si sia stampata una piccola macchia. Il modo migliore per realizzarla è quello di fotocopiare su un foglio di acetato una macchia nera, rimpicciolendone l'immagine.

E' importante chiedere agli studenti di fare previsioni sui risultati che si otterranno. L'ombra della macchiolina sarà l'immagine scura della lampada?

Si osserva effettivamente un'ombra che è l'immagine, negativa, della lampada. Ancora si osserva che l'immagine diventa sempre più oscura man mano che la macchia si avvicina allo schermo: alla fine ciò che si osserva è la proiezione della macchia. Se si colloca una striscia opaca sulla lampada, come sarà la sua immagine? Si osserva che l'immagine di un oggetto oscuro è luminosa (Fig. 27.3).

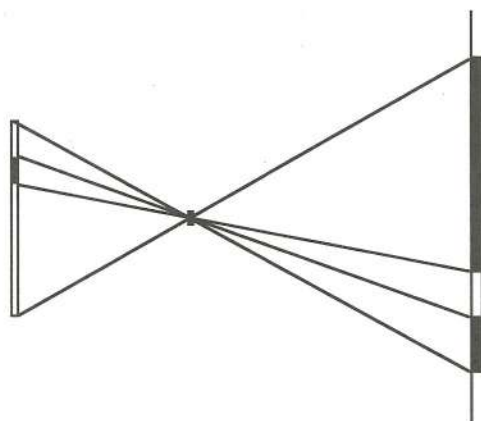


Fig.27.3. L'immagine di un tratto oscuro è un tratto luminoso.

L'immagine è una penombra, cioè il luogo dei punti dai quali non tutta la lampada è visibile. Il tratto illuminato è tale perché dai punti di questo sono visibili tutti i punti della lampada che emettono luce. Se la striscia è trasparente e, poniamo, di color rosso, la sua immagine è di color verde-azzurro. Naturalmente, tutti questi effetti sono molto più spettacolari per gli studenti se mostrati attraverso una telecamera. Si toglie l'obiettivo e lo si sostituisce con un dischetto trasparente al centro del quale abbiamo stampato un circoletto opaco: una *telecamera a inversione*.

## 28. FOTOGRAFARE LE STELLE

**Finalità della dimostrazione:** Mostrare il moto della sfera celeste.

**Fascia di età in cui si può proporre:** Scuola media - liceo

**Grado di difficoltà concettuale:** Modesto

**Grado di difficoltà di realizzazione:** Facile

**Materiali richiesti:** Macchina fotografica, treppiede, flessibile.

**Interesse suscitato:** Buono.

**Efficacia didattica:** Ottima.

E' un'attività da proporre nei mesi invernali, in un periodo di bel tempo.

Si esce in campagna, in una notte limpida e senza luna, in una zona in cui non si vedono luci artificiali. Si porta la scala dei tempi della macchina fotografica nella posizione S, tale cioè che l'otturatore rimanga aperto fino a che si mantiene premuto il pulsante dello scatto. A questo si applica il flessibile, che consente di bloccare il pulsante nella posizione di apertura dell'otturatore. Un valore accettabile per il diaframma è 8; ma sono accettabili opzioni diverse.

Collocata la macchina sul treppiede, si punta verso Sud - meglio se verso una costellazione ben riconoscibile (ad es. Orione) - si preme sul pulsante e lo si blocca. Contemporaneamente si fa partire l'orologio.

Dopo 20 minuti si sblocca il pulsante e la ripresa è fatta.

Puntando sempre verso Orione, si fa un'altra ripresa con un tempo di esposizione molto più breve: 10-20 secondi. Una fotografia simile a quest'ultima si può prendere in direzione del Grande Carro. Infine si fa una ripresa ad esposizione lunga verso Nord, in direzione della Polare. Dopo lo sviluppo, si proiettano le diapositive in classe. Si osserva allora che le foto sono venute "mosse". Nella ripresa verso Sud, le stelle descrivono delle strisce parallele e di eguale lunghezza. Nella ripresa verso Nord, le stelle descrivono archi di circonferenza che hanno un centro comune, in un punto poco distante dalla stella Polare. Si tratta del Polo Nord Celeste.

Tutto ciò è dovuto al fatto che la sfera celeste ruota da sinistra a destra (per chi guarda a Sud) descrivendo 1 grado ogni 4 minuti. Durante l'esposizione (che è durata 20 min) le stelle si sono quindi spostate di 5°. Questo fornisce quindi una scala per misurare le distanze angolari nel cielo. La scala che si ricava dalla diapositiva di Orione si può utilizzare per misurare le distanze angolari delle stelle che costituiscono il Grande Carro.

## 29. SISTEMI DI RIFERIMENTO

### 29.1 RELATIVITA' DELLA TRAIETTORIA

**Finalità della dimostrazione:** Induce a riflettere sul fatto che la forma della traiettoria di un punto dipende dal sistema di riferimento.

**Fascia di età in cui si può proporre:** Liceo

**Grado di difficoltà concettuale:** molto modesto se si evita la trattazione matematica; altrimenti è abbastanza difficile.

**Grado di difficoltà di realizzazione:** modesto

**Materiali richiesti:** Una bicicletta  
una macchina fotografica

**Interesse suscitato:** Abbastanza alto

**Efficacia didattica:** Ottima.

Se si solleva una bicicletta da terra e si fa girare la ruota, la traiettoria descritta dalla valvola ( ovvero *pirolino*) è una circonferenza. Qual è la sua traiettoria se la bicicletta si sposta, come normalmente, sul terreno?

Con del nastro adesivo si fissa sul bordo della ruota una piccola lampadina alimentata da una batteria. Si consiglia di usare un biciclino da bambino. Si prepara una macchina fotografica su cavalletto, o un altro supporto fisso, disponendo l'indice dei tempi nella posizione B. Per evitare vibrazioni dell'apparecchio durante la ripresa è preferibile usare un flessibile.

Quando tutto è pronto, si oscura la stanza, si apre l'otturatore dell'apparecchio fotografico e si fa partire la bicicletta. In questo modo si ottiene l'immagine della traiettoria nel sistema di riferimento del laboratorio.

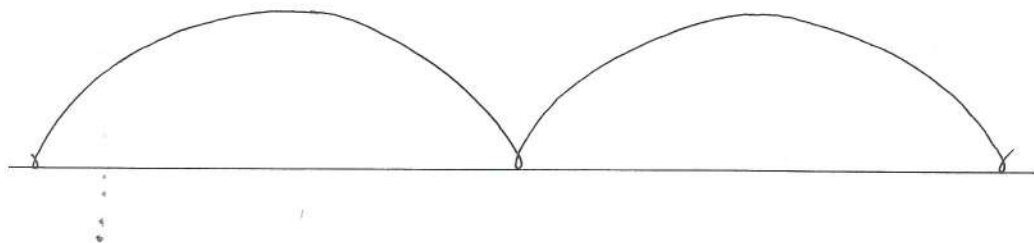


Fig. 29.1. Traiettoria descritta dalla valvola della bicicletta nel sistema di riferimento del terreno.

Le equazioni parametriche di questa traiettoria si possono ricavare in modo elementare. Infatti, il moto è composto da un moto traslatorio con velocità

costante  $\omega R$  e da un moto circolare uniforme. Le equazioni parametriche di quest'ultimo, rispetto al centro della ruota, sono

$$\begin{cases} x = -R \operatorname{sen}(\omega t) \\ y = -R \operatorname{cos}(\omega t) \end{cases}$$

Il centro della ruota si sposta e le sue coordinate sono

$$\begin{cases} x = \omega R t \\ y = R \end{cases}$$

Combinando le equazioni si ottiene

$$\begin{cases} x = R[\omega t - \operatorname{sen}(\omega t)] \\ y = R[1 - \operatorname{cos}(\omega t)] \end{cases}$$

Anche la velocità si può ottenere come composizione di una velocità costante con quella che caratterizza il moto circolare uniforme. Infatti, la velocità del pirolino rispetto al centro della ruota è descritta da

$$\begin{cases} v_x = -R\omega \operatorname{cos}(\omega t) \\ v_y = R\omega \operatorname{sen}(\omega t) \end{cases}$$

mentre le componenti della velocità del centro sono

$$\begin{cases} v_x = \omega R \\ v_y = 0 \end{cases}$$

Combinando queste

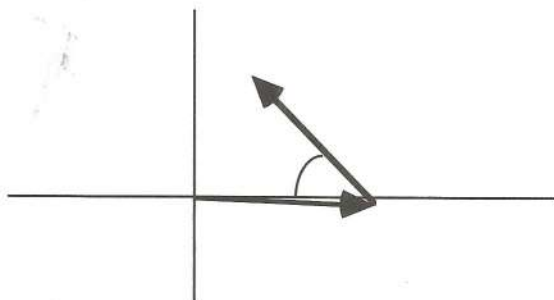


Fig.29.2. Composizione delle velocità del pirolino: velocità di traslazione (orizzontale) e di rotazione.

si ottiene

$$\begin{cases} v_x = \omega R[1 - \operatorname{cos}(\omega t)] \\ v_y = R\omega \operatorname{sen}(\omega t) \end{cases}$$

La velocità massima si ha per  $\omega t = \Pi$ , quando

$$\begin{cases} v_x = 2\omega R \\ v_y = 0 \end{cases}$$

La cosa può essere controllata utilizzando, al posto della lampadina, una lampada ad intermittenza o un LED.



## 29.2. CORIOLIS

**Finalità della dimostrazione:** Traiettoria in un sistema non inerziale, accelerazione di Coriolis.

**Fascia di età in cui si può proporre:** liceo

**Grado di difficoltà concettuale:** richiede una buona capacità di interpretare i grafici

**Grado di difficoltà di realizzazione:** elementare

**Materiali richiesti:** Un vecchio giradischi  
Alcuni vecchi LP

**Interesse suscitato:** abbastanza buono

**Efficacia didattica:** Ottima.

Da fogli spessi di acetato si ritagliano dei cerchi da sovrapporre ai dischi. Si prepara l'apparecchiatura illustrata in Fig.29.3.



Fig. 29.3. Apparato per l'accelerazione di Coriolis. Il piatto del giradischi è sovrastato da un'asta che poggia su due sostegni di altezza opportuna.

E' costituita dal giradischi, sul piatto del quale appoggiamo un disco al quale abbiamo fissato un foglio di acetato, e da una riga che poggia su due sostegni laterali, in modo tale da sfiorare il piatto.

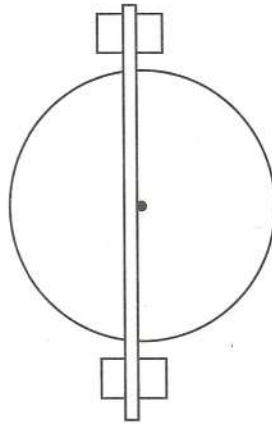


Fig. 29.4. L'apparato visto dall'alto. L'asta sfiora il centro del piatto del giradischi.

Avviato il giradischi, con un pennarello morbido si traccia una linea lungo la riga. La curva che si ottiene è la traiettoria della punta del pennarello, nel sistema di riferimento del piatto. Si ottengono curve come quella di Fig. 29.5.

