

**Fabrizio
Giannelli,
Simona Galli**

*IIS "A. Cesaris",
Casalpusterleno (LO)*

Esperimenti a "costo zero" sul moto uniforme

(Pervenuto il 10.1.2011, approvato il 23.5.2011)

ABSTRACT

It is possible to study the uniform motion by using common objects taken from daily life. Cans, balloons, test tubes, olive oil and glycerine allow to make self-made devices, which are easy to handle and to use. The choice of using common materials let all students reproduce the most of this equipment at home and carry out the experiments by themselves.

Introduzione

L'istituto presso cui insegniamo offre, tra gli altri, un percorso di Liceo Tecnologico e uno di Liceo Biologico, connotati da un fondamentale carattere sperimentale. La riforma prevede, al loro posto, il "Liceo delle Scienze applicate" e la revisione del curriculum per questa articolazione ha portato, nel Biennio, una notevole riduzione del monte ore dedicato alla Fisica, togliendo tutte le ore dedicate al laboratorio.

D'altro canto la riforma stessa enfatizza l'aspetto laboratoriale delle discipline scientifiche e quindi i docenti sono chiamati a rivedere le forme tradizionali della didattica, per prevedere, in modo non occasionale, dei momenti dedicati alla sperimentazione, in cui gli alunni siano i reali protagonisti dell'attività di osservazione e misurazione. Questo ci ha spinto a pianificare alcuni esperimenti che permettano in modo semplice e veloce lo studio quantitativo di diversi fenomeni fisici, cercando di utilizzare "materiale povero" facilmente reperibile ed assemblabile, fornendo la possibilità agli alunni di realizzare con le proprie mani degli apparati adatti a effettuare misurazioni significative.

Tradizionalmente, nei laboratori di Fisica, quando si vuole verificare la legge oraria del moto uniforme si utilizza la rotaia a cuscino d'aria. Tale dispositivo è molto utile, ma il suo costo relativamente alto e lo spazio che occupa non consentono di averne più di uno per laboratorio. Di conseguenza, spesso, le misure o vengono effettuate dal docente (ma i ragazzi rimangono semplici spettatori) o dai vari gruppi di studenti che si susseguono; questo comporta l'impossibilità di coinvolgere tutti gli alunni contemporaneamente con il rischio di un conseguente calo dell'interesse e dell'attenzione.

In questo lavoro descriveremo alcuni apparati "fatti in casa", molto semplici da realizzare e utili per lo studio del moto uniforme [1]. La maggior parte degli apparati proposti sfrutta, a differenza della rotaia a cuscino d'aria, l'effetto delle forze dissipative che sono, nei fenomeni osservati, sempre funzione crescente della velocità. Infatti, per ottenere il moto uniforme, dopo una fase transitoria di moto accelerato, si raggiunge una situazione in cui la forza dissipativa equilibra la risultante delle altre forze. Tutti i dispositivi sono stati realizzati da noi; per alcuni l'idea per la loro realizzazione è stata reperita da riviste e testi vari di didattica della Fisica; altri li abbiamo interamente ideati "ex novo". Ci è sembrato utile raccogliarli in un'unica pubblicazione per fornire un ulteriore contributo ed una efficace e rapida guida di consultazione.

1. Lattina su piano inclinato. In questo primo esperimento si utilizza una lattina riempita per circa un terzo con glicerina [2]. L'apertura può essere chiusa con nastro adesivo. Se si fa rotolare la lattina su un piano inclinato (fig. 1), dopo una fase transitoria di pochissimi centimetri, si osserva che il suo moto è uniforme.

Per effettuare le misure si mettono lungo il piano inclinato dei segni equidistanti e si rilevano i tempi necessari a percorrere le varie distanze. Poiché le velocità ottenute sono molto basse, è possibile misurare i tempi con dei cronometri manuali; tali velocità possono essere variate cambiando l'inclinazione del piano, la quantità di liquido, il tipo di liquido.

Successivamente, abbiamo cercato una valida alternativa alla glicerina, difficile da reperire da parte dei ragazzi, e quindi abbiamo provato a utilizzare la farina di maizena con acqua, unendo 100 g di maizena a 80 g di acqua. Anche in questo caso la lattina si muove con moto uniforme e la velocità ottenuta, su un piano con inclinazione del 5%, è di $(1,02 \pm 0,05) \cdot 10^{-1}$ m/s.



