

MAURIZIO FRANCESIO

*Istituto Tecnico Industriale "Enrico Fermi",
Mantova*

NOTE DI LABORATORIO
a cura di GIULIO CALVELLI

Svuotamento di un serbatoio d'acqua attraverso un tubo capillare

(Pervenuto il 9.3.92 - Approvato il 9.5.93)

ABSTRACT

How a water reservoir empties through a capillary tube.

The article describes a simple experiment to illustrate the exponential decay of a water column. The liquid flows through a capillary tube obtained by removing the wire from a thin electric cable.

1. Introduzione

Molti fenomeni sono descritti da qualche grandezza fisica che decresce nel tempo con andamento esponenziale, tuttavia sono molto pochi gli esperimenti didattici che vengono proposti ai nostri allievi per evidenziare un tale andamento. Penso allo smorzamento delle oscillazioni di un sistema elastico, o di un pendolo, e alla scarica di un condensatore.

Nella letteratura [1], [2] si trova anche il deflusso di acqua da un serbatoio a sezione costante attraverso un tubo di vetro lungo e sottile disposto orizzontalmente, esperimento nel quale si misura, a intervalli regolari di tempo, il dislivello tra il pelo del liquido nel serbatoio e il foro d'uscita: a causa delle condizioni di regime viscoso in cui avviene il deflusso dell'acqua, il dislivello risulta diminuire col tempo in modo esponenziale.

Nonostante la semplicità dell'esperienza, non mi risulta che essa venga proposta nelle nostre scuole, forse perché poco nota o ritenuta troppo delicata a causa della fragilità del capillare di vetro che potrebbe rompersi facilmente. In questa nota intendo sottoporre all'attenzione dei colleghi una versione modificata dell'esperimento, nella quale non vengono utilizzati oggetti di vetro e il dispositivo necessario può essere costruito, con materiale facilmente reperibile e di basso costo, in qualunque istituto scolastico ed anche in casa.

La semplicità e la trasparenza dell'apparecchiatura rendono l'esperienza proponibile a qualunque livello della scuola secondaria superiore: nell'insegnamento della fisica può servire per illustrare un fenomeno caratterizzato da un andamento esponenziale decrescente, nell'insegnamento della matematica può rappresentare l'occasione per introdurre la funzione esponenziale e la funzione logaritmica.

2. Descrizione e costruzione del dispositivo

L'apparecchiatura è costituita da un tubo di plastica trasparente, fissato ad un'asta verticale, al quale è collegato, mediante un tappo forato a tenuta, un tubicino sottile, pure di plastica, disposto su un piano orizzontale.

Per la sua costruzione occorrono:

- un'asta di legno lunga da un metro e mezzo a due metri, spessa un paio di centimetri e larga circa quattro;
- tre mollette da bucato, di legno;
- una cordella metrica di metallo, da due metri;
- un tubo di plastica trasparente, lungo due metri, del diametro di circa un centimetro;
- un tappo di sughero o di altro materiale;
- un cavo elettrico unifilare, lungo almeno un metro, il cui filo metallico abbia un diametro inferiore al millimetro.

La spesa per l'acquisto del materiale dovrebbe aggirarsi intorno alle venti-trentamila lire (1991).

Le mollette da bucato servono per sostenere il tubo di plastica e vanno fissate all'asta con delle viti, a uguale distanza una dall'altra a partire da una ventina di centimetri dall'estremità. Per il fissaggio occorre smontare la molletta e avvitare una delle due branche in modo che la parte da cui la si impugna sporga per circa metà dell'asta.

La cordella metrica, tolta dal suo contenitore, va disposta sull'asta con l'origine della scala in corrispondenza di una delle estremità, infilandola in parte sotto le mollette, e fermandola con del nastro adesivo trasparente.

Il tappo deve essere sagomato in modo da chiudere bene il tubo di plastica; se di sughero, va reso impermeabile immergendolo per mezz'ora in un bagno di Vinavil diluito e lasciandolo seccare per una notte; infine va forato per lasciare passare, senza sforzo, il cavo elettrico.

Dal cavo si toglia il filo metallico interno in mo-

do che la guaina rimanga intatta: essa costituirà il pezzo più importante del nostro dispositivo, un lungo tubicino sottile attraverso cui far scorrere molto lentamente l'acqua. Per togliere il filo metallico bisogna procedere con delicatezza onde evitare rotture: si scopre il rivestimento a un'estremità per una decina di centimetri, si lega il filo ad un gancio, o a una maniglia, e si tira lentamente la guaina tenendola in prossimità del punto in cui il filo metallico va via via scoprendosi. Occorre far scorrere lungo il cavo un panno tenuto stretto con due dita, per facilitare il distacco del rivestimento di plastica dal metallo; con un po' di attenzione e di pazienza si riesce nell'intento.

Una estremità del tubicino va poi infilata nel foro del tappo, dalla parte di sezione maggiore, fino a farla sporgere di un paio di centimetri dalla parte opposta, e fissata con del collante al silicone.

Per eseguire l'esperimento si dispone l'asta verticalmente vicino a un tavolo, facendo corrispondere l'inizio della scala metrica con il piano di lavoro; usando le mollette si fissa all'asta il tubo di plastica in modo che la parte inferiore possa raccordarsi al piano del tavolo con una curva; l'estremità chiusa dal tappo dovrà toccare la superficie del tavolo, lasciando il capillare appena sopra il piano di lavoro, disposto in modo qualsiasi, ma senza sovrapposizioni; per mantenerlo aderente al piano lo si fissa con del nastro adesivo, lasciando sporgere l'estremità libera dal bordo del tavolo di un paio di centimetri.

Dopo avere provvisoriamente chiuso l'estremità libera del capillare inserendo un pezzetto di filo metallico piegato ad L, con un imbuto si riempie d'acqua il tubo di plastica. È importante che l'acqua sia alla temperatura ambiente per evitare variazioni di viscosità che potrebbero influire negativamente sulle misure: a questo scopo è consigliabile prepararla in un becker qualche ora prima dell'esperimento. (*)

3. Esperimento e analisi dei dati

Dopo avere posto un recipiente per raccogliere l'acqua sotto l'estremità del capillare sporgente dal tavolo, si toglie il pezzetto di filo di rame e si lascia

scorrere l'acqua per una decina di secondi prima di iniziare le misurazioni. Quindi, a intervalli regolari di tempo, per esempio ad ogni minuto, si legge sulla scala metrica il livello dell'acqua nel tubo.

Poiché, soprattutto all'inizio, l'acqua scende abbastanza rapidamente, per effettuare misure accurate è bene essere almeno in due: uno controlla l'orologio e dà ogni volta il via per la lettura, l'altro legge sulla scala il livello del menisco entro il tubo. Le misurazioni devono cessare prima che il pelo del liquido raggiunga il tratto in cui il serbatoio è incurvato: in tale zona la sezione orizzontale non è più costante e i risultati verrebbero alterati.