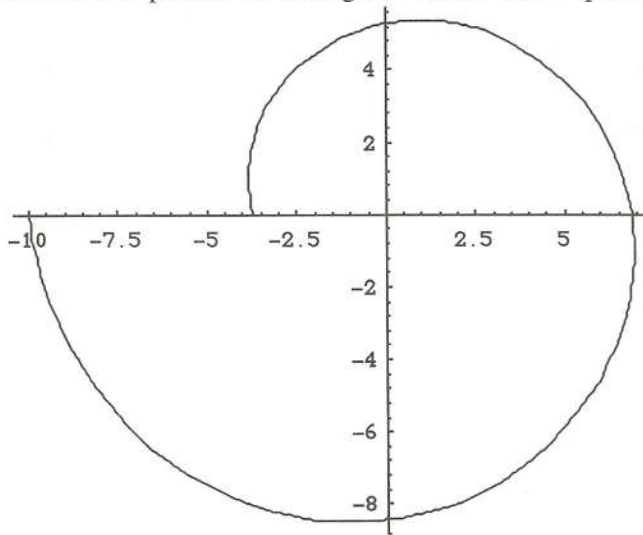


Fig.29.5. Traiettoria della penna nel sistema di riferimento del piatto del giradischi.

Si tratta di spirali di Archimede, se la velocità della mano è abbastanza costante.

### 30. COMPOSIZIONE DI ROTAZIONI

**Finalità della dimostrazione:** Fornire un esempio di composizione di moti circolari.

**Fascia di età in cui si può proporre:** Scuola media -liceo

**Grado di difficoltà concettuale:** richiede una certa capacità di cambiare, idealmente, sistema di riferimento.

**Grado di difficoltà di realizzazione:** elementare

**Materiali richiesti:** Due dischi di legno o metallo l'uno di diametro quadruplo dell'altro. Ad es. uno di diametro 10 cm; l'altro di 40 cm.

**Interesse suscitato:** Abbastanza buono, se si conduce la lezione con accortezza.

**Efficacia didattica:** Ottima.

Presso un tornitore si fanno realizzare due dischi di legno di diametro, rispettivamente, 10 cm e 40 cm, ciascuno munito di un foro centrale attraverso il quale si possa far passare un perno metallico. I perni, a vite, vengono fissati ad una tavola di legno di opportuna ampiezza, in modo che i due dischi abbiano i bordi a contatto. Su ciascun disco si traccia un raggio di riferimento e li si dispone in modo che, inizialmente, i due raggi siano allineati. Misurati i due diametri, e mostrato che al ruotare dell'uno ruota anche l'altro, ovvero che non vi è slittamento delle superfici a contatto, si chiede agli allievi di prevedere quanti giri farà la ruota piccola per un giro della ruota grande.

Facendo ruotare la ruota grande si osserva la sequenza illustrata in Fig. 30.1.

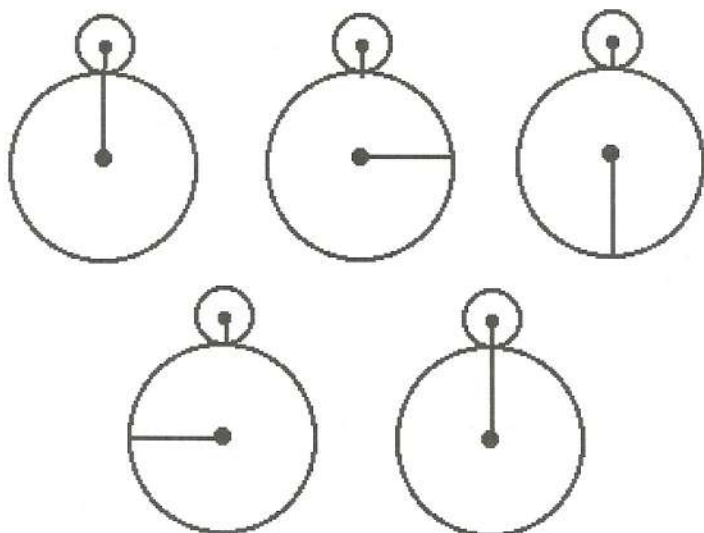


Fig. 30.1. Momenti diversi della rotazione. Mentre il disco grande compie un giro, il piccolo ne fa quattro.

Quindi, ad ogni giro della ruota grande corrispondono 4 giri della ruota piccola. Si toglie ora la ruota piccola dal perno e si blocca la ruota grande. Si pone la domanda:

Quanti giri deve fare la ruota piccola per percorrere, rotolando senza strisciare, il perimetro della ruota grande?

Si percorre la circonferenza della ruota grande facendovi rotolare la piccola (Fig. 30.2).

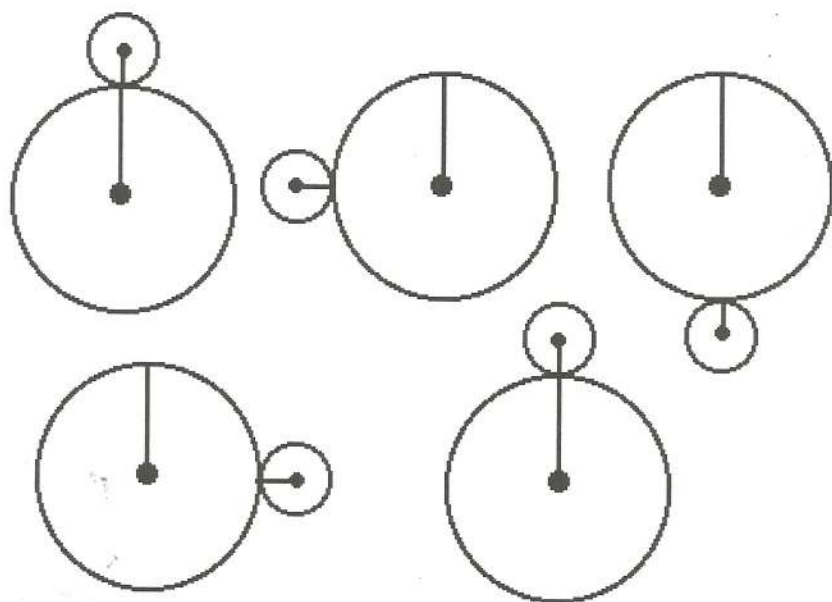


Fig. 30.2. Quattro tappe della rotazione. In ognuna di queste il disco piccolo compie un giro +  $1/4$ .

Si contano quindi 5 giri della ruota piccola!

La cosa, generalmente, lascia molto sorpresi gli studenti, che chiedono una ripetizione della prova. Ma non vi è nessun mistero. Nella prima prova, nel sistema di riferimento della tavola, per ripristinare le condizioni iniziali, occorrono 4 giri della ruota piccola più un giro della ruota grande. Nel sistema di riferimento della ruota grande la ruota piccola compie quindi 5 rotazioni complete. E' appunto ciò che si osserva nella seconda prova!

## 31. SPETTRO DI UNA LAMPADA A FILAMENTO

**Finalità della dimostrazione:** Mostrare lo spettro della luce emessa da una comune lampada.

**Fascia di età in cui si può proporre:** biennio -liceo

**Grado di difficoltà concettuale:** molto modesto

**Grado di difficoltà di realizzazione:** elementare

**Materiali richiesti:** Un proiettore per diapositive

Due lamette da barba

Un reticolo di diffrazione

Un telaietto per diapositive

**Interesse suscitato:** Buono

**Efficacia didattica:** Buona.

Si prende un telaietto per diapositive e vi si applicano due lamette da barba come in Fig.31.1, in modo da realizzare una fenditura di spessore molto piccolo.

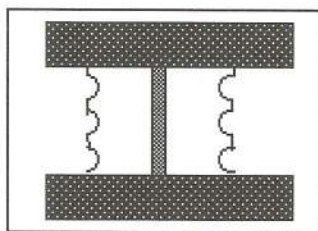


Fig. 31.1. Fenditura sottile realizzata con un telaio da diapositive e due lamette da barba.

Si introduce il telaio nel proiettore e si mette a fuoco l'immagine su uno schermo. Davanti all'obiettivo del proiettore si colloca un reticolo di diffrazione, con le fenditure parallele alla fenditura del telaio. Sullo schermo compaiono i due spettri del primo ordine, simmetrici rispetto alla linea centrale.

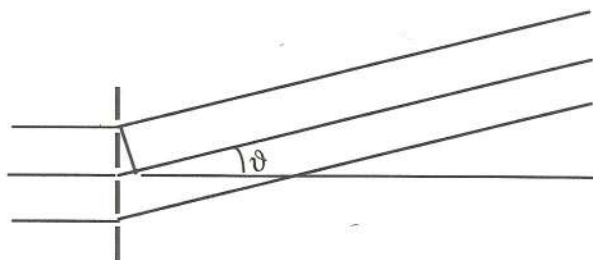


Fig.31.2. Reticolo di diffrazione.

La condizione per l'interferenza costruttiva (Fig. 31.2) è

$$p \sin \vartheta = \lambda$$

dove  $p$  è il passo del reticolo,  $\vartheta$  la direzione rispetto all'asse del reticolo,  $\lambda$  la lunghezza d'onda.

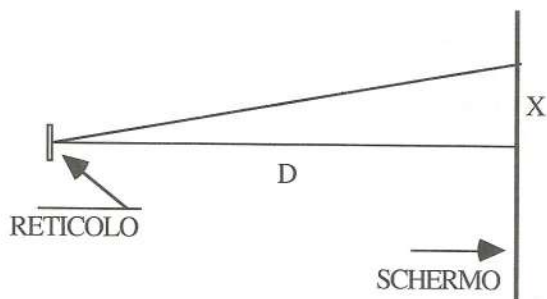


Fig.31.3. Geometria dell'interferenza. D indica la distanza dello schermo dal reticolo; X la posizione della riga d'interferenza.

Ma è anche

$$\tan \vartheta = \frac{x}{D}$$

dove  $x$  è la distanza della riga dal centro dello spettro e  $D$  la distanza del reticolo dallo schermo (Fig. 31.3).

Dal confronto delle due equazioni e assumendo che, per angoli piccoli, sia

$$\tan \vartheta \cong \sin \vartheta,$$

si ricava

$$\lambda = p \frac{x}{D}$$

che fornisce la lunghezza d'onda della luce emessa dalla lampada.

## 32. I MONTI DELLA LUNA

**Finalità della dimostrazione:** Compiere una misura indiretta di lunghezza. Eseguire una misura descritta da Galileo.

**Fascia di età in cui si può proporre:** Scuola media - liceo

**Grado di difficoltà concettuale:** Modesto

**Grado di difficoltà di realizzazione:** Facile

**Materiali richiesti:** Una diapositiva della Luna al primo o all'ultimo quarto  
Un proiettore per diapositive.

**Interesse suscitato:** Buono.

**Efficacia didattica:** Ottima.

La scheda è stata concepita come una guida per l'insegnante che voglia proporre alla classe un'esercitazione nell'ambito di una serie di lezioni dedicate alla Luna oppure in un ciclo di lezioni dirette ad illustrare la nascita della moderna astronomia, attraverso la lettura di alcune pagine del "*Sidereus Nuncius*". In ambedue i casi è opportuno fornire agli allievi alcune indicazioni per l'osservazione della Luna ad occhio nudo o con un cannocchiale. Qualora l'osservazione diretta non fosse possibile si può ricorrere a materiale iconografico che consenta il riconoscimento delle principali strutture della superficie lunare.

Ricavare informazioni sulle dimensioni dei rilievi lunari è di per sé risultato importante che lo studente è in grado di apprezzare specialmente se l'insegnante ha l'accortezza di non fornire in anticipo i risultati delle misure. Anzi, è opportuno che l'insegnante dichiari di non conoscerli ed inviti gli studenti ad avanzare delle previsioni. E' possibile escludere a priori che sulla Luna vi siano monti alti, per esempio, 20 km?

