ISSN: 1120-6527

LA FISICA NELLA SCUOLA

Quaderno 9

La cattedra e il bancone

Ledo Stefanini

Esperienze didattiche
per insegnanti di Fisica

Bollettino trimestrale dell'Associazione per l'Insegnamento della Fisica

Anno XXXIII n. 1 Supplemento

gennaio-marzo 2000

PRESENTAZIONE

...quanto all'altro errore che è del produrre esperienze come fatte e rispondenti al vostro bisogno senza averle mai né fatte né osservate, prima, se voi e Ticone voleste sinceramente confessare il vero, direste non aver mai sperimentato... perché loro a dir quello ch'è il contrario in effetto, hanno aggiunto anco la bugia, dicendo d'aver ciò veduto dall'esperienza, ed io ne ho fatto l'esperienza, avanti la quale il natural discorso mi aveva molto fermamente persuaso che l'effetto doveva succedere come appunto succede...

G. Galilei: Lettera a Francesco Ingoli (1624)

Quando, insieme con alcuni altri colleghi del Gruppo Redazionale, ho ricevuto questa raccolta di schede che Ledo Stefanini mi ha cortesemente inviato, con un semplice ma sentito "penso che le farà piacere ricevere questo libro", ho cominciato subito a sfogliarlo, stuzzicata dal titolo e dalla prefazione, provando davvero piacere nel leggerlo, apprezzandone lo stile, le proposte, la novità di tante idee. Mi sono sentita, lo confesso, molto privilegiata ed ho cominciato a pensare di chiederne altre copie per estendere questo privilegio ai colleghi. È maturata poi l'idea condivisa dal Direttivo e dal Gruppo Redazionale per un quaderno come significativo contributo al "miglioramento dell'insegnamento della fisica", che mi sembra quanto mai fruibile giorno per giorno come insieme di suggerimenti diretti, immediatamente utili per l'attività didattica in classe.

Si tratta di un quaderno importante anche se diverso dagli altri quaderni, meno "aulico", più spontaneo, perché è frutto di una vita di lavoro, di un insegnamento incentrato sullo studente. Per esempio, quelle note sull'interesse suscitato sono molto significative: discreto, buono, alto, molto alto, buono se si coinvolgono gli studenti...e altrettanto dicasi dell'efficacia didattica. Non sono osservazioni banali, c'è in esse l'impegno quotidiano di ognuno di noi per l'apprendimento motivato, per far nascere la curiosità dello studente e garantire il "successo formativo". Obietivo della proposta, difficoltà concettuali e di realizzazione, a seconda della fascia di età vengono indicati in ogni esperienza e traspare da essi la cura e la ricerca per la migliore riuscita. Un oscilloscopio, una rampa di scale, un accendino, molle, bobine: non solo materiale povero; un'aula, una stanza ed il laboratorio si apre fino a diventare la campagna per fotografare le stelle di notte. Un gioco ed una scoperta che stimolano la crescita dell'insegnante oltre che dell'allievo. Nella "diuturna fatica della ripetizione", alla ricerca di qualcosa di nuovo, questa raccolta offre un aiuto notevole.

Inutile aggiungere considerazioni sul ruolo del laboratorio nell'insegnamento della fisica: lasciamo parlare l'autore, anzi, lasciamolo all'opera!

Ledo Stefanini, laureato in Fisica e in Astronomia, socio AIF della prima ora, ha insegnato fisica nel Liceo Scientifico "Belfiore" di Mantova. Dopo molti anni dietro "una cattedra e un bancone", o meglio fra i ragazzi, prova per essi un'acuta nostalgia, adesso che ha lasciato la scuola. Esperto alpinista, ha spesso unito il piacere della scalata ad una vetta con quello dell'analisi ed interpretazione di un fenomeno fisico. Numerose le sue pubblicazioni su Sapere, il Giornale di Fisica, l'European Journal of Physics, l'American Journal of Physics e La Fisica nella Scuola, naturalmente! Attualmente ricopre l'incarico per l'insegnamento di Fisica per il Diploma Universitario in Ingegneria dell'ambiente e delle Risorse (Consorzio Universitario Mantovano), ma non ha lasciato la collaborazione con la scuola dedicandosi agli insegnanti attraverso corsi di aggiornamento e formazione.

A lui va il nostro ringraziamento per averci messo a disposizione un così prezioso lavoro; ai colleghi un invito a dare un'occhiata ai numeri usciti dei quaderni per trovare molti spunti di riflessione sulla didattica della fisica, nella loro diversità di impostazione e di argomenti. Non tutto è male nella nostra scuola!

Rita Serafini

PREMESSA

UNA *MADELEINE* SCOLASTICA

Fino agli anni '60, nella scuola italiana si conoscevano solo le *dimostrazioni*. Anzi in tutte le scuole - o almeno nelle più fortunate - vi era un'aula per le dimostrazioni. E vi era la figura dell'assistente, istituita quando, con la riforma Gentile, al professore di matematica era stato attribuito anche l'insegnamento della fisica. Il rapporto tra queste due figure, il docente e l'assistente, era formalmente rispettoso ma di profondo e reciproco sospetto. L'insegnante gradiva poco la fisica o meglio gradiva solo la fisica del libro di testo, del gesso e dei problemi proposti alla fine dei capitoli (non sempre): insomma, la fisica che somiglia tanto alla matematica scolastica. Ma quando questa fisica veniva trasferita in laboratorio diventava (diventa) qualcosa di ben diverso; tanto da essere irriconoscibile. Il rapporto dei seni, nonostante le tavole a sette decimali, non era (non è) mai costante; l'attrazione tra due cariche di segno opposto non diventa mai la quarta parte quando si raddoppia la distanza. Dimostrazioni equivoche come queste finivano per minare la fiducia degli studenti nella scienza e -soprattutto - nell'insegnante. Il quale tendeva, tuttavia, a chiamarsi fuori da questi fallimenti, che venivano tacitamente attribuiti alle modeste capacità dell'assistente. Il quale, generalmente, aveva in repertorio un certo numero di esperienze. Si trattava di dimostrazioni acquistate " a scatola chiusa" che venivano realizzate con strumenti appositamente costruiti e secondo procedure ben stabilite. L'assistente le approntava in determinati periodi dell'anno scolastico e le classi si recavano a turno ad assistervi, con grande gioia degli studenti. Il docente si limitava ad assistere alla lezione tenuta dall'assistente; con l'atteggiamento di chi avrebbe molte cose da dire; tuttavia preferisce tacere. Comunque, le dimostrazioni costituivano degli episodi di ben scarso rilievo nell'insegnamento della fisica, spesso ricordate dagli studenti solo per le *magre* collezionate dall'assistente, sotto lo sguardo di beffarda solidarietà del docente.

Alla fine degli anni '60 vi fu un (tentativo di) rinnovamento nell'insegnamento della fisica: promosso dal ministero e importato, come tutte le rivoluzioni del nostro paese. Si chiamava P.S.S.C. (Physical Science Study Committee) e prevedeva la sperimentazione diretta degli allievi. In alcune scuole-pilota l'aula per le dimostrazioni, con i banchi a gradini ed il bancone, venne sostituita dall'aula per la sperimentazioni degli allievi, con numerosi banchi e fughe di armadi a vetri in cui venivano conservati i KIT degli esperimenti: sei carrelli, sei molle, sei metri da muratore, ecc.: sei pezzi per ogni componente. La carenza più grave del corso era di carattere epistemologico, che caratterizzò negativamente la didattica italiana: l'ingenua pretesa che le leggi fisiche emergessero con propria ed impositiva evidenza dagli "esperimenti". Qualcuno, come ad esempio, Vasco Ronchi, scrisse pagine illuminanti sulla filosofia della scienza che sosteneva il P.S.S.C. Erano tempi in cui anche gli scienziati si occupavano di scuola. Tuttavia il corso ebbe il merito di agitare le acque stagnanti della tradizione e di dare a molti insegnanti la consapevolezza che, nella didattica, si possono seguire vie diverse e che le esperienze didattiche possono essere realizzate da chiunque sia in grado di procurarsi vaschette di plastica, elastici di gomma, pattini a rotelle, cannucce da bibita. Soprattutto, fu per merito del P.S.S.C. se gli insegnanti impararono che era loro compito occuparsi dell'attività di laboratorio. Ma i problemi rimanevano. Anche se nei corsi ministeriali gli insegnanti avevano imparato che cos'é un BEST FIT, era sempre con malcelato senso di vergogna che si imponeva al ragazzino di vedere una relazione lineare in certi grafici in cui altri avrebbero potuto riconoscere una correlazione molto debole tra le grandezze . Vi fu una risposta tipicamente italiana. Invece delle bilance realizzate con cannucce da bibita e spilli previste dal corso, le scuole cominciarono ad attrezzarsi con bilance al milligrammo che alcune ditte si erano affrettate a mettere sul mercato. I cicalini marca-tempo furono sostituiti da sofisticati orologi elettronici a traguardo ottico, i dischi forati da girare a mano da comode lampade stroboscopiche dotate di frequenzimetro. Purtroppo, l'efficacia dell'insegnamento non coincide con la comodità e la tranquillità degli insegnanti. Anzi, è opinione dello scrivente che l'efficacia si sposi sempre ad un certo grado di inquietudine (degli insegnanti e degli allievi). Ma fu alla fine degli anni '80 che si fece un ulteriore passo in questa direzione. Il mercato di apparecchiature per la didattica cominciò ad offrire strumenti elettronici per esperienze di fisica: apparecchiature che, associate al calcolatore, consentono di raccogliere numerosi dati ed elaborarli istantaneamente. L'insegnante ha così la possibilità di mostrare ai proprii discepoli il grafico velocità istantanea- tempo di una riga che cade, convincerli che si tratta di una relazione lineare, determinare il best fit (basta richiamare il programma dei minimi quadrati) e ricavare il valore dell'accelerazione di gravità: tutto questo in pochi minuti. Se viene 9,8 il professore è soddisfatto; se il risultato è troppo sballato si avverte il tecnico che è necessario rimandare l'apparato in ditta per una revisione.

RICERCA DIDATTICA?

Vi fu un tempo in cui si dibatteva se fosse o meno appropriato attribuire all'insegnamento il carattere di ricerca. In un paese in cui si diventa ricercatori per concorso non c'è da meravigliarsi che si possano accendere discussioni di questo genere. L'evidenza sperimentale è che per la maggior parte degli insegnanti l' attività docente si riduce alla diuturna fatica della ripetizione - anche perchè la quantità e la varietà degli impegni di natura burocratica, inimmaginabili fino a qualche anno fa, hanno finito per soffocare anche le più nobili e tenaci aspirazioni intellettuali. Tuttavia sappiamo quanto sia sottile il discrimine tra la mortificata - e mortificante - ripetizione di formule e il fascino della trattazione vivace della materia viva. Nuotare in piscina è sicuro e non presenta problemi; ma affrontare il mare aperto, con tutti i pericoli che presenta, è ben diversamente vivificante e formativo. Tanto più se la barca è costruita da te: ne conosci i limiti e puoi progettare eventuali miglioramenti. Lo scopo dell'insegnamento pre-universitario di fisica non può essere quello dell'apprendimento di una serie di formule di pensiero (che non concorrono mai, per necessità di cose, alla formazione di un quadro teorico complessivo, di un *paradigma*, per dirla alla Kuhn); ma della formazione di interessi, della provocazione nei riguardi delle idee *naïf* circa la natura delle cose, e della soddisfazione che deriva dall'interrogarsi e dal giocare con la realtà fisica.

Vi è anche una radicata convinzione da combattere: che *gli esperimenti* servano agli studenti. Invece servono prima di tutto all'insegnante. Si crede (e gli insegnanti lo lasciano credere) che un laureato in fisica abbia avuto esperienza diretta di ciò di cui parla. Che abbia provato, come Örsted, l'effetto di un filo percorso da corrente su un ago magnetico; che abbia visto che l'immagine prodotta da uno specchio concavo è reale; che abbia sentito i battimenti e l'effetto Doppler; che abbia osservato il moto di Brown. Purtroppo, non è così. Il laureato in fisica è uno che queste cose le ha lette, che si è formato in un mondo di carta; che non ha idea degli ordini di grandezza, delle dimensioni geometriche, e (perchè no?) dei costi che comporta l'osservazione di uno di questi fenomeni. In un sapido articolo comparso qualche anno fa, Giulio Cortini - uno dei pochi fisici eminenti che si è occupato di didattica - ha acutamente tratteggiato i sintomi di quella che definiva la *sindrome di Persico* (dal nome del grande fisico romano che per primo la descrisse). Si tratta di questo: uno studente di fisica è capace di integrare le equazioni di Maxwell e di ricavarne l'equazione delle onde; ma non ha idea dell'ordine di grandezza della corrente che circola nella lampada che ha sopra la testa. La maggior parte degli insegnanti di fisica delle nostre scuole è portatore della *sindrome di Persico*; a cagione della quale si rifugia nella frequentazione del gesso e della lavagna, delle dimostrazioni pre-confezionate, delle esperienze fatte al calcolatore. Se si vuole che le cose realmente cambino è necessario che l'insegnante acquisti la capacità di essere allievo di se stesso, colui che per primo trae soddisfazione dall'ideazione, progettazione, realizzazione di un'esperienza didattica. Rifare un'esperimento di Faraday non è facile e l'esito non è garantito; forse gli studenti non ci troveranno niente di interessante; tuttavia, se il risultato gratifica l'insegnante - che mi piace pensare con le maniche rimboccate, le mani sporche e la camicia bruciacchiata come in un film di Disney - il suo entusiasmo non può non trasmettersi ai suoi allievi. I quali non diventeranno fisici; ma conserveranno il senso della gioia che può dare un atteggiamento attivo nei confronti dei fenomeni naturali. Oltre tutto, l'abitudine alla progettazione di dimostrazioni didattiche - che, per loro natura, hanno quasi sempre carattere qualitativo - restituisce il senso della difficoltà della ricerca scientifica ed evita di cadere nella caricaturale rappresentazione spesso implicitamente veicolata dai *project* stranieri o, almeno dall'interpretazione che hanno avuto in Italia.

PROFESSARE LA FISICA

L'insegnamento della fisica è un grande mistero. Il problema centrale è quello di comunicare con il ragazzo attraverso un certo linguaggio, nella consapevolezza che egli utilizza un diverso codice linguistico. Infatti lo studente che si avvicina allo studio della fisica non è, come si diceva una volta, *tabula rasa*: è portatore di una cultura fisica ben stabilita, che riguarda principalmente la meccanica, ma include i fenomeni termici, ottici, idraulici, ecc. Senza quella che potremmo chiamare *fisica naïf*, non sarebbe possibile una vita normale. I termini fondamentali della fisica - spazio, tempo, massa, energia, forza, ecc; - hanno nel ragazzo un significato diverso da quello che gli attribuisce l'insegnante. Gran parte dell'insegnamento dev'essere dedicato alla definizione di un codice linguistico - dove i significati sono stabiliti all'interno della teoria - che non coincide con quello del linguaggio comune. A questo si arriva solo attraverso un lungo lavoro di approssimazioni successive e lo studio di una varietà di situazioni fisiche nelle quali si mette a confronto la descrizione intuitiva con quella della teoria.

