

La potenza della suggestione

(Pervenuto il 10.8.96, approvato il 6.9.96)

ABSTRACT

About one hundred physics textbooks have been examined in this article to research the answer given to a simple question of hydrostatics shown in fig. 1. The number of wrong answers turned out to be surprisingly high.

Premessa

Molti anni fa, nel 1973, a Venezia, in un Seminario internazionale sull'insegnamento della Fisica nelle scuole, un professore americano (mi pare si trattasse di Julian Miller)¹ in una relazione, trasformata poi in un divertente show, propose ai partecipanti il seguente dilemma:

se manteniamo costante il livello del liquido nel cilindro rappresentato in Fig. 1a e Fig. 1b, quale, delle due soluzioni proposte si può ritenere la più corretta?

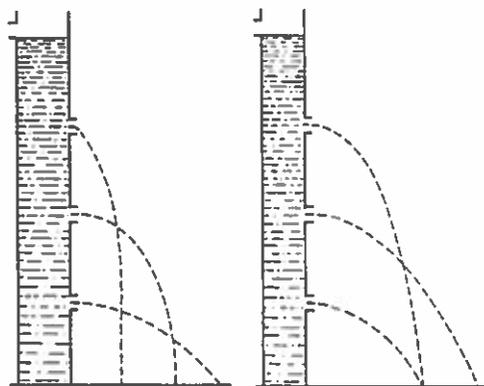


Fig. 1a

Fig. 1b

Ricordo che la maggior parte dei presenti optò per la prima soluzione, molti per prudenza si astennero, pochi indicarono la seconda soluzione.

Circa due anni fa ebbi la possibilità di leggere alcuni lavori presentati a un concorso da studenti delle scuole medie e nella primavera 1995 ebbi l'incarico di esaminare le unità didattiche prodotte in una serie di Corsi di aggiornamento per docenti di scienze sempre nella scuola media. Ebbene tutte le volte che si voleva studiare la pres-

sione esercitata da un liquido sulle pareti di un recipiente veniva proposto un esempio analogo a quello di Fig. 1a.

Essendomi impegnata a presentare una relazione sul "Ruolo delle attività sperimentali" in un Corso di aggiornamento per insegnanti di scienze nella S.M., pensai di far riferimento a questa esperienza "così gettonata", a sostegno della tesi che spesso si descrivono esperienze entrate nella tradizione, senza preoccuparsi di realizzarle e di verificarne la validità.

Ricordando poi l'affermazione del prof. Miller che ci sono molte ragioni per questa scelta, ma la più frequente è che questa soluzione è stata vista in un libro, e non trovando corrispondenze (argomento quasi inesistente) nei testi della Scuola media che avevo a mia disposizione, ho pensato di prendere in esame quelli di Fisica del biennio.

I primi quattro testi consultati, presso un liceo cittadino, mi hanno convinto che era proprio il caso di approfondire l'indagine a livello della Scuola Secondaria Superiore.

L'indagine

Ho analizzato tutti i testi che sono stata in grado di consultare, utilizzando, oltre la mia biblioteca personale, i libri a disposizione in due Licei scientifici cittadini e quelli presenti in una fornita libreria specializzata in testi scolastici. In totale sono stati esaminati 91 testi di fisica, che sono stati e/o sono attualmente adottati nella scuola secondaria superiore (in particolare Lic. Scient. e bienni).

Obiettivo prioritario era quello di individuare se era presente, e nel caso come era stata proposta, l'esperienza indicata in premessa, che d'ora

¹ Si può fare riferimento a: Julius S. Miller *Questions importantes dans l'enseignement de la Physique*, cap. 4, p. 49 da "Enseignement actuel de la physique" OCDE 1964.

in poi indicherò come esperienza degli zampilli, soluzione A (corrispondente alla fig. 1a) e soluzione B (corrispondente alla fig. 1b). Nell'occasione inoltre ho cercato di capire come e in che misura veniva trattata la Meccanica dei fluidi in relazione anche all'anno in cui il testo era stato stampato.

Nella Tabella 1 vengono sintetizzati i risultati riguardanti questo secondo obiettivo.

Tabella 1

anno	1960/70	1970/80	1980/85	1985/90	1990/96
n. libri	16	11	12	14	38
Meccanica fluidi statica, dinamica,	100%	55%	50%	21%	18%
trattaz. statica o superficiale	—	27%	33%	43%	66%
niente o quasi niente	—	18%	17%	36%	16%

Si è notato che ampio spazio veniva riservato alla meccanica dei fluidi (come previsto dai programmi tradizionali) fino al 1970/75, poi le trattazioni si sono fatte man mano più superficiali e in diversi casi inesistenti. Ritengo che questa perdita di interesse per la "fisica bagnata" abbia avuto origine dal confronto con i programmi e i testi stranieri e dalla necessità di riservare un maggior spazio ad argomenti di fisica moderna. In seguito, probabilmente con l'introduzione nei programmi del tema "Equilibrio e processi stazionari", nei libri di testo ricompare la Meccanica dei fluidi, nella maggior parte dei casi limitata alla statica. La trattazione nei testi dei bienni diventa sempre più elementare e integrata da attività sperimentali.

L'esame dell'efflusso di un liquido da fori praticati nelle pareti di un recipiente è presente in 35 testi in riferimento alle leggi di Stevino, Pascal, Torricelli, a volte sotto forma di problemi, a volte di proposte di esperienze.

Esperienza degli zampilli : i sostenitori della soluzione A

L'esperienza viene così presentata e proposta in molti testi di fisica a larga diffusione, per illustrare, in modo molto semplice e intuitivo, come la pressione esercitata da un liquido sulle pareti del recipiente che lo contiene, dipenda dalla profondità e sia perpendicolare alla parete. In altri testi invece, sempre la stessa esperienza viene portata a verifica del teorema di Torricelli.

A pag. 130 del testo [1]: *Dimostriamo come la pressione p dipende dalla profondità h. Se facciamo due fori in un recipiente contenente acqua, uno in basso e uno in alto possiamo vedere che la pres-*

sione cresce con la profondità, infatti lo zampillo basso va più lontano di quello alto (fig. A.148).

