

## Il bilancio idrostatico

... e altre notizie utili da sapere

A partire del corso open i subacquei iniziano a conoscere e a familiarizzare sia a livello teorico che pratico (in piscina) con termini quali pesata, zavorra, assetto, galleggiabilità, bilancio idrostatico, densità, massa e peso.

In realtà dietro a questi termini ci sono dei concetti di fisica molto chiari e univoci che se ben spiegati e recepiti potranno rendere la vita dei neo sub (e degli istruttori) più facile e le prime immersioni più divertenti e meno stressanti per tutti, imparando anche ad evitarne un loro uso improprio come a volte si sente dire nel linguaggio comune.

### Qual'è il principio fisico di riferimento ?

la legge (o principio) di Archimede di Siracusa secondo la quale „*un corpo immerso (anche parzialmente) in un fluido (gas o liquido) riceve una spinta verticale dal basso verso l'alto pari al peso del volume di fluido spostato*“.

Volendo descrivere quanto sopra matematicamente si ha :  $F_A = \rho g V$  dove „**V**“ è il volume di fluido spostato ovvero il volume del corpo (o la parte di esso immersa), „**g**“ rappresenta l'accelerazione di gravità il cui valore può essere considerato uguale a **9,81 m/s<sup>2</sup>** e „**ρ**“ considera la densità del fluido ed è una grandezza propria di ogni elemento o materiale.

Solitamente già a questo punto iniziano i primi dubbi poiché nella definizione si fa riferimento al „*peso del volume di fluido spostato*“, che può non essere di facile intuizione anche perché nella formula questo *peso* apparentemente non si vede inoltre spesso si confondono tra loro la densità e il peso specifico come se fossero la stessa cosa.

Per capirne le differenze dobbiamo vedere più nel dettaglio le grandezze: *peso (P)*, *densità (ρ)* e *peso specifico (Y)*, questi concetti li ritroveremo più volte durante i corsi e di conseguenza la loro conoscenza, anche se inizialmente ostica, ci aiuterà a non fare confusione più avanti.

### Peso

il peso possiamo definirlo come un *caso particolare di forza* e infatti non a caso si parla di *forza peso* anche se nel linguaggio comune il termine *forza* viene ommesso, le unità di misura ricorrenti sono il **Kg** e il **Newton (N)**.

La forza fisicamente è il prodotto di una massa (**m**) per un'accelerazione generica (**a**) ovvero  $F = m a$ , se sostituiamo ad (**a**) l'accelerazione di gravità (quindi **non** un'accelerazione generica) otteniamo la forza peso ovvero  $P = m g$

### Densità

la densità di un corpo è definita come la quantità di materia, cioè la massa (m), contenuta nell'unità di volume (V) ovvero  $\rho = m / V$  in altre parole ci dice quanto materiale è presente in un volume di riferimento (senza spazi vuoti interni), esistono delle tabelle che riportano i valori delle densità per ogni sostanza o elemento noto, le unità di misura ricorrenti sono **Kg/m<sup>3</sup>**, **Kg/dm<sup>3</sup>** e il **g/cm<sup>3</sup>** (g=grammo).

### Peso specifico

il peso specifico di un corpo è definito come il peso (P) dell'unità di volume ovvero  $Y = P / V$  in altre parole ci dice quanto pesa un determinato volume (senza spazi vuoti interni) facendoci capire se un corpo è più o meno pesante rispetto ad un altro e come per la densità esistono delle tabelle che riportano i valori del peso specifico di ogni sostanza o elemento noto, la sua unità di misura corretta è il **N/m<sup>3</sup>** (N=Newton).

### Qual'è allora la differenza tra densità e peso specifico ?

se noi nella formula del peso specifico sostituiamo il peso (**P**) con il prodotto (**m g**) otteniamo la seguente  $Y = (m g) / V$  e se osserviamo il rapporto  $m / V$  ci accorgiamo che si tratta della densità, in altre parole si può scrivere  $Y = \rho g$ .

Ecco quindi che le due grandezze differiscono „**solo**“ per l'accelerazione di gravità e quindi supponendo che sulla **terra** essa non vari e assumendola uguale a **1 (g=9,81m/sec<sup>2</sup>=1g)** possiamo „**confondere**“ tra loro queste due grandezze senza commettere un grosso errore anche se comunque è preferibile adoperare il termine di densità.

**Esempio:** un cubo di acciaio sulla terra avrà un certo peso specifico e una certa densità che come detto possiamo assumerli di uguale valore, ma se quello stesso cubo lo portiamo sulla luna dove la gravità è circa un terzo di quella terrestre esso avrà la stessa densità (poiché la sua massa e il suo volume non cambiano) ma il peso specifico e quindi anche il suo peso saranno minori di circa un terzo dal momento che è variato il valore di (**g**).

Nella tabella sottostante (fonte Wikipedia) vengono riportati i valori di densità e peso specifico di alcune sostanze, se provate a dividere i pesi specifici per 9,81 otterrete il valore della densità e ovviamente viceversa.

Materiale	↕ Densità (kg/m <sup>3</sup> ) ↕	Peso specifico (N/m <sup>3</sup> ) ↕
Abete	700	6870
Acciaio	7860	77110
Acqua a 0 °C	999,8	9810
Acqua a 4 °C	1000	9810
Acqua a 20 °C	998,2	9790
Acqua di mare	1025 <sup>[3]</sup>	10052
Acqua ossigenata	1460	14320

Nota : il peso specifico come detto viene normalmente misurato in Newton su metro cubo, ricordo che nel SI **1Kg(forza) = 9,81 N**, nel sistema tecnico invece **1Kg = 9,81 N**

Da quanto appena letto, possiamo allora capire meglio nella formula della spinta di Archimede scritta all'inizio cosa si intende per „ peso del volume di fluido spostato“ infatti i termini  **$\rho V$**  rappresentano la massa (**m**) che moltiplicata per (**g**) da il peso (**P**) potendo quindi scrivere  **$F_A = P$**  dove (**P**) è il peso del volume di fluido spostato dal corpo immerso.

#### Cosa permette di determinare la legge di Archimede ?

essa permette di determinare il comportamento di un corpo immerso (anche parzialmente) ovvero di capire se detto corpo *galleggerà, affonderà o assumerà uno stato neutro (di equilibrio)*.

**Attenzione** che esiste una differenza a seconda che si consideri il corpo totalmente o parzialmente immerso, vediamola assieme.

#### corpo totalmente immerso,

basterà confrontare le densità del corpo e del fluido giacché le grandezze (**g**) e (**V<sub>corpo</sub>**) rimangono inalterate.

#### corpo parzialmente immerso,

in questo caso oltre alle densità si dovranno considerare i volumi del fluido spostato (**V<sub>f</sub>**) e della porzione di corpo immerso (**V<sub>c</sub>**) secondo la seguente uguaglianza  **$F_A = P_{\text{corpo}}$**  ovvero  **$\rho_f g V_f = \rho_c g V_c$**  da cui si otterrà  **$\rho_c / \rho_f = V_f / V_c$**  è da notare l'utilità che può derivare da quanto appena scritto anche nel caso non si conoscano tutti i termini.

**esempio:** vogliamo dimostrare che la parte emersa di un iceberg è circa 1/10 (un decimo) rispetto a quella immersa sapendo che ( **$\rho_{\text{mare}} = 1025 \text{ kg/m}^3$** ) e ( **$\rho_{\text{ghiaccio}} = 900 \text{ kg/m}^3$** ).

applicando la  **$\rho_c / \rho_f = V_f / V_c$**  si otterrà  **$900 / 1025 = V_f / V_c$**  ovvero (circa)  **$1/10 = V_f / V_c$**  in altre parole senza sapere il reale volume dell'oggetto (iceberg) posso comunque sapere quale sarà la parte del suo volume immerso (circa 9/10).

#### In che senso per un corpo totalmente immerso è possibile „confrontare le sole densità“ ?

per avere subito l'idea di come si comporterà il corpo in esame una volta immerso e fermo restando che non vari il suo volume mi basterà vedere la *risultante* delle grandezze (**F<sub>A</sub>**) e (**P<sub>corpo</sub>**).

**esempio:** un sfera piena in acciaio ha peso  **$P = \rho_{\text{acciaio}} V_{\text{corpo}} g$**  quando viene immerso in un fluido (esempio acqua di mare) si avrà la seguente espressione:  **$\rho_{\text{mare}} V_{\text{corpo}} g = \rho_{\text{acciaio}} V_{\text{corpo}} g$**  poiché sia **V** che **g** rimangono invariati (**V** è il volume del corpo che non varia e **g** come detto è una costante) l'uguaglianza diventerà  **$\rho_{\text{mare}} = \rho_{\text{acciaio}}$**  e in base ai loro valori avrò tre possibili situazioni:

- stato neutro ( **$\rho_{\text{mare}} = \rho_{\text{acciaio}}$** )
- galleggiamento ( **$\rho_{\text{mare}} > \rho_{\text{acciaio}}$** )
- affondamento ( **$\rho_{\text{mare}} < \rho_{\text{acciaio}}$** )

nell'esempio riportato la sfera piena in acciaio affonderà, vedasi al riguardo i valori delle relative densità riportate nella tabella sopra.

### Quindi un corpo immerso avrà un assetto negativo, positivo o neutro ?

No, questo é un concetto errato che purtroppo spesso si sente dire (e a volte anche spiegare) durante i corsi subacquei.

L'assetto (trim in inglese) identifica la posizione di un corpo (oggetto) rispetto al piano orizzontale, vediamo di capirci:

- una barca rispetto al piano orizzontale potrà avere un assetto parallelo oppure potrà assumere un assetto inclinato di un certo numero di gradi (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 dire "*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 e lo stesso dicasi durante la risalita o quando é arrivato alla profondità desiderata.

