

## ESPERIMENTI ALLA MOSTRA STORICA DEL MONTANI

### La misura della velocità della luce

di Alessandro Catà

In occasione del 150° della sua fondazione, l'ITIS "G. e M. Montani" di Fermo presenta un esperimento di grande valore storico e scientifico che ripropone, nei tratti essenziali, la celebre esperienza con cui Léon Foucault, intorno alla metà del XIX secolo, misurò la velocità della luce.

L'importanza dell'esperienza di Foucault è aver dimostrato la validità della *teoria ondulatoria della luce* (teoria di Huygens-Fresnel), e aver reso possibile il riconoscimento, per opera di Maxwell, della *natura elettromagnetica* dell'ente luminoso.

L'esperimento, in mostra dal 6 aprile, utilizza apparecchiature in dotazione al Montani e si sviluppa lungo un percorso di 12,1 m in ambiente oscurato.

Il fascio di una sorgente laser, in seguito all'interazione con un sistema ottico, forma un'immagine che, su una scala di lettura, subisce uno spostamento a causa della rapida rotazione di uno specchio girevole. Dall'entità dello spostamento si può calcolare il valore della velocità della luce.

La sintesi dell'esperimento e della misura è presentata in un video, in scritti e fotografie che illustrano l'esperienza e delineano il percorso storico-scientifico della misura della velocità della luce.

Il Dirigente scolastico, prof.ssa Silvia Fazzini, invitandomi a un intervento per le celebrazioni del Montani, ha reso più intensa un'idea che avevo in mente da tempo e che ho tradotto nella presente installazione.

Alla realizzazione del lavoro hanno contribuito persone che desidero ringraziare.

Il tecnico Federico Balilli ha condiviso con me, prima della riuscita dell'esperimento, lunghi e scoraggianti



Misura della velocità della luce (particolare)

pomeriggi che si sono conclusi con l'esito negativo della prova. A lui si devono, oltre al contributo sperimentale, le riprese fotografiche. Le foto, ingrandite e analizzate al computer, hanno reso possibile la misura, trasformando in dato quantitativo ciò che altrimenti sarebbe rimasto semplice esperienza dimostrativa.

Le ricerche storiche, effettuate presso la biblioteca del Montani, su pubblicazioni riguardanti la misura della velo-

cià luce, sono del prof. Fabio Panfili; esse hanno confermato una notevole difformità, in letteratura, circa le date degli esperimenti, questioni di priorità, attribuzioni di valori della velocità della luce riferiti a una medesima prova. Voglio ricordare la disponibilità dei tecnici Orlando Santoni e Angelo Sgammini, del prof. Cesare Di Furia, dell'allievo della IV C informatica Luca Belluccini. Il disegno dell'apparato sperimentale si deve al prof. Edo Alessandrini. È stato un piacere lavorare con queste persone.

Gli scritti che seguono delineano il percorso storico-scientifico della misura della velocità della luce e offrono una sintesi del metodo, della disposizione strumentale e del risultato dell'esperimento realizzato al Montani.

Mi riprometto, con un articolo di prossima pubblicazione, di soffermarmi sui dettagli sperimentali e teorici dell'esperienza, in special modo su quelli che riguardano la formazione dell'immagine sulla scala di lettura, che, per quanto conosco, non sono descritti in letteratura.

### La misura della velocità della luce

Le prime misure della velocità della luce risalgono al XVII secolo e sono la conseguenza di osservazioni astronomiche riguardanti le Lune di Giove. Fra il 1670 e il 1680, Ole Römer notò che il tempo tra due eclissi successive di Io, il primo dei satelliti galileiani di Giove, subiva delle variazioni che dipendevano dal momento dell'anno in cui erano effettuate le osservazioni. Egli interpretò tali apparenti irregolarità come conseguenza della non istantanea propagazione della luce, la quale porge, a un osservatore terrestre, una durata maggiore o minore del moto orbitale del satellite, a seconda che la Terra si stia muovendo in allontanamento o in avvicinamento rispetto a Giove. In particolare, seguendo Römer, la somma dei ritardi delle eclissi misurati in sei mesi, a partire dal punto di maggiore vicinanza fino a quello di massima lontananza della Terra da Giove, è uguale al tempo che la luce impiega a percorrere il diametro maggiore dell'orbita terrestre.

Le misure dell'astronomo danese fornirono per  $c$  (velocità della luce nel vuoto) un valore enorme: 308 000 km/s; valore che, circa sessant'anni dopo, sarà sostanzialmente riconfermato dalla misura che James Bradley effettuò in seguito alle osservazioni sull'aberrazione stellare, fenomeno astronomico da lui stesso scoperto.

