



Approfondimenti teorici



Apnea Life Style

Parte Uno: fisica e fisiologia

Fisica

Le basi di quest'argomento sono descritte nel Manuale ESA Open Water Diver, dove potrai rivedere l'applicazione dei diversi fenomeni all'attività subacquea, mentre nel volume ESA "Seas of the World" è possibile approfondire le informazioni relative alle proprietà fisiche e chimiche dell'acqua e del mare. In questo contesto puoi migliorare o "rinfrescare" la conoscenza delle leggi e dei principi della fisica rispondendo a domande come: Quali sono le leggi ed i principi più importanti per il subacqueo ricreativo? Come si calcola la pressione ambiente o assoluta? E la pressione idrostatica o relativa? Che cos'è la pressione parziale? Quanto dura una bombola in immersione? Come posso calcolare l'aria necessaria per sollevare un oggetto dal fondo?

Energia:

il sole

al tramonto.

Materia:

le rocce

e l'acqua

del mare

Materia ed energia

Per il subacqueo è importante comprendere le fondamenta della fisica della subacquea; esse si basano principalmente sulle conoscenze della materia e dell'energia e dei fenomeni ad esse correlati.

Per materia s'intende qualsiasi cosa occupi spazio e possieda una massa. E' interessante considerare che la materia possiede inerzia e che per farla cambiare direzione o velocità serve l'impiego di energia.

In effetti, tutto ciò che ti circonda (e anche il tuo corpo) è materia, gli studiosi hanno stabilito che in natura esistono più di cento elementi che costituiscono le forme più semplici della materia (ad esempio, il mercurio è un elemento). Gli elementi hanno caratteristiche chimiche e fisiche proprie e distinte e non possono essere scomposti in altre forme elementari.

Ogni elemento è formato da atomi: le più piccole particelle della materia! Pensa, ci vorrebbero milioni di atomi uno vicino all'altro per occupare lo stesso spazio dello spessore di un capello. La caratteristica più importante dell'atomo è che esso deve avere in sé le proprietà dell'elemento. Quando più atomi si raggruppano originano le molecole, alcune delle quali sono attive e cercano di com-

binarsi con altre molecole, altre sono inerti e non si combinano con altre sostanze (almeno naturalmente). Come vedremo più avanti, i gas con molecole inerti influiscono comunque sulle regole e sui comportamenti del subacqueo.

La materia può esistere in tre differenti stati fisici: solido, liquido o aeriforme (gas e vapore) e qualsiasi elemento o sostanza prodotta dall'unione di molecole, può esistere in una di queste tre forme. L'acqua è un



esempio palese: solido, sottoforma di ghiaccio; liquido, come siamo abituati a conoscerla; aeriforme, come vapor acqueo.

Puoi semplificare la descrizione dei tre stati fisici della materia come segue:

- **Solido:** ha forma e volume propri ed è incompressibile
- **Liquido:** ha volume proprio ma assume la forma del recipiente che lo contiene ed è incompressibile
- **Aeriforme:** non ha forma e volume propri, si può comprimere e tende a diffondersi rapidamente, occupando gli spazi e mescolandosi con altri aeriformi

I liquidi e gli aeriformi sono detti anche fluidi.

Lo stato di una sostanza dipende essenzialmente dalla temperatura ed in parte anche dalla pressione, quando una sostanza è solida, (lo stato più freddo della materia) le molecole sono allineate tra loro ed il loro movimento assomiglia a vibrazioni costanti. Aumentando la temperatura le molecole si mettono in agitazione muovendosi in ogni direzione e così un solido tende a divenire liquido. Se la temperatura aumenta ulteriormente, aumenta anche il movimento delle molecole, alcune delle quali lasciano la superficie del liquido trasformandosi in sostanze aeriformi. **Questo è facile da osservare scaldando del ghiaccio, che diventa acqua che a sua volta comincia a bollire diventando vapore.** Raffreddando la materia, si capovolge la situazione e si può passare dallo stato aeriforme a quello solido.

Come anticipato, per modificare la direzione e la velocità della materia e per mettere ordine al perenne caos che la materia ricerca, è indispensabile l'impiego dell'energia.

L'energia è definita come la tendenza di un sistema a compiere un lavoro oppure a trasferire calore.

Escludendo le reazioni atomiche, si può affermare che l'energia non può essere né creata, né distrutta, ma trasformata nei seguenti modi:

- **Energia meccanica:** risulta dalla possibilità del moto (energia potenziale) o dal movimento che una massa compie (energia cinetica); un carico sospeso rappresenta una forma di energia potenziale, quando viene lasciato andare e cade, esso sviluppa energia cinetica.
- **Energia termica:** il movimento delle molecole; maggiore è il movimento maggiore sarà la quantità di energia termica.
- **Energia luminosa:** sottoforma di radiazione elettromagnetica; "nutrendo" le piante verdi, l'energia della luce solare sta alla base della vita di tutto il nostro pianeta (fotosintesi clorofilliana).
- **Energia elettrica:** è data dall'interazione tra gli elettroni (cariche negative) ed i protoni (cariche positive). Un accumulatore elettrico per torce subacquee è un buon esempio di energia elettrica potenziale.
- **Energia chimica:** L'energia chimica è immagazzinata nella materia secon-

I tre stati della materia sono sotto i nostri occhi: le nubi, stato aeriforme, l'acqua, stato liquido, e i minerali della spiaggia, stato solido



do la sua formazione molecolare; i combustibili (benzina, carbone, metano, ecc.) liberano la loro energia chimica sotto forma di calore prodotto dalla combustione.

Queste informazioni sono esposte in maniera molto semplice in modo da costituire le basi per una migliore comprensione dei principi, delle leggi e dei fenomeni che tratteremo durante questo capitolo.