L'esercitazione è anche un ottimo esempio di applicazione di teoremi di geometria elementare. Il valore che si ottiene è il risultato di una misura indiretta, quindi è affetto da una incertezza che dipende dalla qualità degli strumenti usati e dall'aderenza alla realtà delle ipotesi fatte. Quindi è importante mettere a fuoco gli assunti sui quali si basa la misura e il grado di affidabilità dei risultati ottenuti.

Il metodo che proponiamo è quello trovato da Galileo ed esposto in una pagina del "*Sidereus Nuncius*" (1610) la cui lettura - in traduzione - è accessibile anche a studenti del primo biennio di scuola media superiore: si tratta infatti della descrizione di un'applicazione del teorema di Pitagora.

*<< Avendo io più e più volte osservato, in diverse posizioni della Luna rispetto al Sole, che nella parte tenebrosa della Luna alcuni vertici, anche se abbastanza lontani dal confine della luce, ne apparivano pervasi, mettendo a raffronto la loro distanza con l'intero diametro della Luna, accertai che questa distanza supera talvolta la ventesima parte del diametro. Stabilito questo, si pensi il globo lunare, il cui circolo massimo sia CAF, il centro E, il diametro CF, che sta al diametro della Terra come 2 a 7; poiché il diametro terrestre, secondo*

le più esatte osservazioni, misura 7000 miglia italiane, sarà  $CF$  2000,  $CE$  1000, la ventesima parte di tutto  $CF$  100 miglia. Sia ora  $CF$  il diametro del circolo massimo, che divide la parte luminosa della Luna da quella oscura ( infatti, per la grandissima distanza del Sole dalla Luna, questo circolo non differisce sensibilmente dal circolo massimo) e  $A$  disti dal punto  $C$  la ventesima parte di quel diametro: si prolunghi il semidiametro  $EA$ , fino all'incontro nel punto  $D$  della tangente  $GCD$  ( che rappresenta il raggio illuminante ). Sarà dunque l'arco  $CA$ , e il segmento  $CD$ , 100 di tali parti delle quali  $CE$  è 1000, e la somma dei quadrati di  $DC$  e di  $CE$  1.010.000, alla quale è uguale il quadrato di  $DE$ : dunque tutta  $ED$  sarà più di 1004 e  $AD$  più di 4 di tali parti, delle quali  $CE$  è 1000.

Nella Luna dunque l'altezza  $AD$ , che designa un qualsiasi vertice elevato fino al raggio solare  $GCD$  e lontano dal confine  $C$  per la distanza  $CD$ , supera le 4 miglia italiane.

Sulla Terra non vi sono monti che giungano ad un miglio di altezza perpendicolare: resta dunque evidente che le sopraelevazioni lunari sono più alte di quelle terrestri>>.

[*Sidereus Nuncius*, a cura di F. Flora, Einaudi, 1976].

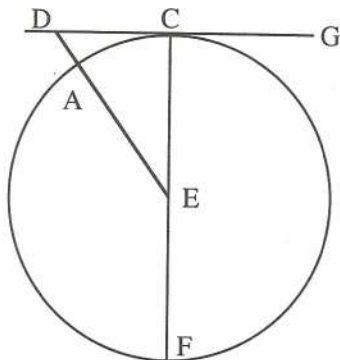


Fig.32.1. Disegno, tratto dal "*Sidereus Nuncius*", che illustra il procedimento di Galileo.

Descriviamo ora il metodo in linguaggio corrente.

Se si proietta una diapositiva della Luna al primo quarto o all'ultimo, in prossimità del terminatore ( la linea che separa la zona illuminata da quella in ombra) si possono osservare dei punti illuminati (Fig.32.2).



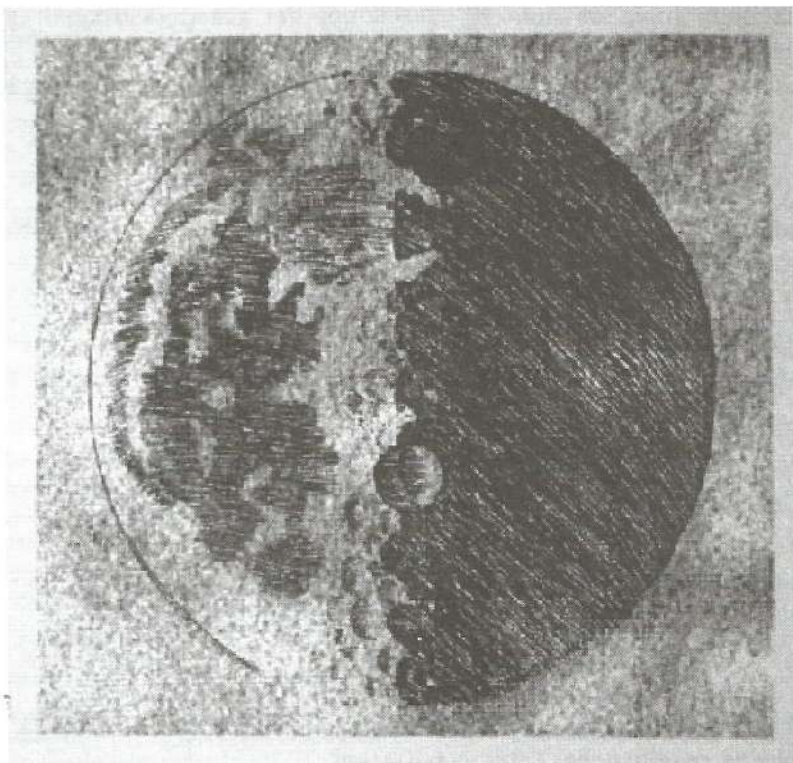


Fig.32.2. Come Galileo vide la Luna al primo quarto.

Galileo osserva che, se la fase è il primo quarto, questi punti si vanno allargando con il passare del tempo, cioè man mano che il terminatore avanza, e fornisce anche una spiegazione del fenomeno: i punti luminosi non sono altro che le cime dei monti che si trovano nella zona d'ombra. Per comprendere meglio la cosa, consideriamo un'ipotetica montagna posta in prossimità del terminatore e pensiamo di ruotare la Luna intorno ad un asse passante per il suo centro e diretto verso il Sole, fino a portare il monte sul profilo lunare (Fig. 32.1). Se l'altezza del monte e la sua distanza dal terminatore sono tali che la sua vetta si trovi sulla tangente alla circonferenza che rappresenta la Luna, condotta nella direzione dei raggi provenienti dal Sole, solo la cima sarà illuminata, mentre le pendici saranno in ombra.

Nella Fig.32.1, A indica il piede della perpendicolare alla superficie condotta dalla cima D del monte; CF la traccia del terminatore, E il centro della Luna e DG la direzione dei raggi provenienti dal Sole.

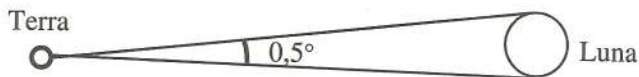


Fig.32.3. Ampiezza angolare della Luna come si misura da Terra.

La distanza della luna era nota fin dai tempi dei grandi astronomi greci: circa 60 raggi terrestri.

Poichè il disco lunare ha un'ampiezza angolare di mezzo grado (Fig.32.3) se ne ricava che il diametro della Luna è

$$2R = \frac{1}{2 \times 360} 2\pi D$$

dove D indica la distanza Terra-Luna, pari a 60 raggi terrestri  $R_t$ . Ne viene che

$$R = \frac{1}{115} D = 0,52R_t.$$

La distanza CD della vetta dal terminatore si misura sull'immagine proiettata, in unità di raggio lunare. Nota questa, mediante il teorema di Pitagora si ricava DE:

$$DE = \sqrt{CE^2 + CD^2}$$

e da qui l'altezza del monte:

$$AD = DE - EA$$

Fin qui Galileo. Oggi si scriverebbe

$$AD = \sqrt{1 + CD^2} - 1 \cong \frac{1}{2} (CD)^2$$

con AD in unità di raggio della Luna. Volendo ridurre tutto ad unità standard, si ricordi che il raggio della Terra è 6400 km.

### 33. UNA PERSONALITÀ MAGNETICA

**Finalità della dimostrazione:** Una dimostrazione spettacolare dell'induzione elettromagnetica.

**Fascia di età in cui si può proporre:** Scuola media - liceo

**Grado di difficoltà concettuale:** Modesto

**Grado di difficoltà di realizzazione:** Facile

**Materiali richiesti:** Un amplificatore di corrente

Un galvanometro

Un vecchio cerchione da bicicletta (vedere testo)

Un migliaio di metri di filo di rame (ricuperabile da alcuni motori elettrici

bruciati)

**Interesse suscitato:** Alto.

**Efficacia didattica:** Ottima.

L'esperienza classica è quella che si fa con una bobina di qualche centinaio di spire ed un magnete. Collegata la spira ad un galvanometro, si osserva che questo segna un impulso di corrente ogni volta che si introduce un magnete nella bobina o lo si estrae. Per rendere il fenomeno più spettacolare si deve realizzare una bobina molto grande. Allo scopo si prestano un vecchio cerchione da bicicletta da corsa e qualche centinaio di metri di filo smaltato recuperato presso un'officina per la ricostruzione di motori elettrici. Si avvolge il filo intorno al cerchione fissandolo con nastro adesivo: si realizza così una grande bobina. Si collegano le due estremità al galvanometro attraverso l'amplificatore di corrente (Fig. 33.1)

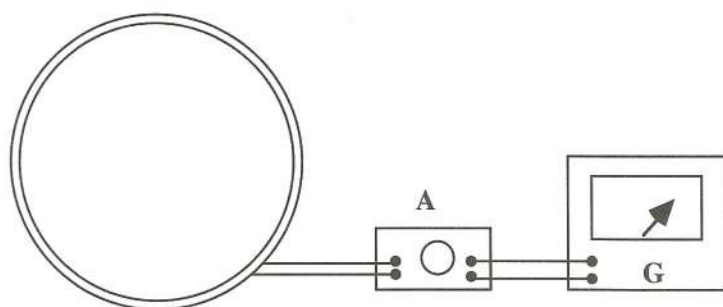


Fig. 33.1. Apparato per l'induzione elettromagnetica. A è l'amplificatore di corrente; G il galvanometro.

Posta la bobina sul bancone, mantenuta in posizione verticale da un sostegno, l'insegnante, nascosto un magnete nel pugno chiuso, o nella manica, attraversa con la mano il piano della ruota. Si osserva allora che ad ogni

passaggio il galvanometro segna un passaggio di corrente. Senza rivelare il trucco l'insegnante invita qualche studente a fare la prova. L'evidenza sperimentale permette di concludere che una laurea in fisica conferisce agli insegnanti una facoltà che gli studenti non hanno.

Impulsi di corrente si ottengono anche utilizzando il campo magnetico terrestre. Per mostrarlo basta afferrare il bobinone, orientato in direzione Est-Ovest, e dalla posizione verticale ruotarlo in posizione orizzontale o viceversa.

## 34 OROLOGIO SOLARE

**Finalità della dimostrazione:** Guidare gli studenti alla realizzazione di un orologio solare.

**Fascia di età in cui si può proporre:** Scuola Media - Liceo

**Grado di difficoltà concettuale:** Modesto.

**Grado di difficoltà di realizzazione:** Facile

**Materiali richiesti:** Un foglio semicircolare di compensato

Goniometro

Un pezzo di compensato a forma di triangolo rettangolo

**Interesse suscitato:** Discreto

**Efficacia didattica:** Buona.

L'uso degli orologi meccanici o elettronici fa spesso dimenticare che l'orologio fondamentale è il Sole e che la nostra misura del tempo è - o, meglio, era - legata ai suoi moti: diurno e annuale. E' quindi bene che il ragazzo, nel corso della sua esperienza scolastica, abbia la ventura di partecipare alla costruzione di un orologio solare.