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

### Qual'é allora il termine corretto da usare ?

nella lingua inglese é "buoyancy" da cui l'acronimo BCD (Buoyancy Compensator Device), in italiano il termine piu' assomigliante é "galleggiamento" traducendo quindi BCD come Dispositivo di Compensazione della Galleggiabilit  e questo vuol dire che il termine piu' in uso 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 *galleggiabilit * riferendosi cosi ad una condizione che potrà essere *negativa, positiva o neutra* anche se parlare di galleggiabilit  negativa é una contraddizione in termini.

**Esempio:** un subacqueo potrà avere un assetto parallelo al fondo ma una galleggiabilit  positiva che tender  a farlo salire di quota e quindi sar  costretto alla fine ad assumere un assetto inclinato con il corpo e compensare in parte con la pinneggiata la mancanza di zavorra o la sua errata distribuzione.

*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).*

### Con riferimento all'esempio appena fatto, questo cosa comporta ?

in entrambi i casi questo comporta uno spreco di energie (poich  una parte del moto serve a bilanciare un galleggiamento non ottimale anzich  andare tutto a favore dell'avanzamento), consumi piu' elevati, postura non ideale e nel caso fosse presente della corrente la possibilit  che questo stato di disagio iniziale si possa trasformare in ansia e magari panico soprattutto in subacquei non ancora esperti nella sua gestione.

### Perch  i sub devono zavorrarsi ? ed esistono materiali alternativi ai piombi ?

la zavorra, intesa come un supplemento di peso **calibrato** da mettersi addosso, serve a contrastare la spinta positiva totale derivata dal sub con tutta la sua attrezzatura permettendogli di affondare in maniera lenta e controllata. L'uso della zavorra viene sfruttato ad esempio anche sulle navi mercantili che a tal scopo hanno apposite stive che possono riempire o svuotare d'acqua assicurando un pescaggio sufficiente alla propulsione quando sono vuote.

Per quanto riguarda la possibilit  di utilizzare materiali alternativi al classico piombo con riduzione dei volumi della nostra zavorra a parit  di peso finale la risposta é affermativa ma al lato pratico il sistema classico risulta essere il piu' economico e facile da reperire in commercio, rifacendosi a quanto letto sulla densit  possiamo osservare che il piombo (Pb) ha una densit  di 11,3 g/cm<sup>3</sup> mentre il mercurio (Hg) possiede 13,6 g/cm<sup>3</sup> e il platino (Pt) ben 21,4 g/cm<sup>3</sup>.....a voi le considerazioni in merito !!!

### A cosa si riferisce il termine „calibrato“ ?

la zavorra non deve risultare eccessiva ma neppure scarsa deve quindi essere adeguata e modificata in considerazione dell'attrezzatura indossata la quale a sua volta dovrebbe essere scelta in base al tipo d'immersione programmata.

Spesso si vedono sub con pesi eccessivi e/o mal distribuiti e questo non solo nuoce durante l'immersione (velocit  eccessiva di discesa, problemi a compensare, problema a mantenere galleggiabilit  e assetto corretti, consumi elevati, minore idrodinamicit  e anche dolori o crampi derivati da una errata postura) ma potrebbe rappresentare un problema anche serio nel caso si avesse un malfunzionamento del proprio giubbetto equilibratore magari alla massima profondit  programmata, d'altra parte non si deve neppure scendere con dei chili troppo esigui dal momento che la zavorra deve assicurarci a fine immersione la possibilit  di restare neutri a 3 / 5 metri con 30 / 50 bar nella bombola ovvero nelle condizioni piu' **critiche** poich  é in questa fase che si effettua la sosta di sicurezza e che la velocit  di risalita deve essere ancor piu' rigorosamente controllata.

### Si é accennato alla zavorra mal distribuita, cosa si intende ?

dal corso open ci viene insegnato che i pesi (piombi) vanno messi in una cintura (cintura di zavorra) e questa viene agganciata sulla vita del subacqueo, i motivi di questa scelta sono molteplici :

- localizzare, standardizzare e gestire la zavorra da parte di ogni sub sia su se stesso ma soprattutto su altri sub nel caso abbiano bisogno di aiuto.
- la cintura di zavorra quasi coincide con il baricentro naturale del corpo umano, circa all'altezza dell'ombelico.
- possibilità di aggiungere o rimuovere pesi velocemente soprattutto se la cintura é munita di tasche.
- la cintura ha da sempre rappresentao il posto piu' naturale dove mettere la zavorra, retaggio in parte anche di una subacquea dove contava molto la fisicitá durante l'immersione (si pensi a quando non esistevano i gav).

Spesso ci siamo sentiti „squilibrati“ sott'acqua e questo dipende da una serie di fattori che modificano il nostro baricentro sia da un punto di vista statico (l'attrezzatura indossata modifica la naturale posizione baricentrica) che da un punto di vista dinamico (esempio il giubbotto equilibratore o sacche d'aria con la muta stagna), ecco quindi che concentrare tutta la zavorra in un solo punto del nostro corpo (come per altro insegnatoci nel corso open) non é sempre la cosa piu' corretta da farsi, spesso infatti si ha la necessitá di spostare parte di essa in altri punti (tasche laterali, cavigliere, bombole, zone piu' vicine al busto piuttosto che sulle gambe) in maniera tale da avere una postura corretta e una galleggiabilitá neutra senza fare fatica.

Purtroppo quanto appena detto non viene mai abbastanza trattato durante i corsi base con le ovvie conseguenze al lato pratico che tutti conosciamo.

### Esiste un metodo per trovare la giusta posizione ?

certamente, ed é un metodo pratico e semplice che chiunque puo' fare.

Dopo essersi vestiti con l'attrezzatura che normalmente adoperiamo ci immergiamo in pochi metri d'acqua e sollevati dal fondale di uno o due metri assumiamo una galleggiabilitá neutra, un assetto parallelo e non pinneggiamo, ovvero rimaniamo fermi e sospesi (consiglio acque calme con discreta visibilitá o meglio ancora la piscina e inoltre bisogna aver giá determinato la nostra pesata ideale).

In questa posizione vediamo se riusciamo a mantenere l'assetto senza nessuna difficoltá o in altre parole se non abbiamo la tendenza ad inclinarci con il corpo verso l'alto o il basso, se cosi non fosse vuol dire che parte della nostra zavorra non é distribuita correttamente e nel caso dobbiamo slacciare la cintura dei pesi e tenendola con le mani farla scorrere in su o in giu' lungo il nostro asse longitudinale (quello che collega idealmente la testa con l'ombelico) finché non riusciamo a stare in perfetto assetto parallelo (senza sforzo).

A questo punto cerchiamo di capire a che distanza (quanti centimetri circa) abbiamo spostato la zavorra rispetto al punto di inizio dopodiché riemergiamo e facciamo le seguenti considerazioni:

- se ho spostato la zavorra (per esempio) verso il busto significa che tendevo a inclinarci verso l'alto e ovviamente viceversa.
- la mia cintura pesa (ad esempio) 6 chili e l'ho spostata di 15 centimetri circa questo vuol dire che ho creato un **momento** (grandezza fisica) che vale  **$6 \times 15 = 90 \text{ kgcm}$**

in altre parole vuol dire che i miei 6 kg dovrebbero essere collocati 15 cm piu' in alto rispetto alla posizione iniziale ma ovviamente puo' non essere possibile allacciarsi la cintura in questa nuova posizione, come fare allora ?

In realtá non é necessario ricollocare tutta la zavorra (6 kg) ma per esempio possiamo decidere di spostare solo 2 kg che pero' andranno portati a 45 cm dal momento che il prodotto **pesi che spostato x distanza** deve essere uguale a 90 (nel nostro esempio).

**Attenzione**, i pesi spostati potranno essere collocati in qualsiasi punto del corpo o equipaggiamento, ovviamente stará a noi trovare la posizione piu' idonea che non interferisca con i nostri movimenti e la zavorra dovrá essere fissata in modo sicuro.

Se il nostro sbilanciamento tende invece a farci **ruotare** vuol dire che la posizione della zavorra é corretta ma non distribuita uniformemente rispetto ai lati oppure che abbiamo messo troppa attrezzatura su un fianco (tendenzialmente il destro per i destri e il sinistro per i mancini).

### Si é parlato di pesata ideale, come faccio a calcolarla ?

questa domanda rappresenta un vero incubo per i neo-sub alle loro prime immersioni ed é spesso considerata come un bagaglio nozionistico da apprendere sul campo a proprie spese da parte di chi dovrebbe invece insegnare queste cose evitando a tutti di rovinarsi una bella immersione.

Premessa questa mia personale considerazione, diciamo che i metodi si possono dividere in due categorie che potremmo chiamare pratica e teorica.

Nella prima, normalmente insegnata durante il corso open, si apprende che con tutta l'attrezzatura addosso, il gav sgonfio e la bombola piena, trattenendo un normale respiro dovremmo avere l'acqua al livello degli occhi ed espirando si dovrebbe cominciare a scendere lentamente.

Esiste poi una seconda „versione“ chiamata *metodo Cousteau* che ci dice che con tutta l'attrezzatura addosso, con la bombola contenente 50 bar e alla profondità di 5 metri dovremmo essere neutri.

Lo auspico sempre se possibile di eseguirle entrambe così da avere un'ulteriore seconda verifica.

Nella categoria *teorica* invece si deve determinare a tavolino il **bilancio idrostatico** che se eseguito in maniera corretta ci dovrebbe dare con buona approssimazione la quantità di zavorra di cui abbiamo bisogno che poi andrà verificata al lato pratico con uno od entrambi i metodi sopra menzionati.

#### **Perché calcolare il bilancio idrostatico se comunque richiede una verifica pratica ?**

anche se questo metodo ci richiede un po' del nostro tempo e inizialmente potrebbe essere un pochino laborioso alla fine i vantaggi che ne derivano giustificano gli sforzi fatti.

