

## Pillole di subacquea

(domande poste durante i corsi)

Questo articolo nasce con lo scopo di iniziare a raccogliere le domande che sono state poste dai subacquei durante i corsi e le uscite nel corso degli anni. Il testo non è definitivo poichè potrà sempre essere aggiornato e ampliato con l'aggiunta di ulteriori quesiti. Durante i corsi, specialmente in quelli di primo livello, gli istruttori si trovano a volte a dover dare delle spiegazioni parziali o comunque limitate (non errate) agli allievi che domandano approfondimenti. Questo non deve essere scambiato per una mancanza di voglia o di conoscenza da parte di chi insegna, il motivo lo si deve ricercare nel fatto che in quel momento approfondire troppo un concetto potrebbe sviare l'apprendimento dalle nozioni importanti e basilari da cui non si può prescindere.

Le didattiche ricreative, con i manuali che ne riflettono l'essenza, si trovano ad avere platee disomogenee di subacquei che alla fine dei corsi devono avere tutti imparato alcuni importanti concetti. Si rende quindi necessario sfrondare i contenuti da tutto quello che potrebbe ostacolarne l'apprendimento (formule, dimostrazioni, leggi fisiche e chimiche) evitando eccessive spiegazioni non necessarie e rimandando gli approfondimenti in una fase successiva.

Le risposte che seguono cercano di spiegare, se necessario con semplici formule e dimostrazioni, quello che c'è sotto la punta dell'iceberg dando maggiore completezza alle nozioni acquisite e lasciando poi al singolo la possibilità di ulteriori approfondimenti.

### ➤ **Come fanno i computer subacquei a calcolare la profondità?**

Tutti i computer subacquei sono dotati di un sensore di pressione tramite il quale viene rilevata la pressione esterna ovvero, la pressione esercitata dalla colonna d'acqua sopra di esso (*pressione idrostatica*).

Applicando la legge di **Stevino** è possibile calcolare l'altezza della colonna di liquido che sovrasta il nostro computer cioè la profondità a cui esso si trova.

#### **Legge di Stevino:**

**la pressione che un fluido incompressibile (come l'acqua) esercita ad una profondità (h) è uguale al prodotto della densità (ρ) del liquido per l'accelerazione di gravità (g) e per la profondità stessa.**

(1)  $P = \rho \cdot g \cdot h$  nel Sistema Internazionale ρ (kg/m<sup>3</sup>), g (m/s<sup>2</sup>), h (m) e P (Pa – Pascal)

dalla quale si ricava che

(2)  $h = P / \rho \cdot g$

esempio:

assumendo una densità dell'acqua di mare  $\rho=1025 \text{ kg/m}^3$  calcolare la pressione ad una profondità di 40 metri.

applicando la (1) abbiamo:  $P = \rho \cdot g \cdot h = 1025 \cdot 9,81 \cdot 40 = 402210 \text{ pascal} = 4,02 \text{ bar o } 3,97 \text{ atm}$

il computer subacqueo, come detto, acquisendo il valore di **P** dal sensore calcola tramite la (2) la profondità.

Per chi fosse interessato e per completezza, riporto di seguito la dimostrazione della legge di **Stevino** ricordando le definizioni di *peso*, *densità* e *pressione* e le loro unità di misura nel sistema internazionale.

Il **peso** é un tipo particolare di forza (in effetti bisognerebbe chiamarlo forza peso) e come tutte le forze é il prodotto della massa per un'accelerazione solo che nel caso in questione l'accelerazione non é generica bensì quella di gravità ( $g=9,81 \text{ m/s}^2$  praticamente costante su tutta la terra).

$$P = m \cdot g \text{ (N – Newton)}$$

La **densità** é definita come la quantità di materia contenuta nell'unità di volume.

$$\rho = m / V \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

La **pressione** é la forza ortogonale alla superficie esercitata sulla superficie

$$P = F / S \text{ (Pa) dove } 1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ kg/m} \cdot \text{s}^2$$

L'oggetto posto ad una profondità (h), che per comodità supponiamo avere una forma cilindrica, sarà sottoposto alla pressione della colonna di liquido sovrastante (bisogna considerare il corpo immerso in un ambiente **chiuso**, vedasi piu' sotto la differenza).

$$\text{Quindi : } P = F / S$$

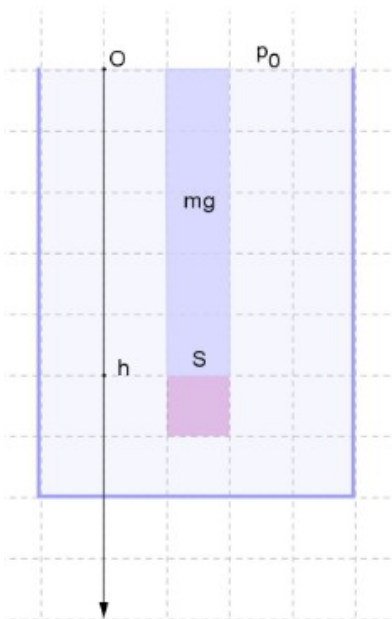
sostituendo a F generica il peso della colonna sovrastante abbiamo  $P = m \cdot g / S$

sostituendo alla massa m il prodotto  $\rho \cdot V$  (vedi densità) abbiamo  $P = \rho \cdot V \cdot g / S$

considerando sia il corpo che la colonna d'acqua sovrastante di forma cilindrica, il volume sarà dato da  $V = S \cdot h$  (volume del cilindro) e sostituendo avremmo:

$$P = \rho \cdot S \cdot h \cdot g / S \text{ da cui si ottiene } \mathbf{P = \rho \cdot h \cdot g}$$

La legge di Stevino, come scritto sopra, riguarda la sola pressione idrostatica (il battente d'acqua che sovrasta il corpo immerso in un ambiente **considerato chiuso**) ma il mare e i laghi sono ambienti aperti e risentono anche della pressione atmosferica (colonna d'aria sopra di essi) quindi la pressione totale gravante sul corpo immerso (*principio di Pascal*) sarà data da  $\mathbf{P = P_{atm} + \rho \cdot h \cdot g}$  formula che tutti i sub conoscono e che, riprendendo l'esempio visto sopra, avrebbe come risultato 5 bar per una profondità di 40 metri.



