

L'attività didattica della fisica.
Università e scuola secondaria
al Polo Scientifico dell'Università di Firenze

A. Cartacci - C.M.C. Gambi – S. Straulino

Da circa tre anni al Polo Scientifico dell'Università di Firenze è nato il progetto OpenLab a seguito della proposta iniziale del prof. Paolo Blasi con l'obiettivo di creare una struttura formativa permanente che promuova attività indirizzate alla divulgazione e diffusione della cultura scientifica.

In particolare lo scopo è di:

- 1) agevolare le attività di aggiornamento per i docenti in servizio nelle scuole secondarie, con la disponibilità di un laboratorio didattico in cui potersi esercitare;
- 2) fornire un laboratorio permanente per studenti di scuole di ogni ordine e grado;
- 3) favorire un orientamento universitario consapevole aumentando l'interesse e la curiosità verso la Scienza;
- 4) dare l'opportunità di ampliare e approfondire le proprie conoscenze in ambito scientifico a chiunque voglia farlo.

La partecipazione a OpenLab del Dipartimento di Fisica è nata come estensione dell'attività per la SSIS, già presente da diversi anni, per rispondere alle esigenze della formazione in servizio degli insegnanti dell'indirizzo FIM. Si è poi rapidamente ampliata in una azione di divulgazione della Fisica, tesa a coinvolgere gli studenti delle scuole e il pubblico in generale.

Con questo scopo è stata promossa la realizzazione di un laboratorio didattico con esperimenti che illustrano i principi fondamentali della Fisica. Il laboratorio è attualmente ospitato nel laboratorio SSIS del Dipartimento di Fisica, ma è prevista la realizzazione di un edificio apposito (chiamato esploratorio) all'interno del Polo Scientifico. Le esperienze sono diversificate per complessità e modo di presentazione, così da adattarsi ai diversi interessi e alla diversa preparazione dei visitatori.

Per quanto riguarda l'attività di aggiornamento dei docenti, è stato attivato negli ultimi tre anni il "Corso di Familiarizzazione col Laboratorio di Fisica" dedicato a insegnanti già inseriti nella scuola; il corso consiste in alcune lezioni introduttive alle esperienze di laboratorio e nella frequenza del laboratorio da parte degli insegnanti. In laboratorio gli insegnanti sono seguiti in modo da poter mettere a punto, essi stessi, la strumentazione per realizzare le misure, elaborare i dati e valutare gli errori di misura. Dopo aver frequentato il corso la strumentazione utilizzata viene messa a disposizione degli insegnanti in orari concordati, in modo da costituire per loro un luogo di esercitazione permanente e di scelta della soluzione più appropriata per il loro programma didattico. Gli insegnanti possono inoltre condurre gli allievi nel Laboratorio del Dipartimento di Fisica, come sta già avvenendo, per realizzare con loro le esperienze di laboratorio, completando poi in classe il lavoro con l'analisi-dati delle esperienze e i commenti finali. Gli esperimenti messi a disposizione, che sono stati perfezionati e aumentati di numero negli anni, sono in parte quelli utilizzati per il

corso di Laboratorio del secondo anno della SSIS indirizzo FIM. In questo ultimo anno 2004-2005 hanno riguardato in particolare: misure della velocità della luce (all'1% di precisione); misure di variazione dell'indice di rifrazione dell'aria usando un metodo interferometrico (con precisione fino alla quinta cifra decimale) al variare della pressione; misure di diffrazione da fenditura o reticolo con laser di diverse lunghezze d'onda (misura della larghezza della fenditura e del passo del reticolo all'1%); misure di battimenti acustici utilizzando due diapason e un sistema di acquisizione per visualizzare e misurare il fenomeno con l'aiuto di un calcolatore; misure dell'equivalente meccanico della caloria (fino al 5% di precisione); misure sul comportamento di circuiti con resistenza, capacità e induttanza alimentati con tensione alternata o con tensioni a gradino; misure su un ciclo termodinamico utilizzando una macchina di Stirling con visualizzazione su computer del diagramma pressione-volume; misure di densità di un liquido con bilancia di Mohr (con precisione 0.1 %). I risultati ottenuti nei tre corsi svolti sono incoraggianti: hanno rivelato una grande disponibilità dei frequentanti al lavoro di laboratorio e hanno fatto capire l'importanza degli esperimenti nella comprensione della Fisica.