La prima cosa da fare è individuare accuratamente la direzione del meridiano. A questo scopo è necessario trovare nella scuola un luogo esposto a mezzogiorno, ad esempio un'aula con una finestra che guardi a sud. Si copre la finestra con della carta spessa, lasciando un solo forellino. Questo permette di osservare sul pavimento l'immagine del Sole. Segnandone la posizione ad intervalli regolari di tempo è possibile individuare

a) sul pavimento la direzione del meridiano locale

b) sull'orologio l'ora del MEZZOGIORNO LOCALE, cioè l'ora del passaggio del Sole sul meridiano locale. Questa, generalmente, non coincide con il mezzogiorno convenzionale, poiché questo è riferito al transito del Sole sul Meridiano dell'Europa Centrale (M.E.C.), che passa per la città di Catania ( 15° Est ). Pertanto, se una località ha longitudine  $l$  ( $<15^\circ$ ), la sua distanza angolare dal meridiano è  $15-l$ . Poiché il Sole impiega 24 ore a percorrere l'intero giro intorno alla terra - quindi percorre  $1^\circ$  ogni quattro minuti - la differenza di tempo tra il mezzogiorno locale vero e il mezzogiorno convenzionale è

$$\Delta t = 4(15 - l)$$

Viceversa, da questa si ottiene,

$$l = 15 - \frac{\Delta t}{4}$$

che consente di determinare la longitudine del luogo misurando il momento del mezzogiorno locale. Consigliamo la lettura di qualche pagina di:

DAVA SOBEL, *Longitudine*, Rizzoli, 1996.

Una volta individuata la direzione del meridiano sul pavimento è bene segnarla e conservarla.

La costruzione di un orologio solare sarebbe molto semplice al Polo Nord. Basterebbe una piattaforma circolare orizzontale con uno stilo verticale infisso nel centro (Fig. 34-1):

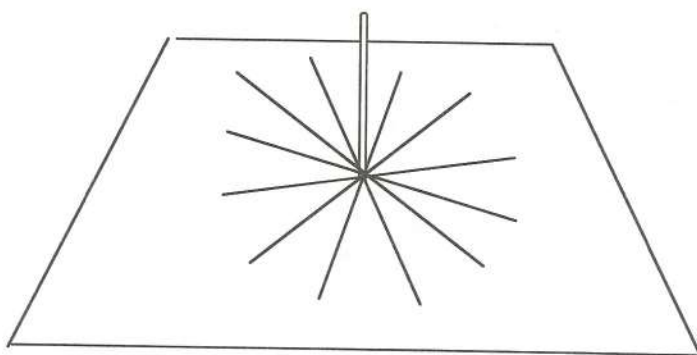
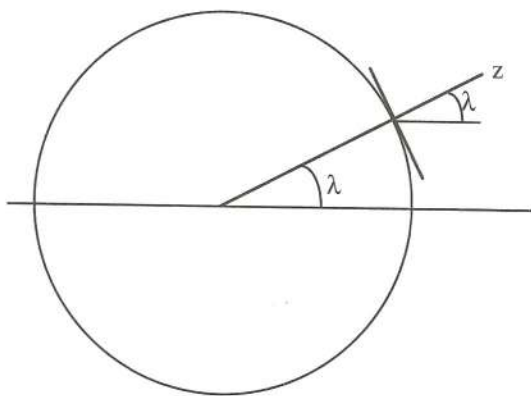


Fig. 34-1. Il piano della meridiana polare orizzontale. Gli angoli sono di  $15^\circ$  e corrispondono ad un'ora.

Al Polo Nord non vi è un meridiano; quindi non vi è un mezzogiorno: l'altezza del Sole sull'orizzonte non varia durante il giorno. Il piano ruota con velocità angolare costante ( $1^\circ$  ogni quattro minuti) e quindi basta disegnare 24 semirette uscenti dal centro ed egualmente distanziate; l'origine dei tempi è arbitrario. Questo sarebbe l'orologio al Polo Nord.



\*Fig. 34-2. Il piano equatoriale locale forma con la verticale  $z$  un angolo uguale alla latitudine del luogo.

Si può usare anche alla nostra latitudine purchè si tenga presente che:

- a) non è necessario usare l'intero cerchio orario, ne basterà una metà.
- b) il piano del pavimento non è parallelo al piano sul quale si muove il Sole ( il piano equatoriale) (Fig. 34-2).

Per usare l'orologio solare polare in una località di latitudine  $\lambda$  è necessario orientarlo in modo che il suo piano formi con la verticale del luogo un angolo uguale alla sua latitudine (Fig. 34-3).

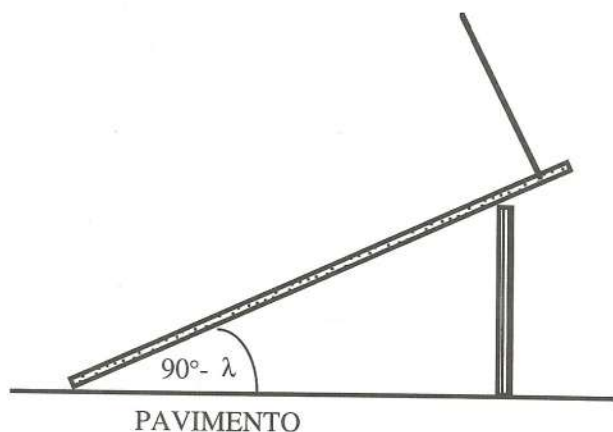


Fig. 34-3. Disposizione che consente l'uso dell'orologio solare polare in località di latitudine  $\lambda$ .

Quindi il nostro orologio è costituito da un semicerchio con 12 raggi distanziati di  $15^\circ$ , con la linea del mezzogiorno orientata secondo il meridiano, inclinato, rispetto al pavimento di un angolo  $90^\circ - \lambda$ . Si tratta di un orologio non molto comodo, per la giacitura del piano e, soprattutto, che ha il difetto di funzionare solo per sei mesi ogni anno. Infatti il Sole si trova sopra il piano dell'equatore solamente dal 21 Marzo al 23 Settembre. A questo inconveniente si potrebbe ovviare disegnando l'orologio anche nella pagina inferiore del foglio di compensato e prolungando lo stilo (Fig. 34-4).

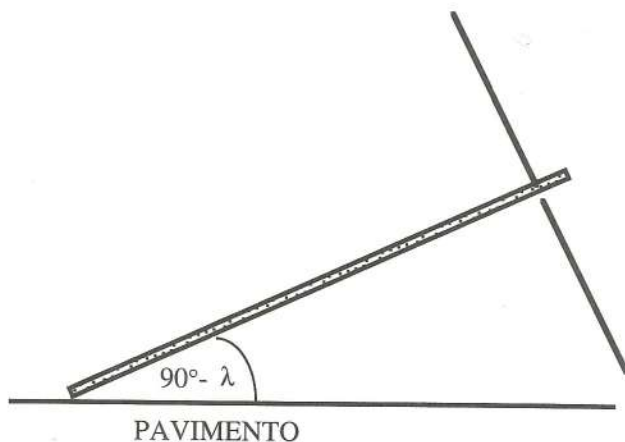


Fig. 34-4. Orologio solare polare per uso annuale. In primavera e in estate si usa la faccia superiore; in autunno e inverno quella inferiore.

Tuttavia, non tutti troveranno soddisfacente la soluzione. Meglio sarebbe proiettare sul pavimento il quadrante dell'orologio polare. A questo scopo basta disegnare l'orologio polare su una lasta di vetro o di plexiglas, orientarlo con cura sia in relazione al meridiano che al pavimento, e poi segnare sul pavimento le ombre, proiettate dal Sole, delle linee dell'orologio polare.

Naturalmente, se gli studenti conoscono un po' di trigonometria, non è difficile mostrare che

$$\tan \theta = \operatorname{sen} \lambda \tan[15(12 - H)]$$

dove  $\theta$  è l'angolo tra la linea meridiana e l'ombra dello stilo alle ore  $H$  e  $\lambda$  la latitudine del luogo.

Se possibile, è bene realizzare l'orologio solare orizzontale in forma permanente nel cortile della scuola. In ogni caso, per motivi di sicurezza, è consigliabile evitare di utilizzare come gnomone uno stilo o altro oggetto aguzzo; meglio dargli la forma di un triangolo rettangolo, oppure utilizzare un disco metallico dotato di un foro centrale, come in molti grandi orologi solari dell'antichità.



## 35 COSTANTE SOLARE

**Finalità della dimostrazione:** Proporre un metodo per la stima della costante solare.

**Fascia di età in cui si può proporre:** Scuola Media - Liceo

**Grado di difficoltà concettuale:** Modesto

**Grado di difficoltà di realizzazione:** Modesto

**Materiali richiesti:** Una comune lampada elettrica ad incandescenza da 200 o 300 Watt

**Interesse suscitato:** Buono

**Efficacia didattica:** Ottima.

La principale sorgente di energia per la Terra è quella che riceve dal Sole. Si chiama COSTANTE SOLARE la quantità di energia che, nell'unità di tempo, incide su un metro quadro di superficie esposta perpendicolarmente ai raggi solari. Bisognerebbe anche aggiungere

"fuori dell'atmosfera", perchè questa assorbe e riemette una certa frazione della potenza che arriva dal Sole sotto forma di radiazioni. La misura della costante solare è quindi un problema tecnicamente piuttosto difficile; tuttavia, basta un'attrezzatura molto semplice per farne una stima attendibile sulla quale fondare considerazioni di notevole interesse.

Se avviciniamo la lampada al viso, anche con gli occhi chiusi ci accorgiamo che è accesa. Infatti le palpebre sono un ottimo rivelatore di raggi infrarossi e ci consentono di avvertire "il calore" emesso dalla lampada.

In una bella mattinata serena, si apre la finestra e si espone il viso al sole con gli occhi chiusi, prestando attenzione sia alla sensazione di caldo sulle palpebre, sia all'intensità della luce che pure è visibile attraverso le palpebre chiuse.

Si ripete l'esperienza con la lampada, cercando la distanza dal viso per la quale le sensazioni precedenti si ripetono. Naturalmente, conviene ripetere più volte l'esperienza e farla compiere a persone diverse, fino a raggiungere un accettabile accordo sulla misura di  $R$ , la distanza della lampada dal viso, in corrispondenza della quale le sensazioni sulle palpebre chiuse sono le più simili a quelle prodotte dall'esposizione al Sole. Se  $W$  indica la potenza della lampada, la potenza per unità di superficie a distanza  $R$  dalla lampada è

$$P = \frac{W}{4\pi R^2}$$

nell'ipotesi che l'energia venga uniformemente distribuita sulla superficie sferica di raggio  $R$ . Questa rappresenta anche il valore stimato della costante solare  $S$ .

Naturalmente l'attendibilità della stima dipende dall'attendibilità delle palpebre come strumenti per il confronto delle irradianze. Una misura così grossolana non può pretendere di fornire altro che un ordine di grandezza per la misura della costante solare. Tuttavia può fornire l'occasione per la discussione di importanti questioni generalmente affrontate nei corsi di astrofisica:

1. Il Sole e la lampada non sono sorgenti luminose omologhe. Infatti ,

assimilando ambedue ad un corpo nero, il massimo potere emissivo è legato alla temperatura dalla LEGGE DI WIEN:

$$\lambda_{Max} T = \text{costante}$$

Poichè la temperatura del filamento ( $\approx 3000K$ ) è notevolmente inferiore a quella superficiale del Sole, la sua emissione è prevalentemente nell'infrarosso ( $\lambda > 0,7\text{mm}$ ), mentre quella del Sole è centrata su  $0,45\mu\text{m}$  ( curva 1 in Fig. 35.1).