Legge di Stevino grafico - fonte web



Stevino (1548-1620) - fonte web

➤ **Cosa significa che il computer é tarato in acqua dolce?**

I computer subacquei per poter acquisire informazioni dal mondo esterno sono dotati di alcuni sensori (almeno due): quello per la temperatura e quello per la pressione esterna. Affinché i dati letti siano corretti, i sensori devono essere precedentemente tarati dalle ditte costruttrici.

Nello specifico, dalla corretta lettura della pressione dipende, non solo il calcolo della profondità (*legge di Stevino*), ma anche quello relativo all'assorbimento e rilascio dell'inerte nei nostri tessuti durante l'immersione. Si capisce quindi l'importanza della taratura e i potenziali rischi qualora non fosse corretta.

I computer vengono testati in apposite camere iperbariche riempite con acqua dolce oppure salata e simulando delle immersioni a varie profondità (quando si acquista un computer nuovo solitamente si trova almeno un profilo già memorizzato nel logbook; questa é una immersione di prova fatta dalla ditta costruttrice). Nei modelli che non dispongono della possibilità di settare il tipo di acqua, nel manuale per l'utente, vengono messe di solito delle note come quelle riportate di seguito.



La misura della profondità è riferita all'acqua dolce. Per questa ragione, in acqua salata, l'unità indica una profondità leggermente superiore a quella reale. L'errore è proporzionale al grado di salinità dell'acqua.



La misura della profondità è riferita all'acqua salata. Per questa ragione nelle immersioni in acqua dolce SPORT indica una profondità leggermente (3%) inferiore a quella effettiva. Comunque nessun calcolo viene modificato da questa differenza.

Il motivo per cui vengono riportate queste note é quello di fornire al subacqueo le informazioni affinché possa pianificare l'immersione e interpretare i dati visualizzati sul computer in modo corretto.

Vediamo di capire meglio riferendoci all'esempio descritto per la legge di Stevino relativo ad una profondità di 40 metri.

(1) Computer con misura della profondità riferita all'acqua salata:

$$P = \rho \cdot g \cdot h = 1025 \cdot 9,81 \cdot 40 = 402210 \text{ pascal} = 3,97 \text{ atm}$$

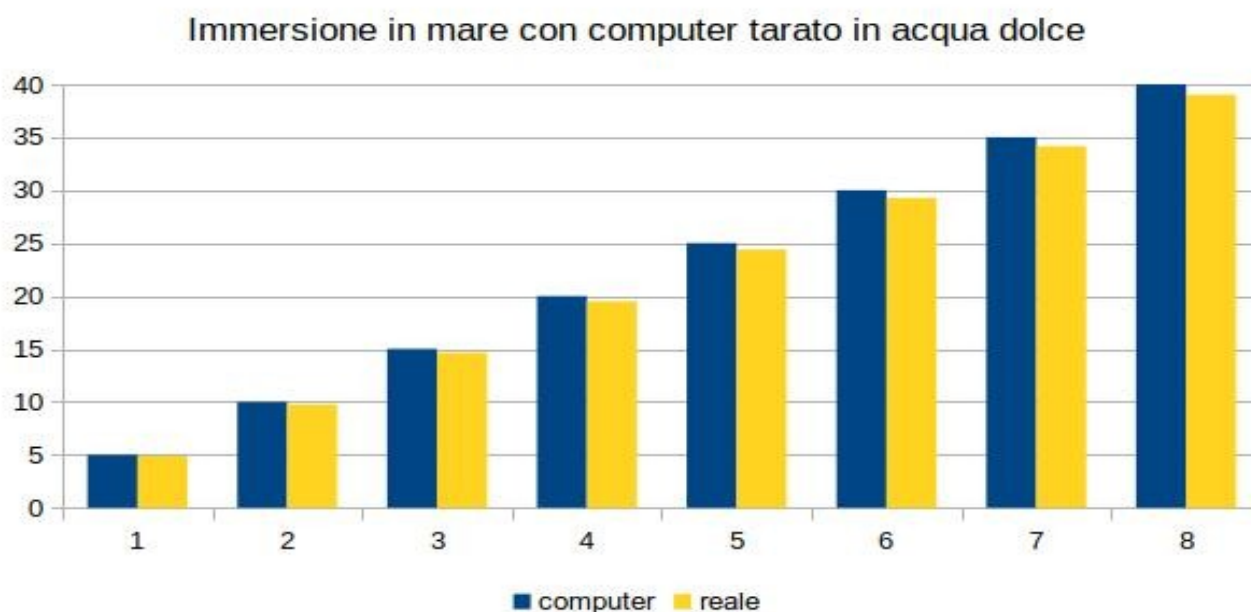
(2) Computer con misura della profondità riferita all'acqua dolce:

$$P = \rho \cdot g \cdot h = 1000 \cdot 9,81 \cdot 40 = 392400 \text{ pascal} = 3,87 \text{ atm}$$

Se ci immergiamo in acqua salata con un computer tarato in acqua salata possiamo dire (trascurando eventuali differenze di salinità) che la lettura é corretta. Se però ci immergiamo in acqua dolce i 40 metri visualizzati sul display corrisponderanno a circa 41 metri reali ( $h = P / \rho \cdot g = 402210 / (1000 \cdot 9,81) = 41 \text{ m}$ ). Infatti la differenza  $3,97 - 3,87 = 0,1 \text{ atm}$  corrisponde a 1 metro ed esprimendola in percentuale otteniamo poco meno di un 3% come descritto nella nota.

Se ci immergiamo in acqua dolce con un computer tarato in acqua dolce possiamo dire (trascurando eventuali differenze di sali disciolti) che la lettura é corretta. Se però ci immergiamo in acqua salata i 40 metri visualizzati sul display corrisponderanno a circa 39 metri reali ( $h = P / \rho \cdot g = 392400 / (1025 \cdot 9,81) = 39 \text{ m}$ ). Infatti la differenza  $3,97 - 3,87 = 0,1 \text{ atm}$  corrisponde a 1 metro ed esprimendola in percentuale otteniamo poco meno di un 3% come descritto nella nota.

In termini di sicurezza quindi conviene avere un computer tarato in acqua dolce anche se é altrettanto vero che in ambito ricreativo tali differenze non influiscono assolutamente ai fini del calcolo decompressivo e piu' in generale dell'immersione stessa (come si puo' osservare dal grafico seguente).



➤ **Cosa viene modificato nei computer che permettono il setaggio del tipo di acqua?**

Il parametro che é possibile modificare é la densità ( $\rho$ ). Ci sono computer che permettono di scegliere solo tra due valori prefissati (acqua dolce o salata), mentre altri permettono di settare un range piu' ampio.