Particolarmente rilevante è stato poi il programma svolto con gli studenti delle scuole (punto 2). All'inizio dell'anno scolastico gli insegnanti delle scuole elementari, medie inferiori e superiori vengono invitati a prenotarsi per attività di laboratorio da svolgersi presso il Dipartimento di Fisica, sulla base di un elenco di nostre proposte fatte loro pervenire attraverso le direzioni scolastiche. L'insegnante sceglie l'argomento o gli argomenti che è ragionevole inserire nel percorso didattico previsto per la classe e concorda con i docenti e gli operatori di OpenLab il livello della presentazione. Quando è possibile l'insegnante introduce l'argomento in classe prima dell'incontro concordato in modo da inserirlo nel programma. Se questo non può essere fatto, sarà un operatore dell'OpenLab a introdurre l'argomento presso la scuola stessa, illustrando le leggi della Fisica e le verifiche sperimentali che possono essere realizzate in laboratorio e che saranno eseguite al Dipartimento di Fisica.

Sono stati per questo scopo predisposti esperimenti di vario tipo e difficoltà riguardanti gli aspetti fondamentali della Fisica: le forze e il movimento, il suono, il comportamento di liquidi e gas, gli scambi di calore, l'elettricità e il magnetismo, l'ottica geometrica e ondulatoria, la Fisica atomica.

Gli esperimenti vengono adattati al livello scolastico degli allievi: ai più piccoli vengono presentati in modo da suscitare in loro l'interesse e la curiosità verso le discipline scientifiche, mentre per gli studenti delle scuole superiori sono proposti in modo più rigoroso, con misura delle grandezze in gioco e valutazione degli errori. Gli allievi vengono divisi in gruppi; ogni gruppo si dispone intorno al tavolo dove inizialmente l'operatore esegue l'esperimento che spesso può essere ripetuto dagli allievi; ovviamente allievi e insegnanti partecipano attivamente anche con domande, discussioni e scambi di idee con gli operatori di OpenLab.

Il percorso didattico, iniziato in classe con l'introduzione dell'argomento, si conclude in classe dove l'insegnante discute con gli allievi gli esperimenti fatti e spesso richiede una relazione scritta per favorire il consolidamento dei concetti acquisiti. Questi elaborati aiutano a capire cosa è stato acquisito correttamente aiutandoci a organizzare il lavoro futuro.

Riportiamo qui di seguito una breve descrizione di alcuni esperimenti, di diverso livello di difficoltà, che sono stati seguiti con particolare interesse.

- a) *Le forze e il moto.* Gli esperimenti sulle forze iniziano con lo studio della forza di gravità. Viene mostrato come la caduta dei corpi sia influenzata dall'esistenza dell'aria che frena gli oggetti in caduta in modo diverso a seconda della loro forma e densità. Facendo il vuoto con una pompa a membrana in un tubo del diametro di circa 10 centimetri e lungo almeno un metro, si mostra che, mentre la pressione nel tubo diviene sempre più bassa fino ad arrivare al massimo delle possibilità della pompa (qualche mm di mercurio), le differenze fra i tempi di caduta di corpi molto diversi fra loro diventano sempre più piccole. Si può dedurre quindi che, nel limite di assenza di aria, una piuma o una pallina di piombo impiegano lo stesso tempo a cadere sul fondo del tubo partendo da ferme dal punto più alto. Si passa poi allo studio del moto di una pallina su un piano inclinato con misure dei tempi di caduta, facendola partire da altezze diverse sul piano e cercando di mettere in relazione l'altezza di partenza della pallina con il tempo di caduta. Quindi viene mostrato il moto di un proiettile lanciato da un cannoncino con inclinazione variabile, fotografandone la traiettoria (parabolica) per mezzo di una videocamera (fig. 1). Si possono così studiare gli effetti della forza di gravità per differenti condizioni iniziali. Un esperimento interessante e divertente per verificare le leggi del moto si può realizzare studiando gli urti su un piano "privo di attrito". Questo ultimo viene realizzato con un piano orizzontale sul quale sono praticati dei piccoli fori a distanza di qualche centimetro l'uno dall'altro; con un compressore si spinge l'aria in una camera posta al di sotto del piano cosicché questa sia costretta a uscire dai fori sovrastanti. Alcuni oggetti, a forma di disco di altezza di circa un centimetro e del diametro di 4-7 centimetri, si possono così muovere su un "cuscino d'aria" con attrito trascurabile rispetto all'entità delle forze che governano il moto (fig 2, a sinistra). In queste condizioni si possono fare osservazioni qualitative e quantitative sulle leggi dell'urto, e in particolare si può verificare la conservazione della quantità di moto, cioè del prodotto della massa per la velocità di ciascun corpo coinvolto (fig 2, a destra).
- b) *Il suono e la sua propagazione.* L'uso di un tubo di forassite (oggetto di basso costo e flessibile, usato per incanalare i fili elettrici nei muri delle abitazioni) consente di "toccare" le vibrazioni prodotte con la voce. Basta emettere un suono, vicino a una estremità del tubo, e chiudere con la mano l'altra estremità. Il tubo indirizza le onde sonore che si propagano attraverso compressione e rarefazione dell'aria. Questa esperienza "tattile", che ognuno può fare anche a casa, è un gioco divertente soprattutto per i più piccoli. Una volta illustrato questo aspetto della propagazione del suono, l'esperimento continua collocando una sveglia che suona in un contenitore, dal quale viene tolta l'aria con la pompa a membrana. Il suono si attenua fino a scomparire completamente. È facile dedurre che senza un mezzo materiale (nel caso specifico l'aria) il suono non si trasmette. Per capire le differenze fra suoni diversi, un microfono viene collegato a un oscilloscopio, che consente di visualizzare sullo schermo dello strumento il suono prodotto per esempio da un diapason, dalla voce o da strumenti musicali. Si osserveranno segnali diversi (fig. 3). Specialmente per i visitatori più piccoli diventa un gioco interessante produrre e vedere suoni differenti. Per i più grandi questo esperimento consente di introdurre il concetto fisico di onda e di imparare che un'onda è caratterizzata da ampiezza (altezza del segnale) e frequenza

