

DIESSE FIRENZE

Didattica e Innovazione Scolastica Centro per la formazione e l'aggiornamento

SCIENZA FIRENZE

QUINDICESIMA EDIZIONE

Docenti e studenti a confronto su:

METODI E STRUMENTI NELL'INDAGINE SCIENTIFICA

"Osservare e sperimentare nello studio delle scienze"

Firenze, 19-20 aprile 2018

Menzione – Sezione Triennio

Titolo: La dimensione nascosta

Studenti: Gaia Botticelli, Filippo Caroilicchia, Mauro Giacoia, Giorgia Lumini, Matteo Vitali

Classe: 4^aBL

Scuola: Liceo Leonardo da Vinci, Cesanatico (FC).

Docente: Roberto Buda

Motivazione: un contenuto semplice, la misura della dimensione dell'acido oleico, è declinato con coerenza al tema del concorso, secondo fasi ben scandite: costruzione di un modello macroscopico per testare la correttezza dell'impostazione, discussione di un primo risultato ottenuto in base a una ipotesi di forma della molecola non corretta, e infine, dopo adeguata documentazione, ripetizione dei calcoli con un risultato confrontabile con quello accreditato. L'elaborazione dei dati è svolta con spirito critico e con strumenti semplici ma adeguati all'obiettivo sperimentale.

"LA DIMENSIONE NASCOSTA"

1. INTRODUZIONE

E' sicuramente affascinante scoprire che è possibile ottenere immagini soddisfacenti della realtà anche quando non si è in condizioni di fare delle osservazioni dirette. La natura non sembra affatto gelosa delle sue leggi e ci lascia sempre aperte delle strade, attraverso le quali, direttamente o indirettamente, possiamo giungere a scoprire i suoi segreti. Se è vero che la realtà non è gelosa dei suoi segreti è però anche vero che non si lascia mai conoscere fino in fondo. E' anche per questo che l'uomo continua a ricercare per scoprire ciò che ancora rimane "ignoto".

È estremamente improbabile che un modello corrisponda esattamente a ciò che noi possiamo vedere direttamente ma questo non ha molta rilevanza. L'importante è che, lavorando su di esso, sia possibile acquisire ulteriori conoscenze sui fenomeni. Il modello è infatti una semplice ipotesi di lavoro. Se però accade che un certo modello non si concilia, pur modificandolo, con i risultati di qualche esperienza, allora lo si deve semplicemente abbandonare e si deve cercare di realizzarne uno diverso, che non sia in contraddizione con nessuno dei dati sperimentali noti. Innamorarsi dei propri modelli è pericoloso per uno scienziato. È così che lavora il ricercatore scientifico, ed è proprio così che la scienza progredisce.

Il lavoro del nostro gruppo, ispirato da questa logica, si è dato come obiettivo quello di determinare sperimentalmente le dimensioni di una molecola di acido oleico attraverso una misura indiretta. Il risultato è stato ottenuto basandoci su di un modello che abbiamo anche messo alla prova confrontandolo con i dati sperimentali oggi noti alla comunità scientifica.

Abbiamo infatti confrontato il numero di molecole contenute in una mole di acido oleico, da noi misurato, con quello scientificamente accreditato, il ben noto numero di Avogadro.

2. DESCRIZIONE DELL'ESPERIENZA E DEL METODO SEGUITO

L'acido oleico, come spiegato in un approfondimento successivo, è una sostanza che in acqua tende a stabilirsi in strati molto sottili. Nel nostro modello supporremo che questi strati siano unimolecolari. Un piccolissima goccia di acido oleico può infatti ricoprire un'intera piscina. Non avendo a disposizione una piscina abbiamo quindi deciso di diluire l'acido oleico con alcool,

sostanza estremamente volatile, per poterne così versare una piccolissima quantità in un sotovaso pieno d'acqua ricoperta di un sottile strato di polvere di lycopodio. Il lycopodio ci ha permesso di vedere la forma della macchia di acido oleico, altrimenti invisibile. Nel modello abbiamo ipotizzato che l'alcool in soluzione evapori totalmente appena versato in acqua.

Questo metodo, come descriveremo meglio in seguito, ci ha permesso di calcolare lo spessore della macchia di acido oleico che, nel nostro modello, coincide con le dimensioni della molecola. Ogni molecola viene infatti ipotizzata simile ad una piccola pallina sferica.

