

Corso di aggiornamento AIF 2011-12

Esperienze di ottica geometrica

Un percorso didattico laboratoriale sulla formazione delle immagini con strumenti ottici

Luigi Togliani

Liceo Scientifico 'Belfiore' – Mantova – 26 ottobre 2011

1.- Lente convergente

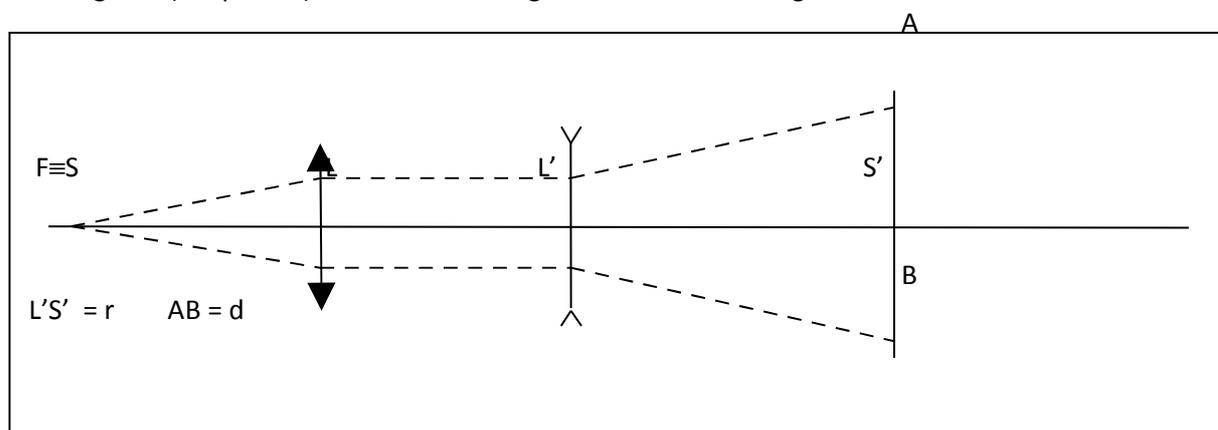
Si usa una lampadina come sorgente. L'alimentatore deve fornire alla lampadina una d.d.p. di 5 V. Si pone la lampadina a distanza p dalla lente convergente fissata su plastilina lungo una striscia di carta applicata al tavolo. Da parte opposta della lampadina rispetto alla lente si cerca di raccogliere, a distanza q dalla lente, l'immagine nitida della lampadina. Si annotano i valori di p e di q e si ripete l'esperienza per varie posizioni della lampadina. Si calcola per ogni caso studiato l'espressione $1/p + 1/q$ e si cerca di trarre le conclusioni dell'esperimento. Si può anche tracciare il grafico di $1/q$ contro $1/p$.

Come si può trovare direttamente la focale della lente? Si può sempre raccogliere l'immagine? Che cosa accade scambiando la posizione della lampadina con quella della sua immagine? In quale circostanza l'immagine ha le stesse dimensioni della lampadina?

2.- Lente divergente

Si pone la lampadina nel fuoco della lente convergente dell'esperimento precedente. A circa 10 cm dalla lente, lungo la striscia di carta, si fissa con la plastilina una lente divergente. Su uno schermo si raccoglie l'immagine del cerchio luminoso ottenuto tramite la lente divergente. Si segnano con una matita gli estremi del diametro del cerchio luminoso e la posizione dello schermo sulla striscia di carta. Si ripete alcune volte la prova cambiando la posizione dello schermo rispetto alla lente divergente. Finite le prove si misura, per ciascuna di esse, la distanza r della lente divergente dallo schermo e il corrispondente diametro d del cerchio luminoso. Si riportano i dati in un grafico di d contro r . Dal grafico è possibile ricavare la focale della lente divergente. Come mai non è possibile

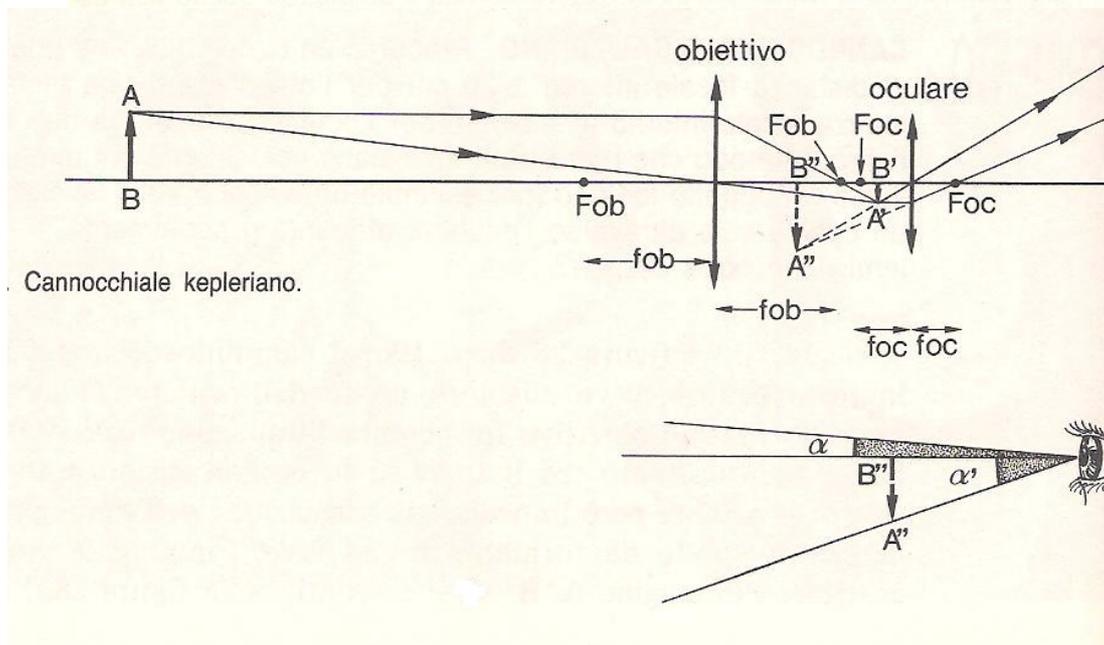
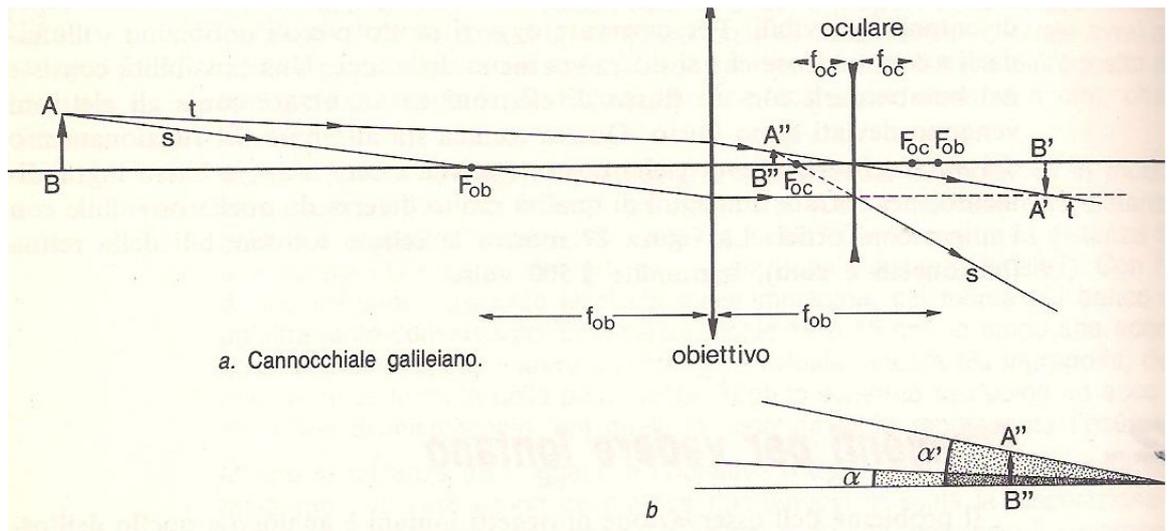
S sorgente (lampadina) L lente convergente L' lente divergente S' schermo



raccogliere immagini prodotte dalla lente divergente? In che cosa differiscono i due tipi di lente?