Esempio: il bere con la cannuccia: per il ragazzo l'acqua sale lungo la cannuccia perchè chi beve la "succhia": si tratta della teoria dell'*horror vacui*. Questa non è affatto una teoria stupida, tant'é vero che nella vita quotidiana funziona egregiamente. Generalmente succede che, dopo le lezioni di meccanica dei fluidi, il ragazzo conosca il significato di pressione idrostatica, la legge di Stevino, ecc., ma, a proposito del bere con la cannuccia, continua a pensarla esattamente come prima. E fa bene, perchè l'idea che l'aria abbia un peso ha faticato molto ad affermarsi. Basta leggere Pascal per rendersi conto di quali e quante *dimostrazioni* si sono dovute fare prima che l'idea sia parsa accettabile. D'altra parte i giochi idraulici (fontana di Erone ecc.) venivano costruiti molto prima che si diffondesse la fiducia nella pressione atmosferica. L'insegnante deve mostrare, almeno una volta, che la possibilità di bere con la cannuccia dipende dal fatto che l'aria ha un peso. Questo si può fare in vari modi, due dei quali sono illustrati nelle Figg. I.1 e I.2.

In ambedue i casi occorre una pompa, ma i materiali necessari, il tempo richiesto e la spettacolarità delle prove sono diversi. Spetta all'insegnante

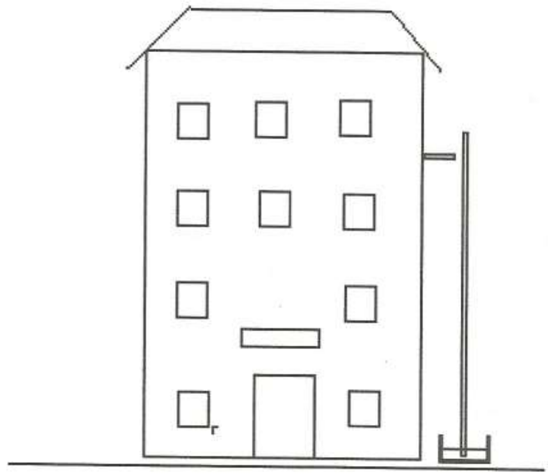

Fig. I.1. Per mostrare che vi è una quota limite, oltre la quale non è possibile "risucchiare" acqua; si può usare un tubo trasparente (di plastica robusta) una buona pompa e acqua colorata.

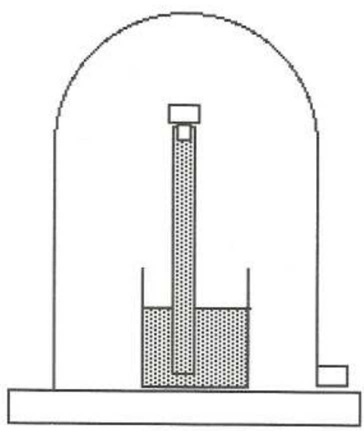

Fig. I.2. Un tubo di vetro, chiuso ad un estremo, contenente acqua colorata, ha l'estremità aperta immersa nello stesso liquido. Il tutto è contenuto in una campana di vetro a tenuta. Estraendo l'aria con una pompa, si osserva che il tubo si svuota (e l'acqua si mette a bollire).

decidere quale delle due realizzare, in relazione ai materiali, al tempo e alle forze disponibili, oltre che al tipo di studenti.
Ogni dimostrazione richiede molto tempo e contribuisce notevolmente ad

alzare l'entropia dell'attività di insegnamento. Infatti, se si fa un'esperienza per la prima volta, è necessario progettarla a tavolino, cercare l'attrezzatura disponibile nel laboratorio scolastico, altrimenti visitare i negozi della città per vedere se c'é qualcosa che possa fare al proprio caso, coinvolgere nel progetto altri insegnanti o, talvolta, i genitori degli allievi per il prestito di apparecchiature o consulenze. Poi, nella lezione tutto si esaurisce in pochi minuti. Se, invece, è una dimostrazione di routine, si può avere la sorpresa di non trovare certi componenti, utilizzati per altre attività. In ogni caso, è sempre consigliabile non improvvisare davanti agli studenti: i risultati possono essere imbarazzanti.
Una volta sostituito al modello intuitivo un modello fisico più elaborato, l'efficacia dell'insegnamento è misurata dal numero di domande che suscita nello studente. Ad esempio, se è vero che ciò che fa sollevare un palloncino è la spinta di Archimede - cioè è dovuta al fatto che l'aria ha un peso - come si comporterà un palloncino gonfiato con idrogeno all'interno di una capsula pressurizzata e in caduta libera? Evidentemente, si tratta di un *gedanken experiment*, utile a discutersi come e più di un esperimento reale. Tuttavia un esperimento vero e proprio si può fare: una bottiglia di plastica trasparente piena d'acqua sulla quale galleggia una pallina. Se si gira la bottiglia, la pallina risale a galla dal fondo. Si può girare rapidamente la bottiglia e lasciarla cadere. Se si dispone di una telecamera e un video registratore è facile mostrare che la pallina non tende più a salire a galla. Si tratta di un risultato inatteso che difficilmente il ragazzo dimenticherà.

Il peccato originale dell'insegnamento della fisica nella scuola pre-universitaria è che viene proposta come matematica. Il ragazzo viene condotto per un edificio di cemento dove tutto è già stato previsto e costruito prima di lui, indipendentemente dalla sua presenza e dove non potrà lasciare traccia di sè. Invece, l'insegnamento primario della fisica non può essere fatto discendere da alcuni assiomi misteriosamente rivelati da alcuni illuminati. Il ragazzo che si avvicina alla fisica scolastica ha una ben collaudata - e rispettabile- teoria dei fenomeni naturali. La sfida dell'insegnamento è quella di partire dalla fisica intuitiva per procedere verso costruzioni teoriche più ampie e coerenti. Questo non si può fare senza passare attraverso due tappe:

1. mostrare che le strutture teoriche intuitive non sempre descrivono correttamente la realtà fisica;
2. mostrare che la teoria *scolastica* non solo corrisponde a ciò che si osserva, ma apre il campo ad una quantità di interrogativi che, nell'ambito della fisica *ingenua*, non si pongono.

Tutto questo richiede da parte dell'insegnante un atteggiamento dinamico e mature capacità di inventiva.
Le dimostrazioni una volta erano dette *ex cathedra*. Le chiamerei piuttosto *da bancone* in quanto è questo che dovrebbe trovarsi al centro della lezione. L'insegnante, ovviamente, deve svolgere il ruolo di animatore e di *leader*, ma commetterebbe un grave errore qualora non coinvolgesse l'intero gruppo di

allievi. La guida alpina che accompagna il cliente in un'ascensione conosce bene la via, sa quali difficoltà si incontreranno ed ha la certezza di arrivare in vetta; ma non dà al cliente l'impressione che l'esito sia indipendente dalla sua partecipazione. Così l'insegnante:

1. propone un problema accessibile ai suoi allievi;
2. li guida con decisione alla sua soluzione.

Tuttavia

3. non mostra mai che l'esito prescinde dal contributo degli allievi.

e, soprattutto,

4. non anticipa mai le conclusioni.

Vorrei risultasse chiaro che questo non vuole essere un manuale di esperienze didattiche. E' la testimonianza di un lavoro, quello dell'insegnante, che assimilerei a quello di un artigiano. Per diventare buoni artigiani è necessario anche studiare qualche buon manuale; ma soprattutto essere disposti ad un lungo apprendistato, che può essere favorito dalla vicinanza di buoni maestri. La maturità si raggiunge quando si è in grado di fare da sè; cioè di scegliere le esperienze più opportune in relazione al tono del corso, alle possibilità tecniche ambientali (strumenti, materiali, collaboratori) e agli obiettivi che si intendono perseguire. Segno di salute professionale è l'attenzione ai fenomeni che si incontrano: una lampada vista attraverso una zanzariera, la deformazione di un suono riflesso da una parete ineguale, un ciclista che arranca su una salita in montagna, ... Quando questa osservazione diventa spunto didattico o suggerisce una semplice dimostrazione didattica, allora un insegnante di fisica credo che possa essere legittimamente soddisfatto di sé.

Nella nostra tradizione culturale l'insegnante di fisica è ritenuto un fisico minore; come se all'insegnamento fossero destinati i laureati meno dotati e preparati. Non diamo troppo credito a questa diffusa opinione, figlia di una disastrosa sottovalutazione del ruolo della scuola e di una desolante impreparazione culturale in campo scientifico Condurre lo studente a riconoscere come problema la strana immagine assunta da un lampione visto attraverso la tela di un ombrello non è più facile che occuparsi di laser o fotomoltiplicatori: tutto dipende dalle persone. Certo l'insegnante, più di altri operatori culturali non deve aspettarsi gratificazioni diverse da quelle morali: rare anche queste. Tuttavia, accade talvolta di riconoscere nella crescita intellettuale di un ragazzo, pur autonoma e non pre-determinabile (grazie a Dio), un nostro contributo che, per vie misteriose, ha dato frutto. Questa è la massima tra le ricompense a cui può aspirare l'insegnante: riconoscere nel girasole il seme che credeva disperso.

1.SIMILITUDINI GEOMETRICHE

Finalità della dimostrazione: Riflettere sul concetto di similitudine.
Fascia di età in cui si può proporre: Scuola media - università.
Grado di difficoltà concettuale: Richiede confidenza con la similitudine geometrica.
Grado di difficoltà di realizzazione: elementare
Materiali richiesti: 50 cm^3 di pallini da caccia da 1,5 mm
50 cm^3 di pallini da caccia da 3 mm
oppure
volumi uguali di sferette da cuscinetto da 3 e 6 mm.
Lavagna luminosa
Interesse suscitato: discreto
Efficacia didattica: Buona.

1.1 INTENSITA' DELLO SCURO

Materiale occorrente:
Due capsule Petri o due becker
Pallini da caccia
Lavagna luminosa

Si riempie uniformemente il fondo delle due capsule con le sferette dei due tipi. L'immagine proiettata dalla lavagna luminosa è simile a quella di Fig.1.1.

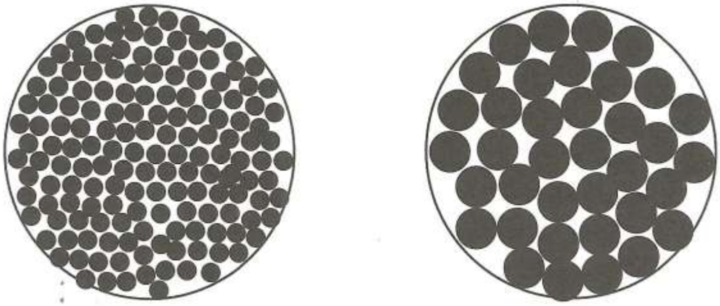

Fig.1.1. Pallini di diametro diverso visti in proiezione con la lavagna luminosa.

La domanda che ci poniamo è la seguente:
quale delle due aree è la più scura?
O anche: se con un fotometro misuriamo la luminosità di due muri dipinti in questo modo, quale dei due risultà più scuro?
Costruire un fotometro, seppur rudimentale, non è difficile. Basta realizzare il circuito di Fig. 1.2 .

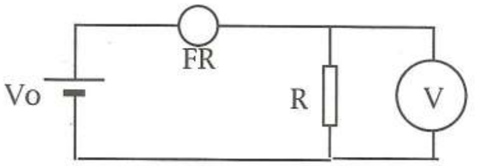

Fig. 1.2. Schema di fotometro. Vo= batteria 9V; FR= fotoresistenza, R= resistore 1 kΩ, 1/4 W, V= voltmetro.

Poichè nel nostro caso vogliamo misurare l'intensità di illuminamento medio su una larga superficie, in luogo di una sola, utilizzeremo una disposizione di fotoresistenze collegate in parallelo come in Fig. 2.3.

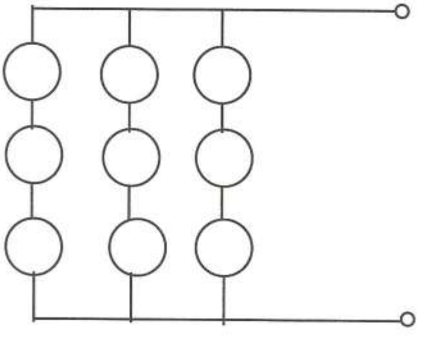

Fig. 1.3. La parte fotosensibile del fotometro è costituita da una disposizione di fotoresistenze.

Se si colloca la superficie fotosensibile davanti allo schermo illuminato, il voltmetro segna una tensione tanto più alta quanto maggiore è l'intensità di illuminazione. Si osserva allora che, variando il diametro dei pallini, non si produce una variazione significativa della lettura dello strumento, ovvero che l'intensità media è la stessa. Volendo trovare una spiegazione geometrica, possiamo ragionare come segue.

Poniamo di dover ricoprire una data superficie S, di forma qualunque, con dischetti circolari di raggio R. Potremo disporli come nella Fig.1.4, cioè in modo tale che ad ognuno compéta un quadrato di lato 2R:

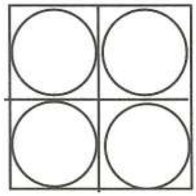

Fig.1.4. Disposizione "economica" di dischetti circolari.

Il numero dei quadrati è

$$N = \frac{S}{4R^2}$$

Ognuno di questi non è completamente coperto. La frazione coperta è

$$\frac{\pi R^2}{4R^2} = \frac{\pi}{4}$$

La parte di superficie coperta è allora

$$\frac{\pi}{4} S \cong 0,785\, S$$

indipendentemente dal raggio e dal numero dei dischetti. Potremmo disporre i dischetti in maniera più compatta (Fig. (1.5):

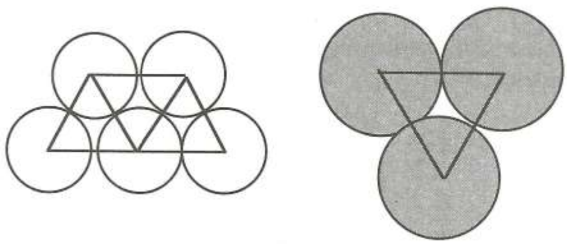

Fig.1.5. Una distribuzione più compatta dei dischetti.

In questo caso possiamo pensare che la copertura sia costituita da celle a forma di triangolo equilatero, ricoperto da tre settori circolari ognuno dei quali ha un'area pari ad 1/6 dell'area del cerchio. In totale, $\frac{3}{6}\pi R^2$.

L'area del triangolo è $R^2\sqrt{3}$. La frazione coperta dai settori è quindi

$$\frac{\frac{1}{2}\pi R^2}{R^2\sqrt{3}} = \frac{\pi}{2\sqrt{3}}.$$

La parte di area ricoperta è allora

$$\frac{\pi}{2\sqrt{3}} S \cong 0,906\, S$$

ancora indipendente dal raggio e dal numero dei dischetti.

L' ipotesi che sta alla base dell'argomentazione è che

la copertura sia costituita da celle tutte uguali.

In tal caso, la frazione di area coperta è indipendente dalle dimensioni.

Si può argomentare anche nel seguente modo, più sintetico:

La seconda immagine non è che l'ingrandimento della prima; tanto che la potrei ottenere dalla prima avvicinando opportunamente lo schermo.

In questa trasformazione le zone scure e le zone chiare vengono ingrandite nella stessa misura, per cui il loro rapporto non cambia.