(numero di oscillazioni al secondo) (fig.3, immagine a sinistra). Tutti i suoni si possono rappresentare come sovrapposizioni di onde elementari con ampiezza e frequenza diverse: così è anche per il suono visualizzato nella fig.3 a destra, in cui è riprodotta la voce umana mentre viene pronunciata la vocale *o*.

- c) *Liquidi e gas*. Con semplici oggetti si possono dimostrare diverse proprietà dei materiali liquidi e gassosi. Si pesano con una bilancia uguali volumi di liquidi diversi: per esempio olio, acqua e glicerina. Otteniamo masse diverse: l'olio ha massa minore dell'acqua, che a sua volta ha massa minore della glicerina. Volume e massa sono proprietà distinte. Possiamo così introdurre il concetto di densità, come rapporto fra massa e volume, e possiamo dire che la densità dell'olio è minore di quella dell'acqua ed entrambe sono più piccole di quella della glicerina. Se mettiamo in un bicchiere l'olio sopra l'acqua, i due liquidi non si mescolano; se mettiamo invece l'acqua sopra l'olio si mescolano fino a che l'acqua, più densa, va sul fondo. Siamo dunque pronti per fare esperimenti sul galleggiamento. Se una pallina di gomma scende dentro l'acqua ma resta ferma dentro la glicerina possiamo concludere che ha la stessa densità della glicerina. Possiamo anche verificare questo risultato determinando direttamente la densità della pallina; per questo occorrerà misurarne la massa con la bilancia e quindi ricavare il volume dalla misura del suo diametro; la densità si otterrà come rapporto tra massa e volume.

