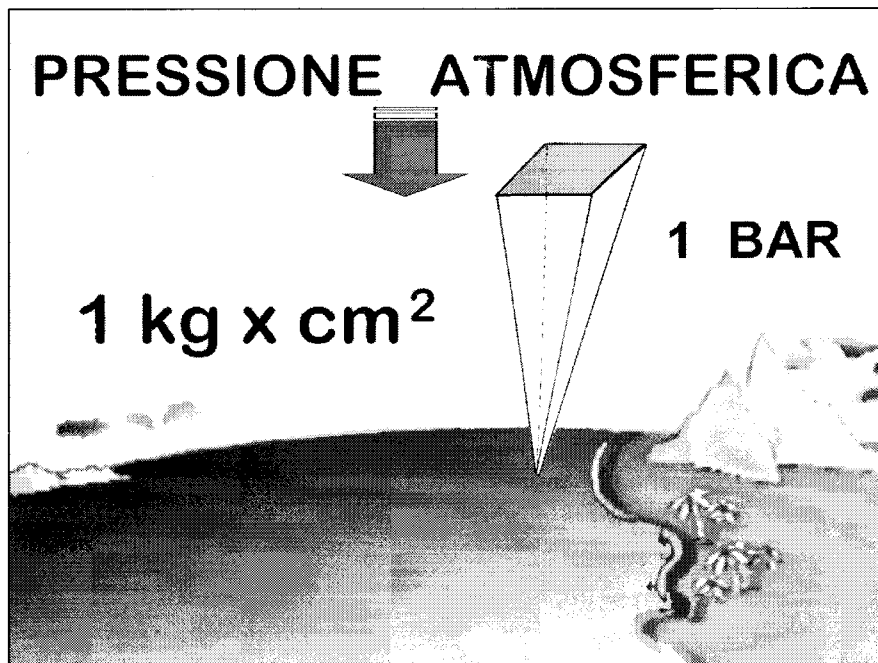


LE LEGGI FISICHE E LA SUBACQUEA

La Pressione Atmosferica (il Principio di Torricelli)

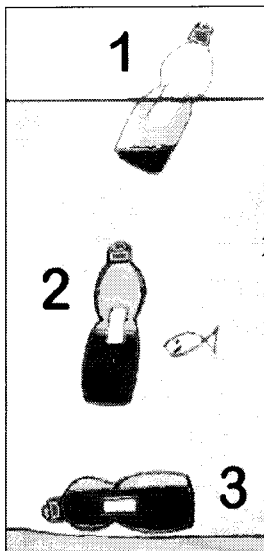
Torricelli misurò la pressione esercitata dall'atmosfera terrestre con un esperimento. Per la dimostrazione, fu usato un lungo e sottile tubo di vetro chiuso ad un'estremità, che fu riempito completamente di mercurio, poi capovolto (chiudendolo col dito per impedire al mercurio di cadere) ed infine parzialmente immerso in una vaschetta piena anch'essa di mercurio. Quando tirò via il dito, il mercurio nel tubo scese, ma non tutto uscì. La caduta si interruppe quando nel tubo vi erano ancora circa 760 mm di mercurio. Sopra al mercurio si era creato il vuoto con la caduta del liquido. Torricelli fu inoltre in grado di dichiarare che il peso dell'aria che preme sul mercurio nella bacinella era sufficiente a contrapporsi al peso di 760 mm di colonna di mercurio.



Principio di Archimede

“Un corpo immerso in un fluido riceve una spinta dal basso verso l'alto pari al peso del volume di fluido che sposta”

Il peso specifico dell'acqua dolce è pari a 1 mentre quello dell'acqua di mare è pari a circa 1,026. Il peso specifico dei tessuti dell'organismo è leggermente superiore a quello dell'acqua, ma considerando i volumi delle cavità corporee che contengono aria, il peso specifico del corpo umano nel suo complesso è lievemente inferiore a quello dell'acqua dolce. Ciò fa sì che riempiendo i polmoni si stia a galla mentre espirando completamente si affondi.