Un problema analogo, ma in tre dimensioni, è quello della

DENSITA' DELLE SFERE

Si dispongono sul tavolo due becker e li si riempie, l'uno con 50 cm^3 di sferette piccole, l'altro con un egual volume di sferette grandi (Fig.1.6).
Quale dei due è il più pesante?

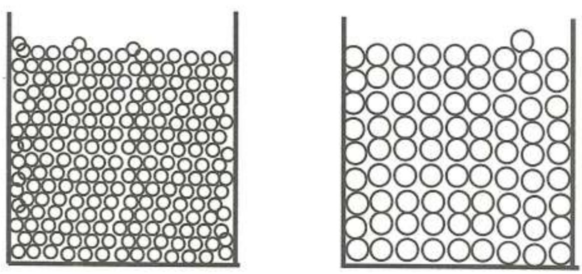

Fig.1.6 . Due volumi uguali occupati da sferette di diverso diametro. Quale pesa di più?

Si fa la pesata e si trova che, nei limiti degli errori, le masse sono uguali. La spiegazione è analoga a quella in due dimensioni.

Poniamo di voler riempire un determinato volume V con sfere di raggio R. Se le disponiamo in modo che ad ogni sfera competa un cubetto di spigolo 2R, la frazione di volume riempita è

$$\frac{\frac{4}{3}\pi R^3}{8R^3} = \frac{\pi}{6} \cong 0,523$$

indipendente dal raggio delle sfere.
In realtà, la forma di impacchettamento che produce la massima densità è quello in cui i centri delle sfere formano un reticolo romboedrico [1] [2]

Nel caso del massimo impacchettamento, la frazione riempita è $\frac{\sqrt{2}}{8}$, indipendentemente dal raggio delle sfere.
Ciò che importa è che il volume totale è divisibile in celle elementari tutte identiche. Del volume di queste celle solo una frazione è occupata.
Questa frazione è indipendente dalle dimensioni della cella elementare. Ne consegue che il peso, cioè il volume occupato, è indipendente dal numero delle sferette presenti.

[1] D. Hilbert e S. Cohn-Vossen, *Geometria Intuitiva*, Universale Scientifica Boringhieri, 1972, pagg. 62 e segg.
[2] H. Steinhaus, *Matematica per istantanee*, Zanichelli, 1997, cap. 8.
[3] L.G. Aslamazov, A.A. Varlamov, *Fisica che meraviglia!*, a cura di A. Rigamonti e L. Reggiani, La Goliardica Pavese, 1996, cap. II.

2. LA BICICLETTA

Domanda preliminare:
Perchè le vecchie biciclette avevano la ruota anteriore così grande?

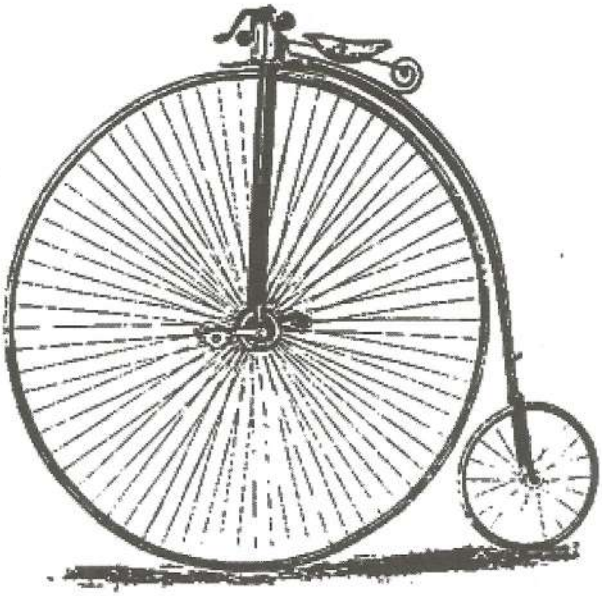

Fig.2.1. Un vecchio modello di bicicletta.

Il pedale era solidale con la ruota. Poniamo di poter mantenere la frequenza di una pedalata ogni due secondi: la velocità sarebbe

$$\frac{2\pi R}{2}$$

Con una ruota normale da bicicletta, di raggio 0,5 m, si raggiungerebbe una velocità di circa 1,6 m/s, cioé neppure 6 km/h: insufficiente per mantenere l'equilibrio. Adottando un raggio da 1 m si raggiunge una velocità doppia. Non è pensabile di raggiungere velocità intorno ai 20 km/h. Per questo occorre

2.1. LA MOLTIPLICA

Finalità della dimostrazione: Confrontare due moti periodici con frequenze diverse.
Fascia di età in cui si può proporre: dalla terza media.
Grado di difficoltà concettuale: Modesto
Grado di difficoltà di realizzazione: elementare

Materiali richiesti: Una bicicletta (meglio se a moltiplica variabile)
Interesse suscitato: buono
Efficacia didattica: Buona.

a) Si parte con il pedale in una certa posizione (ad es. verticale) e si fa un segno con un pezzo di nastro adesivo sulla ruota posteriore della bicicletta.

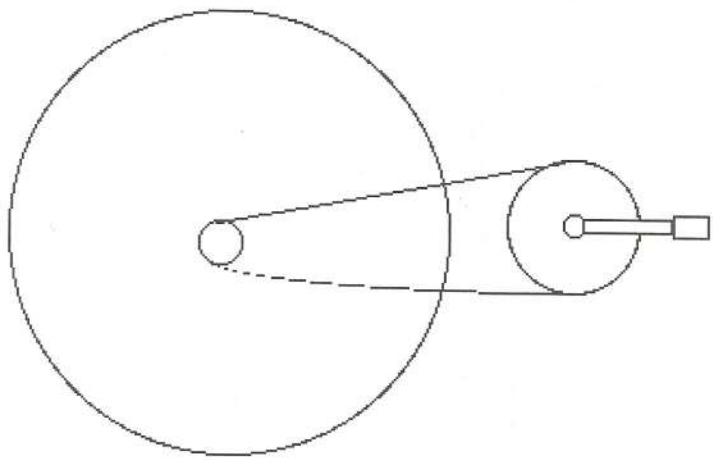

Fig.2.2. Corona, catena e ruotino della bicicletta.

Si fa girare il pedale un certo numero di volte, tenendo leggermente frenata la ruota, fino a che si ritorna alla situazione di partenza.
La MOLTIPLICA M è il rapporto tra il numero dei giri della ruota e il numero dei giri del pedale.
b) Si conta il numero dei denti della corona e del ruotino: la moltiplica è data dal loro rapporto.

2.2. IL "PASSO" DELLA BICICLETTA

Finalità della dimostrazione: Mostrare come si ottiene un'alta velocità con la bicicletta.
Fascia di età in cui si può proporre: dalla terza media.
Grado di difficoltà concettuale: Modesto
Grado di difficoltà di realizzazione: elementare
Materiali richiesti: Una bicicletta (meglio se a moltiplica variabile)
Interesse suscitato: buono
Efficacia didattica: Buona.

Per "passo" si intende la distanza percorsa per ogni pedalata.
Ad ogni giro di pedale, la ruota compie M giri, ad ognuno dei quali corrisponde un tratto $2\pi R$. Pertanto, il passo è

$$P = M \cdot 2\pi R$$

ovvero

$$P = 2\pi(MR)$$

La moltiplica ha l'effetto di moltiplicare per M il raggio della ruota.

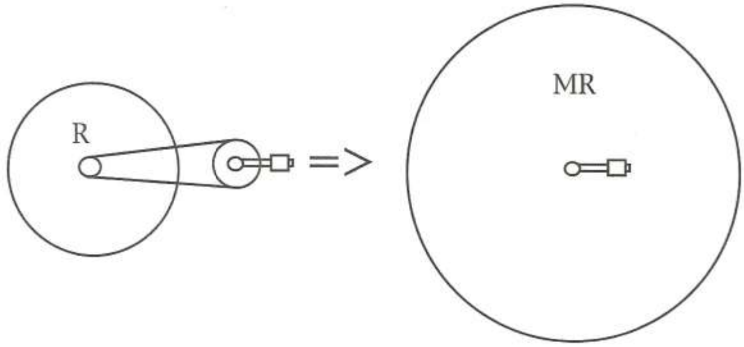

Fig.2.3. Grazie alla moltiplica, la bicicletta ha una ruota di raggio MR.

Più grandi sono la moltiplica e il raggio della ruota, tanto maggiore la velocità che è possibile raggiungere.

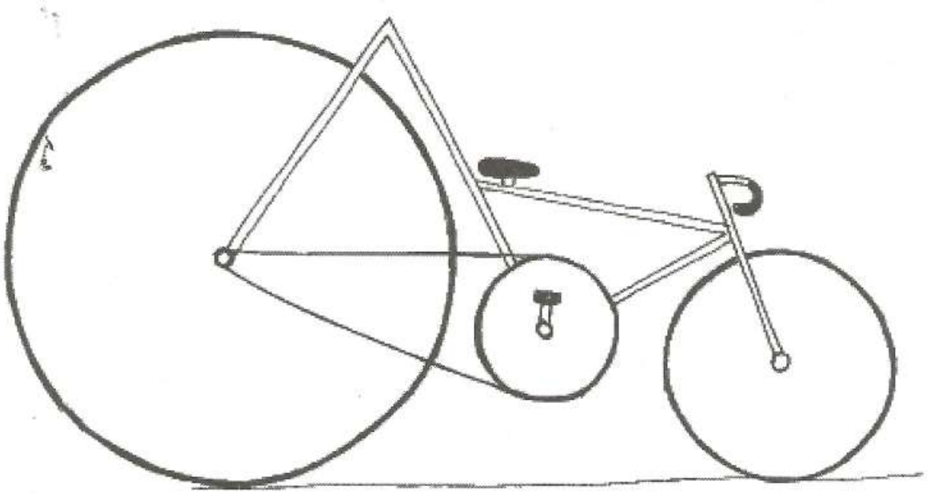

Fig.2.4. Modello di bicicletta per alte velocità. Deve avere un rapporto alto e un grande raggio della ruota motrice.

Qual è la massima velocità raggiungibile con una bicicletta?

Il diametro della corona non può superare la lunghezza della gamba:

$$R_C \approx 0{,}5\, m$$

Il raggio del ruotino non può essere inferiore a un paio di centimetri:

$$R_r \approx 2\, cm$$

La moltiplica massima è quindi 25.
Possiamo immaginare una ruota posteriore di un paio di metri di diametro:

$$R = 1\,m$$

Il passo sarebbe

$$P_M = M 2\pi R = 157m$$

Se il ciclista fosse capace di fare un giro di pedale ogni due secondi, la velocità raggiunta sarebbe

$$\frac{157}{2}\frac{m}{s} \cong 280\frac{km}{h}$$

Qual è il punto debole del ragionamento?

2.3. LE FORZE

Finalità della dimostrazione: La bicicletta come leva sfavorevole.
Fascia di età in cui si può proporre: dalla terza media.
Grado di difficoltà concettuale: Modesto
Grado di difficoltà di realizzazione: Facile.
Materiali richiesti: Una bicicletta (meglio se a moltiplica variabile)
Interesse suscitato: buono
Efficacia didattica: Buona.

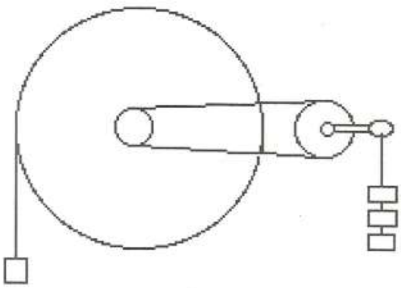

Fig.2.5. Equilibrio delle forze applicate al pedale ed al bordo della ruota.

La Fig.2.5 illustra come misurare il rapporto tra la spinta esercitata sul pedale e la forza trasmessa sul bordo della ruota. Abbiamo visto che, grazie alla moltiplica, tutto avviene come se il pedale fosse solidale con una ruota di raggio M volte maggiore (Fig.2.6): lo chiameremo RAGGIO EFFICACE.

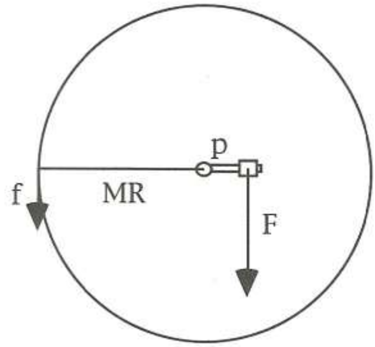

Fig.2.6. Equilibrio delle forze applicate al pedale e al bordo della ruota virtuale (di raggio MR).

La condizione di equilibrio della leva è

$$Fp = f\,MR \quad \Rightarrow \quad f = \frac{p}{MR}F \qquad (1)$$

dove p è la lunghezza della pedivella.
Questo ci permette di studiare

UN MODELLO DI BICICLETTA DA SALITA

Per l'equilibrio si richiede che la forza prodotta dal copertone sia uguale alla componente del peso nella direzione del pendio:

$$f = mg \operatorname{sen} \vartheta$$

Ma questa forza è data da

$$f = \frac{p}{MR}F$$

per cui

$$F = mg \operatorname{sen} \vartheta \frac{MR}{p}$$

che è la forza minima da applicare al pedale.
La forza massima che il ciclista applica sul pedale è il suo peso mg, per cui

$$mg\,\frac{MR}{p} \operatorname{sen}\Theta = mg \quad \Rightarrow \quad \operatorname{sen}\Theta = \frac{p}{MR}$$

Questa fornisce la massima pendenza superabile con la bicicletta. Si noti che è indipendente dal peso del ciclista e della bici e inversamente proporzionale al raggio efficace della ruota.
Con una bicicletta normale, cioè

$$M \cong 2; R \cong 40\ cm; p \cong 25\ cm$$

la massima pendenza è circa del 33% (18°).
Ne deriva che una bicicletta per forti pendenze sarà caratterizzata da un lunga pedivella, una piccola ruota motrice e una bassa moltiplica (Fig. 2.7).

Fig.2.7. Una bicicletta che consente di affrontare salite molto ripide.

Sfortunatamente, la velocità raggiungibile con una bicicletta di questo tipo sarebbe bassa e l'equilibrio molto difficile.

2.4. UN QUESITO

Finalità della dimostrazione: Riflettere sul fatto che spesso le forze agenti su un corpo sono più d'una
Fascia di età in cui si può proporre: liceo
Grado di difficoltà concettuale: richiede la conoscenza della meccanica della leva.
Grado di difficoltà di realizzazione: elementare
Materiali richiesti: Una bicicletta
Interesse suscitato: alto
Efficacia didattica: Ottima.

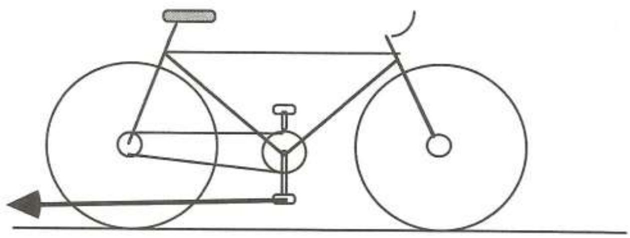

Fig.2.8. Alla bicicletta, appoggiata al suolo, è applicata un forza nel verso della freccia, tramite uno spago legato al pedale.

La Fig.2.8 rappresenta una bicicletta ferma. Al pedale, che si trova nella posizione più bassa, si applica, mediante una funicella, una forza. Si chiede da quale parte si sposterà la bicicletta.