La densità di un liquido dipende da molteplici fattori (temperatura, pressione, salinità), quindi anche i computer che permettono una maggiore scelta di valori avranno comunque un margine di imprecisione.

Salinità (%)	Densità dell'acqua di mare (kg/m <sup>3</sup> )
4,2	1029
4,1	1028
4	1027
3,8	1026
3,7	1025
3,6	1024
3,4	1023
3,3	1022
3,2	1021
3	1020

➤ **É corretto parlare di assetto negativo, positivo o neutro?**

No, questo é un concetto errato che spesso si sente dire durante i corsi subacquei.

L'assetto (**trim** in inglese) identifica la posizione di un corpo (oggetto) rispetto al piano orizzontale.

Quindi una barca rispetto al piano orizzontale potrà avere un assetto parallelo oppure inclinato (si usano termini come appruata o appoppata mentre per un aereo si parla di assetto cabrato o picchiato). Spesso negli articoli sui relitti leggiamo la frase "*posizione in assetto di navigazione*" che é corretta poiché indica che lo scafo é parallelo al fondale (non avrebbe senso scrivere "*in assetto negativo*").

Allo stesso modo un sub durante l'immersione potrà assumere vari assetti indipendentemente dal fatto di essere fermo oppure in moto (pinneggiando); potrà essere perpendicolare durante la discesa (se scende di testa o con i piedi) ma anche parallelo se scende planando; lo stesso dicasi durante la risalita o quando é arrivato sul fondo.

*In altre parole non bisogna confondere la posizione di un oggetto rispetto al piano orizzontale con la direzione datagli dal moto all'interno del fluido.*

➤ **Qual' é allora il termine corretto?**

Nella lingua inglese é "buoyancy" da cui l'acronimo BCD (Buoyancy Compensator Device), in italiano il termine piu' simile é "galleggiamento" traducendo quindi BCD come Dispositivo di Compensazione della Galleggiabilitá. Quindi il termine GAV (Giubbetto ad Assetto Variabile) é improprio e non corretto, semmai bisognerebbe usare Giubbetto Equilibratore.

Per sopperire a questa mancanza di termini nella nostra lingua si usa parlare di galleggiabilitá riferendosi cosi ad una condizione che potrà essere negativa, positiva o neutra anche se parlare di galleggiabilitá negativa é una contraddizione in termini.

Un subacqueo quindi potrà avere un assetto parallelo al fondale ma una galleggiabilitá positiva che tenderá a farlo risalire oppure essere in posizione verticale con una galleggiabilitá negativa.

Nota: se non intervengono fattori esterni normalmente si sceglie una direzione lungo la quale muoversi (pinneggio in giu' verso il fondo = scendo oppure in su per risalire) ricorrendo quindi alla terminologia impropria che tutti conosciamo (assetto positivo = spostamento verso l'alto, assetto negativo = spostamento verso il basso e neutro = senza variazione di quota).

➤ **É meglio l'octopus o il doppio erogatore?**

Per rispondere a questa domanda bisogna avere ben chiaro cosa si intende per subacquea ricreativa. Spesso si vedono subacquei ricreativi uscire da tale campo semplicemente perché il loro comportamento non viene percepito come un pericolo e il piu' delle volte, fortunatamente, non porta a nessuna conseguenza.

Come appreso durante i corsi le immersioni ricreative, il cui scopo é lo svago e il divertimento in sicurezza, sono tali se:

- non vengono effettuate in solitaria ma con un compagno (a distanza di braccio)
- non obbligano a tappe di decompressione (in curva di sicurezza)
- non usano miscele diverse dall'aria (il nitrox prevede un corso dedicato)
- non usano piu' di una bombola (no bibombola o bombole da fianco)
- non prevedono penetrazione (grotte, relitti anche se a bassa profonditá) e devono garantire sempre una risalita diretta e verticale verso la superficie in caso di necessitá
- non prevedono configurazioni diverse da quella ricreativa (muta umida o semistagna e octopus)

Alcune didattiche hanno incluso la possibilità del doppio erogatore ma questo ampliamento non è dovuto per implementare la sicurezza, quanto per venire incontro alla diffusa tendenza da parte dei subacquei di immergersi con il doppio erogatore.

Se i punti che identificano l'immersione ricreativa sono rispettati, così come la corretta manutenzione dell'attrezzatura, lo standard di sicurezza è molto elevato (vedasi le statistiche sugli incidenti). Non è necessario quindi ricorrere al doppio erogatore anche perché di fatto non apporta nessun implemento reale in termini di sicurezza mentre ne diffonde una falsa idea (concetto di ridondanza) per cui due erogatori indipendenti assicurerebbero maggiori probabilità (sicurezza) in caso di guasti.

La realtà però è diversa, come spiegato su questo [articolo](#). Quindi in una configurazione ricreativa, adoperata in un contesto ricreativo, l'octopus è meglio del doppio erogatore.

### ➤ **Indicare la pressione della bombola in bar o atmosfere è la stessa cosa?**

Da un punto di vista pratico, ovvero che abbia ripercussioni concrete nello svolgimento di una immersione ricreativa, non ci sono differenze, tuttavia le due unità di misura sono tra loro differenti.

L'atmosfera (simbolo atm – unità di misura che non rientra nel Sistema Internazionale) si riferisce alla pressione esercitata da una colonna d'aria al livello del mare, alla temperatura di 0° C, alla latitudine di 45° e avente una umidità relativa dello 0%.

Il bar (simbolo bar – unità di misura del sistema CGS) si riferisce alla pressione esercitata da una megabarria cioè 10<sup>6</sup> dine/cm<sup>2</sup> (il dine è l'unità di misura della forza nel sistema CGS).

I manometri subacquei adottano come unità di misura il bar, l'equivalenza che intercorre tra queste due grandezze è la seguente **1 atm = 1,01325 bar**, quindi ad esempio:

- la pressione alla profondità di 40 metri in mare (legge di *Stevino*) sarà 4,02 bar o 3,97 atm
- una bombola caricata a 200 bar equivarrà a 197,4 atm

nota: il corretto uso delle unità di misura e la loro equivalenza evitano errori di calcolo che possono portare anche a differenze importanti. Se nel campo ricreativo tali differenze solitamente non comportano rischi, lo stesso non si può dire in ambito tecnico (si pensi al corretto calcolo della quantità di miscela all'interno delle bombole).