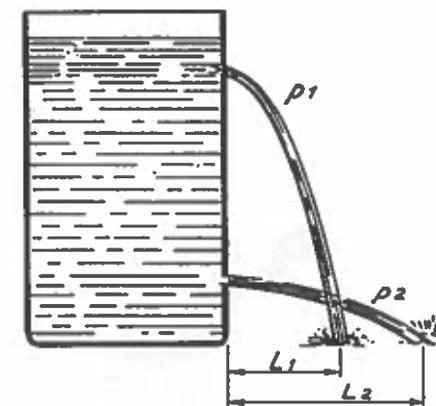


Fig. A. 148 - La pressione è più grande in basso che in alto.

In questo caso particolare lo "zampillo basso" va più lontano di "quello alto", ma il rapporto delle gittate effettive è $L_2/L_1 = 1.2$ e non 1.7 come indicato in figura e non è corretto generalizzare.

A pag. 240 del testo [2] una figura analoga (fig. 15-9), che qui non viene riportata, illustra come la velocità di efflusso di un liquido dal foro di un recipiente (teorema di Torricelli, dedotto come applicazione del teorema di Bernoulli), dipenda dalla distanza del foro dalla superficie libera del liquido.

Nell'esempio, essendo la distanza del primo foro dalla superficie libera del liquido uguale alla distanza del secondo foro dal piano di appoggio, in realtà le gittate sono uguali e non la seconda il doppio della prima come mostra la figura.

Nel testo [3] a pag. 249 si vuol dimostrare che la pressione dipende unicamente dal peso specifico e dalla profondità del liquido.

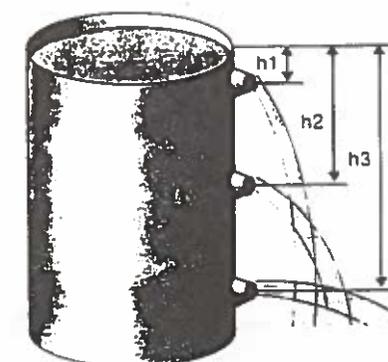


Fig. 7 - Quanto maggiore è la profondità alla quale è situato il foro, tanto maggiore è la gittata dello zampillo.

Ad esempio, immaginiamo di praticare dei fori in un recipiente contenente del liquido, al di sotto del livello del liquido e a diverse profondità. Come risultato vedremo il liquido zampillare e noteremo che la gittata dello zampillo è tanto maggiore quanto maggiore è la profondità alla quale è praticato il foro da cui lo zampillo fuoriesce (fig. 7).

Nel testo [4] l'enunciato del Principio di Pascal è subito verificato con esperienze anche molto semplici come quella mostrata in fig. 2.13.

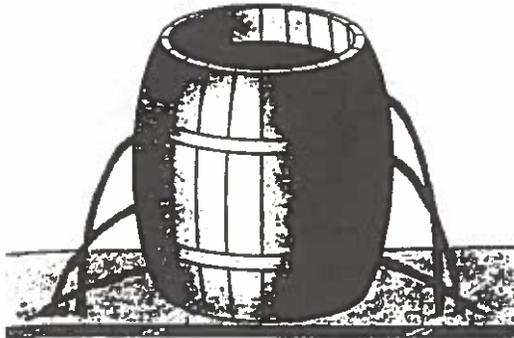


Fig. 2.13 - Verifica del principio di Pascal. A parità di quota, i getti di liquido, prodotti dalla pressione laterale, sono uguali; man mano che la quota diminuisce, i getti si allungano perché la pressione aumenta a causa del peso della colonna liquida sovrastante.

E che dire del testo [5] in cui gli autori presentano a pag. 46 la fig. 3.3, che non viene riportata perché analoga alle precedenti, affermando: ...*aprendo dei fori laterali, da essi il liquido zampilla con una velocità tanto maggiore quanto più il foro è in basso rispetto alla superficie libera del liquido.*

Analogamente nel testo [6], pag. 182, fig. 15: *La pressione in un liquido aumenta con la profondità.*

Dice l'autore del testo [7] a pag. 145: *Qualora si praticino dei fori in vari punti di un recipiente (fig. 147), lo zampillo del liquido sarà tanto più vigoroso quanto più disterà dalla superficie libera.*

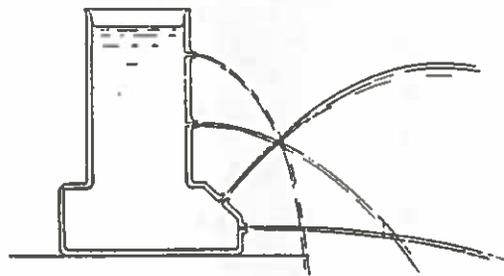


Fig. 147 - Più basso è il foro e più violento è il getto del liquido; ma la direzione del getto è sempre perpendicolare alle pareti.

E nel testo [8] la velocità di efflusso (teorema di Torricelli) si ricava applicando il principio di conservazione dell'energia nel caso di un liquido ideale. A pag. 170: *Se l'orifizio è praticato alle pareti laterali il liquido esce con velocità orizzontale dipendente dall'altezza della colonna liquida sovrastante, come si osserva dall'esperienza rappresentata alla fig. 243.*

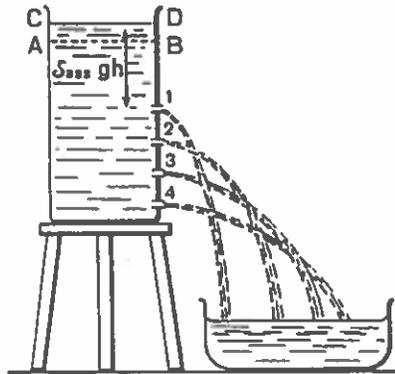


Fig. 243 - Teorema di Torricelli

Ed in uno dei più diffusi testi da molti anni [9] a pag. 87: *...Aumentando il distivello h , cresce la pressione esercitata in accordo con la legge di Stevin, come dimostra l'esperienza (fig. 14). Maggiore è la profondità, più lunga è la gittata dello zampillo.*

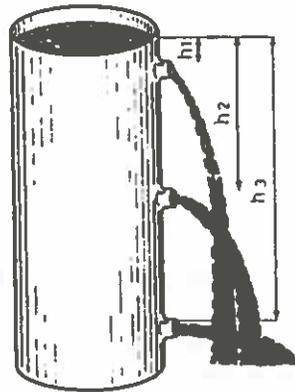


Fig. 14 - La pressione cresce con l'aumentare della profondità

E passiamo a forare bottiglie di plastica...

