



tradizione e rivoluzione nell'insegnamento delle scienze

Galileo e il piano inclinato

dal progetto Reinventore per la diffusione della cultura scientifica

Suggerimenti didattici per la Scuola Secondaria di 2° grado

* * *

- *Fisica del Biennio*
- *Le note di Galileo sul moto*
- *Laboratorio di Fisica in classe: replica di esperimenti*
- *Il pendolo e il piano inclinato*
- *La misura di g*

Fisica del Biennio

La “scheda esperimenti” contiene suggerimenti per esperimenti da eseguire in classe. Oltre agli esperimenti, sono descritte anche numerose attività di matematica, con lo stesso spirito.

Nella fisica del biennio lo studio del moto uniforme e del moto accelerato ha un posto importante, e questi esercizi possono servire ad “addolcire” l'impatto con la schiera di formule e concetti diversi.

Le note di Galileo sul moto

Galileo studia il moto per più di quarant'anni. Le sue note sono raccolte in un manoscritto di più di 300 pagine, il “manoscritto 72”. Contiene testi in latino e in italiano, abbozzi di dimostrazioni, bozze di testi per la pubblicazione, calcoli, tabelle di numeri calcolati, diagrammi, e perfino documentazione di esperimenti eseguiti da Galileo. Il manoscritto è considerato la fonte essenziale di informazioni sul percorso intellettuale seguito da Galileo per arrivare ai risultati esposti nei Discorsi.

Il manoscritto è stato riprodotto in digitale nel progetto “Galileo Galilei's Notes on Motion” della Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze, con l'Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze e il Max Planck Institute per la Storia della Scienza di Berlino.

<http://www.imss.fi.it/ms72/index.html>

L'edizione digitale di tutte le opere si può trovare in

<http://pinakes.imss.fi.it:8080/pinakestext/home.jsf>

Laboratorio di Fisica in classe: replica di esperimenti

La “replica” degli esperimenti classici è una “via” della didattica e della storia della fisica molto sviluppata in diversi gruppi di ricerca universitari, in particolare alle Università di Pavia e di Oldenburg. Un esempio è il MAP Project, un progetto in cui sono stati “replicati” con precisione quasi filologica numerosi esperimenti, tra cui il piano inclinato

http://ppp.unipv.it/map/pagine/HISTO_02_it.HTM

La “replica” di questo esperimento è stata oggetto di numerosi articoli sulle riviste di didattica della fisica, e tra essi segnaliamo, reperibile su internet:

S. Straulino

Reconstruction of Galileo Galilei's experiment: the inclined plane

Physics Education, **43**, 316 (2008), doi:10.1088/0031-9120/43/3/012

Il pendolo e il piano inclinato

Cosa serve (materiali di recupero)

- pendolo attaccato in classe (sostenuto da uno studente o attaccato al muro con un chiodo)
- chiodi, filo, pallina, righello

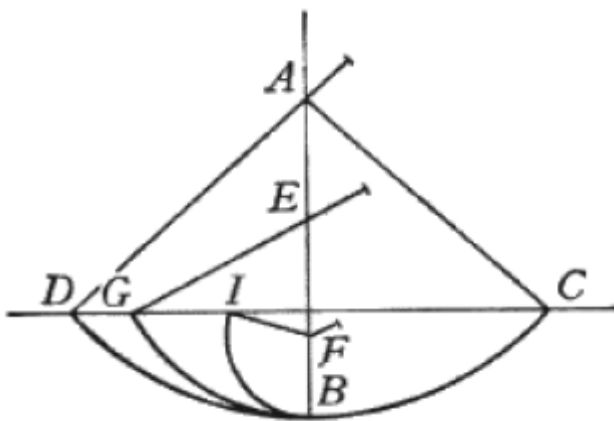
Introduzione

Questi esperimenti dimostrativi con il pendolo riprendono alcuni risultati di Galileo, permettendo di intrecciare in modo piacevole esperimenti semplici, matematica, e storia della scienza.

C'è un brillante collegamento tra il pendolo e il piano inclinato, e un collegamento tra il pendolo e la conservazione dell'energia.

Storia della scienza

Nella giornata terza dei Discorsi ("del moto locale"), Galileo discute e risolve con il pendolo una serie di problemi. Il primo problema è quale sia la velocità acquistata da un grave nello scendere dalla stessa altezza ma lungo curve di profilo diverso.