Un altro fenomeno di notevole importanza nello studio dei liquidi riguarda gli effetti di superficie. Se immergiamo un tubicino di vetro, del diametro interno dell'ordine del millimetro (capillare), dentro un bicchiere di acqua, l'acqua all'interno del tubicino sale a un livello più alto dell'acqua circostante nel bicchiere. Perché? Un telaio di filo di ferro viene immerso in una soluzione di acqua, sapone e glicerina: una sottile lamina liquida aderisce al contorno. Sul telaio è legato un filo di cotone che è annodato a formare un cappio all'estremità libera: se si rompe la lamina liquida nella parte racchiusa dal cappio, si osserva (fig. 4) che il filo di cotone si distende formando un cerchio (massima superficie a perimetro fissato, e, di conseguenza, minima superficie per la lamina rimanente). Per capire questi fenomeni e ricondurli a un'unica causa, occorre dire agli alunni che tutta la materia è fatta di atomi e molecole invisibili a occhio nudo e che, nel caso di liquidi e gas, atomi e molecole sono in continuo movimento: si scontrano a vicenda e si attirano anche fra loro. Nel liquido questa attrazione fra molecole è più intensa rispetto al gas perché le molecole sono più vicine fra loro. Quindi le molecole di acqua sulla superficie vengono attratte di più dalle altre molecole di acqua rispetto a quanto vengono attratte da quelle di aria; per questo motivo sulla superficie dell'acqua compare una forza, detta di tensione superficiale, che agisce su uno strato di spessore di una frazione di millimetro. Questa fa sì che la superficie libera di un liquido tenda a contrarsi. L'aggiunta di sapone e glicerina all'acqua serve per abbassare il valore della tensione superficiale realizzando così una pellicola liquida che può permanere a lungo senza rompersi. Anche la salita dell'acqua nel capillare è la manifestazione di forze di superficie che si esercitano sia alla superficie di contatto aria-liquido che alla superficie di contatto vetro-liquido: sono poi queste forze che compensano il peso della colonna d'acqua che risale nel capillare. L'estrema semplicità di questi esperimenti permette agli studenti di riprodurli per proprio conto impadronendosi, così, delle relazioni esistenti in

natura tra le varie grandezze fisiche coinvolte, e preparandosi a una comprensione fisica dei fenomeni osservati.

- d) *Osservazione di moti molecolari in una soluzione di latte diluito in acqua.* Un fascio laser viene inviato su una cella di vetro contenente il campione; una lente forma un'immagine ingrandita di una porzione del campione su uno schermo. Si osservano macchie luminose in movimento dovute alla diffrazione della luce da parte delle particelle contenute nel latte, la cui agitazione caotica è nota come moto browniano (fig. 5 e 6). Questo esperimento ci mette in contatto con il mondo microscopico; infatti le particelle di grasso e le proteine contenute nel latte sono tenute in movimento continuo dalle molecole di acqua dove sono in sospensione. Il moto delle molecole d'acqua però non è osservabile perché le loro dimensioni (0.3 millesimi di micron, che sono a loro volta millesimi di millimetro) sono troppo più piccole della lunghezza d'onda della luce, che è circa 0.5 micron. Le particelle di grasso e le proteine contenute nel latte, invece, hanno dimensioni dell'ordine del decimo di micron; sono quindi confrontabili con la lunghezza d'onda della luce e producono fenomeni visibili. Quello che si vede è perciò un'immagine, mediata nel tempo, del moto caotico delle molecole di acqua che urtano continuamente contro le grosse particelle contenute nel latte.
- e) *Osservazione della propagazione di raggi di luce attraverso riflessioni e rifrazioni.* Un dispositivo fornisce cinque fasci laser paralleli, che possono essere indirizzati su vari elementi ottici (lenti, specchi, prismi) per verificare agevolmente le leggi elementari dell'ottica geometrica attraverso la misura degli angoli di riflessione e rifrazione (fig. 7). Nel caso mostrato in figura l'effetto della lente divergente, per il fenomeno della rifrazione, è quello di far allontanare fra loro i fasci di luce paralleli, mentre gli specchi riflettono la luce, cioè la rimandano indietro con un angolo uguale a quello formato dalla luce incidente rispetto alla perpendicolare alla superficie dello specchio nel punto di incidenza.
- f) *Produzione e deviazione di un fascio di elettroni.* Un tubo a raggi catodici produce, per effetto termoionico, un fascio di elettroni che viene accelerato con un'alta differenza di potenziale (circa 5000 Volt). Un gas rarefatto, contenuto nell'ampolla, rende visibili gli elettroni in movimento, che, negli urti con gli atomi del gas, provocano l'eccitazione degli stessi con conseguente emissione di luce. Un magnete permanente avvicinato all'ampolla causa la deviazione del fascio elettronico, consentendo di mettere in evidenza l'interazione fra correnti elettriche e campi magnetici (fig. 6). L'apparato si presta anche a spiegare agli studenti il funzionamento del televisore di casa, le cui immagini vengono prodotte con un meccanismo del tutto analogo.