Testo [10], pag. 109. *Se foriamo la bottiglia di plastica ad altezze diverse (fig. 15.10), ci accorgiamo che lo zampillo arriva più lontano in corrispondenza dei fori praticati più in basso, dove cioè la colonna di liquido è più alta.*

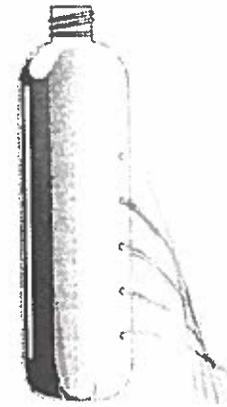


Fig. 15.10 - Maggiore è l'altezza della colonna di liquido, più lontano arriva lo zampillo.

E così nel testo [11], pag. 91, estendendo l'esperienza con l'aumentare la pressione esterna che agisce sul liquido (fig. 8.15).

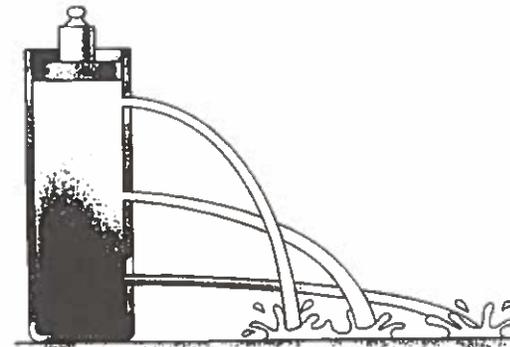


Fig. 8.15

Nel testo [12] (pag. 141) l'esperienza viene realizzata con un semplice ed arcaico strumento usato per diffondere acqua su un terreno da innaffiare. Tale strumento è composto da un recipiente sospeso e forato nella parte laterale inferiore e, quando esso viene riempito d'acqua, questa esce dai forellini cadendo a terra dopo aver descritto un arco di parabola (fig. 6-7) ...*tanto più i fori saranno posti in prossimità della parte superiore del liquido tanto più il cerchio descritto sul terreno sarà piccolo.*

Nel testo [13], a pag. 158, l'autore propone agli studenti di verificare i principi di Pascal e di Stevino, eseguendo gli esperimenti che seguono. Vengono fornite accurate istruzioni per la preparazione e lo svolgimento degli esperimenti e formulate una serie di domande alle quali gli studenti dovrebbero rispondere. In fig. 7.14 e 7.15 sono già indicati i risultati previsti.

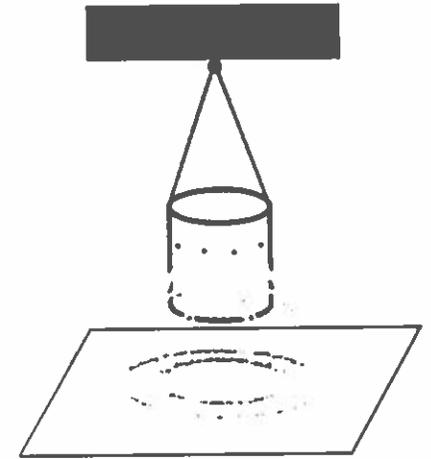


Fig. 6-7

Purtroppo queste proposte di esperienze semplici e intuitive avranno fatto impazzire gli studenti e gli insegnanti se si sono cimentati nel realizzarle. Mi auguro che se qualcuno ha provato, ma temo molto pochi, i risultati abbiano portato a discussioni e riflessioni senz'altro molto positive.

Probabilmente gli autori di queste proposte credevano talmente in quanto affermavano, che non si sono preoccupati di verificarne la validità, neppure con un semplice calcolo teorico.

Il motivo per cui le cose non vanno come è stato indicato è molto semplice ed elementare. È vero che la pressione cresce con la profondità del liquido ed è perpendicolare alle pareti, è vero che la velocità dipende dall'altezza del liquido sovrastante come indicato dal teorema di Torricelli, ma la gittata dipende anche dal tempo di caduta e tanto più il foro è in alto, tanto più aumenta il tempo di caduta. Perché non ricordare il moto della pallina lanciata orizzontalmente con velocità v , ad un'altezza h dal suolo? Anche questo è uno degli esempi "più gettonati" in tutti i testi scolastici.

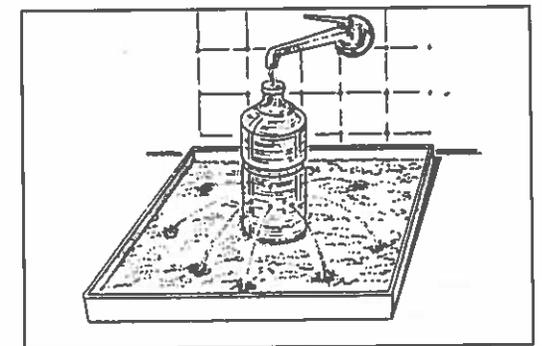


Fig. 7.14

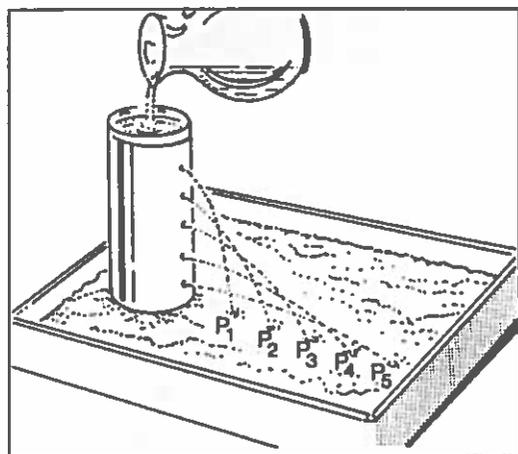


Fig. 7.15

E nel notissimo testo [14] a pag. 269: *Quando un liquido preme su una superficie, sulla superficie si esercita una forza perpendicolare alla superficie stessa. Se nella superficie c'è un foro, il liquido si muove inizialmente secondo una direzione perpendicolare alla superficie. La forza di gravità, naturalmente, fa sì che la traiettoria del liquido curvi verso il basso. A maggiori profondità, la forza è maggiore e la velocità orizzontale del liquido che sgorga è maggiore.*