La tabella 1 raccoglie i dati di un esperimento ef-

Tabella 1

tempo t (min)	altezza h (cm)	$y = h_0 \cdot \exp(-k \cdot t)$
0,00 ± 0,02	160,0 ± 0,2	160,0
1,00 ± 0,02	151,4 ± 0,2	151,7
2,00 ± 0,02	143,5 ± 0,2	143,9
3,00 ± 0,02	135,8 ± 0,2	136,5
4,00 ± 0,02	128,5 ± 0,2	129,4
5,00 ± 0,02	121,8 ± 0,2	122,7
6,00 ± 0,02	115,3 ± 0,2	116,4
7,00 ± 0,02	109,2 ± 0,2	110,4
8,00 ± 0,02	103,6 ± 0,2	104,6
9,00 ± 0,02	98,2 ± 0,2	99,2
10,00 ± 0,02	93,3 ± 0,2	94,1
11,00 ± 0,02	88,5 ± 0,2	89,2
12,00 ± 0,02	84,0 ± 0,2	84,6
13,00 ± 0,02	79,7 ± 0,2	80,3
14,00 ± 0,02	75,7 ± 0,2	76,1
15,00 ± 0,02	71,8 ± 0,2	72,2
16,00 ± 0,02	68,0 ± 0,2	68,4
17,00 ± 0,02	64,5 ± 0,2	64,9
18,00 ± 0,02	61,2 ± 0,2	61,6
19,00 ± 0,02	58,1 ± 0,2	58,4
20,00 ± 0,02	55,1 ± 0,2	55,4
21,00 ± 0,02	52,1 ± 0,2	52,5
22,00 ± 0,02	49,4 ± 0,2	49,8
23,00 ± 0,02	46,9 ± 0,2	47,2
24,00 ± 0,02	44,6 ± 0,2	44,8
25,00 ± 0,02	42,4 ± 0,2	42,5
26,00 ± 0,02	40,1 ± 0,2	40,3
27,00 ± 0,02	38,0 ± 0,2	38,2
28,00 ± 0,02	36,1 ± 0,2	36,2
29,00 ± 0,02	34,1 ± 0,2	34,3
30,00 ± 0,02	32,3 ± 0,2	32,6
31,00 ± 0,02	30,6 ± 0,2	30,9
32,00 ± 0,02	28,9 ± 0,2	29,3
33,00 ± 0,02	27,4 ± 0,2	27,8
34,00 ± 0,02	26,0 ± 0,2	26,3
35,00 ± 0,02	24,7 ± 0,2	25,0
36,00 ± 0,02	23,5 ± 0,2	23,7
37,00 ± 0,02	22,3 ± 0,2	22,5
38,00 ± 0,02	21,2 ± 0,2	21,3
39,00 ± 0,02	20,1 ± 0,2	20,2
40,00 ± 0,02	19,0 ± 0,2	19,2
42,00 ± 0,02	17,1 ± 0,2	17,2
44,00 ± 0,02	15,4 ± 0,2	15,5
46,00 ± 0,02	13,9 ± 0,2	13,9
48,00 ± 0,02	12,4 ± 0,2	12,5
50,00 ± 0,02	11,2 ± 0,2	11,3
52,00 ± 0,02	10,1 ± 0,2	10,1
54,00 ± 0,02	9,1 ± 0,2	9,1

(*) Quando il tubo è troppo stretto non si riesce a riempirlo con l'imbuto, perché si formano delle bolle d'aria. Conviene allora immergere un estremo del tubo nel recipiente che contiene l'acqua e poi aspirare con la bocca, un po' per volta; quando il tubo si è riempito, lo si tappa agli estremi con due dita, lo si piega ad U e, tenendo le estremità alla stessa altezza, le si chiude, una con il tappo collegato al capillare, l'altra con un tappo a tenuta. A questo punto il tubo pieno d'acqua può essere montato tranquillamente sull'asta di legno e predisposto per l'esperimento.

Quando al capillare, non è mai stata osservata la formazione di bolle; potrebbero esserci bolle microscopiche, ma si può pensare che vengano trascinate dalla corrente.

fettuato con il dispositivo di fig. 1, in cui il tubo capillare era stato ricavato da un pezzo di cavo telefonico.

- diametro interno del serbatoio = $(7,68 \pm 0,03)$ mm,
- diametro del filo di rame estratto dal cavo = $(0,55 \pm 0,01)$ mm,
- lunghezza del capillare = $(80,0 \pm 0,5)$ cm.

La temperatura durante l'esperienza era intorno a $22,5$ °C.

I valori dell'altezza della colonna d'acqua sono stati rilevati dapprima ogni minuto, poi ogni due, e scendono sotto i dieci centimetri in circa un'ora. Le incertezze sono rispettivamente di un secondo sulla misura del tempo e di due millimetri sulla misura di lunghezza.

L'analisi dei dati è stata fatta all'elaboratore con il foglio elettronico Lotus-123.

Dopo avere calcolato i logaritmi naturali dei valori dell'altezza, è stata determinata, con lo stesso programma, la retta di regressione lineare (fig. 2).

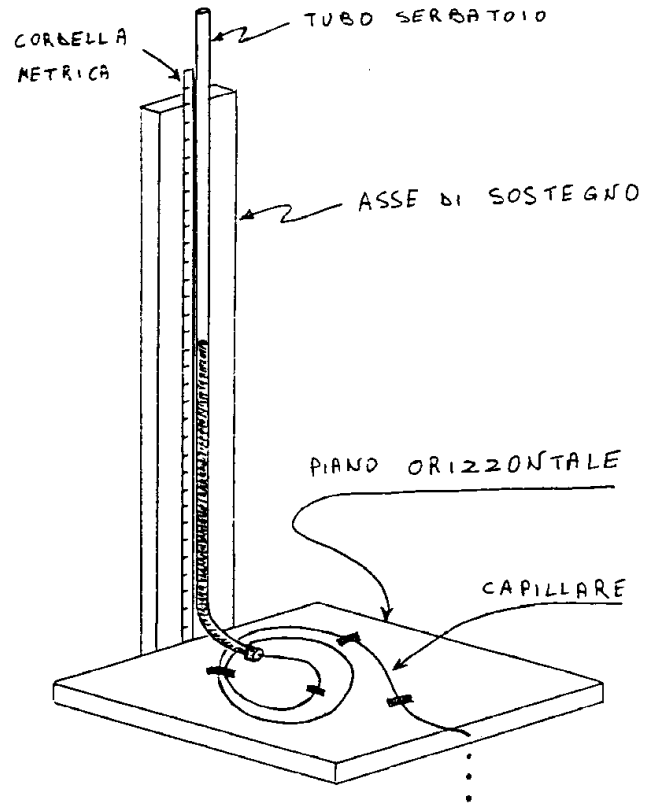


Fig. 1 - Schema del dispositivo.