Minitest

1) *Semplificando, i tre stati fisici della materia sono:*

a. solido, impalpabile e fluido

b. solido, liquido ed aeriforme

c. fluido, solido e granuloso

2) *Diminuendo adeguatamente la temperatura, un liquido può passare allo stato:*

a. gassoso

b. aeriforme

c. solido

3) *Una macchina parcheggiata in discesa con il freno di stazionamento azionato è un esempio di energia meccanica:*

a. cinetica

b. chimica

c. potenziale

Risposte: 1 b - 2 c - 3 c

Le proprietà dell'acqua

Come abbiamo detto in precedenza, le informazioni sulle proprietà chimicofisiche dell'acqua sono disponibili nel Manuale ESA Open Water Diver e nel Manuale ESA "Seas of the World" previsto per il corso ESA Ecodiver; di seguito troverai le informazioni più semplici, utili per risolvere eventuali problemi o capire meglio quanto spiegato successivamente.

L'acqua:

- E' circa **800 volte** più densa dell'aria
- Conduce il calore circa **20 volte** più velocemente dell'aria
- Conduce il suono **4 volte** più velocemente dell'aria
- La luce passando attraverso l'acqua subisce una deviazione che fa percepire gli oggetti più grandi e più vicini
- Mano a mano che la luce passa attraverso l'acqua i colori tendono a scomparire, a iniziare dal rosso sino al blu (colore del mare)
- 1 litro di acqua salata **pesa 1,03 kg**
- 1 litro di acqua dolce **pesa 1 kg**
- La pressione varia di **1 BAR ogni 10 metri di acqua salata o di 0,98 BAR ogni 10 metri di acqua dolce**

La temperatura, la luminosità, la quantità di sali disciolti, le particelle in sospensione, le sostanze che si possono mescolare all'acqua, possono influire sui fenomeni sopracitati.

Il principio di Pascal

La pressione esercitata su un fluido si trasmette in tutte le direzioni con uguale intensità

Immagina un tubo da giardino, chiuso all'estremità e munito di un certo numero di fori dello stesso diametro. Se lo colleghi ad un rubinetto dell'acqua aperto, potrai osservare l'acqua che esce dai fori e percorre una certa distanza, in funzione della pressione esercitata. Più pressione maggiore

distanza, meno pressione minore distanza. Se provi a misurare la distanza tra i fori ed il punto più lontano raggiunto dallo zampillo, potrai notare che tutti gli zampilli d'acqua hanno raggiunto la stessa distanza dal foro.

Questo principio aiuta a capire come l'uomo possa sopportare pressioni particolarmente elevate ed il meccanismo della compensazione spontanea. Si può affermare che la pressione è una forza distribuita su una superficie, la pressione si misura in chilogrammi per centimetro quadrato (nel sistema metrico decimale) oppure (in quello inglese) in libbre per pollice quadrato (PSI).

Il principio di Torricelli

La pressione atmosferica a livello del mare corrisponde a 760 millimetri di mercurio

Questo principio spiega l'esistenza del peso dell'aria e ne misura la quantità.

Per la storia, il primo a dimostrare che l'aria ha un peso fu Galileo Galilei che descrisse un quadro in cui l'uomo e gli altri esseri viventi abitavano sul fondo di un "oceano d'aria" ed erano costantemente sottoposti al peso da essa esercitato. Esattamente come avviene oggi anche se non è facile percepire il peso dell'aria, proprio perché la sua pressione si trasmette in tutte le direzioni ed in ugual misura (vedi principio di Pascal).

Mettendo una canna di vetro, chiusa ad un'estremità ed avente una base di 1 centimetro quadrato, lunga un metro e contenente mercurio, in una bacinella che a sua volta era stata parzialmente riempita con il pesante elemento, Evangelista Torricelli ha potuto quantificare il peso dell'aria che premeva sulla superficie della vaschetta, misurando fino a che punto il mercurio saliva lungo il tubo, cioè 760 mm.

L'esperienza stabilì che la pressione atmosferica (a livello del mare) corrisponde a 760 mm di Hg per centimetro quadrato.

Pesando il mercurio contenuto nel tubo (760 mm x 1 cm²), è stato possibile stabilire che l'atmosfera, e quindi l'aria che respiriamo a livello del mare, esercita un peso pari a 1kg per centimetro quadrato. **Questa forza è data da una colonna d'aria alta almeno 20.000 metri.**

Siccome questo è il peso esercitato dall'atmosfera, l'unità di misura per quantificare la pressione esercitata dall'aria a livello del mare è stata stabilita in 1 ATM (atmosfera), che corrisponde anche ad 1 BAR (nel Sistema Inglese, 1 Bar corrisponde a 14,7 psi).

Il mercurio è molto pesante, circa 13,6 volte più dell'acqua, quindi per esercitare la stessa pressione di una colonna di mercurio avente base 1 centimetro quadrato e alta 760 mm (o di 1 atmosfera) è necessaria una colonna d'acqua dolce avente la stessa base ma alta circa 10 metri (760 x 13,6 = 10336 mm = 10,336 metri). E' con questo ragionamento, e sulla scia dell'esperimento di Torricelli, che Blaise Pascal riuscì a dimostrare che la pressione esercitata da 10 metri d'acqua salata corrisponde a 1 ATM.

Ti ricorderai dal corso Open Water Diver, che in acqua di mare la pressione aumenta di 1 ATM o BAR ogni 10 metri. **Ricorda che l'acqua dolce pesa meno di quella salata, perciò per ottenere la stessa pressione devi scendere un po' di più.**

*Un
annaffiatoio
aiuta a
capire
il principio
di Pascal*



Minitest

1) L'acqua è circa _____ densa dell'aria.

- a. 800 volte più
- b. 800 volte meno
- c. 80 volte più

2) Un litro d'acqua distillata pesa:

- a. 1 kg
- b. 900 grammi
- c. 100 grammi

Risposte: 1 a - 2 a

Per verificare il principio di Torricelli bastano una bottiglia e una bacinella

La legge di Boyle e Mariotte

A temperatura costante, il volume di un gas varia in modo inversamente proporzionale rispetto alla pressione che subisce

Basandosi sull'esperienza di Torricelli, è stato possibile misurare come varia il volume di un gas rispetto ai cambiamenti di pressione. In questo caso è stata usata una canna di vetro avente per base 1 cm², piegata a U e chiusa ad un'estremità.

Boyle versò nel tubo 760 mm di mercurio, l'aria ivi contenuta si comprime verso l'estremità chiusa lasciando posto al metallo. Lo scienziato misurò lo spazio aereo rimasto e versò nel tubo altri 760 mm di mercurio, raddoppiando così la pressione. Egli misurò nuovamente lo spazio aereo rimasto nell'estremità chiusa e scoprì che si era dimezzato.