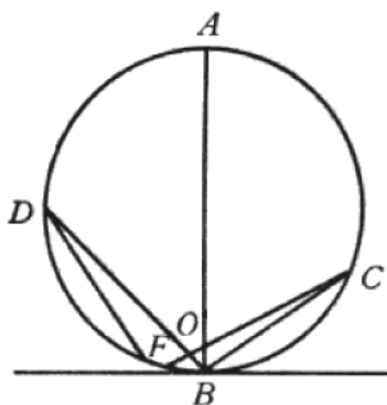
Figuratevi, questo foglio essere una parete eretta all'orizzonte, e da un chiodo fitto in essa pendere una palla di piombo d'un'oncia o due, sospesa dal sottil filo AB, lungo due o tre braccia, perpendicolare all'orizzonte, e nella parete segnate una linea orizzontale DC, segante a squadra il perpendicolo AB, il quale sia lontano dalla parete due dita in circa;

trasferendo poi il filo AB con la palla in AC, lasciate essa palla in libertà: la quale primieramente vedrete scendere descrivendo l'arco CBD, e di tanto trapassare il termine B, che, scorrendo per l'arco BD, sormonterà sino quasi alla segnata parallela CD, restando di pervenirvi per piccolissimo intervallo, toltogli il precisamente arrivarvi dall'impedimento dell'aria e del filo; dal che possiamo veracemente concludere, che l'impeto acquistato nel punto B dalla palla, nello scendere per l'arco CB, fu tanto, che bastò a risospingersi per un simile arco BD alla medesima altezza.

Fatta e più volte reiterata cotale esperienza, voglio che ficchiamo nella parete, rasente al perpendicolo AB, un chiodo, come in E o vero in F, che sporga in fuori cinque o sei dita, e questo acciò che il filo AC, tornando, come prima, a riportar la palla C per l'arco CB, giunta che ella sia in B, intoppando il filo nel chiodo E, sia costretta a camminare per la circonferenza BG, descritta intorno al centro E; dal che vedremo quello che potrà far quel medesimo impeto che, dianzi, concepito nel medesimo termine B, sospinse l'istesso mobile per l'arco BD all'altezza della orizzontale CD. Ora, Signori, voi vedrete con gusto condursi la palla all'orizzontale nel punto G, e l'istesso accadere se l'intoppo si mettesse più basso, come in F, dove la palla descriverebbe l'arco BI, terminando sempre la sua salita precisamente nella linea CD; e quando l'intoppo del chiodo fusse tanto basso che l'avanzo del filo sotto di lui non arrivasse all'altezza di CD (il che

accadrebbe quando fusse più vicino al punto B che al segmento dell'AB con l'orizzontale CD), allora il filo cavalcherebbe il chiodo e se gli avvolgerebbe intorno. Questa esperienza non lascia luogo di dubitare della verità del supposto: imperò che, essendo li due archi CB, DB eguali e similmente posti, l'acquisto di momento fatto per la scesa nell'arco CB è il medesimo che il fatto per la scesa dell'arco DB; ma il momento acquistato in B per l'arco CB è potente a rispingere in su il medesimo mobile per l'arco BD; adunque anco il momento acquistato nella scesa DB è eguale a quello che sospigne l'istesso mobile per il medesimo arco da B in D; sì che, universalmente, ogni momento acquistato per la scesa d'un arco è eguale a quello che può far risalire l'istesso mobile per il medesimo arco: ma i momenti tutti che fanno risalire per tutti gli archi BD, BG, BI sono eguali, poiché son fatti dall'istesso medesimo momento acquistato per la scesa CB, come mostra l'esperienza; adunque tutti i momenti che si acquistano per le scese ne gli archi DB, GB, IB sono eguali.

Ancora più bello, nelle note, è uno dei problemi in cui si collegano pendolo e piano inclinato. Si tratta della discesa di un grave lungo piani inclinati che corrispondono a “corde” lungo una circonferenza disegnata da un pendolo (la lunghezza del pendolo è il raggio della circonferenza).



TEOREMA 8. PROPOSIZIONE 8

Tra i piani delimitati da un medesimo cerchio eretto sull'orizzonte, su quelli, che terminano nell'estremo inferiore o superiore del diametro perpendicolare, i tempi delle discese sono eguali al tempo della caduta lungo il diametro; invece sui piani che non raggiungono il diametro, i tempi sono più brevi; infine, sui piani che tagliano il diametro, sono più lunghi.

Il problema, che è una bella illustrazione del genio di Galileo, si può agevolmente risolvere con costruzioni di triangoli simili.

Il tempo necessario a percorrere una certa lunghezza s (CB in figura) con moto uniformemente accelerato (con accelerazione a) è dato da $s = \frac{1}{2} a t^2$.

Rispetto alla caduta lungo l'intero diametro d (AB in figura) con accelerazione g , ogni percorso su una data corda si trova nelle stesse condizioni: la distanza s è un cateto rispetto al diametro d ipotenusa, e il vettore accelerazione a è il corrispondente cateto di triangolo simile con ipotenusa il vettore g . Il rapporto tra i due è pertanto sempre costante, e il tempo per percorrere i diversi piani inclinati (corrispondenti a oscillazioni di diversa ampiezza) è costante.

Links

Galileo Galilei, *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla Meccanica e ai movimenti locali* (1638).

