

ATTIVITA' DIDATTICHE INTRODUTTIVE

Ledo Stefanini

Un momento decisivo del corso di fisica, paragonabile alla prima pagina di un romanzo, è l'*incipit*. Una situazione in cui l'insegnante rischia di guadagnare o perdere i suoi uditori. Perché, diversamente da altre discipline, gli studenti hanno della fisica solo immagini molto sfocate, acquisite attraverso i programmi televisivi o articoli di giornale mirati al sensazionale.

La principale difficoltà consiste nel convincere i ragazzi che il magazzino della fisica non è contento nel manuale scolastico, ma risiede in loro stessi: che il fine della fisica è di incrementare la consapevolezza della realtà e che questa che è data ad ognuno.

Gli approcci sono quindi innumerevoli, cioè quante sono le situazioni possibili; ma in ognuna di esse è necessario perseguire l'obiettivo di mostrare che la fisica offre grandi e piccole soddisfazioni intellettuali. Non che nel proseguimento del corso tale obiettivo (della gratificazione intellettuale) possa essere abbandonato; ma può richiedere sforzi più intensi e prolungati.

1. DIAMETRO DELLA PUPILLA

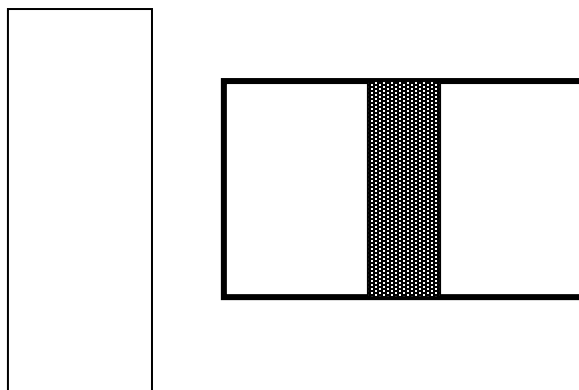
Scrivi Galileo nella Terza Giornata del "Dialogo sopra i due massimi sistemi":

Sagredo. "... sentirei volentieri in che modo si possa investigare la distanza del concorso de' raggi visuali".

Salviati. "Il modo è assai facile, ed è tale. Io piglio due strisce di carta, una nera e l'altra bianca, e fo la nera larga per la metà della bianca; attacco poi la bianca in un muro, e lontana da essa fermo l'altra sopra una bacchetta o altro sostegno, in distanza di 15 o 20 braccia: e allontanandomi da questa seconda per altrettanto spazio per la medesima dirittura, chiara cosa è che in tal lontananza concorrerebbero le linee rette che, partendosi da i termini della larghezza della bianca, passassero toccando la larghezza dell'altra striscia posta in mezo: onde ne séguita, che quando in tal concorso si ponesse l'occhio, la striscia nera di mezo asconderebbe precisamente la bianca opposta, quando la vista si facesse in un sol punto; ma se noi troveremo che l'estremità della striscia bianca apparisca scoperta, sarà necessario argomento che non da un punto solo escono i raggi visuali. E per far che la striscia bianca resti occultata dalla nera, bisognerà avvicinar l'occhio: accostatolo, dunque, tanto che la striscia di mezo occupi la remota, e notato quanto è bisognato avvicinarsi, sarà la quantità di tale avvicinamento misura certa di quanto il vero concorso de' raggi visuali si fa remoto dall'occhio in tale operazione, ed averemo di più il diametro della pupilla, o vero di quel foro onde escono i raggi visuali; imperocché tal parte sarà egli della larghezza della carta nera, qual è la distanza dal concorso delle linee che si produssero per l'estremità delle carte al luogo dove stette l'occhio quando prima vedde occultarsi la carta remota dall'intermedia, qual è, dico, tal distanza della lontananza tra le due carte..."

Galileo descrive un modo molto ingegnoso per misurare la larghezza della pupilla dell'occhio. Ne daremo ora una descrizione in linguaggio moderno.

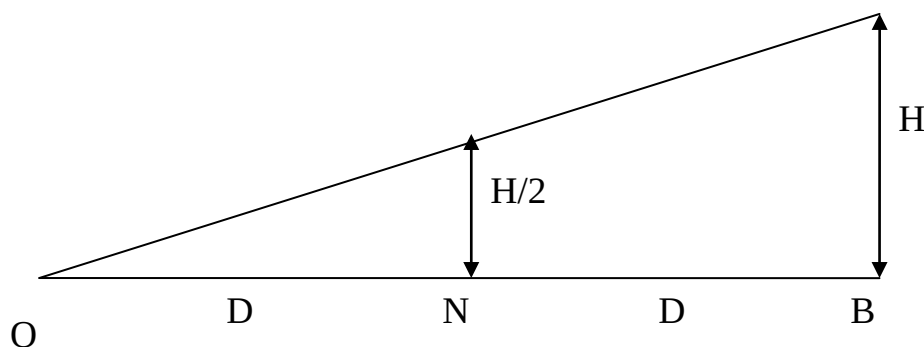
Su una vecchia cornice si fissa una striscia di cartoncino nero largo una decina di centimetri.