### ➤ **In che senso „ corretto calcolo della quantità di miscela all'interno delle bombole“?**

Dai corsi abbiamo appreso che per calcolare la quantità di miscela contenuta nella bombola (**V<sub>m</sub>**) si deve moltiplicare il volume nominale della bombola (**V<sub>n</sub>**) per la pressione di carica (**P<sub>c</sub>**), ovvero:

$$V_m = V_n \cdot P_c$$

Premesso che questa formula fornisce solo un valore teorico di **V<sub>m</sub>**, se andiamo ad analizzarla da un punto di vista delle unità di misura ci accorgiamo che qualcosa non torna. Esprimendo il volume in litri e la pressione in bar ci accorgiamo che **V<sub>m</sub>** avrebbe come unità di misura **l · bar**, infatti:

$$V_m = V_b \cdot P_c = l \cdot bar$$

in effetti in questa formula manca un termine, ovvero la pressione ambiente (**P<sub>a</sub>**). La formula corretta è quindi la seguente :

**V<sub>m</sub> = V<sub>n</sub> · P<sub>c</sub> / P<sub>a</sub>** e come unità di misura abbiamo **V<sub>m</sub> = l · bar / bar = l** esprimendo quindi in modo corretto la quantità di miscela.

*Il motivo di quanto appena letto lo si deve ricercare nel fatto che si considererà 1 bar = 1 atm quindi omettendo di dividere per P<sub>a</sub> (espressa in atm).*

In realtà, come abbiamo già avuto modo di dire, **1 atm = 1,01325 bar**, per cui, anche se la differenza è poca, bisognerebbe considerare il denominatore.

Una bombola da 15 litri caricata a 200 bar avrà un  $V_m = 200 \cdot 15 / 1,01325 = 2960,7$  litri e non di 3000 litri con una riduzione di circa 1,3 % (valore che si mantiene costante anche variando  $V_n$  e  $P_c$  come evidenziato nella tabella).

Vn	Vm (senza Pa)			Vm (con Pa)			Differenza %		
	(Pc 200 bar)	(Pc 220 bar)	(Pc 300 bar)	(Pc 200 bar)	(Pc 220 bar)	(Pc 300 bar)	(Pc 200 bar)	(Pc 220 bar)	(Pc 300 bar)
5	1000	1100	1500	987	1086	1480	1,3	1,3	1,3
10	2000	2200	3000	1974	2171	2961	1,3	1,3	1,3
12	2400	2640	3600	2369	2605	3553	1,3	1,3	1,3
15	3000	3300	4500	2961	3257	4441	1,3	1,3	1,3
10+10	4000	4400	6000	3948	4342	5922	1,3	1,3	1,3
12+12	4800	5280	7200	4737	5211	7106	1,3	1,3	1,3

Valori di Vm arrotondati all'intero

La percentuale di 1,3 non é il solo valore che influisce sulla determinazione di **Vm**. Infatti la formula  $V_m = V_n \cdot P_c / P_a$  é valida se si considerano i gas come ideali, ovvero che rispettano le seguenti condizioni:

- le particelle sono in continuo movimento secondo traiettorie rettilinee regolate dalle leggi del caso
- le particelle hanno un volume proprio (*covolume*) trascurabile rispetto al volume a disposizione del gas stesso
- tra le particelle non esistono interazioni per cui le forze molecolari e la densità sono molto basse al punto di poter essere trascurate
- gli urti delle particelle sono elastici, ossia non comportano perdita di energia

nella realtà, se le condizioni di pressione e temperatura non si discostano troppo da quelle ambientali, possiamo equiparare i gas ideali a quelli reali. Purtroppo le normali pressioni di carica delle bombole subacquee non permettono questa equiparazione per cui bisogna tenere conto anche del coefficiente di comprimibilità (**Z**), proprio di ogni tipo di gas.

La sua variazione dal valore 1 ( $Z \neq 1$ ) altro non indica che lo scostamento dal gas ideale. Per valori pressori intorno a 100 bar e temperatura ambiente si avrà  $Z=1$  mentre con pressioni maggiori si avrà  $Z > 1$  conseguentemente i litri contenuti nella bombola saranno inferiori. Quanto detto lo possiamo riassumere con la seguente espressione  $p \cdot v = Z \cdot R \cdot T$  da cui  $Z = p \cdot v / R \cdot T$

Questo si traduce in una diminuzione della reale pressione nella bombola come evidenziato dalla tabella - 1 riferita al grafico sottostante.

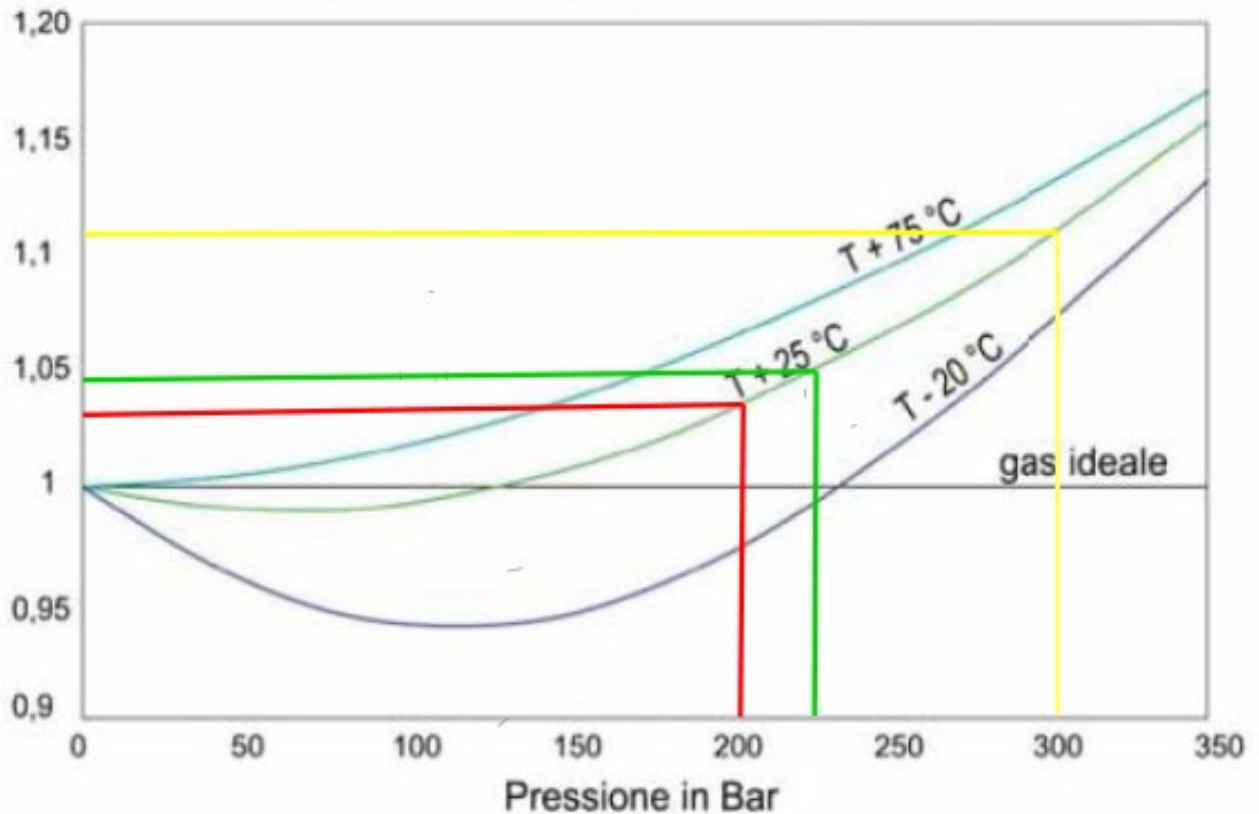
% riduzione volume teorico per $z=1,03$ e $p=200$	<b>2,9</b>	bar reali	<b>194,2</b>
% riduzione volume teorico per $z=1,05$ e $p=220$	<b>4,8</b>	bar reali	<b>209,5</b>
% riduzione volume teorico per $z=1,11$ e $p=300$	<b>9,9</b>	bar reali	<b>270,3</b>