SVUOTAMENTO DI UN SERBATOIO D'ACQUA

$D = 7,68$ mm $d = 0,55$ mm $L = 80$ cm

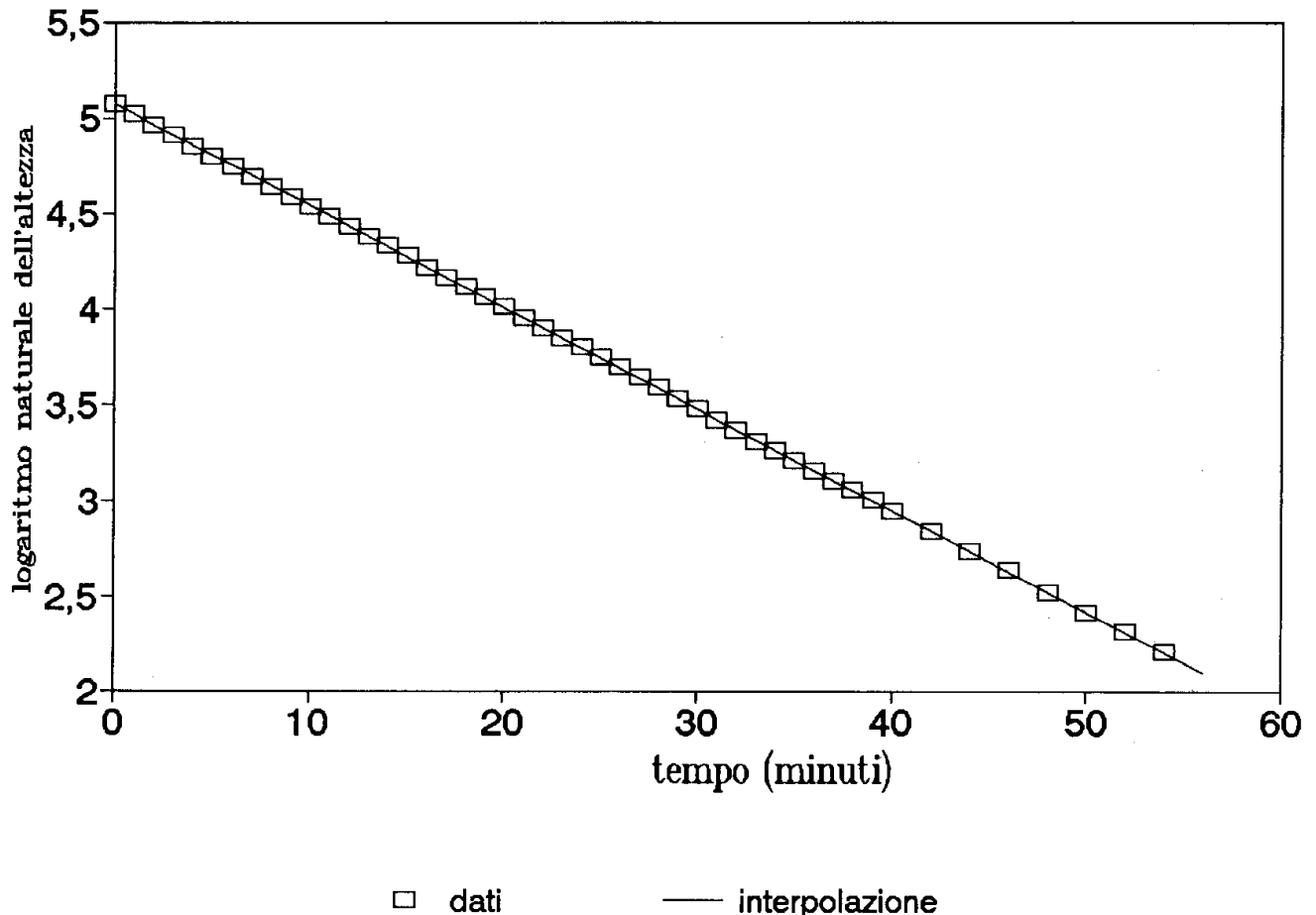


Fig. 2 - Grafico relativo ai dati di tabella 1 in cui sono rappresentati i valori del logaritmo naturale dell'altezza in funzione del tempo. La retta di regressione, calcolata con Lotus-123, ha coefficiente angolare = $-(5,307 \pm 0,003) \cdot 10^{-2} \text{ mini}^{-1}$.

Nel grafico di fig. 3 sono rappresentati i dati sperimentali (*) e la linea che li interpola, tracciata in base alla relazione

$$h(t) = h_0 e^{-kt} \quad (1)$$

con

$$h_0 = (160,0 \pm 0,2) \text{ cm},$$

$$k = (5,307 \pm 0,003) \cdot 10^{-2} \text{ min}^{-1},$$

i cui valori sono riportati nella terza colonna della tabella 1.

Sia il confronto dei dati in tabella, sia l'esame del grafico, mettono in evidenza il buon accordo della curva esponenziale con le misure effettuate.

La costante di tempo t_0 , corrispondente all'intervallo in cui l'altezza della colonna d'acqua si riduce di un fattore e , è data da

$$t_0 = 1/k = (18,84 \pm 0,01) \text{ min},$$

mentre il tempo di dimezzamento, in cui la colonna si riduce a metà, è dato da

$$t_{1/2} = \ln 2 \cdot t_0 = (13,06 \pm 0,01) \text{ min},$$

in buon accordo con il valore di circa 13 minuti ricavato dal grafico.

4. Teoria e confronto con i dati sperimentali

La teoria del fenomeno si basa sulla legge di Poiseuille [3] che governa il flusso di un liquido attraverso un tubo capillare in condizioni di regime viscoso.

La portata, ossia il volume di liquido che esce al secondo, dipende dalle caratteristiche geometriche del capillare, dalla viscosità del fluido e dalla differenza di pressione alle estremità secondo la relazione seguente

$$Q = \frac{\pi r^4 \Delta P}{8 \eta L} \quad (2)$$

dove

Q è la portata; essa è uguale alla rapidità di diminuzione, $-dV/dt$, del volume del liquido nel serbatoio,

(*) La bontà del fit è affidata al calcolo della retta di regressione effettuata dal foglio elettronico sui dati del logaritmo naturale dell'altezza in funzione del tempo. Per questo motivo ho riportato i valori della costante k e della relativa incertezza calcolati da Lotus.

I simboli usati dal programma per rappresentare i singoli dati sono più grandi di quanto richiesto per indicare le incertezze effettive, tuttavia essi non sono stati modificati per assicurare una più facile lettura del grafico.

r è il raggio del capillare,
 ΔP è il salto di pressione agli estremi del capillare,

η è la viscosità del fluido,
 L è la lunghezza del capillare.

Nel nostro caso la differenza di pressione agli estremi è dovuta al dislivello tra il pelo del liquido nel tubo verticale che funge da serbatoio e il piano di appoggio del tubo capillare. Risulta

$$\Delta P = \delta g h \quad (3)$$

dove

δ densità del liquido,
 g intensità del campo gravitazionale,
 h altezza della colonna di liquido, pari al dislivello indicato.

Dalla (2) e dalla (3) si ottiene

$$dV/dt = - \frac{\pi r^2 \delta g h}{8 \eta L} \quad (4)$$

e, poiché la variazione di volume del liquido nel serbatoio è dato da $dV = 1/4 \pi D^2 dh$, con D diametro del tubo, si ricava la seguente equazione differenziale

$$dh/dt = - k h \quad (5)$$

$$\text{con} \quad k = \frac{r^4 \delta g}{2 \eta D^2 L} \quad (5')$$

La (5) ammette come soluzione la funzione

$$h(t) = h_0 e^{-kt} = h_0 e^{-t/t_0} \quad (6)$$

dove

h_0 altezza iniziale del liquido nel serbatoio,
 $t_0 = 1/k$ costante di tempo.

Per controllare l'accordo tra teoria ed esperienza si potrebbe pensare di confrontare il valore della costante di tempo ottenuto dall'esperimento con quello previsto teoricamente in base alla relazione

$$t_0 = \frac{2 \eta D^2 L}{r^4 \delta g} \quad (7)$$

Risulta dalla (7) che t_0 dipende criticamente dal raggio del capillare poiché questo compare a denominatore elevato alla quarta potenza; ne deriva che piccole variazioni di r comportano sensibili variazioni di t_0 . Non è quindi opportuno prendere come raggio del tubicino quello del filo metallico tolto da esso perché, visto anche il procedimento seguito per l'estrazione, c'è da aspettarsi che esso sia più piccolo.