Gli esperimenti proposti sono scelti in modo da illustrare preferibilmente un solo concetto in modo semplice e una serie di vari esperimenti costituisce un percorso didattico per sviluppare i concetti di base su un dato argomento. Quando possibile, vengono usati materiali della vita quotidiana per incoraggiare gli insegnanti e gli stessi allievi a ripetere le esperienze in classe e anche a casa. Lo scopo principale è quello di aiutare i ragazzi a osservare il mondo naturale collegando causa ed effetto, cercando le leggi che governano il fenomeno attraverso la schematizzazione e

l'estrazione di grandezze fisiche fondamentali, dandone poi, ove possibile, una rappresentazione matematica; in altre parole questo percorso costituisce il modo di avvicinarsi agli esperimenti che sta alla base del metodo scientifico di indagine della Fisica.

Come nel caso dell'attività per gli insegnanti, anche questa iniziativa didattica rivolta alle scuole ha avuto un notevole successo; iniziata già nell'anno scolastico 2003-2004 ospitando una ventina di classi elementari, medie inferiori e superiori, nell'anno 2004-2005 ha coinvolto più di tremila studenti. Per la realizzazione di questa attività ci siamo avvalsi dell'aiuto di giovani neolaureati, dottorandi e assegnisti, data l'impossibilità di seguire un così grande numero di studenti solo sulla base del volontariato di docenti universitari. Ciò ha consentito a questi giovani di cimentarsi nell'insegnamento della Fisica a vari livelli scolastici, rappresentando un utile allenamento per un'attività che molti di loro svolgeranno in futuro. Va inoltre sottolineato che, attraverso la conoscenza dei laboratori scientifici e didattici del Dipartimento di Fisica, gli studenti delle scuole superiori usufruiscono di una opportunità di orientamento per la scelta universitaria (punto 3).

Quanto alla parte di attività OpenLab rivolta alla divulgazione scientifica (punto 4 dello schema iniziale), rivolta cioè a fornire al pubblico la possibilità di ampliare e approfondire le proprie conoscenze in ambito scientifico, sono state organizzate varie manifestazioni tra le quali ricordiamo la settimana di *Pianeta Galileo* nel novembre 2004 e le serate di *ScienzEstate* che si sono tenute nel Luglio 2004 e nel Giugno 2005, durante le quali il pubblico ha avuto libero accesso al Dipartimento di Fisica e ai suoi laboratori didattici e scientifici. In queste occasioni sono stati eseguiti esperimenti interagendo con i visitatori. Di fronte agli esperimenti anche le persone più timide sono spinte dalla curiosità a chiedere chiarimenti. Ciò è facilitato anche dal fatto che non c'è "cattedra" ma siamo tutti insieme intorno al tavolo dell'esperimento e i visitatori sono incoraggiati a partecipare sia ripetendo essi stessi gli esperimenti sia aiutando a fare le misure. In molti esperimenti infatti servono più persone per osservare l'andamento di più variabili insieme.

Nelle stesse giornate il Dipartimento di Astronomia ha organizzato conferenze e "serate al telescopio" con osservazioni del cielo all'aperto negli spazi del Polo Scientifico di Sesto Fiorentino riscuotendo sempre un grande successo di un pubblico attento e interessato che è intervenuto spesso con domande e osservazioni pertinenti.

Sono state infine organizzate, nei locali del Polo Scientifico Universitario, alcune mostre su vari aspetti della Fisica, aperte gratuitamente al pubblico. Anche in questo caso il gradimento da parte del pubblico è apparso molto alto ed è stato apprezzato lo stile semplice ed efficace di presentazione di strumenti ed esperimenti per la comprensione delle leggi fondamentali della Fisica.

Vogliamo concludere osservando che l'attività finora svolta ha avuto un riscontro positivo da parte di tutti quelli che sono stati coinvolti, studenti, insegnanti, pubblico in generale. È nostra intenzione continuare e ampliare il lavoro fatto finora, se le risorse future a nostra disposizione lo consentiranno.

Ringraziamenti.

Si ringrazia il Direttore del Dipartimento di Fisica prof. Marcello Colocci per l'interesse con cui ha seguito il progetto e per aver messo a disposizione di OpenLab fondi per l'acquisto di materiale e, soprattutto, spazi all'interno del Dipartimento, rendendo così possibile lo sviluppo di questa attività.

Ringraziamo inoltre il prof. Enrico Iacopini, Direttore della Sezione di Firenze dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, per l'incoraggiamento e il supporto economico all'iniziativa.