Si deve a Hippolyte L. Fizeau (1849) la prima misura della velocità della luce realizzata con esperienze terrestri. Il procedimento, basato su un metodo descritto da

Galilei nel 1638, consiste essenzialmente nel misurare il tempo che un raggio luminoso impiega a percorrere nei due sensi una distanza nota. L'esperimento del fisico francese (*metodo della ruota dentata*) fu eseguito su un percorso di 8630 m; esso fornì per la velocità della luce il valore di 313 300 km/s.

Quasi contemporanea alla misura di Fizeau è l'esperienza basata sul *metodo dello specchio rotante*, con la quale Léon Foucault dimostrò (1850) che la luce si propaga più velocemente nell'aria che nell'acqua, dirimendo la secolare controversia che contrapponeva la teoria corpuscolare alla teoria ondulatoria della luce. Il risultato di Foucault depose a favore di quest'ultima, che prevede per la propagazione luminosa (al contrario della teoria corpuscolare) velocità inversamente proporzionali all'indice di rifrazione dei mezzi trasparenti attraversati.

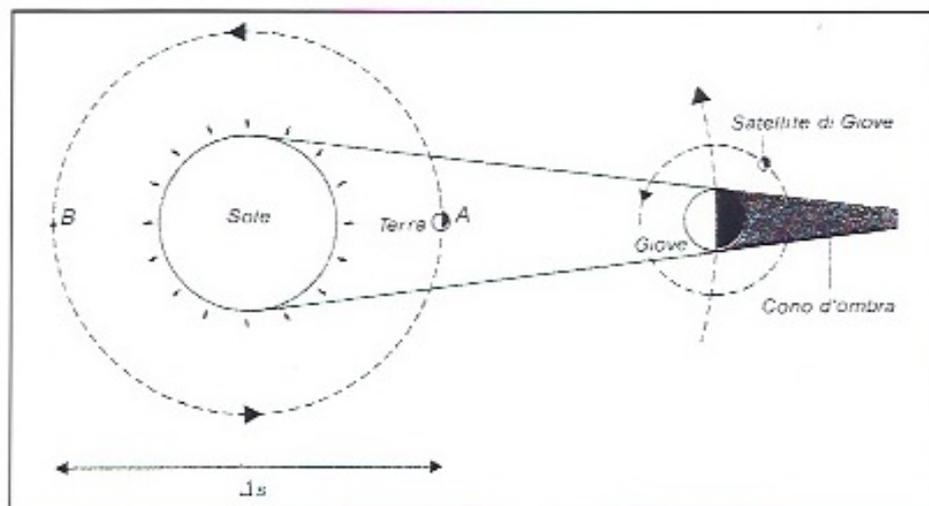
Successivamente, in una serie di esperienze sempre più perfezionate con lo specchio rotante, Foucault misurò la velocità della luce in aria, pervenendo (1862) al valore di 298 000 km/s, con una approssimazione di soli 500 km/s.

Il metodo di Foucault (che si fonda sullo stesso principio di quello di Fizeau) fu utilizzato in seguito da vari ricercatori, tra i quali risalta il nome di Albert A. Michelson, fisico americano di origine prussiana che per tutta la vita si dedicò a misure riguardanti la velocità della luce.

Durante gli anni venti del secolo scorso, Michelson eseguì con lo specchio rotante esperimenti su grandi distanze (35 km tra il Monte Wilson e il Monte Sant'Antonio, in California), e un'esperienza, altrettanto spettacolare, che si svolgeva all'interno di un lungo tubo (1600 m), in cui era stato fatto il vuoto e dove veniva collocato il dispositivo dello specchio rotante. La misura fu completata nel 1932 dai suoi collaboratori, un anno dopo la sua morte. I risultati ottenuti per  $c$  da Michelson furono: 299 796 km/s (Monte Wilson) e 299 774 km/s (Michelson e collaboratori).