È preferibile effettuare un controllo indiretto: ricavare il diametro medio del capillare dalla rela-

SVUOTAMENTO DI UN SERBATOIO D'ACQUA

$$D = 7,68 \text{ mm} \quad d = 0,55 \text{ mm} \quad L = 80 \text{ cm}$$

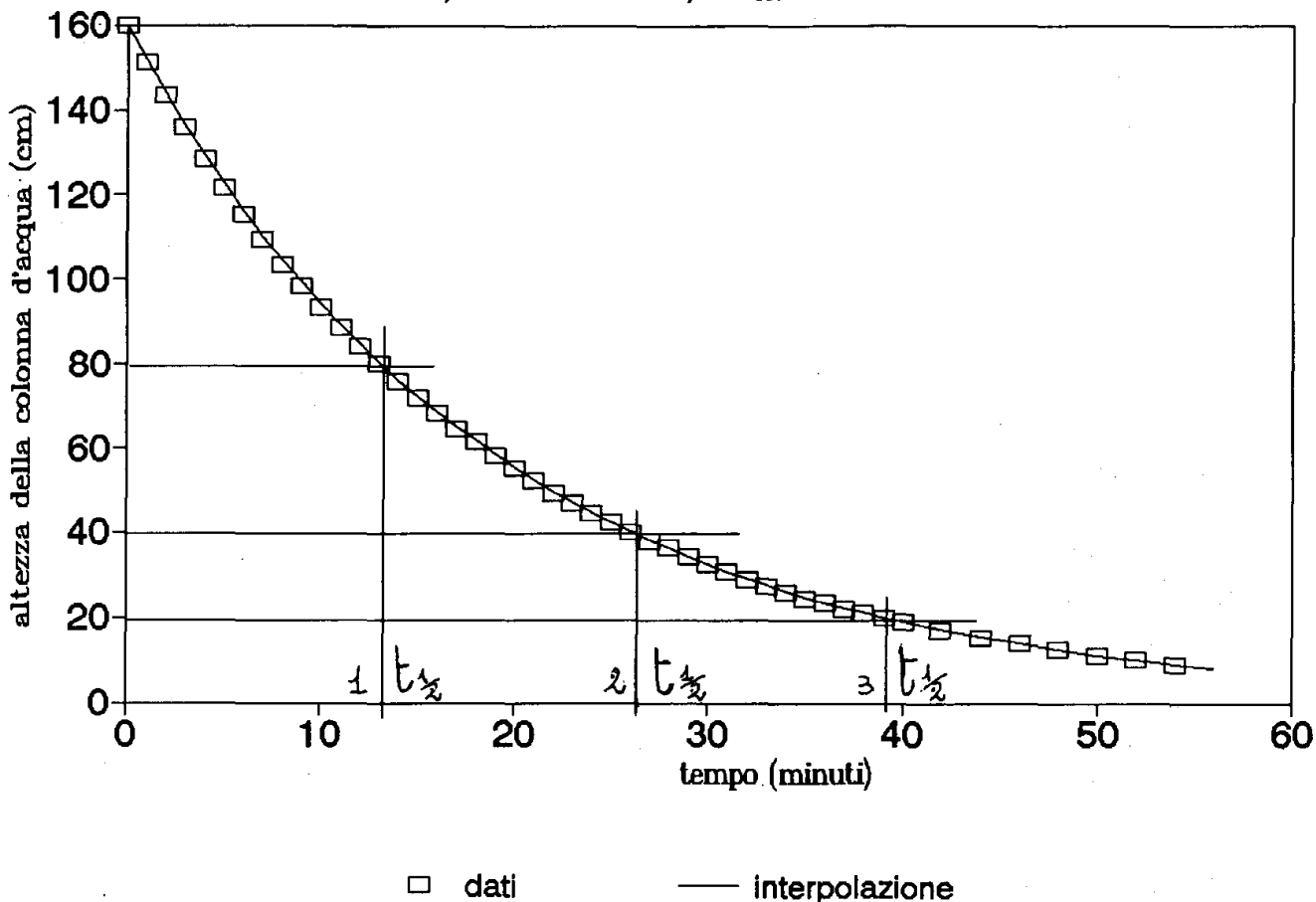


Fig. 3 - Grafico relativo ai dati di tabella 1 in cui sono rappresentati i valori dell'altezza in funzione del tempo. La curva di interpolazione corrisponde alla retta di regressione del grafico precedente. Sono stati evidenziati i tempi di riduzione dell'altezza a metà, a un quarto, a un ottavo del valore iniziale.

zione (7) in base al valore sperimentale di t_0 e degli altri dati e confrontarlo poi con quello del filo metallico estratto.

Considerato che alla temperatura di $22,5 \text{ }^\circ\text{C}$ la viscosità (*) e la densità dell'acqua sono date da:

$$\eta = (9,5 \pm 0,1) \cdot 10^{-4} \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$\delta = (9,978 \pm 0,002) \cdot 10^2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

si trova che la misura del diametro medio del capillare è

$$d = (0,600 \pm 0,004) \text{ mm} , \quad (8)$$

(*) Le variazioni di viscosità dell'acqua con la temperatura rappresentano l'aspetto più delicato. Ritengo di averlo risolto usando acqua a temperatura ambiente (dell'ambiente in cui si deve eseguire l'esperimento). I controlli da me effettuati, misurando la temperatura dell'acqua con un termometro di sensibilità $1/10 \text{ }^\circ\text{C}$ sia prima di riempire il serbatoio, sia dopo ogni esperimento, hanno dato variazioni di qualche decimo di grado, corrispondenti a un errore dell'uno per cento sulla viscosità.

superiore di circa $5/100$ di millimetro a quella del filo metallico. La precisione del risultato deriva dal fatto che per ottenerlo si è dovuta estrarre una radice quarta; anche se si fosse ottenuto un dato cinque volte meno preciso, il valore fornito dalla (8) avrebbe confermato ugualmente il buon accordo della teoria con l'esperienza. Aggiungo, per inciso, che lo stesso valore è stato da me ottenuto anche negli altri esperimenti, di cui riferisco più avanti, tutti eseguiti con lo stesso tipo di capillare, ricavato dalla medesima matassa di cavo telefonico.

5. Variazione di alcuni parametri

A) Lunghezza del capillare

Un interessante approfondimento dell'esperimento è lo studio della dipendenza del tempo di dimezzamento dalla lunghezza del capillare, senza modificare il serbatoio.

Occorre ripetere l'esperimento con capillari via

via più corti e mettere quindi in relazione i valori di $t_{1/2}$ di volta in volta ottenuti, con quelli delle lunghezze dei capillari.

In figura 4 sono rappresentati gli andamenti dell'altezza in funzione del tempo ottenuti in sei pro-

ve effettuate nelle stesse condizioni sperimentali dell'esperimento descritto nel paragrafo 3; la lunghezza del capillare è stata rispettivamente di 20, 40, 60, 80, 100, 120 cm. La temperatura è rimasta sempre sui 23 °C.

