

Cominciamo col dire che anche questa prova "In Laboratorio" può essere condotta in un'aula, con qualche accorgimento per fare sì che gli studenti abbiano spazio sufficiente per prendere agevolmente le misure e con un buon numero di secchi per versarvi l'acqua una volta conclusa una serie di misure.

L'esperimento può essere condotto individualmente o da coppie di studenti. Gruppi più numerosi, se non abituati ad organizzarsi e a dividersi i compiti, possono avere effetti dispersivi.

La prova consiste nella classica stima delle dimensioni di una molecola di acido oleico, divulgata in tutto il mondo nelle nove edizioni (dal 1967 al 2010) del progetto IPS (Introductory Physical Science)<sup>1</sup>. È possibile che alcuni studenti abbiano già realizzato l'esperimento: in questo caso troveranno un'occasione per riflettere sui punti salienti della procedura. Da alcuni anni però l'edizione italiana del IPS è fuori catalogo e pensiamo quindi di fare cosa utile suggerendo questa misura il cui mai spento successo didattico è valutabile dalla numerosità di citazioni e versioni reperibili in internet.

### Note sull'esperimento

Pare che risalgano a Benjamin Franklin le prime osservazioni registrate sull'espansione di un olio vegetale sulla superficie dell'acqua. In una lettera alla Royal Society egli osserva che una goccia d'olio *"sull'acqua si espande istantaneamente per un'ampiezza considerevole e diventa tanto sottile che risulterebbe invisibile ..."*<sup>2</sup>. È il 1774 e Franklin è interessato a studiare l'effetto che ha sulla formazione delle onde la presenza sulla superficie dell'acqua di una pellicola d'olio. Il problema dell'espansione della pellicola d'olio sarà ripreso nel seguito, nel contesto di studi sulla tensione superficiale e, successivamente, sulla dimensione delle molecole (Irving Langmuir, 1917)<sup>3</sup>. La stima della massa della molecola richiede che si ipotizzi per essa una forma geometrica abbastanza regolare il cui volume possa essere calcolato con formule maneggevoli per lo studente. Nel testo proposto viene suggerita una forma di prisma retto a base quadrata col lato di base lungo quanto un quarto dell'altezza. Nel corso dell'esperimento si presuppone che, una volta lasciata cadere la goccia sull'acqua, l'acido si espanda fino a formare uno strato monomolecolare. Il fatto che gli strati formati da una o più gocce risultino sperimentalmente del medesimo spessore depone a favore dell'ipotesi dello strato monomolecolare. L'ipotesi sarà suffragata maggiormente dal sapere che l'acido, insolubile in acqua, possiede una bassa tensione superficiale la quale favorisce l'estensione della chiazza. I dati dell'esperimento consentono dunque la stima di un limite superiore per la lunghezza e per la massa della molecola. Se ne potrà dedurre anche l'ordine di grandezza del numero di Avogadro: infatti, una volta trovato un valore per la massa di una molecola, noto il valore della massa molare dell'acido oleico, il numero di Avogadro risulta dal rapporto fra questi due valori. Avendo tempo, l'esperimento può essere sviluppato assumendo per la molecola modelli geometrici diversi: stimando in ciascun caso il numero di Avogadro si possono confrontare i risultati col valore noto del numero di Avogadro,  $6.02214129 (27) \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

---

<sup>1</sup> [http://www.sci-ips.com/p\\_ips9\\_txtbk.htm](http://www.sci-ips.com/p_ips9_txtbk.htm)

<sup>2</sup> "...If a drop of oil is put on a polished marble table, or on a looking-glass that lies horizontally the drop remains in its place spreading very little. But when put on water it spreads instantly many feet round, becoming so thin as to produce the prismatic colors, for a considerable space and beyond them so much thinner as to be invisible, except in its effect of smoothing waves at a much greater distance..."

<sup>3</sup> Seymour S. Block, Benjamin Franklin. *Mc Farland & co.* 2004.

## Note per l'allestimento e la conduzione della prova

**Note per l'allestimento**

Una singola goccia di acido oleico puro depositata sull'acqua tenderebbe a formare una chiazza troppo grande, tanto che per rendere l'esperimento maneggevole è necessario usare gocce di soluzioni che contengono solo frazioni di acido oleico. I valori suggeriti per la concentrazione in volume della soluzione al fine di ottenere chiazze abbastanza regolari e di dimensioni accettabili vanno dallo 0.2% allo 0.05 %.

I solventi dovranno essere sufficientemente volatili da lasciare alla fine solamente l'acido oleico sulla superficie dell'acqua: alcol etilico, metilico o isopropilico, puri. Per decidere la quantità di soluzione da preparare si tenga conto che ogni studente dovrà disporre di  $10 \text{ cm}^3$  di soluzione in una boccetta di vetro con tappo. Per non appesantire la prova si è evitato di chiedere agli studenti di provare a depositare una goccia di solvente puro sulla superficie dell'acqua trattata con la polvere evidenziante. Sarà però bene che nella discussione in classe successiva alla prova possano vedere che l'alcool forma una chiazza che rapidamente si chiude mentre l'alcool evapora.

Ci vogliono vassoi con bordi alti almeno 2 cm, meglio se con il fondo di colore scuro; per la soluzione a massima concentrazione di acido oleico il diametro dovrebbe essere di circa 40 cm. Vanno bene per esempio i vassoi per il servizio ai tavoli nelle birrerie o anche i sottovasi verdi di plastica per le piante.

