

La misura della concentrazione dell'ossigeno in acqua

Maria Grazia Corradini

ITIS Augusto Righi-VIII, Napoli

Questo percorso didattico è centrato sullo studio della presenza dell'ossigeno disciolto in acqua, sulla misura della sua concentrazione e sulle variabili che l'influenzano.

La presenza di ossigeno in acqua è estremamente importante in quanto rende possibile l'esistenza della vita animale e vegetale negli ambienti acquatici. Gli organismi animali, però, possono sopravvivere solo in presenza di una determinata quantità di ossigeno che può variare in un intervallo alquanto ristretto. Pertanto risulta determinante poterne misurare la concentrazione e conoscere quali fattori possono farne variare le condizioni.

Le attività di laboratorio previste sono centrate sulla misura della concentrazione di ossigeno in campioni di acqua e sulla variazione della concentrazione in funzione della variabile temperatura.

Concentrazione e solubilità

L'acqua ha un elevato potere solvente sia nei confronti dei solidi ionici sia dei liquidi polari. I gas sono generalmente meno solubili dei liquidi e la loro concentrazione in soluzione dipende da numerosi fattori.

La concentrazione indica quanto soluto è sciolto in una determinata quantità di solvente o di soluzione ed è espressa sempre come rapporto tra una grandezza, che indica la quantità di sostanza disciolta, ed un'altra grandezza, che indica o la quantità di soluzione o la quantità di acqua in cui si trova disciolta la quantità di sostanza presente al numeratore del rapporto. Anche la solubilità indica una concentrazione, ma indica la concentrazione massima che si può realizzare. La soluzione, in cui la concentrazione del soluto è uguale alla solubilità, si chiama soluzione satura.

La solubilità dei diversi gas in acqua assume valori molto diversi tra loro, e dipende, a parità di altre grandezze, dalla maggiore o minore interazione tra le molecole di acqua e di gas. I gas formati da molecole polari come HCl o NH₃ sono molto solubili in acqua, mentre quelli formati da molecole non polari come H₂ o He sono quasi insolubili in acqua..

La molecola di ossigeno, come tutte le molecole non polari, subisce l'"influenza" delle molecole di acqua, polari, che possono indurre un temporaneo spostamento della densità elettronica della molecola di O₂ (fig. 1). La distribuzione di carica elettrica di O₂ non è più simmetrica ed il baricentro delle cariche negative non coincide più con il baricentro delle cariche positive. Questa asimmetria di carica determina un momento dipolare indotto nella molecola di ossigeno. Se questo processo si estende ad un grande numero di molecole, si possono formare legami di tipo elettrostatico tra le molecole di acqua, polari, e le molecole di O₂, così polarizzate. La solubilità dell'ossigeno nell'acqua può assumere anche valori di circa 10 mg/L.

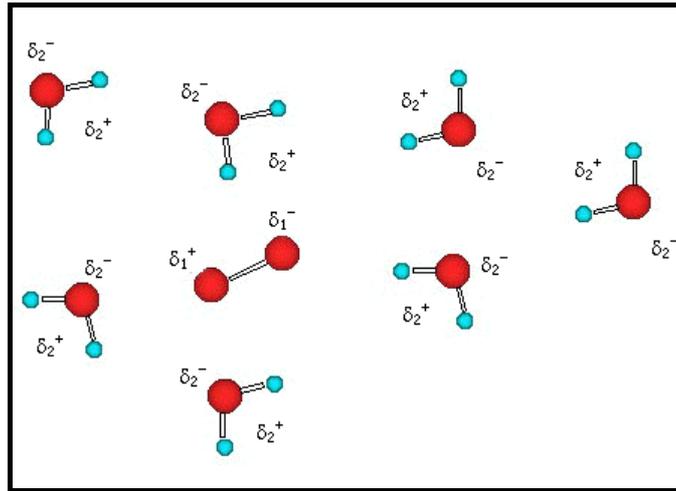


Fig. 1 Dipolo-indotto nella molecola di O_2 in presenza di H_2O . L'ossigeno è rappresentato in rosso e l'idrogeno in azzurro. I simboli δ_1^- , δ_1^+ , δ_2^- , δ_2^+ indicano le parziali cariche positive e negative e dove δ_1^- , δ_1^+ , δ_2^- , δ_2^+ .