1. Un corpo galleggia (assetto positivo) quando il suo peso è minore di quello del liquido spostato.

2. Equilibrio idrostatico (assetto neutro) quando il suo peso è uguale a quello del liquido spostato.

3. Un corpo affonda (assetto negativo) quando il suo peso è superiore a quello del liquido spostato.

La conseguenza di questo principio è che, a fronte di un aumento della profondità e quindi della diminuzione del volume dell'aria contenuta nei polmoni si riduce la spinta verso l'alto. In pratica più l'apneista scende più il suo assetto diventa "negativo"; nella scelta della zavorra da usare è quindi basilare considerare anche la profondità che si pianifica di raggiungere.

Nell'immersione con autorespiratore lo strumento per compensare le modifiche di peso (dovute al consumo dell'aria contenuta nella bombola) e di volume dell'aria presente nei polmoni e nella muta è il giubbotto ad assetto variabile (GAV, che ha la stessa funzione della vescica natatoria dei pesci).

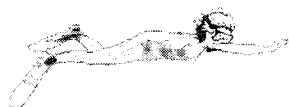
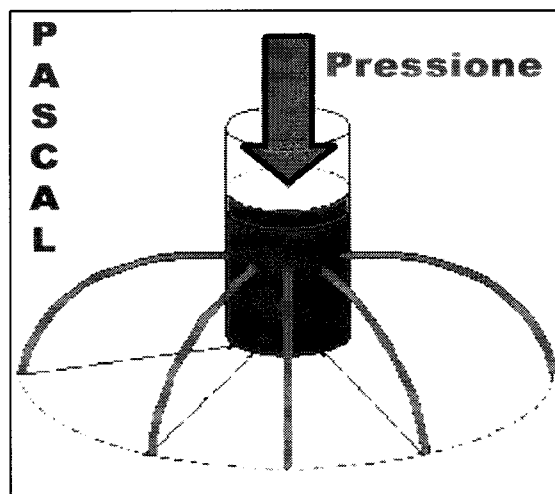
Principio di Pascal

La pressione esercitata in una regione qualsiasi di un fluido si distribuisce uniformemente per tutto il fluido e in tutte le direzioni ed in eguale intensità.

Il Principio di Pascal afferma che la pressione che ci sovrasta (quando siamo in un fluido cioè in aria o in un liquido) non agisce su di noi solo verticalmente schiacciandoci dal basso verso l'alto, ma ci fascia avvolgendoci ulteriormente in tutte le direzioni. Considerando che la superficie di un uomo può essere di circa 15.000 cm², sulla superficie del mare siamo sottoposti alla pressione totale di 15.000kg, che diventano 30.000kg a -10metri di profondità. Tale pressione, però, non concentrandosi solo in una regione, la possiamo tranquillamente sopportare.

Il principio di Pascal può essere facilmente dimostrato, ad esempio premendo con pistone il liquido contenuto in un cilindro avente dei fori dello stesso diametro ed altezza: gli zampilli che usciranno dai fori avranno tutti la stessa intensità e cadranno alla stessa distanza.