Figura 1. Moto di una lattina parzialmente riempita con maizena-acqua su un piano inclinato.

2. Cilindretto in glicerina. Si prende un tubo in plastica trasparente (altezza 1 m, diametro interno 12 mm) e si chiude ad una estremità con un tappo in gomma; si riempie poi di glicerina e si pone al suo interno un cilindretto metallico (diametro 10 mm, altezza 6,2 cm, massa 38 g). Successivamente si tappa anche l'altra estremità, facendo ben attenzione che non rimanga dell'aria intrappolata nel tubo (fig. 2). Quando si mette il tubo in posizione verticale, il cilindretto metallico scende ed è soggetto alla forza peso, alla spinta di Archimede e alla forza di attrito viscoso. Dopo una prima fase transitoria, le tre forze si equilibreranno ed il cilindretto cadrà lungo il tubo a velocità costante. Sul tubo sono stati messi dei riferimenti equidistanti con del nastro adesivo colorato. Anche in questo caso è possibile misurare i tempi di transito tra un riferimento e l'altro utilizzando un cronometro manuale, poiché la velocità è molto ridotta, nel nostro caso $(2,10 \pm 0,02) \cdot 10^{-2}$ m/s.



Figura 2. Moto di un cilindro metallico in glicerina.

Con questo apparato si possono ottenere diverse velocità cambiando il cilindretto o il liquido contenuto nel tubo. Per esempio, sostituendo la glicerina con acqua ed usando un cilindro in plexiglas (diametro 10 mm, altezza 5,0 cm, massa 4,5 g), si ottiene una velocità di $(5,60 \pm 0,03) \cdot 10^{-2}$ m/s.

3. Moto di una bolla d'aria in un liquido. In questo caso si riempie un tubo trasparente (noi abbiamo utilizzato una buretta) con dell'acqua, lasciando una piccola quantità d'aria prima di tappare la parte superiore del tubo. Se il tubo è mantenuto con un'inclinazione fissa, la bolla d'aria risale con moto uniforme (fig. 3). Anche in questo caso le forze in gioco sono tre: il peso della bolla, la spinta di Archimede e



Figura 3. Moto di una bolla d'aria in una buretta con olio.

la forza viscosa. Dopo una breve fase iniziale, queste tre forze si equilibrano e la bolla risale a velocità costante. Sul tubo sono messi dei riferimenti equidistanti necessari per misurare i tempi di risalita, operazione che si può effettuare con un cronometro perché anche in questo caso le velocità sono relativamente basse. Le velocità della bolla possono essere cambiate variando o l'inclinazione del tubo o la grandezza della bolla d'aria o il tipo di liquido [3]. Noi abbiamo utilizzato due liquidi, acqua e olio di oliva, ottenendo nei due casi le seguenti velocità $V(\text{olio}) = (6,6 \pm 0,2) \cdot 10^{-2}$ m/s, $V(\text{acqua}) = (8,3 \pm 0,2) \cdot 10^{-2}$ m/s (in entrambe le misure l'inclinazione del tubo è del 20% e il volume della bolla d'aria di circa 2 ml). In commercio si trovano tubi già riempiti con liquidi diversi.



Figura 4. Siringa con olio inserita nel tappo.

4. Risalita di una goccia d'olio in acqua. Un tubo trasparente, in plexiglas (altezza 1 m, diametro interno 8 mm), chiuso ad una estremità con un tappo in gomma, è riempito d'acqua. Nel tappo è inserito l'ago di una siringa da 5 ml riempita d'olio di oliva (fig. 4). Agendo sul pistoncino della siringa con una pressione costante, dall'ago fuoriuscirà una goccia d'olio che risalirà lungo il tubo a velocità costante (fig. 5). La velocità di risalita della goccia d'olio dipende dalle dimensioni della goccia stessa e, se la pressione esercitata sul pistone della siringa è costante e non molto intensa, le gocce che si formano hanno sempre le stesse dimensioni e quindi le stesse velocità di risalita. Nel nostro caso la velocità ottenuta è di $(5,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-2}$ m/s.

