

# La Finestra dell'Ossigeno

**Claudio Antonelli, Maria Elisa Della Marta**

*La differenza tra le pressioni parziali esercitate dai gas presenti nel sangue arterioso e in quello venoso costituisce la cosiddetta "finestra dell'ossigeno" che sta alla base di tutte le teorie decompressive*

La finestra dell'ossigeno è uno degli argomenti più dibattuti dai subacquei ma è anche uno dei più ostici da affrontare. Per poter comprendere appieno l'argomento occorrerebbero conoscenze, neanche troppo superficiali, di medicina, biologia, fisica, matematica, ecc., ecc. Senza addentrarsi troppo nei meandri di queste discipline tentiamo di fare un po' di chiarezza. Haldane per primo aveva ipotizzato l'esistenza di un fenomeno che favoriva il riassorbimento delle bolle presenti nei tessuti. Oggi sappiamo che ciò è dovuto, per dirla con Vann, alla "differenza tra la tensione gassosa tissutale totale e la pressione ambientale". In particolare dagli studi di Hills si apprende che la somma delle pressioni parziali dei gas presenti nell'aria ambiente e negli alveoli polmonari si riduce se misurata a livello ematico e tissutale. Questo fenomeno che è stato definito come "salto di pressione parziale", "insaturazione intrinseca", "sottosaturazione interna" è oggi noto con la definizione data da Behnke di "oxygen window" cioè "finestra dell'ossigeno".

Come noto la pressione dell'aria a livello del mare è di 760 mmHg ed è data, secondo la legge di Dalton, dalla somma delle pressioni parziali dei vari gas che la compongono. Possiamo affermare, semplificando notevolmente, che l'azoto concorre per 601 mmHg e l'ossigeno per 159 mmHg. A livello alveolare, l'azoto esercita una pressione parziale di 570 mmHg, il vapor acqueo di 47 mmHg, l'O<sub>2</sub> di 103 mmHg e la CO<sub>2</sub> di 40 mmHg. Nel sangue arterioso si ha una leggera differenza in quanto si verifica una caduta della PO<sub>2</sub> di circa 8 mmHg in conseguenza del fatto che non tutto l'ossigeno presente nel polmone riesce a portarsi nel torrente circolatorio. In definitiva la pressione totale dei gas fisicamente disciolti nel sangue arterioso sarà di circa 752 mmHg. Trattandosi di gas disciolti dovremmo, a rigore, parlare di tensione ma, per semplicità, continueremo a usare il termine pressione.

In seguito ai processi ossido-riduttivi legati al metabolismo l'organismo consuma ossigeno e produce anidride carbonica. Dato che per ogni molecola di ossigeno consumata è prodotta, approssimativamente, una molecola di anidride carbonica si potrebbe pensare che questo non comporti nessuna variazione, per quanto riguarda la pressione totale dei gas, tra sangue arterioso ricco di ossigeno e sangue venoso ricco di anidride carbonica. Invece, poiché la CO<sub>2</sub> ha una solubilità nel plasma 21 volte maggiore dell'O<sub>2</sub> (esattamente 483,56 ml/l contro 23,25 ml/l) essa esercita una minore pressione parziale (in quanto la pressione che un gas esercita è data dalla sua tendenza ad abbandonare il liquido e per un gas con maggiore solubilità questa tendenza è, ovviamente, minore). Questa minore pressione parziale si traduce, sul versante venoso dove la CO<sub>2</sub> è più elevata, in una diminuzione della pressione totale. Nello specifico, nel passaggio tra arterie e vene, mentre l'azoto e il vapor acqueo continuano a esercitare la stessa pressione, rispettivamente di 570 mmHg e di 47 mmHg, la pressione dell'ossigeno scende molto arrivando fino a 44 mmHg mentre quella dell'anidride carbonica sale di poco arrivando a 45 mmHg. Questo calo notevole della PO<sub>2</sub> (- 51mmHg) non compensato da un corrispondente aumento della PCO<sub>2</sub> (+ 5 mmHg) fa sì che la pressione totale esercitata dai gas nel sangue venoso sia di soli 706 mmHg circa, cioè 46 mmHg inferiore a quella esercitata nel sangue arterioso. Questa differenza di pressione costituisce appunto la cosiddetta "oxygen window".