Semplice ed interessante, non trovi? Puoi verificare lo stesso fenomeno immergendoti a 10 metri portando con te una bottiglia vuota. Se, con l'erogatore di riserva, immetti dell'aria nella bottiglia capovolta fino a riempirla per metà e risali tenendo la bottiglia aperta e con il fondo verso l'alto, noterai che il volume del gas aumenterà gradatamente fino a diventare il doppio. Infatti, la pressione da 10 metri (2 ATM) a 0 metri (1 ATM) dimezza, consentendo al volume del gas di raddoppiare.

Tutte le volte che vai sott'acqua, applichi questa importante legge fisica in diversi momenti dell'immersione.

Essa spiega perché in risalita si deve scaricare l'aria in eccesso dal GAV, dalla muta stagna o da un pallone di sollevamento, perché non si deve trattenere il respiro in risalita, perché si effettua la sosta di sicurezza a 5 metri, perché scendendo si deve compensare, perché è più difficile controllare il proprio assetto in acqua bassa piuttosto che a profondità maggiori, ecc.

Per il subacqueo è interessante notare che, muovendosi sulla colonna d'acqua, in profondità sono necessari spostamenti più ampi (in verticale) per influire sensibilmente sul volume, mentre vicino alla superficie, un piccolo spostamento implica una grande variazione di volume.

Per esempio, partendo dalla superficie con un palloncino contenente 8 litri di aria, per dimezzare il suo volume è sufficiente percorrere la distanza tra 0 metri e 10 metri, dove esso diventa 1/2 cioè 4 litri. Per dimezzarlo un'altra volta bisogna andare a 30 metri, dove ci sono 4 BAR e diventa così 1/4 (2 litri). Come puoi osservare, in questo caso la distanza percorsa invece che di 10 metri è di 20 metri.

Se vuoi ancora dividere per due il volume (1/8 cioè 1 litro) dovresti farlo andare fino a 70 metri per sottoporlo alla pressione di 8 BAR, facendogli percorrere ben altri 40 metri nella colonna d'acqua.

Questa proporzione è mantenuta anche in fase di risalita, con la differenza che, come già sai, diminuendo la profondità, e quindi la pressione, il volume aumenta.

La legge di Boyle e Mariotte aiuta a capire anche il fenomeno del consu-



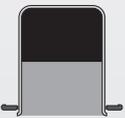
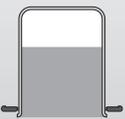
profondità	pressione in acqua salata	pressione in acqua dolce
0 m	1 bar	1 bar
10 m	2 bar	1,98 bar
20 m	3 bar	2,96 bar
30 m	4 bar	3,94 bar

La pressione in acqua salata ed in acqua dolce

mo dell'aria, infatti per mantenere inalterato un dato volume (per esempio i polmoni di un subacqueo) è necessario mettere più GAS nel contenitore.

Immagina di avere 4 litri d'aria nei polmoni in superficie, e di andare a 10 metri in apnea dove il volume diventa 1/2 (10 metri = 2 BAR), cioè 2 litri. Come hai imparato nel corso Open Water Diver, il volume dei polmoni di una persona che respira in immersione, rimane pressoché lo stesso, grazie al fatto che l'erogatore fornisce aria a pressione ambiente. **Ricorderai anche che è necessario di-sporre di aria a pressione ambiente altrimenti non sarebbe possibile compiere l'atto respiratorio.** Quindi un subacqueo che respira a 10 metri, dove la pressione è il doppio che in superficie, preleva dalla bombola una quantità d'aria doppia rispetto a quando respira in superficie, in altre parole il volume dell'aria nei polmoni sarà lo stesso ma la sua pressione, e quindi la sua densità, sarà il doppio. È facile pensare che, se egli preleva il doppio dell'aria, perché la pressione (quindi la densità) dell'aria è il doppio, la bombola durerà la metà. Si può affermare così che il consumo dell'aria è direttamente proporzionale alla pressione ed è facile calcolarlo dividendo il tempo della durata in superficie per la pressione ambiente, fatto salvo che gli altri valori, come lo sforzo fisico, il freddo, ecc. rimangano invariati. Ad esempio, se una bombola dura 2 ore in superficie, quanto durerà alla profondità di 30 metri? 30'! Infatti dividendo 2 ore (120') per 4, cioè la pressione assoluta a 30 metri in acqua di mare, il risultato sarà proprio 30'. Prova ora a calcolare la durata di una bombola, che dura 60' a 10 metri, se è portata a 40 metri. Probabilmente stai pensando che avresti bisogno di una formula matematica, questo è vero ma potresti anche ragionare in questo modo: **se sai quanto dura una bombola ad una data profondità, puoi facilmente calcolare la sua durata in superficie, moltiplicando la durata in profondità per la pressione ambiente.** Quando conosci la durata in superficie, la dividi per la pressione alla profondità che ti interessa e risolvi il problema. $60' \text{ (durata a 10 metri)} \times 2 \text{ BAR (pressione ambiente a 10 metri)} = 120' \text{ (durata in superficie)}$. $120' : 5 \text{ (pressione ambiente a 40 metri)} = 24' \text{ (durata a 40 metri)}$. Sulla scia di questo ragionamento puoi facilmente intuire come calcolare un volume partendo da quello presente ad una data profondità. Prova a risolvere questo problema: quale sarà il volume di un recipiente flessibile che misura 2 litri a 20 metri se lo porti a 40 metri? 2 litri a 20 metri corrispondono a 6 litri in superficie (2 litri x 3 BAR), il volume a 40 metri sarà 1,2 (6 litri : 5 BAR).