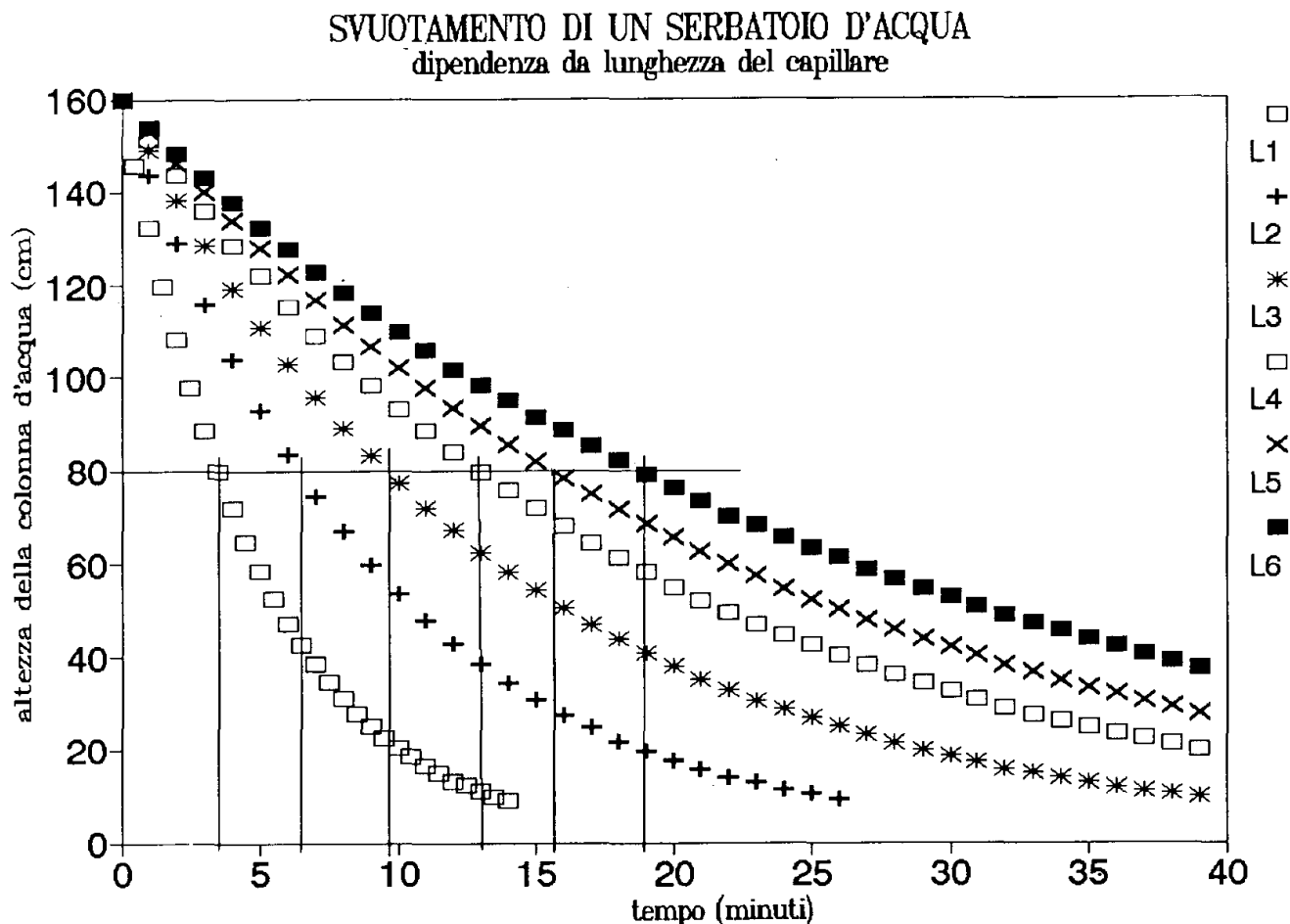


Fig. 4 - Il grafico riporta i valori dell'altezza in funzione del tempo ottenuti con lo stesso serbatoio, ma con capillari di lunghezza diversa i cui valori sono indicati in tabella 2. Sono stati evidenziati i tempi di dimezzamento nei vari casi.

Osservando le curve si può notare, sia pure in termini qualitativi, che il tempo di dimezzamento $t_{1/2}$ cresce in modo lineare. Una analisi più accurata ha fornito i dati riportati nella tabella 2 e rappresentati nel grafico di figura 5; esso mette chiaramente in evidenza la proporzionalità diretta tra il tempo di dimezzamento e la lunghezza del capillare, confermando così la validità della teoria.

B) Diametro del serbatoio

Un secondo approfondimento può essere lo studio della dipendenza del tempo di dimezzamento del diametro del serbatoio dell'acqua, a lunghezza del capillare costante.

Si tratta anche qui di ripetere l'esperimento con tubi di plastica trasparente diversi, mantenendo invariate le altre caratteristiche.

In figura 6 sono rappresentati gli andamenti dell'altezza in funzione del tempo ottenuti in cinque prove in cui il serbatoio aveva rispettivamente diametro di 4, 6, 8, 10, 14 mm circa. Il capillare era lungo $(120,0 \pm 0,5)$ cm e la temperatura era di circa 24 °C.

Osservando le curve si può notare, sia pure in termini qualitativi, che il tempo di dimezzamento $t_{1/2}$ cresce proporzionalmente al quadrato del diametro D del serbatoio. Una analisi più accurata ha fornito i dati riportati nella tabella 3 e rappresentati nel grafico di figura 7.

6. Aspetti didattici

Come ho già detto all'inizio, il dispositivo presentato in questa nota si presta per introdurre un