LA PRESSIONE SOTT'ACQUA

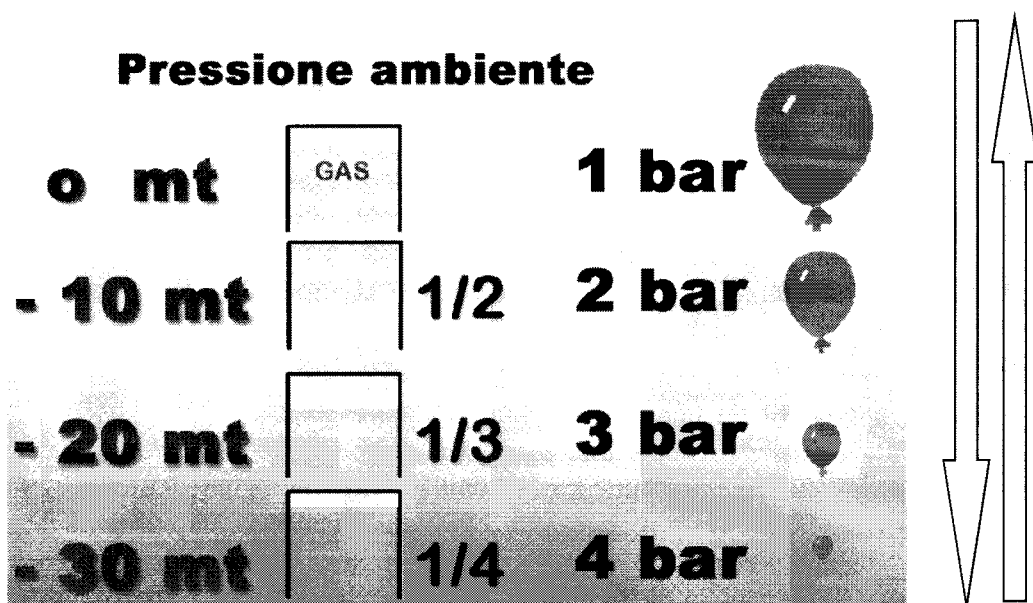


ARRIVA DA TUTTE LE DIREZIONI

Legge di Boyle-Mariotte

"A temperatura costante, il volume di una certa quantità di gas varia in modo inversamente proporzionale alla pressione a cui viene sottoposto."

Ciò comporta che, aumentando la profondità di immersione e quindi la pressione, il volume del gas contenuto nelle cavità corporee e nelle attrezzature si riduca; per contro, in fase di risalita il volume aumenta.

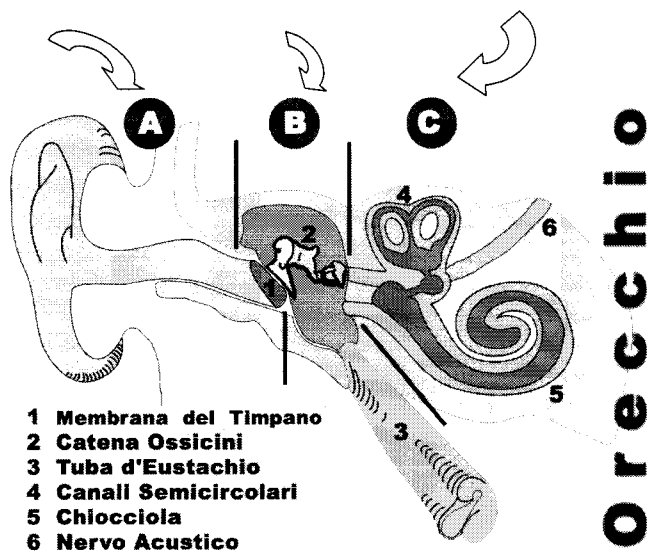


Questo ha rilevanza soprattutto nel caso di immersione con autorespiratore, durante la quale il subacqueo respira aria a pressione ambiente. In pratica se ad una profondità di 20 metri la pressione ambiente è pari a 3 bar, il subacqueo respira aria a 3 bar. In fase di risalita se l'aria non viene opportunamente espulsa l'aumento di volume della stessa può provocare un barotrauma. Ciò può accadere anche nel caso di un apneista che respiri aria in profondità, ad esempio dalla bombola di un eventuale subacqueo d'appoggio.

Pertanto la Legge di Boyle e Mariotte è fondamentale per la sicurezza dell'immersione perché spiega l'importanza di tutta una serie di manovre che il subacqueo deve eseguire in immersione:

1. **Compensazione dell'orecchio:** scendendo sott'acqua la variazione di volume dell'orecchio medio, causata dalla variazione della pressione esterna, causa dolore. Per evitare il problema