Per rispondere alla domanda, schematizziamo il sistema come in Fig. 2.9, dove riportiamo solo l'apparato motore:

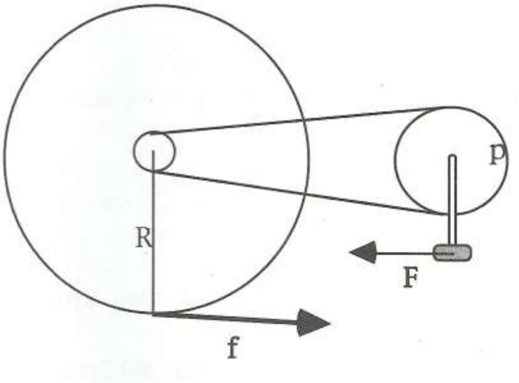

Fig.2.9. Le forze agenti sul pedale e sul bordo della ruota.

Facendo riferimento alla Fig. 2.6, la forza trasmessa al bordo della ruota è

$$\frac{p}{MR}F$$

La bicicletta avanza a condizione che sia

$$p > MR .$$

condizione mai soddisfatta da una bicicletta normale. Quindi la bicicletta va all'indietro. Una controprova si può avere appoggiando la bicicletta (meglio se da bambino) su un tavolo. Si applica la forza mediante uno spago legato all'estremità di un'asta fissata al pedale (Fig. 2.10) di lunghezza maggiore di MR. Per fare la prova è consigliabile usare la moltiplica più bassa consentita dal cambio.

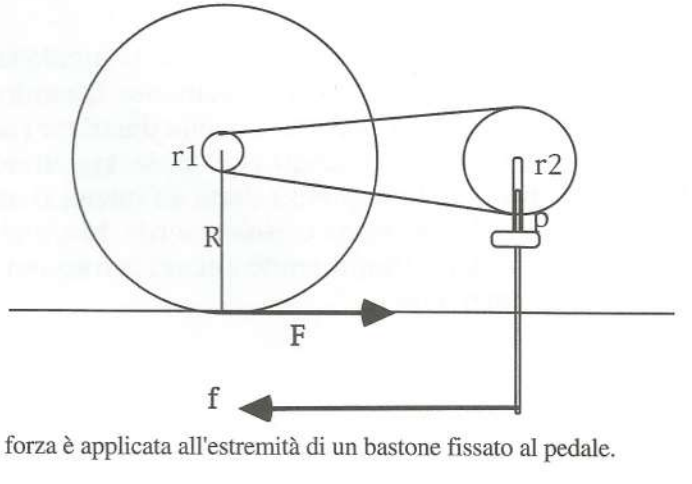

Fig. 2.10. La forza è applicata all'estremità di un bastone fissato al pedale.

In questo caso la bicicletta avanza.

3. SOVRAPPOSIZIONE DI COLORI

Finalità della dimostrazione: Induce a riflettere sulla natura del colore
Fascia di età in cui si può proporre: scuola media - liceo
Grado di difficoltà concettuale: molto basso
Grado di difficoltà di realizzazione: elementare
Materiali richiesti: motorino elettrico a velocità variabile, lampada stroboscopica.
Interesse suscitato: alto
Efficacia didattica: Ottima.

E' nota la dimostrazione di Newton del disco colorato rotante. Suggeriamo di ripeterla con qualche variante.
Si prenda un disco che si possa far ruotare velocemente mediante un motorino elettrico. Si incollano sui quattro settori del disco quattro fogli di carta di colore diverso, ad esempio rosso, verde, giallo e blu (Fig.3.1).

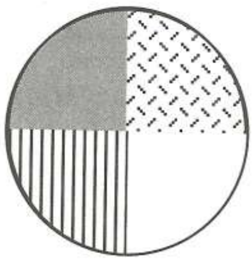

Fig.3.1. Il disco è diviso in quattro settori, diversamente colorati.

Si fa partire il disco e lo si illumina con una lampada stroboscopica partendo da alta frequenza e calando progressivamente. Quando la frequenza dello stroboscopio è quadrupla rispetto a quella del disco i settori appaiono fermi e di color grigio. Quando la frequenza è doppia, appaiono due colori diversi. Se i colori sono disposti nella sequenza detta all'inizio, si osservano blu scuro e marron . Se invece la sequenza è rosso, verde, blu, giallo, allora si vedono magenta e giallo chiaro. Diminuendo ancora la frequenza dello stroboscopio, si vedono i veri quattro colori.

4. MECCANICA DELL'ALTALENA

Finalità della dimostrazione: Applicare i principi della meccanica ad un fenomeno comune.
Fascia di età in cui si può proporre: liceo
Grado di difficoltà concettuale: Abbastanza elevato
Grado di difficoltà di realizzazione: elementare
Materiali richiesti: Un sostegno liscio, spago, pesetti.
Interesse suscitato: alto
Efficacia didattica: Ottima.

La cosa migliore sarebbe far esercitare gli allievi direttamente su un'altalena, in modo da farli riflettere sulla tecnica che si usa per aumentare l'ampiezza delle oscillazioni.
Nell'aula, si lega uno spago ad una massa di qualche etto e lo si fa passare sopra una sbarra orizzontale, fissata a qualche metro da terra (Fig. 4.1).

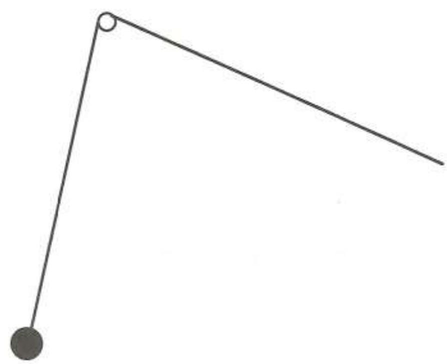

Fig.4.1. Modello di altalena realizzata con un peso, uno spago e un sostegno.

Si imprime al pendolo una piccola oscillazione e si invita uno studente a cercare di aumentare l'ampiezza di oscillazione manovrando sull'estremità libera dello spago. Se qualcuno ha fatto l'esperienza di dondolarsi su un'altalena, comprenderà che è necessario accorciare lo spago nella posizione verticale ed allungarlo quando l'elongazione è massima.
Per studiare il problema, schematizziamo il sistema come un pendolo di lunghezza L che diminuisce istantaneamente di ΔL nella posizione di elongazione nulla e ritorna alla lunghezza iniziale all'estremità dell'oscillazione (Fig. 4.2).

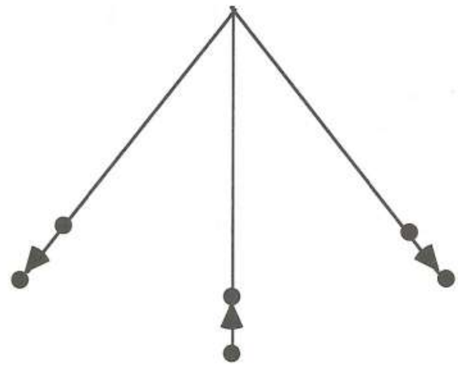

Fig.4.2. Alle estremità dell'oscillazione il pendolo si allunga, nella parte centrale, si accorcia.

Sia E l'energia iniziale del pendolo

$$E = \frac{1}{2} mV^2 = mgL\,(1 - \cos\Theta) \qquad (1)$$

dove V è la velocità massima e Θ la massima elongazione.

Per sollevare di ΔL la massa nella posizione verticale bisogna compiere lavoro contro il peso e la forza centrifuga:

$$W = mg\Delta L + m\frac{V^2}{L}\Delta L$$

che, per la precedente, si può anche scrivere

$$W = mg\Delta L + 2E\frac{\Delta L}{L}.$$

Pertanto, dopo il sollevamento, l'energia diventa

$$E' = E + W = mg\Delta L + \left(2\frac{\Delta L}{L} + 1\right)E$$

All'estremità dell'oscillazione, si ha una perdita di energia dovuta all'abbassamento (Fig. 4.3)

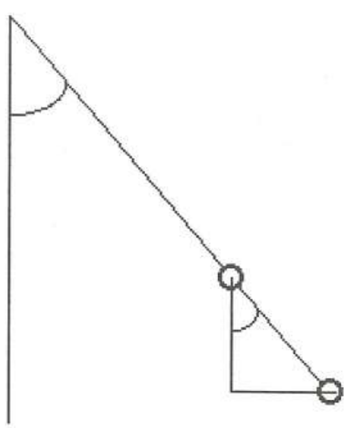

Fig.4.3. Perdita di energia potenziale nella posizione di massima elongazione.

che vale

$$\Delta E = -mg\Delta L \cos\Theta$$

o, sempre per la (1),

$$\Delta E = -mg\Delta L + E'\frac{\Delta L}{L}.$$

per cui, l'energia diventa

$$E'' = E' + \Delta E = \left(2\frac{\Delta L}{L} + 1\right)E + mgL\left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(2\left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \frac{\Delta L}{L}\right)E$$

Se si trascurano le potenze superiori di $\frac{\Delta L}{L}$, questa si riduce a

$$E'' = \left(3\frac{\Delta L}{L} + 1\right)E$$

Pertanto, ogni mezza oscillazione l'energia viene moltiplicata per

$$3\frac{\Delta L}{L} + 1.$$

Dopo N oscillazioni l'energia diventa

$$E_N = \left(3\frac{\Delta L}{L} + 1\right)^{2N} E_0$$

dove E_0 indica il valore iniziale.

5. FORZE DI ARCHIMEDE IN SISTEMI NON INERZIALI

Finalità della dimostrazione: Riflettere sulla forza idrostatica.
Fascia di età in cui si può proporre: biennio - liceo
Grado di difficoltà concettuale: Non banale.
Grado di difficoltà di realizzazione: Facile
Materiali richiesti: Due vasi di vetro
Pallina da ping-pong
Pallina di vetro
Interesse suscitato: alto
Efficacia didattica: Buona.

Mediante due barattoli di vetro si possono realizzare i congegni illustrati in Fig.5.1:

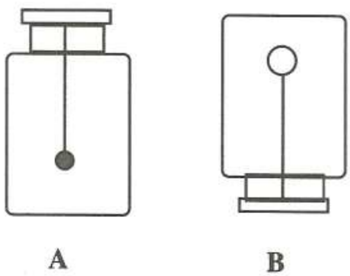

Fig.5.1. Il coperchio del vasetto A sostiene una pallina di vetro appesa mediante un filo; quello del vasetto B trattiene una pallina leggera che flotta nel liquido.

I due barattoli sono completamente pieni d'acqua e chiusi con coperchi a tenuta.
Si può cominciare ad osservare che, appoggiati i due barattoli su carrelli che si muovono di moto uniforme, non si osserva niente di diverso rispetto a quando sono fermi.
Imprimendo un'accelerazione al barattolo A, si osserva che la pallina si sposta in senso opposto all'accelerazione .

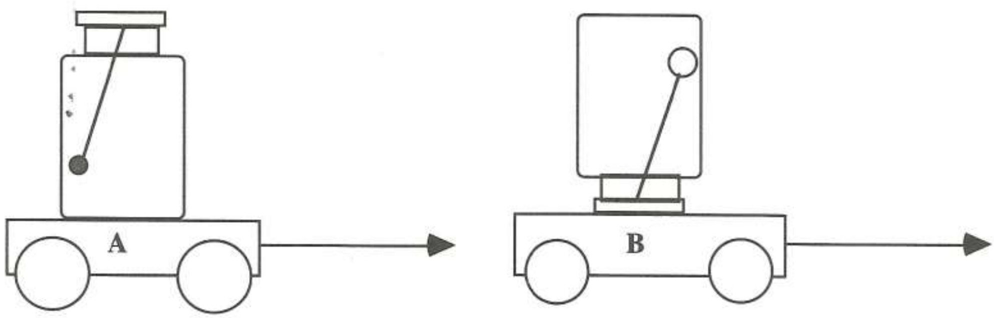

Fig. 5.2. I vasetti in fase di accelerazione.

Questo si verificherebbe anche in assenza di acqua.

Ripetendo l'esperienza con la pallina da ping pong si osserva che, quando il vaso subisce un'accelerazione, questa si sposta nello stesso verso (Fig. 5.2).
La cosa è facilmente spiegabile.
Nel sistema di riferimento dell'acqua:
Immaginiamo di sostituire alla sferetta di vetro, una sferetta di eguali dimensioni, ma d'acqua. Questa subirebbe l'azione di tre forze che si fanno equilibrio (Fig. 5.3):

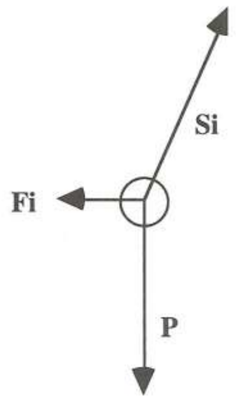

Fig. 5.3. Forze agenti su una ipotetica pallina d'acqua.

il peso $P=\rho_0 Vg$, la forza apparente $Fi=\rho_0 Va$, (dove a indica l'accelerazione) e la spinta idrostatica. Il suo valore è quindi

$$S_i = \rho_0 V \sqrt{g^2 + a^2}$$

con una direzione che forma con la verticale un angolo ϑ tale che

$$\tan \vartheta = \frac{a}{g} \qquad (1).$$

La pallina di vetro, di densità $\rho > \rho_0$, subisce l'azione della stessa spinta idrostatica, ma di una forza di gravità e di una forza d'inerzia maggiori (Fig. 5.4).

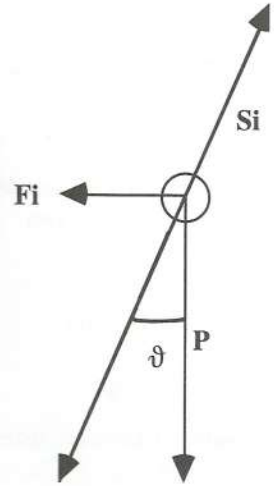

Fig. 5.4. Forze agenti sulla pallina A.

La risultante è una forza diretta verso il basso che forma con la verticale un angolo dato ancora dalla (1), di intensità

$$F = V\sqrt{g^2 + a^2}(\rho - \rho_0) \qquad (2)$$

Se al posto della pallina di vetro abbiamo un oggetto, come la pallina da ping pong di densità $\rho<\rho_0$, la forza risultante è diretta verso l'alto e forma lo stesso angolo ϑ nel verso dell'accelerazione (Fig. 5.5).

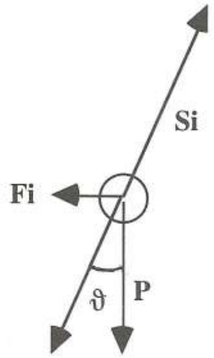

Fig. 5.5. Forze agenti sulla pallina B

Nel sistema di riferimento del laboratorio:
Sostituiamo, come prima, alla pallina di vetro, una pallina d'acqua. Questa è soggetta a tre forze che NON si fanno equilibrio (Fig. 5.6).

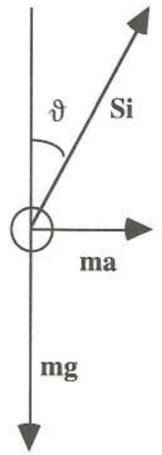

Fig.5.6. Forze agenti sulla pallina d'acqua nel sistema di riferimento del laboratorio.