Negli ambienti acquatici, l'ossigeno, oltre ad essere prodotto dalle piante acquatiche nella fotosintesi, viene scambiato con l'aria sovrastante all'acqua. (l'aria contiene sempre circa il 20% in volume di ossigeno). Lo scambio di ossigeno tra l'aria e la soluzione acquosa è un processo reversibile ossia lo scambio avviene sia tra l'ossigeno dell'aria che passa in soluzione acquosa, sia tra l'ossigeno presente nell'acqua che passa nuovamente nell'aria. Quando le velocità con cui avvengono questi processi, (quella con cui l'ossigeno si solubilizza e quella con cui si desolubilizza), diventano uguali si raggiunge una condizione di equilibrio. In questo caso, pur passando continuamente ossigeno dall'acqua all'aria e viceversa, la concentrazione dell'ossigeno nell'acqua non cambia più. In queste condizioni di equilibrio, la soluzione sarà satura e quindi la concentrazione di ossigeno è la massima possibile ed è pari alla solubilità in quelle condizioni. Negli ambienti acquatici l'ossigeno presente in soluzione è consumato dagli organismi animali marini durante la respirazione e dai batteri nei processi di decomposizione di materiale organico quindi la concentrazione di ossigeno potrà essere minore della solubilità, quando la velocità di consumo è maggiore di quella di solubilizzazione.

La misura della concentrazione di ossigeno in acqua

Per misurare la concentrazione di ossigeno in acqua $[O_2]$ si può utilizzare un elettrodo polarografico (Vernier Dissolved Oxygen Probe, fig. 2) collegato ad un'interfaccia. L'elettrodo non è altro che una cella elettrochimica, al cui interno avvengono le seguenti reazioni di ossidazione e di riduzione:

- (1) $O_2 (aq) + 2H_2O + 4 e^- = 4OH^- (aq)$ riduzione al catodo
- (2) $Ag (s) + Cl^- (aq) = AgCl (s) + e^-$ ossidazione all'anodo

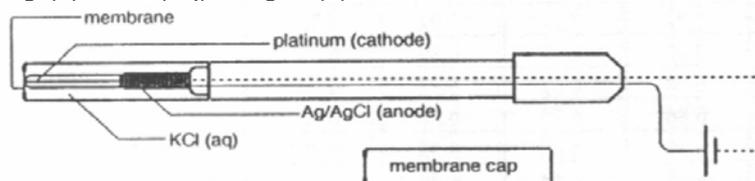


Fig. 2. La sonda Vernier (Dissolved Oxygen Probe) usata nell'esperimento

Quando la sonda è immersa nella soluzione da esaminare, l'ossigeno diffonde attraverso la membrana verso il catodo, e la differenza di potenziale tra i due elettrodi è proporzionale alla $[O_2]$. L'interfaccia converte il valore della differenza di potenziale misurata direttamente nel valore della concentrazione di ossigeno nella soluzione in esame.

Attraverso un computer, cui si può collegare lo strumento, è possibile leggere, in tempo reale, il valore delle concentrazioni di O_2 nelle soluzioni che si stanno esaminando. Il software permette anche di elaborare grafici, della dipendenza della concentrazione di ossigeno da altri parametri che possono essere contemporaneamente misurati p.es. temperatura, pressione, tempo.

Variazioni della concentrazione

Per evidenziare lo scambio di ossigeno tra l'aria e l'acqua, si può effettuare una misura della variazione della concentrazione di ossigeno nel tempo di un campione di *acqua* "degassata". L'*acqua* (soluzione acquosa) in cui la concentrazione di ossigeno è minore della solubilità si trova in una condizione di non equilibrio rispetto alla soluzione satura, quindi, in presenza dell'ossigeno dell'aria cercherà di raggiungere la condizione di equilibrio, ossia la concentrazione di ossigeno aumenterà fino a raggiungere il valore della solubilità.

L'*acqua* in parte degassata si ottiene facendo bollire l'acqua per qualche minuto, in questo modo si allontana la maggior parte dell'ossigeno disciolto. E' necessario ricordare che la solubilità dell'ossigeno, nell'acqua, aumenta al diminuire della temperatura, quindi un campione di acqua degassata calda scioglie meno ossigeno dello stesso campione di acqua fredda. Se si vuole effettuare la misura a temperatura ambiente, bisogna impedire che l'ossigeno si sciolga di nuovo durante il raffreddamento, quindi è utile impedire il contatto della soluzione con l'aria, p.es. riempiendo un recipiente (barattolo per conserve alimentari) fino all'orlo e tappandolo immediatamente. Per lo stesso motivo, è necessario, una volta raffreddata l'*acqua*, e aperto il recipiente, procedere immediatamente alla misura della concentrazione di ossigeno. Il software della Vernier raccoglie i dati relativi alla concentrazione in funzione del tempo. La velocità di solubilizzazione dell'ossigeno dipende dalla superficie di contatto aria-acqua, dalla temperatura e dalla pressione parziale di ossigeno. Nel grafico di figura 3, sono stati utilizzati 50 mL di acqua con una superficie di contatto di circa 110 cm^2 e si può notare l'aumento della concentrazione di ossigeno.