Si appoggia la cornice su un tavolo con un sostegno che la mantenga diritta. Sul muro (o sulla lavagna) si attacca una striscia di carta bianca di larghezza doppia rispetto alla larghezza della striscia nera. La distanza tra le strisce sarà di 5 o 6 metri.

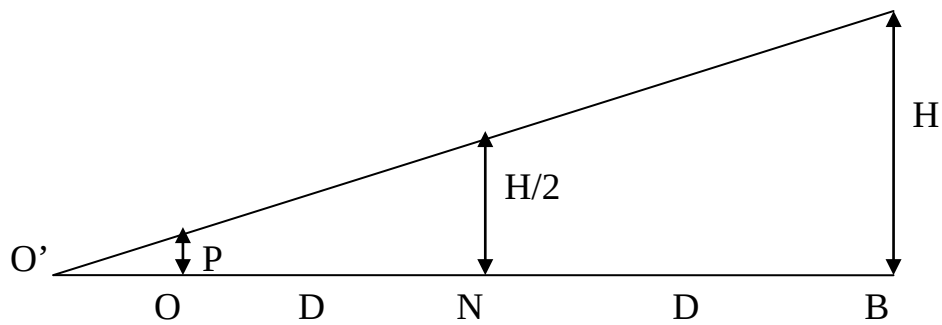
Uno studente si dispone in maniera da riguardare ambedue le strisce e cerca di collocarsi in una posizione tale da vedere la striscia bianca esattamente (in senso trasversale) coperta da quella nera. Con una cordella metrica si misurano la distanza delle due strisce e la distanza dall'occhio dell'osservatore.

La geometria elementare insegna che la distanza della striscia bianca dall'occhio del riguardatore dovrebbe essere esattamente doppia della distanza delle due strisce; come risulta dalla similitudine dei triangoli.



In realtà, dalle misure risulta che, sistematicamente, la distanza ON è minore della distanza BN.

Si tratta forse di una prova del fallimento della geometria euclidea? Oppure vi è una ragione fisica che non abbiamo preso in considerazione? La spiegazione la espone Galileo nella Terza Giornata del Dialogo; ma noi ne daremo una formulazione più immediata. La pupilla dell'occhio non è un punto, ma ha un certo diametro, per cui la figura precedente va corretta nel modo seguente:



Questa illustra il fatto che i raggi di luce convergono in un punto O' che risiede dietro la pupilla. Se indichiamo con x la distanza $O'O$ e con p il diametro della pupilla, sarà

$$\frac{p}{x} = \frac{H}{2D} \quad (1)$$

dove

$$x = BN - ON \quad (2)$$

Dalle due relazioni si ricava quindi il diametro della pupilla.

Un'appendice alla prova è quella di ripeterla in condizioni diverse di illuminamento, vale a dire con aperture diverse della pupilla.

2. UNA MISURA AD OCCHIO

Bisogna portare in classe un vecchio microsolco (che oggi prende il nome di *vinile*) e mostrarlo ai ragazzi.



Per leggerlo, la puntina parte del bordo esterno e percorre un solco che si restringe progressivamente fino al bordo interno. Il solco ha quindi la forma di una spirale.

Il problema che proponiamo è la misura della distanza tra due solchi adiacenti. Come sempre, nessuna misura ha senso senza un'ipotesi di ordine di grandezza. Si tratterà di decimi di millimetro o di centesimi o millesimi?

Naturalmente, è necessario sapere che il disco ruota con una frequenza di 33,3 giri al minuto, per cui il numero dei solchi è uguale al numero dei giri compiuti per suonare l'intero disco.

Basta leggere la durata del disco sulla busta: ad esempio, 35 minuti.

Poiché il disco gira a 33,3 giri al minuto, il numero dei giri compiuti in 35 minuti è

$$N = 35 \times 33,3 = 1655.$$

Questo è il numero dei solchi tracciati sul disco. Si misura poi lo spessore della fascia occupata dai solchi, per esempio, 8 cm. La loro distanza è allora

$$d = \frac{D}{N} = 4,8 \times 10^{-3} \text{ cm} = 48 \mu\text{m}.$$

Avremmo potuto dare una risposta preliminare riguardo all'ordine di grandezza della distanza tra i solchi.

Prima, però, è necessario fare una misura del *potere risolutivo* dell'occhio, cioè della distanza angolare minima sotto la quale l'occhio vede come distinti due oggetti.