Variazioni di pressione e volume in acqua salata

profondità	pressione	volume	volume non compensato
0 m	1 bar	1	
10 m	2 bar	1/2	
20 m	3 bar	1/3	
30 m	4 bar	1/4	

Minitest

- 1) *La pressione è un peso:*
 - a. che spinge solo dall'esterno verso l'interno
 - b. distribuito su una superficie
 - c. che spinge verso l'alto
- 2) *Il peso dell'atmosfera a livello del mare corrisponde a:*
 - a. 760 mmhg
 - b. 14,7 psi
 - c. a) e b) sono esatte

Risposte: 1 b - 2 c

Il principio di Archimede

Un corpo immerso in un fluido riceve una spinta dal basso verso l'alto uguale al peso del volume di fluido spostato

Se mentre cambi le candele al motore fuoribordo di un gommone, te ne cade una in acqua; essa precipita velocemente verso il fondo, eppure pesa molto meno di quanto pesi il gommone che invece galleggia sostenendo anche il motore e le persone che ci sono sopra. Il principio di Archimede

spiega proprio questo fenomeno: se un oggetto ha una forma che sposta una quantità d'acqua che pesa più di esso, avrà un assetto positivo. Se un oggetto pesa anche molto meno ma ha una forma per cui sposta una quantità d'acqua che pesa meno di esso, affonderà per via del suo assetto negativo. **L'assetto neutro invece si verifica solo quando c'è perfetto equilibrio tra il peso dell'oggetto ed il peso dell'acqua che esso sposta grazie alla sua forma.** Quando riesci a rimanere sospeso a mezz'acqua senza muoverti e mantenendo la posizione, vuol dire che hai trovato l'equilibrio!

Generalmente il subacqueo in immersione trova questa particolare (e desiderata) condizione variando il proprio "volume complessivo" tramite il GAV o la respirazione.

Per sollevare un oggetto pesante dal fondo è sufficiente aumentare il suo volume, così da modificare la sua galleggiabilità. Il pallone da sollevamento (o idrodin) non fa che aumentare il volume dell'oggetto cui è collegato, rendendolo più "leggero". Ma che capacità deve avere un pallone per sollevare un blocco di ferrocemento che pesa 500 kg ed ha un volume pari a 300 litri? Il calcolo è piuttosto semplice, specie se il blocco da spostare si trova in acqua dolce e se consideriamo che un litro d'acqua dolce pesa circa 1 kg.

Il masso, che fuori dall'acqua pesa 500 kg, quando è immerso in acqua dolce riceve una spinta pari a 1 kg per ogni litro di acqua che sposta. **In questo caso il volume del blocco equivale a 300 litri per cui sposta 300 litri di acqua che pesa 300 kg.** Quando è in acqua, il blocco diventa "più leggero" di 300 kg (500 meno 300 = 200), quindi una volta messo in acqua esso pesa 200 kg. Aggiungendo 200 litri d'aria al pallone, il blocco diventerà neutro e potresti sollevarlo tenendolo con due dita. Ricorda che, se il pallone ha una capienza maggiore, durante la risalita devi far uscire l'aria in eccesso (legge di

Boyle e Mariotte) per mantenere il controllo della velocità.

Se i tre fattori che determinano la galleggiabilità di un oggetto sono il suo peso, il volume di fluido che sposta ed il peso del volume spostato (cioè la densità del fluido), quanta aria serve per sollevare il blocco dell'esempio precedente se esso si trova in acqua di mare? Considerando che l'acqua salata è più densa di quella dolce e pesa circa 1,03 kg per litro, secondo te ci vorrà più aria o meno aria per sollevare l'oggetto?

Minitest

1) *A temperatura costante il volume di un gas varia in modo _____ alla pressione.*

a. direttamente proporzionale

b. insignificante rispetto

c. inversamente proporzionale

2) *Per calcolare il volume di una data quantità di gas che è portata dalla superficie ad una determinata profondità:*

a. si divide il volume presente in superficie per la pressione ambiente

b. si moltiplica il volume presente in superficie per la pressione ambiente

c. si sottrae il volume dal valore della pressione

Risposte: 1 c - 2 a

Forse hai già provato a tuffarti sia in acque dolci sia in mare, notando che in mare galleggi più facilmente!

Se l'acqua salata pesa di più, spostando lo stesso volume che in acqua dolce, ci sarà una spinta verso l'alto maggiore, infatti 300 litri di acqua salata pesano 309 kg ($300 \times 1,03$). Quindi il blocco messo in acqua salata peserà 191 kg ($500 \text{ meno } 309 = 191$). Per renderlo neutro e poterlo così sollevare con facilità, bisogna aggiungere aria nel pallone fino a creare un volume che sposta 191 litri di acqua, per cui, sempre perché l'acqua salata è più pesante, basteranno meno litri per sviluppare la stessa spinta idrostatica.

La quantità si calcola dividendo il volume necessario, in questo caso 191 litri, per 1,03 ovvero il peso di un litro di acqua salata ($191:1,03 = 185,43$). Per sollevare il blocco di 500 kg immerso in acqua salata, servono 185,43 litri di aria nel pallone di sollevamento, 14,7 litri in meno che per lo stesso blocco immerso in acqua dolce (200 litri).

La legge di Charles

A pressione costante, il volume di un gas varia in maniera direttamente proporzionale alla sua temperatura assoluta

Ti sarà capitato di notare come, un recipiente flessibile contenente gas (per esempio un gommone o le gomme di una bicicletta) vari la sua "consistenza" secondo le ore della giornata. Al mattino presto, quando la temperatura è più bassa, i tubolari di un gommone appariranno sgonfi, come se, nottetempo, qualcuno avesse fatto uscire dell'aria dal loro interno. Aspettando, mano a mano che il sole fa salire la temperatura, il gommone riprenderà consistenza, come se qualcuno lo avesse gonfiato. Se vuoi puoi fare un semplice esperimento: metti un palloncino gonfio in un punto dove la temperatura dell'aria, al suo interno, possa aumentare. Potrai verificare che il palloncino tenderà ad aumentare di volume e nello stesso tempo assumerà una maggiore rigidità, man mano che raggiungerà la sua massima espansione.

La legge di Gay-Lussac

A volume costante, la pressione di un gas è proporzionale alla sua temperatura

Riferendoci a quanto appena detto, per la legge di Charles, lo scienziato francese Joseph Gay-Lussac approfondì e pubblicò gli studi di Charles, stabilendo che se il volume è costante, come nel caso di una bombola per aria compressa, le variazioni di temperatura determinano solo cambiamenti di pressione, visto che il volume non si può modificare.