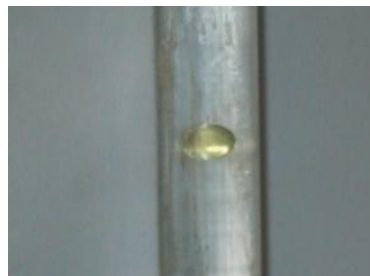


Figura 5. Moto di risalita di una goccia d'olio in acqua.

È possibile variare la velocità cambiando i liquidi utilizzati o le dimensioni della goccia d'olio usando una siringa con un ago più grande. Dal punto di vista dinamico vale quanto detto nei due esperimenti precedenti.

5. Sfera di polistirolo in caduta libera. Una sfera in polistirolo (diametro 8,0 cm) viene tagliata con un filo metallico caldo in due semisfere che vengono "svuotate", togliendo il polistirolo interno in modo da avere due gusci che verranno rimessi insieme incollandoli per ottenere una sfera cava molto leggera [4], nel nostro caso con massa 5,93 g. Lasciandola cadere in aria da un'altezza di circa 2,5 m, in un breve intervallo di tempo, raggiungerà una velocità limite e il suo moto sarà uniforme. La sua velocità relativamente alta non permette l'utilizzo di un cronometro manuale perciò si può filmare la caduta della sfera con una fotocamera digitale o una videocamera o, molto semplicemente, con un telefonino che abbia la funzione video. Il filmato si può analizzare con il software *Tracker* [5] che permette di individuare facilmente tutte le caratteristiche del moto. Nel nostro caso la velocità ottenuta è $V_{\text{sfera}} = (4,0 \pm 0,1)$ m/s.



Figura 6. Palloncino con rondella.

In alternativa alla sfera di polistirolo si può usare un piccolo palloncino gonfiato, che è repe-

ribile più facilmente. Durante la caduta il palloncino tende ad oscillare percorrendo una traiettoria non rettilinea. Per ovviare a questo problema si può attaccare al palloncino una rondella come mostrato in figura 6. In questo modo il moto del palloncino è più stabile. Noi abbiamo utilizzato un palloncino di massa 0,28 g, di volume circa 200 ml, con una rondella di massa 1,07 g. La velocità ottenuta è $V_{\text{palloncino}} = (2,4 \pm 0,2) \text{ m/s}$.

6. Freno elettromagnetico. È noto che un magnete in caduta libera in un tubo di materiale diamagnetico/paramagnetico si muove di moto uniforme per effetto delle correnti parassite [6]. Il dispositivo da noi costruito prevede l'utilizzo di un tubo in alluminio (diametro esterno 25 cm, diametro interno 22 cm), un supermagnete [7] cilindrico (altezza 1,0 m, diametro 2,0 cm) ed un gancetto magnetico attaccato al magnete (massa complessiva 35 g). Per visualizzare il moto del supermagnete all'interno del tubo, si possono escogitare diversi modi [8]. Noi abbiamo attaccato un tappo di sughero al gancetto usando un filo di nylon abbastanza lungo da permettergli di uscire dal tubo (fig. 7). Abbiamo rilevato una velocità di $(16,8 \pm 0,3) \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$, che può essere variata cambiando il numero o il tipo di magneti, oppure aumentando o diminuendo il peso dell'oggetto attaccato al magnete. Le velocità in gioco sono tali da permettere le misure dei tempi con un cronometro manuale. Però la sistemazione del magnete richiede un certo tempo quindi è preferibile fare una sola misura utilizzando la videocamera come fatto nel precedente esperimento.



Figura 7. Moto di un supermagnete in un tubo di alluminio.

7. Magnete su un piano inclinato. In modo analogo al precedente esperimento, è possibile ottenere un moto uniforme facendo scivolare un magnete su un piano inclinato di materiale conduttore diamagnetico/paramagnetico. Nel nostro caso è stata utilizzata una barra in alluminio (lunghezza 70 cm, larghezza 4 cm e spessore 3 mm) facilmente reperibile in una ferramenta e normalmente utilizzata come contrappeso per le tende,



Figura 8. Moto di un magnete su un piano inclinato in alluminio.