Si ringrazia il prof. Roberto Falciani per i preziosi consigli e gli ottimi suggerimenti durante tutte le fasi del progetto: dalla scelta degli argomenti, all'allestimento del laboratorio, al suo funzionamento e alla pubblicizzazione del lavoro fatto.

Un ringraziamento particolare alla dott.ssa Rosita Chiostrì dell'Ufficio di Coordinamento del Polo Scientifico per la passione e la competenza con cui si dedica all'organizzazione del progetto OpenLab.

Si ringraziano infine gli operatori di OpenLab che con entusiasmo e competenza si sono dedicati a questa opera di divulgazione della Fisica impegnandosi nel non facile lavoro di comunicazione con gli studenti delle scuole e di collaborazione con gli insegnanti.



Fig. 1 Immagine fotografica della traiettoria parabolica di un proiettile, ottenuta sovrapponendo fotogrammi successivi acquisiti a 1/25 di secondo l'uno dall'altro.

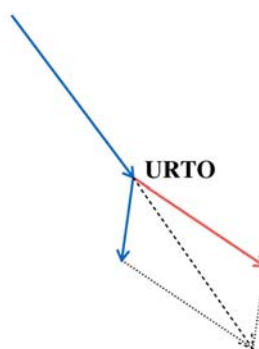
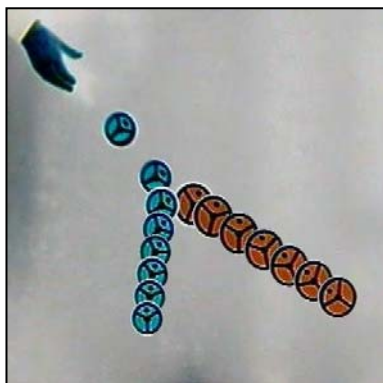


Fig. 2 Urto fra due dischi su un tavolo a cuscino d'aria, visualizzato sovrapponendo fotogrammi successivi (a sinistra) e (a destra) corrispondente verifica della conservazione della quantità di moto cioè del prodotto della massa per la velocità di ciascun corpo.

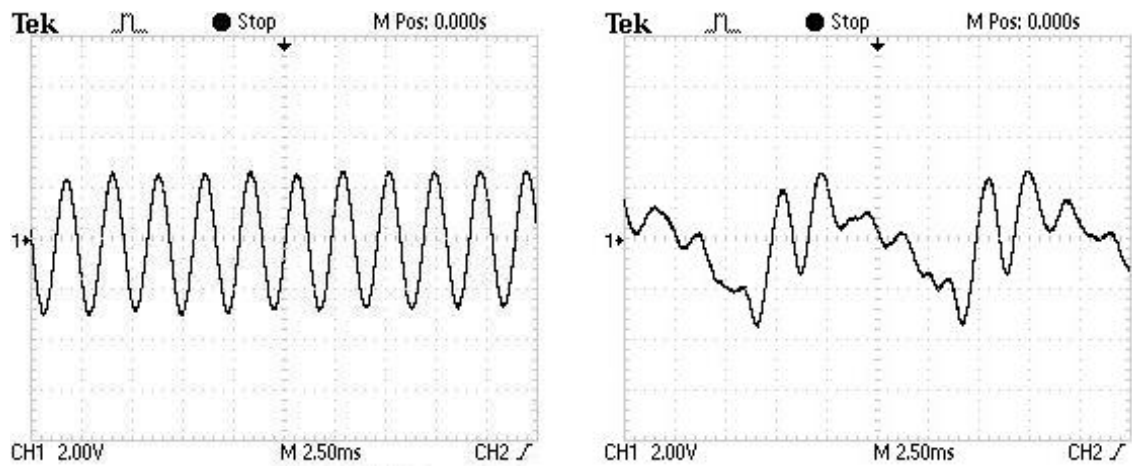


Fig. 3 Osservazione sull'oscilloscopio di un'onda sonora prodotta da un diapason (a sinistra) e dalla voce umana durante la pronuncia della vocale *o* (a destra). L'oscilloscopio visualizza l'intensità del suono in funzione del tempo.



Fig. 4 Telaio metallico, con un sottile filo di cotone legato al contorno, immerso in una soluzione di sapone e glicerina in acqua. È visibile la lamina liquida che si estende fra il telaio metallico esterno e il cerchio interno.

