

**LUIGI TOGLIANI**

Liceo Scientifico Statale "Belfiore"  
Mantova

**NOTE DI LABORATORIO**

## Moto di una bolla d'aria in un tubo d'acqua

(Pervenuto il 12.7.1999, approvato il 22.10.99)

### ABSTRACT

An experiment made by some students of the "Liceo Scientifico" about the motion of an air bubble in a tube filled with water. What is the inclination of the tube for the highest speed of the bubble?

Lo scorso 11 febbraio 1999 il Dipartimento di Fisica dell'Università di Parma, nell'ambito delle iniziative di "Progetto Scuola", ha indetto il concorso per "Il miglior esperimento di Fisica", destinato a classi o a gruppi di studenti delle scuole secondarie.

Dieci alunni della classe 4<sup>a</sup> E - P.N.I. 1998/99 del Liceo Scientifico "Belfiore" di Mantova hanno partecipato presentando un esperimento sul moto di una bolla d'aria in tubo riempito d'acqua. Alla premiazione avvenuta a Parma il 28/5/99 il lavoro è stato ritenuto meritevole di menzione d'onore (2° posto) dalla commissione giudicatrice.

L'esperimento, che normalmente propongo alle classi del biennio esclusivamente per introdurre il concetto di velocità media, consiste nello studiare il moto di una bolla d'aria che risale lungo un tubo di vetro riempito d'acqua. Il tubo, tappato ad entrambe le estremità, viene mantenuto ad inclinazione costante durante tutto il moto grazie ad uno stativo e ad un morsetto di sostegno. Il tubo è lungo  $(141,5 \pm 0,5)$  cm, il diametro della sua sezione interna vale  $(0,90 \pm 0,05)$  cm. Montata l'apparecchiatura, si procede alla misurazione dei tempi impiegati dalla bolla d'aria per coprire la distanza tra il punto di partenza O e uno dei traguardi prefissati A, B, C, ..., L che si succedono l'un l'altro alla distanza costante di 10 cm (fig. 1). Le misure vengono rilevate da vari studenti muniti ciascuno di contasecondi. Nell'esperimento eseguito dagli alunni citati, uno studente registrava comunque tutti gli intervalli di tempo, avendo a disposizione un cronometro adatto per memorizzare anche le durate parziali: così ogni durata risultava valutata due volte.

Dalle misure fatte si è ricavata la tabella e il grafico dello spostamento  $s$  in funzione del tempo  $t$ . Calcolando la pendenza media del grafico si è ottenuta la velocità media, sensibilmente costante, della bolla. Si è anche misurata l'altezza  $h$  dell'estremità libera del tubo e quindi, indirettamente, anche l'angolo di inclinazione del tubo rispetto al piano orizzontale. Si è ripetuto l'esperi-

mento usando diverse inclinazioni del tubo; ad ogni inclinazione si è riempita la tabella spostamento-tempo e si è fatto il grafico relativo. La tabella 1 e il grafico 1 sono stati ricavati dalla prima prova ove  $h = (20,6 \pm 0,2)$  cm. Per le altre prove tabelle, grafici e risultati sono del tutto analoghi.

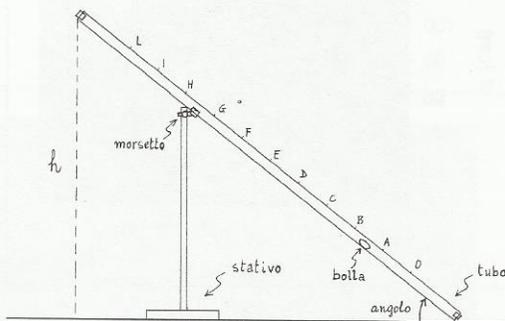


Fig. 1

Mettendo insieme i risultati di tutte le 18 prove (non si è presa in considerazione solo la sesta prova perché forniva valori poco attendibili), si giunge al fatto più significativo e anche più difficile da spiegare: la dipendenza della velocità della bolla dall'altezza  $h$  del tubo, ovvero dal suo angolo di inclinazione. Osservando i grafici 2 e 3, si nota che non hanno un andamento di uso frequente: i dati sperimentali si possono interpolare con una curva che presenta un massimo assoluto in corrispondenza di un angolo prossimo a  $55^\circ$ . Poi, all'aumentare dell'angolo da  $55^\circ$  a  $90^\circ$ , la velocità va diminuendo; il valore raggiunto dalla velocità col tubo a  $90^\circ$  è molto prossimo a quello già ottenuto per un'inclinazione di circa  $11^\circ$ .