Misurare direttamente le dimensioni di una singola molecola è irrealizzabile anche con i potenti mezzi del laboratorio di Fisica della nostra scuola. Come è noto è infatti impossibile osservare singole molecole ad occhio nudo ma è anche difficilissimo farlo con potenti sistemi di lenti se non ricorrendo a sofisticate e costose tecnologie non in nostro possesso.

L'acido oleico, come anche altre sostanze, tende ad occupare strati talmente sottili da rendere plausibile l'ipotesi che lo strato sia uni-molecolare.

Sappiamo infatti che:

- a) possiede una bassa tensione superficiale che ne favorisce l'estensione;
- b) non è solubile in acqua;
- c) ha densità minore dell'acqua e quindi si dispone in uno strato superiore e separato da essa.

Nella storia le prime osservazioni registrate sull'espansione di un olio vegetale sulla superficie dell'acqua risalgono a Benjamin Franklin. In una lettera alla Royal Society, egli osservava che una goccia d'olio "sull'acqua si espande istantaneamente per un'ampiezza considerevole e diventa tanto sottile che risulterebbe invisibile...".

La superficie della macchia di acido oleico dipende chiaramente dalla quantità di soluzione versata. Per questo motivo abbiamo utilizzato una quantità di acido oleico sufficientemente piccola da non permettergli di coprire totalmente la superficie del liquido, generando una piccola "macchia" abbastanza uniforme sulla superficie dell'acqua.

Abbiamo quindi misurato il volume V di acido oleico versato e poi abbiamo stimato l'area A della superficie della macchia, questo ci ha permesso di determinare lo spessore h della macchia stessa ($h=V/A$) che coincide, nel nostro modello, con lo spessore di una molecola.

In sintesi abbiamo fatto tre importanti ipotesi di lavoro:

- a. l'alcool contenuto nelle gocce di soluzione evapora appena la goccia cade;
- b. l'acido oleico forma sulla superficie dell'acqua uno strato uni-molecolare;
- c. la molecola di acido oleico ha una simmetria sferica.



3. SIMULAZIONE DEL MODELLO

Prima di addentrarci nell'esperienza vera e propria abbiamo voluto realizzare una simulazione macroscopica. Abbiamo simulato l'esperienza attraverso delle piccole palline di polistirolo. Le palline di polistirolo rispettano infatti le ipotesi del nostro modello: galleggiano in acqua e si distribuiscono in un unico strato. In questo caso la misura indiretta del diametro delle palline è possibile verificarla con una sua misura diretta.

Abbiamo versato nell'acqua in successione tre piccoli becher da 10ml pieni di palline (V_{p1} , V_{p2} , V_{p3}) ed abbiamo ogni volta stimato la superficie della macchia generata dalle palline di polistirolo distribuitesi sull'acqua (A_1 , A_2 , A_3). Abbiamo poi riportato i risultati ottenuti in un grafico $V_p - A$ (grafico 1) e da questo abbiamo ricavato le rette di massima e minima pendenza corrispondenti da cui abbiamo ricavato lo spessore della macchia ($h=V_p/A$).

Le tre superfici sono state approssimate con dei cerchi. Di seguito vengono riportati i dati raccolti e rielaborati:

$$d_1(\text{diametro } A_1)=(6,5 \pm 0,5) \times 10^{-2} \text{ m} \quad \varepsilon_{\text{rel}}(d_1)=0,08 \text{ (8\%)}$$

$$d_2(\text{diametro } A_2)=(10 \pm 1) \times 10^{-2} \text{ m} \quad \varepsilon_{\text{rel}}(d_2)=0,1 \text{ (10\%)}$$

$$d_3(\text{diametro } A_3)=(12,5 \pm 0,5) \times 10^{-2} \text{ m} \quad \varepsilon_{\text{rel}}(d_3)=0,04 \text{ (4\%)}$$