	<b>ARIA ALVEOLARE</b>	<b>SANGUE ARTERIOSO</b>	<b>SANGUE VENOSO</b>
Azoto	570	570	570
Vapore acqueo	47	47	47
Ossigeno	103	95	44
Anidride carbonica	40	40	45
<b>Pressione Totale</b>	<b>760</b>	<b>752</b>	<b>706</b>

*Pressioni dei gas presenti nell'aria e nell'organismo espresse in mmHg*

L'ampiezza della "finestra" non è costante ma aumenta con l'aumentare della PO<sub>2</sub>. Infatti con l'aumentare della pressione dell'ossigeno respirato, essendo l'emoglobina praticamente già satura, aumenta notevolmente la quota di ossigeno disciolto che, a sua volta, fa aumentare molto la PO<sub>2</sub> arteriosa. Poiché, in questo caso, l'ossigeno consumato sarà soprattutto a carico della frazione disciolta (l'ossigeno legato all'emoglobina rimane praticamente inutilizzato) ciò determina un notevole abbassamento della pressione parziale di questo gas nel passaggio tra sangue arterioso e sangue venoso. La differenza di PO<sub>2</sub> tra arterie e vene, quindi, non sarà più di circa 51 mmHg ma aumenterà notevolmente comportando, in definitiva, un ampliamento della "oxygen window". Ciò non si verifica all'infinito ma fino a certi valori di PO<sub>2</sub> (variabili da 1,3 atm. a 3 atm. a seconda dei tessuti) superati i quali la finestra non aumenta ulteriormente ma anzi tende a ridursi a causa della ovvia impossibilità, da parte dell'organismo, di metabolizzare quantità illimitate di ossigeno per cui una certa quantità di questo gas rimane nel sangue venoso e nei tessuti inutilizzato e tende addirittura a comportarsi come un inerte.

La "finestra dell'ossigeno" è di grande importanza in quanto la presenza di questo "buco di pressione", determinando un'accelerazione dell'eliminazione dei gas presenti nei tessuti, contrasta i fattori di formazione e crescita della fase gassosa libera (cioè delle bolle) e accelera la rimozione del gas dai tessuti; essa è la base di tutte le normali procedure di decompressione.

#### PERCHE' SI HA LA RISOLUZIONE DELLE BOLLE

Quando il sub risale in superficie dopo un'immersione e si formano delle bolle, di lì a poco, a causa del metabolismo e della diffusione, la pressione parziale dell'ossigeno e dell'anidride carbonica presenti nella bolla inizia a ridursi. Ma poiché la bolla obbedisce alla legge di Dalton e nel suo interno la somma delle pressioni di tutti i gas presenti deve essere di 760 mmHg, l'azoto andrà a riequilibrare il calo di pressione di O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> e conseguentemente la PN<sub>2</sub> nella bolla diverrà maggiore che nei tessuti. L'azoto presente nei tessuti, in sintesi, o passa nel sangue e viene portato ai polmoni da dove è eliminato oppure entra nella bolla aumentandone le dimensioni. Quando il livello dell'azoto nella bolla diviene maggiore che nel sangue si ha un suo lento ritorno nei tessuti da dove viene rimosso con la circolazione. Questo è il motivo per cui si verifica un iniziale decremento del volume della bolla che dovrebbe avvenire, teoricamente, fino al raggiungimento dell'equilibrio ma per la legge di Laplace, per cui la pressione dei gas all'interno di una bolla è sempre un po' maggiore che nei tessuti, l'azoto continua a uscire e questa si rimpicciolisce ulteriormente. Inoltre, con il diminuire delle dimensioni della bolla si ha, proporzionalmente, un aumento della superficie disponibile per lo scambio del gas che favorisce ulteriormente la fuoriuscita di azoto. In definitiva, è la somma di tutti questi fattori che porta al completo dissolvimento della bolla stessa.

La "finestra dell'ossigeno", che come detto favorisce l'eliminazione dei gas presenti nei tessuti, in questa situazione (cioè respirando aria a livello del mare) è piccola, viceversa, se il subacqueo è ricompresso a 2,8 ATA respirando ossigeno come avviene in caso di MDD, si ha un suo notevole ampliamento, l'eliminazione dell'azoto dai tessuti aumenta e si ha un rapido dissolvimento della bolla. E' questo uno dei motivi per cui, nella terapia della patologia da decompressione, si usa ricomprimere il paziente e somministrare ossigeno a elevate pressioni parziali.

Per approfondire:

1. Bove A.A. – Bove and Davis' Diving Medicine- Saunders Philadelphia-2004.
2. Bonuccelli C. – L'immersione in miscela – Editrice la Mandragora- 2000.
3. Brian J.E. – Gas exchange, Partial Pressure Gradients and the Oxygen Windowftp//[decompression.org/pub/brian](http://decompression.org/pub/brian).
4. Bonuccelli C.- Oxygen window-[www.tsaeurope.com](http://www.tsaeurope.com)
5. Amoretti C. - La finestra dell'Ossigeno – [www.utrdivers.it](http://www.utrdivers.it)