

GESTIONE, CONSUMO E TECNICHE DI SICUREZZA NELL'USO DEI GAS RESPIRATORI NELLA SPELEOLOGIA SUBACQUEA



Attilio Eusebio



GESTIONE, CONSUMO E TECNICHE DI SICUREZZA NELL'USO DEI GAS RESPIRATORI NELLA SPELEOLOGIA SUBACQUEA

1. LA GESTIONE DEI GAS

Molto si discute nella speleologia subacquea, ma non solo, sui consumi individuali e quali siano i condizionamenti tali da indurre consumi a volte elevati a volte ridotti. Certamente il fattore stress da immersione in cavità collegato alla fatica del trasporto del materiale in acqua e nelle gallerie precedenti il sifone è un fattore che va considerato e che fa aumentare il consumo personale. Parimenti l'acqua fredda, l'attrezzatura ingombrante, la muta stagna rispetto ad una semistagna o ad una umida condiziona fortemente il consumo stesso. Immergersi nei caldi sifoni messicani (21°) comporta consumi prossimi ai 12- 15 litri minuto (riportati in superficie), in caso di sifoni freddi le esperienze maturate dai monitoraggi eseguiti su squadre di speleosub esperti raramente scendono sotto i 20 litri/minuto. Un valore ragionevole per iniziare a pianificare immersioni all'inizio della carriera speleosub è 22-25 litri/minuto in condizioni ideali che possono arrivare con facilità a 40 litri/minuto in circostanze particolari (leggera corrente contraria, trasporto di materiale minimo, acque torbide, fatica nella progressione). Si suggerisce pertanto, nella pianificazione dei gas di ipotizzare due scenari di consumi:

- *Consumi standard in condizioni di progressione normale con attrezzatura tradizionale e senza pesi o ingombri particolari. Il consumo d'aria in superficie (CAS, SAC, ecc..) in questi casi è stato ipotizzato di 22 litri/minuto.*
- *Consumi di lavoro, ovvero quando lo speleosub compie operazioni con un carico fisico moderato o basso in condizioni moderate di stress, in questi casi si consiglia di ipotizzare 40 litri/minuto.*

Le valutazioni eseguite nelle simulazioni che seguiranno sono state condotte ipotizzando condizioni standard; ovvero come bombole di progressione si è adottata una configurazione costituita da un bibombola 10+10 litri, caricato a 200 bar effettivi in acqua, considerando la regola del terzo e quindi avendo a disposizione 4000 litri - $1/3 = 2680$ litri. Se seguissimo regole più restrittive, quella dei quarti o dei quinti queste valutazioni andrebbero riviste ed i tempi si ridurrebbero di conseguenza. La regola dei terzi è utilizzata in condizioni ideali da speleosub con esperienza in ambiente non particolarmente ostile. In condizioni difficili, all'inizio della carriera, in acque torbide, con correnti è consigliato utilizzare i sistemi dei 4/4 o 5/5.

Le valutazioni che seguono sono quindi state elaborate con la regola dei terzi ed i grafici riportano pianificazioni eseguite con questa regola: tempo di immersione/profondità con le due curve che rappresentano i consumi pari a 22 l/minuto e 40 l/minuto.

Ovviamente i consumi si incrementano con l'aumentare della profondità, per esempio se in superficie il contenuto del bibombola è sufficiente per 126 minuti, a 50 metri a 22 litri/minuto, la permanenza non può superare i 21 minuti, se i consumi arrivano ai 40 litri la possibilità di restare a 50 metri è pari a 11 minuti.

Per tempi di permanenza superiori risulta necessario l'utilizzo di bombole-relais o bombole di bail-out e probabilmente di bombole decompressive (valutazioni che non entrano in questa stima). Questo vale naturalmente per tutte le condizioni che si trovano al di sopra della curva pari ai consumi di 22 l/minuto.

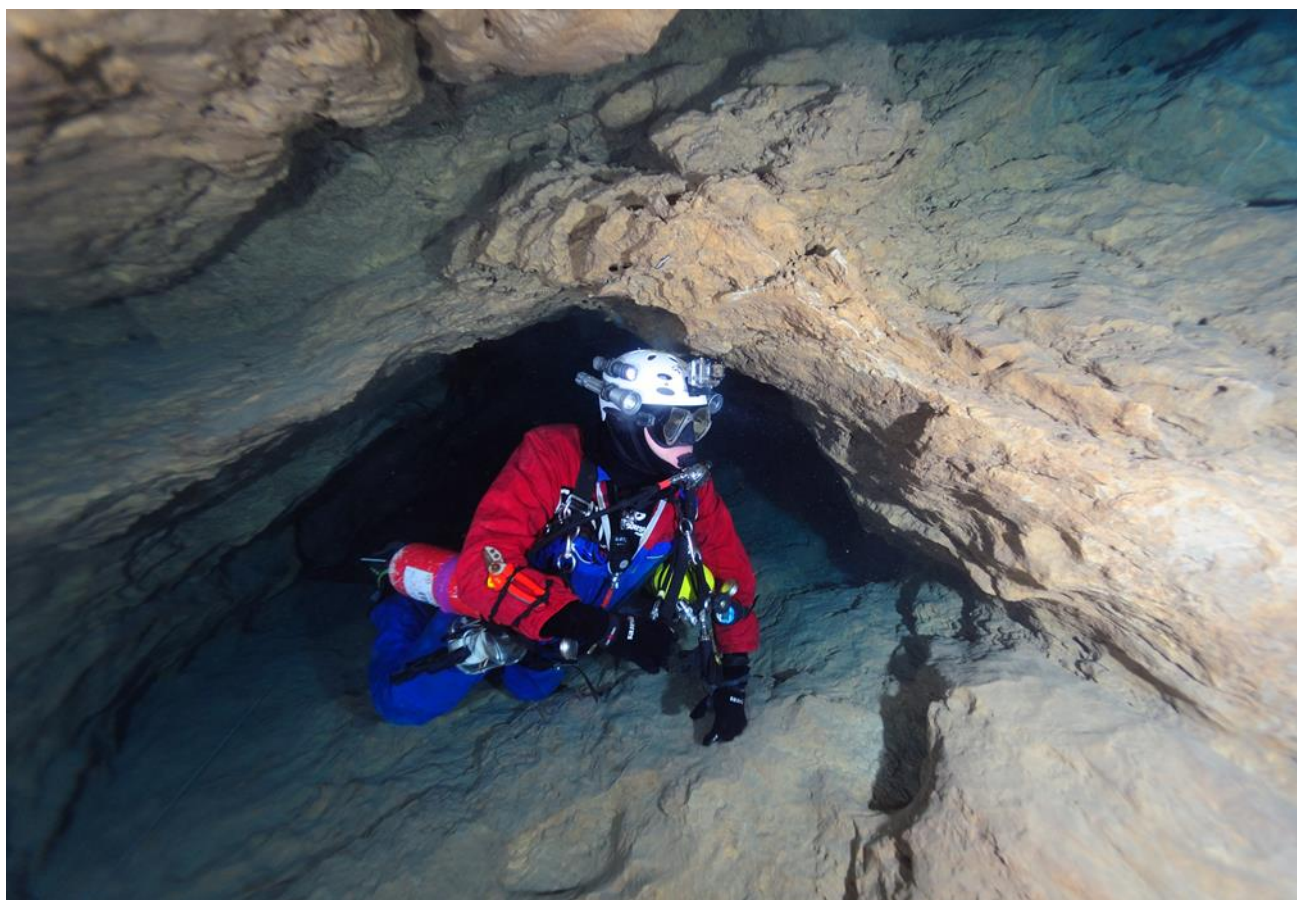


Foto 1 – Grotta della Dragonera, la dimensione ridotte dei passaggi e la profondità non eccessiva hanno consigliato l'uso di un sistema sidemount con bombole da sette litri e la posa in acqua di bombole di sicurezza nella zona delle strettoie (autore A.Eusebio).