SVUOTAMENTO DI UN SERBATOIO D'ACQUA dipendenza da lunghezza del capillare

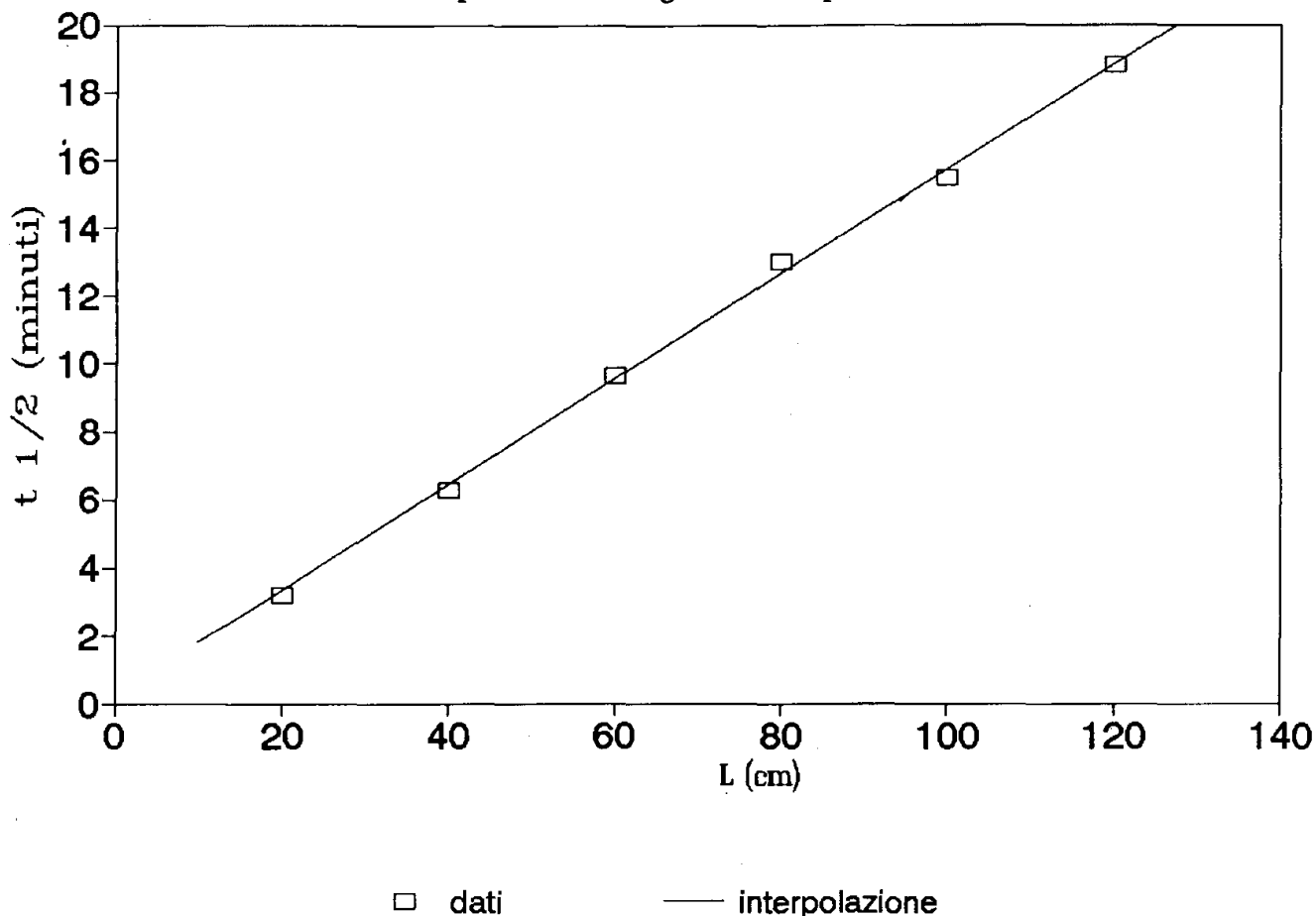


Fig. 5 - Il grafico riporta, in corrispondenza delle lunghezze dei diversi capillari, i tempi di dimezzamento indicati in tabella 2 e in figura 4. La retta di regressione è stata calcolata con Lotus-123.

Tabella 2

lunghezza L (cm)	tempo dimezz. $t_{1/2}$ (min)
$120,0 \pm 0,5$	$18,83 \pm 0,01$
$100,0 \pm 0,5$	$15,52 \pm 0,06$
$80,0 \pm 0,5$	$13,01 \pm 0,01$
$60,0 \pm 0,5$	$9,68 \pm 0,01$
$40,0 \pm 0,5$	$6,29 \pm 0,06$
$20,0 \pm 0,5$	$3,24 \pm 0,01$

fenomeno in cui una grandezza diminuisce nel tempo con legge esponenziale.

Non è necessario, soprattutto a livello elementare, fare considerazioni di carattere teorico; è sufficiente raccogliere i dati con un po' di attenzione ed evidenziare l'esistenza di un tempo di dimezzamento. Ciò consentirà poi di allargare il discorso

ad altri fenomeni in cui la natura mostra un comportamento analogo.

Ad un livello superiore, in particolare se la preparazione matematica degli allievi lo consente, si può sviluppare anche la teoria e mostrare che la funzione $h(t)$ è soluzione di una equazione differenziale molto semplice.

Nel caso di una scolaresca o un gruppo di allievi particolarmente interessati si potrebbe proporre come approfondimento la ricerca della dipendenza del tempo di dimezzamento dalla lunghezza del capillare e dal diametro del serbatoio descritte nel precedente paragrafo.

L'apparecchio può essere utilizzato in ambito didattico anche per altri due semplici esperimenti, se si usa un capillare abbastanza lungo e sottile da far uscire l'acqua a gocce in modo che possano essere contate.

A) Frequenza delle gocce a diverse quote

Si tratta di misurare la frequenza delle gocce, ad

SVUOTAMENTO DI UN SERBATOIO D'ACQUA dipendenza dal diametro del serbatoio

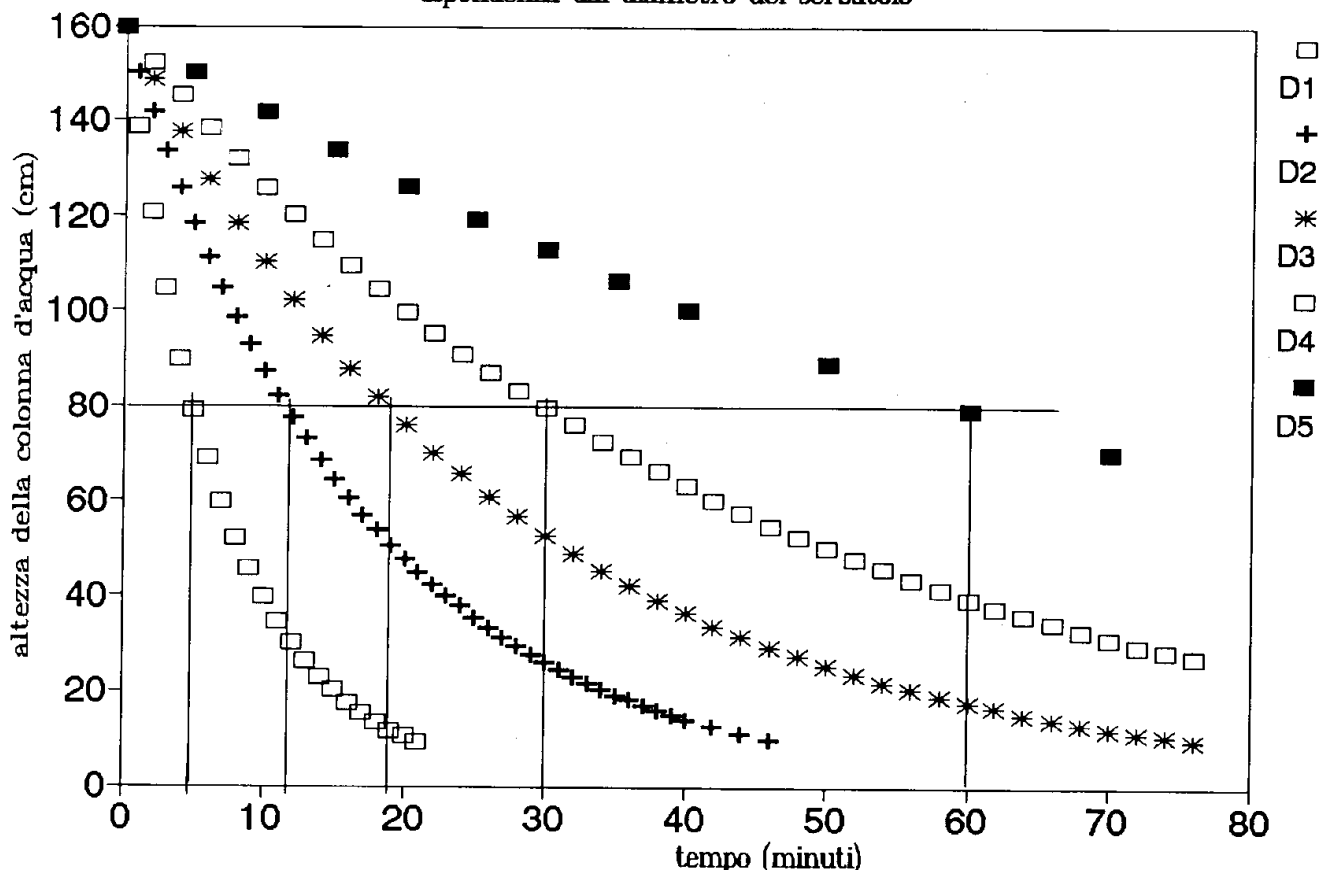


Fig. 6 - Il grafico riporta i valori dell'altezza in funzione del tempo ottenuti con lo stesso capillare, ma con serbatoi di diametro diverso i cui valori sono indicati in tabella 3. Sono stati evidenziati i tempi di dimezzamento nei vari casi.