A: orecchio esterno B: orecchio medio C: orecchio interno

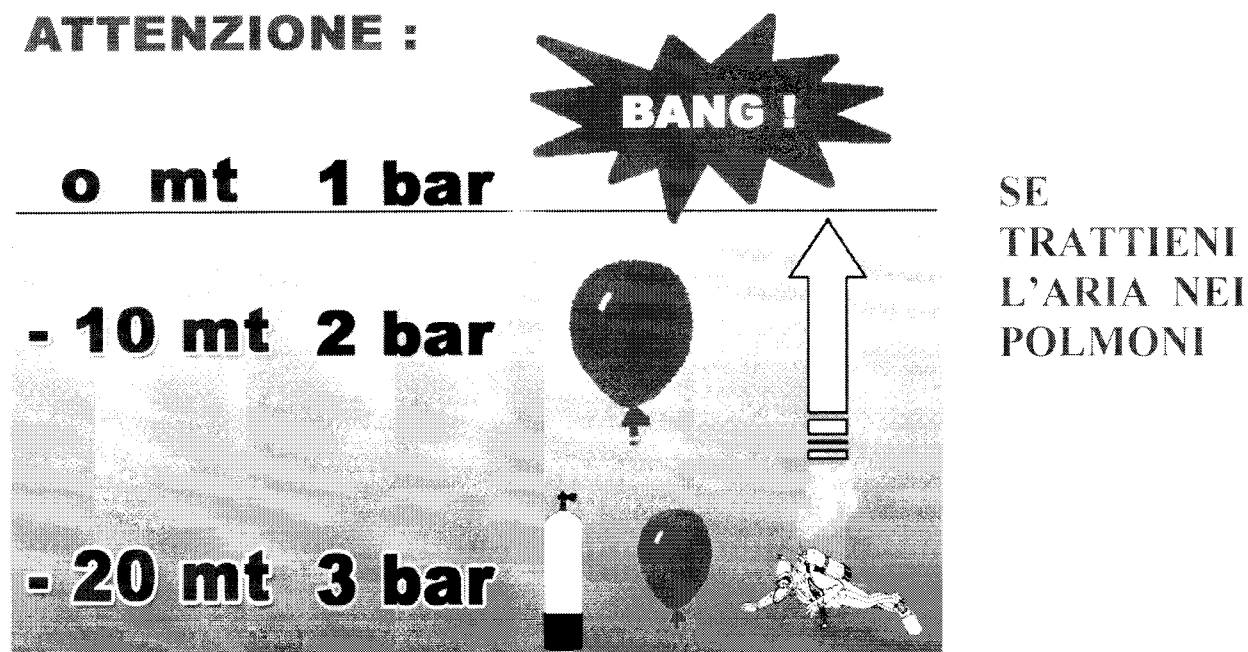


siamo aiutati dalla nostra anatomia: è sufficiente compensare la diminuzione di volume dell'orecchio medio immettendo aria attraverso la Tuba di Eustacchio che collega l'orecchio medio con la cavità orofaringea. Tale manovra viene chiamata "compensazione dell'orecchio medio" e può essere effettuata con una semplice "deglutizione", ovvero con la "deglutizione con naso chiuso", con la manovra detta di "Valsalva" che si effettua chiudendo il naso con il pollice e l'indice e soffiando dolcemente come se volessimo soffiare. La manovra di compensazione del naso va provata a secco, cioè prima di immergerci, successivamente nel momento in cui iniziamo la discesa e **MAI** al sorgere del dolore. Laddove tale manovra non riesca, si risale leggermente e la si riprova. Qualora si avesse difficoltà di compensazione è preferibile abortire l'immersione senza rischiare danni alla membrana timpanica.