3.- Cannocchiale galileiano

Osserviamo una lampadina lontana ponendo la lente divergente vicino all'occhio e la lente divergente ad una certa distanza sul tavolo. Possibili focali: +50 cm (obbiettivo) e -10 cm (oculare). Andando per tentativi stabiliamo qual è la distanza migliore tra le due lenti per ottenere un'immagine nitida della lampadina. Come appare l'immagine, diritta o capovolta? Riproponiamo l'esperienza usando un semplice cannocchiale galileiano costruito con un tubo di cartone alla cui estremità è fissata una lente convergente da +22,5 cm di focale (obbiettivo). Entro il tubo precedente può scorrere un secondo tubo di cartone cui è fissata una piccola lente divergente di focale -3,5 cm (oculare).



4.- Cannocchiale kepleriano

L'oculare e l'obbiettivo sono lenti convergenti: ad es. l'obbiettivo con focale +15 cm e l'oculare con focale +50 cm. Anche qui stabiliamo qual è la distanza ottimale tra le due lenti e il tipo d'immagine ottenuta. Viene rifatta l'esperienza con un cannocchiale kepleriano in cartone con obbiettivo da +36 cm, oculare da +3,0 cm e lente intermedia da +10,6 cm.

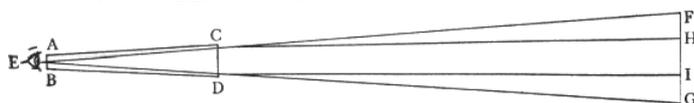
Per entrambi i cannocchiali è possibile calcolare l'ingrandimento con la formula approssimata: $G = f_{ob} / f_{oc}$.

“Circa dieci mesi fa ci giunse notizia che era stato costruito da un certo Fiammingo¹ un occhiale, per mezzo del quale gli oggetti visibili, pur distanti assai dall'occhio di chi guarda, si vedevan distintamente come fossero vicini; e correvan voci su alcune esperienze di questo mirabile effetto, alle quali chi prestava fede, chi no. Questa stessa cosa mi venne confermata pochi giorni dopo per lettera dal nobile francese Iacopo Badovere, da Parigi; e questo fu causa che io mi volgessi tutto a cercar le ragioni e ad escogitare i mezzi per giungere all'invenzione di un simile strumento, che poco dopo conseguii, basandomi sulla dottrina delle rifrazioni.

Preparai dapprima un tubo di piombo alle cui estremità applicai due lenti, entrambe piane da una parte, e dall'altra una convessa e una concava; posto l'occhio alla parte concava vidi gli oggetti abbastanza grandi e vicini, tre volte più vicini e nove volte più grandi di quanto non si vedano a occhio nudo. In seguito preparai uno strumento più esatto, che mostrava gli oggetti più di sessanta volte maggiori. E finalmente, non risparmiando fatiche e spese, venni a tanto da costruirmi uno strumento così eccellente, che gli oggetti visti per il suo mezzo appaiono ingranditi quasi mille volte e trenta volte più vicini che visti a occhio nudo. Quanti e quali siano i vantaggi di un simile strumento, tanto per le osservazioni di terra che di mare, sarebbe del tutto superfluo dire.

Ma lasciate le terrestri, mi volsi alle speculazioni del cielo; e primamente vidi la Luna così vicina come distasse appena due raggi terrestri. Dopo questa, con incredibile godimento dell'animo, osservai più volte le stelle sia fisse che erranti; e poiché le vidi assai fitte, cominciai a studiare il modo con cui potessi misurare le loro distanze, e finalmente lo trovai. Su questo è bene siano avvertiti tutti coloro che vogliono darsi a simili osservazioni. In primo luogo è necessario infatti che si preparino un cannocchiale esattissimo, il quale rappresenti gli oggetti chiari, distinti e non coperti d'alcuna caligine, e li ingrandisca almeno quattrocento volte, poiché allora li mostrerà venti volte più vicini: infatti, se lo strumento non sarà tale, invano si tenterà di vedere tutte le cose che da me furon viste in cielo, e che più avanti saranno enumerate. Affinché chiunque con poca fatica possa farsi certo dell'ingrandimento dello strumento, tracci il contorno di due circoli o due quadrati di carta, di cui l'uno sia quattrocento volte maggiore dell'altro; il che sarà quando il diametro del maggiore avrà lunghezza venti volte più grande del diametro dell'altro: poi guardi insieme da lontano le due superfici infisse alla stessa parete, la minore con un occhio posto al cannocchiale, la maggiore con l'altro occhio, libero. Senza fatica infatti questo si può fare nel medesimo tempo, tenendo aperti tutti e due gli occhi: entrambe le figure appariranno allora della stessa grandezza, se il cannocchiale moltiplicherà gli oggetti secondo la proporzione voluta.

Preparato simile strumento, bisognerà studiare il modo di misurare le distanze: cosa che otterremo col seguente artificio. Sia, per maggior semplicità, il tubo ABCD.



L'occhio di colui che guarda sia E. I raggi, finché non ci sono nel cannocchiale le lenti, giungono all'oggetto FG secondo le linee rette ECF, EDG; ma, poste le lenti, giungeranno secondo le linee rifratte ECH, EDI: infatti sono raccostati, e quelli che prima, liberi, si dirigevano all'oggetto FG, ne comprenderanno solo la parte HI. Trovato poi il rapporto della distanza EH alla linea HI, con la tavola dei seni si troverà l'ampiezza dell'angolo formato nell'occhio dall'oggetto HI, che vedremo contenere soltanto qualche minuto. Se poi adatteremo alla lente CD sottili lamine, perforate alcune con fori maggiori altre con fori minori, sovrapponendo or questa or quella secondo sarà necessario, formeremo a piacere angoli diversi, sottendenti più o meno minuti, con l'aiuto dei quali potremo facilmente misurare gli intervalli fra le Stelle, distanti l'una dall'altra di qualche minuto, senza errore nemmeno di uno o due minuti. Ma per il momento basti aver toccato di questi argomenti così lievemente, e quasi averne gustato a fior di labbra, poiché in altra occasione esporremo intera la teoria di questo strumento.”

Galileo, *Sidereus Nuncius*, Padova, 12 marzo 1610

“Insegnare ottica è più difficile di altri capitoli della fisica. La ragione sta principalmente nel fatto che non si tratta soltanto di fisica: nell'ottica si trovano, inestricabilmente connesse, anche fisiologia

¹ Hans Lipperhey (?-1619) o Sacharias Janssen (1588-1630)

e psicologia. Per intenderci meglio, facciamo un esempio diverso. Nessuno, insegnando fisica, penserebbe di fare terminologia con le mani (organo di senso sensibile al calore): la prima cosa che s'insegna è che le mani sono inaffidabili, e che bisogna sostituirle con uno strumento: il termometro. Invece parlando di ottica non si riesce a fare a meno degli occhi. Perché?

Una possibile risposta è che gli occhi sono troppo importanti! Sono l'organo di senso più complesso e ricco d'informazioni di cui disponiamo, quello dal quale ricaviamo la maggior parte delle conoscenze sul mondo circostante. Perciò è assai difficile (e non sarebbe neppure giusto) pensare di farne a meno quando si ragiona di ottica. Ma è proprio questo che causa l'intreccio di cui sopra: gli occhi non sono soltanto uno strumento fisico.