La spinta idrostatica deve avere una componente orizzontale pari a $\rho_0 Va$, mentre la sua componente verticale dev'essere $\rho_0 Vg$. La spinta vale quindi

$$S_i = \rho_0 V \sqrt{g^2 + a^2}$$

e forma con la verticale un angolo che è dato ancora dalla (1).

La pallina di vetro è soggetta alla stessa spinta idrostatica, ma ad un peso maggiore (Fig.5.7).

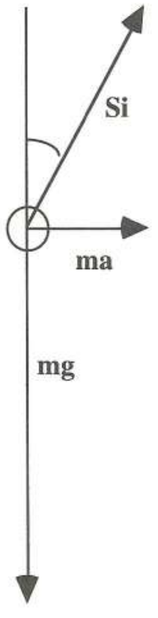

Fig. 5.7. Forze agenti sulla pallina di vetro nel sistema di riferimento del laboratorio.

La tensione del filo che sostiene la pallina dev'essere tale che la sua componente verticale sia $T_y = (\rho - \rho_0)Vg$ e la sua componente orizzontale $T_x = \rho Va$. La sua inclinazione rispetto alla verticale è ancora espressa dalla (1).

La dimostrazione diviene ancora più interessante se si appoggia il barattolo sul piatto di un giradischi: nel caso della pallina di vetro il filo si inclina verso l'esterno; in quello della pallina da ping pong verso il centro di rotazione. L'esperimento si presta ad essere fatto quando ci si trova su un veicolo; ad esempio in una carrozza ferroviaria o su un pullman, utilizzando palloncini gonfiati ad elio. In caso di frenata tutti gli oggetti tendono a spostarsi verso la parte anteriore del veicolo; ma non i palloncini, che tendono a spostarsi in senso opposto. L'inverso avviene durante le fasi di accelerazione. Può essere un'esperienza da proporre in occasione di viaggi collettivi.

6. LINEE DEL CAMPO ELETTROSTATICO

Finalità della dimostrazione: Evidenziare le linee del campo elettrostatico.
Fascia di età in cui si può proporre: liceo
Grado di difficoltà concettuale: Basso
Grado di difficoltà di realizzazione: Facile
Materiali richiesti: Lavagna luminosa
Accendino piezo-elettrico
Vaschetta di plastica
Filo di rame
Olio di ricino
Polvere di semolino
Interesse suscitato: Discreto.
Efficacia didattica: Buona.

Prima di tutto è necessario preparare l'accendino piezo-elettrico. Si consiglia di smontare la testina in modo da rendere accessibile l'elettrodo che va in tensione (Fig.6.1).

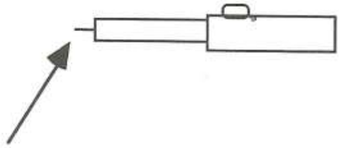

Fig. 6.1. L'elettrodo di tensione dell'accendi-gas piezoelettrico.

A questo si salda un filo dotato di rivestimento isolante. Un altro filo si connette al cappuccio conduttore (Fig. 6.2).

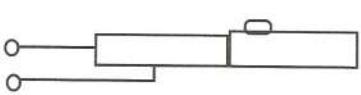

Fig. 6.2. I fili da applicare all'accendino.

Con del grosso filo di rame si sagomano le coppie di elettrodi della forma desiderata. Alcuni sono indicati in Fig. 6.3.

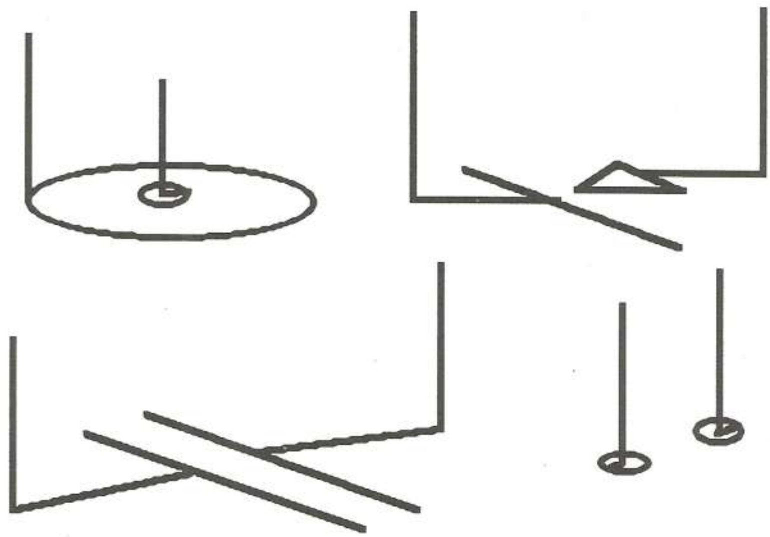

Fig.6.3. Forme che si suggeriscono per gli elettrodi.

Si colloca la vaschetta, larga, piatta e trasparente, sul piano della lavagna luminosa. Si versa olio di ricino per uno spessore di qualche millimetro e su questo si sparge un pizzico di polvere di semolino. Si mescola un poco e si introducono due elettrodi, posti ad una distanza inferiore al centimetro. Mediante due fili e due "coccodrilli" si collegano gli elettrodi ai due fili emergenti dall'accendino. Conviene fissare, in qualche modo, gli elettrodi al bordo della vaschetta. Accesa la lavagna luminosa, e messa a fuoco l'immagine, si preme sul pulsante dell'accendino. Si osserva che i granelli di semolino si dispongono a formare delle linee riconoscibili come quelle del campo elettrostatico.

7. PENDOLINO ELETTROSTATICO

Finalità della dimostrazione: Mostrare un effetto delle forze elettrostatiche.
Fascia di età in cui si può proporre: Liceo.
Grado di difficoltà concettuale: Basso.
Grado di difficoltà della realizzazione: Facile.
Materiali richiesti: Pallina da ping pong rivestita di grafite.
Due vecchi dischi microsolco ricoperti con un foglio di alluminio.
Un accendino piezo-elettrico trasformato come nella precedente esperienza.
Interesse suscitato: Buono.
Efficacia didattica: Buona.

Si prendono due vecchi dischi microsolco e, mediante due viti passanti per il foro centrale, li si fissa a due sostegni di materiale isolante, come nella Fig. 7.1.

Fig. 7.1. Apparato per la creazione del campo elettrostatico. I dischi devono essere ben isolati.

Li si ricopre quindi con due fogli circolari di alluminio. Infine, si collegano i dischi agli elettrodi uscenti dall'accendino piezo-elettrico della dimostrazione 6. Al centro, tra i due dischi, si appende, mediante un filo sottile di nylon, una pallina leggera, dalla superficie conduttrice. Può essere una pallina da ping pong ricoperta di grafite, o una vecchia pallina da albero di natale. A questo punto, se si preme il pulsante dell'accendino, si osserva che la pallina comincia a rimbalzare da un piatto all'altro.

8. FORZE MAGNETICHE

Finalità della dimostrazione: Interazione tra un magnete e un filo percorso da corrente.
Fascia di età in cui si può proporre: Liceo
Grado di difficoltà concettuale: Modesto
Grado di difficoltà di realizzazione: Molto facile
Materiali richiesti: Una lampada a filamento 220 V
Una lente convergente di focale 20-30 cm, montata su supporto
Un magnete permanente a ferro di cavallo
Interesse suscitato: Buono
Efficacia didattica: Buona.

Si consiglia di utilizzare una lampada a due filamenti lunghi e rettilinei, normalmente impiegata nell'esperienza di Young. Oscurata l'aula ed accesa la lampada, mediante la lente convergente, si mette a fuoco l'immagine del filamento sulla parete a qualche metro di distanza(Fig.8.1).

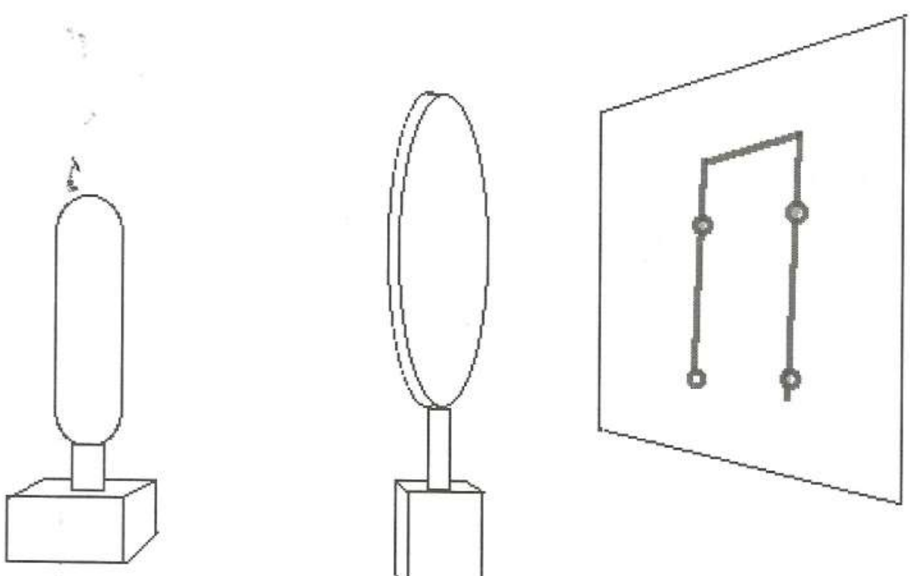

FIG.8.1. L'immagine del filamento della lampada viene messa a fuoco mediante una lente convergente.

Avvicinando il magnete alla lampada si osserva che il filamento entra in oscillazione.

Il filamento è percorso da una corrente alternata con frequenza 50 Hz ed è disposto perpendicolarmente al campo magnetico generato dal magnete. Sul filamento agisce quindi una forza di tipo sinusoidale, che lo mette in vibrazione. Se si dispone il campo nella direzione del filo le vibrazioni scompaiono.

9. COMPOSIZIONE DI OSCILLAZIONI

Finalità della dimostrazione: Mostrare la composizione di oscillazioni variamente sfasate.
Fascia di età in cui si può proporre: liceo
Grado di difficoltà concettuale: Abbastanza elevato
Grado di difficoltà di realizzazione: Facile
Materiali richiesti: Oscilloscopio a doppia traccia
Due bobine da 3600 spire
Nuclei per le bobine
Due magneti permanenti a ferro di cavallo
Due vecchi giradischi
Interesse suscitato: Discreto
Efficacia didattica: Discreta.

Si dispongono i giradischi per girare a 78 giri/min e sui due piatti, al centro, si collocano i magneti (Fig.9.1).

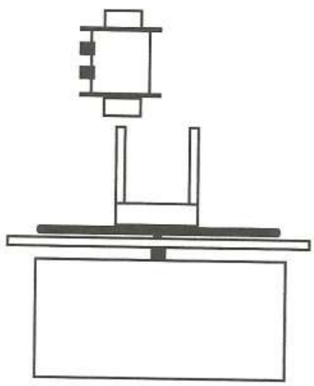

Fig. 9.1. Sul piatto del giradischi è appoggiato un magnete che induce un impulso di corrente nella bobina fissata al di sopra.

Al di sopra dei magneti si sospendono le due bobine con i relativi nuclei. Messi in rotazione i due piatti, si osservano i segnali periodici all'oscilloscopio. Inviando uno dei due alla deviazione orizzontale, si possono realizzare belle figure di Lissajous.

10. RIFRAZIONE

10.1. INGANNEVOLI PROFONDITA'

Finalità della dimostrazione: Determinazione dell'indice di rifrazione dell'acqua.
Fascia di età in cui si può proporre: liceo
Grado di difficoltà concettuale: Richiede una certa confidenza con la geometria.
Grado di difficoltà di realizzazione: Facile
Materiali richiesti: Lavagna luminosa
Una vaschetta trasparente.
Interesse suscitato: Discreto.
Efficacia didattica: Buona.

Il fondo di un recipiente pieno d'acqua appare ad una distanza inferiore al reale a causa della rifrazione della luce (Fig. 10.1)

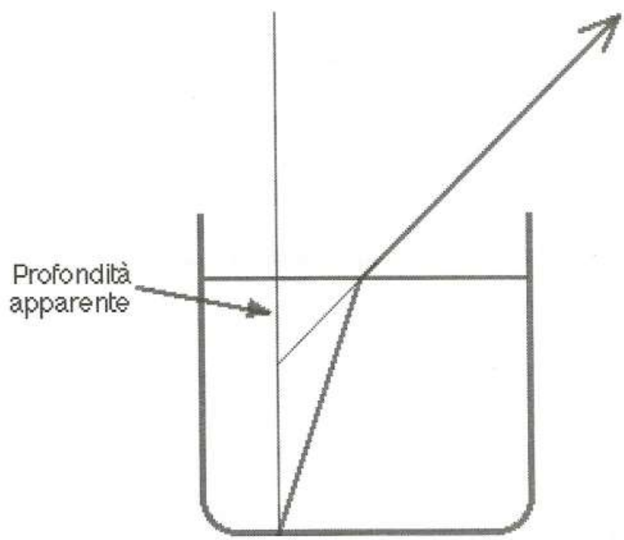

Fig.10.1. I raggi che partono dal fondo del recipiente subiscono una deviazione nel passaggio dall'acqua all'aria.

La legge della rifrazione

$$\frac{\operatorname{sen} i}{\operatorname{sen} r} = n$$

per gli angoli piccoli si riduce alla forma più maneggevole

$$\frac{i}{r} = n$$

che possiamo applicare al caso di raggi di luce che partono dal fondo del recipiente, prossimi alla verticale, e vengono deviati nel passaggio dall'acqua all'aria (Fig.10.2).

Dalla fig. 10.2 si ricava che

$$OQ = OP \times r = P\ r$$

$$OQ = OP' \times i = p\ i$$

da cui

$$\frac{P}{p} = \frac{i}{r} = n$$

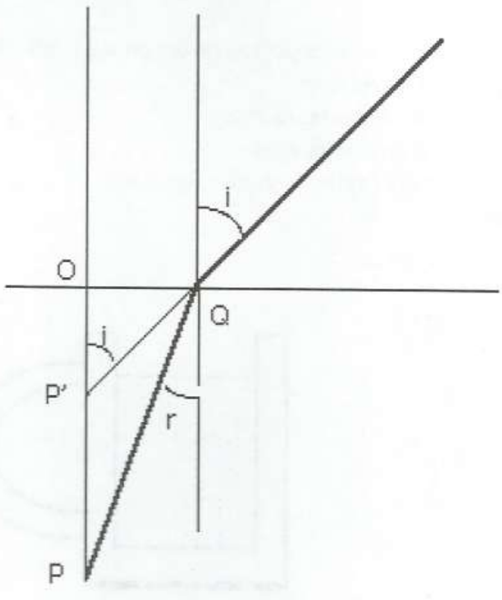

Fig. 10.2. La rifrazione di un raggio che forma un angolo piccolo rispetto alla verticale. OP è la profondità vera, che indichiamo con P ed OP' la profondità apparente p.

Sul piano della lavagna si appoggia un recipiente di vetro vuoto sul fondo del quale è stato fatto un disegno con penna grassa. Su uno schermo (che può essere il muro) si mette accuratamente a fuoco l'immagine. Con una penna si segna sul piantone della lavagna la posizione del cursore che sostiene lo specchio.