Questa legge spiega perché conviene ricaricare le bombole immerse nell'acqua e perché non conviene conservare una bombola carica dentro una macchina, magari di colore scuro, sotto il sole cocente.

Minitest

1) *Quando un oggetto sposta una quantità d'acqua che pesa più di sé stesso, esso:*

- a. affonda
- b. galleggia
- c. rimane sospeso a mezz'acqua

2) *Se un oggetto pesa 23 kg e sposta un volume pari a 10 litri di acqua dolce, esso è:*

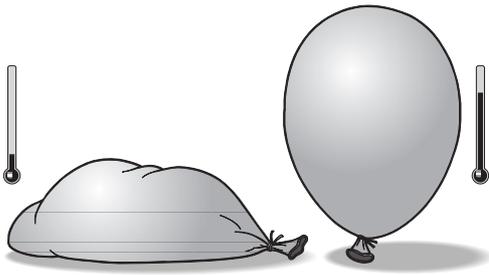
- a. positivo
- b. neutro
- c. negativo

3) *Se l'oggetto della precedente domanda viene messo in acqua salata, esso sarà:*

- a. positivo
- b. neutro
- c. negativo

Risposte: 1 b - 2 c - 3 c

Il palloncino aumenta di volume con l'aumento della temperatura



Quando una bombola ricaricata a 200 BAR viene immersa in acqua fredda, la pressione dell'aria all'interno può diminuire anche considerevolmente, in funzione della differenza di temperatura. Puoi calcolare approssimativamente la variazione di pressione sottraendo (diminuzione di temperatura) o aggiungendo (aumento di temperatura) 0,7 BAR per ogni grado Celsius.

Per esempio se una bombola che ha 200 BAR in un ambiente a 40°C, è messa in acqua a 10°C, quale sarà la sua pressione? $40 \text{ meno } 10 = 30$; $30 \text{ per } 0,7 = 21 \text{ BAR}$; $200 \text{ meno } 21 = 179$. Una volta messa in acqua, il manometro indicherà che la pressione dell'aria all'interno della bombola è circa 180 BAR invece di 200.

Questi fenomeni sono dovuti al maggior movimento delle molecole del gas, come spiegato nel paragrafo "materia ed energia".

La legge di Dalton

La pressione totale esercitata da una miscela di gas è data dalla somma delle pressioni parziali dei gas che la compongono

L'aria secca è composta da azoto (78,084%), ossigeno (20,946%) e da altri gas (0,97%). Come ricorderai dal corso ESA Open Water Diver, per gli scopi pratici correlati alla pratica dell'attività subacquea, consideriamo l'aria che respiriamo composta dal 21% di ossigeno e dal 79% di azoto: se provi a sommare le due percentuali scoprirai che il risultato è 100%.

Se prendi in considerazione l'aria che respiri a livello del mare, dove la pressione è di 1 BAR o ATM, puoi facilmente trovare la pressione parziale dei due gas calcolando il 21% di 1 BAR per l'ossigeno (0,21 BAR) e il 79% di 1 BAR per l'azoto (0,79 BAR).

Dalton stabilì che i gas influiscono sull'organismo proprio in funzione della loro pressione parziale (pp).

Se l'organismo può accettare una massima pp di ossigeno pari a 1,4 BAR, respirando ossigeno puro (100%) la profondità massima che si può raggiungere è di 4 metri d'acqua salata (dove la pressione ambiente è 1,4 BAR).

Qual è la profondità massima oltre la quale l'ossigeno diventa tossico respirando aria compressa?

In superficie la pp dell'ossigeno è 0,21 e per farle superare la soglia di un'atmosfera dobbiamo scendere fino a 40 metri dove ci sono 5 BAR ($0,21 \times 5 = 1,05 \text{ BAR}$); scendendo altri 20 metri, dove la pressione assoluta è di 7 BAR, la pp dell'ossigeno avrà superato il valore di 1,4 ($0,21 \times 7 = 1,47$). Tra le diverse cose interessanti che puoi imparare durante il corso ESA Nitrox Diver, troverai anche la formula per calcolare con precisione la profondità massima raggiungibile con l'aria, che sarà: $(1,4 \times 10) : 0,21 = 66,6 -$

10 = 56,6. Il limite di 56,6 metri è dato da un puro calcolo matematico

Minitest

1) Se un pallone gonfiato con l'aria viene lasciato dentro una macchina nera in una calda giornata estiva:

- a. il suo volume aumenterà
- b. il suo volume rimarrà invariato
- c. il suo volume diminuirà

2) Se una bombola caricata a 200 bar, in un ambiente a 23°C, viene immersa in acque estremamente fredde, la pressione dell'aria contenuta:

- a. aumenterà
- b. rimarrà invariata
- c. diminuirà

Risposte: 1a - 2c

ed è meglio essere più prudenti, infatti gli operatori subacquei, pur lavorando confortati da un'eccezionale assistenza, considerano la profondità di 50 metri come la quota massima assoluta con l'aria.

Oltre che per calcolare la profondità massima raggiungibile con una data miscela di nitrox, questa legge è importantissima perché:

- sta alla base della maggior parte delle patologie e degli incidenti da immersione;
- spiega perché una quantità irrilevante (in superficie) di monossido di carbonio (gas di scarico) può diventare pericolosa o addirittura letale in profondità;
- spiega perché un apneista può avere ossigeno sufficiente in profondità e perdere improvvisamente conoscenza negli ultimi metri dove avviene un calo repentino della pressione ambiente e di conseguenza della pp dell'ossigeno presente nei suoi polmoni;
- spiega perché l'azoto non causa strani effetti in superficie, mentre a certe quote può interferire anche seriamente con il comportamento di un subacqueo che respira aria.

La legge di Henry

Un gas che esercita una pressione su di un liquido, tende a passare in soluzione nel liquido stesso fino a che la pressione del gas disciolto (tensione del gas) e quella del gas che c'è all'esterno (gas premente) non raggiungono una condizione d'equilibrio.

Le modalità di soluzione dipendono dalla pressione parziale del gas e dal suo coefficiente di solubilità nel liquido stesso.