Nell'area compresa tra le curve a 22 l/minuto e quella a 40 l/minuto i tempi di permanenza e i consumi sono direttamente proporzionali. In questo caso, per garantire un certo margine di sicurezza e far tendere la pianificazione dell'intervento verso condizioni ideali, vanno introdotte in acqua bombole di emergenza in modo da permettere una operatività normale e il più serena possibile di una squadra. Nonché di un piano di emergenza, anche per risolvere problemi legati ad avarie o malfunzionamenti di attrezzature è opportuno avere un piano B con bombole in acqua. Tutto ciò naturalmente è legato al tipo di immersione che si va a fare, un sifone corto, largo e poco profondo

non necessità di bombole di emergenza, un sifone lungo e profondo ha bisogno di sistemi di ridondanza e di bombole decompressive. Ogni grotta ha una sua storia da questo punto di vista e anche ogni immersione e necessita di una adeguata programmazione.

Al di sotto della curva dei consumi di emergenze (ricordo 40 l/minuto) i tempi di permanenza alle varie profondità potrebbero non risultare compatibili con condizioni standard. Tuttavia in virtù del principio della ridondanza, anche in questo caso per tratte più o meno lunghe, o per percorsi impegnativi, si ritiene opportuno la messa in opera di bombole d'emergenza nel sifone, secondo quanto verrà detto in seguito.

Va altresì ricordato che l'utilizzo di bombole di emergenza o di relais (e della terza bombola on-board) è tipico di immersioni in Solo diving o delle scuole europee franco/svizzeri, opportunamente modificate sulle esperienze italiane. I team americani o di provenienza analoga hanno altre modalità di gestione delle emergenze.

Quanto detto in precedenza infatti è valido per i consumi ma non è direttamente applicabile alle distanze percorse o percorribili da uno speleosub con varie tipologie di assetto e trasporto materiale.



Foto 2 - Grotta di Cabuy nel Lot in Francia, l'imponente quantità di materiale previsto per l'immersione prevede lunghe e complesse soste di decompressione (autore Attilio Eusebio).

I dati derivati dai monitoraggi eseguiti durante immersioni complesse in grotte lunghe ma non particolarmente fredde o difficili indicano una progressione media di circa 15 metri/minuto in assenza di corrente. Nelle nostre stime abbiamo considerato una variabilità da 10 metri/minuto fino a 20 metri/minuto in funzione di molte variabili (larghezza del sifone, visibilità, correnti, materiali da trasportare, ecc) in una ora di percorrenza a 10 metri di profondità seguendo la regola dei terzi (quindi andata e ritorno) ipotizzando un CAS pari a 22 litri a minuto. I consumi previsti sono contenuti all'interno del terzo visto in precedenza. In questo caso non sono previste bombole di bailout, tuttavia sarebbe opportuno ipotizzare la presenza di bombole di emergenza. La distanza percorribile varia, in funzione della velocità ma raramente supera i 500 metri/ora (sempre a 10 metri di profondità). Difficile cambiare le velocità, molto difficile superare per lunghe tratte velocità superiori ai 20m/minuto, più facile cambiare le profondità, se dai -10 si passa ai -5 il tempo di permanenza si può allungare, al contrario se le profondità aumentano le distanze diminuiscono.

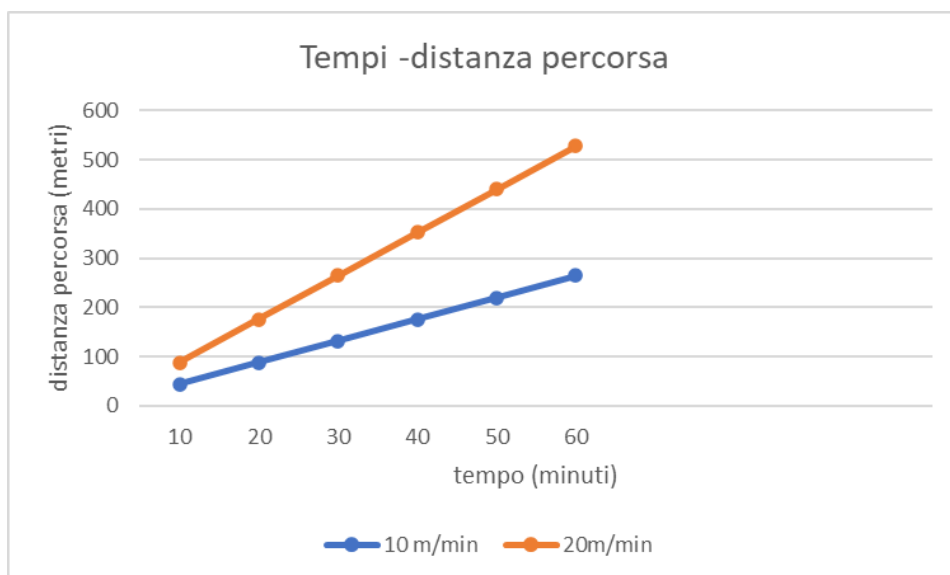


Tabella 1 – diagramma tempi – distanza percorsa

Nella tabella seguente (Tabella 2) è riportato il consumo in litri/minuti alle varie profondità ipotizzando consumi pari a 22 litri a minuto e 40 litri a minuto. Come è ovvio i consumi aumentano con la profondità in maniera importante.

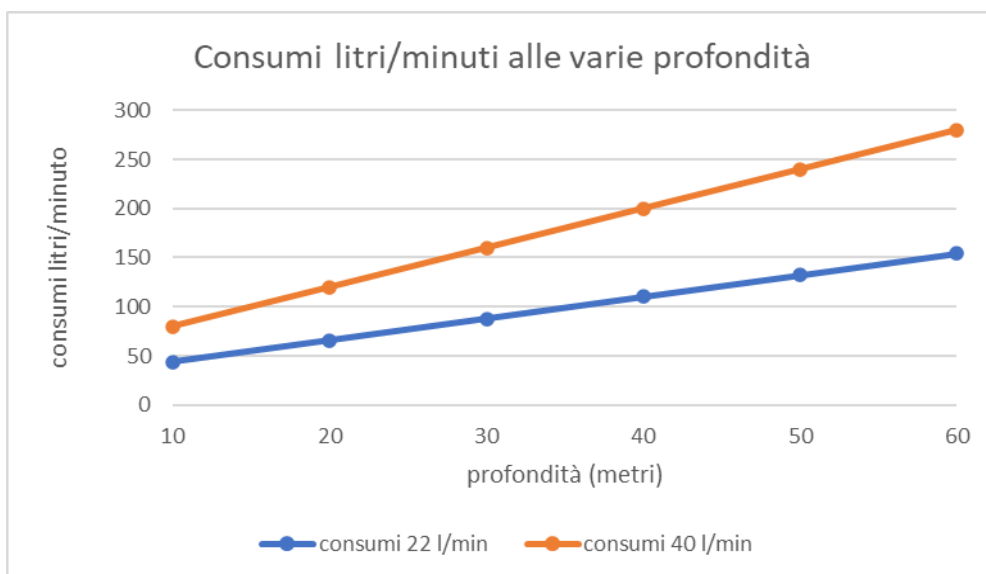


Tabella 2 – consumi in litri/minuto alle varie profondità

Dalla tabella precedente discende la successiva che traccia i limiti dei consumi relativamente alle profondità identificando (sempre ipotizzando consumi pari a 22 litri minuto in superficie) tre aree del diagramma. La parte superiore ove l'immersione non si può svolgere con il solo classico bibombole ma necessitano bombole relais, una zona intermedia compresa tra le curve blu e arancio dove l'immersione è fattibile ma sarebbe opportuno avere una bombola di bail-out, infino la zona inferiore dove l'immersione non necessita dell'utilizzo di bombole di emergenza.