Perciò in un insegnamento scientifico occorre saper distinguere ciò che appartiene alla fisica e ciò che va fuori; e insieme non rinchiudersi in una trattazione ristretta all'aspetto fisico. Occorre tener conto del fatto che abbiamo gli occhi e li usiamo, nel bene e nel male. Dobbiamo ad esempio tener conto che il nostro uso degli occhi, lungo tutta la vita, ci ha prodotto certe abitudini, certi modi d'interpretare le sensazioni, che si traducono anche in preconcezioni dal punto di vista scientifico.

Detto in termini più precisi: non si può insegnare l'ottica soltanto a forza di raggi, immagini, leggi, ignorando tutto quello che c'è dietro (sotto): il peculiare modo di funzionare dell'occhio, le abitudini e i concetti che ne abbiamo tratto, ecc. Allo stesso tempo, è necessario mostrare che l'ottica che si studia aiuta a interpretare ciò che si vede. Vedremo che questi saranno temi ricorrenti del corso.

Che cos'è la luce? Prima di tutto, la luce è un fenomeno fisico. Noi vediamo perché:

- a) alcuni oggetti emettono luce
- b) altri oggetti rimandano (in vario modo) la luce che ricevono
- c) parte di questa luce arriva agli occhi, che nella retina contengono rivelatori i quali trasmettono segnali nervosi al cervello
- d) il cervello interpreta questi segnali.

Si può ricordare tutto questo con la metafora dei quattro giocatori: la visione è un gioco complesso, al quale partecipano quattro giocatori: sorgente, oggetto, occhio, cervello. Solo i primi due, e in parte il terzo, sono di competenza del fisico, possono essere studiati con gli strumenti concettuali della fisica; ma la partita è sempre giocata da tutti e quattro.”

“Dove sta l'immagine?”

Questo è il vero problema, e siamo d'accordo: se intendiamo quella dell'ottica geometrica non c'è dubbio: il conto si fa al solito modo. Ma questo non vuol dire che noi la vedremo! Ricordate sempre: il cervello non conosce l'ottica geometrica, e non è tenuto ad applicarla.

La prova si fa facilmente con una lente, specialmente di focale lunga (30 cm o più), guardando un oggetto che sta su un tavolo. Comunque si muova la lente, noi continuiamo a vedere l'oggetto sul tavolo, non in un “pozzo”, anche quando l'immagine virtuale starebbe a qualche metro dall'occhio.

Peggio: mettete la lente davanti a un occhio, e guardate un oggetto lontano. Allora l'immagine dell'ottica gaussiana sarà reale, capovolta, e posta dietro la vostra testa; ma che cosa vedete in realtà? La risposta è che continuate a vedere l'oggetto davanti a voi, dritto, anche se più o meno “sfocato”. E' sfocato perché l'occhio non riesce a far convergere i raggi sulla retina; ma la stima della distanza è fatta in base ad altre informazioni: le dimensioni dell'oggetto (se sono note), la posizione di altri oggetti (tavolo, pareti ...).”

E. Fabri - U. Penco, *Ottica nel mondo reale*, 2001

ASSOCIAZIONE
PER L'INSEGNAMENTO
DELLA FISICA



SEZIONE DI MANTOVA
c/o LICEO SCIENTIFICO "BELFIORE"
Via Tione,2 46100 Mantova

A. I. F.
Associaz. per l'Insegnamento della Fisica
Sezione di Mantova

Corso di aggiornamento per docenti

A.S. 2011-2012

Il laboratorio di fisica e la certificazione delle competenze
per i nuovi bienni

3[^] lezione

Misure di intervalli di tempo

prof. Maurizio Francesio



IRRSAE
LOMBARDIA

**ASSISTENZA ALLA SPERIMENTAZIONE
PIANO NAZIONALE INFORMATICA**

FISICA

**UNITÀ DIDATTICHE
E MATERIALI DI LAVORO
PER I CORSISTI**

Questi materiali di lavoro sono stati preparati dal "Gruppo di lavoro di FISICA" costituito da:

Gianni Bonera - Università degli Studi di Pavia
Paolo Mascheretti - Università degli Studi di Pavia
Sergio Casiraghi - ITC "De Simoni" di Sondrio
Maria Pia Ceresa - Liceo Scientifico di Vimercate (MI)
Roberto Ceriani - Liceo Scientifico "Cardano" di Milano
Maurizio Francesio - ITIS "E. Fermi" di Mantova

I lavori sono stati coordinati dall'Ispettrice *Marta De Vita*, per conto del M.P.I., e dal Prof. *Franco De Anna* dell'IRRSAE Lombardia.

Il gruppo ha operato nel periodo marzo-giugno 1991 presso l'IRRSAE Lombardia e tenuto un corso sperimentale presso l'ITIS "E. Conti" di Milano in aprile-maggio 1991, utilizzando una prima versione ~~versione~~ di questo materiale.

Le idee presentate in queste pagine sono frutto di un'elaborazione collettiva. La loro esposizione redazionale è stata curata in particolare da:

Sergio Casiraghi (4ª e 6ª giornata)
Roberto Ceriani (1ª e 2ª giornata)
Maurizio Francesio (3ª e 5ª giornata)

Assistenza alla sperimentazione
del Piano Nazionale Informatica
per insegnanti di fisica della Lombardia

TERZA GIORNATA

Assistenza alla sperimentazione del
Piano Nazionale Informatica
per insegnanti di fisica della Lombardia

FILE: PROG-3.DOC

Scheda di programmazione 3

Programma della giornata di lavoro N° 3

"Misure di tempo"

<u>Fase</u>	<u>tempo</u> <u>(min)</u>	<u>ATTIVITA'</u>	<u>PROPOSTA</u>
1	30	- presentazione delle proposte e distribuzione dei materiali	
2	45	- misurazione di intervalli di tempo e analisi dei dati	
3	30	- individuazione di una unità di misura e costruzione di sottomultipli	
4	45	- utilizzazione dello strumento tarato per studiare un moto	
5	30	- le caratteristiche di un orologio	

FILE: GIO3F1.91

Scheda per la fase 1

INTRODUZIONE

"Misure di tempo"

Obiettivi

sapere

- misurare il tempo in modo operativo;
- confrontare fra loro alcuni dispositivi diversi;
- definire l'unità di tempo e costruire i suoi sottomultipli;
- illustrare le caratteristiche essenziali di un orologio;

saper fare

- usare semplici apparecchiature per effettuare misure con le relative incertezze;
- raccogliere dati e costruire tabelle;
- rappresentare i dati delle tabelle in diagrammi e grafici.

Tempo a disposizione

- 30 minuti

Strumenti da utilizzare

Considerando che l'attività si svolge in laboratorio di fisica con vari gruppi di lavoro, a ogni tavolo è disponibile uno dei seguenti dispositivi:

- a) pendolo semplice di lunghezza da stabilire;
- b) sistema molla-massa, del quale si devono fissare le caratteristiche (costante elastica della molla e valore della massa);
- c) apparecchio per fleboclisi;
- d) cilindro graduato, da riempire con acqua che esce da un rubinetto opportunamente regolato;
- e) tubo di vetro sostenuto da un armatura metallica, riempito d'acqua e mantenuto leggermente inclinato, in modo che una bolla d'aria possa risalire lentamente.

Se i gruppi risultassero più di cinque, andrebbero duplicati i dispositivi a), b), e).