Abbiamo quindi calcolato l'area della superficie occupata dalle palline ($A=\pi d^2/4$):

$$A_1 = (33 \pm 5) \times 10^{-4} \text{m}^2 \quad \varepsilon_{\text{rel}}(A_1) = 0,16 \text{ (16\%)}$$

$$\varepsilon_{\text{ass}}(A_1) = 2 \times \varepsilon_{\text{rel}}(d_1) \times A_1$$

$$A_2 = (79 \pm 16) \times 10^{-4} \text{m}^2 \quad \varepsilon_{\text{rel}}(A_2) = 0,2 \text{ (20\%)}$$

$$\varepsilon_{\text{ass}}(A_2) = 2 \times \varepsilon_{\text{rel}}(d_2) \times A_2$$

$$A_3 = (120 \pm 10) \times 10^{-4} \text{m}^2 \quad \varepsilon_{\text{rel}}(A_3) = 0,08 \text{ (8\%)}$$

$$\varepsilon_{\text{ass}}(A_3) = 2 \times \varepsilon_{\text{rel}}(d_3) \times A_3$$

Dal grafico abbiamo stimato la pendenza della reta di massima pendenza (h_{max}) e la pendenza della reta di minima pendenza (h_{min}) e poi abbiamo calcolato h nel modo seguente:

$$h_{\text{min}} = (9 \times 10^{-6} \text{m}^3) / (38 \times 10^{-4} \text{m}^2) = 0,2 \times 10^{-2} \text{m} \quad h_{\text{max}} = (33 \times 10^{-6} \text{m}^3) / (110 \times 10^{-4} \text{m}^2) = 0,3 \times 10^{-2} \text{m}$$

$$h = (h_{\text{max}} + h_{\text{min}}) / 2 = 2,5 \times 10^{-3} \text{m} \quad \varepsilon_{\text{ass}}(h) = (h_{\text{max}} - h_{\text{min}}) / 2 = 0,5 \times 10^{-3} \text{m} \quad \varepsilon_{\text{rel}}(h) = 0,2 \text{ (20\%)}$$

La dimensione della pallina, corrispondente allo spessore della macchia, risulta essere:

$$h = (2,5 \pm 0,5) \times 10^{-3} \text{m}$$

Questa misura l'abbiamo confrontata con la misura diretta del diametro delle palline. Per misurare direttamente il diametro della pallina (h^*), non essendo tutte perfettamente uguali, ne abbiamo misurate 40 e poi abbiamo fatto la media e come errore abbiamo preso la semidisersione. La misura trovata risulta essere:

$$h^* = (3 \pm 1) \times 10^{-3} \text{m}$$

Entro gli errori le due misure coincidono. Questa esercitazione quindi, oltre a darci la possibilità di vedere con gli occhi una simulazione del nostro modello, ci ha permesso di verificare la correttezza della procedura che seguiremo durante l'esperienza vera e propria.



4. RIELABORAZIONE DEI DATI SPERIMENTALI

Dopo avere elaborato e conosciuto meglio il nostro modello abbiamo iniziato l'esperienza.

Come prima cosa abbiamo realizzato una soluzione di acido oleico e alcool (0,1%). Abbiamo preso prima 1ml (q_1) di acido oleico e l'abbiamo portato a volume ($q_2=100\text{ml}$) in un matraccio ottenendo così una soluzione con una concentrazione del 1% (c_1). Successivamente abbiamo preso 10ml (q_3) della soluzione ottenuta e l'abbiamo portata a volume ($q_4=100\text{ml}$) come fatto precedentemente ottenendo la soluzione che abbiamo usato nell'esperienza con una concentrazione pari allo 0,1% (c_{tot}). Di seguito riportamo le misure ed i calcoli effettuati:

$$q_1=(1,00 \pm 0,02)\text{ml} \quad \varepsilon_{\text{rel}}(q_1)=0,02 \text{ (2\%)} \quad q_2=(100,0 \pm 0,1)\text{ml} \quad \varepsilon_{\text{rel}}(q_2)=0,001 \text{ (0,1\%)}$$

Abbiamo poi calcolato la concentrazione della prima soluzione ($c_1=q_1/q_2$):

$$C_1=(1,00 \pm 0,02) \times 10^{-2} \quad \varepsilon_{\text{rel}}(C_1)=0,02 \text{ (2\%)} \quad \varepsilon_{\text{ass}}(C_1)=[\varepsilon_{\text{rel}}(q_1)+\varepsilon_{\text{rel}}(q_2)] \times C_1$$

di seguito:

$$q_3=(10,0 \pm 0,2)\text{ml} \quad \varepsilon_{\text{rel}}(q_3)=0,02 \text{ (2\%)} \quad q_4=(100,0 \pm 0,1)\text{ml} \quad \varepsilon_{\text{rel}}(q_4)=0,001 \text{ (0,1\%)}$$

abbiamo poi calcolato la concentrazione della seconda soluzione ($c_2=q_3/q_4$).