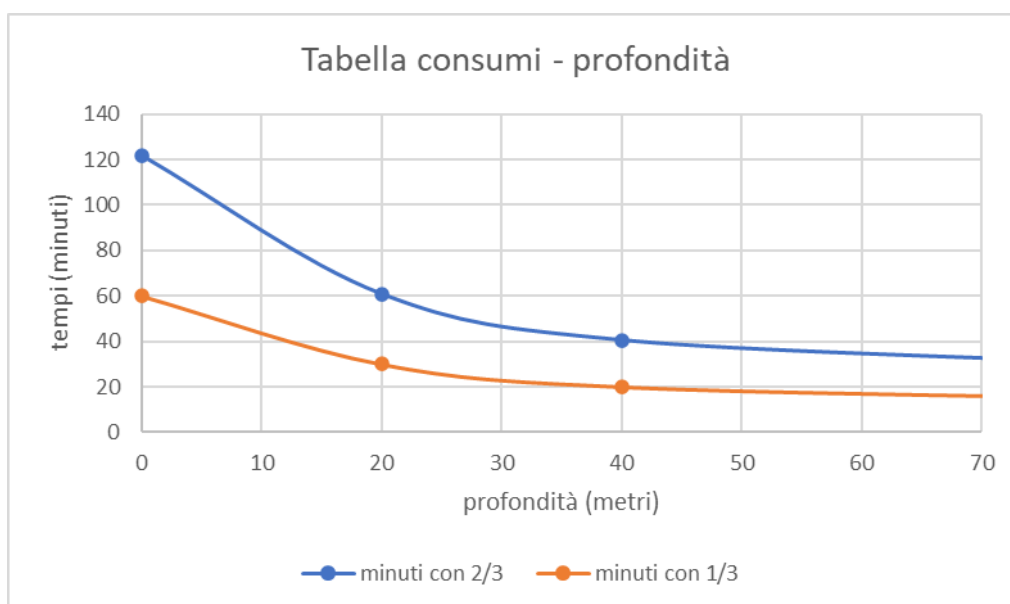


Tabella 3 – consumi assoluti - profondità



Ma facciamo alcuni esempi per chiarire meglio le situazioni:

Esempio 1

Sifone lungo 150 metri con max profondità 16 metri senza particolari problemi

- consumi calcolati pari a 22 l/minuto
- percorrenza stimata 10 m/minuto

Ne consegue quindi 15 minuti per percorrerlo in una direzione e 15 minuti nell'altra = 30 minuti totali. Il consumo stimato è pari a 22 litri x 2,6 bar x 30 minuti e quindi 1716 litri, sul grafico consumi/ tempi a varie profondità ci si colloca tra le due curve. L'immersione è fattibile con un bibombola in condizioni standard, tuttavia, con qualunque incremento dei consumi nasce la necessità di bombole relais (limite che ricordo essere posto a 2680 litri). In ogni caso sarebbe meglio una bombola d'emergenza. Quante metterne e dove? Dipende da quanti speleosub sono presenti, ma il consiglio è di metterne una ogni due speleosub in acqua. L'idea migliore è un punto o una serie di punti dove si minimizzano i rischi ed in questo caso circa a metà sifone.

Esempio 2

Sifone lungo 100 metri con max profondità 45 metri senza particolari problemi

- consumi calcolati pari a 22 l/minuto
- percorrenza stimata 10 m/minuto

Ne consegue quindi 10 minuti per percorrerlo in una direzione e 10 minuti nell'altra = 20 minuti totali. Il consumo stimato è valutato alla massima profondità per cautela, pari a 22 litri x 5,5 bar x 20 minuti e quindi 2420 litri, sul grafico consumi/ tempi a varie profondità ci si colloca molto vicino al limite delle bombole relais (che ricordo essere posto a 2680 litri). In questo ogni necessitano le bombole d'emergenza. Quante metterne e dove? Anche qui l'idea migliore è un punto o una serie di punti dove si minimizzano i rischi ed anche in questo caso è logico a metà sifone con le stesse modalità dell'esempio precedente.

Esempio 3

Sifone lungo 250 metri con max profondità 8m, con poca visibilità e ambienti stretti da risagolare

- consumi calcolati pari a 40 l/minuto e a 22l/minuto
- percorrenza stimata 10 m/minuto

Ne consegue quindi 25 minuti per una direzione e 25 minuti nell'altra = 50 minuti totali. Il consumo stimato è pari a 40 litri x 1,8 bar x 50 minuti e quindi 3600 litri. Molto al di là di quanto consentito dalla regola dei terzi. Se i consumi fossero 22 l/minuto allora si avrebbe 22 litri x 1,8 bar x 50 minuti = 1980. In questo caso sarebbe compatibile una immersione senza bombole di emergenze In ogni caso considerata la lunghezza del sifone necessitano sicuramente bombole d'emergenza. Quante metterne e dove? L'idea migliore è un punto o una serie di punti dove si massimizzano i rischi. Forse è meglio metterne due nei posti più critici e di migliore visibilità.

Le considerazioni su espresse ed i calcoli eseguiti, sono un esercizio che aiutano a scegliere ed inducono l'applicazione di criteri meno personali e più oggettivi nella stima dei consumi di squadra, dei tempi di percorrenza ecc, tuttavia la loro rigida applicazione, pur aumentando la sicurezza complessiva del sistema, rischia di non coprire tutte le possibili casistiche di incidenti (legati a consumi eccessivi o a rotture degli erogatori) che possono accadere, soprattutto in sifoni lunghi anche se a bassa profondità. A scopo precauzionale si consiglia di introdurre, in ogni caso, una bombola di emergenza con capacità variabile da 7 a 10 litri, appositamente marchiata e di facile identificazione, seguendo queste semplici procedure:

- ogni 100 metri di distanza percorsa per profondità di immersione non superiori a 30 metri
- ogni 50 metri per profondità superiori ai 30 metri

Per tenere conto, inoltre della presenza di una squadra più o meno numerosa, si valuta opportuno, con le modalità su descritte, mettere in opera una bombola ogni due speleosub in acqua. È evidente che se si dovesse ricorrere alle bombole di sicurezza e/o emergenza quelle utilizzate vanno sostituite. Risulta perciò necessaria una adeguata scorta esterna.



Foto 3 – Grotta del bel Torrente (Sardegna) la terza bombola è stata prevista per aumentare il livello di sicurezza (autore A.Eusebio)

2. CRITERI GENERALI DI SICUREZZA E DI RIDONDANZA

Per le molteplici procedure che ormai sono diventati standard all'interno della speleologia subacquea, l'autore di questo scritto facente parte del Soccorso Speleosubacqueo e co-autore del relativo manuale del CNSAS, ha inteso condividere alcune delle informazioni e considerazioni presenti, con gli specifici adattamenti finalizzati ai diversi obiettivi formativi.