Si riempie d'acqua il recipiente (almeno una decina di centimetri) e si osserva che l'immagine non è più a fuoco. Per rimetterla a fuoco è necessario sollevare il cursore. Si segna sul piantone anche questa posizione. La differenza tra le due quote corrisponde alla differenza tra la profondità reale dell'acqua nel recipiente e quella apparente, cioè

$$\Delta h = P - p$$

Dal confronto tra le ultime due si ricava

$$\frac{1}{n} = 1 - \frac{\Delta h}{P}$$

cioè l'indice di rifrazione.

La prova si può ripetere con altri liquidi e con grossi spessori di vetro o plastica.

10.2. ILLUSIONI PER BEVITORI

Finalità della dimostrazione: Una bella applicazione dei principi dell'ottica geometrica.
Fascia di età in cui si può proporre: liceo
Grado di difficoltà concettuale: Abbastanza alto.
Grado di difficoltà di realizzazione: elementare
Materiali richiesti: Un bicchiere di vetro di grande spessore.
Interesse suscitato: alto
Efficacia didattica: Ottima.

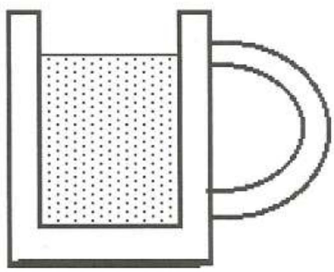

Fig.10.3. Un bicchiere da liquore di grosso spessore.

Siano R ed r il raggio esterno e quello interno del recipiente (Fig.36.1).
Si versa nel bicchiere del liquido colorato. Ciò che si osserva è che il raggio apparente del cilindro interno è molto maggiore di quello reale; tanto che può verificarsi che $r_{app} = R$.

Dimostriamo infatti che

$$r_{app} = nr$$

Nella Fig. 10.4 Os indica l'osservatore, OI il raggio del cilindro interno, OP quello del cilindro esterno, OA il raggio apparente del cilindro che si afferma essere uguale ad nr. Mandiamo da Os un raggio OsA tangente al cilindro apparente. Questo interseca il cerchio maggiore in un punto P. Da P inviamo la tangente al cilindro interno PI. Affermiamo che IP-POs è la traccia seguita dal raggio che parte da I.

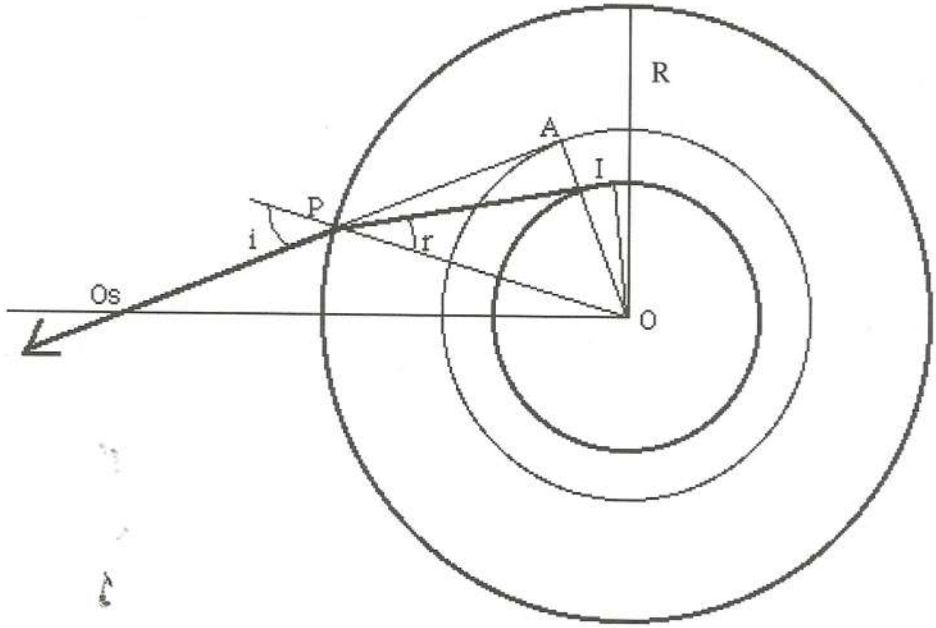

Fig. 10.4. Raggio interno reale e raggio apparente del cilindro determinato dalla rifrazione della luce.

Infatti,

$$\operatorname{sen}\hat{\imath} = \operatorname{sen}(APO) = \frac{OA}{R} = n\frac{r}{R}$$

e

$$\operatorname{sen}\hat{r} = \frac{OI}{OP} = \frac{r}{R}$$

per cui

$$\operatorname{sen}\hat{\imath} = n \operatorname{sen}\hat{r}.$$

Pertanto, il raggio interno apparente è uguale al raggio reale moltiplicato per l'indice di rifrazione. Se quindi il raggio interno è tale che

$$r = \frac{R}{n}$$

il boccale apparirà completamente pieno, anche se in realtà non è così.

11 LA LUNGHEZZA DI UN CHIODO

Finalità della dimostrazione: Elementare introduzione alla statistica.
Fascia di età in cui si può proporre: Scuola Media - Liceo
Grado di difficoltà concettuale: Dipende dall'abilità dell'insegnante.
Grado di difficoltà di realizzazione: Quasi nullo
Materiali richiesti: Un paio d'etti di chiodini da 2 o 3 cm.
Alcuni calibri.
Interesse suscitato: Discreto
Efficacia didattica: Buona.

Lo scopo è quello di introdurre il concetto di distribuzione statistica.
Come sempre è essenziale che l'insegnante non riveli in anticipo ciò che intende far scoprire agli allievi.
Si dedicano un paio di lezioni al calibro, facendo in modo che gli allievi acquistino una certa dimestichezza nell'uso dello strumento, addestrandoli alla misura di lunghezze e spessori, abituandoli a sfruttare le possibilità del nonio.
Si dà quindi l'incarico ad un gruppo di ragazzi di acquistare 2 etti di chiodi "da 3 cm esatti". Nella lezione successiva i chiodi vengono distribuiti tra gli studenti muniti di calibro e si chiede loro di controllare la lunghezza dei chiodi. Anche con un'accuratezza del decimo di millimetro si mette in evidenza una dispersione della lunghezza dei chiodi. Assumendo un intervallo di O,2 mm, si può rappresentare con un istogramma la distribuzione dei valori della lunghezza misurata. Si ottiene un grafico simile a quello di Fig. 11.1.

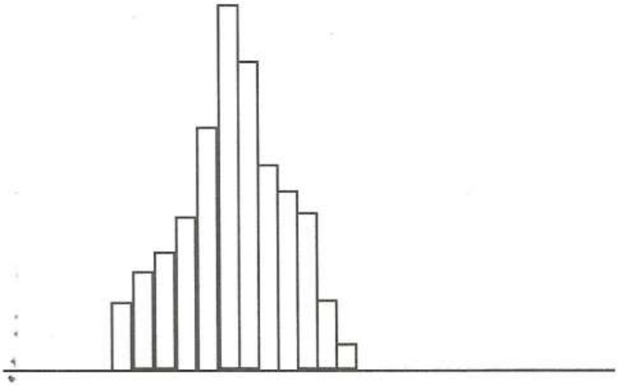

Fig. 11.1 Distribuzione statistica della lunghezza dei chiodi. In ascisse sono riportati gli intervalli di lunghezza dei chiodi; in ordinate il numero delle volte che una certa misura si presenta.

Si pone a questo punto il problema di descrivere il risultato di questa misura.
In verità, la descrizione del risultato è l'istogramma; ma noi vogliamo altro:

vogliamo darne una descrizione sintetica. A tale scopo definiamo:
1. Il VALOR MEDIO

$$\langle X \rangle = \frac{N_1X_1 + N_2X_2 + \ldots + N_nX_n}{N_1 + N_2 + \ldots + N_n}$$

dove le X indicano i valori e le N il numero di volte che si presentano.

2. Gli SCARTI

$$S_i = X_i - \langle X \rangle$$

3. Lo SCARTO QUADRATICO MEDIO

$$\langle S^2 \rangle = \frac{N_1S_1^2 + N_2S_2^2 + \ldots + N_nS_2^2}{N_1 + N_2 + \ldots + N_n}$$

4. La DEVIAZIONE STANDARD

$$\sigma = \sqrt{\langle S^2 \rangle}$$

Questa si può introdurre come una misura della dispersione dei valori ottenuti intorno al valor medio allo scopo di individuare un intervallo, centrato sul valor medio, in cui abbia una buona probabilità di cadere la prossima misura che faremo.
Risultati molto interessanti si ottengono "inquinando" i chiodi della misura utilizzata con altri di lunghezza poco diversa . Si ottiene allora una distribuzione del tipo di Fig. 11.2.

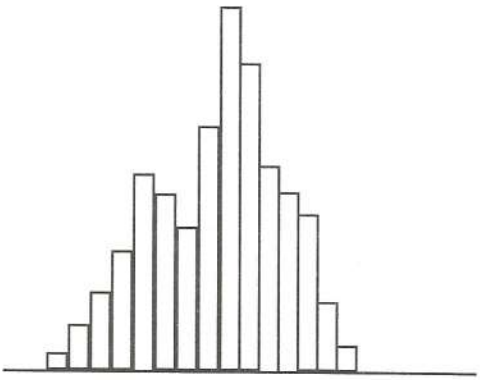

Fig.11.2. Distribuzione delle misure ottenute da una scatola di chiodini di due diversi tipi.

Didatticamente, un buon punto di partenza è porre i ragazzi dinanzi alla domanda: i chiodi forniti appartengono o no alla stessa famiglia?

12. PALLINI DA CACCIA E MEDIE

12.1. MISURA DEL DIAMETRO CON PROIETTORE

Finalità della dimostrazione: Utilizzare la similitudine geometrica per una misura.
Fascia di età in cui si può proporre: Scuola media - biennio.
Grado di difficoltà concettuale: Modesto.
Grado di difficoltà di realizzazione: elementare
Materiali richiesti: Pallini da caccia
Proiettore per diapositive
Interesse suscitato: Buono
Efficacia didattica: Discreta.

I pallini da caccia si trovano a poco prezzo nei negozi di articoli per la caccia. Hanno diametri diversi, a partire da 1,5 mm . Le differenze di misura tra un pallino e l'altro di uno stesso tipo sono abbastanza significative da consentire considerazioni statistiche.
Mediante una striscia di carta adesiva trasperente si incolla sul telaio di una diapositiva un pallino e se ne proietta l'immagine (Fig.12.1).

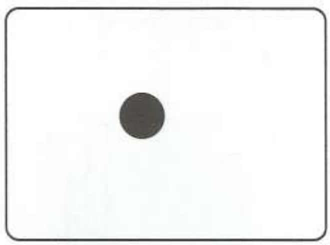

Fig. 12.1. Pallino di piombo incollato ad un telaietto da diapositiva.

Si misura il diametro dell'immagine e lo si confronta con la larghezza dell'immagine del telaio. Il rapporto tra la larghezza del telaio e quella della sua immagine fornisce il fattore di ingrandimento. Da questo si ricavano le dimensioni del pallino.
Conviene ripetere la misura con diversi pallini "della stessa misura" e con pallini di diametro diverso.

12.2. MISURA DEL DIAMETRO CON CARTA MILLIMETRATA

Finalità della dimostrazione: Introdurre il concetto di media aritmetica.
Fascia di età in cui si può proporre: Scuola media -biennio.
Grado di difficoltà concettuale: Molto modesto.
Grado di difficoltà di realizzazione: elementare
Materiali richiesti: Pallini da caccia
Carta millimetrata.
Interesse suscitato: Buono
Efficacia didattica: Discreta.

La misura dev'essere compiuta dagli studenti. Gli si fornisce una striscia di carta millimetrata. Questa va ripiegata lungo una delle linee graduate. Sulla striscia piegata a V si dispongono 10 pallini in modo che siano adiacenti, come in Fig. 12.2.

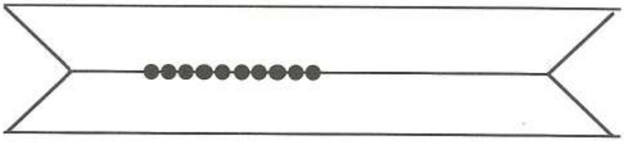

Fig.12.2. Come misurare il diametro medio di un pallino con una striscia di carta millimetrata.

Si legge sulla carta la lunghezza coperta dalla sequenza e, da questa, si ottiene il diametro di un pallino.
E' necessario sottolineare che questa che si ottiene è la risposta alla domanda: Se al posto di 10 pallini di diametri leggermente diversi avessimo 10 pallini rigorosamente uguali e tali che, disponendoli nello stesso modo, coprissero la stessa distanza, quale sarebbe il loro raggio?
Si tratta della MEDIA ARITMETICA:

$$\bar{R}_A = \frac{\sum R_i}{N}$$

12.3. MISURA DEL DIAMETRO CON UNA BILANCIA

Finalità della dimostrazione: Introdurre il concetto di media non-aritmetica
Fascia di età in cui si può proporre: Scuola media -biennio.
Grado di difficoltà concettuale: Modesto.
Grado di difficoltà di realizzazione: Facile
Materiali richiesti: Pallini da caccia
Bilancia da laboratorio
Interesse suscitato: Discreto
Efficacia didattica: Buona.

In un contenitore di carta, preventivamente pesato, si raccoglie un centinaio di pallini. Li si pesa e si ricava la massa di un pallino. Conoscendo la massa volumica del piombo [ρ=11,3 g/cm^3], si ricava il volume di un pallino e da qui il suo raggio.
Anche questa misura è una media; risponde infatti alla domanda:
Se, al posto di N pallini diversi, avessimo un ugual numero di pallini tutti uguali, quale dovrebbe essere il loro raggio affinchè la massa totale fosse la stessa?

La risposta è

$$\overline{R}_3 = \sqrt[3]{\frac{\sum R_i^3}{N}}$$

Si può osservare che

$$\overline{R}_3 > \bar{R}_A$$

13. VISCOSITÀ DI UN LIQUIDO

Finalità della dimostrazione: Riconoscere le grandezze che operano in un fenomeno.
Fascia di età in cui si può proporre: Liceo.
Grado di difficoltà concettuale: Facile.
Grado di difficoltà di realizzazione: elementare
Materiali richiesti: pallini da caccia da 1,5 mm a 6 mm.
sferette da cuscinetto di diametro diverso
Cilindro graduato
Glicerina
Cronometro
Interesse suscitato: Buono
Efficacia didattica: Buona.

E' necessario preventivamente misurare i diametri dei pallini (sfere da cuscinetto o pallini da caccia) che si intendono utilizzare.
Si riempie di glicerina un cilindro di vetro. Si pone un proiettore dietro il cilindro ed una lente davanti, in modo da creare un'immagine a fuoco su uno schermo.