Tabella - 1

dal grafico si nota, che per una temperatura di 25 °C ( $T+25$ ),  $Z$  rimane inferiore a 1 per pressioni vicine a 100 bar per poi lentamente aumentare mano a mano che la pressione cresce come mostrato dalle linee colorate indicanti le pressioni di 200, 220 e 300 bar.



Grafico 3: Valori di Z dell'aria a 3 diverse temperature



nella tabella - 2, ai valori della tabella - 1 viene sommato 1,3% evidenziando la riduzione totale rispetto al calcolo normalmente insegnato durante i corsi (gas ideali), inoltre si tenga sempre a mente che i  $V_m$  risentono delle variazioni di temperatura (legge di Charles).

La riduzione di pressione non dipende dal volume nominale ma solamente dalla pressione di carica scelta, in altre parole sia che abbia una bombola da 12 o da 15 litri se decido di caricarle a 200 bar avrò una riduzione percentuale totale su entrambe di circa 4,2% che corrisponde a 191,6 bar quindi i  $V_m$  saranno per il 12 litri = 2299 e per la bombola da 15 litri = 2874 litri.

% riduzione totale z=1,03 e 1,3%	<b>4,2</b>	bar reali	<b>191,6</b>
% riduzione totale z=1,05 e 1,3%	<b>6,1</b>	bar reali	<b>206,7</b>
% riduzione totale z=1,1 e 1,3%	<b>10,4</b>	bar reali	<b>268,8</b>

Tabella - 2

Come detto, se queste differenze possono essere ignorate nelle immersioni ricreative in quanto tali, altrettanto non lo si può dire per quelle tecniche dovendo considerare nella loro pianificazione (normalmente eseguita con appositi software) tappe decompressive, cambi di miscele respiratorie, bail out, consumi, eventuali carichi di lavoro, ecc.



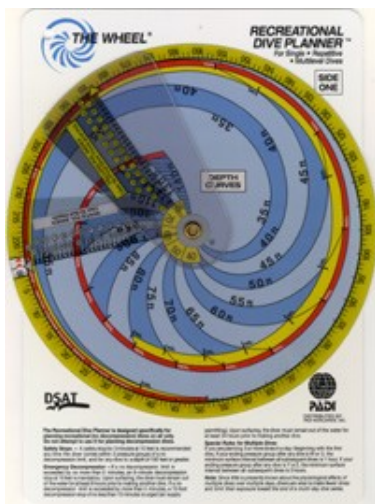
➤ **Se le tabelle adoperano gli stessi algoritmi decompressivi presenti nei computer, perché non è possibile eseguire immersioni multilivello ricreative con le tabelle?**

Per meglio rispondere alla domanda è utile dividerla in due sotto domande.

(1) **perché non è possibile eseguire immersioni multilivello ricreative con le tabelle?**

in realtà non solo è possibile, ma la PADI presentò nel 1989 uno strumento a cui diede il nome di *The Wheel* (la ruota, essendo di forma rotonda) con cui si potevano pianificare immersioni multilivello in ambito ricreativo (i subacquei più attenti sicuramente si ricorderanno).

Questo strumento non ebbe seguito presso le altre didattiche ricreative dell'epoca perché iniziavano ad esserci sul mercato anche i primi computer, inizialmente costosi e anche visti con una certa diffidenza. Nel giro di poco tempo però si imposero sulle tabelle, i subacquei iniziarono ad acquistarli essendo i prezzi diminuiti e tutto questo disincentivò le didattiche dall'investire tempo e denaro per produrre la propria „ruota“.



The image shows the PADI Recreational Dive Planner (RDP) surface interval credit table. It is a grid with 'START DEPTH (M/F)' on the vertical axis (A through Z) and 'START DEPTH (M/F)' on the horizontal axis (Z through A). The table provides credit values for various surface intervals, allowing divers to determine their pressure group after a surface interval. The table is color-coded and includes instructions for use.

The Wheel e a destra la tabella PADI (fonte web)



Il capostipite dei computer Aladin e a destra il primo computer il Divetronic Decobrain Hann Hass - (fonte web)

(2) **le tabelle adoperano gli stessi algoritmi decompressivi presenti nei computer?**

Premettiamo che la risposta sarà volutamente di tipo discorsivo, quindi senza formule (si riporterà, solo per dovere, la formula fondamentale da cui sono derivate le altre).

La teoria della decompressione si basa sul seguente postulato :

*„la velocità con cui la tensione di un gas inerte varia all'interno di un compartimento tissutale è proporzionale alla differenza istantanea tra la pressione parziale dell'inerte nella miscela respirata e la tensione del gas inerte nel compartimento“*

esprimendola matematicamente si ha :  $dTi/dt = Ki (Pp-Ti)$ , dove :  $Ti$  indica la tensione dell'inerte nel compartimento numero  $i$ ,  $t$  è il tempo,  $Ki$  è un coefficiente numerico che caratterizza il compartimento numero  $i$  e  $Pp$  è la pressione parziale del gas inerte respirato.