Tutte queste affermazioni sono valide, è la figura 19.5 sbagliata per quanto riguarda le traiettorie degli zampilli.

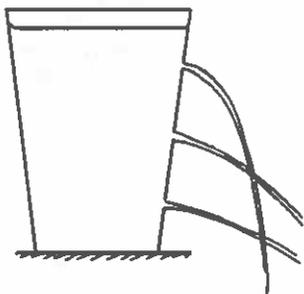


Fig. 19.5 - (in alto) Le forze in un liquido che producono una pressione su una superficie si sommano dando una forza risultante perpendicolare alla superficie. (in basso) Il liquido che sgorga attraverso un foro si muove inizialmente secondo una direzione perpendicolare alla superficie.

Esperienza con gli zampilli: i sostenitori della soluzione B.

In altri testi invece dell'esperienza vengono proposti problemi e qui le cose funzionano meglio.

Un semplice problema sulla gittata realizzata dalla fuoriuscita di un liquido da un orifizio a 2 m dalla superficie del liquido e 6 m da terra, è presente nel testo [15] a pag. 326.

Dello stesso tipo il problema proposto nel testo [16] a pag. 316 e quello presentato nel testo [17].

Nel testo [18] a pag. 197 il problema proposto è più articolato e se discute la soluzione: *Sul pavimento di una stanza è appoggiato un recipiente metallico, con pareti verticali, contenente acqua sino ad un'altezza h . Alla profondità a dal livello del liquido si fa un piccolo foro nella parete, da cui sgorga l'acqua. Calcolare a che distanza dal piede della verticale abbassata dal foro, il getto tocca il pavimento.*

Risoluzione. - *Trascuriamo la resistenza dell'aria. Il getto è parabolico, l'essere il recipiente metallico, ci fa ritenere le pareti sottili. Quindi la velocità con cui esce l'acqua è: $v = \sqrt{2gh}$.*

Calcolato il tempo di caduta $t = \sqrt{2(h-a)/g}$

ricava $x = \sqrt{2(h-a)/g} \sqrt{2ga} = 2\sqrt{a(h-a)}$ che è la distanza richiesta. Osserviamo che se il foro è alla profondità $h-a$, la sua distanza dal pavimento diventa a e x mantiene lo stesso valore. Quindi i getti uscenti da fori equidistanti dal livello dell'acqua e dal pavimento, toccano questo nello stesso punto.

Corrette anche le indicazioni presenti nel testo [19] nel quale, partendo dal Teorema di Bernoulli si ricava come applicazione il Teorema di Torricelli. A pag. 211: *In figura 179 si sono riportate le velocità di efflusso di un liquido che fuoriesce da tre orifici praticati a diverse distanze dalla superficie libera. Si noti come ogni zampillo abbia la forma di una parabola, identica a quella che descriverebbe un grave lanciato con velocità iniziale uguale a quella di efflusso.*

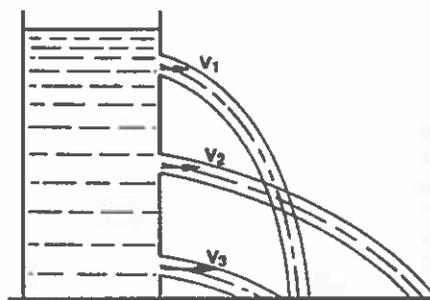


Fig. 179

Nel testo [20] a pag. 289/290 viene proposto un

problema per ricavare la relazione $x = 2\sqrt{a(h-a)}$ fra gittata, distanza del foro dalla superficie libera del liquido ($h-a$) e dal piano di appoggio (a). Viene messo in evidenza come si può avere la stessa gittata, con zampilli che fuoriescono da fori a diversa altezza.

Interessante anche la formulazione dell'Esercizio 16.10, a pag. 207 del testo [21]:

La figura 16.35 mostra la diversità di efflusso di un liquido alle varie profondità e si riferisce a una situazione reale, non a una ideale. Fin dove dovrebbe arrivare il getto verticale nella situazione ideale? Perché nella situazione reale non vi arriva? Perché i due getti 1 e 3 toccano terra nello stesso punto?

La risposta all'Esercizio riportata in Appendice al testo è chiara e corretta, sulla linea di quella proposta nel testo [18].

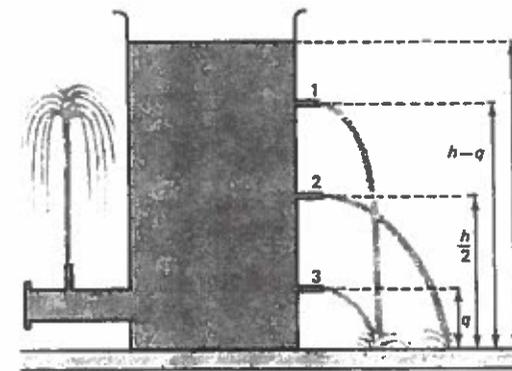


Fig. 16.35

Si fa notare come in questi ultimi testi dal [15] al [21] il problema proposto sia preceduto da una trattazione essenziale sulla dinamica dei fluidi che ha portato all'enunciazione del teorema di Torricelli.