ed un supermagnete cilindrico (altezza 0,8 cm, diametro 1,5 cm) (fig. 8). La barra deve essere perfettamente pulita e non presentare asperità. Mantenendo la barra inclinata, si fa scivolare il magnete e si rilevano gli intervalli di tempo necessari a percorrere tratti di lunghezza definita, sempre con cronometri manuali. È possibile variare la velocità, cambiando l'inclinazione della barra, cambiando il magnete o ponendo delle monetine da un centesimo sotto al magnete. Le velocità ottenute con un'inclinazione, mantenuta costante, del 60% sono: $v_1 = (4,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$ (magnete singolo); $v_2 = (15,8 \pm 0,8) \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$ (magnete con una monetina); $v_3 = (26 \pm 1) \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$ (magnete con due monetine).

8. Disco a cuscinio d'aria. In questo caso abbiamo utilizzato un disco a cuscinio d'aria [9], fatto di compensato con spessore 1 cm e diametro circa 13 cm. Nel cen-

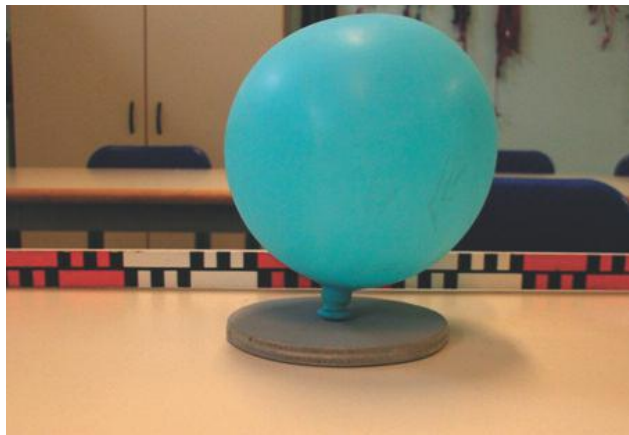


Figura 9. Moto di un disco a cuscino d'aria.

tro del disco è stato praticato un foro nel quale si è incastrato un rocchetto in plastica (supporto per filo di cotone) sul quale è inserito un palloncino. Si gonfia il palloncino e si appoggia il disco al piano: l'aria che fuoriesce da sotto al disco crea un sottile strato che garantisce un moto con attrito trascurabile (fig. 9). In questo modo il disco si muove di moto

uniforme e si possono misurare i tempi di percorrenza di tratti di lunghezza nota.

In alternativa, tramite siti Internet, si possono trovare dischi a cuscino d'aria elettrici, al costo di pochi euro, che hanno il vantaggio di non dover essere gonfiati ogni volta. Questi dispositivi forniscono risultati migliori, perché sono più stabili rispetto al precedente modello "artigianale". Per mettere il disco in moto si possono utilizzare due ventose da cucina ed un elastico (fig. 10). Allungando l'elastico sempre allo stesso modo si ottengono velocità simili. La misurazione della velocità può essere realizzata con le modalità illustrate in precedenza.

9. Rotaia a cuscino d'aria. Questo apparato [10] dimostra che è possibile costruire una rotaia a cuscino d'aria con pochissimi euro. Su un tubo in alluminio (lunghezza 0,90 m; diametro esterno 16 mm; diametro interno 14 mm) abbiamo praticato tre file parallele di fori per tutta la sua lunghezza, una nella parte superiore e due laterali. I fori hanno il diametro di 1 mm e distano circa 1 cm l'uno dall'altro. Come carrello abbiamo utilizzato un tubo in plastica molto leggero (lunghezza 18 cm e diametro interno 17 mm); il tubo in alluminio viene infilato nel carrello, con una vite appesa nel centro per dare stabilità al tubetto e che può servire nel caso si usassero delle fotocellule per la determinazione del tempo di transito del carrellino (fig. 11). Il tubo in alluminio è chiuso ad una estremità con un tappo in gomma, nell'altra estremità è inserito il tubo flessibile del compressore normalmente in dotazione alle rotaie a cuscino d'aria [11]. Quando il compressore è in funzione si crea uno strato d'aria tra il tubo in alluminio e il tubo in plastica, riducendo l'attrito tra le due superfici.

La rotaia da noi costruita è molto semplice ed è utilizzabile per lo studio del moto uniforme ed uniformemente accelerato, inclinandola leggermente. È possibile invece costruire una rota-



Figura 10. Disco a cuscino d'aria elettrico e sistema ad elastico per mettere in movimento il disco.