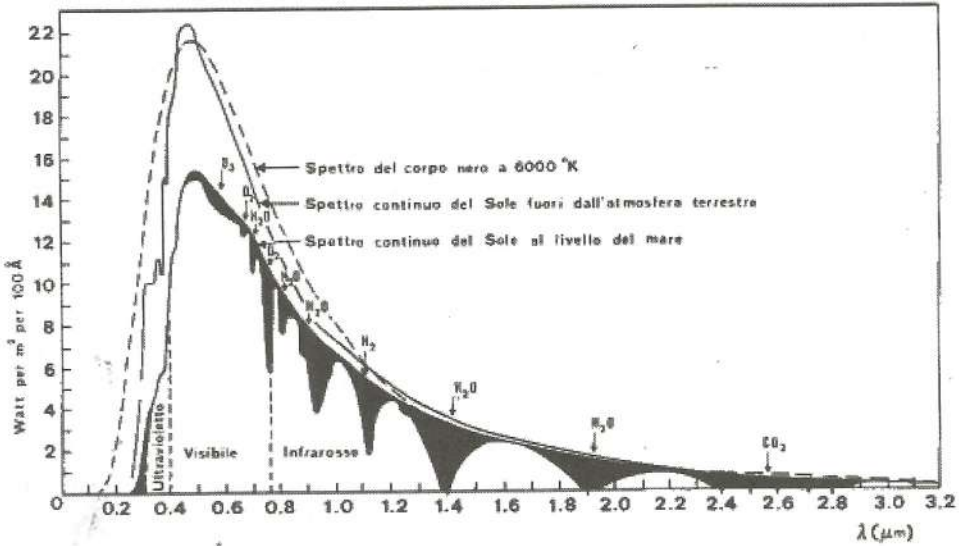


Fig. 35-1. Distribuzione spettrale dell'energia solare.[Da M. Rigutti (a cura di), Il Sistema Solare, Ferrara, 1984].

2. La sensibilità cromatica dell'occhio umano è massima circa in corrispondenza della  $\lambda_{Max}$  del Sole . Questo significa che gli occhi sono un buon fotometro per la luce solare, ma non per quella emessa dalla lampada. Nonostante la rozzezza della misura si può stabilire che

$$S \approx 1 \frac{kW}{m^2}$$

E' allora possibile stimare la potenza complessiva del Sole. Infatti, se  $D$  è la distanza Terra-Sole ( $1,5 \times 10^{11}m$ ), sarà

$$P = 4\pi D^2 S \approx 3 \times 10^{26} W$$

o, se si preferisce,

$$P \approx 10^{34} \frac{J}{\text{anno}}$$

## 36. IMMAGINI DA UNO SPECCHIO CILINDRICO

**Finalità della dimostrazione:** Una bella applicazione dei principi dell'ottica geometrica.

**Fascia di età in cui si può proporre:** liceo

**Grado di difficoltà concettuale:** Abbastanza alto.

**Grado di difficoltà di realizzazione:** facile

**Materiali richiesti:** Una lampada alogena come HALOSTAR della OSRAM (12 V, 20 W)

Una teglia da torta

Macchina fotografica

**Interesse suscitato:** alto

**Efficacia didattica:** Ottima.

L'immagine di una sorgente puntiforme prodotta da uno specchio sferico di grande apertura non è un punto ma una figura che è solitamente indicata con il nome di *caustica*. Si tratta di una superficie spaziale di rotazione intorno all'asse di simmetria della calotta sferica dello specchio. Si può ottenere l'immagine di una sua sezione lungo un piano passante per l'asse con i materiali che abbiamo elencato. Si ritaglia un foglio di carta da disegno in modo che si adatti al fondo della teglia che si appoggia ad un'estremità del bancone. All'altra si colloca la lampada, ad un'altezza tale che sul fondo della teglia arrivi la luce riflessa dalla parete ma non direttamente quella della lampadina (Fig. 36.1).

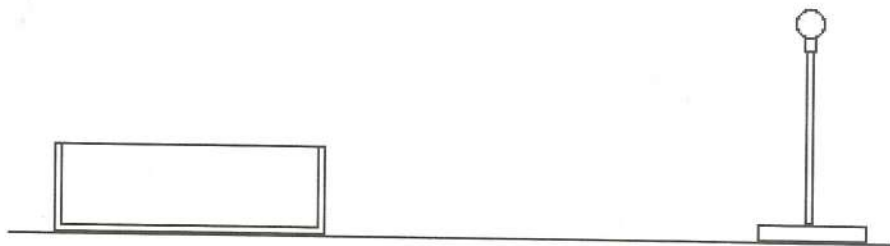


Fig. 36.1. Disposizione della teglia e della lampada.

Oscurata la stanza, sulla carta fissata al fondo della teglia si può agevolmente osservare la figura prodotta dalla luce riflessa, cioè la caustica. Si può anche fotografare, ottenendo un'immagine simile a quella di Fig. 36.2.

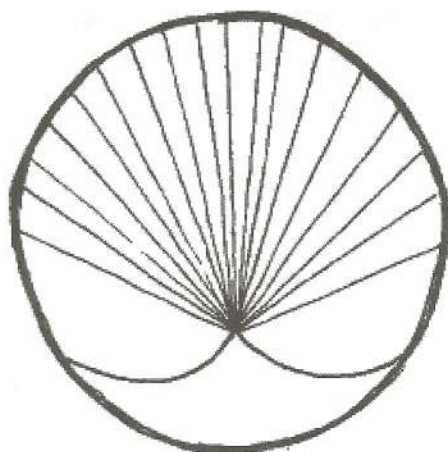


Fig. 36.2. La caustica di riflessione prodotta dalla parete cilindrica di una teglia da torta.

L'esperienza è utile se si propone agli studenti di ottenere la figura applicando le leggi della riflessione. L'insegnante distribuisce agli allievi fotocopie che portano un disegno simile alla Fig. 36.3.

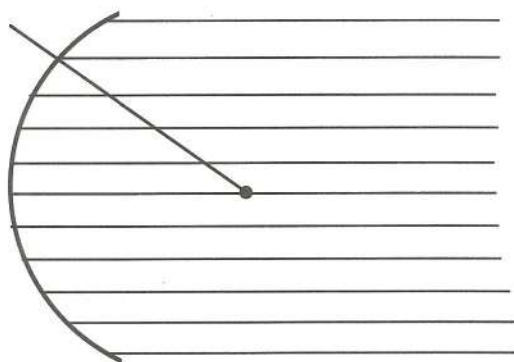


Fig. 36.3. L'arco è la traccia dello specchio sul quale incidono i raggi di luce paralleli all'asse ottico. E' indicato il centro di curvatura.

Uno spago legato ad un chiodino infisso nel centro dello specchio rappresenta il raggio nel punto di incidenza. Utilizzando un goniometro è facile disegnare, per ogni raggio, il raggio riflesso. Il loro involuppo è la caustica di riflessione. Se si incollano due strisce di carta sulla parete riflettente, in modo tale da ridurre l'apertura dello specchio, la caustica si riduce ad una macchia luminosa ad una distanza che è circa un quarto del diametro della teglia.

## 37. LA MACCHIA DI POISSON

**Finalità della dimostrazione:** Proporre un chiaro effetto della diffrazione della luce.

**Fascia di età in cui si può proporre:** liceo

**Grado di difficoltà concettuale:** Piuttosto elevato

**Grado di difficoltà di realizzazione:** Abbastanza facile.

**Materiali richiesti:** Una lampada alogena come HALOSTAR della OSRAM (12 V, 20 W)

Uno schermo di carta traslucida.

Alimentatore per la lampada

**Interesse suscitato:** Discreto

**Efficacia didattica:** Buona.

Quando, nel 1818, l'Accademia Francese delle Scienze discusse l'ipotesi della natura ondulatoria della luce esposta da Augustin Fresnel nella "Mémoire sur la diffraction de la lumière", il grande matematico Simon Denis Poisson osservò che, se la tesi fosse stata esatta, allora al centro dell'ombra di un disco opaco circolare si sarebbe dovuta osservare una macchia luminosa. E poichè la cosa appariva manifestamente assurda, l'ipotesi di Fresnel era da rigettare, in favore del modello corpuscolare di Newton.

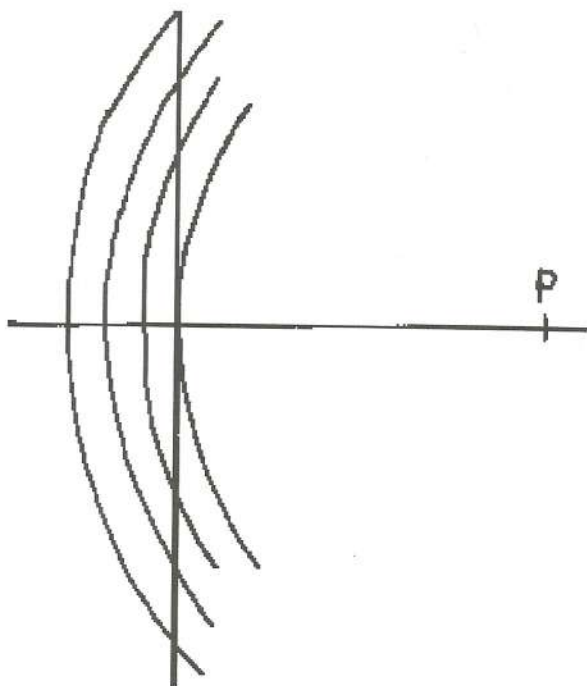


Fig. 37.1. Costruzione delle zone di Fresnel su un fronte d'onda piano.

Si consideri (Fig. 37.1) un fronte d'onda piano, un punto P a distanza  $z$  dal fronte ed una serie di sfere con centro in P e raggi

$$z, z + \frac{\lambda}{2}, z + 2\frac{\lambda}{2}, z + 3\frac{\lambda}{2}, \dots$$

Queste sfere intersecano il fronte d'onda secondo tante circonferenze di raggi

$$\rho_0 = 0, \rho_1 = \sqrt{\left(z + \frac{\lambda}{2}\right)^2 - z^2}, \rho_2 = \sqrt{\left(z + 2\frac{\lambda}{2}\right)^2 - z^2},$$

$$\dots, \rho_n = \sqrt{\left(z + n\frac{\lambda}{2}\right)^2 - z^2}$$

o anche

$$\rho_0 = 0, \rho_1 \cong \sqrt{\lambda z}, \rho_2 \cong \sqrt{2\lambda z}, \dots, \rho_n \cong \sqrt{n\lambda z}$$

avendo trascurato  $\lambda$  rispetto a  $z$ .

Le corone circolari che così vengono individuate si chiamano ZONE DI FRESNEL.

I raggi delle zone di Fresnel sono proporzionali alle radici dei numeri interi. L'area di una di queste zone è data da

$$\pi[\rho_{n+1}^2 - \rho_n^2] = \pi[(n+1) - n]\lambda z = \pi\lambda z$$

cioè è indipendente dal raggio.

I cammini ottici che da due zone adiacenti portano in P differiscono di mezza lunghezza d'onda, quindi sono in opposizione di fase. Poichè le aree sono uguali, ogni zona di Fresnel interferisce distruttivamente con quella adiacente. O meglio, l'ampiezza dell'onda in P si può rappresentare come una somma a segni alterni

$$s = Z_1 - Z_2 + Z_3 - \dots \quad (1)$$

nella quale ogni termine rappresenta il contributo di una zona. Ma poichè la distanza di P dalla zona cresce al crescere di  $n$ , questi contributi vanno decrescendo, cioè

$$Z_1 > Z_2 > Z_3 > \dots$$

Una serie a segni alterni e a termini decrescenti è una serie convergente; il che equivale a dire che il punto P sarà illuminato, com'è ovvio.