Occorre un cartoncino bianco e una cordella metrica. Sul cartoncino si tracciano due righe parallele alla distanza di qualche centimetro, con un grosso pennarello. In cortile un ragazzo tiene il cartoncino e si allontana sempre più, fino a che le due righe non sono più distinguibili. A questo punto si misura la distanza tra gli osservatori e il cartoncino. Il potere risolutivo dell'occhio è espresso dall'angolo

$$\theta = \frac{d}{D} \text{ (in radianti)}$$

o da

$$\theta = \frac{d}{D} \times \frac{180}{\pi} \times 60$$

se misurato in minuti di grado.

Possiamo ora tornare al disco microsolco e osservare che la loro distanza è appena inferiore al potere risolutivo dell'occhio. Basta infatti una modesta lente di ingrandimento per vedere i solchi come distinti.

Posto che la distanza di visione ottimale è di circa 25 cm e che il potere risolutivo è di un minuto di grado, cioè $2,9 \times 10^{-4}$ rad, la distanza tra i solchi sarà circa

$$d = \theta D \approx 3 \times 10^{-4} \times 25 \text{ cm} \approx 80 \mu\text{m}.$$

Il secondo risultato è circa il doppio del primo; ma non aveva la pretesa di essere altro che una stima dell'ordine di grandezza.

A questo punto possiamo chiederci quale sarà la lunghezza del solco. A tale scopo è necessario misurare il raggio interno del disco (6,0 cm) e quello esterno (14,0 cm). La lunghezza media del giro è

$$2\pi \frac{r + R}{2} = 62,8 \text{ cm}$$

e poiché vi sono tracciati 1655 solchi, la lunghezza complessiva sarà:

$$L = 62,8 \times 1,655 \times 10^3 \text{ cm} = 1,04 \times 10^5 \text{ cm} = 1,04 \text{ km}.$$

3. IL VOLUME DELLA SFERA

CONSIDERAZIONI GENERALI

La maggior parte dei ragazzi apprende con facilità, talvolta nella scuola primaria, la *formula* del volume della sfera o dell'area del cerchio, come si trattasse di una formula magica: la si applica e se ne cava il risultato. Stranamente, è difficile passare da

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 \quad \text{a} \quad V \propto R^3$$

Il campo concettuale della seconda è enormemente più ampio della prima. Infatti la prima

1. vale solo per le sfere
2. vale solo se l'unità di volume è un cubo che ha come spigolo l'unità di misura con cui si esprime il raggio.

La seconda

1. è vera per tutte le forme per le quali si possa individuare una dimensione caratteristica
2. è indipendente dalle unità di misura adottate.

L'attività che proponiamo richiede la partecipazione attiva degli allievi e presenta un caso concreto in cui si applica il fatto che i volumi di figure simili stanno tra loro come i cubi delle dimensioni.

A questo concetto Galileo ha dedicato alcune pagine fondamentali della Giornata Prima dei "Discorsi e dimostrazioni matematiche sopra due nuove scienze", che possono essere con profitto proposte alla riflessione degli studenti.

PERCORSO SUGGERITO

Le sfere di vetro si trovano in vendita nei negozi di materiale per la didattica. Se ne comprano tante da poter riempire un secchiello di plastica: di due tipi, di diametro diverso; ad esempio uno doppio dell'altro.

L'insegnante si presenta alla classe con i due secchi egualmente colmi di sferette di diametro diverso.

Vi sono alcune questioni preliminari:

- a) determinare il volume del secchiello;
- b) determinare il volume delle sfere.

È chiaro che i due problemi richiedono strumenti diversi: una riga da disegno per il volume del secchiello; un calibro per il volume delle sfere.

La determinazione del

- c) numero delle sfere

è problema più complesso; a meno che non ci si rassegni a contarle una per una.

Una scappatoia ci sarebbe: si potrebbe pesare ciascun secchio e una singola sferetta; il loro rapporto è il numero delle sfere.

Meglio partire dalla pesata delle sfere. Naturalmente, conviene pesarne una decina, allo scopo di ridurre l'incertezza sulla misura.

Si può poi riflettere sui due pesi: che relazione vi è tra il rapporto dei pesi e quello dei diametri?
È una scoperta notevole, che merita di essere sottolineata, il fatto che

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^3$$

È arrivato il momento di pesare i secchielli pieni (o le sferette travasate in due sacchetti di plastica). Una misura, tuttavia, non ha senso in assenza di una previsione. E' necessario fare sempre una previsione prima di eseguire una misura, se non altro per scegliere lo strumento di misura adatto. In questo caso, la domanda da porre è:

peserà di più il secchio delle sferette grandi o quello delle sferette piccole?