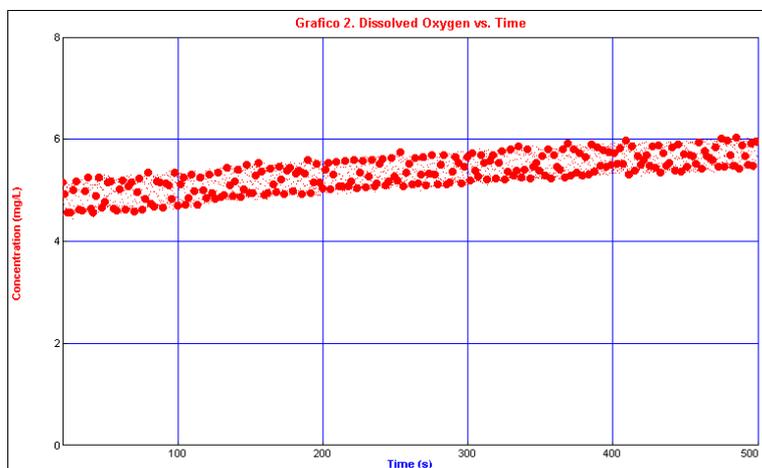


Fig.3 Grafico della concentrazione di ossigeno in funzione del tempo

Variazione della solubilità: effetto della temperatura

La solubilità di un gas è influenzata sia dalla temperatura che dalla pressione. Con la sonda dell'ossigeno e il software Vernier è possibile misurare la variazione di concentrazione di ossigeno al variare della temperatura. Scaldando, infatti, una soluzione satura di ossigeno e monitorando la concentrazione nel tempo si può notare la diminuzione della concentrazione (grafico 3).

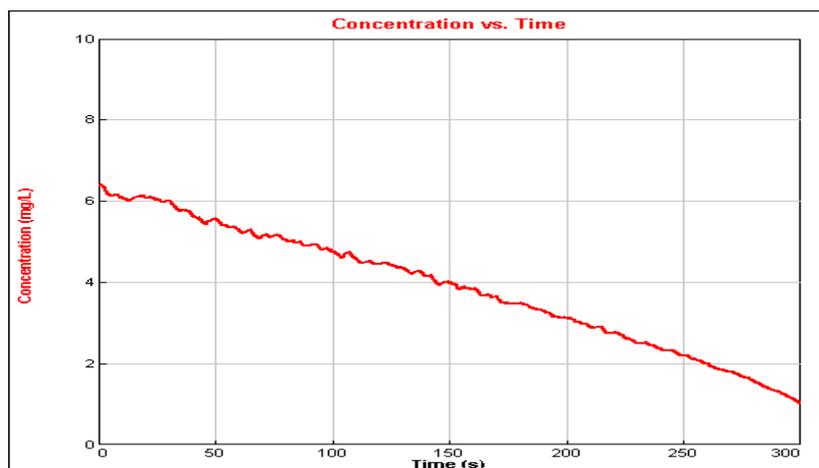


Fig. 4 Diminuzione della concentrazione dell'ossigeno disciolto di ossigeno per riscaldamento dell'acqua

Se invece si utilizza, contemporaneamente alla sonda dell'ossigeno, anche una che misura la temperatura, il software è in grado di fornire i dati relativi alla variazione della concentrazione di ossigeno in funzione della variazione della temperatura.

Indicazioni didattiche

Nel progettare questo percorso didattico si è tenuto conto di due aspetti complementari che caratterizzano la costruzione della conoscenza scientifica: il momento applicativo e d'indagine e quello cognitivo-intellettuale. Il primo si veicola nella pratica di laboratorio intesa sia come spazio finalizzato all'esecuzione di compiti prefissati che all'acquisizione di abilità sperimentali finalizzati all'appropriazione di un modo di guardare, descrivere e interpretare i fenomeni.

Il momento cognitivo, invece, si ha nelle attività di modellizzazione, schematizzazione e formalizzazione dei fenomeni osservati.

Si consiglia, pertanto, di utilizzare un metodo "induttivo-sperimentale" secondo le seguenti fasi:

1. Fase motivazionale: ricognizione e definizione del problema; formulazione di ipotesi di lavoro.
2. Fase sperimentale: ottenimento dei dati sperimentali, stima dei limiti delle misure.
3. Fase di apertura mentale: elaborazione dei dati; formulazione di correlazioni e di leggi empiriche; generalizzazione.
4. Fase creativa: formulazione di modelli teorici di interpretazione.

Le fasi 1 e 2, tipicamente di tipo induttivo, sono adatte ad allievi di età compresa tra 11 e 14 anni, la fase 3, ancora di tipo induttivo, e la fase 4, di tipo deduttivo, poiché rientrano nella logica astratta, sono indicate per alunni di età superiore ai 14 anni.

Alla fine delle attività didattiche, per effettuare una valutazione sommativa dell'intero percorso, si può utilizzare la metodologia del "problem solving" che potrebbe essere il seguente: "Ti vengono consegnati tre virgulti di elodea. Devi evidenziare la formazione di ossigeno nella fotosintesi". L'alunno, in questo caso, deve collegare conoscenze acquisite in ambiti disciplinari differenti ed effettuare gli opportuni collegamenti. Il lavoro può essere svolto in gruppo e prima di passare in laboratorio il gruppo deve chiarire la strategia di soluzione all'insegnante ed essere eventualmente corretta.