Ritornando ai testi in cui è prevista normalmente una trattazione limitata alla statica dei fluidi, ricordo che un'interpretazione con figura analoga alla figura 179 del testo [19] è presente nel testo [22] a pag. 167.

Nel testo [23] è presente una domanda a pag. 138 che fa riferimento alla fig. 3.14 in cui si rappresentano le traiettorie percorse da zampilli che fuoriescono da fori praticati nella parete di un recipiente: *Dove la profondità è maggiore anche la pressione è maggiore come si può dedurre dalla maggiore ... della parabola. Perché allora l'acqua del foro più basso pur sollecitata da maggiore pressione, raggiunge il suolo in un punto più vicino?*

Nel testo [24], pag. 96, viene proposto agli studenti un esperimento, anticipando in figura la traiettoria degli zampilli e facendo notare come quello centrale sarebbe quello che va più lontano: *Osserva che il getto che esce da metà altezza sarebbe quello che va più lontano.*

Esperimento 1: Forze che agiscono sulle pareti del recipiente. Osserva gli zampilli che escono dal foro ... man mano che il livello dell'acqua diminui-

sce (fig. 3). Osserva anche la loro direzione di uscita dai fori: cosa succede alla direzione di uscita se inclini la latta? Come puoi spiegare i fenomeni in termini di forza e pressione? Come sono dirette le forze che agiscono sulle pareti a causa della pressione idrostatica?

Si tratta di un autore "pentito" che, in una edizione precedente [25], pag. 138, fig. 2 era rimasto vittima della suggestione collettiva e che in seguito probabilmente ha provato a realizzare l'esperienza indicata e, accorgendosi dell'inghippo, molto correttamente ha variato la proposta.

Per spiegare ora in termini di forza e di pressione quello che accade alle pareti è certamente più complicato di prima. Forse sarebbe stato opportuno limitarsi alla prima parte del getto, immediatamente dopo l'efflusso, e non descrivere l'intera traiettoria.

E per finire, anche se non posso classificarlo per mancanza di riscontro, ricordo il testo [26], pag. 240 in cui si pone il quesito agli studenti di cosa accade quando il liquido esce da un recipiente con più fori.

Alcune riflessioni...

Quando ormai avevo individuato una decina di testi in cui si prevedeva che a maggiore profondità corrispondeva una maggiore gittata, scritti anche da colleghi che godono della mia completa stima, sono stata colta da un ragionevole dubbio. Non avevo mai realizzata l'esperienza descritta, ma solo proposto e risolto problemi ad essa attinenti e mi sono chiesta: e se le cose vanno come le hanno descritte? Non ci potrebbero essere nell'esperimento reale dei fattori che influiscono sul risultato?

Allora ci provo.

Trovandomi però a casa in una calda giornata di mezza estate mi sono organizzata con quello che avevo. Ho preso la ormai nota bottiglia di plastica (contenitore di acqua minerale), ho fatto tre fori equidistanti che ho attentamente tappato con della gomma-pane (normalmente usata per il disegno), poi sono andata sul lavandino della cucina e ho tolto i tappi.

E qui sono rimasta di sale, perché effettivamente le gittate crescevano con la profondità; in particolare il getto più in basso quasi usciva dal lavandino!

Mi sono detta: calma! E ho ricominciato da capo, cercando di mettermi nelle condizioni migliori.

Ho preso un'altra bottiglia di plastica un po' più consistente (l'altra si deformava al solo toccarla), ho realizzato fori equidistanti con un sottile spiedino metallico riscaldato e senza premere sulla bottiglia, stando attenta che risultassero di uguali dimensioni e li ho tappati con la solita gomma-pane.

Questa volta invece di operare sul lavandino ho messo la bottiglia piena nella ...vaschetta della

gatta (logicamente vuota e pulita) e ho tolto i tappi. Voilà! Primo e terzo getto cadevano nello stesso punto e il getto intermedio andava più lontano. Ormai tranquillizzata ho cercato di capire come mai la prima volta le cose fossero andate diversamente. Ripetendo l'esperienza con la prima bottiglia mi sono accorta che il getto che usciva dal terzo foro non era orizzontale, ma inclinato verso l'alto, perché in quel punto si era deformata la parete.

La gittata dipende anche dalla direzione in cui il liquido esce dal foro e questo è un'ulteriore variabile di cui si deve tener conto.

Soddisfatta dei risultati raggiunti da un punto di vista qualitativo, mi sono posta il problema di realizzare una semplice esperienza che permettesse di misurare come varia la velocità di efflusso al variare della profondità.

Ho preso una bottiglia di plastica analoga alla precedente e ho praticato con attenzione un solo foro a circa 7 cm dalla base. Ho tracciato sulla bottiglia delle linee di riferimento, ho tappato il foro e riempito la bottiglia di acqua. Ho posto la bottiglia nella vaschetta e tolto il tappo al foro, cercando di determinare il punto in cui cadeva il getto quando il liquido si trovava ai livelli previsti.

Per migliorare le condizioni di esperienza e diminuire gli errori percentuali ho modificato il sistema come segue:

- posto la bottiglia fuori dalla vaschetta su un supporto che permettesse di aumentare la distanza del foro dal piano, controllando bene che la parete fosse verticale;
- rivestito il fondo della vaschetta con un giornale in modo da evitare gli spruzzi e individuare meglio il punto di caduta.

Le misure sono state effettuate mediante la lettura su una riga millimetrata appoggiata sul fondo della vaschetta e contemporaneamente infilando ogni volta un fermaglio nel giornale, per poter anche fare una verifica in seguito. Le misure sono state ripetute più volte, ma non ho potuto però ridurre l'errore di misura sulla gittata g_s al di sotto di 0.5 cm.

Ho misurato la distanza d dal foro al piano, ma anche in questo caso ho valutato un errore di 0.5 cm: $d = (16.0 \pm 0.5)$ cm

Per la distanza h di ogni linea di livello dal foro è stata assunto un errore 0.4 cm.