Da questa formula ne sono state ricavate altre, in particolare quella di *Haldane* e quella di *Schreiner*, entrambe hanno però dei limiti, rendendole applicabili solo per determinate situazioni.

L'equazione di Haldane presuppone che nell'intervallo di tempo ( $t_f - t_i$ ) la pressione parziale del gas inerte respirato ( $Pp$ ) si mantenga costante. Questa condizione la si ottiene solo permanendo ad una certa profondità ed è quindi tipica della permanenza sul fondo (o alla massima profondità programmata) ma non è applicabile durante le fasi di discesa, risalita oppure durante le immersioni multilivello.

Dobbiamo considerare che gli studi di Haldane erano incentrati sulle patologie accusate da chi lavorava nei cassoni. Queste persone scendendo alla profondità di lavoro, rimanendo per svariate ore (saturandosi) e poi risalendo in superficie, eseguivano un profilo che noi oggi chiamiamo immersione quadra (saturazione esclusa a livello ricreativo). Ecco perché la formula di Haldane si applica nella determinazione dei limiti di non decompressioni delle tabelle (NDT – no deco time).

L'equazione di Schreiner presuppone che nell'intervallo di tempo ( $t_f - t_i$ ) la pressione parziale del gas inerte respirato ( $Pp$ ) vari in modo costante. Questa condizione la si ottiene solo se le fasi di discesa e di risalita avvengono rispettando una velocità costante (moto uniforme).

Viene adoperata nei software decompressivi per i calcoli nelle fasi di discesa e risalita che devono essere fatte a velocità costanti, mentre per il tempo di fondo si usa quella di Haldane. Anche la formula di Schreiner, come quella di Haldane, non può essere usata per i calcoli nelle immersioni multilivello.

Le tabelle quindi non adoperano gli stessi algoritmi dei computer. Questi infatti, per poter eseguire le immersioni multilivello, devono ricorrere ad un escamotage.

Nei computer i tratti di risalita e discesa vengono considerati come una successione di brevissimi intervalli (intervalli finiti) per i quali si può considerare valida l'equazione di Schreiner mentre per la permanenza a profondità costante si considera Haldane (per essere precisi viene sempre considerato Schreiner perché se nella sua equazione la variazione della velocità di quota è zero, si trasforma in quella di Haldane che di fatto ne rappresenta quindi un caso particolare).

### ➤ **Immergersi con computer considerati „vecchi“ è pericoloso?**

La pericolosità, purtroppo, non è legata tanto allo strumento utilizzato, quanto piuttosto all'uso che ne viene fatto (spesso improprio) oppure alla scarsa conoscenza dello stesso.

I computer subacquei si dividono in due famiglie, a seconda del tipo di algoritmo decompressivo che adottano: quelli monofase (ovvero che considerano tutto l'inerte disciolto nei tessuti) e quelli bifase (ovvero che considerano una parte d'inerte in fase gassosa, circa un 10%).

Quelli monofase sono stati i primi (vedasi Haldane e Bühlmann con le sue varianti e successivi adattamenti), mentre quelli bifase sono più recenti e tengono controllato il raggio delle bolle (modelli VPM, RGBM).

Senza scendere in ulteriori dettagli, la cosa importante per ogni subacqueo è sapere che tipo di algoritmo usa il computer utilizzato e le differenze basilari tra gli algoritmi. Immergersi con un computer degli anni novanta piuttosto che con l'ultimo modello sul mercato non pregiudica la sicurezza se chi lo adopera conosce i limiti dello strumento e il suo funzionamento.

Sicuramente i modelli più recenti (sia monofase che bifase) hanno algoritmi di tipo adattivo, considerando la temperatura registrata, lo sforzo inspiratorio, propongono delle soste profonde se necessarie (deep stop) e altre cose ancora come i display a colori, la possibilità di personalizzare il desktop, di caricare foto, grafici del profilo, la bussola. Ma anche se ci si immerge con computer non adattivi e monocromatici possiamo emergere senza per forza dover andare incontro a MDD.

Il computer è uno strumento che il sub ha il compito di controllare, saper gestire e interpretare (come il manometro) e non affidargli ciecamente la sua incolumità solo perché si chiama computer.

A mio parere il problema è che purtroppo abbiamo l'errato concetto che il computer subacqueo sia come i computer (o i telefonini) che usiamo a casa o al lavoro dove anche pochi anni fanno una grande differenza a livello di prestazioni e di sicurezza.

D'altronde se esistesse un algoritmo capace di considerare tutti i fattori possibili (oggettivi e soggettivi) che possono verificarsi in un sub durante una immersione (anche la stessa ma ripetuta più volte) riducendo a zero i rischi, questo algoritmo decompressivo si sarebbe imposto su tutti gli altri divenendo di fatto l'unico adoperato.

#### ➤ ***Perché nella subacquea ricreativa non si parla di ridondanza?***

Semplicemente perché il concetto di ridondanza non è proprio della subacquea ricreativa che pone invece come cardine la costante presenza del compagno d'immersione.

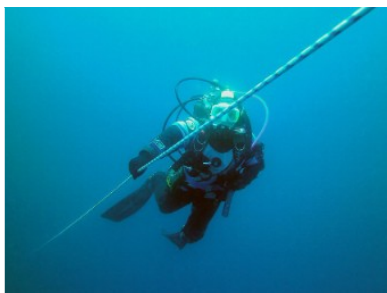
In ambito ricreativo (vedasi la definizione) non ha senso immergersi con attrezzatura ridondante poiché la sicurezza è data dal tipo di profilo, dalla pianificazione, dal compagno e da una corretta manutenzione della propria attrezzatura.

Oltre a questo si deve considerare che non si ha la preparazione necessaria per poter gestire attrezzature ridondanti in modo sicuro (quando parlo di ridondanza non mi riferisco alla maschera di riserva che molti sub ricreativi portano nel loro gav). Soffermiamoci a pensare che senso ha immergersi con doppi strumenti, così come il doppio erogatore montato su un mono, se abbiamo rispettato quanto scritto sopra.

Meno cose (non necessarie) portiamo con noi e meglio è ai fini di possibili malfunzionamenti o rotture. La ridondanza serve in particolari tipologie d'immersione (non ricreative) e l'attrezzatura ridondante viene scelta di volta in volta a seconda del tipo di profilo da eseguire.