La misura di g

si ripete l'esperienza di Riccioli, la misura di g ricavata dai tempi di oggetti in caduta libera.

Cosa serve:

Strumenti di misura: 8 metri flessibili, 8 cronometri
Materiali: 8 biglie da biliardo o di acciaio

Storia della Scienza

Gran parte del lavoro di Galileo, dalle Meccaniche fino al Dialogo e ai Discorsi verte sul problema del moto. Tra le altre cose, egli tratta a più riprese della caduta dei gravi.

... l'accelerazione del moto retto de i gravi si fa secondo i numeri impari ab unitate, cioè che segnati quali e quanti si vogliono tempi eguali, se nel primo tempo, partendosi il mobile dalla quiete, averà passato un tale spazio, come, per esempio, una canna, nel secondo tempo passerà tre canne, nel terzo cinque, nel quarto sette, e così conseguentemente secondo i succedenti numeri caffè, che in somma è l'istesso che il dire che gli spazii passati dal mobile, partendosi dalla quiete, hanno tra di loro proporzione duplicata di quella che hanno i tempi ne' quali tali spazii son misurati, o vogliam dire che gli spazii passati son tra di loro come i quadrati de' tempi.

Come ha raccontato recentemente Graney in un bell'articolo su *Physics Today*, mescolando storia e didattica riguardo l'opera di Giovanni Battista Riccioli, questo astronomo gesuita aveva dubbi sulla teoria e sui risultati di Galileo.

Per chiarire la questione, Riccioli costruisce dapprima un pendolo per misurare i tempi con una precisione di $1/6$ di secondo. A questo scopo calibra i pendoli con il transito delle stelle fisse, contando le oscillazioni per un giorno intero, coinvolgendo altri confratelli.

Esegue poi una serie di esperimenti di caduta dei gravi dalla Torre degli Asinelli a Bologna. Nel suo *Almagestum Novum* (1651) egli può così riportare la prima misura precisa dell'accelerazione di gravità, con il valore di 30 piedi romani al secondo quadrato (con un errore del 5% rispetto al valore moderno).

Uno scienziato modello

Come scrive Graney, *“Riccioli diede un buon esempio per tutti gli esperimenti di caduta libera che sarebbero seguiti. Fu completo e accurato. Fornì una descrizione esauriente della sua procedura sperimentale. Raccolse dati di qualità sufficiente a valutare accuratamente il modello in questione. Ma il lavoro di Riccioli è anche uno standard di integrità scientifica: aveva cominciato aspettandosi di confutare Galileo, ma quando i suoi esperimenti diedero ragione a Galileo, subito si preoccupò di rendere nota la notizia a un collega interessato [a Bonaventura Cavalieri, allievo di Galileo]. Il suo atteggiamento, come il suo esperimento, era quello di uno scienziato bravo”*.

Links

Christopher Graney, *“Anatomy of a fall: Giovanni Battista Riccioli and the story of g ”*, *Physics Today* 65(9), 36 (2012)

Esperimento

Ogni gruppo di lavoro può cercare di eguagliare il lavoro del gruppo formato a metà del seicento da GB Riccioli e i colleghi Grimaldi e Cassiani.

Si tratta di misurare l'accelerazione di gravità con esperimenti di caduta libera, e verificare la legge di caduta secondo 1-3-5-7... gli “impari ab unitate”.

Il Liceo Copernico non sarà la Torre degli Asinelli, ma offre sicuramente diverse possibilità (pensiamo ad esempio alla tromba delle scale) per esperimenti di questo tipo.

È ammesso l'uso della tecnologia moderna: cronometri, registratori, computer, video. Oltre a contare canticchiando, stare uno su e uno giù, accordandosi bene come da tecnologia antica. Sono molti infatti i modi che si possono escogitare per fare questa misura. Anche misurare l'altezza delle diversi luoghi da cui si fanno cadere i gravi può rivelarsi interessante.

Discussione degli errori

La discussione della precisione delle proprie misure, naturalmente, è un momento molto importante dell'esperienza.

L'esame degli errori in questo tipo di misure è trattato da Galileo in un brano giustamente molto noto dei Discorsi.

Aristotele dice: “una palla di ferro di cento libbre, cadendo dall'altezza di cento braccia, arriva in terra prima che una di una libbra sia scesa un sol braccio”; io dico ch'ell'arrivano nell'istesso tempo; voi trovate, nel farne l'esperienza, che la maggiore anticipa due dita la minore, cioè che quando la grande percuote in terra, l'altra ne è lontana due dita: ora vorreste dopo queste due dita appiattare le novantanove braccia di Aristotele, e parlando solo del mio minimo errore, metter sotto silenzio l'altro massimo.

Attenzione

Preparare anche un piano per svolgere gli esperimenti in sicurezza, senza colpirsi con palle da biliardo o di ferro in caduta libera (elmetto) e senza precipitare da grandi altezze. Non bisogna neppure rovinare pavimenti.