I risultati sono riportati in Tab. 2

Tabella 2

g_s (cm)	g_s^2 (cm ²)	h (cm)	g_T (cm)
11.5 ± 0.5	$(1.3 \pm 0.1)10^2$	2.7 ± 0.4	13 ± 1
17.5 ± 0.5	$(3.1 \pm 0.2)10^2$	5.7 ± 0.4	19 ± 1
22.0 ± 0.5	$(4.8 \pm 0.2)10^2$	8.7 ± 0.4	24 ± 1
25.5 ± 0.5	$(6.5 \pm 0.3)10^2$	11.7 ± 0.4	27 ± 1
29.0 ± 0.5	$(8.4 \pm 0.3)10^2$	14.7 ± 0.4	31 ± 1

È stato costruito il grafico di g_s^2 in funzione di h ed entro gli errori l'andamento è risultato lineare (fig.2).

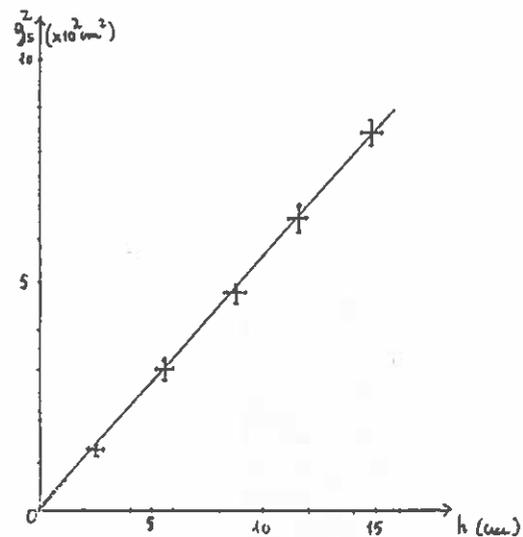


Fig. 2

Quindi $g_s / \sqrt{h} = \text{cost}$ e poiché la velocità di efflusso, nota g_s , è data da $v = g_s/t$ (dove t è il tempo di caduta costante, essendo d costante), si ottiene $v = k\sqrt{h}$, come previsto dal teorema di Torricelli.

Nella quarta colonna della tabella sono stati riportati i valori della gittata g_T calcolata teoricamente dalla $g = 2\sqrt{dh}$ e potrei affermare che g_s e g_T coincidono entro gli errori. Valutata però la presenza di una differenza pressoché costante in difetto di g_s rispetto a g_T , sarei propensa a ritenere presente un errore sistematico, che si potrebbe attribuire al fatto che il liquido non è ideale e alla presenza della resistenza dell'aria.

Ho semplicemente voluto dimostrare che l'esperienza è fattibile e può fornire risultati attendibili; in una situazione meno "casereccia" si potranno migliorare le misure e procedere ad un'analisi dei risultati più rigorosa.

... e alcune proposte

Per far capire agli studenti come variano la pressione e la velocità di efflusso da un foro, con la profondità la descrizione dell'esperienza degli zampilli, soluzione A, risulta semplice ed efficace, di comprensione immediata per gli studenti. Peccato che non sia corretta!

Per un primo approccio si potrebbe arrivare in modo semplice allo stesso risultato, utilizzando un recipiente con un foro solo, riempiendolo e poi facendo defluire il liquido. Si nota che, mano a mano che il livello diminuisce, la gittata diminuisce e questo indica che anche forza e pressione sulla parete e velocità di flusso diminuiscono. Si può far notare inoltre che la direzione di queste, in corrispondenza del foro, è sempre perpendicolare alla parete.

Certo che l'esperienza va realizzata a gruppi o dalla cattedra e non può essere sostituita da una figura sul libro.

Se gli studenti hanno già studiato il moto parabolico e quindi sono in grado di calcolare la velocità iniziale, una volta misurata la gittata e l'altezza del foro dal piano di appoggio, si può far ricavare sperimentalmente la relazione fra velocità di efflusso e livello del liquido sovrastante, con il proposito di introdurre o verificare il teorema di Torricelli.

Se poi gli studenti hanno già affrontato il teorema di conservazione dell'energia, allora ...e così via.

Se invece nella programmazione lo studio del moto segue lo studio dell'equilibrio, allora si può utilizzare l'esperienza degli zampilli (con un foro o più fori) per approfondire lo studio del moto dei proiettili (moto parabolico).

E infine si potrebbe anche proporre l'esperienza sotto forma di problema sperimentale, seguendo le seguenti fasi:

- si distribuisce agli studenti una fotocopia con il disegno del cilindro in esame (fig. 3) e si chiede loro di disegnare quali potrebbero essere le traiettorie dei getti, quando si tolgono i tappi, ma si mantiene costante il livello del liquido. La previsione ha carattere qualitativo, quindi non eseguono nessun calcolo, ma devono giustificare la loro scelta. Dopo 10 minuti si ritirano i fogli.

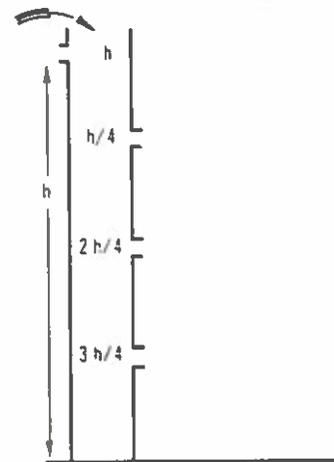


Fig. 3

- si esegue l'esperienza e gli studenti confrontano i risultati sperimentali con le loro previsioni, cercando di individuare le cause di eventuali discrepanze. Si procede poi nei gruppi, e se sopravvengono difficoltà collettivamente, a fornire un'interpretazione convincente del fenomeno osservato.

Ci si potrebbe limitare ad un'analisi qualitativa dei risultati, ma se le conoscenze e le capacità degli studenti di progettare ed eseguire attività sperimentali sono sufficienti, può diventare interessante procedere ad un'analisi quantitativa per confermare la validità dell'interpretazione proposta.