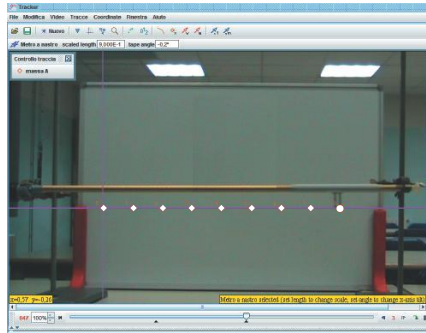


Figura 11. Rotaia a cuscino d'aria e analisi del moto con Tracker.

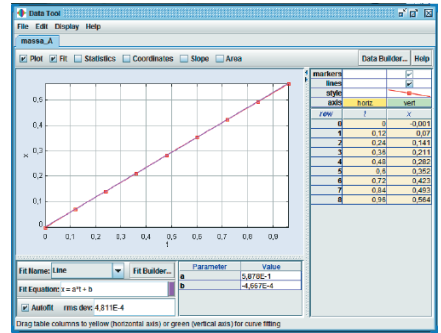


Figura 12. Grafico del moto del carrello ottenuto con Tracker.

ia, seguendo le indicazioni riportate nell'articolo (10), che permetta di fare tutti gli esperimenti di meccanica che normalmente si fanno con questo tipo di dispositivi.

Nelle figure 11 e 12 sono riportati a titolo di esempio le schermate che si ottengono con l'utilizzo di Tracker. Nella prima si possono notare le posizioni del carrellino registrate (rombi numerati) e nella seconda è riportato il grafico in cui sono evidenziati i valori della curva di migliore approssimazione.

Conclusioni

L'utilizzo di questi dispositivi presenta diversi vantaggi didattici e organizzativi:

1. I costi per la loro realizzazione sono trascurabili perché i materiali utilizzati sono nella maggior parte dei casi facilmente reperibili. Alcuni esperimenti già presenti in letteratura sono stati appositamente variati proprio per utilizzare materiali più comuni e mettere gli alunni in condizione di "costruirsi" di volta in volta gli apparati.
2. I tempi di costruzione e messa a punto della strumentazione sono ridotti e pertanto è possibile realizzare anche più esemplari in tempi ragionevoli.
3. La maggior parte degli apparati sono poco ingombranti e maneggevoli per cui gli esperimenti si possono effettuare anche in classe, senza avere timore di procurare danni a persone o cose, eliminando i tempi di andata e ritorno dal laboratorio e sopprimendo a possibili mancanze di disponibilità dei laboratori.
4. I tempi di esecuzione degli esperimenti sono ridotti, le misure vengono prese velocemente perciò, in un'ora di lezione, è possibile effettuare più prove e studiare il moto in contesti diversi ed attinenti alla realtà, non legati solamente ad una modellizzazione preconfezionata dell'evento.
5. Alcuni apparati, per la loro semplicità costruttiva e la rapidità di assemblaggio, possono essere realizzati dai ragazzi stessi, con un coinvolgimento emotivo che giova all'apprendimento in generale e permette l'acquisizione di una corretta e sicura manualità necessaria nelle attività di laboratorio, - un aspetto spesso mancante o sottovalutato.
6. Le prove si possono effettuare anche a casa e quindi possono essere assegnate come compito, rendendo più fruttuoso ed agile il ritmo di lavoro, permettendo quindi di dedicare il tempo in classe all'esame dei risultati dell'esperimento ed alla loro discussione.

Le esperienze descritte, grazie all'utilizzo di materiale povero ed al possibile coinvolgimento degli alunni nella preparazione degli esperimenti, possono essere proposte in ogni tipo di scuola ed offrono la possibilità a tutti gli alunni di essere studenti "attivi".