SVUOTAMENTO DI UN SERBATOIO D'ACQUA dipendenza dal diametro del serbatoio

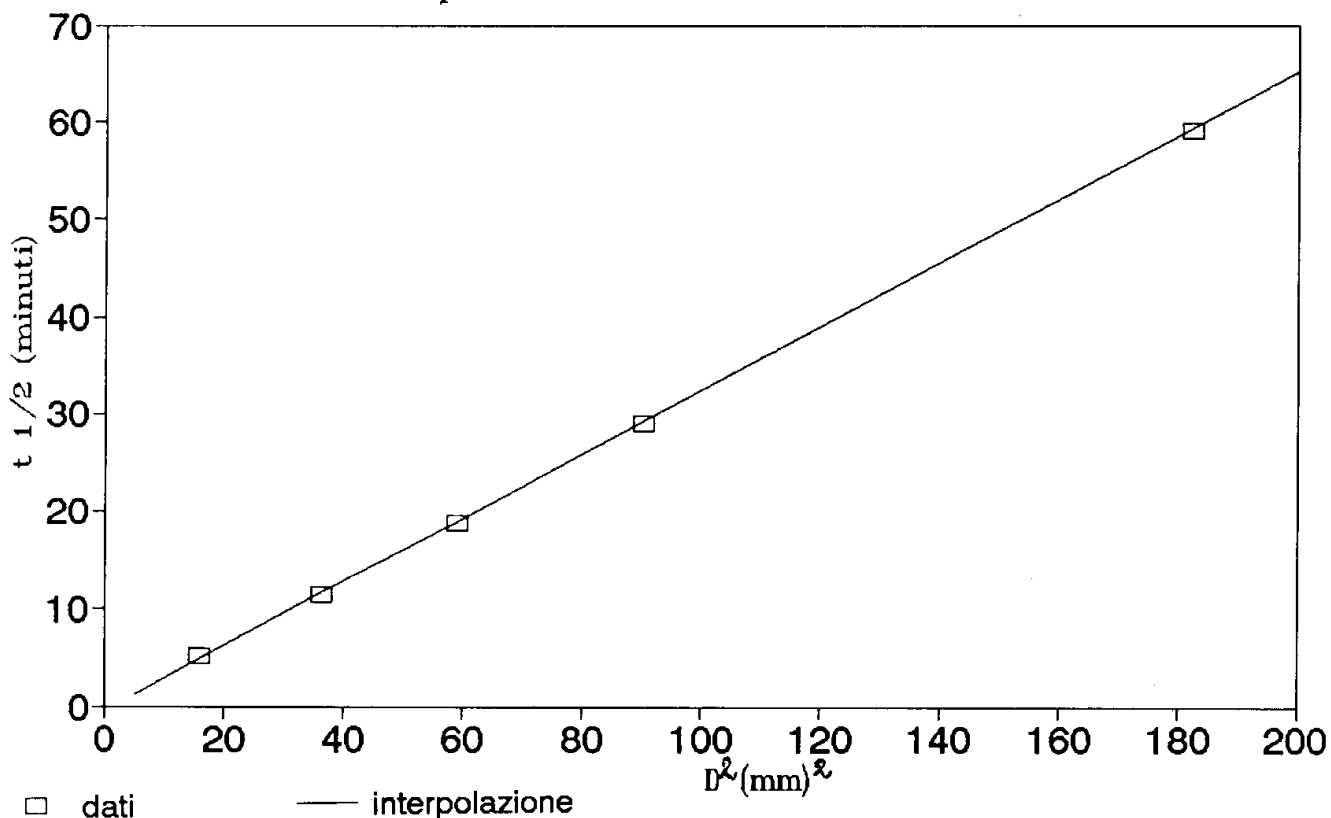


Fig. 7 - Il grafico riporta, in corrispondenza dei quadrati dei diametri dei diversi serbatoi, i tempi di dimezzamento indicati in tabella 3 e in figura 6. La retta di regressione è stata calcolata con Lotus-123

Tabella 3

diametro d serbatoio (mm)	tempo $t_{1/2}$ dimezzamento (min)
$4,0 \pm 0,1$	$5,16 \pm 0,01$
$6,02 \pm 0,03$	$11,45 \pm 0,01$
$7,68 \pm 0,03$	$18,83 \pm 0,01$
$9,50 \pm 0,03$	$29,21 \pm 0,03$
$13,50 \pm 0,03$	$59,09 \pm 0,03$

esempio il numero di gocce che escono in venti secondi, a diverse quote. Per fare le cose con una certa accuratezza bisogna essere almeno in due: mentre le gocce cadono, l'altezza della colonna d'acqua si riduce e occorre conoscere i suoi valori all'inizio e alla fine di ogni intervallo in cui esse vengono contate. L'esperimento è quindi indicato per un'attività a gruppi.

Nella tabella 4 sono riportati i dati ottenuti con

Tabella 4

altezza h (cm)	n. gocce/20 s
52 ± 1	55 ± 1
47 ± 1	49 ± 1
42 ± 1	44 ± 1
37 ± 1	40 ± 1
32 ± 1	35 ± 1
27 ± 1	30 ± 1
$22,0 \pm 0,5$	25
$17,0 \pm 0,5$	19
$12,0 \pm 0,5$	15
$7,0 \pm 0,5$	9

un serbatoio di diametro $D = (13,50 \pm 0,03)$ mm e un capillare lungo 120 cm ricavato dal solito cavo telefonico; l'incertezza è stata omessa negli ultimi dati poiché il numero di gocce che uscivano dal tubicino ogni venti secondi si era molto ridotto e il conteggio era sicuro. Il grafico di figura 8 rappre-