Purtroppo negli anni sono emersi i limiti della subacquea ricreativa e quindi alcune didattiche hanno iniziato a proporre corsi di „solo diving“. Questi corsi si pongono come un utilissimo complemento al sistema di coppia i cui limiti, per ironia della sorte, nascono dal fatto di aver aperto questo sport al grande pubblico rendendolo appunto ricreativo.

➤ **Ho visto dei sub risalire mantenendo una posizione parallela rispetto al fondale, c'è differenza rispetto alla classica risalita in posizione verticale?**



In effetti ci sono delle differenze nell'assumere la posizione parallela al fondo rispetto a quella imparata durante il corso base. Queste differenze, di vario genere, migliorano la fase della risalita che, come detto più volte, rappresenta il momento di maggiore attenzione da parte del subacqueo.

In questo [articolo](#) vengono comparate le due risalite. La differenza più importante è di carattere fisiologico dal momento che assumendo la posizione parallela al fondale il nostro corpo, per tutta la sua lunghezza, lo si può considerare ad una stessa profondità.



Non ci sono differenze di pressione esterna tra testa e piedi. Questo è molto importante sia per la decompressione in atto nei nostri tessuti, sia per gli eventuali sbalzi pressori a cui potrebbero essere sottoposti gli alveoli dei nostri polmoni (per causare un danno bastano variazioni di pressione dell'ordine di *decimi di bar*).

Nei corsi si insegna la posizione verticale perché, pur non essendo quella più efficace, rappresenta per noi la nostra normale postura mettendoci in una condizione psicofisica di maggiore familiarità con i movimenti che andiamo a compiere in un ambiente, quello subacqueo, a noi pressoché sconosciuto.

➤ **Esistono metodi diversi anche per compensare?**

Anche per questa domanda la risposta è affermativa. Come per la precedente la manovra insegnata durante i corsi predilige la semplicità e la nostra familiarità nell'eseguirla rispetto alla sua efficacia (anche in termini di sicurezza).

La manovra di *Valsalva*, spesso insegnataci inconsapevolmente dai nostri genitori, la usiamo ogni qualvolta avvertiamo la sensazione di avere le „orecchie tappate“. La maggior parte delle persone quindi, la esegue senza particolari problemi anche prima di frequentare un corso sub. Questo è il motivo per cui viene insegnata durante i corsi.

Questa tecnica però ha anche delle controindicazioni. Se effettuata con ritardo potrebbe portare a dei traumi nell'orecchio medio, del timpano e anche a livello polmonare. Inoltre è bene sapere che una sua esecuzione troppo violenta (o peggio se effettuata con la testa in giù) potrebbe avere serie ripercussioni su soggetti con FOP (forame ovale pervio), permettendo il passaggio (a livello del cuore) di bolle dal circolo venoso a quello arterioso. Si consideri che il FOP si può diagnosticare solo con un esame specifico e che è presente, secondo le statistiche, nel 15-20% della popolazione.

La manovra di *Marcante – Odaglia o di Frenzel*, al contrario, richiede un certo grado d'allenamento ma è più sicura e permette, volendo, velocità di discesa leggermente superiori.

Tale manovra è simile a quella di *Valsalva* ma differisce perché l'aria nella bocca (chiudendo la glottide e aprendo il palato molle) viene forzata nelle tube di Eustachio adoperando la lingua come un pistone e generando una pressione positiva che apre le tube stesse.

Esistono poi altre manovre (in parte derivate dalle due principali) ma sono più importanti per gli apneisti che devono considerare la sola aria presente nei loro polmoni. Maggiori informazioni si possono leggere in questo [articolo](#).

➤ ***I deep stop sono necessari anche nelle immersioni ricreative e come si calcolano?***

Da quando le soste profonde sono entrate a far parte anche della subacquea ricreativa e i vari modelli di computer ne prevedono il calcolo durante la risalita, molto si è discusso e parlato (vedasi articoli nel web, forum di subacquea). Inizialmente i deep stop furono consigliati come un buon metodo da applicare a tutti i tipi d'immersione (anche ricreative) andando ad integrare la sosta di sicurezza. Successivamente alcuni studi ne ridimensionarono la loro applicazione solo in determinate tipologie di profili al fine di evitare un sovraccarico di azoto nei tessuti lenti con una maggiore probabilità che si verificano incidenti da decompressione.

Riporto integralmente dal sito del DAN il seguente articolo:

***"Sosta profonda in immersione: da effettuare solo entro i -30 metri***

*Hai compreso bene: attualmente le soste sono consigliate solo per immersioni entro i trenta metri per un tempo di fondo lungo (intorno ai sessanta minuti). Eppure fino al 2011 si consigliava (me stesso) di introdurre sempre le soste profonde. Cosa è successo?*

*Il 24-25 ottobre 2003, in Ginevra gli esperti nell'ambito della "6th Consensus Conference on Prevention of Dysbaric Injuries in diving and hyperbaric work" organizzata dalla European Committee for Hyperbaric Medicine, stabilirono che il metodo compartimentale (tabelle US Navy, computer con algoritmo di Buhlmann) era da considerarsi il più affidabile, con alcuni accorgimenti: velocità di risalita ridotta o introduzione delle soste profonde.*

*Il prof. Alessandro Marroni, nel 2004, segnalò che, in una immersione a 25 metri per un tempo di fondo di 25 minuti, l'introduzione di una sosta a 15 metri per due minuti, oltre alla tappa a sei metri, riduceva significativamente l'insacco delle bolle rispetto al rispetto della sola tappa a sei metri. Questo concetto fu immediatamente esteso a tutte le immersioni. Qualche ricercatore, però, si è chiesto se questa generalizzazione fosse corretta.*

*Il francese Blatteau, nel 2005, dimostrò un significativo aumento delle bolle e degli incidenti da decompressione, con l'introduzione delle soste profonde in una immersione a sessanta metri per un tempo di fondo di 15-20 minuti, seguita da una immersione ripetitiva a 50 metri per 15 minuti.*

*L'americano Gerth W.A., nel 2007, evidenziò che l'introduzione delle soste profonde a partire dai 21 metri, in una immersione a 52 mt x 20 minuti di tempo di fondo, generava più incidenti da decompressione (11 su 198 immersioni) rispetto al rispetto di una sola sosta a 12 metri (3 incidenti su 190 immersioni) .*

*Infine l'autorevole norvegese, prof. Alf O. Brubakk, nel 2007 suggerì che le soste profonde fossero consigliate solo per immersioni lunghe (60-70 min), basso fondale (25-30 mt).*

*Tutte le successive ricerche hanno confermato questo approccio: soste profonde solo per immersioni lunghe entro i trenta metri. Per le immersioni più profonde è bene limitarsi a rispettare le indicazioni decompressive del computer. Ciò, specialmente se sono previste immersioni ripetitive, per evitare di "caricare" l'azoto nei tessuti lenti con aumento della probabilità di incidente da decompressione."*

Da quanto letto si capisce quindi (come già detto) l'importanza di conoscere il funzionamento del proprio computer d'immersione e i suoi settaggi. Negli strumenti più datati che non ne prevedono il calcolo, il subacqueo deve ricorrere ad altri metodi per la loro determinazione.