- didatticamente è molto istruttivo e formativo applicando concretamente la spinta archimedeica
- approfondisce la conoscenza dei materiali in generale e quelli della propria attrezzatura in particolare
- permette di determinare a tavolino la quantità di zavorra teorica necessaria
- permette di sapere a priori come varierà la zavorra da indossare al variare della nostra attrezzatura e del tipo di ambiente (mare / lago) dove ci immergeremo
- abitua il subacqueo ad avere un approccio all'immersione meno pratico e più scientifico, considerando una serie di variabili e come una loro variazione possa incidere durante l'immersione.
- permette di prevedere come varierà la sua galleggiabilità durante l'immersione con riferimento a determinate *quote critiche* e quindi quali sforzi dovrebbe sostenere nell'eventualità di un malfunzionamento del proprio gav (usero' anche io questo termine improprio).

Riassumendo possiamo dire che se entrambi i metodi portano allo stesso risultato, con quello teorico si mettono in pratica le conoscenze apprese potendo quindi prevedere (a secco) e quantificare determinati scenari, il problema principale risiede nel determinare numericamente la variazione della spinta idrostatica dell'attrezzatura (che non è costante) durante il profilo d'immersione con particolare riferimento alle *fasi di inizio, fondo e fine* e tanto più accurata sarà questa determinazione tanto più precisi saranno i risultati ottenuti.

#### **In che senso la spinta idrostatica dell'attrezzatura varia ?**

non tutti i materiali che compongono l'attrezzatura più o meno standard di un subacqueo mantengono inalterato il proprio assetto idrostatico e di conseguenza il bilancio idrostatico varierà durante l'immersione, alcuni lo variano indipendentemente dalla nostra volontà, altri solo secondo le nostre esigenze e infine una buona parte non lo varia affatto.

Volendo suddividere l'attrezzatura secondo quanto appena scritto possiamo individuare tre categorie di assetto, ovvero **assetto statico, dinamico e variabile**.

#### Assetto statico

in questa categoria rientra tutto quello che non varia in nessun modo durante tutta l'immersione, potremmo dire che non è comprimibile anche se non del tutto corretto, quindi le bombole vuote, la zavorra, la maschera, lo snorkel, le pinne, il computer, il coltello, la zavorra (piombi e cavagliere), il backplate del gav se presente, gli erogatori, la torcia, il corpo del sub ecc...

#### Assetto dinamico

in questa categoria rientra tutto quello il cui volume risente della profondità, in altre parole tutta l'attrezzatura soggetta alla onnipresente legge di Boyle e Mariotte, quindi il gav, la muta umida (poiché contiene bolle d'aria all'interno del neoprene), la muta stagna ovvero la quantità d'aria libera di muoversi al suo interno e non dimentichiamoci (anche se non considerati) dei nostri polmoni.

#### Assetto variabile

in questa categoria rientra il volume totale di gas respirabile che ci portiamo appresso nelle bombole e che inesorabilmente viene consumato variandone il peso delle stesse e tale variazione come vedremo può incidere parecchio nel bilancio idrostatico totale.

#### **Considerazione**

*da quanto appena letto si dovrebbe capire l'importanza di indossare un'attrezzatura corretta e adeguata al profilo programmato poiché volumi eccessivi e/o mal distribuiti, accessori che non servono e/o ridondanti non fanno che squilibrare il bilancio idrostatico totale con ovvie ripercussioni su consumi, zavorra, postura, assetto ecc..*

## Vista la sua importanza come si calcola il bilancio idrostatico ?

a livello teorico la cosa é molto semplice, per ogni singolo componente della nostra attrezzatura, dobbiamo determinare il suo peso a secco (in aria) e la spinta archimedeica esercitata una volta immerso in acqua, dopodiché si calcola il peso apparente (bilancio idrostatico per quel componente) ovvero la differenza tra la spinta e il peso a secco.

### esempio

supponiamo (i numeri sono inventati) che il nostro coltello pesi a secco 0,3 Kg e in acqua la sua spinta sia di 0,2 Kg, questo vuol dire che il suo peso apparente sarà  $F_A - P = 0,2 - 0,3 = - 0,1 \text{ Kg}$ , cosa possiamo dedurre quindi ?

Possiamo dedurre che il suo bilancio idrostatico numericamente vale 0,1 kg e che tenderá ad affondare poiché ha il segno meno davanti (-), inoltre appartenendo alla categoria dell'„assetto statico“ tale valore non subirá nessuna variazione durante tutta la nostra immersione.

Una volta ottenuti tutti i valori di (**P**) e di (**F<sub>A</sub>**) sarà possibile compilare una tabella, usando magari il computer, in cui determineremo sia i singoli bilanci idrostatici che il totale (che é quello che ci interessa) e come detto potranno essere riferiti non solo alla superficie ma anche ad altre quote e valutando inoltre come cambierebbero se ci immergessimo in acqua dolce oppure salata e il tutto stando comodamente seduti a casa nostra.

### Qual'è il tallone d'Achille di questo metodo ?

il suo punto debole, com'è facile intuire, dipende non tanto dalla determinazione dei pesi a secco quanto dai valori della spinta di Archimede, infatti se per i primi basta avere una bilancia o un dinamometro digitale per i secondi le cose si fanno piu' complesse nel caso in cui le ditte costruttrici non abbiano ritenuto di scrivere tali valori e anche se lo avessero fatto non é detto che saremmo stati così lungimiranti da conservarli, come si puó aggirare tale ostacolo ?

### La bilancia idrostatica

con questo altisonante termine si intende uno strumento atto a determinare la spinta archimedeica di oggetti immersi in un fluido (compreso il corpo umano) e nel nostro caso specifico non si deve fare altro che prendere un dinamometro digitale, fissarvi l'oggetto da misurare e immergerlo totalmente in un adeguato contenitore riempito d'acqua (senza farla tracimare fuori) e leggere il valore riportato sul display (la spinta d'Archimede non dipende dalla profondità a cui é immerso l'oggetto).

Le cose si possono ulteriormente semplificare poiché per alcuni componenti dell'attrezzatura possiamo considerare quasi ininfluenti ai fini pratici la loro spinta archimedeica considerando il solo peso a secco anche come valore del bilancio idrostatico.

### Quali sono questi componenti ?

sicuramente la zavorra (piombi e cavigliere), il coltello, la torcia (con o senza canister), gli erogatori e anche le pinne se non siamo dei pignoli.

In definitiva quindi (**quasi**) tutto quello che rientra nell'assetto statico lo si puó assumere con un bilancio idrostatico pari al proprio peso a secco ma preceduto da un segno meno (-), **attenzione** che ci possono essere componenti positivi quindi con un segno piu' (+) come ad esempio le bombole (vuote) in alluminio oppure la scafandratura della macchina fotografica e ancora il gav (solo il gav) che seppure completamente sgonfio normalmente galleggia anche se munito di backplate.

In definitiva quindi ogni componente della nostra attrezzatura ai fini del bilancio idrostatico totale deve essere valutato singolarmente e anche così ci si trova di fronte a dei problemi che richiedono l'applicazione dei concetti visti inizialmente per poter essere superati.

Consideriamo per esempio tutto quello che é fatto di neoprene e chiediamoci come si comporta durante l'immersione.

Muta, calzari, guanti e cappuccio galleggiano in superficie perché le cellule di neoprene contengono aria ma se portati in profondità, causa la pressione, subiranno uno schiacciamento che influirá negativamente sulla loro galleggiabilità oltre che sulla protezione termica e tanto piu' spesso sarà il neoprene che indossiamo tanto maggiore la sua variazione durante il nostro profilo.

Analogo discorso per il gav che normalmente in questi calcoli lo si assume sempre totalmente sgonfio anche in profondità e questo per poter avere meno variabili da cui dipendere anche se nessuno vieta di determinare la spinta positiva generata dal volume del sacco riempito d'aria ma solo a livello teorico poiché non possiamo misurare esattamente le quantità d'aria insufflate durante il profilo al fine di variare la spinta idrostatica totale. Per finire, il calcolo dell'incidenza della variazione del volume di miscela presente nelle bombole non presenta particolari difficoltà se ci accontentiamo dei valori a inizio e fine immersione mentre alle profondità intermedie dovremmo considerare i nostri consumi medi. Assumendo invece che alla massima profondità programmata e iniziando a risalire si abbia consumato il 50 % della nostra scorta, seguendo la regola (in ambito ricreativo) secondo la quale raggiunti i 100 bar si inizia a risalire, possiamo determinare anche il valore corrispondente a metà consumo.

É corretto dire „ho bisogno di tot chili se uso una muta (ad esempio) da 5 mm“ ?

anche in questo caso, come per l'assetto, si usa una espressione non corretta, infatti la dicitura appropriata potrebbe essere la seguente : „io ho bisogno di tot chili di zavorra per rendermi negativo quando indosso una muta (ad esempio) da 5 mm e con tutta la mia usuale attrezzatura (gav, bombole, erogatori, torcia, pinne ecc...)“ in altre parole i chili di zavorra di cui si parla non servono a compensare la sola spinta positiva della muta ma bensì a rendere negativo il famoso valore del bilancio idrostatico totale dato (scusate se mi ripeto) dalla somma algebrica dei singoli bilanci idrostatici dei singoli componenti della nostra attrezzatura.

Per rendersi conto di questo basta pensare che con alcune configurazioni non é necessario aggiungere nessun chilo di zavorra, il sub indossa la sua muta con tutto il resto e poi fa il passo del gigante e vi assicuro che é una sensazione bellissima il sentirsi privi di qualsiasi zavorra appunto.

Siccome pero' non pretendo che mi si creda sulla parola, per i piu' scettici dimostrero' (calcoli alla mano) quanti chili di piombi sono necessari per rendere neutra una muta da 5 mm in acqua dolce che galleggia in superficie.