Dare motivazioni convincenti sull'andamento grafico presentato non è cosa facile. Occorre far presente che la bolla d'aria assumeva forme diverse a seconda dell'inclinazione del tubo: con piccoli angoli di inclinazione la bolla aderiva solo in parte alle pareti di vetro del tubo, mentre per grandi angoli

l'adesione avveniva lungo tutto il diametro massimo della bolla. Il moto di risalita della bolla attraverso l'acqua si può pensare avvenga in regime laminare, anche se piccole turbolenze si potevano osservare subito oltre la 'coda' della bolla stessa.

altezza  $h = (20,6 \pm 0,2) \text{ cm}$

tempo1(s)	tempo2(s)	t(s)	s(cm)
0,0±0,2	0,0±0,2	0,0±0,2	0,0±0,1
3,3±0,2	3,0±0,2	3,1±0,2	10,0±0,1
6,5±0,2	6,2±0,2	6,3±0,2	20,0±0,1
9,4±0,2	9,4±0,2	9,4±0,2	30,0±0,1
12,7±0,2	12,6±0,2	12,7±0,2	40,0±0,1
15,8±0,2	15,8±0,2	15,8±0,2	50,0±0,1
18,8±0,2	18,8±0,2	18,8±0,2	60,0±0,1
22,0±0,2	22,0±0,2	22,0±0,2	70,0±0,1
25,3±0,2	25,2±0,2	25,3±0,2	80,0±0,1
28,5±0,2	28,3±0,2	28,4±0,2	90,0±0,1
31,6±0,2	31,4±0,2	31,5±0,2	100,0±0,1

Tab. 1 spostamento-tempo.

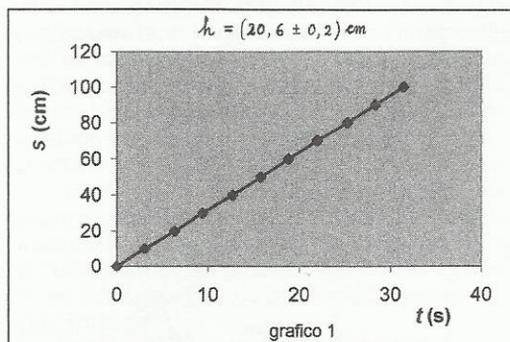


Grafico 1

Sulla bolla agisce la forza-peso  $P$ , la spinta di Archimede  $S$  e la forza d'attrito viscoso  $F$ , oltre alle reazioni vincolari contro le pareti del tubo. Per un'inclinazione generica  $\alpha$  del tubo rispetto all'orizzontale, consideriamo le componenti  $P'$  e  $S'$  rispettivamente di  $P$  e di  $S$  lungo il tubo (fig. 2). Risulta, per i moduli di tali vettori:

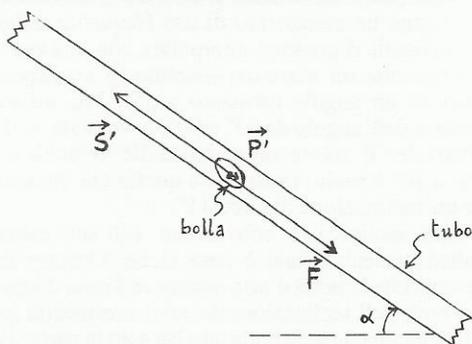


Fig. 2

$$P' = P \sin \alpha = V d' g \sin \alpha; S' = S \sin \alpha = V d'' g \sin \alpha,$$

ove  $V$  è il volume della bolla,  $g$  l'accelerazione di gravità,  $d'$  e  $d''$  sono rispettivamente la densità dell'aria e quella dell'acqua. Evidentemente  $P' \ll S'$  poiché  $d' \ll d''$ . Essendo la bolla in moto rettilineo uniforme, è nulla la risultante delle forze agenti su di essa, ovvero:

$$P' + S' + F = 0,$$

cioè, lungo la direzione del tubo:

$$V(d'' - d')g \sin \alpha = F.$$

Se si ammette che la forza d'attrito sia proporzionale alla velocità di regime  $v$ , cioè se:

$$F = k\eta v,$$

ove  $\eta$  è il coefficiente di viscosità del liquido in cui si muove la bolla e  $k$  una costante legata alla geometria della bolla, allora la velocità della bolla si può esprimere così:

$$v = \frac{V(d'' - d')g \sin \alpha}{k\eta}, \text{ con } 0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$$

È ragionevole pensare che la costante  $k$  sia funzione di  $\alpha$ , visto che la forma della bolla cambia al mutare dell'inclinazione  $\alpha$ . Probabilmente anche il volume  $V$  della bolla varia al variare di  $\alpha$ , essendo piccoli cambiamenti di pressione nel passare da un angolo all'altro. Dunque la velocità  $v$  non è proporzionale a  $\sin \alpha$ , ma la sua dipendenza dall'inclinazione del tubo è ben più complessa, come il grafico 3 sembra suggerire.