Poniamo ora di intercettare il fronte d'onda piano con un disco circolare di raggio  $a$ .

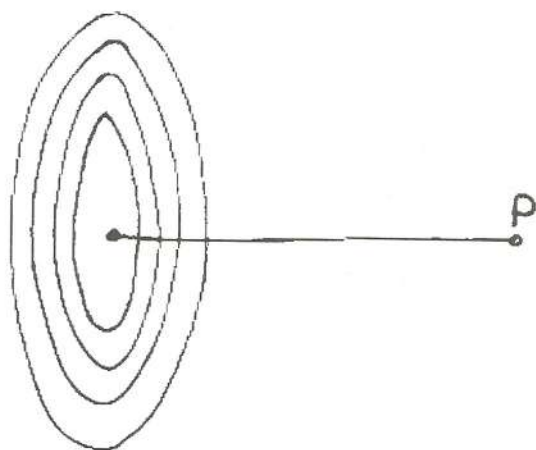


Fig. 37.2. Se un disco circolare intercetta il fronte d'onda, le zone di Fresnel iniziano dal bordo del disco.

e consideriamo le zone di Fresnel a partire dal bordo del disco. Anche in questo caso l'ampiezza risultante in P sarà data da una espressione come la (1). L'illuminamento sarà dato da una serie come la (1) dalla quale sono stati soppressi i termini relativi a raggi inferiori ad  $a$ . Questo non muta il carattere della serie che resta convergente. Pertanto, in P l'illuminamento non sarà mai nullo.

L'esperienza vuole mostrare l'effettiva esistenza della MACCHIA DI POISSON.

Sulla testa di un chiodino sottile, infisso in un tappo di sughero o di gomma, con una goccia di colla, si fissa una sferetta da cuscinetto.

Si alloggia la lampada in un recipiente opaco, dotato di una piccola apertura. Dopo aver oscurato l'ambiente, si colloca la sferetta a qualche metro dalla lampada e se ne osserva l'ombra su uno schermo. Per aumentare le dimensioni dell'immagine si può collocare una lente tra la sferetta e lo schermo (Fig. 37.3).

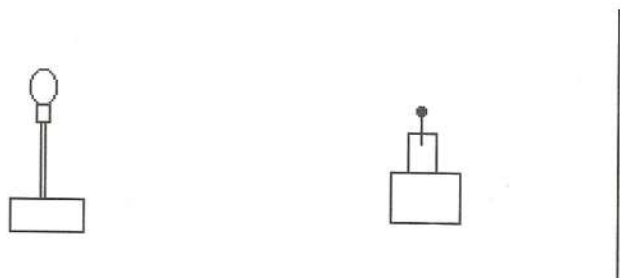


Fig. 37.3. Diffrazione *à la Fresnel* dimostrata con una sorgente puntiforme e una sferetta da cuscinetto.

Se si dispone di una telecamera, basta togliere l'obiettivo e far cadere l'ombra direttamente sul fotocatodo: i fenomeni di diffrazione risultano chiaramente osservabili.

## 38. LA VOCE DELLA LUCE

**Finalità della dimostrazione:** Scoprire che le lampade emettono luce impulsata

**Fascia di età in cui si può proporre:** Scuola media - liceo

**Grado di difficoltà concettuale:** Modesto

**Grado di difficoltà di realizzazione:** Facile

**Materiali richiesti:** Fotoresistenza,  
una resistenza da 10kW,  
una resistenza da 4,7 kW,  
amplificatore  
altoparlante

**Interesse suscitato:** alto

**Efficacia didattica:** Ottima.

Le comuni lampade a fluorescenza ed anche le lampade ad incandescenza emettono luce impulsata con una frequenza di 100 Hz. Ciò è dovuto al fatto che la tensione di alimentazione è alternata, con frequenza 50 Hz. La potenza, che è proporzionale al quadrato di  $V$ , presenta quindi una frequenza doppia (Fig. 38.1).

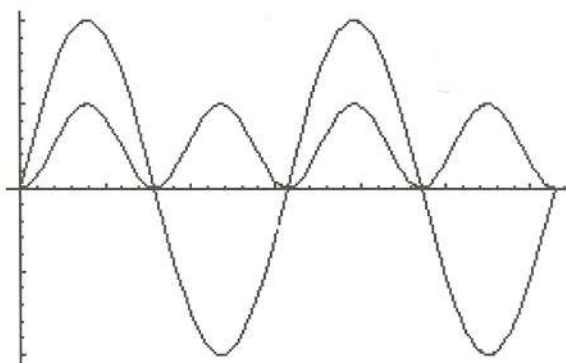


Fig. 38.1. Grafico della tensione ( $v=50$  Hz) e della potenza ( $v=100$  Hz).

Mediante un dispositivo fotosensibile - una cella fotoelettrica, una fotoresistenza, un fototransistor - è facile mettere in evidenza il carattere impulsato della luce emessa dalle lampade.

Ne descriviamo uno di facile costruzione. I collegamenti da realizzare sono indicati in Fig. 38.2. Tra gli elettrodi A e B si stabilisce una tensione di 4,5 V (una comune batteria). Il segnale si raccoglie tra gli elettrodi E e B. Questo si può inviare direttamente all'oscilloscopio (Fig. 38.3) sul quale si può osservare



la forma dei segnali emessi da vari tipi di lampade e misurarne la frequenza. Se si dispone di un oscilloscopio dotato di memoria è possibile studiare la forma e misurare la durata del segnale emesso dal flash di una macchina fotografica.

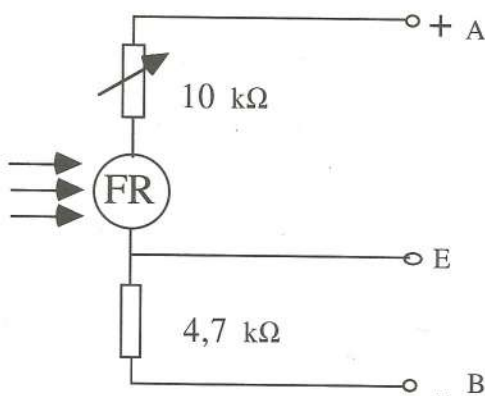


Fig. 38.2. Il circuito comprende una fotoresistenza (FR), una resistenza variabile (trimmer) da 10 k $\Omega$ , una resistenza da 4,7 k $\Omega$ , in serie.

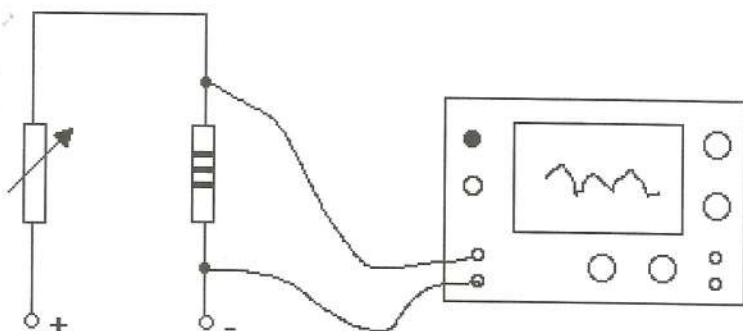


Fig. 38.3. Il segnale da portare all'oscilloscopio viene raccolto ai capi del resistore da 4,7 k $\Omega$ .

Si può anche trasformare il segnale elettrico in un segnale acustico, mediante un amplificatore (Fig. 38.4).

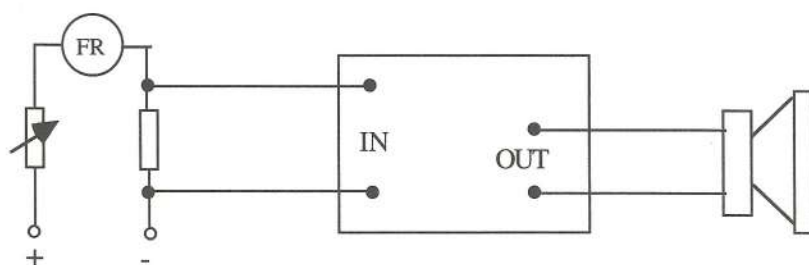


Fig. 38.4. Il segnale si porta ad un altoparlante, passando per un amplificatore.

In questo modo si ascolta il "suono" emesso da ciascuna lampada.

### 39. LA RIGATURA DI UN LP

**Finalità della dimostrazione:** Misurare una grandezza con metodi diversi.

**Fascia di età in cui si può proporre:** Scuola media-liceo.

**Grado di difficoltà concettuale:** Modesto.

**Grado di difficoltà di realizzazione:** elementare.

**Materiali richiesti:** Un vecchio long playing

Righello metrico

Orologio

Laser

**Interesse suscitato:** Buono

**Efficacia didattica:** Discreta.

Qual è la distanza tra i solchi di un disco microsolco?

**METODO1.** Si mette il disco sul giradischi e si misura la sua intera durata  $T$ . Poichè la frequenza di rotazione del piatto è 33,3 giri/min, la durata di un giro è

$$T_0 = 1,8 \text{ s}$$

Pertanto, il rapporto  $N = \frac{T}{T_0}$  fornisce il numero dei giri della spirale descritta dal solco.

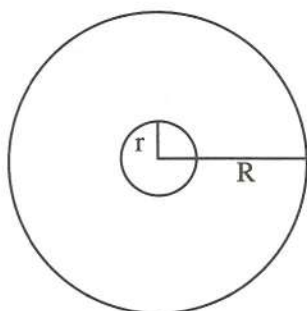


Fig. 39.1. Raggio interno e raggio esterno del disco.

Possiamo considerare la traccia come costituita da  $N$  circonferenze di raggio crescente da quello interno  $r$  a quello esterno  $R$  (Fig. 39.1). La lunghezza è allora :

$$L = 2\pi \frac{r+R}{2} N$$

e la distanza tra i solchi

$$d = \frac{R-r}{N}$$

**METODO 2.** Disponendo di un comune laser per uso didattico si può avere una misura diretta della distanza tra i solchi di un LP.

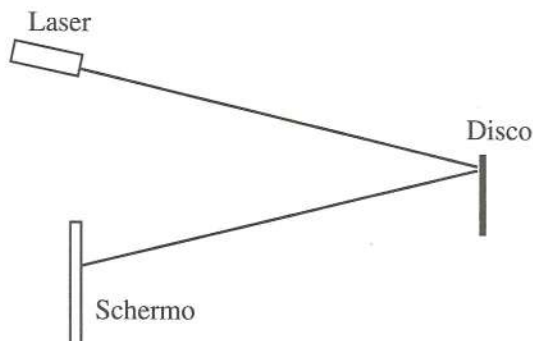


Fig. 39.2. Disposizione del laser e del disco per la misura diretta della distanza tra i solchi.

In una stanza oscurata si dispone il disco verticale mediante un sostegno e su di esso si indirizza il fascio di un laser (Fig. 39.2). Il fascio riflesso viene raccolto su uno schermo di carta bianca. Con una distanza del disco di 4 m circa, si osservano sullo schermo delle frange di interferenza ben distanziate (circa 1 cm). La condizione per la formazione di un massimo per i reticoli è:

$$\frac{\Delta x}{L} = \frac{\lambda}{d}$$

dove  $d$  = distanza tra i solchi,

$\Delta x$  = distanza tra le frange,

$\lambda$  = lunghezza d'onda,

$L$  = distanza disco - schermo.