*dati di partenza (prendo quelli della mia muta con cappuccio incorporato come esempio) :*

- peso (a secco) = 2,2 kg
- ambiente acqua dolce
- densità media del neoprene =  $0,20 \text{ g/cm}^3 = 0,20 \text{ kg/dm}^3$

*punto primo determino il volume della muta (vedi densità o peso specifico) =  $2,2 / 0,20 = 11 \text{ dm}^3$*

*punto secondo determino la spinta archimedeica della muta in acqua dolce  $F_A = 1 * 1 * 11 = 11 \text{ kg}$*

*punto terzo determino il peso apparente (spinta idrostatica) della muta ovvero  $F_A - P = 11 - 2,2 = 8,8 \text{ kg}$*

come potete vedere per rendere neutra la mia muta dovrei zavorrarla con quasi 9 kg senza considerare calzari e guanti, inoltre com'è facile intuire mute con spessori maggiori o minori richiederanno maggiore o minore zavorra.

Considerando quindi che un sub ricreativo medio che ha acquisito una discreta acquaticità e controllo della sua respirazione abbisogna mediamente di 4 / 6 kg di zavorra con una muta da 5 mm si capisce come la frase di cui sopra non possa riferirsi alla sola muta.

Qualcuno leggendo queste ultime righe penserà che ci sono sub, magari amici suoi, che si zavorrano con sei e piu' chili ma che non sono dei neo-subacquei e quindi qualcosa sembra non tornare.

Come detto piu' volte la subacquea non é una scienza esatta anche se regolata da leggi fisiche, chimiche e fisiologiche, per cui le variabili (oggettive e soggettive) da considerare sono molteplici anche a parità di attrezzatura. Si pensi per esempio alla massa grassa di ognuno di noi (il grasso aumenta la galleggiabilità) oppure le proprie dimensioni che influiscono sulla quantità di neoprene necessario per la muta e infine l'attrezzatura che puo' incidere in maniera notevole e tutto questo considerando che il sub abbia una pesata corretta, un'attrezzatura adeguata al profilo, buona padronanza della propria respirazione, configurazione idrodinamica e tante altre cose ancora che in parte si potrebbero valutare proprio con il bilancio idrostatico.

**Non esistono tabelle o programmi già fatti che aiutano a determinare la spinta idrostatica ?**

nel web si possono trovare alcuni articoli piu' o meno esaustivi sull'argomento mentre é molto piu' difficile (anche se qualche cosa esiste) trovare delle tabelle o pseudo programmi che partendo da una serie di valori iniziali forniscano un risultato finale che indichi quale dovrebbe essere la pesata corretta e i motivi di questo, a mio avviso, sono da ricercarsi in parte in una serie di considerazioni tra le quali :

- lo scopo fondamentale rimane quello didattico e questo viene meno se l'utilizzatore lo intende solo come un possibile modo di risparmiare del tempo
- i valori ottenuti possono differire dalla zavorra usata abitualmente ma questo non vuol dire che la tabella non funzioni, bisogna invece entrare piu' nel merito per capirne le discrepanze
- spesso non é semplice trovare i dati di cui si ha bisogno e a volte essi devono essere determinati sperimentalmente
- chi dedica tempo su queste cose é consapevole dei limiti impliciti e lo fa principalmente come approfondimento dal momento che in acqua ci va lo stesso senza problemi
- le tabelle o pseudo programmi che dir si voglia dovrebbero essere open source per poter essere condivisi e integrati da chi ne avesse voglia

d'altronde io credo che sia altrettanto vero che se nessuno inizia a far circolare liberamente le proprie esperienze e idee, per quanto possano essere „primitive“ e migliorabili, non si possa pretendere di aumentare la sensibilizzazione su determinati argomenti da parte di altre persone che alla fine potrebbero invece dimostrare di gradire una base da cui poter partire e sarà poi una loro scelta se adoperarla così oppure modificarla integrandola con le proprie conoscenze.

Seguendo questa mia convinzione ho quindi pensato di rendere scaricabile dal sito un documento zippato creato con *Open Office* e articolato in una serie di fogli che offrono la possibilità di calcolare il teorico valore della zavorra partendo da una serie di parametri iniziali richiesti all'utente il quale potrà anche consultare dati e grafici ricavati in parte sperimentalmente, questi fogli sono stati riadattati da una serie di appunti personali usati nei corsi e implementati durante gli anni e quindi proprio perché costantemente migliorabili non pretendono certo di avere un valore assoluto ma piuttosto, come già detto, di poter servire come spunto per altre persone interessate ad approfondire l'argomento ([download Calcolo idrostatico](#)).

#### Quali sono le difficoltà nel reperire alcuni dati ?

come abbiamo detto (vedasi domanda sul calcolo del bilancio idrostatico) per ogni componente che vogliamo esaminare dobbiamo determinare *il suo peso a secco e la sua spinta archimedeica* dopodiché ci sarà possibile calcolarne *il bilancio idrostatico*.

Le variabili che risultano a volte di non facile determinazione sono il volume e la densità mentre il peso a secco è la cosa più semplice da ottenere. Molti materiali usati al giorno d'oggi sono compositi e non sempre sono rese disponibili le loro specifiche tecniche inoltre alcune parti della nostra attrezzatura sono a loro volta costituite da più elementi non sempre separabili tra loro e infine bisogna ricordare quanto detto a proposito degli assetti statico, dinamico e variabile.

Facciamo ora, a scopo dimostrativo, qualche esempio di procedimento di calcolo per capire le possibili difficoltà che un sub potrebbe incontrare volendo trovare la spinta idrostatica di alcuni componenti della sua attrezzatura e tenendo sempre a mente che in questi calcoli la precisione, intesa come cifre dopo la virgola, ha un'importanza relativa (noi non siamo dei farmacisti) quello che ci interessa è capire se e quanto alcune variabili incidono sui risultati finali facendoci una idea di cosa si può trascurare e cosa invece è importante considerare.

**Nota :** nelle descrizioni seguenti considero che i concetti di densità, peso specifico e spinta archimedeica siano stati capiti così come le loro semplici equazioni evitando quindi ulteriori riferimenti ad essi nei calcoli.

#### **Bombola** (peso della bombola e della miscela)

il peso che si legge stampigliato sul collo si riferisce alla sola bottiglia vuota e priva di rubinetteria, fondello, fascie ecc... quindi a noi serve a ben poco dal momento che normalmente le nostre bombole possono essere vuote oppure cariche (anche parzialmente) ma sicuramente non smontate e anche se completamente vuota non vi basterà semplicemente pesarla dal momento che pesereste anche l'aria contenuta al suo interno (vedasi al riguardo le conclusioni a fine esempio).

Quindi sia che risulti vuota oppure carica (anche solo parzialmente) dovrete determinare il peso della miscela contenuta e sottrarlo dal peso totale (bombola + miscela).

Per calcolare il peso della miscela contenuta all'interno vi serve conoscere il suo volume e la sua densità, quindi dovrete prima leggere la pressione con un manometro e poi applicare la solita formula ma considerando anche il coefficiente di comprimibilità del gas poiché ricordo che la miscela all'interno non è un gas ideale come ci viene insegnato e se la sua pressione è maggiore di 100 bar tale coefficiente (**z**) normalmente assunto uguale a uno, aumenta, ed essendo al denominatore ne diminuisce il risultato, ovvero  $V_{gas} = (V_{nominale} \times P_{carica}) / z$  l'unità di misura è il normalitro (NI).

La densità non presenta particolari problemi se il gas è aria ( $\rho_{aria} = 1,297 \text{ kg/m}^3$ ), altre miscele potranno avere valori diversi che eventualmente potreste domandare al centro di ricarica, anche se bisognerebbe considerare la temperatura giacché i valori di questa grandezza ne dipendono e le tabelle che riportano le densità dei vari elementi fanno sempre riferimento anche ad una determinata temperatura di prova.

*Giunti a questo punto avremmo a disposizione o potremmo calcolare le seguenti informazioni :*

- il peso a secco della nostra bombola.
- la densità del materiale con cui è stata costruita (acciaio o alluminio), i valori sono riportati anche sul web.
- il suo volume nominale (esempio 15 l) perché stampigliato.
- la normale pressione a inizio immersione (200/220 bar) e a fine immersione (riserva 30/50 bar)
- il peso della sola miscela a inizio e fine immersione.
- il peso totale a inizio e fine immersione dato dal peso bombola più il peso miscela.

#### Spinta archimedeica della bombola

dobbiamo calcolare sia la spinta generata dal volume del materiale che costituisce di fatto la nostra bombola (involucro esterno), sia quella generata dal suo volume nominale e soltanto dopo sottrarre questi due valori dal peso totale della bombola a inizio e fine immersione precedentemente trovato.

Una cosa da notare è che entrambi questi valori (spinta involucro e spinta volume nominale) rimangono inalterati, ovvero non variano, durante tutto il mio profilo d'immersione qualunque esso sia, cosa che invece non si può dire del peso totale della bombola dal momento che risentirà del consumo di miscela necessario alla respirazione del subacqueo durante l'immersione.

### Bilancio idrostatico della bombola

adesso finalmente possiamo determinare il bilancio idrostatico della bombola a seconda del suo stato di carica che normalmente (come già detto) considera un volume di miscela pari al 100% (inizio), al 50% (metà immersione) e la riserva (fine).