Conclusioni

Come abbiamo già indicato solo 35 dei 91 testi esaminati riportano riferimenti attinenti alla traiettoria descritta da un getto che fuoriesce da un foro praticato in un recipiente contenente un liquido e al livello di questo. Di questi solo 32 (35%) affrontano più specificatamente l'esperienza degli zampilli e precisamente di questi 7 (22%) ne danno un'interpretazione corretta, 24 (75%) una interpretazione errata e 1 propone solo il problema.

Per quanto riguarda l'anno di pubblicazione e il tipo di trattazione si riporta la seguente tabella 3.

Tabella 3

tipo di trattazione	1960-1970	1970-1980	1980-1990	1990-1996	Totale
Meccanica fl. statica, dinamica, proprietà	16 A 3 B 1	6 A 3 B 1	10 A - B 2	7 A 2 B -	39 A 8 B 4
solo statica o trattazione superficiale	-	3 A 1 B -	10 A 6 B -	24 A 6 B 3	37 A 13 B 3
niente o quasi niente	-	2	7	6 A 3 B -	15 A 3 B -
totale	16 A 3 B 1	11 A 4 B 1	27 A 6 B 2	37 A 11 B 3	91 A 24 B 7

Anche se il basso numero dei casi non permette di ritenere molto attendibili le percentuali calcolabili, si può notare che in ogni periodo il rapporto fra i testi che presentano le soluzioni A e B è circa 3.5.

Questo conferma che la "suggestione" è ben radicata e ha origine in tempi lontani.

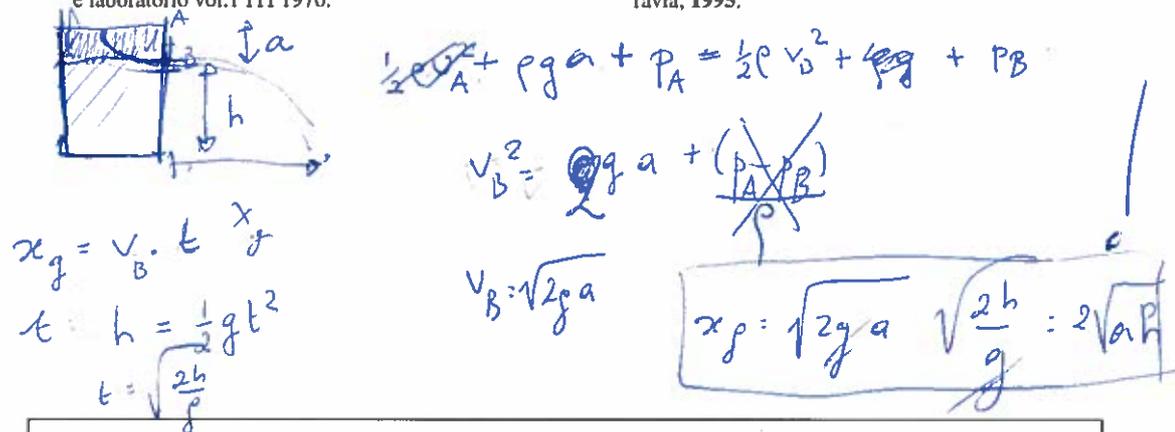
Per quanto riguarda il tipo di trattazione si nota che ove la trattazione prevede anche la dinamica dei fluidi i risultati sono migliori ($B/A = 0.5$), peggiorano nel secondo caso ($B/A = 0.23$), sono pessimi ovviamente nel terzo caso. Se la trattazione è tradizionale, normalmente si tratta di trasmissione di conoscenze, si parte da leggi e se ne deducono le applicazioni, si fa ampio uso del calcolo e si propongono problemi: è più difficile sbagliare. Se invece si cerca di introdurre l'argomento in modo in-

tuitivo, curando maggiormente l'aspetto qualitativo del quantitativo, nel tentativo di semplificare si possono percorrere "scorciatoie" non sempre corrette. Ricorrere ad attività sperimentali e cercare di interpretare i risultati effettivamente ottenuti può essere senz'altro un percorso sicuro, anche se non sempre facile.

Richiami bibliografici

- [1] M. GISFREDI, G. SEROTTI, *Corso di fisica per gli ITI*, S.E. Dante Alighieri, vol. 1, 1971.
- [2] M. PANIETTERI, S. BARCIO, A. CORSELLO, *Fisica per ITI vol. 1*, Paravia 1972 e 1970.
- [3] Alberico, *Fisica del triennio vol. 1*, Minerva Italica, 1989. Stessa dimostrazione in *Lineamenti di fisica* (1990) e *Fisica di base* (1992).
- [4] BERNARDINI, TAMBURINI, *Corso di Fisica per il Lic. Sc. Giunti Marzocco* 1989.
- [5] BALSAMO, KEIGHLEY, MC KIM, *Il mondo della fisica*, Ed. Paradigma, 1990.
- [6] M.V. CECCHET, P. PERANZONI, *Fisica: percorsi per il biennio*, CEDAM, 1990.
- [7] G. BELLINI, V. RONCHI, *L'evoluzione della fisica per gli IT vol. 1*, Giunti, 1967.
- [8] P. SILVA, *Fisica per ITI vol. 1* Paravia 1965 (riveduto e aggiornato da M. Panitteri).
- [9] G. OLIVERI *Fisica vol. unico biennio* 1987. Poseidonia; *Fisica e Laboratorio vol. 1*, IT, Poseidonia 1986, *Fisica e Laboratorio ITI CEDAL* 1968, *Fisica e laboratorio vol. 1 ITI* 1970.