Di seguito riporto quanto scritto dal Dott. Longobardi e dal Dott. Della Torre:

*"Attualmente (2019) si preferisce **evitare l'aggiunta arbitraria di soste profonde** nel profilo di decompressione. La ricerca scientifica evidenzia che, per immersioni con tempo di fondo breve (entro i 60 minuti), soste di sicurezza profonde aumentano la saturazione di gas inerte nei tessuti invece di facilitarne lo scarico. Comunque, per il calcolo delle soste profonde (Deep Stop) esistono due possibilità di codifica:*

- 1. 75% della profondità massima (calcolata in metri)***
- 2. profondità massima (ATA) – 2ATA, riconvertito in metri***

*Esempio: per una immersione a 61 metri (7,1 ATA): il primo metodo prevede una sosta profonda a 46 metri (75% \* 61 metri); il secondo metodo a 41 metri (7,1 ATA – 2 ATA = 5,1 ATA = 41 metri).*

***L'organismo è influenzato dalla pressione dei gas (in bar) e non dalla profondità (in metri), quindi è corretto il primo metodo."***

### ➤ **Esistono differenze nell'immergersi senza il gav?**

Le differenze esistono e dipendono dai differenti concetti che stanno alla base dell'immergersi con o senza gav (meglio sarebbe chiamarlo compensatore d'assetto - ca).

Ai subacquei viene trasmesso solo un concetto dal momento che la subacquea ricreativa non prevede immersioni senza gav. Questo genera incomprensioni o errate idee sull'immergersi senza.

Domandiamoci adesso cosa ha comportato l'introduzione del gav nella subacquea?

- 1) Il gav è stata la parte dell'attrezzatura che di fatto ha aperto le porte alla subacquea ricreativa, senza di esso non ci sarebbero immersioni ricreative, questo è un fatto innegabile.
- 2) Il gav ha permesso di aumentare la scorta di gas da portarsi in immersione permettendo di raggiungere maggiori profondità e quindi ha anche contribuito allo sviluppo della subacquea tecnica e tecnico-ricreativa.
- 3) Il gav ha quasi annullato di fatto una certa forma fisica che comunque il sub dovrebbe possedere
- 4) Il gav ha relegato al minimo indispensabile l'acquaticità
- 5) Il gav ha sfalsato il concetto di pesata corretta e di bilancio idrostatico

come si vede quindi, se da un lato sono innegabili gli effetti positivi apportati, dall'altro non si può non osservare, come conseguenza, un decadimento delle capacità subacquee dovuto all'idea errata, che queste carenze possano essere demandate a questa parte dell'attrezzatura.

Consideriamo adesso le differenze concettuali che stanno alla base di questi due metodi d'immersione prendendo a paragone la mongolfiera e l'aeroplano.

- **Mongolfiera = GAV = immersione statica**
- **Aeroplano = NOGAV = immersione dinamica**

La mongolfiera, sfruttando il principio di Archimede, può governare il suo moto ascensionale mentre rimane in balia dei venti per lo spostamento orizzontale non essendo dotata di propulsione. In modo analogo il gav permette al subacqueo di controllare il movimento verticale. Questo vuol dire che il sub può salire, scendere o sostare ad una certa quota senza dovere per forza pinneggiare od assumere particolari posture con il proprio corpo e lasciarsi trasportare dalla corrente (esattamente quello che succede nelle immersioni in drift). Il moto impresso con le pinne serve solo per gli spostamenti orizzontali e non per mantenere la posizione (quota) voluta. Per questo motivo viene definita immersione statica.

L'aeroplano per poter volare (quindi salire, scendere e mantenere la quota) sfrutta invece una forza chiamata portanza generata dalla combinazione del profilo alare con la velocità (spinta) data dal motore. Senza velocità il velivolo non può sostenersi e quindi precipita. In modo analogo chi si immerge senza gav ha bisogno di essere in movimento e usare il proprio corpo (posture) per poter contrastare eventuali tendenze a salire o scendere durante l'immersione (in particolare verso i sei metri e alla massima profondità). Durante l'immersione la variazione dello spessore della muta e il consumo della miscela respirata non possono essere compensate con il gav e di conseguenza assumono importanza i movimenti e le posture oltre a una corretta pesata. Per questo motivo viene definita immersione dinamica.

Queste differenze hanno come conseguenza quello di dover eseguire delle manovre diverse, vediamo un paio di esempi che tutti conosciamo:

con il gav per immergersi si solleva il corrugato con il braccio sinistro e scaricando parte dell'aria si inizia la discesa verticale (una pesata di partenza non corretta viene comunque bilanciata dal ca).

senza gav per immergersi si inizia a pinneggiare per qualche metro dopodiché si esegue la capovolta a squadra (chiamata anche sommozzata), la velocità data dal moto assieme alla tecnica corretta della capovolta fanno raggiungere senza fatica una profondità tra i 5 e gli 7 metri dove si annulla la leggera positività superficiale divenendo neutri.

con il gav la pesata puo' essere eseguita in due modi :

- immersi con tutta la nostra attrezzatura e con il gav sgonfio dovremmo galleggiare all'altezza degli occhi trattenendo un normale respiro (stando fermi)
- alla profondità di cinque metri con la riserva nella bombola dovremmo avere un assetto neutro (metodo Costeau)

senza gav con tutta l'attrezzatura dovremmo avere l'acqua circa a metà maschera trattenendo un normale respiro (stando fermi)

con il gav posso permettermi una pesata e/o una respirazione non corretta, senza il gav no.

In conclusione immergersi con o senza ca sono due metodi differenti che non si escludono a vicenda ma che anzi si dovrebbero integrare una volta che il subacqueo abbia acquisito una buona acquaticità e padronanza della tecnica.

**C. Chieco**