### **Vediamo quanto esposto con un esempio di calcolo**

#### **Dati iniziali :**

- bombola in acciaio
- volume nominale  $V_n = 10$  l
- pressione interna residua  $P_{rs} = 100$  bar
- peso bombola + peso miscela residua  $p_{bm} = 13$  kg
- pressione inizio immersione  $P_i = 200$  bar
- riserva fine immersione  $P_f = 50$  bar
- densità acciaio  $\rho_{ac} = 7,86$  kg/dm<sup>3</sup>
- miscela di carica = aria
- densità aria  $\rho = 1,225$  kg/m<sup>3</sup> = 0,0012 kg/dm<sup>3</sup> (valore a 1 atm alla temperatura di 15 °C)
- coefficiente di comprimibilità  $z = 1$  (se  $\leq 100$  bar),  $z = 1,1$  (se  $> 100$  e  $\leq 200$  bar)
- immersione in acqua di mare  $\rho_m = 1,025$  kg/dm<sup>3</sup> (valore assunto per i calcoli idrostatici)

#### **Peso bombola vuota :**

volume miscela residua  $V_{rs} = (V_n \times P_{rs}) / z = (10 \times 100) / 1 = 1000$  NI

peso miscela residua  $p_{rs} = V_{rs} \times \rho = 1000 \times 0,0012 = 1,2 = 1,2$  kg

peso bombola vuota  $p_{bv} = p_{bm} - p_{rs} = 13 - 1,2 = 11,8$  kg

#### **Peso bombola a inizio e fine immersione :**

volume aria inizio immersione  $V_i = (P_i \times V_n) / z = (200 \times 10) / 1,05 = 1904$  NI

volume aria fine immersione  $V_f = (P_f \times V_n) / z = (50 \times 10) / 1 = 500$  NI

peso aria inizio immersione  $p_{ai} = V_i \times \rho = 1,904 \times 1,21 = 2,3$  kg

peso aria fine immersione  $p_{af} = V_f \times \rho = 0,5 \times 1,21 = 0,6$  kg

peso bombola inizio immersione  $p_{bi} = p_{bv} + p_{ai} = 11,8 + 2,3 = 14,3$  kg

peso bombola fine immersione  $p_{bf} = p_{bv} + p_{af} = 11,8 + 0,6 = 12,4$  kg

#### **Spinta archimedeica della bombola :**

volume involucro bombola  $V_{ib} = p_{bv} / \rho_{ac} = 11,8 / 7,86 = 1,50$  dm<sup>3</sup>

spinta involucro bombola  $S_{ib} = V_{ib} \times \rho_m \times g = 1,50 \times 1,025 \times 1 = 1,54$  kg

spinta volume nominale  $S_{vn} = V_n \times \rho_m \times g = 10 \times 1,025 \times 1 = 10,2$  kg

#### **Bilancio idrostatico della bombola :**

spinta bombola inizio immersione  $S_{bi} = (S_{ib} + S_{vn}) - p_{bi} = (1,54 + 10,2) - 14,3 = - 2,46$  kg

spinta bombola fine immersione  $S_{bf} = (S_{ib} + S_{vn}) - p_{bf} = (1,54 + 10,2) - 12,3 = - 0,56$  kg

da questo esempio possiamo trarre le seguenti conclusioni :

- anche se avessimo arrotondato i vari risultati ottenuti al loro intero superiore le differenze ottenute sarebbero ininfluenti al lato pratico.
- se la bombola fosse vuota (pressione interna 1 atm circa) non é necessario calcolare il peso dell'aria dal momento che il suo valore sarà ininfluenza per la determinazione del peso della sola bombola vuota anche se si trattasse di un bibe 18+18.
- gli stessi calcoli, ma considerando acqua dolce, darebbero una differenza dell'ordine di uno / due etti.
- *i tre punti appena letti dimostrano quindi la veridicità di quanto scritto sopra riguardo alla precisione da considerare durante i nostri calcoli e le possibili variazioni.*

Infine se la bombola, a parità di caratteristiche, fosse stata di alluminio ( $\rho_{Al} = 2,7$  kg/dm<sup>3</sup>) il bilancio idrostatico sarebbe stato positivo.

### Muta umida in neoprene

anche in questo caso il ragionamento da seguire per determinare la spinta idrostatica é identico a quello che già conosciamo, dobbiamo però tenere a mente che la spinta di galleggiamento del neoprene é influenzata dalla profondità e dallo spessore di partenza.

Come sappiamo all'interno della gomma di neoprene (policloroprene) sono presenti delle piccole bolle d'aria (cellule) le quali non possono fare a meno di sottostare alla legge di Boyle e Mariotte con la conseguenza che lo spessore della muta subirà una diminuzione (schiacciamento) durante la discesa e viceversa durante la risalita comportando quindi una variazione sia del suo isolamento termico che della spinta idrostatica la quale (variazione) non é di facile determinazione dal momento che non si trovano (o se esistono non sono stati pubblicati) dati al riguardo che possano essere presi come esempio.

Cercando nel web ho trovato delle tabelle riguardanti alcuni parametri tecnici sul neoprene fornito dai maggiori produttori ai noti marchi d'abbigliamento subacqueo, ne riporto di seguito una a scopo d'esempio.

### TECHNICAL PROPERTY DATA OF NEOPRENE SPONGE SHEET

TEST MATERIAL		DAIWABO		HEIWA				NATIONAL			
		#35 5mm		SK 5mm		EX 5mm		NS 5mm		DT 5mm	
TEST ITEM	UNIT	S/C	C/C	S/C	C/C	S/C	C/C	S/C	C/C	S/C	C/C
DENSITY	g/cm <sup>3</sup>	0.24	0.19	0.24	0.21	0.24	0.21	0.23	0.20	0.178	0.146
TENSILE STRENGTH	MPa	0.73	0.58	1.03	1.01	0.97	0.88	0.58	0.52	0.60	0.49
ELONGATION	%	650	600	840	800	700	720	500	460	531	520
COMPRESSION LOAD TEST (25%)	kPa	-	3.3	3.8	1.9	2.3	2.0	5.9	3.0	5.2	3.6
SHRINKAGE (70°C x 2 hrs)	%	0.2	0.5	0.5	1	0.3	0.5	-	-	-	-

Per sopperire alla carenza d'informazioni riguardo lo schiacciamento del neoprene ho voluto misurare di persona la variazione dello spessore a varie profondità immergendomi con dei pezzi di neoprene di spessore 5 e 6 mm e con un calibro ne ho rilevato gli spessori ad intervalli di 5 m fino ad una profondità di -25 m in acqua dolce.

Riportando i dati su una tabella ho ottenuto la seguente **Tab-1**:

Spessore neoprene = 5 e 6 mm misurati (spessori 3 e 7 dedotti).								
Profondità (m)	Spessore 5(mm)	Spessore 3(mm)	Spessore 6(mm)	Spessore 7(mm)	Riduzione 5(mm)	% riduzione (5mm)	Riduzione 6(mm)	% riduzione (6mm)
		Vedi nota 3		Vedi nota 3				
0	5	3,0	6	7,0	0	0	0	0
5	4	2,4	4,8	5,6	1	20	1,2	20
10	3,5	2,1	4	4,7	1,5	30	2	33
15	3	1,8	3,5	4,1	2	40	2,5	42
20	2,8	1,7	3,0	3,5	2,2	44	3	50
25	2,7	1,6	2,8	3,3	2,3	46	3,2	53

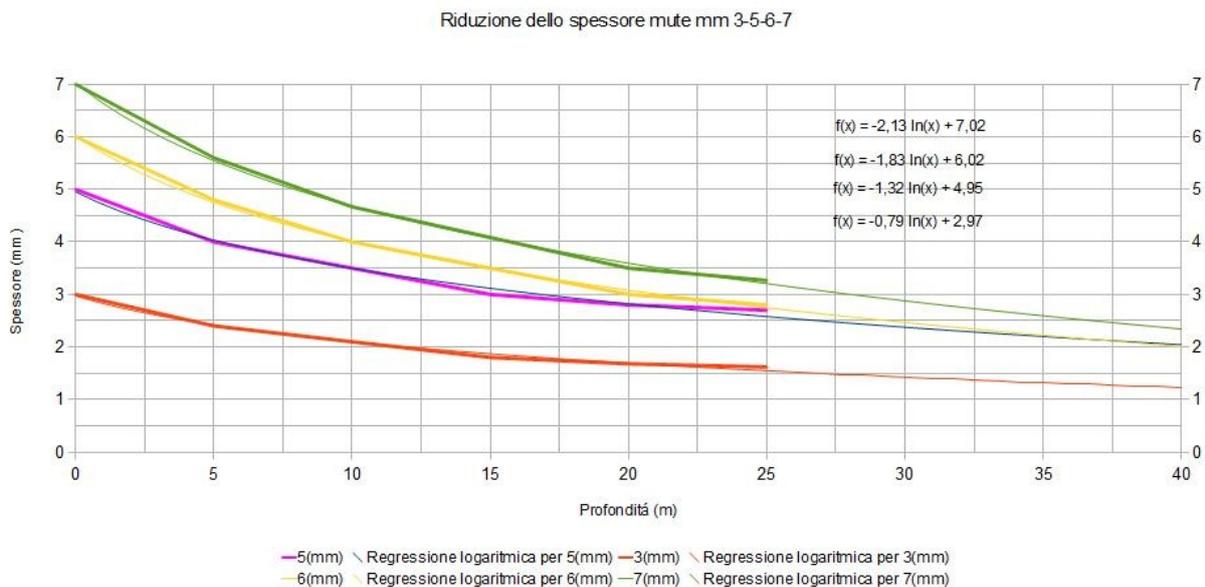
Tab-1

gli spessori di 3 e 7 mm (vedi nota 3) sono stati dedotti dalle riduzioni degli spessori di 5 e 6 mm anche se quanto prima cercherò di verificare praticamente il loro reale andamento.

Da sottolineare i valori in grassetto riguardanti le percentuali delle riduzioni alle varie profondità dai quali emerge chiaramente l'importanza della riduzione a quote tutto sommato considerate normali in ambito ricreativo e molto spesso superate nelle comuni immersioni.