(44)

Un intervallo di tempo viene misurato in unità arbitrarie, fissate per ciascun dispositivo,

- contando il numero delle oscillazioni complete, nel pendolo e nel sistema molla-massa,
- contando il numero di gocce che cadono, nell'apparecchio per fleboclisi,
- leggendo il volume d'acqua uscita dal rubinetto, nel cilindro graduato,
- valutando lo spostamento della bolla, nel tubo di vetro pieno d'acqua.

Nel procedimento di misurazione adottato è implicita l'ipotesi che l'unità di tempo scelta per ciascun dispositivo si conservi inalterata nel tempo: l'esperienza di senso comune suggerisce l'idea che essa non cambi, per lo meno in modo avvertibile, durante la misurazione, tuttavia non esiste alcun criterio per poterlo stabilire; si sceglie quindi l'invarianza dell'unità di tempo come ipotesi di lavoro per potere effettuare le misure, riservandosi di rigettarla qualora conducesse a risultati assurdi.

E', del resto, una caratteristica del metodo scientifico con cui si indaga la natura che gli esperimenti ideati per interrogarla non siano mai scelti a caso, ma vengano proposti in modo mirato; come quando si cerca di colpire un bersaglio che non si vede, ma si intuisce dove si trova.

L'unità di tempo di ciascuno strumento può essere modificata variando qualche parametro che caratterizza il dispositivo, come

- la lunghezza, nel caso del pendolo,
- la molla o la massa, nel sistema molla-massa,
- il flusso dell'acqua, nel cilindro graduato e nell'apparecchio da fleboclisi,
- l'inclinazione del tubo di vetro, nel dispositivo a bolla.

Ciò consente di predisporre opportunamente lo strumento, in modo da effettuare le misurazioni nelle migliori condizioni possibili.

Va tenuto presente che i dispositivi ad acqua, una volta messi in funzione e regolati, non vanno più fermati fino al termine delle misurazioni per non modificare il flusso dell'acqua.

(45)

Assistenza alla sperimentazione del
Piano Nazionale Informatica
per insegnanti di fisica della Lombardia

FILE: GIO3F2.91

Scheda per la fase 2

ESPERIMENTO 4

"Misurazione di intervalli di tempo con dispositivi diversi"

Tempo a disposizione

- 45 minuti

Esperimento e analisi dei dati

Quando gli strumenti sono stati messi a punto, tutti i gruppi, contemporaneamente, misurano la durata T_1 di un primo evento, corrispondente, per esempio, al tempo impiegato da un allievo per risolvere un breve e semplice esercizio di matematica. Si ripete quindi l'operazione per la durata T_2 di un secondo evento che deve essere sicuramente del tutto indipendente dal primo, come, ad esempio, il tempo di svuotamento di un barattolo contenente dell'acqua. I dati ottenuti vengono raccolti in una tabella come la seguente (*)

gruppo	T_1 (unità arbitr.)	$\frac{\Delta T_1}{T_1}$	T_2 (unità arbitr.)	$\frac{\Delta T_2}{T_2}$	$R = \frac{T_1}{T_2}$	$\frac{\Delta R}{R}$
1	18 ± 1	0,056	4 ± 1	0,25	5 ± 1	0,31
2	66 ± 1	0,015	21 ± 1	0,048	3,1 ± 0,2	0,063
3	133 ± 1	0,008	46 ± 1	0,022	2,89 ± 0,09	0,030
4	49 ± 1	0,020	18 ± 1	0,056	2,7 ± 0,2	0,076
5	128 ± 1	0,008	38 ± 1	0,026	3,4 ± 0,1	0,034
6	104 ± 1	0,010	33 ± 1	0,030	3,2 ± 0,1	0,040
7	43 ± 1	0,023	13 ± 1	0,077	3,3 ± 0,3	0,10
8	363 ± 4	0,011	116 ± 2	0,017	3,13 ± 0,09	0,028

dove tutti i valori sono stati riportati con le relative incertezze, assoluta e relativa.

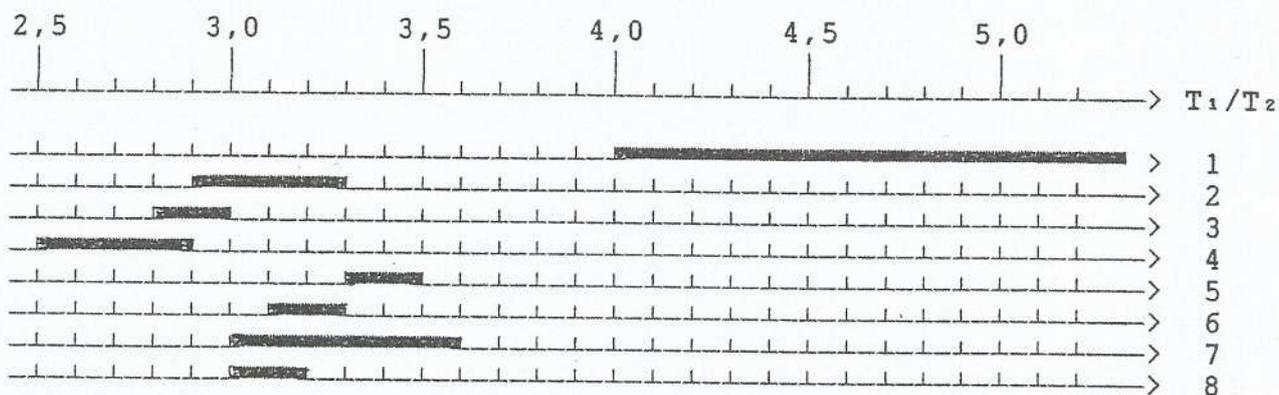
Dall'esame dei dati si nota che i vari conteggi, effettuati per misurare T_1 , risultano generalmente diversi uno dall'altro, e lo stesso accade per T_2 . Inoltre, qualunque sia il dispositivo usato, risulta $T_1 > T_2$.

Si nota, in definitiva, che i vari strumenti forniscono valori differenti sia per la misura di T_1 , sia per quella di T_2 , ma concordano nella disuguaglianza di confronto dei due intervalli.

(*) Qualora gli allievi non siano abituati a trattare la propagazione degli errori nelle operazioni si veda l'appendice.

Per fare un confronto più accurato si può calcolare il rapporto delle due misure: nella penultima colonna della tabella sono riportati i valori ottenuti, espressi con la relativa incertezza assoluta; quest'ultima è stata ricavata tenendo presente la propagazione degli errori nell'operazione di divisione.

Ogni rapporto può essere rappresentato mediante un segmento preso su una retta orientata sulla quale sia fissata una determinata scala: nel diagramma seguente gli otto rapporti sono rappresentati su altrettante rette parallele e riferiti alla medesima scala. Per semplificare il confronto i valori del terzo e dell'ottavo rapporto sono stati arrotondati a due cifre significative.



Il diagramma mostra che quattro intervalli su otto si sovrappongono parzialmente, indicando un accordo fra le misure ottenute con i dispositivi utilizzati dai gruppi 2, 6, 7, 8. Possiamo allora affermare che tali dispositivi forniscono, entro gli errori sperimentali, lo stesso risultato per il rapporto T_1/T_2 .

Riflessione critica

L'univocità del risultato ottenuto dai quattro dispositivi, nonostante gli intervalli temporali misurati fossero del tutto indipendenti, rivela un fatto importante: gli strumenti hanno qualcosa in comune, sono confrontabili tra loro.

Ciò è confermato dal fatto che, se si ripete l'esperimento, si trova ogni volta un valore differente del rapporto, ma il risultato è lo stesso per quel gruppo di strumenti.

Se ne deduce che essi devono avere un comportamento regolare, per lo meno uno rispetto all'altro. Vi sono due possibilità:

- a) ogni strumento ha un proprio ritmo regolare;
- b) tutti gli strumenti hanno un ritmo non regolare, per esempio rallentano, ma la non regolarità è identica per tutti.