2. **Compensazione della maschera:** la maschera, interponendo tra l'acqua e gli occhi uno strato d'aria, fa sì che si possano mettere a fuoco gli oggetti senza la deformazione dovuta alla differente rifrazione dell'acqua. Scendendo la pressione esterna aumenta, di conseguenza si riduce il volume. Per compensare questa diminuzione di volume, basta inalare, con il naso, aria all'interno della maschera stessa. Non effettuando questa manovra, ad un certo punto il vetro della maschera si avvicinerà al viso; dopodiché sarà la parte di viso delimitata dalla maschera che si avvicinerà al vetro con conseguente rottura dei capillari degli occhi, della pelle e delle narici. Tale incidente viene chiamato "Effetto ventosa".
3. **Espirazione in risalita:** la non effettuazione di tale manovra, può provocare l'incidente più grave che può accadere in immersioni con autorespiratore: *L'embolia traumatica o sovradistensione polmonare*". La meccanica dell'incidente, è uguale a quella sotto illustrata del palloncino che viene gonfiato sott'acqua e poi lasciato. Risalendo, la pressione diminuisce, ma il suo volume aumenta fino a farlo scoppiare. Nell'immersione con autorespiratore, respiriamo aria a pressione ambiente. Se ci immergiamo a -10metri, la nostra pressione ATA (pressione assoluta) sarà di 2 ata; avendo un volume totale di aria nei polmoni pari a 5L., salendo in superficie senza espirare dal naso e dalla bocca, il volume del gas contenuto nei nostri polmoni aumenterà fino a diventare di 10L. provocando la lacerazione degli alveoli con conseguente immissione di bolle nel piccolo circolo. Per evitare questo incidente ricordate: "**MAI TRATTENERE IL RESPIRO!!**".

IN RISALITA

ATTENZIONE :



Legge di Charles

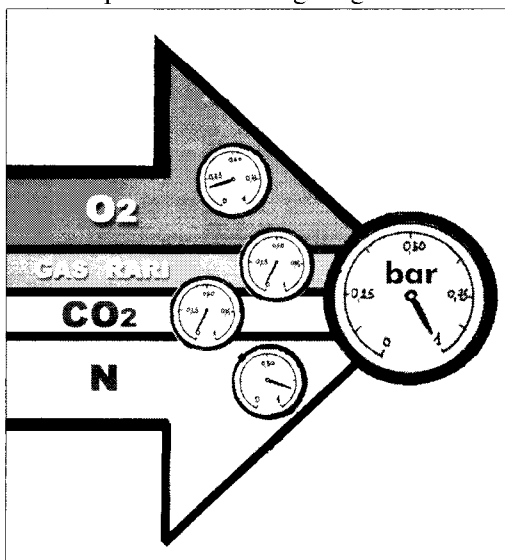
“A volume costante la pressione di un gas è proporzionale alla sua temperatura.”

Questa legge ha un impatto apparentemente marginale sull'aria contenuta nelle bombole. Le bombole sono caricate a 200 bar e caricando la bombola la temperatura interna aumenta; il successivo raffreddamento provoca una diminuzione della pressione, motivo per cui le bombole vengono caricate mentre sono immerse in acqua. È opportuno non esporre le bombole durante il trasporto a notevoli fonti di calore, per minimizzare il rischio di esplosioni. Ciononostante al momento dell'ingresso in acqua, in presenza di un forte divario fra temperatura esterna e temperatura dell'acqua, è necessario prevedere, nella pianificazione dell'immersione, una riduzione della pressione della bombola. Pertanto, d'estate, ricordiamoci di non lasciare mai le bombole cariche esposte al sole.

Legge delle pressioni parziali di Dalton

“La pressione totale esercitata da una miscela di gas è uguale alla somma delle pressioni parziali dei gas componenti la miscela stessa pressioni parziali.”

Il principio, se applicato alla subacquea, comporta che variando la pressione dell'aria respirata variano anche le pressioni parziali dei gas che la compongono e variano di conseguenza gli effetti provocati sull'organismo dai gas stessi. Per pressione parziale si intende la pressione che tale gas avrebbe da solo se occupasse tutto il volume della miscela. La legge di Dalton ci dice che al variare della pressione di una miscela di gas variano le pressioni parziali dei singoli gas che compongono la miscela stessa.



Pertanto, immergendoci, all'aumentare della profondità aumenta la pressione dell'aria che respiriamo quindi aumentano le pressioni parziali di ossigeno ed azoto ed i loro effetti sull'organismo. Nel caso dell'azoto, si parla di "narcosi d'azoto" od "ebbrezza da profondità". Questo fenomeno, che può provocare rallentamento dei riflessi e difficoltà psico-motorie, si verifica a cominciare da una profondità di circa 25/30 metri. Nel caso di comparsa dei sintomi, è sufficiente risalire di qualche metro perché l'effetto scompaia. La legge di Dalton influenza gli incidenti "chimici" causati dall'aumento o dalla diminuzione della pressione parziale del gas.

