

Francesco Malatesta  
Sapienza Università di Roma  
francesco.malatesta@uniroma1.it

## “L’ossigeno e la produzione di energia nella cellula”

L'ossigeno molecolare ( $O_2$ ) è un gas inodore ed incolore che gli organismi cosiddetti aerobici, fra cui l'uomo, respirano secondo per secondo, minuto per minuto ...quotidianamente. Ogni giorno, ciascuna persona compie in media circa 20000 atti respiratori, ed ognuno di questi è necessario per rimanere vivi! In che modo, dunque, l' $O_2$  ci mantiene in vita?, e perché non possiamo fare a meno di respirare? La risposta a queste domande richiede una breve introduzione sulla chimica di questo interessante elemento. L'ossigeno è un elemento chimico non metallico, altamente reattivo. La sua reattività deriva dal fatto di essere un agente ossidante forte, con elevata tendenza, cioè, a catturare gli elettroni contenuti in substrati ricchi di elettroni. L'esperienza comune ci insegna che il ferro arrugginisce se lasciato all'aria, e ciò è dovuto alla ossidazione del ferro metallico, ovvero alla perdita di alcuni dei suoi elettroni che sono trasferiti all' $O_2$  presente nell'aria, riducendolo. Tali reazioni denominate *ossidazioni* liberano energia sotto forma di calore o lavoro, che in un contesto biologico è utilizzata per tutte le funzioni vitali della cellula e, in particolare, per la produzione di ATP, la moneta di scambio energetico della cellula.

Gli organismi viventi, dai batteri ai mammiferi, sono delle vere e proprie *macchine chimiche* che necessitano, come ogni macchina, di energia per il corretto funzionamento. Tutta l'energia utilizzata dagli organismi viventi proviene in ultima analisi dal sole. Nelle piante ed altri organismi fotosintetici l'energia radiante è catturata e conservata in composti ricchi di elettroni, chiamati composti riducenti, quali i carboidrati ed i lipidi. Attraverso l'alimentazione introduciamo nel nostro organismo questi composti che fungono da combustibile ed è proprio l' $O_2$ , anch'esso prodotto della fotosintesi, che agisce da comburente.

Come sono fatte queste *macchine chimiche*? La respirazione aerobica, che ha luogo in tutte le cellule eucariotiche (ma anche in molti procarioti), non è altro che una complessa collezione di reazioni di ossidoriduzione che ha luogo nei mitocondri, organelli intracellulari che fungono da “centrali energetiche” delle cellule. Nei mitocondri sono presenti due membrane biologiche a doppio strato fosfolipidico. La membrana interna, che gioca un ruolo fondamentale nel processo di produzione dell'energia, contiene quattro proteine respiratorie la cui funzione consiste nel trasferire in sequenza elettroni da composti a potere riducente via via più basso fino all'accettore finale che è proprio l' $O_2$ ! Tale processo produce grandi quantità di energia che, tuttavia, la cellula utilizza in una maniera del tutto originale, come proposto dal premio Nobel per la Chimica del 1978, Peter Mitchell. Secondo la teoria di Mitchell, chiamata chemiosmotica, il movimento degli elettroni lungo la catena di trasporto è accoppiata al trasporto attraverso la membrana interna di ioni  $H^+$  (protoni) dalla matrice mitocondriale allo spazio intermembrana. Si genera così, sulle due facce della membrana mitocondriale interna, un gradiente di concentrazione di protoni che tendono a rientrare nella matrice per diffusione, come acqua che fluisce a valle in un mulino idraulico. Dato che la membrana mitocondriale interna è impermeabile ai protoni, per attraversarla e “fluire a valle” spontaneamente essi vengono trasportati da una proteina di membrana denominata ATP sintasi. Questo complesso enzimatico è costituito da due porzioni funzionali diverse, un rotore  $F_0$  posto nella membrana, ed uno statore  $F_1$  rivolto verso la matrice mitocondriale. Questo enzima catalizza la sintesi dell'ATP a partire da ADP e fosfato utilizzando l'energia elettrochimica generata dal trasporto degli elettroni all' $O_2$  e dal conseguente gradiente protonico. E' proprio il rientro degli ioni  $H^+$  a fornire l'energia necessaria per la reazione di sintesi dell'ATP. L'ATP sintasi è un motore molecolare la cui struttura è stata determinata da John E. Walker (premio Nobel per la Chimica del 1997). Durante il ciclo catalitico, il flusso di protoni lungo il loro gradiente di concentrazione determina la formazione di una coppia motrice nell'ATP sintasi che pone in rotazione il rotore  $F_0$ . Questa coppia è trasmessa meccanicamente allo statore  $F_1$ , che viene a sua volta distorto con un avvicinamento del fosfato e dell'ADP sufficiente per produrre l'ATP.

In conclusione, la molecola dell' $O_2$ , l'elettrone e il protone sono le tre particelle di rilevanza bioenergetica che consentono nel complesso contesto biologico di produrre energia utile per lo sviluppo, la crescita, e la riproduzione degli organismi viventi.