Nelle immersioni impegnative o protratte per lunghi periodi devono essere adottate particolari misure per garantire la sicurezza degli operatori, pertanto deve essere predisposta una linea di sicurezza ulteriore a quelle che verranno utilizzate dai tecnici che si immergeranno con l'installazione di apposite bombole all'interno del sifone. In relazione alle esperienze effettuate ripercorrendo quanto scritto nelle pagine precedenti sono stati determinati i seguenti consumi:

- *condizioni minime standard 22 litri/minuto, attrezzatura e configurazione minimaliste, compiti normali di progressione in assenza di corrente con condizioni favorevoli*
- *condizioni di stress 40 litri/minuto, attrezzature e configurazioni ingombranti/pesanti, compiti impegnativi/faticosi*

con velocità media di progressione 15 metri/minuto. Pertanto, valgono le seguenti indicazioni generali:

- 1) fino ad una profondità di - 30 metri è consigliato posizionare bombole di almeno 7 litri ogni 100 metri di progressione percorsa, compatibilmente con le condizioni ambientali,
- 2) fino ad una profondità di - 60 metri è consigliato posizionare bombole di almeno 7 litri ogni 50 metri di progressione percorsa, compatibilmente con le condizioni ambientali,
- 3) ogni due tecnici contemporaneamente impegnati in immersione è consigliato posizionare una bombola nei punti individuati come stabilito nei punti 1 e 2.

La linea di sicurezza costituisce una fonte di approvvigionamento di gas respiratorio in caso di inconvenienti/ritardi/emergenze, è pertanto una riserva che non deve essere considerata per la progressione; la linea di sicurezza non deve essere confusa con le bombole di fase necessarie per estendere l'operatività dei tecnici in progressione/profondità/tempo. In caso di utilizzo le bombole devono essere sostituite con bombole di analoghe caratteristiche; le bombole della linea di sicurezza devono contenere il medesimo gas respiratorio utilizzato dagli operatori in quel settore del sifone.

Le bombole della linea di sicurezza devono essere marcate SICUREZZA etichettate con:

- tipo di gas respiratorio secondo quanto stabilito dalla programmazione dell'immersione
- MOD
- pressione di carica

3. PROTOCOLLO LINEA DECOMPRESSIVA DI SICUREZZA

Per quando non si sia trattato di immersioni con decompressione. Ad integrazione di quanto detto in precedenza, va ricordato che ogni speleosub deve essere autonomo con i gas decompressivi necessari per la propria immersione, tuttavia vanno ulteriormente considerati anche questi, nell'ambito delle procedure di emergenze. A tal fine si consiglia quanto segue.

In funzione del tipo di immersione va posta una linea decompressiva di emergenza (le bombole vanno posizionate sotto le tappe decompressive). Si prevede che anche in questo caso dovrà essere presente una linea decompressiva di emergenza ogni due speleosub in acqua. In particolare, tralasciando le decompressioni delle parti più profonde dell'immersione è necessario immettere in acqua:

1) A -21 m una bombola almeno da 7 litri con EAN50 o EAN50/20 marcata DECOSIC, etichettata:

- EAN50 o EAN50/20
- MOD21
- Pressione di ricarica

La bombola deve essere chiusa con erogatore in pressione.

2) A - 6 m una lavagnetta sub e una bombola almeno da 7 litri con O₂ /EAN99 marcata DECOSIC, etichettata:

- O₂ /EAN99
- MOD 6
- Pressione di ricarica

La bombola deve essere chiusa con l'erogatore in pressione.

In caso di utilizzo le bombole devono essere sostituite con altre di analoghe caratteristiche.

4. LA GESTIONE DEI GAS E LA REGOLA DEI TERZI

La regola dei terzi, nella pratica della speleologia subacquea, è da sempre considerata la regola base per una sicura gestione della scorta di gas in grotta. La citiamo per ricordarla ma il suo uso è divenuto ormai così scontato che non merita una approfondita trattazione. Consiste nell'utilizzare il 1/3 della scorta di gas per la progressione e riservare il resto (2/3) per l'uscita e la gestione di eventuali problemi.

Questo principio è valido in teoria, ma in alcuni casi può essere insufficiente o pericoloso, in quanto fattori esterni (lo stress, il freddo, lo sforzo) possono condurre a consumi più elevati di quelli previsti. Pertanto, oltre a quanto scritto in precedenza circa le regole sulla sicurezza si può ridurre ulteriormente passando alla regola dei quarti fino a quello dei quinti. In quest'ultimo caso si

pianificherà l'uso del 1/5 della scorta di gas per la progressione e si riserverà il resto (4/5) per l'uscita e la gestione di eventuali problemi. Il volume di gas rimanente potrà permettere di affrontare gli inconvenienti legati allo stress, alla gestione di eventuali incidenti o del rallentamento della velocità di progressione dovuta a condizioni avverse.

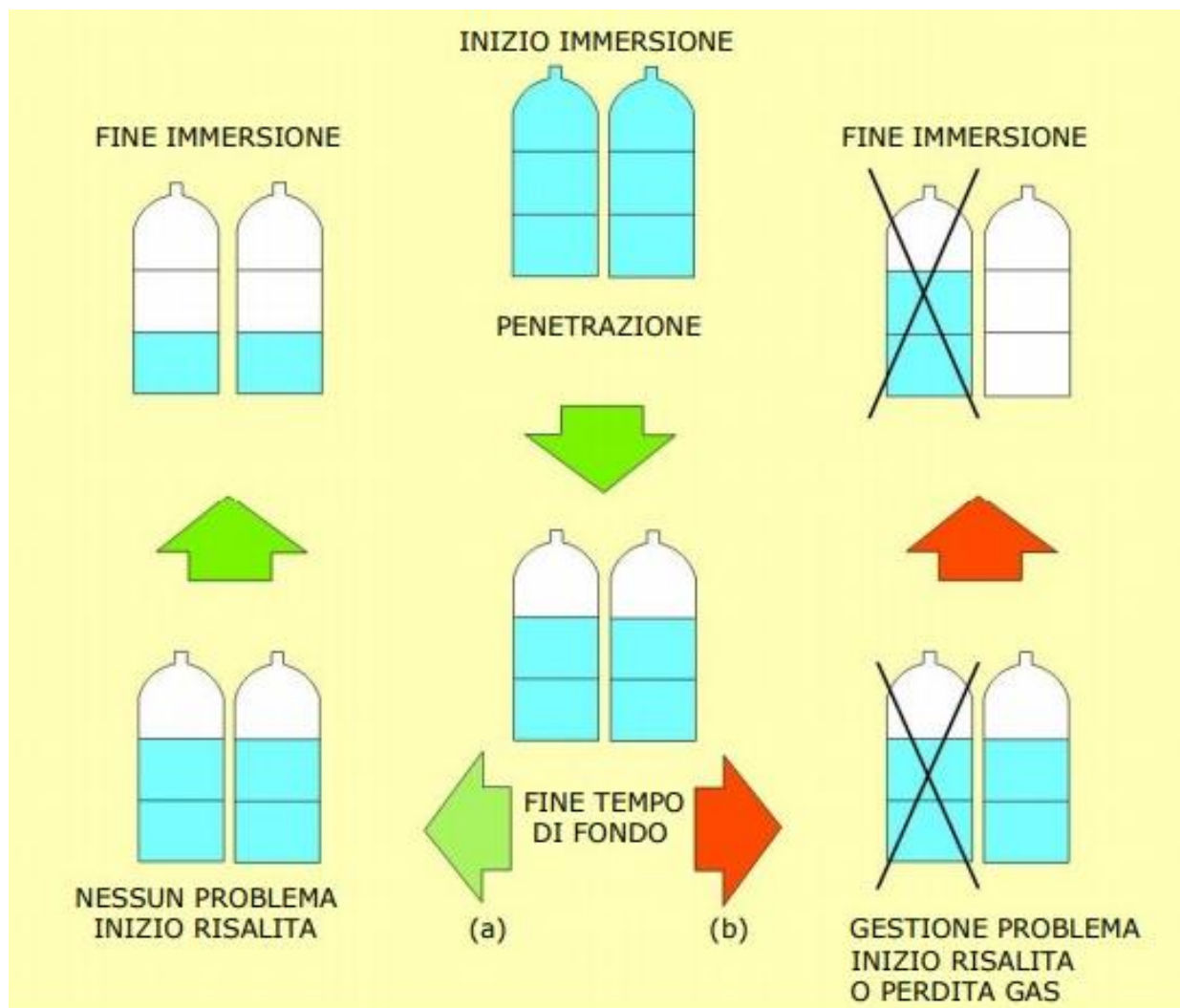


Fig. 1 – Applicazione della regola della terza tratta da http://www.subyanez.it/public/documenti/T_DOC_12_20121127171622.pdf

5. LA DECOMPRESSIONE

Argomento vasto e complesso al quale si potrebbero dedicare libri e seminari. Non è questo lo scopo di questo scritto ed esistono corsi appositi che insegnano le principali tecniche e procedure, in particolare anche all'interno della didattica e della scuola qui rappresentata è uso comune la pratica decompressiva e l'insegnamento delle varie procedure in appositi corsi.