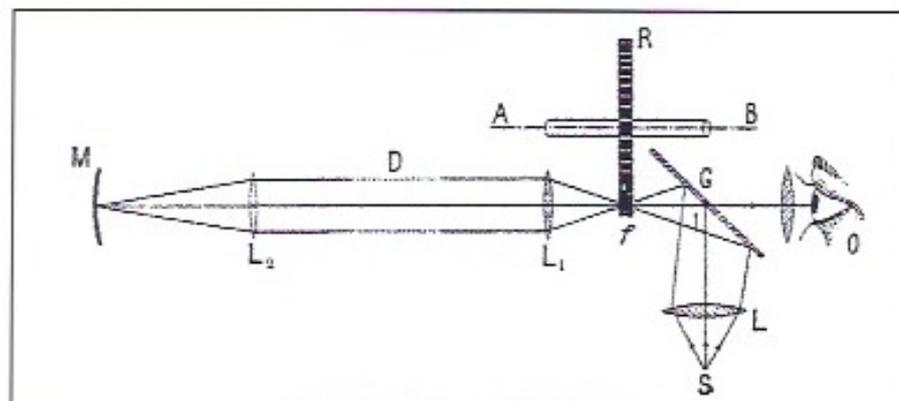
Le moderne tecniche di misura di  $c$  si basano su principi completamente diversi, che utilizzano le caratteristiche ondulatorie della luce. Tali metodi hanno permesso di ottenere per la velocità della luce il valore di 299 792 458 m/s, con una incertezza di solo 1 m/s.

In seguito a tale elevatissima precisione, si è pervenuti (Sistema internazionale, 1983) a una nuova definizione dell'unità di lunghezza. In essa, posto *per definizione*  $c = 299 792 458$  m/s, il metro è la distanza che la luce percorre nel vuoto in un intervallo di tempo pari a  $1/299 792 458$  s.



Metodo astronomico di Römer.

Metodo di Fizeau della ruota dentata.



### Misura della velocità della luce con il metodo dello specchio rotante di Foucault

La presente misura della velocità della luce si basa su un'esperienza realizzata nel 1850 dal fisico francese Léon Foucault. Il metodo, detto dello *specchio rotante*, consiste essenzialmente nella misura del tempo che la luce impiega a percorrere nei due sensi una distanza nota. Il tempo è conoscibile per mezzo dello spostamento che il raggio luminoso subisce, dopo la riflessione, in conseguenza del moto dello specchio rotante.

Il procedimento di misura può essere sintetizzato in questo modo: il fascio di una sorgente laser, dopo aver inciso su uno specchio girevole posto a una distanza di 12,1m, viene da questo riflesso e deviato verso uno specchio fisso situato in prossimità del laser. Lo specchio fisso riflette a sua volta il fascio luminoso, il quale ritorna

sullo specchio rotante dopo aver seguito lo stesso percorso. Qui la luce subisce una nuova riflessione che la rinvia verso l'apertura del laser, lungo un percorso in cui è posto un deviatore di fascio, che convoglia parte della luce riflessa su una scala di lettura.

Una lente convergente, di distanza focale uguale a 5m, focalizza l'immagine della sorgente sullo specchio fisso, che la riflette, a sua volta, sulla scala di lettura. Il fascio principale, che si trova tra la lente e lo specchio fisso, è parallelo all'asse ottico della lente, in quanto lo specchio rotante si trova in corrispondenza del fuoco della lente.

Quando lo specchio girevole è fermo, l'immagine della sorgente viene a formarsi in una data posizione sulla scala di lettura; posizione che risulta indipendente dall'orientamento dello specchio, purché questo rifletta il fascio all'interno dell'angolo utile della lente.

Se lo specchio è posto in rapida rotazione, l'immagine si sposta sulla scala; l'entità dello spostamento dipende dalla geometria del sistema, dalla lunghezza focale della lente, dalla frequenza di rotazione dello specchio, dal tempo (inizialmente incognito) che la luce impiega per completare il percorso di andata e ritorno tra lo specchio girevole e lo specchio fisso.

Il disegno mostra le distanze tra gli apparecchi durante la prova. Il periodo di rotazione è conoscibile dalla lettura effettuata con un oscilloscopio, che visualizza il segnale inviategli da un fotodiodo.

Per determinare la velocità ( $c$ ) della luce, è sufficiente misurare lo spostamento che l'immagine subisce in conseguenza della rotazione dello specchio.