$$C_2=(1,00 \pm 0,02) \times 10^{-1} \quad \varepsilon_{\text{rel}}(C_2)=0,02 \text{ (2\%)} \quad \varepsilon_{\text{ass}}(C_2)=[\varepsilon_{\text{rel}}(q_3)+\varepsilon_{\text{rel}}(q_4)] \times C_2$$

Da queste due concentrazioni abbiamo ricavato la concentrazione finale ($C_{\text{tot}}=C_1 \times C_2$):

$$C_{\text{tot}}=(1,00 \pm 0,04) \times 10^{-3} \quad \varepsilon_{\text{rel}}(C_{\text{tot}})=0,04 \text{ (4\%)} \quad \varepsilon_{\text{ass}}(C_{\text{tot}})=[\varepsilon_{\text{rel}}(C_1)+\varepsilon_{\text{rel}}(C_2)] \times C_{\text{tot}}$$

A questo punto abbiamo calcolato la misura del volume della goccia di soluzione (V_{GOC}) che di volta in volta veniva versata sulla superficie dell'acqua. Per raggiungere questo scopo abbiamo contato il numero di gocce (N_{GOC}) necessarie per ottenere 2ml di soluzione (V_{SOL}).

Di seguito riportamo le misure ed i calcoli effettuati:

$$N_{GOC}=(188 \pm 1) \quad \varepsilon_{rel}(N_{GOC})=0,005 (0,5\%) \quad V_{SOL}=(2,0 \pm 0,2)ml \quad \varepsilon_{rel}(V_{SOL})=0,1 (10\%)$$

$$V_{GOC}=V_{SOL}/N_{GOC}= (1,1 \pm 0,1) \times 10^{-8} m^3 \quad \varepsilon_{rel}(V_{GOC})=0,1 (10\%) \quad \varepsilon_{ass}(V_{GOC})= [\varepsilon_{rel}(V_{SOL})+\varepsilon_{rel}(N_{GOC})] \times V_{GOC}$$

Ora è possibile calcolare il volume di acido oleico (V_{AO}) presente in ogni goccia ($V_{AO}=C_{tot} \times V_{GOC}$):

$$V_{AO}=V_{GOC} \times C_{tot}= (1,10 \pm 0,15) \times 10^{-11} m^3 \quad \varepsilon_{rel}(V_{AO})=0,14 (14\%) \quad \varepsilon_{ass}(V_{AO})= [\varepsilon_{rel}(V_{GOC})+\varepsilon_{rel}(C_{TOT})] \times V_{AO}$$

Prima di versare le gocce di soluzione abbiamo verificato che una goccia di alcool puro, versata in acqua, evapora subito. Lo abbiamo verificato osservando che il licopodio si espande per poi restringersi ritornando allo stato iniziale. Questo rende credibile la prima delle nostre ipotesi.

A questo punto abbiamo iniziato a versare le gocce di soluzione sulla superficie dell'acqua ricoperta da un sottilissimo strato di polvere di licopodio. Abbiamo versato due gocce in successione ed abbiamo stmato la superficie della macchia generata dalle due gocce (A_1 e A_2). Abbiamo quindi riportato i risultati ottenuti in un grafico $V_{AO} - A$ (grafico n.2) e da questo abbiamo ricavato le rette di massima e minima pendenza dalle quali abbiamo ricavato lo spessore della macchia ($h=V_{AO}/A$).