In questa breve panoramica, si vogliono riportare alcuni concetti base che dovrebbero accompagnare lo speleosub nella sua attività. Escludendo da questa trattazione, l'uso dei rebreather l'immersione in grotta avviene con le miscele previste nel piano di immersione ma, in tutti i casi, vanno comunque considerati alcuni elementi di base.

1) La pianificazione in grotta non può essere basata esclusivamente sui computer ma vanno studiati nel dettaglio un piano dei consumi, delle linee di sicurezza e di decompressione e il posizionamento delle bombole in punti che siano facilmente visibili e prossimi al punto nel quale si era programmato di posizzarle. Per le bombole decompressive questo è evidente perché la quota ne determina il punto. Per le bombole di emergenza bisogna seguire il criterio stabilito al momento della pianificazione. Ogni bombola deve essere chiusa, con le fruste in pressione e collegata alla sagola principale.

2) L'immersione può essere guidata dall'uso dei computer ma va pianificata a priori sui consumi non tanto sulla decompressione. Chiaro che ogni grotta profonda avrà bisogno di un piano decompressivo ma è altrettanto importante che prima di questo ci sia una stima dei consumi reali.

3) L'immersione in grotta è una immersione in ambiente ostile, spesso con percorsi a sali/scendi, con acque mediamente fredde e spesso torbide al ritorno. Si consiglia quindi per il calcolo della decompressione di inserire i fattori di sicurezza (grado di sicurezza) che permettano di evitare possibili PDD che sarebbero molto difficili da risolvere in grotta. Banalmente se si usa il V-Planner come pianificatore di immersione è consigliato l'uso del fattore 5 (ovvero il massimo possibile come fattore di sicurezza).

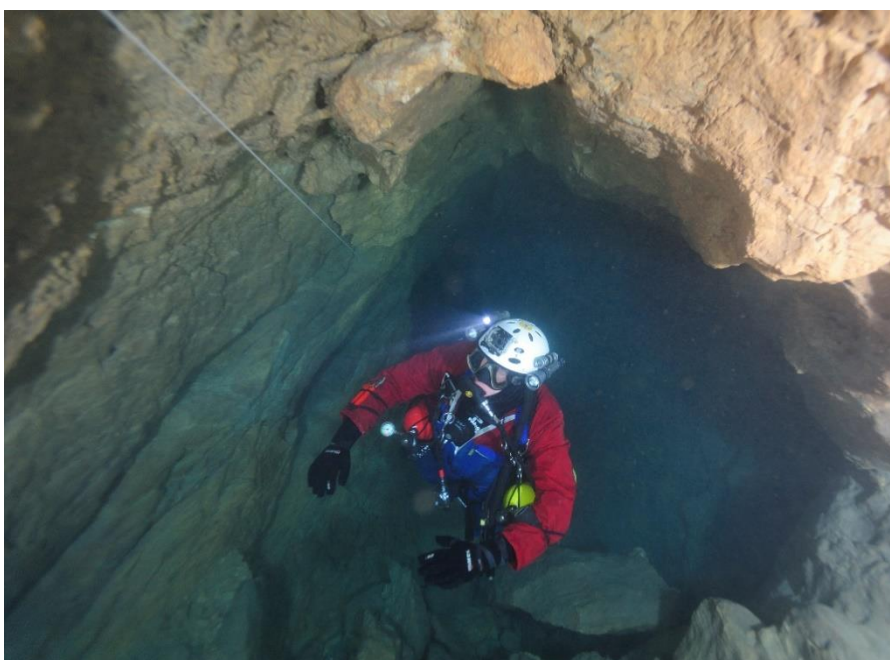


Foto 4 - Grotta della Dragonera in risalita dalle parti più profonde. Autore A. Eusebio

6. LE MISCELE RESPIRATORIE

La maggior parte delle immersioni in acque libere ma anche nelle cavità più semplici, ove la percorrenza può essere limitata sia come profondità che come tempi di percorrenza, si svolgono utilizzando come miscela respiratoria l'aria. L'aria rappresenta un ragionevole compromesso tra la facilità di ricarica, l'uso ad ampio spettro e la non necessità di brevetti particolari che abilitino all'uso di miscele differenti. Continua ad essere il principale gas di progressione e di utilizzo per immersioni semplici, non richiedendo inoltre particolari conoscenze tecniche, l'accortezza è di utilizzare centri di ricarica o propri compressori che forniscano la garanzia di ricaricare "aria pulita".

L'aria compressa respirabile è un gas filtrato, deumidificato e deodorato la cui composizione è il 78,1 % di azoto, il 20,9% di ossigeno, lo 0,9 di argon, mentre la restante parte è composta da altri gas (principalmente anidride carbonica, neon ed elio). L'utilizzo dell'aria come miscela respiratoria in immersioni subacquee avviene mediante la ricarica delle bombole (con pressioni di esercizio normalmente pari a 200 bar) con appositi compressori dedicati a questa attività. Si ribadisce che qualunque sia la miscela che si andrà a scegliere per le nostre immersioni molta cura va posta nella scelta delle stazioni di ricarica. La qualità delle miscele delle stazioni di ricarica non sempre è ottima. Pulizia dei filtri, sostituzione regolare degli stessi, controllo delle perdite d'olio, prese d'aria esterne e lontane da fonti di possibili inquinanti non sono sempre elementi così ovvi. Le conseguenze di una cattiva ricarica possono essere curiose (aria che ha il gusto delle cipolle del soffritto dell'hotel) o importanti, soprattutto per la salute dell'individuo, e per le attrezzature subacquee: bombole ed erogatori. La rilevazione di eventuali inquinanti è tuttavia di difficile determinazione e spesso la si associa all'odore cattivo che fuori esce all'apertura del rubinetto. In realtà questo non è sufficiente a capire la qualità dell'aria che è stabilita da diverse normative in funzione del suo utilizzo, secondo le norme DIN EN 12021 o EN 132 (e successivi aggiornamenti) l'aria è considerata "respirabile" solo se rispetta i seguenti limiti:

- Monossido di carbonio (CO) max. 15 ml/m³
- Anidride carbonica (CO₂) max. 500 ml/
- Vapore acqueo e condensa max. 25 mg/m³

I gas compressi respiratori non devono contenere contaminanti a una concentrazione che possa causare effetti tossici o dannosi. Per la respirazione a pressioni iperbariche (> 1 bar) i livelli devono essere rivisti per tenere conto degli effetti della pressione. I gas respirabili inoltre devono essere privi di odore o sapore insoddisfacente. La presenza di acqua e/o di condensa inoltre può provocare nell'ambiente freddo ed ostile delle grotte:

- Bloccaggio dell'erogatore dovuto alla formazione di ghiaccio in particolari condizioni di acque fredde
- Ossidazione dell'interno delle bombole
- Pneumoconiosi da deposito (le polveri di ossido si depositano nei polmoni)
- Bloccaggio dell'erogatore e/o filtro dovuto alle polveri di ossido di ferro

La presenza di anidride carbonica (in funzione della percentuale e quindi della $PPCO_2$ risultante in profondità):

- Affanno
- Ipercapnia
- Nausea
- Cefalea
- Presenza di monossido di carbonio:
- Ipossia, quasi sicuramente letale

La presenza di olio o di derivati assimilabili può generare:

- Intossicazione acuta. La "puzza" che emette l'aria delle bombole può essere causa in immersione di cefalee più o meno gravi, accompagnate da vomito e mal di testa contratto per la pessima qualità dell'aria. In realtà si tratta di un'intossicazione acuta, e tra l'altro è amplificata dalla pressione alla quale l'aria viene respirata.
- Polmonite lipoidea: quello che il subacqueo ha respirato non è solo aria che "puzza" ma vapori d'olio, che potrebbero causare una parziale occlusione degli alveoli polmonari fino a determinare casi di polmonite lipoidea.