h(cm)	v(cm/s)
20,6±0,2	3,2±0,1
27,8±0,2	3,7±0,1
36,8±0,2	4,2±0,1
43,6±0,2	4,2±0,1
57,3±0,2	4,4±0,1
73,2±0,2	4,7±0,2
89,0±0,2	5,2±0,1
99,0±0,3	5,7±0,1
114,0±0,3	5,8±0,1
116,5±0,3	5,9±0,1
119,3±0,3	5,8±0,1
122,9±0,3	5,6±0,1
126,6±0,3	5,3±0,1
131±1	4,9±0,1
135±1	4,4±0,1
139±1	3,8±0,1
141±1	3,7±0,1

Tab. 2 velocità-altezza.

angolo (°)	v(cm/s)
8,4±0,1	3,2±0,1
11,4±0,1	3,7±0,1
15,1±0,1	4,2±0,1
18,0±0,1	4,2±0,1
24,0±0,1	4,4±0,1
31,3±0,1	4,7±0,2
39,1±0,2	5,2±0,1
44,6±0,2	5,7±0,1
54,0±0,3	5,8±0,1
55,7±0,3	5,9±0,1
57,8±0,3	5,8±0,1
60,6±0,3	5,6±0,1
63,9±0,3	5,3±0,1
68±1	4,9±0,1
73±1	4,4±0,1
80±1	3,8±0,1
90±1	3,7±0,1

Tab. 3 velocità-angolo.

Per fare più approfondite indagini sul fenomeno si potrebbero fare prove con bolle più piccole, al fine di ridurre le possibilità di adesione alle pareti

del tubo. Per studiare l'incidenza della viscosità sui risultati, si potrebbe rifare l'esperienza con tubi riempiti di liquidi diversi (alcool, olio, ...).

Concludendo, direi che l'esperimento, pur nella sua apparente semplicità tanto da essere proponibile a classi di biennio del Liceo Scientifico, presenta, ad una analisi meno superficiale, risultati inattesi di notevole difficoltà interpretativa.

### Ringraziamenti

Desidero ringraziare i miei alunni della citata quarta E del 1998/99: Alessandro Bianchini, Agnese Camazzola, Ignacio Gallo, Pietro Lusetti, Francesca Marullo, Filippo Mazzocchi, Emanuele Negrini, Elisa Prandini, Denis Trentini, Paolo Zani, che con il loro entusiasmo si sono cimentati con successo in questo lavoro. Un ringraziamento particolare al prof. Maurizio Francesio che ha proposto, come orologio, in un corso d'aggiornamento di diversi anni fa, un dispositivo analogo a quello adoperato in questo esperimento.