Misurando la distanza tra le frange e la distanza dello schermo dal disco, nota la lunghezza d'onda del laser, si ricava la distanza tra i solchi. Il risultato si confronta con quello ottenuto in precedenza.

## 40. BATTIMENTI

### 40.1. BATTIMENTI TRA DUE PENDOLI

**Finalità della dimostrazione:** Confrontare due moti periodici di frequenze leggermente diverse.

**Fascia di età in cui si può proporre:** liceo

**Grado di difficoltà concettuale:** richiede la conoscenza della formula del pendolo.

**Grado di difficoltà di realizzazione:** facile

**Materiali richiesti:** Asta metallica

Spago

Pesi

**Interesse suscitato:** Discreto

**Efficacia didattica:** Buona

Si realizzano due pendoli nei quali il rapporto delle lunghezze sia di 10 a 8 (Fig. 40.1).

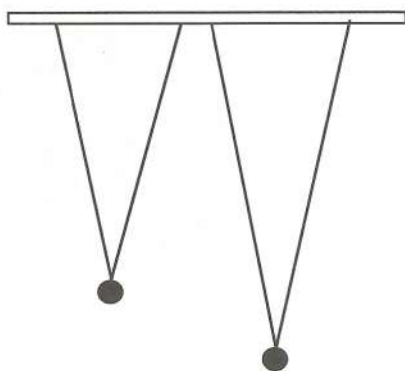


Fig. 40.1. Come disporre i due pendoli in modo che oscillino su piani paralleli.

Si mettono in moto simultaneamente e si osserva che sono sfasati. Si osserva anche che ritornano in fase dopo 10 periodi del più corto e 9 del più lungo. Questo avviene perchè i periodi dipendono dalla radice della lunghezza:

$$T \propto \sqrt{L}$$

Pertanto il rapporto dei periodi è uguale alla radice del rapporto delle lunghezze:

$$\frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} = \frac{9}{10}$$

## 40.2. LAMPADA STROBoscopICA

**Finalità della dimostrazione:** Confrontare due moti periodici di frequenze leggermente diverse.

**Fascia di età in cui si può proporre:** biennio - liceo

**Grado di difficoltà concettuale:** molto modesto.

**Grado di difficoltà di realizzazione:** facile

**Materiali richiesti:** Motorino elettrico a velocità regolabile

Disco

Lampada stroboscopica

**Interesse suscitato:** Buono

**Efficacia didattica:** Buona

Un disco fissato all'asse di un motorino ruota con velocità variabile. Sul disco, nero, è disegnata una striscia bianca (Fig. 40.2). Si illumina con una lampada stroboscopica a frequenza variabile.

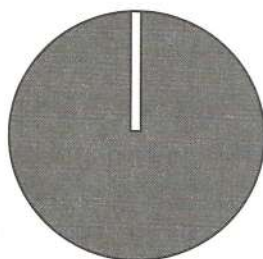


Fig. 40.2. Disco nero con un raggio bianco. Il centro viene fissato all'asse di un motorino elettrico.

Per determinati valori della frequenza si riesce a fermare l'immagine. Questo avviene quando le due frequenze sono uguali:

$$v_{disco} = v_{strobo}$$

Consideriamo il caso in cui la frequenza del disco è di poco inferiore a quella dello strobo, cioè, ad esempio,

$$T_{strobo} = \frac{9}{10} T_{disco} \quad (1)$$

Nel tempo che intercorre tra due lampi il disco ruota di un angolo pari a

$$\frac{9}{10} 360^\circ = 360^\circ - \frac{1}{10} 360^\circ$$

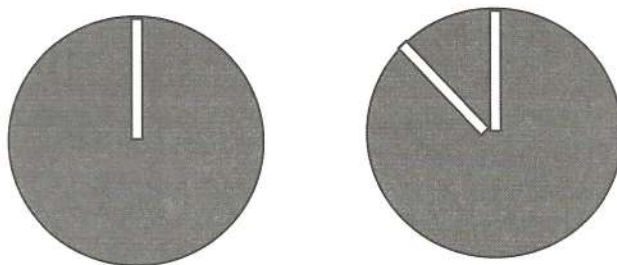


Fig. 40.3. Quando il periodo di rotazione del disco è maggiore del periodo della lampada stroboscopica, tra un lampo e l'altro il raggio compie una rotazione inferiore a  $360^\circ$ .

All'occhio appare che la striscia abbia ruotato in senso inverso (Fig. 40.3) di

$$\frac{1}{10} 360^\circ$$

quindi che ruoti (in senso inverso) con velocità angolare

$$\omega = \frac{360^\circ}{10T_{strobe}} = \frac{360^\circ}{9T_{disco}}$$

Davanti al disco rotante collochiamo un secondo disco opaco e fermo dotato di una finestrella larga quanto la striscia bianca (Fig. 40.4).



Fig. 40.4. Il disco anteriore è fermo, quello posteriore è solidale con l'asse del motorino.

In questa situazione si vede la striscia solo quando il suo passaggio dietro la finestra coincide con un lampo di luce. In queste condizioni conviene operare con bassa velocità del disco e bassa frequenza della lampada. Si cercherà di far scoprire agli allievi che il periodo che caratterizza la comparsa della striscia bianca nella finestrella è il minimo comune multiplo dei due periodi:

$$T = m.c.m.(T_d, T_s) \quad (2)$$

### 40.3. IL NONIO DEL CALIBRO

**Finalità della dimostrazione:** Confrontare due scale lineari di frequenze leggermente diverse.

**Fascia di età in cui si può proporre:** biennio - liceo

**Grado di difficoltà concettuale:** modesto

**Grado di difficoltà di realizzazione:** elementare

**Materiali richiesti:** Un calibro

**Interesse suscitato:** Modesto

**Efficacia didattica:** Buona

Si chiama NONIO perchè la scala inferiore è 9/10 di quella superiore, solitamente tarata in centimetri (Fig.40.5).

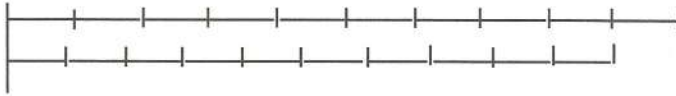


Fig. 40.5. Le due scale del nonio del calibro.

Per fare una misura si dispongono gli zeri delle due scale all'inizio e alla fine della lunghezza da misurare (Fig. 40. 6).

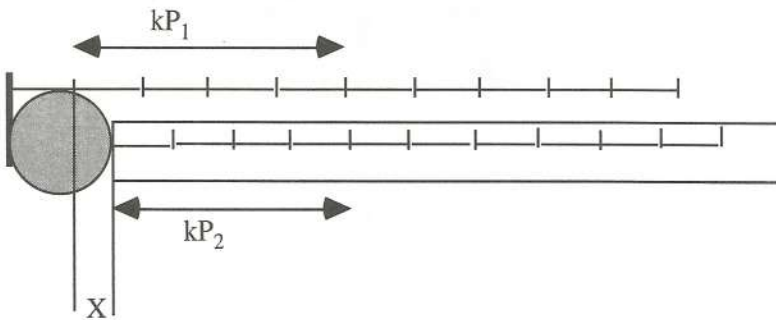


Fig. 40.6. Disposizione delle due scale per l'effettuazione di una misura.

Poniamo che si sovrappongano le tacche  $k$ -esime. Sarà allora

$$kP_1 = X + kP_2$$

dove  $X$  è lo spessore da misurare.

Da qui si ricava

$$X = k(P_1 - P_2) = k \frac{P_1}{10}$$

La sensibilità dello strumento viene moltiplicata per 10.



## GENERALIZZAZIONE

Consideriamo due reticoli sovrapposti, di passi  $P_1$  e  $P_2$ , tali che

$$P_1 = \frac{n}{n+k} P_2$$

dove  $n$  è un numero intero.

Due elementi del reticolo si sovrappongono quando

$$(n+k)P_1 = nP_2 \quad (3)$$

Questo è il PASSO DEI BATTIMENTI.

La relazione si può anche scrivere nella forma:

$$\frac{1}{P_1} - \frac{1}{P_2} = \frac{k}{P} \quad (4)$$

dove  $P$  indica il passo dei battimenti.

## 40.4. IL PASSO DI UN RETICOLO

**Finalità della dimostrazione:** Confrontare due scale lineari di frequenze leggermente diverse.

**Fascia di età in cui si può proporre:** liceo

**Grado di difficoltà concettuale:** modesta per un liceale

**Grado di difficoltà di realizzazione:** abbastanza difficile

**Materiali richiesti:** Due reticoli identici (20 righe/cm)  
Una lampada a filamento puntiforme  
Schermo

**Interesse suscitato:** Discreto

**Efficacia didattica:** Buona

Due reticoli identici di passo  $p$  sono disposti paralleli a distanza  $d$  ed osservati da una distanza  $D$  (Fig. 40.7).

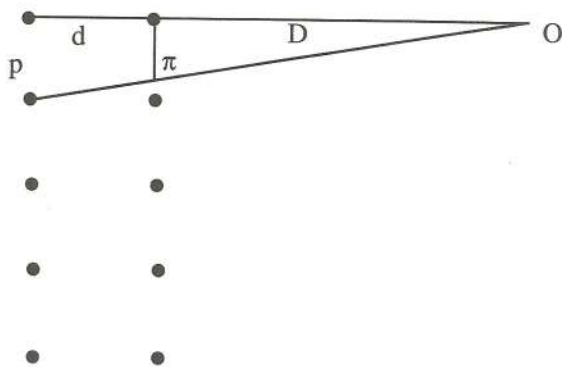


Fig. 40.7. Due reticoli di equal passo, posti a distanza  $d$  e osservati da una distanza  $D$ .

Il passo apparente del reticolo più lontano dall'occhio é

$$\pi = \frac{D}{D+d} p$$

dove  $p$  è il passo vero.

Il passo della sovrapposizione è dato dalla (4):

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{\pi} - \frac{1}{p} = \frac{D+d}{D} \frac{1}{p} - \frac{1}{p} = \frac{d}{D} \frac{1}{p}$$

Questo risultato significa solo che (Fig. 40.8)

$$\tan \alpha = \frac{p}{d} = \frac{P}{D}$$

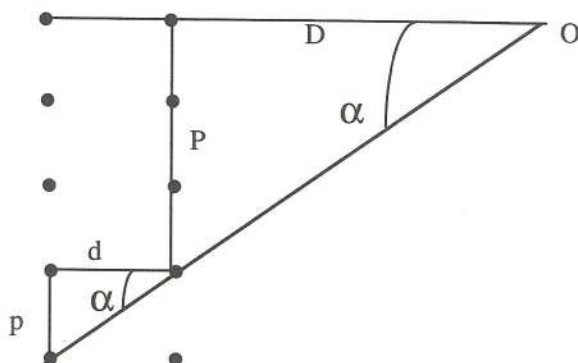


Fig. 40.8. L'osservatore vede allineate le righe in direzione  $\alpha$ .

Le frange scure che si osservano sono FIGURE DI MOIRE'.

Per la dimostrazione in classe, si dispongono i reticoli paralleli ad una distanza nota  $d$  (Fig. 40.9).

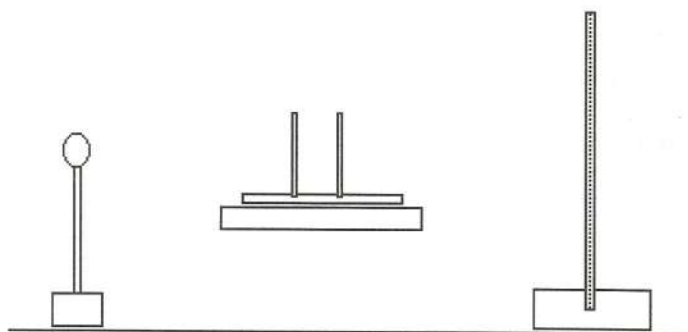


Fig. 40.9. Disposizione della lampada, dei reticoli e dello schermo per l'osservazione delle frange di Moiré.