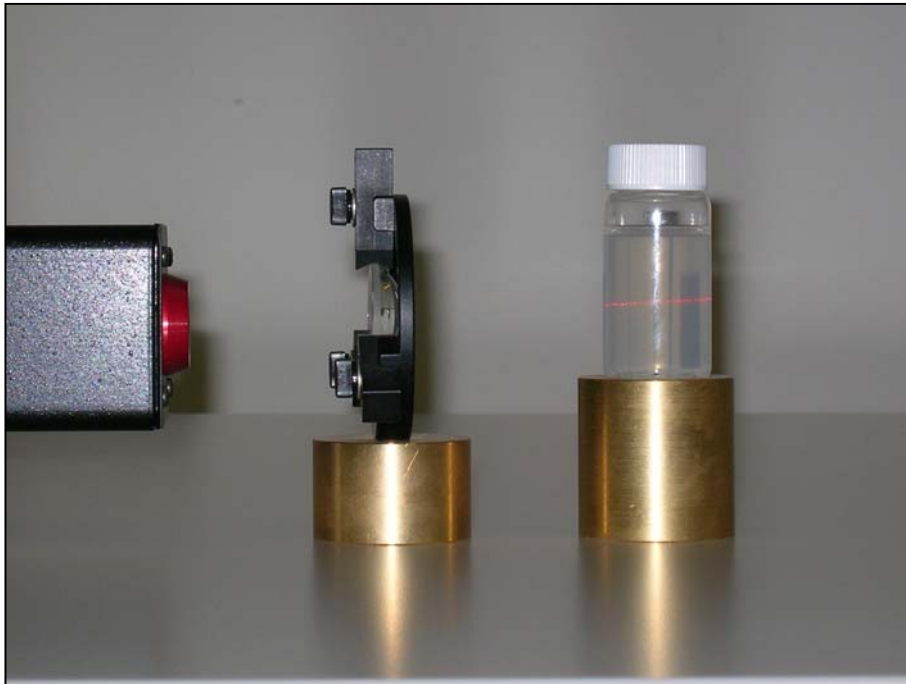


Fig. 5 Esperimento sul moto browniano. Da sinistra: il laser, la lente e la cella.

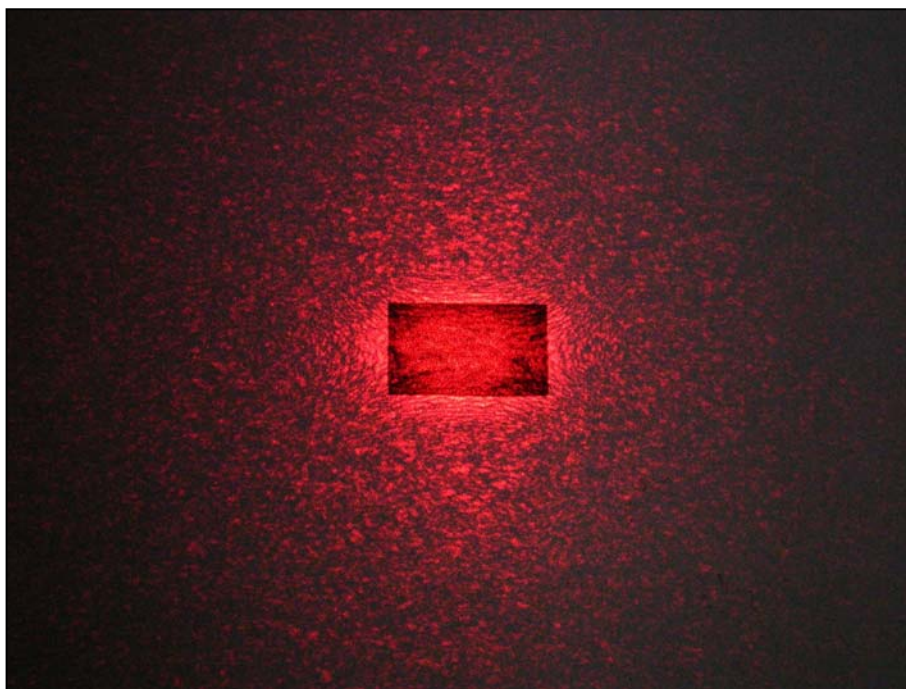


Fig. 6 Osservazione dei fenomeni di diffusione, da parte delle molecole del latte, della luce laser. Nella figura il fascio trasmesso è stato attenuato da un assorbitore.