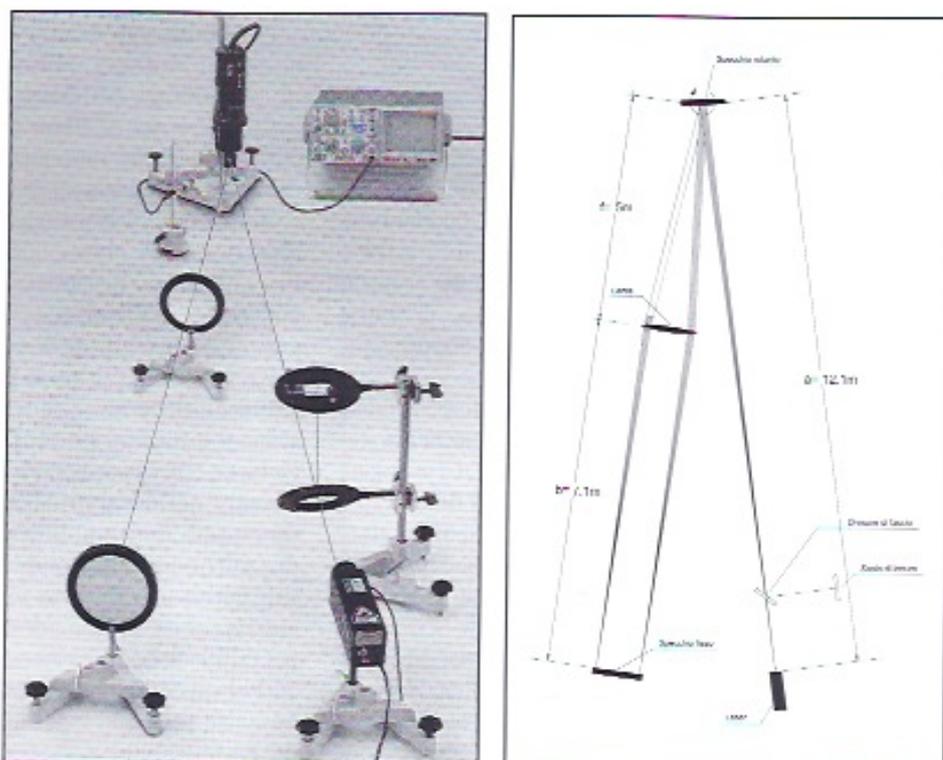
Con la disposizione adottata risulta:  $c = 8\pi a^2 v / \Delta x$ . Formula in cui  $a$  è la distanza specchio rotante-specchio fisso;  $v$  la frequenza di rotazione e  $\Delta x$  lo spostamento dell'immagine sulla scala di lettura.

La misura, da me eseguita il 3 marzo 2004 al Montani di Fermo, con la collaborazione del tecnico Federico Balilli, ha dato per  $c$  il valore di 297 742 km/s, con un'approssimazione del 2%.

In notazione scientifica:  $c = (2,98 \pm 0,06) 10^8$  m/s.

#### Bibliografia

P. Drude, M. Boll, *Précis d'optique*, tome I, Gauthier-Villars, 1911; G. Gianfranceschi, *Appunti di fisica elementare*, Pontificia Università Gregoriana, 1927.; G. Castelfranchi, *Trattato di fisica*, Hoepli, 1941.; E. Perucca, *Fisica generale e sperimentale*, vol. II, UTET, 1949.; A. Battelli, P. Cardani, *Trattato di fisica sperimentale*, vol. II, Vallardi, 1913; J. H. Rush, *La velocità della luce*, in *Fisica e cosmo*, Zanichelli, 1969; PPC, *Progetto fisica*, , vol. B. Zanichelli, 1986; P. Caldinola, G. Casati, F. Tealdi, *Fisica*, vol. I, Ghisetti e Corvi, 1987.



Disposizione degli strumenti nell'esperienza di misura.

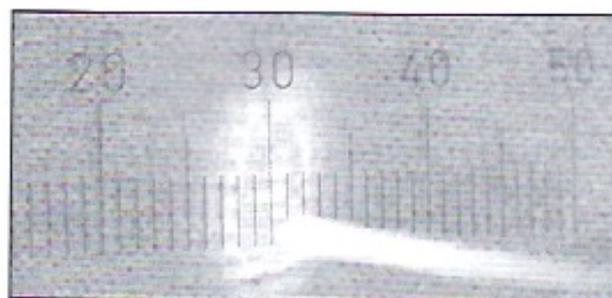
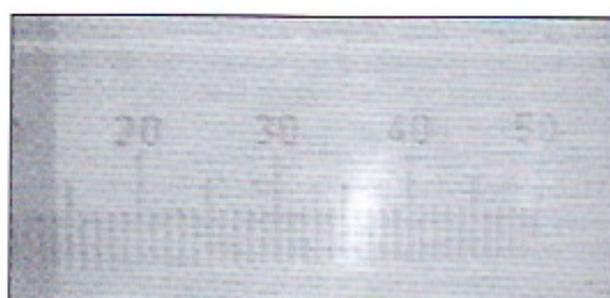


Immagine del laser sulla scala di lettura con lo specchio rotante fermo.



Spostamento dell'immagine in conseguenza della rotazione dello specchio.