La polvere suggerita negli esperimenti di riferimento è il lycopodio, spore di muschio oggi non agevolmente reperibili. Le abbiamo ordinate tramite un'erboristeria. Abbiamo usato con successo anche pepe bianco, farina, borotalco. Per spargere la polvere in uno strato sufficientemente sottile è necessario coprire l'apertura del contenitore con della garza fissata con un elastico. Uno strato troppo spesso impedirebbe alla goccia di soluzione di espandersi correttamente una volta depositata sull'acqua.

**Alcuni dati campione**

Concentrazione della soluzione di acido oleico in alcool etilico:  $c = 0.5 \text{ ‰}$  (5/10.000).

Strato di farina sull'acqua contenuta in un sottovaso di plastica scura con diametro  $d = 37 \text{ cm}$ .

Si sono contate in media 55 gocce in  $1 \text{ cm}^3$ , con un volume medio  $V_{\text{goccia}} = 0.018 \text{ cm}^3$ .

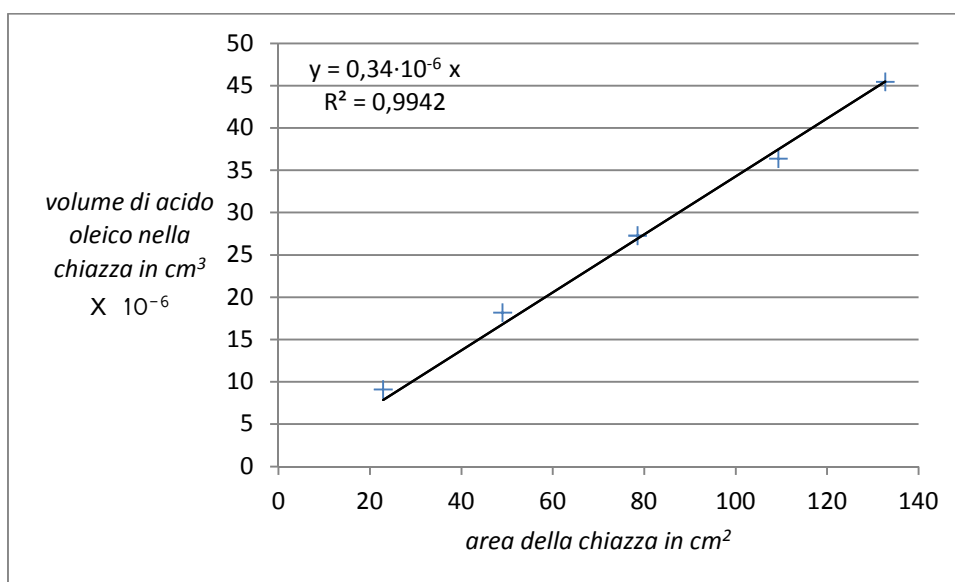
Ciascuna goccia contiene un volume di acido oleico puro  $V_{\text{oleico}} = 9.0 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^3$ .

Poiché la densità dell'acido oleico è  $d = 0.890 \text{ g cm}^{-3}$  in una goccia di soluzione la massa di acido oleico puro è  $m_{\text{oleico}} = V_{\text{oleico}} d = 8.0 \cdot 10^{-6} \text{ g}$ .

Numero di gocce sull'acqua	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	Valore medio $\bar{d}$
	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
1	3.5	5.0	7.0	6.0	5.5	5.40
2	9.0	8.0	8.5	6.0	8.0	7.90
3	12.0	11.0	7.0	10.0	10.0	10.0
4	11.0	11.0	12.0	13.0	12.0	11.8
5	13.0	16.0	14.0	9.0	13.0	13.0

## Note per l'allestimento e la conduzione della prova

<i>Numero di gocce sull'acqua</i>	<i>Area dello strato di acido oleico</i>	<i>Volume di acido oleico puro depositato sull'acqua</i>
	[cm <sup>2</sup> ]	10 <sup>-6</sup> [cm <sup>3</sup> ]
1	23	9.09
2	49	18.2
3	79	27.3
4	109	36.4
5	133	45.4



Lo spessore della chiazza risulta dunque  $\ell = 3.4 \cdot 10^{-7} \text{ cm} \approx 10^{-7} \text{ cm}$ . Gli studenti che già sanno dominare una sia pur elementare trattazione degli errori nelle misure si accorgeranno che la dispersione dei dati nella misura dei diametri rende molto impreciso il valore trovato tanto che solo la stima dell'ordine di grandezza può essere accettata. La loro sensibilità peraltro li farà apprezzare il procedimento che consente di accedere a misure tanto lontane dalla portata dei mezzi di misura comunemente disponibili.

Per determinare l'ordine di grandezza del numero di molecole presenti nella chiazza si stima il volume occupato da una singola molecola con l'approssimazione suggerita nel testo. Poiché è noto il volume di acido oleico contenuto in una goccia si ricava da questi valori il numero di molecole in una goccia.

Con l'approssimazione fatta una molecola di acido oleico è approssimabile con un prisma a base quadrata di lato  $\ell/4 = 0.85 \cdot 10^{-7} \text{ cm}$  e altezza  $\ell$ . Si stima il volume di una singola molecola a  $V_{\text{molecola}} \approx 2.5 \cdot 10^{-21} \text{ cm}^3$  e quindi il numero di molecole nella goccia

$$N = \text{volume di acido nella goccia} / \text{volume di una molecola} = 3.6 \cdot 10^{15} \approx 10^{15}$$

Per stimare la massa di una singola molecola basterà dividere la massa di acido oleico puro in una goccia

$$\text{precedentemente trovata per il numero di molecole stimato in una goccia: } m_{\text{molecola}} = \frac{8.0 \cdot 10^{-6} \text{ g}}{3.6 \cdot 10^{15}} \approx 10^{-21} \text{ g}.$$