Quando si raggiungono i -20 / -25 m di profondità abbiamo un valore della riduzione intorno al 50 % sia dello spessore che della spinta essendo correlati (vedere **Tab-2**), questo ci dovrebbe far capire (come detto) l'importanza di avere una zavorra calibrata nel caso sfortunato si manifestasse una rottura del nostro gav che ci obbligasse a risalire usando la sola forza delle gambe, mi sembra utile ricordare che il solo corso open abilità un subacqueo fino ai -18 m e se consideriamo l'esperienza media posseduta da un neo brevettato appaiono ovvie le possibili difficoltà a cui potrebbe andare incontro.

Il **Grafico-1** qui proposto riporta i valori della **Tab-1** per i quattro spessori mostrando anche il presunto andamento fino alla profondità di -40 m.



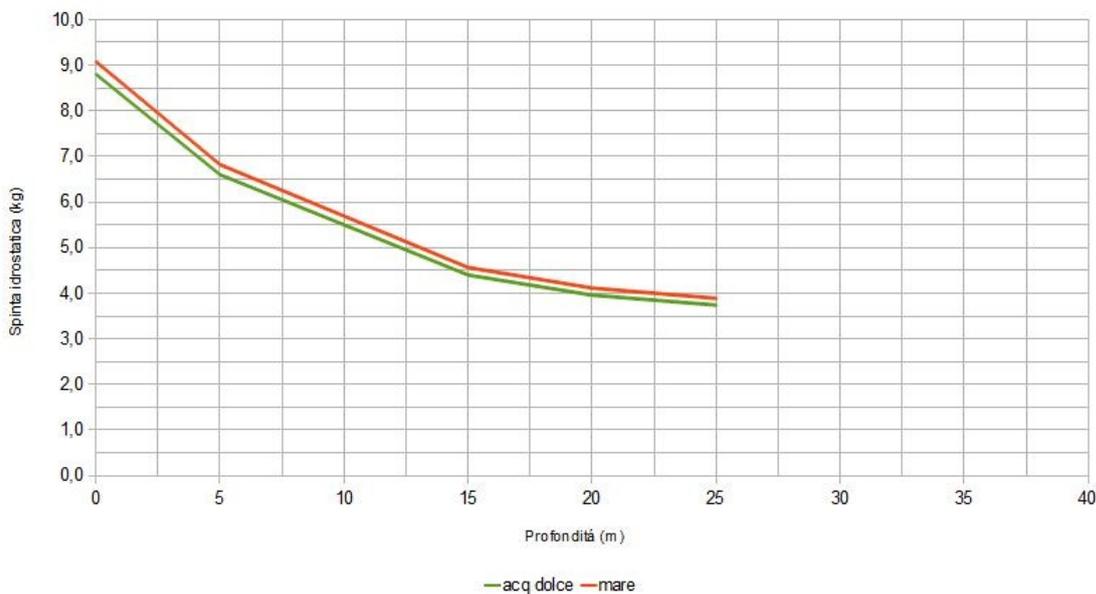
**Grafico-1**

mentre la **Tab-2** e il corrispondente **Grafico-2** mostrano la variazione dei valori della spinta idrostatica di una muta da 5 mm del peso a secco di 2,2 kg sia in acqua dolce che in mare sempre riferiti a un range di profondità da 0 a -25 m.

volume muta 5 mm	spinta archim acq dolce	spinta archim mare	Spinta idros acq dolce	Spinta idros mare
11,0	11,0	11,3	8,8	9,1
8,8	8,8	9,0	6,6	6,8
7,7	7,7	7,9	5,5	5,7
6,6	6,6	6,8	4,4	4,6
6,2	6,2	6,3	4,0	4,1
5,9	5,9	6,1	3,7	3,9

**Tab-2**

**Spinta idrostatica presunta su muta da 5 mm**



**Grafico-2**

se osserviamo i valori delle spinte idrostatiche delle ultime due righe che corrispondono a -20 / -25 m notiamo che essi sono ridotti circa del 50 % rispetto a quelli iniziali a conferma quindi della correlazione esistente tra spessore e spinta.

I dati qui proposti non pretendono di avere una valenza assoluta, sicuramente esiste una percentuale di errore dovuta sia all'ambiente in cui sono state fatte le misurazioni sia alla scarsa quantità di prove ripetute su uno stesso campione e anche a delle possibili componenti soggettive, tuttavia essi ci fanno capire abbastanza chiaramente il comportamento delle grandezze in gioco e l'ordine delle loro variazioni e quindi didatticamente hanno una valenza sicuramente positiva, se come spero verranno effettuate altre misurazioni con campioni di spessori diversi e in un numero sufficiente si potrà avere alla fine un piccolo database da cui estrapolare dati sempre più precisi.

### Compensatore di assetto (gav)

idealmente lo possiamo dividere in due parti, ovvero il sacco e l'imbrago. Abbiamo già detto che per i calcoli lo consideriamo sempre sgonfio anche alla massima profondità programmata e questo essenzialmente per due ragioni: la prima perché ai fini del bilancio idrostatico totale è importante valutarne la spinta senza la presenza di aria nel sacco dal momento che il suo volume senza dubbio cambierebbe in positivo anche il peggior bilancio dovuto ad esempio a una zavorra eccessiva, la seconda perché per un sub è importante conoscere quale forza dovrebbe applicare (pinneggiando) nel caso si verificasse un malfunzionamento del proprio c.a alla massima profondità prevista.

Una volta compilata la tabella riassuntiva la nostra attenzione dovrebbe soffermarsi sul volume minimo necessario del sacco di cui si avrebbe bisogno per ottenere un assetto neutro alla massima profondità prevista e ci si accorgerebbe, forse con stupore, che la maggior parte dei c.a che indossiamo sono abbondantemente sovradimensionati per le nostre normali immersioni ricreative dal momento che spinte di cinque o sette chili sono di solito già più che sufficienti.

Il problema semmai, come già detto, sarà quello di determinare un valore corretto di densità del nostro c.a che ci permetta di calcolare la sua spinta, nei parametri delle tabelle il valore della densità che ho impostato (riferito al mio c.a) è di 1 ma ovviamente bisognerà adattarlo di volta in volta, si tenga conto che per quanto sgonfio possa essere il nostro sacco al suo interno rimarrà sempre una piccola quantità d'aria che quindi sfalserà eventuali dati di fabbrica se presenti.

### **Come devono essere adoperate queste tabelle e quali sono i loro limiti ?**

lo scopo principale di queste tabelle e il loro utilizzo deve essere inteso da un punto di vista didattico e secondariamente anche pratico. Inizialmente questi dati erano stati da me raccolti per essere proposti nei corsi al fine di integrare le nozioni apprese e verificarne in pratica la loro validità e i loro limiti sia in piscina che in acque confinate.

Proprio per questo i fogli sono open source e quindi possono essere adoperati e visionati a piacimento, ma per fare ciò si devono conoscere le variabili e il legame che intercorre tra loro (valore didattico), inoltre anche se abbastanza standard l'attrezzatura usata da ognuno di noi non è perfettamente uguale obbligando inizialmente il sub ad eseguire una serie di misurazioni personali al fine di reperire i dati di partenza (valore di ricerca) e quindi ponendosi con un approccio di tipo "scientifico / sperimentale" al problema della corretta pesata e più in generale per risolvere i problemi legati all'immersione evitando di andare solamente per tentativi o per "sentito dire".

I risultati che si ottengono non devono essere considerati in modo assoluto, bensì come valori da testare praticamente applicando i metodi di pesata descritti in precedenza e cercando di capirne le eventuali discrepanze, quindi in definitiva la tabella di partenza dovrebbe essere adattata da ognuno secondo le proprie personali esigenze acquistando di conseguenza un carattere personale e rendendola di fatto dedicata per quel subacqueo.

Io stesso mi sono divertito a testare i risultati teorici ottenuti con i dati riportati nei miei logbook a seconda delle mie configurazioni e a vedere se questi erano in linea con i valori della zavorra indossata e statisticamente ho potuto osservare che i valori teorici e pratici differivano di poco tanto da potergli considerare uguali. In altri casi invece la differenza era sensibile e riguardava soprattutto le mie prime immersioni da neo brevettato quando acquaticità e controllo della respirazione lasciavano ancora a desiderare.

Desidero inoltre ricordare che una parte dei dati raccolti e adoperati nei calcoli è sperimentale e quindi, come già detto, può risentire di una serie di errori dovuti a vari fattori così come deve essere sempre tenuto a mente che ci sono dei valori che risentono fortemente di una componente soggettiva che non può essere standardizzata, si pensi ad esempio alla diversità del valore della massa grassa di ognuno di noi (vedasi tabella - fonte dal web) anche se a parità di peso, o alla struttura scheletrica, oppure alla capacità polmonare di ciascuno o ancora alle conseguenze che una eccessiva tensione emotiva provoca soprattutto in subacquei ancora inesperti (si pensi alla respirazione).

Soggetti	Densità g/cm <sup>3</sup>
Molto magri	1.08
Normopeso	< 1.08, > 1.03
Moderatamente obesi	1.03
Obesi	< 1.03
Grandi obesi	1.00

Densità del corpo umano in diversi gradi di sovrappeso

Osservando la tabella a fianco si nota che la densità del corpo umano dovrebbe essere comunque maggiore di 1, tuttavia i valori che di solito vengono considerati tengono conto dell'aria presente nei polmoni anche dopo una normale espirazione (spazio morto, volume residuo) di conseguenza il valore risultante dovrebbe solitamente essere inferiore a 1.

Riporto ora, a titolo d'esempio, i valori dei bilanci idrostatici calcolati sulla mia attrezzatura ricreativa per poter meglio spiegare quale dovrebbe essere l'approccio corretto da tenere quando si adoperano questi fogli (vedasi Fig - 1).