Entrambe le ipotesi potrebbero essere accettate, visto che sono ugualmente in grado di giustificare i risultati ottenuti sperimentalmente. Non esiste un criterio per decidere quale delle due possibilità corrisponda ad una corretta interpretazione della realtà, tuttavia si sceglie la prima ipotesi perché sembra la più sensata. Infatti, che uno strumento abbia un proprio ritmo regolare dipende dalle caratteristiche di quel dispositivo e non da quelle degli altri; nel secondo caso, invece, bisognerebbe ammettere un legame tra le caratteristiche di strumenti diversi.

(47)

Sulla base di quanto è stato fatto finora possiamo trarre le seguenti conclusioni:

- a) per misurare il tempo occorre del movimento; si prestano particolarmente bene i moti ripetitivi;
- b) dal confronto tra moti diversi è possibile riconoscere se sono regolari; la regolarità è però ammessa, non dimostrata;
- c) un orologio è uno strumento nel quale è realizzato un movimento regolare; se il moto è periodico, il tempo viene misurato con il conteggio delle oscillazioni;
- d) il tempo misurato da un orologio, definito come al punto 3), si chiama tempo proprio dell'orologio.

Appendice

Qualora gli allievi non siano abituati a trattare la propagazione delle incertezze nell'operazione di divisione, ci si limiterà all'uso delle cifre significative e, in tal caso, la tabella risulterà come segue

gruppo	T_1 (unità arbitr.)	T_2 (unità arbitr.)	$\frac{T_1}{T_2}$
1	18 ± 1	4 ± 1	5
2	66 ± 1	21 ± 1	3,1
3	133 ± 1	46 ± 1	2,9
4	49 ± 1	18 ± 1	2,7
5	128 ± 1	38 ± 1	3,4
6	104 ± 1	33 ± 1	3,2
7	43 ± 1	13 ± 1	3,3
8	363 ± 4	116 ± 2	3,1

dove non figura il calcolo delle incertezze relative.

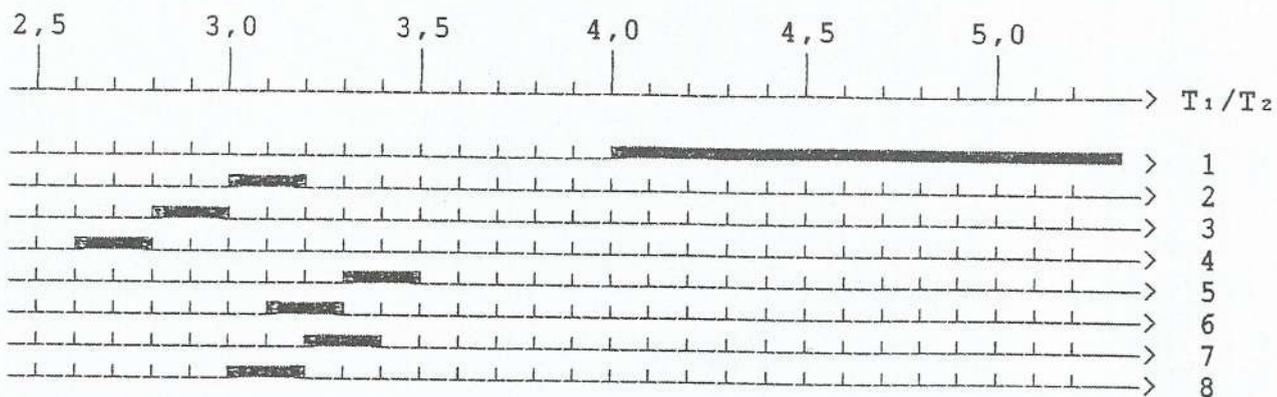
Dall'esame dei dati si nota che i vari conteggi, effettuati per misurare T_1 , risultano generalmente diversi uno dall'altro, e lo stesso accade per T_2 . Inoltre, qualunque sia il dispositivo usato, risulta $T_1 > T_2$.

Si nota, in definitiva, che i vari strumenti forniscono valori differenti sia per la misura di T_1 , sia per quella di T_2 , ma concordano nella disuguaglianza di confronto dei due intervalli.

Per fare un confronto più accurato si può calcolare il rapporto delle due misure: nell'ultima colonna della tabella sono riportati i valori ottenuti, espressi con il corretto numero di cifre significative, considerando l'incertezza di una unità sull'ultima cifra.

Ogni rapporto può essere rappresentato mediante un segmento preso su una retta orientata sulla quale sia fissata una determinata scala: nel diagramma seguente gli otto rapporti sono rappresentati su altrettante rette parallele e riferiti alla medesima scala.

(48)



Il diagramma mostra che tre intervalli su otto si sovrappongono parzialmente, indicando un accordo fra le misure ottenute con i dispositivi utilizzati dai gruppi 2, 6, 8. Possiamo allora affermare che tali dispositivi forniscono, entro gli errori sperimentali, lo stesso risultato per il rapporto T_1/T_2 .

La differenza del risultato, rispetto al confronto degli intervalli quando si considera la propagazione delle incertezze nella divisione, è più apparente che reale: dipende, infatti, dagli arrotondamenti nei calcoli. Essa, in ogni modo, non incide minimamente sul discorso che si va facendo.

FILE: GIO3F3.91

Scheda per la fase 3

ESPERIMENTO 5

"Campione di tempo e suoi sottomultipli"

Tempo a disposizione

- 30 minuti

Orologio campione

Poiché ogni strumento misura un tempo proprio, si presenta il problema di trovare un accordo tra i diversi orologi, tarandoli in base ad una unità campione. Per la scelta del campione occorre esaminare da vicino le caratteristiche dei vari orologi usati.

Il pendolo consente di fissare il valore del periodo attraverso una regolazione della lunghezza, che può essere variata con continuità in un intervallo piuttosto ampio; il periodo ha una buona riproducibilità, a patto di fare compiere al pendolo oscillazioni di piccola ampiezza. La massima durata che si può misurare con una certa affidabilità è senz'altro maggiore degli intervalli di tempo del tipo di quelli proposti per l'esperimento.

Il sistema molla-massa assicura una buona riproducibilità del periodo, indipendentemente dall'ampiezza delle oscillazioni, ma comporta una scelta più problematica del suo valore, poiché esso dipende sia dalle caratteristiche della molla, sia da quelle della massa; tali caratteristiche, inoltre, variano di solito per quantità discrete. Anche per questo strumento la durata massima misurabile è certamente superiore a intervalli di tempo come quelli proposti.

L'apparecchio per fleboclisi, ogni volta che viene regolato, non garantisce la riproducibilità dell'intervallo di tempo che intercorre tra la caduta di una goccia e l'altra; inoltre, per una data regolazione, l'intervallo dipende un poco dal livello dell'acqua nel serbatoio. La durata massima misurabile è legata alla capacità del serbatoio, che di solito è più che sufficiente per effettuare misurazioni come quelle proposte.

Anche il riempimento del cilindro graduato, con acqua che scorre dal rubinetto, non assicura una buona riproducibilità per motivi di regolazione; inoltre, la sensibilità è legata alle caratteristiche del cilindro, per cui quando essa viene aumentata si riduce la durata dell'intervallo massimo che si può misurare. E' necessario trovare un giusto compromesso tra sensibilità e portata del cilindro graduato.

Il tubo a bolla d'aria consente di fissare l'unità di tempo in base ai tratti della scala in cui è suddivisa la lunghezza, e ciò permette di realizzare una partizione anche molto fine; la

riproducibilità è buona a condizione che il piano di appoggio sia orizzontale. La struttura di supporto del tubo assicura una pendenza costante.