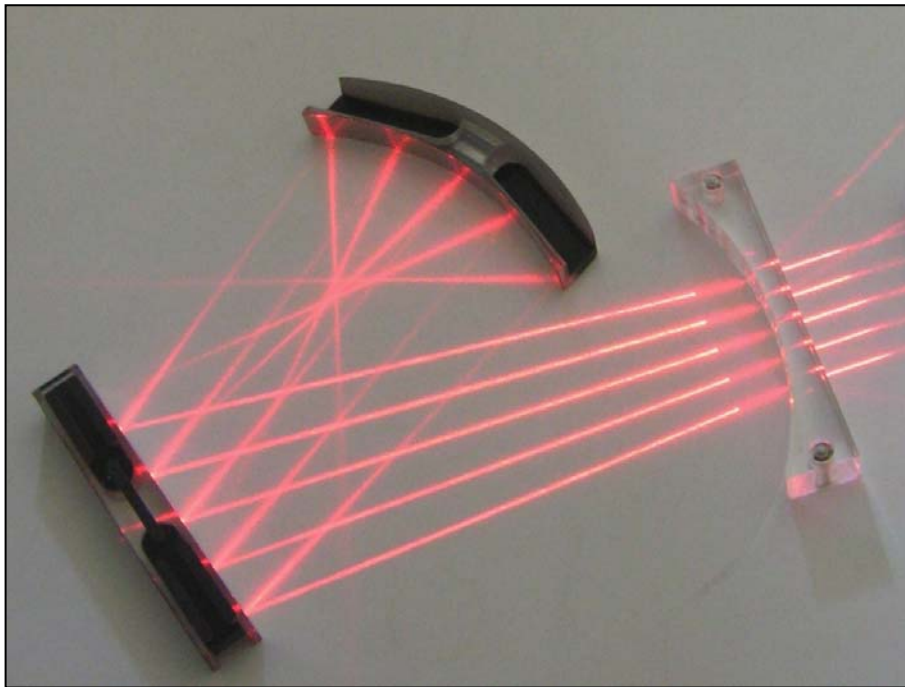


Fig. 7 I cinque raggi luminosi, provenienti da destra, incontrano una lente divergente e vengono riflessi in sequenza da uno specchio piano e da uno specchio curvo.

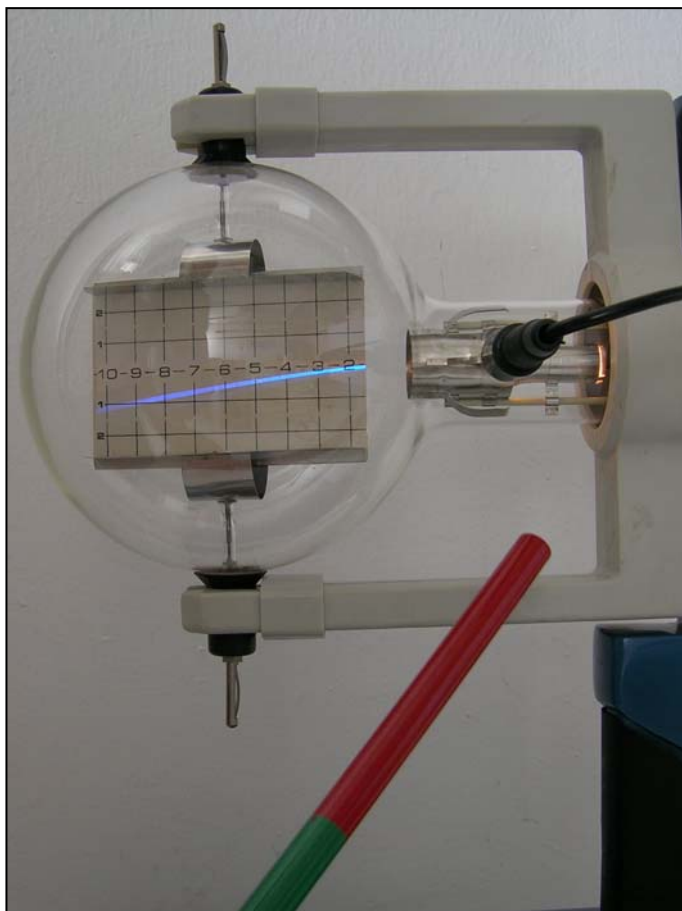


Fig. 8 Tubo a raggi catodici con deflessione verso il basso del fascio, prodotta da un magnete permanente di forma cilindrica (in basso).