- Riepilogo dei dati di partenza introdotti e calcolati -			
Peso della bombola (kg)	17,55	Densità neoprene (Kg/dm <sup>3</sup> )	0,21
Volume bombola (litri)	10,1	Altezza sub (cm)	180
Pressione iniziale (bar)	200	Superficie corpo (m <sup>2</sup> )	2
Pressione finale (bar)	50	Volume corpo (dm <sup>3</sup> )	81,22
Materiale della bombola	Al	Peso miscela iniz (kg)	2,38
Acqua (salata / dolce)	S	Peso miscela fin(kg)	0,65
Spessore muta (mm)	5	Vol miscela iniz (m <sup>3</sup> )	1,8364
Zavorra totale (kg)	4	Vol miscela fin (m <sup>3</sup> )	0,505
Profondità max (m)	25	Vol sacco del gav (l)	15
Peso del gav (kg)	4	Tem peratura acqua (° C )	20
Peso sub (kg)	80	Densità acqua (Kg/dm <sup>3</sup> )	1,025
Densità corpo umano (Kg/dm <sup>3</sup> )	0,985		
- Bilanci idrostatici a inizio / fine immersione e alla profondità max con il 50% di consumo -			
Attrezzatura	Spinta idrostatica inizio immersione	Spinta idrostatica 50% miscela e max prof	Spinta idrostatica fine immersione (5 m)
Erogatori	-2,35	-2,35	-2,35
Bombola + miscela	-2,66	-1,47	-0,93
Gav sgonfio e completo	0,10	0,10	0,10
Sub (senza muta)	3,25	3,25	3,25
Muta	8,54	4,61	6,83
Pinne-torcia-coltello ecc....	-2,50	-2,50	-2,50
Zavorra totale	-4,00	-4,00	-4,00
<b>Bilancio senza zavorra (kg)</b>	<b>4,38</b>	<b>1,64</b>	<b>4,40</b>
<b>Bilancio idrostatico totale (kg)</b>	<b>0,4</b>	<b>-2,4</b>	<b>0,4</b>
Spinta idrostatica massima disponibile dal proprio gav (sacco) in kg :			<b>15,4</b>
Spinta idrostatica della muta alla massima profondità scelta in kg :			<b>4,61</b>
Riduzione della muta alla massima profondità scelta in % :			<b>46</b>

Fig - 1

dalla tabella dei bilanci idrostatici si vede chiaramente che in superficie e a fine immersione la zavorra indossata (4 kg) risulterebbe essere insufficiente a garantire una giusta pesata (+0,4 kg di spinta), eppure posso garantire che con questi chili in cintura mi immergo e rimango a -5 mt (e anche a -3 mt con 30 bar residui) senza nessun problema, come mai ?

Se, ad esempio, vario la densità del corpo umano portandola al valore di 1 senza modificare gli altri parametri ottengo un valore negativo del bilancio in tutte la caselle (vedasi fig - 2) che rimarrebbe tale anche variando la densità dell'acqua salata dal valore di 1,025 a quello di 1,0274 corrispondente alla salinità media del mare Adriatico ad una temperatura di 20 °C, (vedasi Fig - 3).

- Bilanci idrostatici a inizio / fine immersione e alla profondità max con il 50% di consumo -			
Attrezzatura	Spinta idrostatica inizio immersione	Spinta idrostatica 50% miscela e max prof	Spinta idrostatica fine immersione (5 m)
Erogatori	-2,35	-2,35	-2,35
Bombola + miscela	-2,66	-1,47	-0,93
Gav sgonfio e completo	0,10	0,10	0,10
Sub (senza muta)	2,00	2,00	2,00
Muta	8,54	4,61	6,83
Pinne-torcia-coltello ecc....	-2,50	-2,50	-2,50
Zavorra totale	-4,00	-4,00	-4,00
<b>Bilancio senza zavorra (kg)</b>	<b>3,13</b>	<b>0,39</b>	<b>3,15</b>
<b>Bilancio idrostatico totale (kg)</b>	<b>-0,9</b>	<b>-3,6</b>	<b>-0,9</b>
Spinta idrostatica massima disponibile dal proprio gav (sacco) in kg :			<b>15,4</b>
Spinta idrostatica della muta alla massima profondità scelta in kg :			<b>4,61</b>
Riduzione della muta alla massima profondità scelta in % :			<b>46</b>

Fig - 2

<b>- Riepilogo dei dati di partenza introdotti e calcolati -</b>			
Peso della bombola (kg)	17,55	Densità neoprene (Kg/dm <sup>3</sup> )	0,21
Volume bombola (litri)	10,1	Altezza sub (cm)	180
Pressione iniziale (bar)	200	Superficie corpo (m <sup>2</sup> )	2
Pressione finale (bar)	50	Volume corpo (dm <sup>3</sup> )	80
Materiale della bombola	Al	Peso miscela iniz (kg)	2,38
Acqua (salata / dolce)	S	Peso miscela fin(kg)	0,65
Spessore muta (mm)	5	Vol miscela iniz (m <sup>3</sup> )	1,8364
Zavorra totale (kg)	4	Vol miscela fin (m <sup>3</sup> )	0,505
Profondità max (m)	25	Vol sacco del gav (l)	15
Peso del gav (kg)	4	Temperatura acqua (°C)	20
Peso sub (kg)	80	Densità acqua (Kg/dm <sup>3</sup> )	1,0274
Densità corpo umano (Kg/dm <sup>3</sup> )	1,000		
<b>- Bilanci idrostatici a inizio / fine immersione e alla profondità max con il 50% di consumo -</b>			
<b>Attrezzatura</b>	<b>Spinta idrostatica inizio immersione</b>	<b>Spinta idrostatica 50% miscela e max prof</b>	<b>Spinta idrostatica fine immersione (5 m)</b>
Erogatori	-2,35	-2,35	-2,35
Bombola + miscela	-2,62	-1,43	-0,89
Gav sgonfio e completo	0,11	0,11	0,11
Sub (senza muta)	2,19	2,19	2,19
Muta	8,57	4,63	6,86
Pinne-torcia-coltello ecc....	-2,50	-2,50	-2,50
Zavorra totale	-4,00	-4,00	-4,00
<b>Bilancio senza zavorra (kg)</b>	<b>3,40</b>	<b>0,65</b>	<b>3,42</b>
<b>Bilancio idrostatico totale (kg)</b>	<b>-0,6</b>	<b>-3,4</b>	<b>-0,6</b>
Spinta idrostatica massima disponibile dal proprio gav (sacco) in kg :			<b>15,4</b>
Spinta idrostatica della muta alla massima profondità scelta in kg :			<b>4,63</b>
Riduzione della muta alla massima profondità scelta in % :			<b>46</b>

Fig - 3

se invece variassi, rispetto alla Fig - 1, solamente il tipo di bombola usando un 15 litri in acciaio del peso circa 18 kg (esempio Faber) ecco cosa otterei (vedasi Fig - 4)

<b>- Bilanci idrostatici a inizio / fine immersione e alla profondità max con il 50% di consumo -</b>			
<b>Attrezzatura</b>	<b>Spinta idrostatica inizio immersione</b>	<b>Spinta idrostatica 50% miscela e max prof</b>	<b>Spinta idrostatica fine immersione (5 m)</b>
Erogatori	-2,35	-2,35	-2,35
Bombola + miscela	-3,81	-2,04	-1,24
Gav sgonfio e completo	0,10	0,10	0,10
Sub (senza muta)	3,25	3,25	3,25
Muta	8,54	4,61	6,83
Pinne-torcia-coltello ecc....	-2,50	-2,50	-2,50
Zavorra totale	-4,00	-4,00	-4,00
<b>Bilancio senza zavorra (kg)</b>	<b>3,23</b>	<b>1,07</b>	<b>4,09</b>
<b>Bilancio idrostatico totale (kg)</b>	<b>-0,8</b>	<b>-2,9</b>	<b>0,1</b>
Spinta idrostatica massima disponibile dal proprio gav (sacco) in kg :			<b>15,4</b>
Spinta idrostatica della muta alla massima profondità scelta in kg :			<b>4,61</b>
Riduzione della muta alla massima profondità scelta in % :			<b>46</b>

Fig - 4

guardate ora i valori delle varie spinte idrostatiche alla massima profondità scelta (-25 m, **figure da 1 a 4**) e con il 50% di miscela residua (ovvero quando siete magari già un po' affaticati e dovrete iniziare la risalita) e immaginate se il vostro gav avesse un problema e doveste contare solo sulle vostre gambe per risalire e non affondare, anche se le profondità fossero inferiori (-15 m) le cose non cambierebbero molto e in questi esempi consideriamo sempre che non ci sia corrente da contrastare, che la risalita non sia nel blu e che la zavorra indossata non sia eccessiva. Se tutto questo può non spaventare un sub esperto e allenato, lo stesso forse non lo si può dire di un neo brevettato alle sue prime immersioni.