Gli strumenti più sensibili sono il tubo a bolla d'aria e l'apparecchio per fleboclisi, ma i dispositivi oscillanti sono quelli che garantiscono meglio la scansione regolare del tempo, anche per durate abbastanza lunghe. In particolare, il pendolo è lo strumento che consente di riprodurre con maggiore facilità e sicurezza il periodo proprio, anche a distanza di giorni, settimane o mesi. Sceglieremo quindi un pendolo, di data lunghezza, come orologio di riferimento e il suo periodo come unità di tempo, che chiameremo tac.

Estensioni e approfondimenti (per gli allievi)

La taratura degli strumenti

Se, a questo punto, si mettono in funzione tutti gli strumenti e, scandendo il tempo con l'orologio campione, si registra, ad esempio ogni dieci tac, il tempo misurato da ciascuno degli altri dispositivi, si ottengono delle serie di dati che, riportati in grafico, forniscono le rette di taratura dei vari strumenti rispetto a quello preso come campione.

Ciò consente di convertire in tac la misura del tempo fatta con qualsiasi orologio, oppure di conoscere il tempo proprio misurato da un qualunque strumento quando si conosca il tempo misurato dall'orologio campione.

E' diventato possibile confrontare tra loro misure di tempo fatte con orologi diversi, scambiare informazioni sul tempo.

Problematiche aperte (per i docenti)

- a) La evoluzione degli strumenti di misura del tempo.
- b) L'unità di tempo nel sistema internazionale di unità.
- c) I segnali orari e la misura internazionale del tempo.
- d) Gli orologi atomici.
- e) Critica al confronto tra orologi:
 - se uno degli strumenti viene portato fuori dal laboratorio, è ancora lecito servirsi della retta di taratura? Fino a che punto?
 - Si possono confrontare orologi distanti fra loro? Fino a che punto?
 - Se un orologio si muove rispetto agli altri, è ancora lecito servirsi della retta di taratura? Fino a che punto?
 - Si possono confrontare orologi in moto fra loro? Fino a che punto?

Esperimento per determinare la frazione dell'unità campione

L'orologio campione che abbiamo scelto ci consente di misurare il tempo mediante il conteggio delle oscillazioni e di esprimerlo mediante multipli del suo periodo proprio. Ne deriva che una misura risulterà tanto più accurata quanto più piccolo sarà il periodo del pendolo rispetto all'intervallo di tempo da misurare. Al contrario, quando l'intervallo da misurare è dell'ordine del periodo, l'incertezza nella misura risulta molto grande. Inoltre, diventa

impossibile misurare intervalli più piccoli del campione.

Si potrebbe ricorrere ad un pendolo di periodo più breve, ma a un certo punto si incontrerebbero difficoltà nel contare le oscillazioni. Qui si preferisce adottare un procedimento diverso, che sfrutta il confronto tra l'orologio a pendolo e l'orologio a bolla d'aria.

A differenza del primo, che permette una misura del tempo solo per quantità discrete, espressa in multipli di una unità elementare che è il periodo, l'orologio a bolla permette una misura praticamente continua del tempo, limitata solamente dalla effettiva osservabilità degli spostamenti della bolla.

Si può allora tarare questo strumento in modo tale da costruire i sottomultipli del campione di tempo, così da poter misurare frazioni di tac.

Sul banco cattedra si pone un pendolo, di almeno un metro di lunghezza, e a ciascun tavolo di lavoro viene messo a disposizione un dispositivo a bolla.

Quando il pendolo è in movimento, ogni gruppo, conferendo al tubo di vetro una data inclinazione, segna sul bordo del tubo dei tratti a pennarello che indichino la posizione della bolla in corrispondenza di ogni oscillazione completa. Poi divide ogni intervallo in dieci parti uguali, corrispondenti ciascuna a un decimo di tac.

Una variante operativa più accurata consiste nel contrassegnare l'istante di partenza e quello di arrivo dopo cinque o dieci oscillazioni complete del pendolo. Ogni tac è allora rappresentato sul tubo da un quinto oppure da un decimo della distanza tra i due segni.

A questo punto lo strumento, tarato in sottomultipli dell'unità campione, è pronto per misurare brevi intervalli di tempo.

Estensioni e approfondimenti (per gli allievi)

- a) Come si possono misurare intervalli di tempo inferiori al decimo di tac?
- b) Fino a che punto ci si può spingere nella misurazione di brevi intervalli di tempo? Ha senso parlare di una durata inferiore al periodo del moto oscillatorio più rapido che si conosca?

Problematiche aperte (per i docenti)

- a) Che cosa significano: istante, velocità istantanea, accelerazione istantanea, ecc.?
- b) Non è possibile costruire orologi a moto oscillatorio con periodi molto grandi. Come si misurano, allora, lunghi intervalli di tempo?

FILE: GIO3F4.91

Scheda per la fase 4

ESPERIMENTO 6

"Studio di un moto"

Tempo a disposizione

- 45 minuti

Esperimento e analisi dei dati

Su uno dei tavoli, sollevato da una parte per realizzare un piano inclinato, viene appoggiato un barattolo che, quando viene lasciato libero, scende rotolando.

Si misurano lo spostamento del barattolo dal punto di partenza fino al termine del piano inclinato, usando una cordella metrica, e il tempo impiegato per la discesa, utilizzando gli orologi a bolla, uno per ogni gruppo.

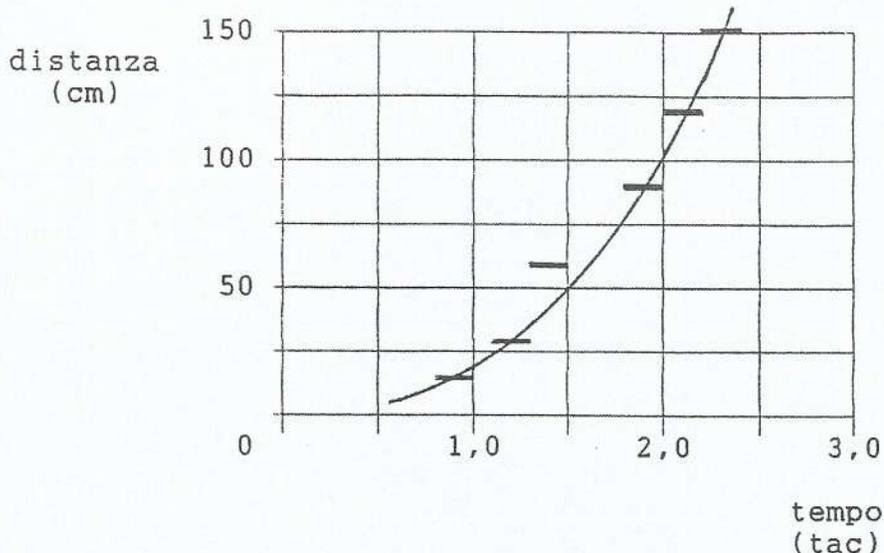
Si ripetono le misurazioni un certo numero di volte per spostamenti diversi del barattolo e si raccolgono i dati in una tabella come la seguente, nella quale sono state riportate, oltre alle misure di distanza, quelle di tempo effettuate con gli orologi a bolla; la media di queste ultime e la relativa semidisersione forniscono le misure dei tempi corrispondenti alle varie distanze percorse.

TABELLA 1

distanza (cm)	tempo (tac)		
	1	2	intervallo
151 ± 1	2,2	2,4	2,3 ± 0,1
120 ± 1	2,0	2,2	2,1 ± 0,1
90 ± 1	1,8	2,0	1,9 ± 0,1
60 ± 1	1,3	1,5	1,4 ± 0,1
30 ± 1	1,3	1,1	1,2 ± 0,1
15 ± 1	0,8	0,9	0,9 ± 0,1

Riportando le misure in un grafico si evidenzia come varia la distanza percorsa dal barattolo in funzione del tempo.