Foto 5 - Spedizione in Bosnia. La ricarica delle miscele era curata direttamente da membri della spedizione. Autore A. Eusebio

Infine, per completezza di informazioni va ricordato che le bombole subacquee devono essere visivamente ispezionate almeno una volta all'anno verificando che al loro interno non si siano formati fenomeni di corrosione. In questo caso la bombola (come anche per i casi precedenti) va ripulita adeguatamente.

In considerazione che le immersioni speleologiche si svolgono in contesti ambientali difficili, con temperature mediamente rigide, attrezzature ingombranti, si tende a limitare l'uso della semplice aria e ad operare in modo nettamente prevalente con miscele più complesse o con miscele iperossigenate per ridurre i tempi di decompressione, aumentare la sicurezza e ridurre la potenziale maggior esposizione al rischio di PDD.

È pertanto diventato di uso comune l'utilizzo di miscele iperossigenate (EANx) o miscele ternarie sia come miscela di fondo (naturalmente quando possibile) sia in fase decompressiva.

Nell'utilizzo di queste miscele si fa riferimento alle normali procedure ed attenzioni previste dalle didattiche senza entrare negli aspetti fisiologici che esulano dagli scopi di questo scritto, riferendosi tuttavia nella pianificazione delle immersioni in particolare a:

- profondità massima di utilizzo delle varie miscele (MOD)
- esposizione e tossicità dell'ossigeno
- narcosi
- ipossia e iperossia
- piani decompressivi
- accumulo e tossicità CO₂

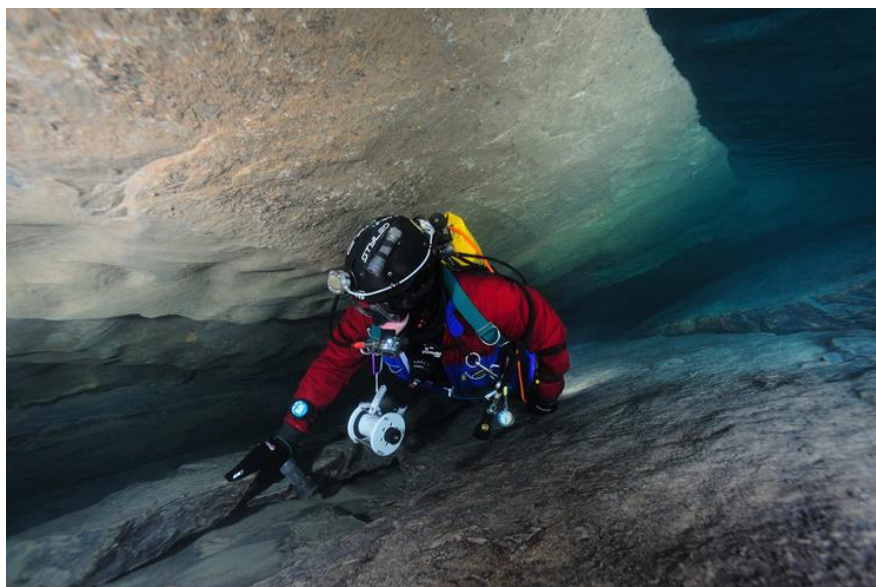


Foto 6 – La strettoia tra il primo e il secondo sifone all'Orso di Ponte di Nava (autore Attilio Eusebio)

7. L'UTILIZZO DI MISCELE IPERROSSIGENATE (NITROX – EANx)

I benefici dell'utilizzo di miscele iperossigenate sono noti da tempo e anche se il loro utilizzo nelle immersioni risale solo alla metà del secolo scorso gli studi sull'uso dell'aria arricchita (che da ora chiameremo generalmente Nitrox o EANx) provengono da molto lontano: già nel 1878 Paul Bert valutava gli effetti tossici dell'ossigeno sull'organismo umano; nel 1899 Lorrain Smith dimostrava che animali sottoposti a respirare per periodi lunghi un'aria moderatamente arricchita in ossigeno sviluppavano problemi polmonari. Per arrivare a tempi più recenti, nel 1944 si scoprì che i sintomi evidenziati da Paul Bert erano simili a quelli conseguenti a danni neurologici mentre dal 1942 la Royal Navy e dagli anni '50 la US Navy hanno iniziato a redigere le prime tabelle di immersione con uso di Nitrox.

Il grande passo in favore del Nitrox nelle immersioni ricreative fu fatto però da Morgan Wells membro del NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Wells studiò principalmente quelle che ancora oggi costituiscono le miscele Nitrox in uso alla subacquea ricreativa: Nitrox I (con ossigeno al 32%) e Nitrox II (con ossigeno al 36%). Il termine Nitrox indica la miscela di due gas: l'azoto (in inglese Nitrogen) e l'ossigeno (oxygen): l'aria, che è sostanzialmente costituita da azoto (78%) ed ossigeno (21%) è Nitrox21 o EAN21.

Oxygen Partial Pressure and Normal Exposure Time Limits For Working Dives (from NOAA 1991 Diving Manual)

Oxygen Partial Pressure Bar or ATA	Maximum Duration (mins) Single Dive	Maximum Total Duration (mins) for 24-hour Period
1.6	45	150
1.5	120	180
1.4	150	180
1.3	180	210
1.2	210	240
1.1	240	270
1.0	300	300
0.9	360	360
0.8	450	450
0.7	570	570
0.6	720	720

N.B. Plan CNS oxygen exposures of no more than 80 percent of NOAA's published limits

© 2010 steve lewis, techdvr training

Attualmente al termine nitrox si preferisce utilizzare l'acronimo EAN (Enriched Air Nitrox). Quando questa miscela contiene una percentuale d'ossigeno maggiore del 21% si usa aggiungere l'indicazione della sua percentuale: EANx avremo quindi EAN32, EAN36, EAN40, e così via per le miscele contenenti 32% ,36%, 40% di ossigeno e, conseguentemente, il 68%, il 64% ed il 60% di azoto.

L'utilizzo di miscele iperossigenate rispetto alla comune aria ha sicuramente dei vantaggi ma impone dal resto alcune restrizioni e le applicazioni di conoscenze che derivano da appositi corsi. Ma quali sono i vantaggi pratici che se ne ricavano dal suo impiego?

Essendo l'assorbimento ed il successivo accumulo d'azoto nel nostro organismo il responsabile principale della comparsa di sintomi da PDD (Patologie Da Decompressione), appare ovvio che respirare una miscela contenente minori percentuali di azoto permetta di ridurre l'assorbimento



dell'azoto e di aumentare i tempi di fondo consentiti in curva di sicurezza o, a parità di tempi di permanenza, di ridurre il rischio di comparsa di sintomi di PDD.