Propongo adesso, come ultimo esempio, un'immersione in acqua dolce sempre con la mia solita attrezzatura ricreativa (vedasi Fig – 5)

- Riepilogo dei dati di partenza introdotti e calcolati -			
Peso della bombola (kg)	17,55	Densità neoprene (Kg/dm <sup>3</sup> )	0,21
Volume bombola (litri)	10,1	Altezza sub (cm)	180
Pressione iniziale (bar)	200	Superficie corpo (m <sup>2</sup> )	2
Pressione finale (bar)	50	Volume corpo (dm <sup>3</sup> )	81,22
Materiale della bombola	Al	Peso miscela iniz (kg)	2,38
Acqua (salata / dolce)	D	Peso miscela fin(kg)	0,65
Spessore muta (mm)	5	Vol miscela iniz (m <sup>3</sup> )	1,8364
Zavorra totale (kg)	3	Vol miscela fin (m <sup>3</sup> )	0,505
Profondità max (m)	15	Vol sacco del gav (l)	15
Peso del gav (kg)	4	Temperatura acqua (°C)	20
Peso sub (kg)	80	Densità acqua (Kg/dm <sup>3</sup> )	0,998
Densità corpo umano (Kg/dm <sup>3</sup> )	0,985		
- Bilanci idrostatici a inizio / fine immersione e alla profondità max con il 50% di consumo -			
Attrezzatura	Spinta idrostatica inizio immersione	Spinta idrostatica 50% miscela e max prof	Spinta idrostatica fine immersione (5 m)
Erogatori	-2,35	-2,35	-2,35
Bombola + miscela	-3,11	-1,92	-1,38
Gav sgonfio e completo	-0,01	-0,01	-0,01
Sub (senza muta)	1,06	1,06	1,06
Muta	8,26	4,96	6,61
Pinne-torcia-coltello ecc....	-2,50	-2,50	-2,50
Zavorra totale	-3,00	-3,00	-3,00
<b>Bilancio senza zavorra (kg)</b>	<b>1,35</b>	<b>-0,76</b>	<b>1,43</b>
<b>Bilancio idrostatico totale (kg)</b>	<b>-1,7</b>	<b>-3,8</b>	<b>-1,6</b>
Spinta idrostatica massima disponibile dal proprio gav (sacco) in kg :			<b>15,0</b>
Spinta idrostatica della muta alla massima profondità scelta in kg :			<b>4,96</b>
Riduzione della muta alla massima profondità scelta in % :			<b>40</b>

Fig – 5

in questo caso i valori di spinta sono già corretti senza variare nulla infatti normalmente mi immergo con 3 kg in cintura in acqua dolce e muta da 5 mm e anche con mute (spessori) e zavorre diverse ottengo sempre dei valori corretti con la mia reale pesata in acqua dolce.

*Nota dell'autore : settando i fogli scaricati con i valori delle figure appena viste si otterranno dei bilanci che differiscono di circa 1-2 etti, questo è dovuto al fatto che ho modificato (nell'ultimo aggiornamento) il valore della densità dell'aria secca alla pressione di 1 atm da 1,297 Kg/m<sup>3</sup> (iniziale) al valore piu' standard di 1,225 Kg/m<sup>3</sup> (vedasi i valori nella tabella "Densità aria" nel foglio "Pesi e misure").*

Si osserva quindi come i risultati ottenuti sono influenzati da vari fattori che concorrono a modificare, anche in modo sensibile, i valori della spinta idrostatica finale ed è per questo motivo che ho inserito la possibilità di settare una serie di parametri al fine di aggiustare il piu' possibile le condizioni in cui ognuno si puo' immergere.

Questi fogli possono essere adoperati essenzialmente in due modi, a scopo puramente didattico si possono variare a piacimento tutti i parametri vedendo di volta in volta i risultati ottenuti (per esempio un sub potrebbe voler vedere dimagrendo di 3 kg come e se cambierebbe la sua zavorra oppure calcolare la variazione che si avrebbe immergendosi alla temperatura di 2 gradi a ancora cosa comporta immergersi con un bibo anziché con il suo 15 l) e seguendo questi esempi si possono variare all'infinito i valori.

Se invece il nostro scopo è di vedere se al lato pratico abbiamo un reale riscontro dei valori calcolati con la zavorra che abitualmente indossiamo bisogna prima di tutto tarare la tabella, ovvero inserire tutti i dati richiesti e vedere se i risultati concordano con i piombi che indossiamo abitualmente e di cui siamo certi perché sperimentato sul campo.

Se i risultati sono coerenti (vedasi l'esempio dell'acqua dolce) possiamo da subito prevedere eventuali variazioni dovute per esempio a nuova attrezzatura o semplicemente ad un'immersione piu' profonda rispetto a quelle abituali, viceversa se i risultati discordano (vedasi esempi con acqua salata) dovremmo variare uno o piu' parametri finché non arriviamo ad ottenere un valore di spinta coerente con la nostra abituale zavorra, attrezzatura e tipologia d'acqua, dopodiché possiamo procedere a calcolare eventuali variazioni che anche se dovranno essere testate (vedi pesata) avranno sicuramente un alto grado di probabilità di coincidere con i risultati ottenuti a tavolino.

Qualcuno (giustamente) potrà obiettare che non si può sapere se i parametri che modifico per adattare la spinta teorica alla zavorra testata praticamente siano proprio quelli che la influenzano, ovvero in effetti è difficile stabilire se ad esempio è proprio la densità del mio corpo ad essere uguale o maggiore di 1, oppure se è la densità dell'acqua del luogo dove mi immergo abitualmente che risente del fatto che nelle vicinanze sfocia un fiume o ancora se il mio gav o la mia muta hanno una densità diversa.

In realtà però queste giuste osservazioni non sono essenziali ai fini dei calcoli, la cosa da ottenere è, come detto, la taratura (corrispondenza) tra la zavorra abitualmente indossata con una certa attrezzatura e i valori teorici e se questo lo ottengo variando il mio peso specifico o quello del gav o ancora la densità dell'acqua poco importa. È logico che se un sub si immerge abitualmente in acqua salmastra dove la salinità normalmente è inferiore al mare (esempio laguna) sarà logico pensare di aggiustare il valore della densità dall'acqua lasciando invariati gli altri, io normalmente consiglio (a meno di casi particolari e noti) di variare il peso specifico del corpo che con piccole variazioni apporta notevoli cambiamenti.

Ricordo inoltre, come mostrato negli esempi sopra riportati, che è possibile avere valori coincidenti o discordanti con la nostra abituale zavorra a seconda che l'acqua sia salata oppure dolce e questo perché l'acqua marina è influenzata da un numero maggiore di possibili variabili correlate tra loro (temperatura, salinità, densità ecc...) rispetto alla seconda.

Per finire spendiamo due parole sui valori della spinta idrostatica ottenuti dalle tabelle con riferimento alle **figure 2, 4 e 5**.

Pur essendo i valori negativi bisogna però valutare se essi siano sufficienti al lato pratico a garantire il giusto assetto e la giusta sicurezza al subacqueo soprattutto a fine immersione, nella **figura - 2** il valore è di **-0,9 kg** e questo risulta comunque poco considerando che con il normale respiro immetto circa 500 ml di aria nei polmoni e inoltre se ci fossero onde formate in superficie sicuramente ne risentirei anche a -5 m.

Decisamente peggiore (**+0,1 kg**) è il valore della **figura - 4**, in questi casi anche un subacqueo con un corretto controllo della respirazione e dell'assetto (anche non in presenza di mare mosso) avrebbe dei problemi.

I valori riportati nella **figura - 5** non dovrebbero invece presentare inconvenienti considerando che sono riferiti ad una immersione in acqua dolce (lo stesso sarebbe se fosse in mare), ovvero in cave o laghi dove notoriamente non si hanno onde o correnti anche se per inciso devo dire che a volte nel lago di Garda, quando soffia il vento, ci sono onde che non hanno nulla a che invidiare a quelle del mare.

Di quanto si dovrebbero allora implementare (se necessario) tali valori già negativi ?

purtroppo a questa domanda non esiste una risposta univoca poiché sono vari i fattori (anche soggettivi) che la influenzano. Molto importante è la capacità di adoperare e regolare la propria respirazione per "trimmare" l'assetto e le piccole variazioni di quota dal momento che i volumi d'aria messi in gioco possono essere notevoli e bisogna quindi imparare a sfruttarli alla stessa stregua del proprio gav.

Riporto, a tale proposito, alcuni valori medi che aiuteranno meglio a quantificare quanto appena letto:

- il volume medio inspirato ed espirato ad **ogni** atto respiratorio è di circa **500 ml**
- il volume massimo che può essere inspirato **oltre** una normale espirazione è di circa **3000 ml**
- il volume massimo che può essere espirato **oltre** una normale espirazione è di circa **1100 ml**
- il volume che rimane nei polmoni **dopo una espirazione massima** è di circa **1200 ml**
- il volume **presente** nei polmoni alla fine di una espirazione normale è di circa **2300 ml**
- il volume **massimo** che può essere inspirato a partire dalla fine di una espirazione normale è di circa **3500 ml**
- il volume **massimo** che può essere inspirato ed espirato è di circa **4600 ml**

ricordando che 1 litro = 1000 ml = 1dm<sup>3</sup> provate a calcolare i valori delle spinte idrostatiche medie ottenibili dai nostri polmoni.

Potremmo comunque affermare (in linea molto generale, *ma riprendendo quanto detto a proposito dei metodi di pesata*) che il valore del bilancio idrostatico totale (soprattutto a fine immersione) non dovrebbe mai poter essere annullato da un normale atto inspiratorio, quindi con il gav sgonfio non dovremmo mai trovarci nella situazione di avere un "assetto positivo" semplicemente compiendo una normale inspirazione, ovvero al valore ottenuto dobbiamo sottrarre circa **+0,5/0,8 kg** e vedere se questo nuovo valore negativo ci permette di avere ancora almeno 1 kg (meglio 2 kg) da dover compensare con il nostro gav e se così non fosse dobbiamo ricalcolare variando la zavorra di partenza o settando altri parametri.

Concludendo possiamo osservare allora che i valori dei bilanci idrostatici a fine immersione delle **figure 2 e 3** sono troppo bassi (esempio per figura 2, spinta = - 0,9 - (+ **0,5**)= **-0,4 kg**) e andrebbero quindi aumentati di almeno **1 kg** (esempio per figura 2 **spinta minima** = **-0,4 - 1 = - 1,4 kg**) mentre per la **figura 4** tale aumento dovrebbe essere anche maggiore.

Ringrazio in anticipo tutti coloro che vorranno mandarmi i loro feedback o eventuali domande al fine di migliorare e integrare i dati presenti nei fogli e nelle tabelle scrivendo a [info@immersinelblu.com](mailto:info@immersinelblu.com)

**C. Chieco**