SVUOTAMENTO DI UN SERBATOIO D'ACQUA

FREQUENZA GOCCE A DIVERSE ALTEZZE

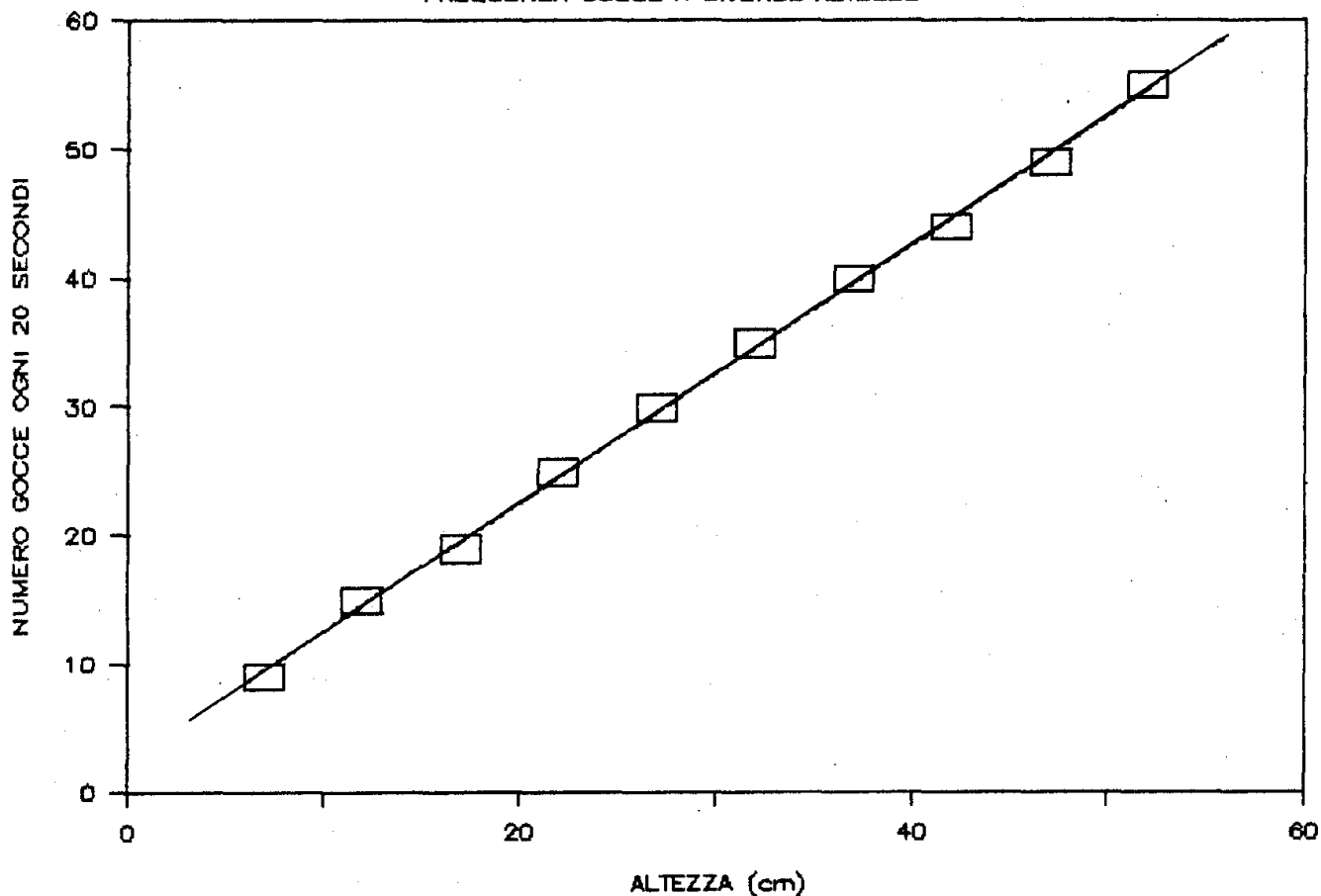


Fig. 8 - Il grafico riporta i dati di tabella 4 relativi al numero di gocce uscite dal capillare in venti secondi per diverse altezze della colonna d'acqua nel serbatoio. La retta di regressione è stata calcolata con Lotus-123.

sentia la frequenza delle gocce in funzione dell'altezza della colonna d'acqua.

L'andamento del grafico è in accordo con la legge di Poiseuille, secondo la quale la portata è direttamente proporzionale alla differenza di pressione agli estremi del capillare. Nel nostro caso la portata è espressa dal numero di gocce ogni venti secondi, la pressione dall'altezza della colonna d'acqua. Si suppone che tutte le gocce siano uguali.

B) Tempo di formazione di una goccia

Si tratta di misurare il tempo che una goccia impiega per formarsi e cadere, ad esempio misurando il tempo in cui si formano venti gocce, a diverse quote.

L'esperimento conduce ad una proporzionalità inversa tra le grandezze considerate. La relazione è facilmente prevedibile in quanto il tempo di formazione di una goccia è il reciproco della loro frequenza d'uscita dal tubicino.

L'esperimento si presta, a livello elementare, per l'introduzione della proporzionalità inversa tra due grandezze.

Riferimenti bibliografici

- [1] S. Ballou Skinner, "A simple experiment to illustrate exponential decay, half-life, and time constant", *The Physics Teacher*, vol. 9, n. 5, May 1971.
- [2] L. Ruby, "If you understand leaky buckets, you understand a lot of physics", *The Physics Teacher*, vol. 29, n. 1, January 1991.
- [3] E. Perucca, *Fisica generale e sperimentale*, vol. I, UTET, Torino 1949.

Ringraziamenti

Desidero ringraziare i tecnici Giuseppe Fiorio e Stefano Grecchi dell'ITIS "E. Fermi" di Mantova per la loro gentile collaborazione.

Conferenze e corsi d'aggiornamento per docenti di fisica e scienze - anno 1994 (a cura di S. Pugliese Jona)

SIXIEMES JOURNEES NATIONALES INFORMATIQUE ET PEDAGOGIE DES SCIENCES PHYSIQUES

data: 20-22 marzo 1994

luogo: Villeneuve d'Ascq, Francia

organizzazione: Union des Physiciens, Institut National de Recherche Pédagogique, Inspection générale de Physique et Chimie, Université des Sciences et Technologies de Lille

lingua: francese

data limite d'iscrizione: 1 marzo 1994

contatto: François-Marie BLONDEL, INRP, 91, avenue Gabriel Peri, 92120 MONTROUGE, Francia, fax 0033-1-46 57 06 16

L'ALPHABETISATION SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

data: 4, 6 e 7 aprile 1994

luogo: Chamonix, Francia

organizzazione: LIREST (Univ. Paris 7), LDES (Univ. Ginevra)

lingua: francese

data limite d'iscrizione: 31 dicembre 1993

costi: iscrizione, 550 FF; soggiorno c/o Centre J. Franco, 554 FF

contatto: D. RAICHVARG, LIREST, Case 7086, Université Paris 7, 2 place Jussieu. 75251 PARIS cedex 05, Francia

PHILOSOPHICH-HISTORISCHE THEMEN IN PHYSIKUNTERRICHT

data: 18-20 aprile 1994

luogo: Schloss Hunigen, Konolfingen, Svizzera

organizzazione: Centro per il perfezionamento degli insegnanti delle scuole secondarie della Svizzera tedesca

lingua: tedesco

data limite d'iscrizione: 31 gennaio 1994

costo d'iscrizione: 150 FSv

contatto: Fritz KUBLI, Baulistrasse 26, 8049 ZURICH, Svizzera oppure Weiterbildungszentrale, Postfach, 6000 LUZERN, Svizzera

STRUCTURES: TIME, SPACE, MATTER

data: 16-20 agosto 1994

luogo: Università di Liegi, Sart-Tilman, Belgio

organizzazione: CIPU (Cours Internationaux Post-Universitaires), Belgio

lingua: inglese, francese

contatto: Prof. Joseph DEPIREUX, Institut de Physique B-5, 4000 SART-TILMAN (Liege 1), Belgio (anche in italiano)

RIO FOLLOWUP - INTERNATIONAL SCIENCE EDUCATION CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL PROBLEMS

data: 22-27 agosto 1994

luogo: Eger, Ungheria

organizzazione: G. Marx, con il sostegno di UNESCO, ICPE, ICSU, ICTP, GIREP

lingua: inglese

costo: non superiore a 360 \$US

contatto: G. MARX, Dept. of Atomic Physics, Eotvos University, Puskin 5, H-1088 BUDAPEST, Ungheria, fax 0036-1-2660206