Legge di Henry

"A temperatura costante la quantità di un gas che si può sciogliere in un liquido è direttamente proporzionale alla pressione parziale del gas stesso"

Questo enunciato è d'importanza fondamentale per capire cosa accade all'organismo in termine di saturazione e desaturazione dei gas quando si scende in profondità equipaggiati con ARA e, soprattutto, ai fini della sicurezza e dell'insorgere d'eventuali embolie gassose quando si risale in superficie.



Bisogna ricordare che l'aria che si respira è composta da una miscela di gas, due dei quali partecipano agli scambi alveolari (ossigeno ed anidride carbonica); gli altri, fra cui l'azoto (circa il 78% di tutta la miscela), sono definiti inerti perché sono assunti ed espirati senza subire trasformazioni.

Soltanto i gas inerti, e quindi soprattutto l'azoto, interessano ai fini dell'applicazione pratica della legge di Henry.

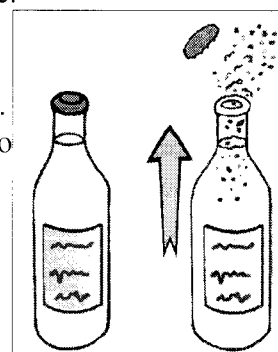
Nella nostra vita aerea siamo saturi d'azoto per circa un'atmosfera, e possiamo considerare poco indicative le eventuali variazioni di pressione che invece diventano imponenti nel momento in cui scendiamo in acqua (ogni 10 metri di colonna di liquido aggiunge un'atmosfera a quella che grava sulla superficie del mare).

Durante la discesa l'azoto che viene inspirato aumenta la sua pressione parziale in modo proporzionale a quell'esterna e, come dice l'enunciato, si trasferisce dai polmoni al sangue e poi in tutti i tessuti in forma liquida.

Questa fase si chiama di saturazione, e termina nel momento in cui, raggiunta una determinata quota per un periodo sufficientemente lungo, la pressione dei gas inerti all'interno del corpo è pari a quell'esterna.

Durante la risalita avviene il fenomeno inverso: l'azoto in eccesso torna alla forma gassosa, attraversa il sistema venoso e viene eliminato attraverso la respirazione, in modo asintomatico, a condizione che vengano rispettati i giusti tempi d'ascesa e d'eventuali soste di decompressione.

L'esempio della bottiglia di spumante è molto calzante: all'interno della bottiglia di spumante vi è disciolto del gas a pressione (CO_2 , nella fattispecie). Nel momento in cui il tappo viene tolto l'anidride carbonica ritorna al suo stato gassoso sprigionando una quantità di bollicine e tende a fuoriuscire con violenza dal suo contenitore, "sparando" il tappo. Se questa operazione è fatta



con estrema cautela si può evitare la fuoriuscita del vino proprio come nell'organismo; le disattenzioni e le imprudenze si possono pagare a caro prezzo con l'EGA (embolia gassosa arteriosa).

Una volta usciti dall'acqua la desaturazione non sarà ancora terminata: per questo motivo una seconda immersione dovrà essere affrontata con particolari tabelle che tengano conto dell'azoto residuo ancora presente nel nostro organismo.

Pertanto, per controllare la produzione di queste bolle nelle immersioni entro la curva di sicurezza sarà necessario osservare le seguenti regole:

- a) Risalire ad una velocità di 9/10metri al minuto;



RISALITA CORRETTA

quando la pressione diminuisce rapidamente, il gas disciolto nel liquido si trasforma in tante microbolle che aggregandosi fra loro possono dare inizio a bolle sempre più grosse, con effetti pericolosi.

si risale lentamente con una velocità di 10 metri al minuto con sosta obbligatoria di sicurezza

- b) Fermarsi 1/2 minuti alla metà della quota raggiunta (Deep Stop);
c) Fermarsi 3 minuti fra i 3 ed i 5 metri (tappa di principio);
d) Risalire a 3 metri al minuto dai 5 metri alla superficie.