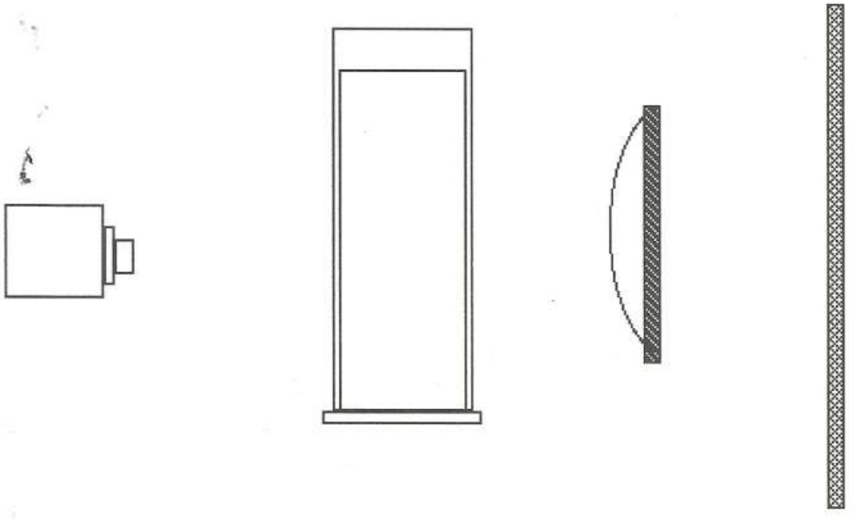

Fig.13.1. Disposizione sperimentale: la lente produce un'immagine ingrandita del cilindro illuminato dal proiettore.

Utilizzando una pinzetta, si lasciano cadere pallini di diametro diverso nel cilindro e si osserva che:
il moto di discesa è uniforme
la velocità cresce al crescere del diametro
Ci si attrezza allora per misure di velocità, tracciando sullo schermo due traguardi e preparando il cronometro. Conviene fare diverse misure con

pallini dello stesso diametro prima e variare il diametro in seguito.

I risultati che si ottengono consentono di escludere una dipendenza lineare (Fig. 13.2).

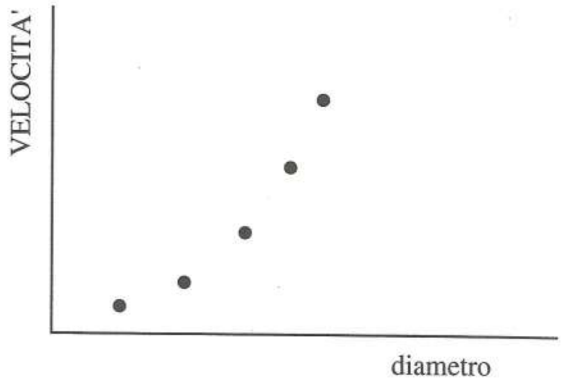

Fig. 13.2. I valori sperimentali riportati su un grafico.

Ipotizziamo allora una dipendenza quadratica, cioè che

$$v \propto R^2$$

Perchè la velocità dovrebbe essere proporzionale al quadrato del raggio? Perchè proporzionale al peso (quindi al volume) e inversamente proporzionale al raggio:

$$v \propto \frac{R^3 g}{R} \propto \frac{mg}{R}$$

Per controllare se l'ipotesi è corretta si fa una prova con due biglie di eguale raggio, una di piombo e una d'acciaio , per le quali il rapporto delle densità è circa 1,4. Questo dovrebbe essere anche il rapporto delle velocità. I risultati confortano questa ipotesi. Pertanto si può affermare che il rapporto

$$\frac{mg}{vR}$$

che ha le dimensioni di una massa divisa per una lunghezza e un tempo è una proprietà che caratterizza il liquido. Potremmo chiamarla VISCOSITÀ del liquido.

A questo punto si può cambiare liquido (ad es. olio di semi) e determinare la sua viscosità in rapporto a quella della glicerina.

14. RESISTORI IN SERIE E IN PARALLELO

Finalità della dimostrazione: Illustrare il significato di serie e parallelo.
Fascia di età in cui si può proporre: Scuola media - liceo
Grado di difficoltà concettuale: Modesto
Grado di difficoltà di realizzazione: Facile
Materiali richiesti: Alcune lampadine da torcia elettrica
Voltmetri ed amperometri da dimostrazione
Cavetti di collegamento.
Alimentatore 0 - 25 V_{CC}.
Alcuni resistori da 100 W, 1/4 W.
Interesse suscitato: Buono
Efficacia didattica: Ottima.

Si realizza il circuito di Fig. 14.1, dove L indica una lampada ed A un alimentatore a f.e.m. variabile.

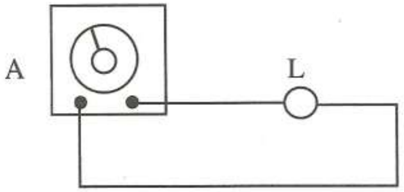

Fig.14.1. Una lampadina alimentata con un generatore a f.e.m. variabile.

Da questo, mantenendo invariata la tensione di alimentazione, si passa a quello di Fig. 14.2 nel quale si hanno due lampade in serie.

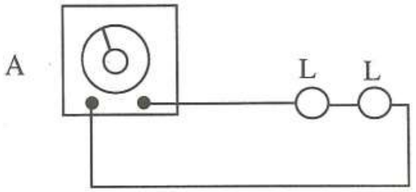

Fig. 14.2. Con la stessa f.e.m. si alimentano due lampade in serie.

Si osserva che la luminosità di ciascuna lampada diminuisce. Inserendo nel circuito un amperometro e due voltmetri (Fig. 14.3),

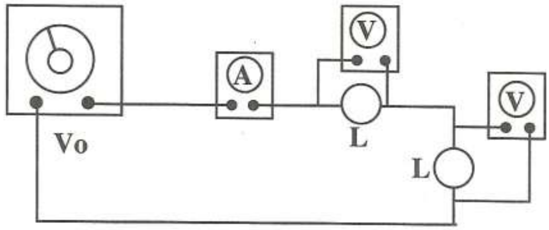

Fig. 14.3. Come misurare la corrente e la tensione su ciascuna lampada.

si verifica che, con due lampade in serie
a) l'intensità di corrente diventa la metà;
b) la tensione si distribuisce: metà su una lampada e metà sull'altra.
Quindi, la potenza emessa da ciascuna lampada è

$$\frac{V_0}{2} \times \frac{i_0}{2}$$

cioè 1/4 della potenza emessa nella precedente situazione.
Se ne deduce che le due resistenze equivalgono ad un'unica resistenza di valore doppio.
Ritornati al circuito di Fig. 14.1, fissata la tensione di alimentazione, in parallelo alla prima lampada se ne collega una seconda. Si osserva che la luminosità della prima non viene sensibilmente influenzata dal collegamento della seconda.
Inserendo nel circuito due amperometri (Fig. 14.4),

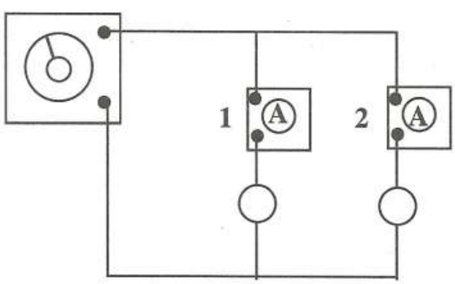

Fig. 14.4. Due amperometri consentono di misurare la corrente che fluisce in ogni lampada.

si può rilevare che

$$i_1 = i_2$$

Quindi le due resistenze in parallelo equivalgono ad una sola resistenza di valore metà.

15.IL VOLUME DELL'UOVO

Finalità della dimostrazione: Ricavare una formula per il calcolo delvolume dell'uovo.
Fascia di età in cui si può proporre: Liceo.
Grado di difficoltà concettuale: Richiede la conoscenza della geometria analitica.
Grado di difficoltà della realizzazione: Elementare.
Materiali richiesti: Lavagna luminosa.
Un uovo.
Bilancia idrostatica.
Interesse suscitato: Buono.
Efficacia didattica: Ottima.

Esiste una formula che consenta di calcolare il volume di un uovo a partire dalle sue dimensioni?

Utilizzando un opportuno sostegno (ad es. un anello) si appoggi un uovo sul piano di una lavagna luminosa, in modo tale che il suo asse longitudinale sia parallelo al piano stesso. Si ottiene così una magnifica immagine ingrandita del profilo dell'uovo (Fig.15.1).

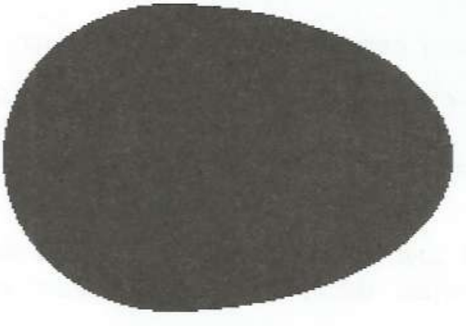

Fig. 15.1. Il profilo di un uovo proiettato con una lavagna luminosa.

Questa si può riportare su un foglio da disegno per essere studiata con comodo. Si comincia col tracciare l'asse di simmetria e poi un asse passante per i punti di massimo rigonfiamento della superficie.
Sul profilo dell'uovo possiamo avanzare l'ipotesi che sia costituito da due semiellissi di diversa eccentricità; ovvero che sia ottenibile dalla circonferenza di raggio R per deformazione nella direzione dell'asse di simmetria (Fig. 15.2).

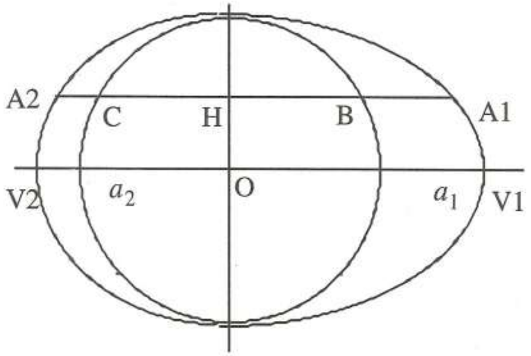

Fig. 15.2. Il profilo dell'uovo si può ritenere ottenuto da un cerchio deformato in misura diversa lungo l'asse maggiore di simmetria.

Questo significa che, se si considera una retta parallela all'asse, risultano costanti i rapporti

$$\frac{HA_1}{HB} \quad e \quad \frac{HA_2}{HC}$$

In particolare, dev'essere

$$\frac{HA_1}{HB}=\frac{OV_1}{R} \quad e \quad \frac{HA_2}{HC}=\frac{OV_2}{R}.$$

I risultati delle misure confortano la nostra ipotesi, per cui terremo per buona l'affermazione:

il profilo di un uovo è generato da una circonferenza di diametro uguale al diametro equatoriale, deformata secondo il rapporto $\frac{a_1}{R}$ per la parte più acuta e $\frac{a_2}{R}$ per la parte più tozza.

O anche,

La superficie di un uovo ha origine da una sfera di diametro uguale al diametro equatoriale, deformata in due ellissoidi secondo i rapporti

$$\frac{a_1}{R} \text{ ed } \frac{a_2}{R}.$$

Ora, il volume di una semisfera è $\frac{2}{3}\pi R^3$. Se questa viene deformata secondo il rapporto $\frac{a_1}{R}$, diventa $\frac{2}{3}\pi\frac{a_1}{R}R^3=\frac{2}{3}\pi a_1 R^2$. Per l'altra parte il volume è $\frac{2}{3}\pi a_2 R^2$.

Sommandoli si ottiene il volume dell'uovo:

$$V = \frac{2}{3}\pi\ (a_1 + a_2)R^2$$

che conviene scrivere

$$V = \frac{4}{3}\pi a R^2 \qquad (1)$$

dove a indica il valor medio di a_1 e a_2, cioè il semiasse maggiore. Un accurato controllo della (1) si può fare con una bilancia idrostatica (Fig. 15.3).

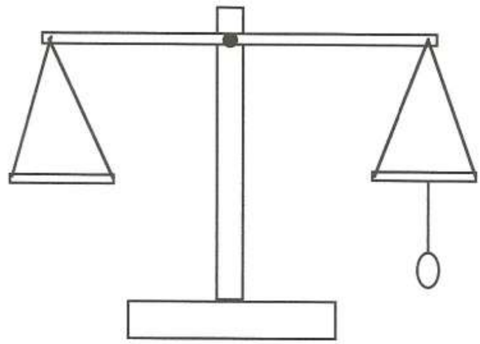

Fig. 15.3. Uso della bilancia idrostatica per la misura del volume di UN uovo.

Si appende l'uovo ad uno dei bracci e si equilibra la bilancia. Se si immerge l'uovo in acqua, per ripristinare l'equilibrio bisogna aggiungere al piatto B un peso uguale alla spinta idrostatica. Il volume dell'uovo, in cm^3, è quindi uguale alla massa, in grammi, che bisogna aggiungere per rispristinare l'equilibrio.

Le misure effettuate consentono di introdurre alcune riflessioni non banali sul significato della geometria:
La formula trovata vale solo per il nostro o per la totalità delle uova? Se trovassimo che un uovo non obbedisce alla (1) sarebbe sensato dire che la formula è errata oppure che la forma dell'uovo non è quella ideale?

16. IL DIAVOLETTO DI CARTESIO

Finalità della dimostrazione: La spinta idrostatica dipende dal volume del corpo immerso.
Fascia di età in cui si può proporre: Scuola media - liceo
Grado di difficoltà concettuale: Modesto
Grado di difficoltà di realizzazione: Abbastanza difficile
Materiali richiesti: Vedi testo
Interesse suscitato: alto
Efficacia didattica: Ottima.

Era una dimostrazione molto comune nei libri di testo ante-guerra e ormai scomparsa dalle scuole secondarie. Si tratta di questo:
Un pupazzetto - che nei vecchi testi aveva l'aspetto di un diavolo - ha la proprietà di galleggiare appena sotto il livello dell'acqua. Lo si colloca in un cilindro quasi pieno d'acqua. Si chiude poi strettamente l'imboccatura del recipiente con un foglio di gomma a tenuta d'aria (Fig. 16.1). Premendo sulla gomma con la mano, si osserva che il diavoletto affonda; quando si toglie l'eccesso di pressione, il diavoletto riemerge.

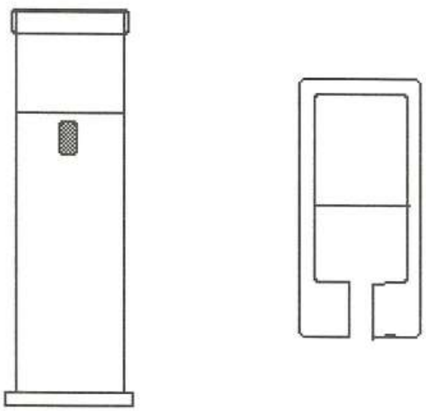

Fig. 16.1. Cilindro di vetro quasi pieno d'acqua in cui flotta il diavoletto e la sua struttura interna (camera d'aria).

Il fenomeno ha una facile spiegazione:
Il pupazzo è internamente cavo e la cavità è in comunicazione con l'esterno attraverso un foro che sfocia nella parte inferiore (Fig. 16.2).
Quando il diavoletto è immerso in acqua la cavità è quasi completamente occupata da aria. Aumentando la pressione esterna, l'acqua entra nella cavità, comprimendo l'aria, tanto che la densità media del pupazzo diventa maggiore di quella dell'acqua e ciò ne provoca l'affondamento.

Un diavoletto di può realizzare con una siringa per iniezioni nella quale si introducono pallini in misura tale che appena galleggi. L'operazione va condotta con cura, dopo di che si salda il pistone della siringa. Raggiunta la situazione in cui il diavoletto flotta appena sotto il livello dell'acqua, basta introdurlo in un cilindro trasparente - parzialmente pieno d'acqua- del quale si chiude la bocca superiore con un pezzo di gomma elastica, fissata in modo che non vi siano perdite d'aria. Applicando una pressione sul setto di gomma, si osserva che il diavoletto affonda.