Le due superfici si sono rivelate molto irregolari e così abbiamo cercato di approssimarle con la figura geometrica più simile alla macchia generata (cerchio). Questo ci ha permesso di stimare l'area della macchia commettendo però un errore notevole. Di seguito vengono riportati i dati raccolti e rielaborati:

$$d_1(\text{diametro } A_1)=(8,5 \pm 0,5) \times 10^{-2} m \quad \varepsilon_{rel}(d_1)=0,06 (6\%)$$

$$d_2(\text{diametro } A_2)=(10,5 \pm 1,5) \times 10^{-2} m \quad \varepsilon_{rel}(d_2)=0,14 (14\%)$$

Abbiamo quindi calcolato l'area del cerchio ($A=\pi d^2/4$):

$$A_1=(57 \pm 7) \times 10^{-4} m^2 \quad \varepsilon_{rel}(A_1)=0,12 (12\%) \quad \varepsilon_{ass}(A_1)= 2 \times \varepsilon_{rel}(d_1) \times A_1$$

$$A_2=(90 \pm 30) \times 10^{-4} m^2 \quad \varepsilon_{rel}(A_2)=0,3 (30\%) \quad \varepsilon_{ass}(A_2)= 2 \times \varepsilon_{rel}(d_2) \times A_2$$

Dal grafico abbiamo stimato la pendenza della retta di massima pendenza (h_{max}) e la pendenza della retta di minima pendenza (h_{min}) e poi abbiamo calcolato h come riportato di seguito:

$$h_{\max} = (1,25 \times 10^{-11} \text{m}^3) / (50 \times 10^{-4} \text{m}^2) = 2,5 \times 10^{-9} \text{m} \quad h_{\min} = (1,90 \times 10^{-11} \text{m}^3) / (120 \times 10^{-4} \text{m}^2) = 1,6 \times 10^{-9} \text{m}$$

$$h = (h_{\max} + h_{\min}) / 2 = 2,05 \times 10^{-9} \text{m} \quad \epsilon_{\text{ass}}(h) = (h_{\max} - h_{\min}) / 2 = 0,4 \times 10^{-9} \text{m} \quad \epsilon_{\text{rel}}(h) = 0,2 \text{ (20\%)}$$

Abbiamo così raggiunto in nostro scopo ed abbiamo misurato indirettamente lo spessore della macchia di acido oleico che nel nostro modello coincide con le dimensioni della molecola di acido oleico:

$$h = (2,0 \pm 0,4) \times 10^{-9} \text{m}$$

Qual è il significato fisico dello spessore trovato? Se lo strato è uni-molecolare, come da noi ipotizzato, il suo spessore ci fornisce un limite superiore alle dimensioni delle molecole.

Questo risultato ci permette ora di controllare la veridicità dell'ultima ipotesi fatta: la molecola ha una simmetria sferica.

Se così fosse possiamo ora calcolare una approssimazione del numero di Avogadro (N_A) attraverso il rapporto tra il volume di una mole di acido oleico ($V_{\text{MoleAO}} = 323,53 \times 10^{-6} \text{m}^3$) e il volume del cubo contenente una molecola di acido oleico (h^3).

Di seguito riportamo i calcoli effettuati:

$$N_A = V_{\text{MoleAO}} / h^3 = (4 \pm 3) \times 10^{22} \quad \epsilon_{\text{rel}}(N_A) = 0,6 \text{ (60\%)} \quad \epsilon_{\text{ass}}(N_A) = 3 \times \epsilon_{\text{rel}}(h) \times N_A$$

Come si può notare il risultato ottenuto non corrisponde al valore scientificamente accreditato del numero di Avogadro. Risulta infatti più piccolo di un ordine di grandezza. Questo vuol dire che nel nostro modello è presente qualcosa di non corretto. Per capire quale errore abbiamo commesso abbiamo studiato più in profondità le caratteristiche della molecola di acido oleico. Nel prossimo paragrafo vengono riportati i contenuti più interessanti di questo nostro approfondimento.

5. ACIDO OLEICO

L'acido oleico, o acido cis-9-otadecenoico secondo la nomenclatura IUPAC, è uno degli acidi grassi più diffusi in natura. Sotto forma di gliceride è presente infatti in tutti i grassi animali e in tutti gli oli vegetali. Venne scoperto per la prima volta da Michel Eugène Chevreul nel 1823 mentre conduceva

studi sul grasso del maiale e le sue caratteristiche vennero descritte da Gotlieb, che lo ottenne purissimo. La sua struttura venne chiarita da altri ricercatori nel 1898 e soltanto nel 1934 venne sintetizzato per la prima volta.

La sua struttura è quella tipica degli acidi grassi mono insaturi, che hanno un doppio legame fra due coppie di atomi di carbonio verso la metà della lunga catena idrocarburica a-polare. In particolare, appartiene alla famiglia degli acidi grassi omega-9: l'unico doppio legame carbonio-carbonio si trova sul nono atomo rispetto all'ultimo della catena, chiamato appunto omega. Unica parte polare è la testa, costituita da un gruppo carbossilico.