Su uno schermo posto a qualche metro si osserva l'ombra prodotta dai reticoli: è una successione di frange oscure.

Sarà (Fig. 40.10)

$$\frac{x}{D} = \frac{p}{d}$$

dove  $p$  è il passo,  $D$  la distanza della lampada dallo schermo,  $x$  la distanza tra le frange scure,  $d$  la distanza tra i reticoli. Dalla misura di queste tre grandezze si ricava il passo dei reticoli.

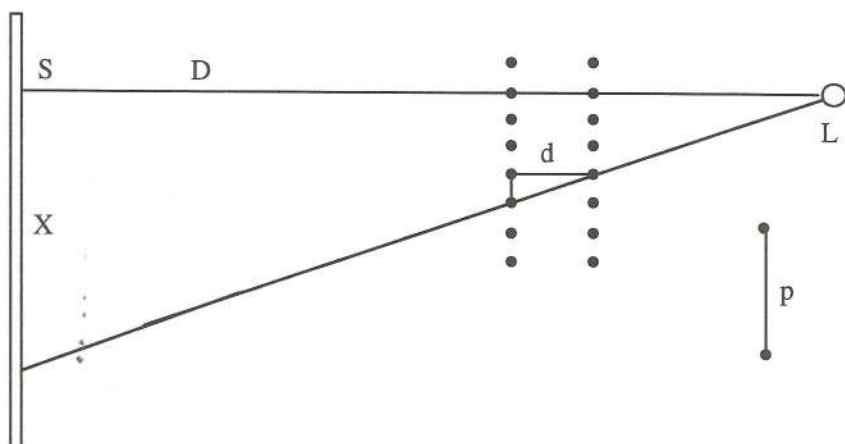


Fig. 40.10. Relazione tra la distanza delle frange di Moiré, il passo dei reticoli e la loro distanza.

## 40.5. BATTIMENTI SONORI

**Finalità della dimostrazione:** Confrontare due moti periodici di frequenze leggermente diverse.

**Fascia di età in cui si può proporre:** liceo

**Grado di difficoltà concettuale:** Abbastanza alto.

**Grado di difficoltà di realizzazione:** elementare

**Materiali richiesti:** Una chitarra

**Interesse suscitato:** Buono

**Efficacia didattica:** Discreta

Si tratta di una dimostrazione classica, che richiede due diapason. Su uno dei rebbi si applica una masserella che ne varia leggermente il periodo. Eccitando contemporaneamente i due strumenti si ascoltano i battimenti.

Il fenomeno risulta maggiormente interessante se si fa con due chitarre o con due corde di una stessa chitarra.

## 40.6. BATTIMENTI PLANETARI

**Finalità della dimostrazione:** Confrontare due moti periodici di frequenze leggermente diverse.

**Fascia di età in cui si può proporre:** liceo

**Grado di difficoltà concettuale:** Abbastanza alto.

**Grado di difficoltà di realizzazione:** elementare

**Materiali richiesti:** Un programma di astronomia per computer oppure una raccolta di Almanacchi Astronomici Hoepli.  
Una lavagna luminosa

**Interesse suscitato:** Discreto

**Efficacia didattica:** Discreta

I pianeti si muovono intorno al Sole su orbite circolari (!) con periodi che aumentano al crescere del raggio in conformità alla terza legge di Kepler:

$$T = \sqrt{R^3}$$

dove T è misurato in anni ed R in U.A. Questo è vero nel riferimento del Sole. Nel riferimento della Terra, i parametri sono diversi.

Consideriamo, ad esempio la posizione di Marte il giorno 12 Febbraio '95: il pianeta era in opposizione cioè il Sole, la Terra e Marte erano allineati (Fig. 40.11).

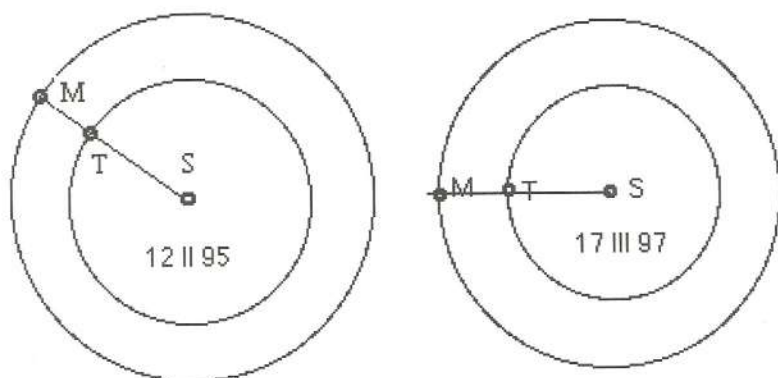


Fig. 40.11. Posizioni, nel riferimento solare, di Terra e Marte alla data del 12 Febbraio 1995 e del 17 Marzo '97.

A questa data Marte culminava a mezzanotte. La configurazione si è ripetuta il 17 Marzo '97.

Marte ritorna in opposizione dopo un tempo, detto PERIODO SINODICO, pari a 736 giorni, ovvero 2,09 anni. Questo non coincide con il periodo solare  $T_M$ , cioè con il tempo che impiega a compiere l'orbita nel riferimento solare.

Nel corso di un periodo sinodico  $T_S$ , Marte percorre un arco di ampiezza

$$\alpha = \frac{2\pi}{T_M} T_S$$

e la Terra compie più di un giro:

$$2\pi + \alpha = \frac{2\pi}{T_T} T_S.$$

Sostituendo la prima nella seconda si ricava

$$\frac{1}{T_S} = \frac{1}{T_T} - \frac{1}{T_M} \quad (5)$$

Da questa si può ricavare il periodo solare di Marte:

$$\frac{1}{T_M} = \frac{1}{T_T} - \frac{1}{T_S} = 1 - \frac{1}{2,09} = 0,52 \Rightarrow T_M = 1,9 \text{ anni}$$

Si osservi che la (5) è formalmente identica alla (4).

## 41. CENTRO DI PERCUSSIONE

**Finalità della dimostrazione:** Riflettere sul comportamento di un corpo esteso soggetto ad una forza impulsiva.

**Fascia di età in cui si può proporre:** Liceo-università.

**Grado di difficoltà concettuale:** Abbastanza alto.

**Grado di difficoltà di realizzazione:** Facile.

**Materiali richiesti:** Un'asta da stativo da 1 m circa

Due robuste molle o due elastici

Una piastrina magnetica (da lavagna magnetica o da altoparlante)

Una bobina con diverse migliaia di spire

Nucleo di ferro per la bobina

Oscilloscopio

**Interesse suscitato:** Discreto

**Efficacia didattica:** Buona.

Si consideri una sbarra omogenea libera di oscillare intorno ad un asse A passante per un estremo (Fig.41.1).

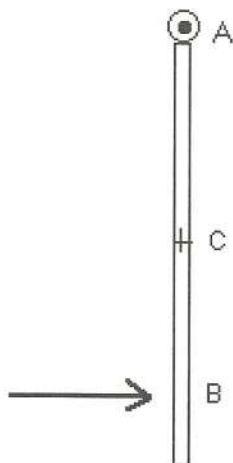


Fig. 41.1. Una sbarra omogenea d'acciaio sospesa per l'estremo A, viene colpita in B.

Sia C il centro di massa. Poniamo di applicare una forza impulsiva  $F$  per un tempo  $\Delta t$  in un punto B distante  $x$  dal centro di massa tale che risulti nulla la reazione del vincolo. Se  $L$  indica la lunghezza della sbarra, sarà  $AC = L/2$ . Indicando con  $\Delta p$  ( $= F \Delta t$ ) l'impulso applicato, sarà

$$\begin{cases} \Delta p = Mv_c \\ x\Delta p = \frac{1}{12}ML^2\omega \end{cases}$$

dove  $M$  è la massa della sbarra,  $\frac{1}{12}ML^2$  il suo momento d'inerzia rispetto al centro di massa,  $\omega$  la velocità angolare intorno al centro di sospensione e  $v_c$  la velocità acquistata dal centro di massa in conseguenza del colpo. E poichè

$$v_c = \omega \frac{L}{2}$$

si ricava

$$x = \frac{1}{6}L.$$

Se si vuole che sia nulla la reazione del vincolo è necessario colpire l'asta ad una distanza dall'asse pari a  $2/3$  della sua lunghezza.

La cosa può essere evidenziata nel modo che descriviamo.

Si appende l'asta ad un robusto sostegno mediante due molle (Fig. 41.2),

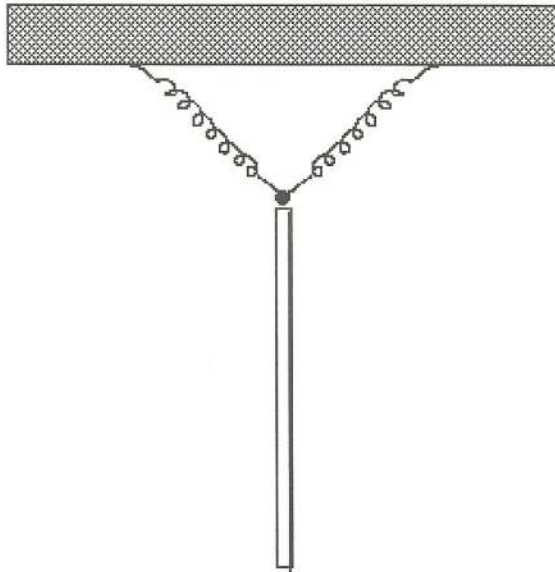


Fig.41.2. L'asta è appesa al sostegno, molto stabile, mediante due molle.

e all'estremità dell'asta si applica la piastrina magnetica. Di fronte a questa si colloca la bobina con il nucleo di ferro (Fig. 41.3) collegata all'oscilloscopio.

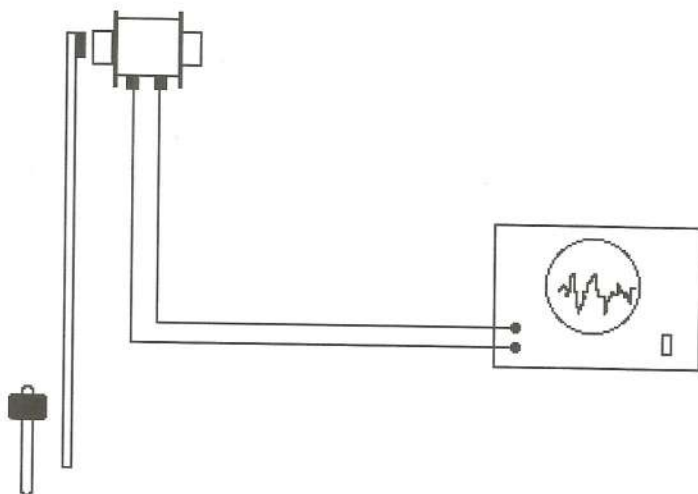


Fig. 41.3. Davanti alla piastrina magnetica, solidale con l'asta, si colloca una bobina (con nucleo di ferro) collegata all'oscilloscopio.

Se, con un martello, si dà un colpo alla sbarra, si producono degli spostamenti nel punto di sospensione che si trasformano in segnali di tensione rivelati dall'oscilloscopio. Si cerca, per tentativi, il punto da colpire nel quale le vibrazioni si riducono al minimo: quello è il centro di percussione.