La dimostrazione è più interessante se come diavoletto si utilizza un uovo preventivamente svuotato.

Se si dispone di un cilindro munito di un'apertura laterale in prossimità del fondo si può realizzare la disposizione illustrata in Fig. 16.2.

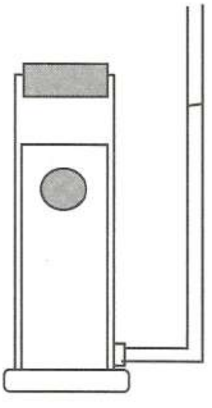

Fig. 16.2. Come aumentare la pressione all'interno del cilindro.

Cioè si tappa rigidamente il cilindro e attraverso al foro inferiore si fa passare un tubo ad L. Versando acqua nel tubo si osserva che, ad un certo punto, il diavoletto comincia ad affondare. Se si stappa il cilindro, il diavoletto riemerge.

Un arrangiamento alternativo è rappresentato in Fig. 16.3.

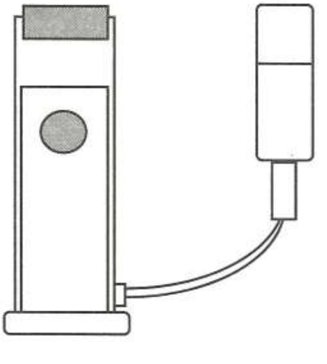

Fig. 16.3. Un altro modo per aumentare la pressione all'interno del cilindro.

Il foro inferiore é collegato, mediante un tubo flessibile, ad un recipiente che contiene acqua. Sollevando la bottiglia si provoca l'affondamento del diavoletto.
Infine, si può provocare l'affondamento, con il cilindro senza aperture e rigidamente tappato, immergendo il recipiente in acqua tiepida: ad un aumento di temperatura corrisponde un aumento della pressione nella camera d'aria e quindi un imbarco d'acqua da parte del diavoletto.

Invece del cilindro di vetro si può utilizzare una comune bottiglia di plastica da acqua minerale. Il diavoletto di può realizzare anche con un pezzetto di polistirolo opportunamente zavorrato: i pori del materiale fungono da vescica natatoria in quanto contengono aria.

Una dimostrazione che colpisce si ottiene introducendo il diavoletto in una bottiglia parzialmente piena di acqua gassata. Tappata la bottiglia, si osserva che il diavoletto, dopo un poco, spontaneamente, affonda. Per farlo riemergere basta allentare per un momento il tappo. Come si spiega questo fenomeno?

17. DIAMETRO ANGOLARE DEL SOLE

Finalità della dimostrazione: Misurare direttamente il diametro angolare del sole
Fascia di età in cui si può proporre: Scuola media - liceo
Grado di difficoltà concettuale: Modesto
Grado di difficoltà di realizzazione: Facile
Materiali richiesti: macchina fotografica
cavalletto
vetro affumicato
orologio
Interesse suscitato: Abbastanza alto
Efficacia didattica: Buona.

Per diametro angolare del Sole si intende l'ampiezza dell'angolo che ha il vertice nell'osservatore (Terra) ed i cui lati vanno agli estremi di un diametro del disco solare (Fig. 17.1).

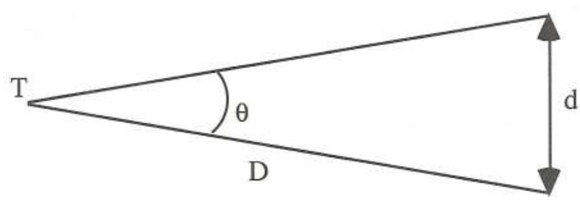

Fig. 17.1. Il diametro angolare del Sole. T=Terra; d= diametro del Sole, D= distanza Terra-Sole, θ= diametro angolare del Sole.

Il disegno non rappresenta adeguatamente la realtà perchè l'angolo θ è, in realtà, molto piccolo, essendo D>>d. Questo ci consente di affermare che

$$\theta^\circ \frac{\pi}{180} = \frac{d}{D} \qquad (1)$$

dove θ° è la misura in gradi dell'angolo. Infatti, se, con centro in T, immaginiamo di tracciare una circonferenza di raggio D, l'arco passante per gli estremi del diametro solare si può identificare con la corda stessa .
Allora il rapporto tra la corda e l'intera circonferenza è uguale al rapporto tra l'angolo θ e l'intero angolo giro:

$$\frac{d}{2\pi D} = \frac{\theta^\circ}{2 \times 180^\circ}$$

Da questa si ricava la (1).

Per fare la misura conviene procurarsi un vetro ricavato da un paio di occhiali da saldatore, dotato di un coefficiente di trasmissione tale da consentire di guardare il sole direttamente senza fastidio. Fissata la macchina fotografica al

cavalletto, dopo aver posto la focale all'infinito, si colloca il filtro davanti all'obiettivo e la si orienta verso il sole. Per una sensibilità di 100 ASA, si ottengono buoni risultati con un'esposizione di 1/100 di secondo e un diaframma 8-16. Si scatta una prima fotografia e dopo 5 minuti un'altra sullo stesso fotogramma. E' importante che, nel caricare l'otturatore, la macchina non subisca spostamenti. Si ripete l'operazione due o tre volte (fino a che il sole è nel campo dell'obiettivo).
Dopo lo sviluppo si ottiene una diapositiva simile al disegno di Fig.17.2.

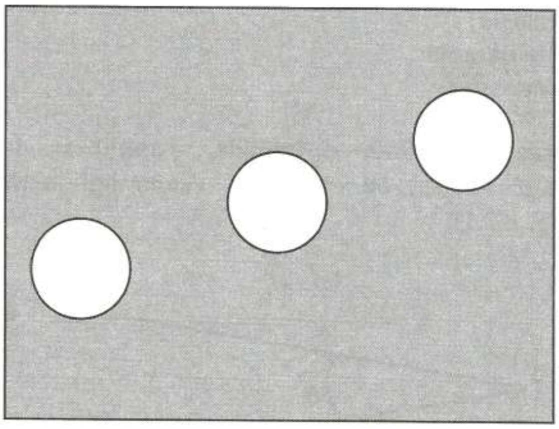

Fig. 17.2. Fotografia del Sole a posa multipla.

Si proietta la diapositiva su uno schermo di carta bianca sul quale si fanno le misure.
Occorre tener presente che il sole fa un giro completo (360°) in 24 ore, quindi ogni minuto si sposta di

$$\frac{360 \times 60}{24 \times 60} = 15\,primi.$$

Pertanto, in 5 minuti percorre 75' d'angolo. Se allora si traccia una retta tangente alle immagini del sole (Fig. 17.4), i punti di tangenza distano di 75'.

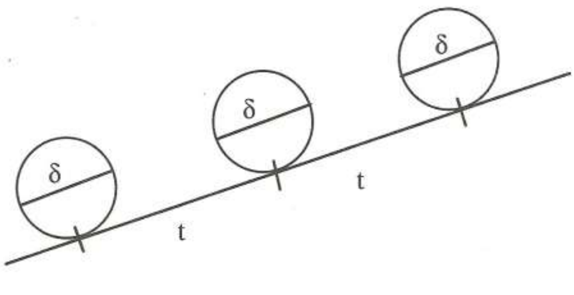

Fig.17.3. Ogni cinque minuti il Sole si sposta di 75' nel cielo.
Sia t la distanza, misurata sull'immagine proiettata, tra i punti di tangenza, e

δ la misura del diametro dell'immagine. Sarà

$$\frac{\delta}{t} = \frac{\theta}{75}$$

da cui si ricava il diametro angolare in primi di grado.

L'ideale sarebbe fare due misure: una in gennaio, quando la Terra si trova in Perielio, cioè alla minima distanza dal Sole, e una in giugno, quando la Terra si avvia all'Afelio - massima distanza dal Sole (Fig. 17.4). Dal confronto tra le due misure si ricava il rapporto R tra i due diametri apparenti. Ma il rapporto dei diametri apparenti è uguale al rapporto inverso delle distanze:

$$\mathrm{R} = \frac{\theta_{\max}}{\theta_{\min}} = \frac{D_{\min}}{D_{\max}}.$$

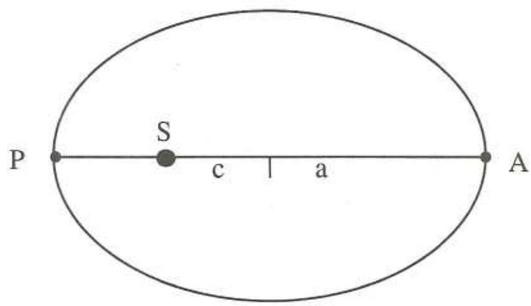

Fig. 17.4. Orbita della Terra intorno al Sole.

Dall Fig. 17.4 si ricava tale rapporto in funzione dell'eccentricità ε dell'orbita:

$$R = \frac{a+c}{a-c} = \frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon}$$

Pertanto le misure consentono una stima di ε (che non supera il 2%).

18. CENTRO DI MASSA DEL CORPO UMANO

Finalità della dimostrazione: Individuare la posizione del centro di massa del corpo
Fascia di età in cui si può proporre: Scuola media - liceo
Grado di difficoltà concettuale: Molto modesto
Grado di difficoltà di realizzazione: Facilissimo
Materiali richiesti: Nessuno
Interesse suscitato: Molto alto
Efficacia didattica: Ottima.

L'insegnante invita uno studente maschio a compiere un esperimento. Si tratta di questo: il ragazzo, posto di fronte ad una parete, ad una distanza esattamente uguale a due suoi piedi, piega il busto fino ad appoggiarsi al muro con la testa . L'insegnante porge al ragazzo una borsa (o un altro oggetto del peso di qualche chilogrammo) e lo invita quindi a sollevarsi: generalmente, la cosa non gli riesce, nonostante gli sforzi. Dopo avergli permesso di fare altri tentativi - sempre inutili - l'insegnante invita tutti gli studenti a fare la stessa prova, controllando che la distanza della punta dei piedi dal muro sia uguale alla lunghezza di due piedi del ragazzo che esegue il test (Fig. 18.1). Conviene anche registrare, per ognuno, l'esito della prova. Si scopre così che il risultato dipende dal sesso del soggetto: per i maschi l'esito è negativo, per le femmine positivo. E' utile suscitare la discussione tra gli studenti sulle possibili spiegazioni del fenomeno.

Si può rifare la prova variando la distanza dei piedi dalla parete. Ci si rende conto allora che vi è una distanza critica, molto ben individuabile, superata la quale, non è possibile sollevarsi senza appoggiare le mani al muro.

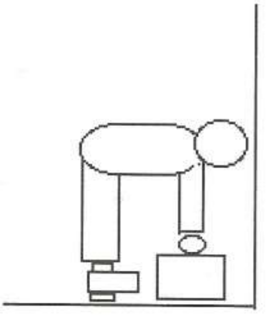

Fig. 18.1. La posizione di partenza. La distanza della punta delle scarpe dal muro non dev'essere inferiore al doppio della lunghezza del piede.

Questo avviene quando la vericale condotta per il baricentro del tronco (più il peso che si vuole sollevare) cade oltre la punta dei piedi. Nella prova i maschi sono svantaggiati rispetto alle femmine perchè, a causa delle maggiori masse muscolari delle spalle, il baricentro del torso è spostato verso la testa.

19. SALTARE A PIE' PARI

Finalità della dimostrazione: Misurare (rozzamente) la forza impulsiva sviluppata dalle gambe.
Fascia di età in cui si può proporre: Scuola media - liceo
Grado di difficoltà concettuale: Modesto
Grado di difficoltà di realizzazione: Facilissimo
Materiali richiesti: Nessuno
Interesse suscitato: Buono
Efficacia didattica: Ottima.

Si propone agli studenti una gara di salto in alto a piedi uniti. A questo scopo si nominano alcuni giudici che hanno il compito di misurare l'altezza del salto. Ad una parete si fissa un cartellone sul quale è tracciata una sequenza di linee orizzontali che misurano la distanza dal pavimento. Il giudice si dispone davanti al cartellone in piedi su uno sgabello, in modo da poter traguardare la testa del saltatore e stimare l'altezza raggiunta nel salto. Il candidato deve saltare tenendo le mani in tasca (o legate alla cintura) in modo da non poter sfruttare la spinta delle braccia. Occorre fare tre misure: altezza H_a del saltatore accucciato (posizione di preparazione al salto), altezza H_p del saltatore in piedi, altezza H_s raggiunta nel salto. Conviene fare diverse prove per ogni studente - anche perchè saltare con le mani legate non è naturale - e raccogliere il risultati in una tabella. Il lavoro compiuto dalla forza F sviluppata dalle gambe incrementa l'energia potenziale del corpo:

$$F(H_p - H_a) = mg(H_s - H_a)$$

Da questa

$$F = \frac{H_s - H_a}{H_p - H_a} mg = k\ mg$$

Le misure forniscono un valore di k prossimo a $1{,}2 \div 1{,}3$.

20. CORSA PER LE SCALE

Finalità della dimostrazione: Misurare (rozzamente) la potenza sviluppata dalle gambe
Fascia di età in cui si può proporre: Scuola media - liceo
Grado di difficoltà concettuale: Molto modesto
Grado di difficoltà di realizzazione: Facilissimo
Materiali richiesti: Alcune rampe di scale, cronometro, cordella metrica, bilancia pesa-persone.
Interesse suscitato: Buono
Efficacia didattica: Ottima.

Si propone una gara di salita delle scale, con la regola di non aiutarsi afferrandosi al corrimano.
Tutti gli studenti della classe devono cimentarsi nella prova e per ognuno viene preso il tempo della salita. Si stila anche una graduatoria che viene resa pubblica. Tuttavia, questa non è la misura della potenza sviluppata. Per misurare la potenza è necessario misurare il dislivello H dei pianerottoli tra i quali si è svolta la gara e la massa m di ciascuno dei partecipanti. La potenza sviluppata da ognuno è data da

$$P = \frac{mgH}{t}$$

dove t è il tempo impiegato. Si fa quindi una graduatoria delle potenze e si constata che questa non coincide con quella delle velocità. A questo proposito si può sviluppare un discorso analogo a quello famoso di Galileo sulle dimensioni degli animali nella giornata seconda dei "*Discorsi e dimostrazioni intorno a due nuove scienze*". Consideriamo due ragazzi in tutto identici fuor che nelle dimensioni: l'altezza del ragazzo A è k volte l'altezza del ragazzo B. La sezione delle gambe di A è quindi k^2 volte la sezione corrispondente di B. Poichè sembra ragionevole assumere che la forza sviluppata dalla gamba sia proporzionale alla sua sezione, ne deriva che la forza prodotta da A è k^2 volte quella prodotta da B. Tuttavia, il volume - quindi la massa - va con il cubo del rapporto delle dimensioni; per cui la massa di A è k^3 volte la massa di B. Ne consegue che il rapporto tra la forza e la massa a cui è applicata, cioè l'accelerazione, diminuisce con l'aumentare delle dimensioni. In conclusione, nella gara di salita delle scale sono avvantaggiati quelli che hanno un corpo minuto e leggero.