53



Osservazione

Il grafico può essere interpretato anche come il confronto tra gli spostamenti di due corpi contemporaneamente in moto: il barattolo lungo il piano inclinato e la bolla d'aria lungo il tubo pieno d'acqua.

Tale interpretazione corrisponde ad un fatto generale: se il tempo viene scandito da un indice in movimento, la legge oraria di qualsiasi oggetto non è altro che il confronto tra gli spostamenti dell'oggetto e dell'indice dell'orologio.

Particolarmente interessante si presenta allora lo studio del moto di un oggetto che possa essere utilizzato anche come orologio. E' il caso di un proiettile che venga lanciato orizzontalmente, di cui si studino separatamente il componente orizzontale e il componente verticale del moto. Ciò può essere realizzato lanciando più volte il proiettile con la stessa velocità iniziale e registrando gli spostamenti orizzontali corrispondenti a diverse altezze di caduta. Il tempo che il grave impiega a cadere viene ogni volta misurato, in unità arbitrarie, dallo spostamento orizzontale.

Assistenza alla sperimentazione del
Piano Nazionale Informatica
per insegnanti di fisica della Lombardia

FILE: GIO3F5.91

Scheda per la fase 5

CONCLUSIONE

"Misure di tempo"

Tempo a disposizione

- 30 minuti

Le caratteristiche di un orologio:
marcatempo, evidenziatore, eccitatore

Gli strumenti che abbiamo utilizzato nel primo esperimento sono alquanto diversi fra loro, ma tutti permettono di misurare intervalli di tempo, sia pure con un differente grado di accuratezza. Quali sono le caratteristiche comuni che li rendono degli orologi?

Innanzitutto, come è già stato detto, in tutti i dispositivi si riscontra la presenza di qualche cosa che si muove: l'oggetto sospeso, nel pendolo e nel sistema molla-massa; le gocce che cadono, nell'apparecchio per fleboclisi; il menisco che sale, nel cilindro graduato; la bolla che si sposta, nel tubo di vetro. Il moto può essere periodico o lineare, ma in ogni caso consente di scandire il tempo che passa, di marcare il tempo. Per questo motivo è chiamato marcatempo.

In secondo luogo, per registrare le durate è stato ogni volta necessario contare le oscillazioni o le gocce a partire da un determinato momento, oppure valutare degli spostamenti rispetto a una data posizione. Questo genere di operazioni, eseguite manualmente durante gli esperimenti, in un orologio normale vengono svolte automaticamente attraverso un meccanismo opportuno, meccanico od elettrico, che, ad esempio per mezzo di lancette, permette di sapere quante scansioni ha effettuato il marcatempo a partire da un certo istante iniziale. Tale dispositivo è chiamato evidenziatore.

Il terzo aspetto essenziale riguarda l'energia necessaria al funzionamento di un orologio. In tutti i dispositivi utilizzati si è presentata la necessità di fornire energia al sistema e la misurazione del tempo ha comportato una riduzione dell'energia utile.

Nei due sistemi oscillanti, a causa degli attriti l'ampiezza delle oscillazioni è andata diminuendo poco a poco fino ad annullarsi e l'energia fornita per la messa in moto ha finito per incrementare l'energia interna del sistema e dell'ambiente. Per mantenere in funzione l'orologio è dunque necessario rifornirlo di energia meccanica.

Nell'apparecchio per fleboclisi, l'acqua che, goccia a goccia, è passata dalla quota del serbatoio a quella del recipiente di raccolta

ha perso energia potenziale gravitazionale, a vantaggio dell'energia interna propria e dell'ambiente, fino al completo svuotamento del serbatoio. Per riutilizzare l'orologio è necessario rifornirlo dell'energia potenziale necessaria, riempiendo nuovamente il serbatoio.

Nel dispositivo con il cilindro graduato, l'acqua che scorre dalla quota del rubinetto a quella del menisco nel cilindro perde, sempre a vantaggio dell'energia interna propria e dell'ambiente, energia potenziale gravitazionale, ma in quantità sempre minori, fino a quando il cilindro è pieno. Per riutilizzare l'orologio è necessario ristabilire il dislivello iniziale vuotando il cilindro; così facendo viene dispersa l'energia potenziale che vi si era immagazzinata.

Nel tubo di vetro, la bolla d'aria sale perché un uguale volume d'acqua scende, perdendo energia potenziale gravitazionale, proprio come negli altri strumenti ad acqua; ciò accade fino a quando la bolla ha raggiunto l'estremità superiore del tubo. Per riutilizzare l'orologio è necessario rifornire all'acqua l'energia potenziale necessaria, inclinando il tubo nell'altro senso.

Negli esperimenti eseguiti in laboratorio l'energia necessaria al funzionamento degli strumenti è stata fornita manualmente, ma negli orologi normali l'operazione è eseguita automaticamente da un opportuno dispositivo, chiamato anche eccitatore. Esso agisce come un serbatoio dal quale fluisce al sistema l'energia necessaria per vincere gli attriti. Una volta esaurito esso dovrà essere ricaricato o sostituito.

Film didattici e riferimenti bibliografici

- 1) "Tempo e orologi", film del PSSC
- 2) "Lunghi intervalli di tempo", film del PSSC
- 3) E. Fabri, "Lezioni sul tempo", Sezione AIF di Pisa
- 4) V. Zanetti, "Le meridiane", Dipartimento di Fisica dell'Università di Trento
- 5) D. Landes, "Storia del tempo", A.Mondadori, Milano
- 6) G. Castelnuovo, "Spazio e tempo", Zanichelli, Bologna

Centro Diocesano dialogo Fede e Cultura

in collaborazione con

Associazione per l'Insegnamento della Fisica - A.I.F. e

Società Italiana di Scienze Matematiche e Fisiche - Mathesis

Sezioni di Mantova



Dov'era Dio al tempo del Big Bang?
scienza e teologia in dialogo

relatore prof. **Simone Morandini**

mercoledì 21 marzo 2012, ore 21.00

Chostro di San Barnaba, piazza Bazzani 1, Mantova

DOV'ERA DIO AL TEMPO DEL BIG BANG?

Il Centro Diocesano Fede e Cultura, in collaborazione con le sezioni mantovane dell'AIF (Associazione per l'Insegnamento della Fisica) e della Mathesis (Società Italiana di Scienze Matematiche e Fisiche), ha organizzato lo scorso 21 marzo a Mantova una conferenza - dibattito col prof. Simone Morandini, fisico e teologo, insegnante di matematica e fisica, docente di Teologia ecumenica all'istituto di Studi Ecumenici "S. Bernardino" di Venezia e di Teologia della creazione presso Facoltà teologica del Triveneto. È membro e/o coordinatore di vari gruppi di studio su questioni etiche e teologiche e autore di numerose pubblicazioni su questi temi. Il relatore è stato presentato dal parroco di San Barnaba, don Renato Pavesi, e dalla prof.ssa Federica Motta. L'intervento di Morandini si è articolato seguendo la seguente sintesi.

Se assumiamo il Big Bang come momento di inizio del mondo, ci possiamo chiedere dov'era Dio in quel momento. La risposta è che Dio non era da nessuna parte. Per l'ateo Dio semplicemente non è. Per il credente applicare a Dio categorie spaziali (dove) e temporali (prima) non ha senso: Dio non è 'da qualche parte'. La teologia cattolica pensa il tempo e lo spazio come entità create da Dio; il tempo è il tempo del mondo. Anche la cosmologia quantistica pensa che l'origine del tempo faccia parte intrinsecamente della struttura associata all'esserci del cosmo.

