

La descrizione di Galileo dell'esperimento del piano inclinato

Le parole di Galileo da

Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze
attinenti alla meccanica e ai movimenti locali.(1638)

"In un regolo, o voglian dir corrente, di legno, lungo circa 12 braccia, e largo per un verso mezo braccio e per l'altro tre dita, si era in questa minor larghezza incavato un canaletto, poco più largo d'un dito; tiratolo dritissimo, e, per averlo ben pulito e liscio, incollatovi dentro una carta pecora zannata e lustrata al possibile, se faceva in esso scendere una palla di bronzo durissimo, ben rotondata e pulita;

Costituito che si era il detto regolo pendente, elevando sopra il piano orizzontale una delle sue estremità un braccio o due ad arbitrio, si lasciava (come dico) scendere per il detto canale la palla, notando, nel modo che appresso dirò, il tempo che consumava nello scorrerlo tutto, replicando il medesimo atto molte volte per assicurarsi bene della quantità del tempo, nel quale non si trovava mai differenza nè anco della decima parte d'una battuta di polso.

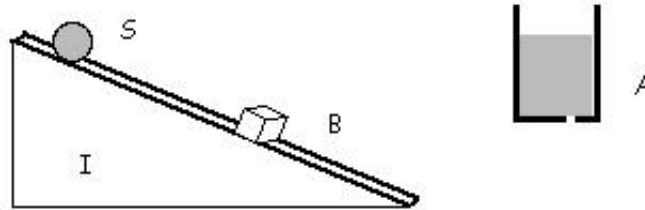
Fatta e stabilita precisamente tale operazione, facemmo scender la medesima palla solamente per la **quarta parte** della lunghezza di esso canale e misurato il tempo della sua scesa, si trovava sempre puntualissimamente esser la **metà dell'altro**: e facendo poi l'esperienze di altre parti, esaminando ora il tempo di tutta la lunghezza col tempo della metà, o con quello delli duo terzi o de i tre quarti, o in conclusione con qualunque altra divisione, per esperienze ben cento volte replicate sempre s'incontrava **gli spazii passati esser tra di loro come i quadrati e i tempi**, e questo in tutte le inclinazioni del piano, cioè del canale nel quale si faceva scender la palla;

Dove osservammo ancora, i tempi delle scese per diverse inclinazioni mantener esquisitamente tra di loro quella proporzione che più a basso troveremo essergli assegnata e dimostrata dall'Autore.

Quanto poi alla misura del tempo si teneva una gran **secchia piena d'acqua**, attaccata in alto, la quale per un sottil cannellino, saldatogli nel fondo, versava un sottil filo d'acqua, che s'andava ricevendo con un piccol bicchiere per tutto 'l tempo che la palla scendeva nel canale e nelle sue parti: le particelle poi dell'acqua, in tal guisa raccolte, s'andavano di volta in volta **con esatissima bilancia pesando**, dandoci le differenze e proporzioni de i pesi loro, le differenze e proporzioni de i tempi; e questo con tal giustezza, che, come ho detto, tali operazioni, molte volte replicate, già mai non differivano d'un notabil momento."

Dal Web.

Una schematizzazione dell'esperimento



L'apparato sperimentale di Galileo descritto nei Discorsi (Terza giornata) può essere sostanzialmente riassunto come:

- un piano inclinato (I) su cui si fa rotolare la sfera (S).
- una barriera d'arresto (B) che può essere fissata in posizione variabile sul piano .
- un secchio d'acqua (A), inizialmente pieno e con un foro sul fondo che può essere chiuso con un dito dall'operatore .

Le modalità operative dell'esperimento erano le seguenti:

- L'operatore posa la sfera sul piano, mentre tiene chiuso il foro .
- All'istante iniziale della misura, lascia andare la sfera, e apre il foro lasciando libera l'acqua di defluire dal secchio.
- Resta poi in attesa, fino a quando la sfera colpisce la barriera emettendo un segnale acustico caratteristico.
- Nell'istante in cui percepisce il segnale acustico, chiude il foro.
- Misura la quantità di acqua uscita dal secchio

Se si assume che la velocità di deflusso dell'acqua a foro aperto sia costante, allora la quantità di acqua defluita misura il tempo trascorso t , e l'esperimento permette di studiare come varia il tempo di caduta t in funzione degli altri parametri (inclinazione del piano e spazio percorso dalla sfera).

Il secchio forato venne dunque usato come una clessidra ad acqua. Galileo ci spiega nei Discorsi che la quantità d'acqua defluita veniva da lui raccolta in un bicchiere e pesata ("con esatissima bilancia") ma qui ci piace fare un piccolo volo di fantasia e ipotizzare che nei primi tentativi Galileo avesse anche provato ad usare la sua clessidra misurando le variazioni di livello del liquido.

Dal web

Dalla clessidra a livello alla clessidra gravimetrica

La clessidra ad acqua sfrutta, per misurare il tempo, l'idea che il moto dell'acqua avvenga a velocità costante. Ciò è vero solo in prima approssimazione: la resistenza al flusso opposta dalla viscosità si può considerare infatti costante (dopo un breve transiente), ma la forza agente sulla massa d'acqua che si affaccia al foro di uscita dipende dal livello del liquido sovrastante (legge di Stevino).

Di conseguenza uguali volumi di acqua usciti dal foro (corrispondenti a uguali dislivelli) corrispondono a intervalli di tempo diversi a seconda che il vaso sia più o meno pieno (cioè a seconda del valore di h_0).

E questo problema diventa tanto più evidente quanto più si aumenta la sensibilità dello strumento: il dislivello per unità di tempo cresce, ma cresce anche la differenza tra i valori misurati per lo stesso intervallo di tempo.

Per ottenere uno strumento lineare bisogna mantenere all'incirca costante l'altezza della colonna d'acqua sopra il foro. Ciò si può fare o limitando la misura a brevi intervalli di tempo (piccola portata), o usando un vaso largo e un foro piccolo (piccola sensibilità).

Esiste un modo diverso per misurare accuratamente il volume dell'acqua spillata senza dover ricorrere a grandi variazioni di livello ?

Galileo si accorse che il problema poteva essere risolto (utilizzando un vaso largo o un foro piccolo) misurando il volume, anziché attraverso la variazione di livello, attraverso il peso della massa di acqua uscita. Egli raccolse cioè l'acqua uscita dal secchio in un secondo recipiente per poi pesarla. (clessidra gravimetrica)

Già ai tempi di Galileo si potevano fare pesate di grande precisione con mezzi semplici. Con precisioni del mezzo grammo, pesando 100 cc. di acqua si raggiunge una incertezza dello 0.5%.

Se ad esempio si usa un cilindro di 30 cm di diametro riempito all'altezza $h_0=35$ cm si ottiene che spillando 100 grammi di acqua la variazione di livello è solo $\Delta h=V/\pi r^2=1.4$ mm e $\Delta S/S \approx \Delta h/2h_0 \approx 0.2\%$

L'errore di linearità risulta allora minore dell'incertezza della misura.