Quest'importante legge di fisica, spiega perché quando si apre una bottiglia d'acqua gassata si sente lo sfiato del gas e si formano le bollicine. Svitando il tappo, si mette il liquido a contatto con un ambiente avente una pressione minore di quella del gas disciolto nell'acqua (vedi manuale ESA Open Water Diver), determinando la "fuoriuscita" del gas dal liquido.

Questo spiega il fenomeno della malattia da decompressione che puoi studiare nel manuale ESA Prevention & Rescue.

Quando il sub s'immerge, respira aria ad una pressione maggiore di quella che respirava in superficie, durante la permanenza subacquea, i tessuti dell'organismo assorbono azoto, il gas che partecipa alla composizione dell'aria in percentuale consistente (79%) e che non è usato dall'organismo (gas inerte). Se il subacqueo rimane in immersione, non si possono verificare problemi ed i tessuti continuano ad assorbire azoto finché la pressione del gas premente non si equivale con quella del gas disciolto raggiungendo una condizione d'equilibrio (saturazione).

Nel momento in cui i tessuti hanno assorbito metà del gas che potrebbero assorbire ad una determinata pressione, si dice che hanno raggiunto una condizione di emisaturazione (mezza satu-

Minitest

1) La pp dell'ossigeno contenuto nell'aria respirata a 50 metri corrisponde a:

- a. 1,26 bar
- b. 126 bar
- c. 1,05 bar

2) La pp dell'azoto contenuto nell'aria respirata alla profondità di 20 metri è:

- a. 1,58
- b. 2,37
- c. 23,7

3) La perdita di conoscenza in risalita, che può accadere nell'immersione in apnea, è dovuta principalmente:

- a. all'aumento improvviso della pp dell'ossigeno presente nei polmoni
- b. al calo improvviso della pp dell'ossigeno presente nei polmoni
- c. ad un'eccessiva velocità di ossidazione

Risposte: 1 a - 2 b - 3 b

Minitest

1) La legge di Henry spiega il meccanismo:

- a. del consumo dell'aria
- b. della malattia da decompressione
- c. di insorgenza dell'affanno

2) Se la pressione del gas "premente" è maggiore di quella del gas disciolto, esso tenderà a:

- a. passare in soluzione nel liquido
- b. abbandonare il liquido
- c. passare nello stato solido

Risposte: 1 b - 2 a

razione), il tempo necessario per raggiungere l'emisaturazione corrisponde ad 1/6 del tempo di saturazione. Ciò accade perché maggiore è la differenza di pressione (gradiente) tra il gas disciolto ed il gas "premente" più veloce è il passaggio del gas.

Quando il subacqueo risale, la pressione attorno a lui diminuisce, così come quella della miscela gassosa respirata. In questo modo si verifica una condizione in cui il gas disciolto si trova ad avere una pressione (tensione del gas) superiore a quella del gas respirato, determinando il passaggio inverso, ovvero l'azoto lascia i tessuti per tornare allo stato gassoso ed essere espirato attraverso le vie aeree. Se la risalita (decompressione) non è effettuata correttamente, è possibile che si formino bolle d'azoto nei tessuti che, in alcuni casi, danno origine alla MDD.

Quando un sub che si sospetta colpito da MDD respira ossigeno al 100%, la differenza di pressione (gradiente) tra l'azoto disciolto ed il gas respirato diventa enorme facilitando l'eliminazione dell'azoto stesso. Ecco perché si raccomanda caldamente la somministrazione dell'ossigeno nei casi in cui una persona può avere contratto l'MDD e l'importanza di frequentare un corso per il primo soccorso con ossigeno.

Ricorda: in caso di sospetta MDD, EGA o Sindrome da Preannegamento, la respirazione di ossigeno puro (100%), con l'erogatore a domanda e l'intervento di un medico sono di vitale importanza. Come Diveleader devi essere sempre pronto per ogni evenienza e disporre (durante ogni attività) sia dell'unità per l'erogazione dell'ossigeno al 100%, sia di un piano per le emergenze ben strutturato che consenta un rapido ed efficace intervento da parte del personale medico.

La bevanda gassata a contatto con l'atmosfera libera il gas in eccesso e forma la schiuma



Fisiologia

Gli aspetti della fisiologia legati alla pratica dell'attività subacquea ricreativa sono ampiamente descritti nei manuali dei corsi precedenti come: ESA Open Water Diver, ESA Advanced Diver ed ESA Prevention & Rescue Diver cui puoi fare riferimento. Di seguito troverai le nozioni che possono migliorare la comprensione di alcuni fenomeni legati all'immersione. Lo studio di questo paragrafo sarà molto utile per capire i fenomeni che riguardano la pratica dell'attività subacquea ricreativa ed in particolare potrai migliorare le tue conoscenze per essere più professionale nel rispondere alle domande che i partecipanti ai programmi formativi ESA ti possono rivolgere quando operi in qualità di assistente formativo.

Respirazione e circolazione

Sai perché una persona non riesce a respirare da una canna stando anche pochi centimetri sott'acqua?

“Ovviamente” perché **per compiere l'atto respiratorio è necessario respirare aria alla stessa pressione dell'ambiente in cui si trovano i nostri polmoni.** Ma non ti sei mai chiesto come avviene il meccanismo della respirazione?