Per la sua notevole importanza, la serie di acidi con una struttura simile alla sua (quindi insatura monocarbossilica), è denominata serie oleica.

Di seguito vengono riportate alcune sue caratteristiche:

| | |
|----------------|--------------------------------|
| Formula bruta: | $C_{18}H_{34}O_2$ |
| Massa molare: | 282,47 g/mol |
| Densità: | 0,9 g/dm ³ (a 20°C) |
| Aspetto: | incolore |

L'acido oleico inizialmente si può solubilizzare in alcool grazie a un gruppo lipofilo di quest'ultimo: il residuo metilico R-CH₃.

D'altro canto, come tutti i lipidi, l'acido oleico è insolubile in acqua a causa dei numerosi legami covalenti a-polari: la parte idrocarburica prevale nettamente su quella del gruppo carbossilico. In un ambiente acquoso, come quello della nostra esperienza, le teste (idrofile) interagiscono con l'acqua, mentre le code (idrofobe) si rivolgono verso l'esterno. Le molecole, inoltre, tendono ad allinearsi e le code si radunano le une vicine alle altre, formando una struttura tenuta insieme da forze di London, legami che presi singolarmente risultano piuttosto deboli, ma sommati possono dare luogo a interazioni stabili.

Questa loro caratteristica porta a formare in acqua uno strato uni-molecolare che si frappona fra acqua e aria: due molecole non tendono a sovrapporsi perché le loro teste sono entrambe attratte dall'acqua, mentre le loro code sono propense a legarsi l'un l'altra. Occorre specificare, inoltre, che le molecole sono libere di orientarsi in questo modo perché la forza di gravità non influisce sulla loro posizione.

È interessante notare che la catena di idrocarburi è molto più lunga della larghezza del gruppo carbossilico questo indica che l'ipotesi di una molecola con simmetria sferica risulta errata.

L'ipotesi più plausibile sarebbe considerare una molecola di acido oleico simile ad un prisma retto a base quadrata con l'altezza pari al quadruplo del lato di base (come anche suggerito nell'edizione 2015 dei "giochi di Anacleto").

Abbiamo preso questo parametro (altezza=4 x lato di base) consapevoli che alcuni test scientifici propongono altri fattori simili. Per il nostro scopo non ci sono notevoli variazioni in quanto, viste le incertezze present nelle nostre misure, quello che misuriamo in pratica è l'ordine di grandezza del Numero di Avogadro.

6. CONCLUSIONI

Questo approfondimento ci ha chiaramente indicato che l'ipotesi fatta circa la forma delle molecole di acido oleico era errata. La nuova ipotesi ci porta a dire che nel volume dove prima era contenuta una sola molecola ora ve ne stanno 16.

Per verificare la nuova ipotesi basta quindi moltiplicare il numero di Avogadro determinato in precedenza (N_A) per il numero 16 in modo da ottenere la nuova approssimazione (N_A^*).

Ecco i risultati ottenuti:

$$N_A^* = N_A \times 16 \quad \varepsilon_{\text{rel}}(N_A^*) = 0,6 \text{ (60\%)} \quad \varepsilon_{\text{ass}}(N_A^*) = 16 \times \varepsilon_{\text{ass}}(N_A)$$

$$\mathbf{N_A^* = (6 \pm 4) \times 10^{23}}$$

Come si può vedere è in perfetto accordo con il valore accreditato dalla comunità scientifica.

Bibliografia e sitografia:

- 1) http://www.treccani.it/enciclopedia/acido-oleico_%28Dizionario-di-Medicina%29/
- 2) Akoh C.C. and Min D.B. "Food lipids: chemistry, nutrition, and biotechnology" 3th ed. 2008
- 3) <http://www.humanitas.it/enciclopedia/integratori-alimentari/acido-oleico>
- 4) <http://www.robortobigoni.it/Fisica/Student/Mignani/Avogadro/acidooleico.htm>
- 5) <https://www.vialatea.net/content/3609/>
- 6) Libro di testo "Biologia, scienza della vita", Zanichelli
- 7) testo della prova dei "giochi di Anacleto 2015"