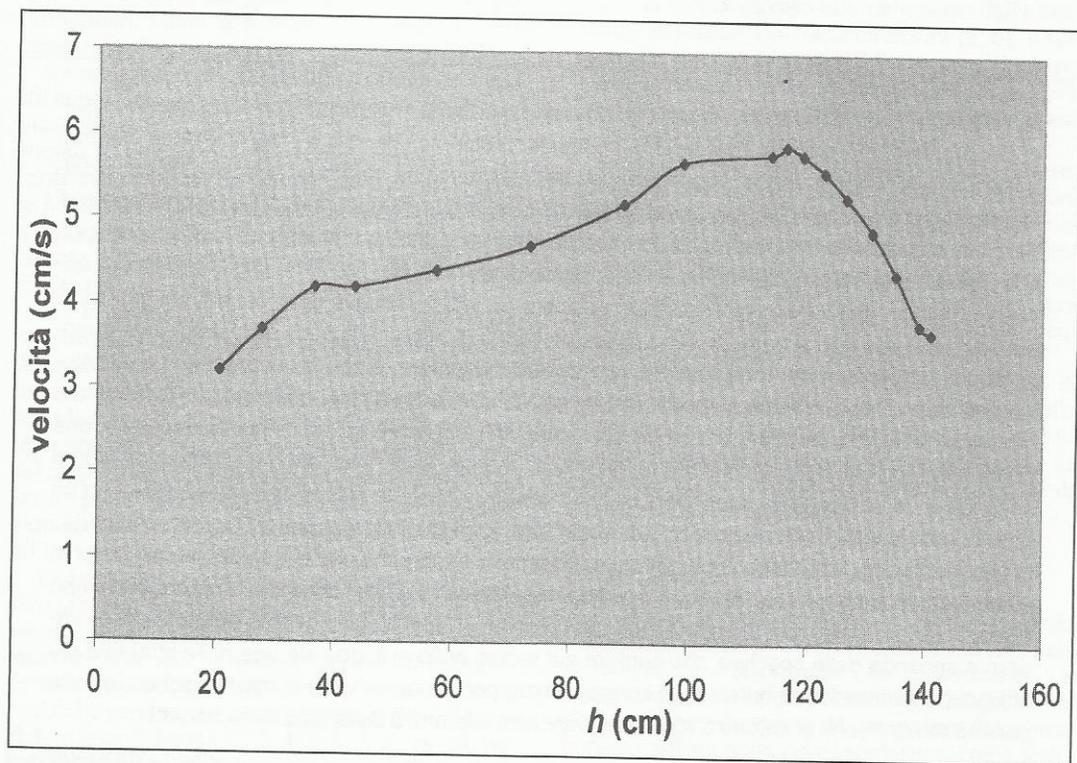


Grafico 2

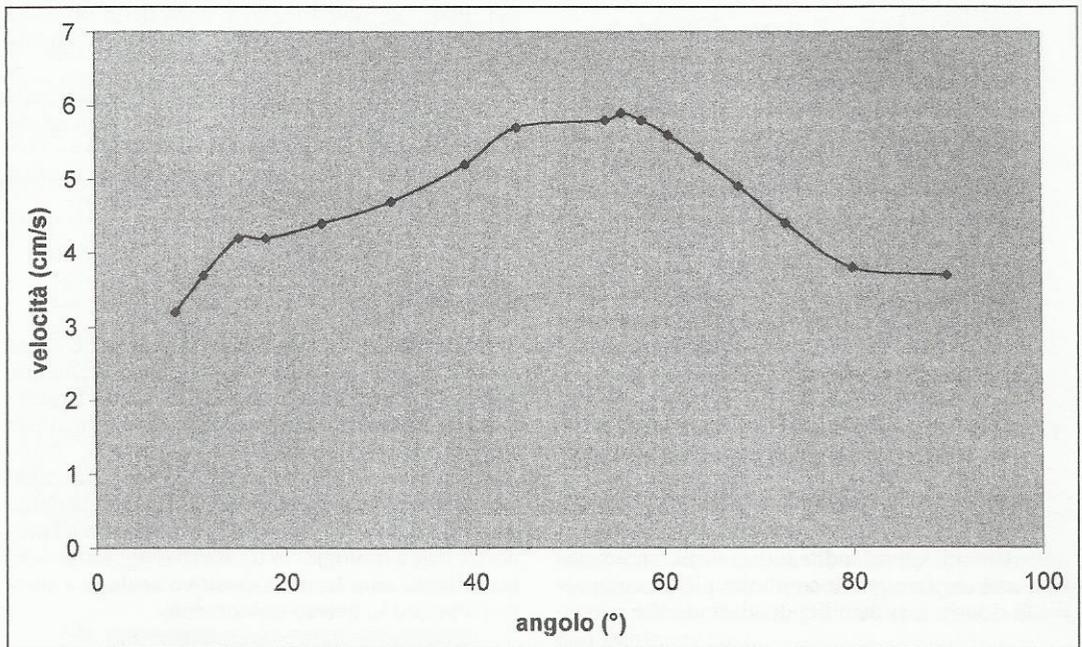


Grafico 3

Nella misura in cui il materiale di base di queste costruzioni – gli organismi – è la cellula, risulta facilmente comprensibile l'estrema difficoltà del problema che ci si è posti. Difficoltà che può essere descritta come segue. In primo luogo, se l'informazione ereditaria si trova all'interno delle cellule, nel loro nucleo, come possono queste regolare le interazioni cellulari permettendo di dare vita a queste forme predicibili? Per meglio chiarire questo punto, perché le cellule del pollice che sono le stesse dell'indice – osso, fibroblasto, muscolo ecc. – si organizzano per formare un pollice laddove deve esserci un pollice e un indice laddove deve esserci un indice? È subito chiaro che non si tratta di un semplice problema di differenziazione cellulare, come quando si deve creare un neurone anziché una cellula muscolare, bensì di un problema di strutturazione delle cellule tra loro per costruire questa o quell'altra forma, essa stessa determinata geneticamente in quanto ereditaria. La codificazione genetica è quindi coinvolta due volte, una prima a livello della differenziazione delle cellule, una seconda nella loro organizzazione, come se ci fosse un codice delle interazioni cellulari grazie al quale le cellule stesse «sanno» – in un determinato punto – alla costruzione di quale organo, o di quale sua parte, devono dedicarsi. In secondo luogo, il processo richiede un certo tempo. La dimensione di questo processo non è quindi semplicemente spaziale (qua il pollice e là l'indice). La questione del rapporto tra tempo e spazio rappresenta così un altro aspetto del problema. Sembra che questo rapporto possa variare a seconda delle specie e che puntare sul tempo dello sviluppo sia una delle strategie più efficaci per creare forme nuove e, di conseguenza, per generare varianti morfologiche – a volte persino mostri – che potranno o meno sopravvivere alla prova della selezione naturale.

*Alain Prochiantz*  
*A cosa pensano i calamari?*  
*Einaudi*