Il titolo di questa conferenza quindi è l'invito ad accostare due termini su piani palesemente diversi per ragionare di scienza e teologia. Spesso personaggi anche molto autorevoli, come gli astrofisici Stephen Hawking e Margherita Hack, invitano a scegliere in alternativa tra scienza e fede, propendendo per la scienza. Al contrario si trovano posizioni analoghe in letture fondamentaliste della Bibbia. Invece altre personalità, come il fisico Carlo Rubbia e il biologo Stephen Gould, considerano i due mondi – scienza e teologia – perfettamente compatibili. Altri ancora considerano fede e scienza pienamente consonanti, oltre che compatibili, come i fisici Nicola Cabibbo ed Edoardo Amaldi. Quindi osserviamo una varietà di posizioni sul rapporto tra scienza e fede.

Ma bisogna capire che senso abbia mettere assieme due discorsi così differenti. Alcuni testi di cosmologia mettono sullo stesso asse il racconto del Genesi, la fisica newtoniana e la fisica einsteiniana, facendo un grave errore. I racconti di Genesi possono essere letti come testi di cosmogonia mitica; ma il lettore di fede li vede come testi che rimandano ad un altro orizzonte, quello del senso. Quindi bisogna accettare come assunto la distinzione dei discorsi e l'importanza di un dialogo tra di essi. Spesso si sottolinea solo la diversità tra le due visioni. Ma questo è solo un punto di partenza: se diverso è l'approccio della scienza e della teologia, identico è l'oggetto materiale di indagine. La fisica parla della totalità di ciò che possiamo sperimentare, ma ciò è rilevante anche per la teologia, in quanto teologia della creazione, dello spazio abitabile dall'uomo. Una parte della teologia del '900 ha privilegiato la riflessione sull'uomo, sul suo tipo di esistenza. Ma negli ultimi 30 anni la teologia ha recuperato la collocazione dell'uomo all'interno della creazione. Su queste questioni a Padova stiamo facendo, da due anni a questa parte, un interessante lavoro interdisciplinare tra la Facoltà Teologica del Triveneto e il Dipartimento di Astronomia dell'Università sull'origine del cosmo e del suo sviluppo, rivolto agli insegnanti. Nella scuola c'è bisogno di riflettere su questi ambiti di intersezione.

Che relazione c'è tra la cosmologia e il discorso su Dio? Il termine 'cosmologia' negli ultimi decenni si è progressivamente spostato dalla filosofia alla fisica, soprattutto dopo la teoria della relatività di Einstein. Dalla relatività segue la necessità di un universo in espansione, confermato dalle osservazioni di Hubble e dalla scoperta della radiazione cosmica di fondo, residuo fossile del Big Bang. L'inizio dell'universo mantiene qualcosa di inaccessibile: per i primi istanti dopo il Big Bang possiamo fare solo un'extrapolazione sensata. Per ragionare sui primi istanti dell'universo non basta la teoria della relatività, occorre anche la meccanica quantistica. E la meccanica quantistica ha bisogno della teoria della probabilità: si studia la probabilità di trovare un certo evento. Ciò significa sottrarre l'evento alla categoria di causa. Il che comporta la caduta di un classico discorso apologetico, quello dell'*initium mundi*: come può aver avuto origine il mondo se non c'è stata una causa? Oggi con la cosmologia quantistica l'argomento diventa fragile. Quando emerse l'idea del Big Bang, il papa Pio XII la interpretò come una dimostrazione dell'esistenza di Dio. Ma poi l'argomento non fu più ripreso per la debolezza dell'argomentazione. Ma un universo senza causa crea problemi per il credente? No, perché il discorso di fede non regge per il fatto qualcuno 'prova' l'esistenza di Dio: l'esperienza di fede coglie l'esistenza di Dio per altra via. Un'obiezione potrebbe venire dai racconti biblici, che però sono testi sapienziali, che mirano

a esprimere il senso, la bontà della creazione, come affermato anche dalla *Dei Verbum*. Un mondo a-causale sembra orientarci a staccare Dio dal regno della necessità, dall'essere logicamente necessario. Ciò che non è logicamente necessario non è superfluo; ma evoca l'idea del gratuito, evoca l'immagine di un Dio che crea un reale così ben fatto, che è donato in modo così liberale, che non costringe nemmeno al riconoscimento del donatore. Questa è un'interpretazione teologica dei dati offerti dalla scienza. Bisogna allora saper cogliere il livello della riflessione scientifica, ma occorre anche riconoscere che c'è posto per un passo ulteriore, capace di capire il senso. In ambito biologico c'è un filone di pensiero (*intelligence design*), sviluppato soprattutto negli USA, che ritiene non sufficienti le leggi del darwinismo per spiegare l'evoluzione; secondo costoro occorre un'altra spiegazione, cioè ammettere l'esistenza di Dio. È quello che Dietrich Bonhoeffer chiamava il 'dio tappabuchi', che colma le nostre lacune: in altre parole, se non capiamo qualcosa, allora vuol dire che Dio esiste. Ma anche questo è un ragionamento fragile.

Cosmologi e biologi riconoscono che le loro teorie evolutive non sono pienamente esaurienti, anche se danno ragione di molte situazioni del reale. Tuttavia ritengono che ciò non comporti necessariamente l'esistenza di Dio: la scienza non può fare il predellino della teologia. Ma rinunciare a inserire a forza l'esistenza di Dio nella scienza, affermare che Dio non è necessario al discorso scientifico, non significa rinunciare a confessare Dio come il creatore. Noi possiamo credere seriamente a Dio solo se consideriamo Dio all'origine di ogni cosa. Le fede muove da eventi specifici: l'esodo del popolo ebreo, la risurrezione di Gesù Cristo... Se Dio non fosse così grande non sarebbe Dio.

Bisogna tener presente il tema biblico del nascondimento di Dio. Dio si manifesta in modo 'opaco': il profeta Isaia confessa un Dio salvatore, che si manifesta in modo nascosto: il Dio cristiano trova il massimo del nascondimento nella croce di Gesù. Un Dio che, attraverso le dinamiche che la scienza cerca di mettere in luce, realizza la sua opera creatrice, per la quale può servirsi delle dinamiche causali come della visione indeterministica. Dio era nascosto al momento del Big Bang, rispetto allo sguardo della scienza.

Lo scienziato, che ha costruito una rete di rapporti in parte causali in parte indeterministici per capire il cosmo, può dire al teologo di non aver bisogno di Dio. Ma il teologo può rispondere che la descrizione scientifica del cosmo è solo *potenzialmente* adeguata a comprendere ogni ambito del reale. Oggi, per descrivere il comportamento dell'universo, occorre postulare l'esistenza della materia oscura e dell'energia oscura, che compongono insieme il 97% della totalità dell'universo. Le teorie scientifiche non hanno carattere definitivo, come apparso recentemente nell'esperimento sui neutrini al CERN di Ginevra. Il teorema di Chaitin (formulato nel 1974) afferma che non è possibile dimostrare se una data successione di numeri è casuale o meno. E anche quando si trova un livello di ordine in una successione di numeri, non si può escludere che ne esista un altro più semplice e più efficace. Segue da questo teorema che, anche per serie di dati molto complessi come in cosmologia o in biologia, l'aver trovato un livello di descrizione efficace del reale non esclude che se ne possa trovare uno più potente o più semplice. Quindi si può parlare della scienza a più livelli di interpretazione e resta ancora aperto lo spazio per altri livelli e, in particolare, per parlare di Dio. Quindi anche in quest'epoca, in questo reale così bene descritto dalla scienza, il credente può continuare con convinzione a confessare questo agire di Dio, che cerca la vita, il rapporto con gli esseri umani; un Dio che conduce la nostra storia evolutiva e le nostre storie personali.

Luigi Togliani