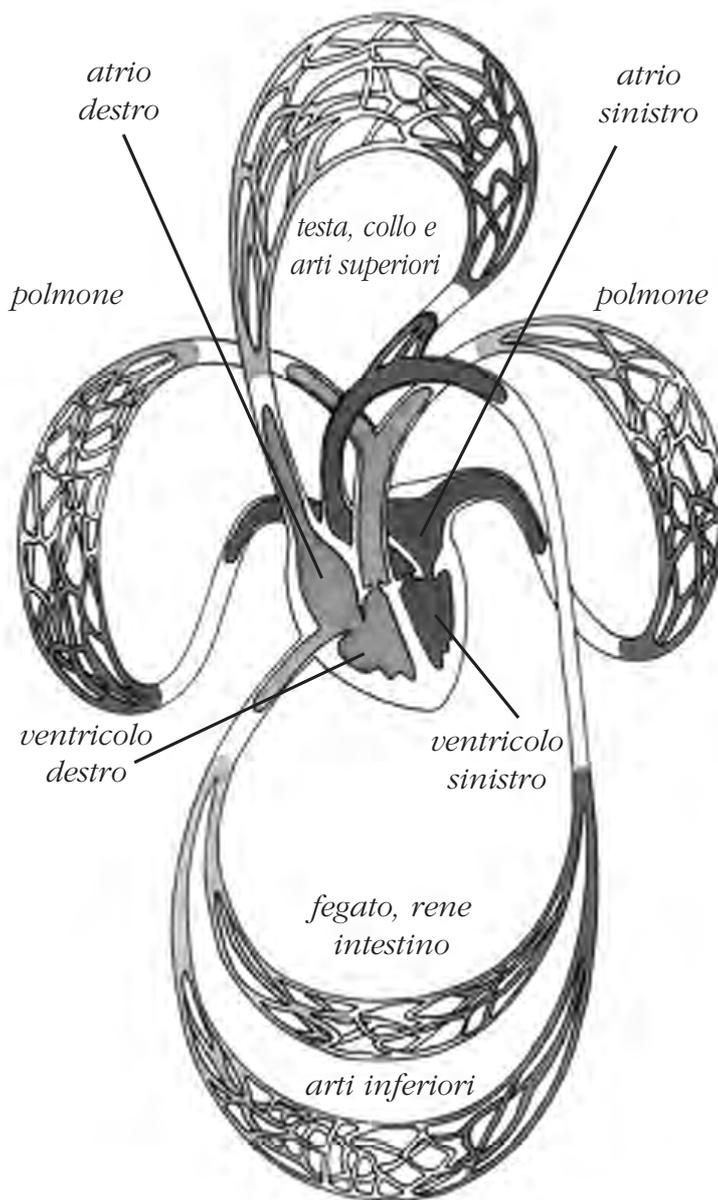
Probabilmente, nei capitoli di questo manuale e nelle tue esperienze precedenti, hai notato che c'è una perenne ricerca dell'equilibrio tra pressioni di forza diversa, per esempio hai imparato che il vento è dovuto a masse d'aria che si spostano da zone di alta pressione verso aree di bassa pressione e che un gas che esercita una pressione su un fluido, tende ad “entrare” nel fluido stesso finché le due pressioni non si equilibrano.

Quando espiri non fai altro che **ridurre il volume dei polmoni, grazie alla contrazione della cassa toracica e all'innalzamento del diaframma.**

Questa modifica del volume determina una maggiore pressione dell'aria contenuta nei polmoni che esce all'esterno dove la pressione è minore. Quando inspiri accade l'inverso: i polmoni si espandono (grazie alla dilatazione del torace e all'abbassamento del diaframma) **causando la diminuzione della pressione all'interno;** a questo punto l'aria che c'è intorno a te, con una pressione superiore, entra nelle vie aeree finché le due pressioni non si equilibrano.

Se ti trovi anche pochi centimetri sott'acqua, i tuoi polmoni sono sotto-

*Schema
semplificato
della
circolazione
sanguigna*



Minitest

1) *Il meccanismo della respirazione si basa sulla ricerca dell'equilibrio tra la pressione:*

- a. *dell'aria interna e di quella esterna*
- b. *atmosferica e quella idrostatica*
- c. *arteriosa e quella venosa*

2) *Gli scambi tra l'aria ed il sangue avvengono:*

- a. *nella trachea*
- b. *nell'epiglottide*
- c. *negli alveoli*

3) *Gli spazi aerei non interessati dagli scambi alveolari si definiscono:*

- a. *insignificanti*
- b. *morti*
- c. *attivi*

4) *Nel sangue, l'ossigeno è trasportato:*

- a. *dall'emoglobina*
- b. *dalle piastrine*
- c. *dai globuli bianchi*

5) *L'emoglobina si trova:*

- a. *nei globuli rossi*
- b. *nell'aria respirata*
- c. *in particolari cibi*

6) *Il cuore è suddiviso in:*

- a. *quattro parti*
- b. *tre parti*
- c. *sei parti*

posti ad una pressione maggiore di quella dell'aria che si trova in superficie e che desideri "inspirare", per questo motivo l'aria non può "scendere" e raggiungere le vie aeree, semmai può accadere il contrario.

L'aria che respiri, passa attraverso **naso, bocca, faringe, laringe e trachea**. Tra la faringe e la laringe c'è l'**epiglottide** che funge da spartitraffico tra l'esofago e la laringe dove può passare solo il gas respirato. La trachea è come il tronco cavo di un albero rovesciato che si divide in ramificazioni sempre più piccole (bronchi e bronchioli) alla cui estremità sono collocati gli alveoli, una sorta di grappoli di piccolissime cavità le cui pareti, se dispiegate e messe tutte assieme, hanno una superficie di svariati metri quadri. È proprio negli alveoli che avvengono gli scambi tra l'aria ed il sangue, consentendo l'eliminazione dei prodotti di scarto e l'apporto di ossigeno.

Quando respiri muovi un certo volume d'aria, ma solo il gas che raggiunge gli alveoli partecipa agli scambi, per questo tutte le altre zone del sistema respiratorio sono definite spazi aerei morti. Anche l'erogatore e lo snorkel sono spazi aerei morti, questo ti può far capire perché in immersione è utile respirare profondamente. Una persona che respira velocemente e "muovendo" piccole quantità d'aria è come se non respirasse.

Gli alveoli sono "circondati" da piccoli vasi chiamati appunto capillari alveolari. È attraverso le pareti, che gli alveoli ed i capillari hanno in comune, che avvengono gli scambi alveolari tra i gas disciolti nel sangue e quelli presenti nella miscela respirata e sempre per via della famosa tendenza all'equilibrio tra due pressioni di diversa entità.

Il sangue che arriva in contatto con le pareti degli alveoli ha una pressione parziale di ossigeno ridotta mentre quella dell'anidride carbonica è aumentata, così l'ossigeno presente nel miscuglio respirato (di pressione maggiore) si lega chimicamente con l'**emoglobina**, una sostanza contenuta nei **globuli rossi** e che si occuperà di trasportarlo ai vari distretti del corpo. **L'anidride carbonica, invece, passerà dal sangue al miscuglio alveolare ed uscirà attraverso le vie aeree.**

Ma come fa l'emoglobina a trasportare l'ossigeno a tutte le cellule del corpo? Il nostro organismo è provvisto di un'estesa rete composta da vasi di varie dimensioni entro i quali scorre il sangue che come saprai è spinto in tutto il corpo dal lavoro del cuore.