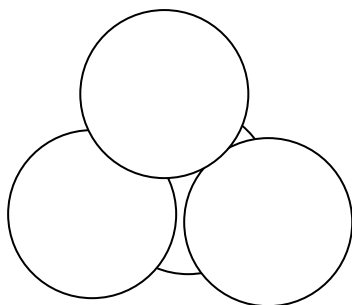
Il solo errore che può fare l'insegnante è di dare la risposta o di mostrare che la conosce; il suo ruolo può essere solo quello di animatore e arbitro della discussione. Le sfere piccole pesano di meno, ma ce ne sono di più! Prevarrà il peso o il numero?

Solo alla fine si passerà alla misura vera e propria sulla bilancia. Naturalmente, i due pesi non risulteranno uguali; ma molto vicini, e ciò è dovuto al fatto che è difficile stabilire quando il secchiello sia pieno. Il punto importante è : perché i due pesi complessivi risultano uguali?

Lo si può spiegare nel modo seguente.

Consideriamo il secchio vuoto e di volerlo riempire di sfere piccole. Sia N il numero delle sfere che ci vogliono per riempirlo. Se il diametro fosse doppio, il volume delle sfere sarebbe ottuplicato e quindi ne occorrerebbero N/8 per riempire lo stesso volume. Ne segue che il volume del vetro sarebbe lo stesso, quindi anche il suo peso.

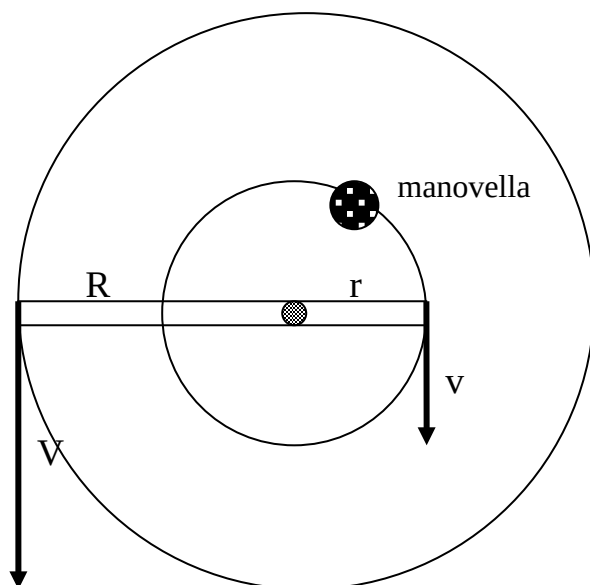
Lo possiamo dire anche in altro modo.



Le sfere possiamo immaginarle raccolte a pacchi di quattro come nella figura. Il rapporto tra il pieno e il vuoto del gruppo non cambia se anche si cambia la scala. E questo equivale a dire che la quantità di pieno (e di vuoto) nei due secchi è lo stesso, indipendentemente dal diametro delle sferette, cioè dal loro numero.

4. AMPLIFICATORI DI VELOCITA'

Le due ruote solidali con uno stesso asse si possono considerare un amplificatore di velocità.



Di solito la ruota interna è dotata di una manovella che serve a far girare il sistema. In questo caso, le velocità stanno in proporzione ai raggi:

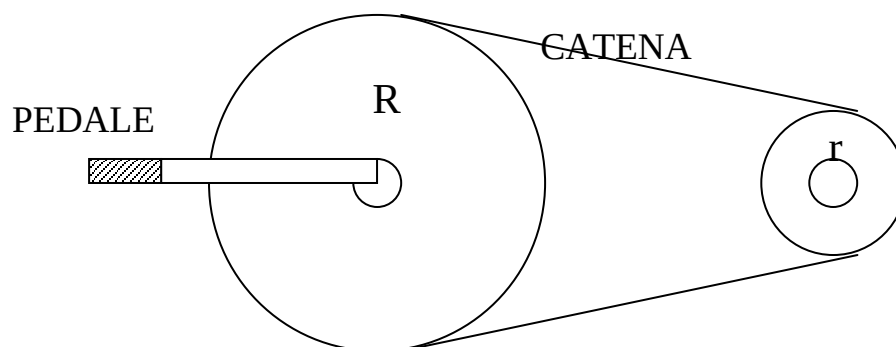
$$\frac{V}{v} = \frac{R}{r}.$$

Questa si può scrivere nella forma

$$\frac{V}{R} = \frac{v}{r}$$

Il rapporto tra la velocità e la distanza dall'asse di rotazione si chiama "velocità angolare". La precedente afferma che le due ruote girano con velocità angolari uguali.

Le due ruote (di diverso raggio) possono essere dotate di denti e costituire un ingranaggio.



In questo caso i bordi delle ruote girano con la stessa velocità (che è quella della catena). Sono, invece diverse le velocità angolari. Poiché $V=v$, ne segue che $\omega R = \Omega r$. Più piccolo è il ruotino rispetto alla corona, tanto più rapidamente gira.

Ledo Stefanini
Università di Mantova - Pavia.