Rispetto all'impiego di aria, l'uso del EANx permette quindi immersioni prolungate ed intervalli di superficie minori in caso di immersioni ripetitive, oppure per grotte multisifone, dove è molto concreta la possibilità di variazioni anche repentine di profondità.

Inoltre l'utilizzo dell'EANx consente di effettuare immersioni con gli stessi tempi di fondo usualmente calcolati con l'impiego di aria, riducendo considerevolmente la possibilità di comparsa di sintomi di PDD soprattutto nei soggetti più a rischio a causa di fattori quali età, sesso, obesità, fumo, freddo, disidratazione, assunzione di farmaci etc.

Prerogativa dell'EANx sembra anche essere quella di una minore sensazione di spossatezza e sonnolenza al termine dell'immersione, fenomeno piuttosto comune con l'impiego di aria, ma che talvolta si manifesta oltre quel normale livello di affaticamento che ci si aspetterebbe dopo una consueta performance psico-fisica, soprattutto se questa si accompagna ad una uscita in grotta.

Questa sensazione, che viene attribuita all'accumulo nei tessuti di micro-bolle silenziose, pare manifestarsi meno frequentemente in coloro che impiegano EANx, essendo inferiore la quantità di azoto assorbito in condizioni di disidratazione e di stanchezza fisica dovuta all'attività speleologica.

Infatti se l'uso del EANx consente maggior permanenza sott'acqua limita d'altra parte le profondità d'uso e particolare attenzione va posta inoltre alle pressioni parziali dell'ossigeno PP_{O_2} ed ai tempi di esposizione, utilizzando la tabella NOAA (NOAA 2018 Diving Manual) come riferimento.

Premesso quanto detto sembrerebbe che l'EANx possa rappresentare la soluzione di tutti o quasi quei problemi normalmente connessi con l'uso del circuito aperto soprattutto per immersioni lunghe a profondità non eccessive, ovviamente le cose non stanno propriamente così.

A livello clinico è infatti ormai ben noto che l'ossigeno, se respirato in concentrazioni (PP_{O_2}) ad una certa soglia critica può portare ad una sintomatologia tossica a carico soprattutto del Sistema Nervoso Centrale. Gli effetti che ne derivano possono essere anche gravi fino a determinare la morte del subacqueo.

A differenza della narcosi d'azoto, il cui manifestarsi è in genere graduale ed avvertibile per cui un subacqueo esperto è quasi sempre in grado ed ha tutto il tempo di porvi rimedio risalendo lentamente a profondità minori, la tossicità da ossigeno spesso si manifesta repentinamente e le convulsioni possono sopravvenire senza alcun preavviso.

Nonostante queste avvertenze lo scopo è quello di aumentare la sicurezza in acqua riducendo la possibilità di comparsa di PDD, aumentare i tempi di progressione a medie profondità e, per pratiche faticose introdurre il beneficio dell'uso dell'EANx anche per sforzi esterni all'attività subacquea ma ad essi connessi (trasporto materiali, risalite da grotte, ecc..) .

Nella pratica speleosubacquea la comunità speleosub ha imposto una serie di restrizioni alle pressioni parziali alle quali si possono respirare miscele iperossigenate. Gli standard, che tengono conto della applicazione delle tabelle NOAA, prevedono:

- Valore massimo in progressione $PPO_2 = 1,4$
- Valore massimo in decompressione $PPO_2 = 1,6$
- Valore massimo in immersioni lunghe, prolungate e/ ripetitive $PPO_2 = 1,2-1,3$

8. CONDIZIONI DI UTILIZZO E PROFONDITÀ MASSIMA (MOD)

Nell'ambito di immersioni speleosubacquee, in condizioni di basse temperature, fatica elevata, stanchezza, immersioni in quota e stress, si consiglia di non superare la pressione parziale massima dell'ossigeno (PPO_2) di 1,4 bar. La Massima Profondità Operativa o MOD (Maximum Operating Depth), utilizzando una particolare miscela d'aria arricchita, sarà quindi determinata dalla profondità alla quale la PPO_2 raggiunge 1,4 bar.

Durante fasi di lavoro in immersione, di recupero, o sul fondo, particolarmente intense o ancora in condizioni ambientali difficili, specialmente nel caso si debbano affrontare lunghi trasporti, lunghe nuotate o si debba fare un lavoro intenso è buona norma limitare, come detto in precedenza la PPO_2 a valori inferiori a 1,4 bar (uno sforzo eccessivo potrebbe infatti aumentare i rischi di tossicità dell'ossigeno).

Solo in fase decompressiva si può anche accettare una PPO_2 più alta, dal momento che si dovrebbe essere più rilassati e non sono richiesti sforzi particolari. Durante la decompressione, la profondità massima in cui si può utilizzare una miscela EANx dipende dalla profondità in cui si raggiunge una PPO_2 di 1,6 bar. Nel caso si utilizzi ossigeno puro in decompressione va ricordato che questo non deve essere assunto a profondità maggiori di 6 metri (evitare $PPO_2 > 1.6$ bar). Tuttavia, è bene ricordare che queste asserzioni sono valide supponendo che si sia appunto rilassati.

Va ricordato a questo proposito che la tossicità dell'ossigeno non perdona. Per la valutazione della MOD si propone di utilizzare la seguente espressione:

$$MOD = ((PPO_2 * 10) / fO_2\%) - 10$$

in cui:

- MOD è la profondità massima operativa espressa in metri
- PPO_2 è la pressione parziale di ossigeno espressa in bar
- fO_2 è la percentuale di ossigeno presente nella miscela



9. RESTRIZIONI CONCERNENTI LA PPN (pressione parziale di azoto)

In funzione della percentuale di gas presenti, ad ogni miscela corrisponde una profondità massima da non superare (legata alla massima esposizione alla PPO_2), ma non soltanto a questa, infatti, per avere anche la lucidità relativa ad affrontare l'impegno di una immersione speleosubacquea. Si valuta una soglia massima della PPN che non dovrebbe essere superata, i valori consigliati si attestano tra 3 e 3,5 PPN (ovvero per una profondità equivalente in aria tra i 28 e i 34 metri).

Questa profondità viene chiamata Profondità Equivalente di Narcosi (END) ed indica la zona in cui potrebbe manifestarsi la narcosi per azoto e ossigeno. Va ricordato inoltre che una PPN superiore a 8 bar è, nella pratica corrente, considerata mortale (circa 90 metri).

La Profondità Equivalente di Narcosi (END) indica la profondità in cui potrebbe manifestarsi la narcosi per una determinata miscela di gas rapportandola alla profondità equivalente se si stesse respirando aria. Se questa, per esempio, ha un END di 30 metri a 60 metri, significa che respirare quella miscela a 60 metri provoca la stessa narcosi come se si respirasse aria a 30 metri. Un tempo era comune calcolare l'END per l'aria arricchita EANx, oggi calcolare l'END è realmente rilevante solo per le miscele di gas che contengono elio.

Infatti, attualmente si tende a considerare l'ossigeno come narcotico analogamente all'azoto. Quindi se ne ricava, a favore di sicurezza, che l'END non cambia quando si usa un EANx.

Tuttavia, nelle immersioni che prevedono una miscela iperossigenata non è infrequente oggi che venga aggiunta una percentuale di elio, che seppur minima, contribuisce a rendere il gas più facilmente respirabile ed a ridurre ulteriormente l'END e l'esposizione all'azoto. In realtà queste miscele sono più frequentemente usate come miscele decompressive e l'aggiunta di elio serve a mantenere basso il livello di PPN dell'azoto.