Per comprendere meglio, devi sapere che la **circolazione sanguigna** si divide in due parti principali: **piccolo circolo e grande circolo**.

Vene e arterie del piccolo circolo, compongono la rete che fa viaggiare il sangue dal cuore ai polmoni e dai polmoni al cuore. **Nelle arterie polmonari viaggia il sangue cari-**

Risposte: 1 a - 2 c - 3 b - 4 a - 5 a - 6 a

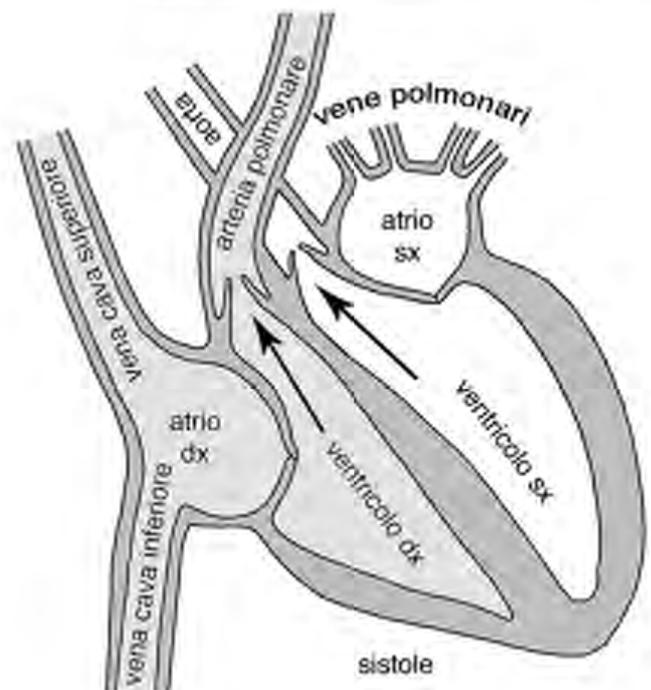
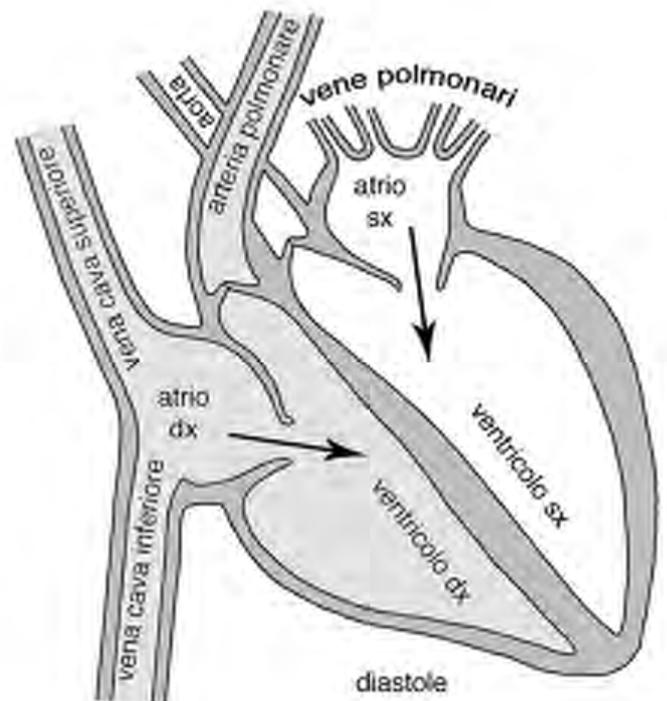
co di **anidride carbonica** mentre attraverso le vene polmonari il sangue ricco di ossigeno ritorna al cuore che lo pompa nelle arterie del grande circolo. **Le arterie del grande circolo** si diramano in vasi sempre più piccoli (**capillari arteriosi**) che raggiungono tutti i distretti del corpo permettendo la distribuzione dell'ossigeno alle cellule. Dalle cellule ripartono altri capillari (venosi) che si raggruppano in vasi sempre più grandi (**vene**) fino a raggiungere nuovamente il cuore. **Le vene del grande circolo permettono al sangue, carico di anidride carbonica, di ritornare al cuore** che lo spinge ai polmoni attraverso le arterie polmonari per essere nuovamente ossigenato e così via.

Il cuore è una pompa provvista di valvole, suddivisa in quattro parti principali: atrio destro, atrio sinistro, ventricolo destro e ventricolo sinistro.

Mentre esiste comunicazione tra atri e ventricoli, normalmente non c'è comunicazione tra la parte destra e la parte sinistra del cuore. **Nella parte destra del cuore passa solo sangue ricco di anidride carbonica**, da inviare ai polmoni per la depurazione, mentre **nella parte sinistra quello ossigenato**, da distribuire a tutte le cellule dell'organismo. La contrazione asincrona di queste "cavità" mette in circolo il sangue grazie a rapidi movimenti di contrazione e rilassamento chiamati rispettivamente **sistole e diastole**.

Si dice "sistole" la contrazione dei ventricoli che permette di spingere il sangue verso i polmoni (ventricolo dx) e verso il resto del corpo (ventricolo sx). **Si chiama "diastole" il periodo in cui il sangue, proveniente dagli atri, riempie i ventricoli prima della sistole successiva.**

Ora conosci (o hai ripassato) i meccanismi fondamentali della respirazione e della circolazione, utili per capire meglio certi fenomeni, i comportamenti che un subacqueo deve tenere in immersione, i meccanismi della rianimazione e per rispondere con maggiore consapevolezza alle domande dei tuoi subacquei.



*Schema
semplificato
del cuore
nelle due
fasi:
diastole e
sistole*

6

**guarda
avanti...**

ecodiver
instructor
photo diver instructor
oxygen first aid instructor
first aid instructor
assistant instructor
open water instructor



**...verso
nuovi
traguardi!**

Appunti