**Bibliografia
e note**

- [1] Qui non vengono presi in considerazione dal punto di vista quantitativo, anche se tutti gli apparati sono stati provati e soddisfano alla condizione di linearità spazio-tempo.
- [2] KRAUSE A., WILKE H. J.: "Esperimenti a sorpresa con lattine e bottiglie di plastica", *LFnS*, XXX, 1, 37-46 (1997).
- [3] TOGLIANI L.: "Moto di una bolla d'aria in un tubo d'acqua", *LFnS*, XXXII, 4, 231-234 (1999).
- [4] Questo suggerimento è stato dato dal Prof. Maurizio Francesio durante un corso di aggiornamento (Idro 2009).
- [5] <http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/>
- [6] SCONZA A., TORZO G.: "Il freno elettromagnetico: un altro esperimento sulla legge di Lenz", *LFnS*, XXXV, 3, 132-138 (2002).
- [7] I supermagneti si possono acquistare on-line sul sito: www.supermagnete.it
- [8] Un modo interessante di visualizzare il moto uniforme dei magneti nel tubo è descritto nell'articolo: Govoni R.: "Si fa presto a dir magnete", *LFnS*, XLIII, 2, 90-93 (2010).
- [9] SWEZEY K. M., *Esperimenti per un anno*, Zanichelli, Bologna, 1968, 74-75
- [10] AIF, *Guida al laboratorio di fisica*, Zanichelli, Bologna, 1995, 77-78
- [11] Se non si ha a disposizione un compressore, si può utilizzare un aspirapolvere opportunamente modificato. Si inserisce il tubo flessibile nello scarico dell'aspirapolvere, facendo funzionare l'aspiratore come un compressore.

Nell'ottobre successivo ero sulla piccola isola. Il primo giorno di scuola il preside mi chiamò. La presidenza era satura di fumo di sigarette. Attraversai la nebbia fitta e grigiastra e su suo invito mi sedetti di fronte a lui.

"Caro Diego, questa scuola è una specie di gineceo. Gli studenti, le studentesse, le bidelle e i pochi intellettuali locali che hanno accettato contro voglia di fare i professori sono tutti imparentati fra loro, si conoscono tutti per soprannome, fra loro esiste un inestricabile intreccio di relazioni che porterà a favoritismi, nepotismi, scambi, promozioni di asini, tolleranza di assenze ingiustificate, mancanza di disciplina, le bidelle che si metteranno a fare lezione di nascosto per sostituire i professori dormiglioni, amoreggiamenti e balletti in classe. Io, e anche tu, siamo due corpi estranei, ma è a partire da questa situazione che dobbiamo creare una scuola seria. Perciò ora ti insegnerò ad insegnare".

Fece una pausa, si accese un'altra sigaretta, e proseguì:

"Ti troverai fra mezz'ora in presenza di studenti di venticinque, trenta, quarant'anni, duri, con esperienze di mare e aria di sufficienza, mescolati con ragazzini stupidi di quattordici o quindici anni. I primi vogliono solamente un titolo per migliorare le loro posizioni navali, non avendo né l'abitudine né la minima intenzione di studiare; i secondi cercheranno di essere fastidiosamente indisciplinati, come al solito. Ma tutti ben decisi a metterti in condizioni di non insegnare nulla.

Ecco come devi fare. Non dimenticare mai che l'insegnamento è una sfida crudele fra te e loro. Si sono avuti professori, specialmente di materie secondarie come il disegno e la religione, che ne sono rimasti vittime e ne sono morti.

Tu entri in classe, cammini lentamente verso la cattedra, ti siedi, appoggi sulla cattedra, al centro, il diario di classe e il registro, uno sopra l'altro, bene allineati. Non devi aprire bocca, non devi fare gesti inutili come aprire il diario di classe, soffiarti il naso o aggiustare il nodo della cravatta. Non devi fare l'appello. In questa prima fase non devi rivelare nulla di te. Mani sulla cattedra, busto leggermente piegato in avanti. Li guardi, uno per uno, attentamente, ferocemente, viso impassibile. Ma devi odiarli: sono i tuoi peggiori potenziali nemici. Come ho detto prima, se potessero ti porterebbero alla morte. Ricordo un anziano sacerdote, professore di religione in un mio liceo, che fu ucciso da loro. Non manteneva la disciplina. Un giorno diedero fuoco in classe ad un certo quantitativo di polvere da sparo. Ne ebbe un tracollo dal quale non si riebbe più. Morì in ospedale dopo una settimana".

Guido Pegna, *La strada per Nèbida*, Edizioni *effequ*, Orbetello 2011