- [10] E. TURCHETTI, R. FASI, *9 Temi per lo studio delle Scienze della materia*, Bovolenta, 1996.
- [11] E. CONSOLI, P. RAPPANELLO, *Laboratorio di fisica e chimica*, Paravia, 1996.
- [12] S. BERTOLETTI, M. SILVI, *Corso di Fisica vol. unico*, Casa Ed. G. D'Anna, 1986 1991-1992.
- [13] M. PALLADINO BOSIA, *Fisica sperimentale per gli IP*, Petrini, 1995 e *Fisica in laboratorio*, Petrini.
- [14] P.G. HEWITT, *Fisica per concetti*, Zanichelli, 1994.
- [15] A. CAFORIO, A. FERILLI, *Physica per i Lic. Sc. Le Monnier*, 1989.
- [16] M. DAVOLI, *Fisica per ITI*, CEDAM vol. 1, 1984.
- [17] PAUL A. TIPLER, *Invito alla fisica*, Zanichelli, 1990.
- [18] ROSARIO FEDERICO, *Fisica per ITI vol. 1* Lattes, 1960.
- [19] E.R. CAIANIELLO, A. DE LUCA, L.M. RICCIARDI, *Fisica*, vol. 1, Garzanti, per i Licei e ITI, 1970.
- [20] D. HALLIDAY, R. RESNICK, *Fisica*, Zanichelli, 1990.
- [21] G. MANUNZIO, G. PASSATORE, *Verso la Fisica A* (in due volumi), Principato, 1983.
- [22] C. BIANCHI, M. SALIN, *Dalla misura al modello*, Liviana, 1990.
- [23] A.M. MANGINI, S. MIGNASI, *La fisica per scoperta*, CEDAM, 1990.
- [24] S. PUGLIESE JONA, *Fisica e laboratorio*, vol. 1, Loescher, 1991.
- [25] *Fisica e Laboratorio*, vol. 1, Loescher, 1984.
- [26] BONI, DE MICHELE, MAYER, *Approccio alla fisica*, Paravia, 1995.



I Soci

sono caldamente invitati a rinnovare l'adesione all'A.I.F. per l'anno 1997, versando, tramite l'accluso bollettino di c.c.p., la quota sociale di lire 60.000.

A. ALBANESE, S. SCOCCO

Dip. Fisica, Laboratorio di Didattica delle Scienze,
Università "La Sapienza"
Roma

NOTE DI LABORATORIO

Un esperimento sulla dissipazione in un sistema meccanico

(Pervenuto il 13.12.95, approvato il 6.9.96)

ABSTRACT

A simple dissipative mechanical system is discussed in order to introduce, at high school level, the basic ideas on which are founded some typical experimental techniques concerning condensed matter. Some reflections are made concerning the passage from a macroscopic description to a microscopic one, both for this instructional apparatus and the much more sophisticated ones (though logically equivalent) used by researchers (i.e. torsion pendulums, viscometers...). In the last part a reflection is suggested about the role of "explanation" in physics.

Introduzione

L'esperimento che presentiamo è solo il primo di una serie di attività di laboratorio, che il nostro gruppo ha già allestito o si appresta ad allestire, nell'ambito di un progetto di ricerca che ha come scopo quello di presentare tanto agli insegnanti, quanto agli studenti a livello di scuola secondaria e Università, una trattazione generalizzata dei processi dissipativi (Wanderlingh, 1992) regolati da equazioni differenziali riconducibili a quella dell'oscillatore armonico smorzato.

Come è noto, il capitolo relativo ai fenomeni fisici che danno luogo a oscillazioni smorzate è vastissimo. Tuttavia tali fenomeni (ad es. la scarica di un condensatore in un circuito RLC e l'oscillazione di un liquido posto in un tubo a U) fanno capo a settori disciplinari della fisica che sono mantenuti rigorosamente separati nei manuali scolastici a causa, probabilmente, di una consuetudine/inerzia culturale a cui gli autori sembrano passivamente assoggettati. Riteniamo che tale scelta determini da un lato un'inutile moltiplicazione di leggi fisiche concettualmente equivalenti tra loro (la legge di Ohm generalizzata e quella di Poiseuille, nel caso citato ad esempio), dall'altro, il rischio che lo sforzo ulteriore richiesto agli studenti per memorizzare i "differenti" contenuti, vanifichi la reale comprensione da parte loro, delle regole del gioco basilari.

Tra l'altro, questa suddivisione della fisica in differenti capitoli (ottica, meccanica, termodinamica...) adottata in tutti i curricula di fisica, nel presentare le varie branche come se fossero riferite ciascuna ad una diversa base sperimentale, opera di fatto dei "tagli" nella descrizione della realtà fenomenica, senza sottolinearne di volta in volta le profonde implicazioni concettuali. Così, ad esempio, nella meccanica newtoniana si studiano i fenomeni di movimento riferendosi a oggetti del

mondo reale, trascurando però le interazioni di tipo non conservativo a cui tali oggetti sono sottoposti effettivamente nella realtà. Agli occhi di uno studente può apparire paradossale il fatto che tale meccanica, basandosi sul principio di inerzia e sul principio di conservazione dell'energia meccanica, escluda di fatto la possibilità di una tipica situazione di equilibrio quale quella relativa allo stato finale di un moto. Per spiegare l'evidenza sperimentale di un oggetto che prima o poi si ferma, si ricorre allora alla definizione di forze di attrito non conservative, alle quali viene attribuita la dissipazione di energia. Tutto ciò comporta un prezzo abbastanza alto di cui non sempre si definisce la portata: si deve rinunciare infatti al principio di conservazione dell'energia meccanica.

Dal macroscopico al microscopico: un'indagine sulla costituzione della materia a partire dallo studio delle oscillazioni smorzate.

Data la loro caratteristica unidirezionalità, si può affermare che i fenomeni meccanici dissipativi costituiscano un punto di contatto tra la meccanica, che studia oggetti privi di un interno e la termodinamica, che studia invece oggetti dotati di un interno, per di più posti in interazione con l'esterno. Non è casuale infatti che proprio lo studio delle oscillazioni smorzate (Violle, 1884) nei sistemi meccanici, a partire già dal '700 si è imposto come una tecnica molto efficace per indagare la costituzione dell'"interno" di un sistema. Già Newton aveva infatti immaginato di valutare la resistenza di un fluido per mezzo dello smorzamento delle piccole oscillazioni di un pendolo immerso in esso. L'idea venne sfruttata più tardi, per es., nel viscosimetro a disco oscillante ideato da Coulomb nel 1802 (fig. 1). La misura del coefficiente di viscosità avveniva sotto l'ipotesi che