10. GESTIONE DELL'OSSIGENO E AIR BREAK

La respirazione di ossigeno puro è limitata alla decompressione in acqua a profondità inferiori ai 6 metri ($PPO_2 < 1,6$ bar). La tossicità neurologica (effetto Paul Bert) è la maggiore preoccupazione del tecnico che utilizza miscele contenenti ossigeno, perché può provocare convulsioni in grado di portare all'annegamento; contrariamente alla tossicità polmonare (effetto Lorrain Smith) è un problema che si presenta più a lungo termine. Per entrambi i problemi in fase decompressiva esiste una procedura che viene definita: Air Break o Interruzione ad aria.

Si tratta di una tecnica usata per mantenere i livelli di PPO_2 entro i limiti di sicurezza. Essa prevede che mentre si sta eseguendo la decompressione con l'ossigeno o un EANx ad una data profondità, si effettui un cambio respirando una miscela con una più bassa percentuale di ossigeno.

La procedura proposta prevede che, mentre si sta eseguendo la decompressione con l'ossigeno o un EANx ad una data profondità con una PPO₂ di 1,6 bar, si effettui un cambio respirando aria (o una miscela EANx con una minore PPO₂ riducendo enormemente l'irritazione delle vie aeree ed il rischio di convulsioni causate sovraesposizione all'uso dell'ossigeno a PPO₂ elevate. Questo al fine di dare "respiro" al proprio corpo dopo una lunga esposizione all'ossigeno. Le "interruzioni ad aria" dell'ossigeno, quindi dovrebbero essere considerate una procedura standard, non limitata alla PPO₂ di 1,6.

La durata tipica della interruzione d'aria è respirare per 5 minuti la miscela di fondo (o una miscela di gas con una percentuale di ossigeno inferiore) ogni 20/25 minuti di respirazione ad ossigeno.

L'interruzione di 5 minuti non deve essere conteggiata nel computo della decompressione quando si sta seguendo la pianificazione di una decompressione accelerata. Bisogna considerare le "interruzioni d'aria" se ci si sta decomprimendo usando un computer subacqueo o una tabella per una singola miscela di gas usando l'aria arricchita e /o l'ossigeno puro per effettuare una pianificazione più cautelativa.



Foto 7 – Grotta di Riu Neri in Friuli, in uscita dal secondo sifone. Autore A. Eusebio

11. LE MISCELE TERNARIE

Mentre è abbastanza diffuso l'utilizzo di miscele iperossigenate (EANx) per la progressione in grotta e l'addestramento necessario al loro utilizzo è relativamente semplice, l'uso di miscele ternarie presenta maggiori difficoltà, la pianificazione delle immersioni diventa più complessa, le profondità raggiunte sono più importanti e il loro utilizzo richiede un addestramento particolare. Per utilizzare miscele ternarie è necessario frequentare i corsi specifici previsti dalle varie didattiche.

Anche se l'utilizzo di miscele di gas ha una lunga storia, è solo da relativamente poco tempo che il Trimix è considerato una miscela di gas valida per l'uso nel campo subacqueo. Nel 1919 il professor Elihu Thomson teorizzò che la narcosi d'azoto che colpiva i palombari in profondità sarebbe diminuita utilizzando un gas diverso dall'aria, e suggerì che l'elio poteva essere utilizzato come diluente dell'ossigeno nelle immersioni più profonde. Quando gli scienziati e i subacquei acquisirono maggiori conoscenze circa gli effetti delle immersioni profonde sul corpo umano, cominciarono a sviluppare maggiormente l'uso dell'elio nelle miscele respiratorie e, dal 1925 la US Navy cominciò ad impiegare miscele contenenti diverse percentuali di elio. Dopo varie prove, ricerche e operazioni di salvataggio e recupero avvenute nel corso di una cinquantina d'anni, Tom Mount nel 1991 mise a punto i primi standard di addestramento per l'uso di trimix in ambito non militare.

Oggi ormai l'elio è un gas largamente utilizzato per le immersioni profonde, di solito oltre le quote di 50/60 metri. In pratica l'elio viene inserito nella miscela respiratoria al posto di parte dell'azoto, per formare miscele binarie chiamate "heliox" (elio + ossigeno) oppure ternarie chiamate "trimix" (elio + azoto + ossigeno).

Per contro l'uso dell'elio, in grotta, sarebbe da prevedersi quando l'immersione programmata supera la zona dei 40 m. La scelta di una miscela tipo trimix è in relazione alla natura dell'immersione (lunga esposizione, lavori particolari, acqua fredda ecc.) fattori che richiedono una lucidità elevata in condizioni ambientali critiche. Il valore della PPO₂ alla profondità massima prevista deve situarsi entro 1,2 e 1,4 bar.

All'interno delle miscele ternarie possiamo distinguere tre grandi gruppi:

- miscele trimix iperossiche con valori di O₂ superiori al 18%
- miscele trimix normossiche con valori di O₂ compresi tra il 18% e il 21%
- miscele trimix ipossiche con valori di O₂ inferiori al 18%

Al primo gruppo appartengono molte delle miscele decompressive nelle quali si preferisce inserire una quota parte di elio per aumentare la lucidità ed avere dei profili decompressivi più lineari, tipiche di questo gruppo sono l'EAN50/20 (dove il 50% è rappresentato dall'ossigeno, ed il 20% dall'elio, il restante è azoto), altra miscela molto comune è l'EAN30/35 (dove il 30% è ossigeno, il 35% elio e il

resto azoto). Ne esistono molte altre naturalmente e ognuno di queste rappresenta l'evoluzione di un ciclo di una scuola di pensiero.

Il secondo gruppo è rappresentato dai trimix normossici, queste sono principalmente miscele di fondo che si utilizzano dai 40 ai 60 metri con percentuali di elio e ossigeno variabili e che sostanzialmente rispondono a due principali esigenze. La prima non superare sul fondo la PPO₂ di 1,4 bar, la seconda di ridurre l'equivalente narcotico in modo importante con valori di PPN compresi tra 3,0 e 3,2 bar (ovvero un equivalente in aria intorno ai 30 metri). Si tratta di miscele di uso comune i cui protocolli di utilizzo non sono oggetto di questo scritto ma che trovano applicazioni abbastanza diffuse nella pratica delle immersioni tecniche e speleosubacquee.

Il terzo gruppo è più delicato, la percentuale di ossigeno può scendere di molto e quello dell'elio aumentare di conseguenza, sono dedicate alle immersioni molto profonde, ai lavori dei sommozzatori o dei professionisti del settore che operano abitualmente fino a oltre 300 metri in saturazione, con miscele sintetiche a basso contenuto di ossigeno. Oltre all'elio in questo caso si sostituisce l'azoto con l'idrogeno formando una nuova miscela chiamata hydreliox, questa viene abitualmente utilizzata dalle società commerciali subacquee dalla profondità di 130 metri fino a quasi 500 metri. Si tratta evidentemente di situazioni molto particolari che finora non hanno avuto applicazione nel mondo della speleologia subacquea.

I vantaggi principali nell'utilizzo di miscele contenenti elio al posto di parte dell'azoto sono notevoli, specialmente, come già detto, per il controllo del livello narcotico, che in base alla quantità di azoto che si toglie si può ridurre notevolmente fino a eliminarlo quasi completamente nell'heliox.

Inoltre, le miscele trimix sono più facili da respirare, perché l'elio è un gas meno denso rispetto all'aria. Infine, se un subacqueo abbina l'immersione in trimix con gas decompressivi tipo ossigeno puro o EAN50 e con un altro gas di trasferimento ("miscela di viaggio"), può abbassare molto i tempi decompressivi.



Tra gli svantaggi va citato sicuramente il costo, la maggiore conducibilità termica, la maggiore diffusione nei tessuti fattore che necessitano un addestramento molto rigoroso e piani decompressivi particolari.

Foto 8 – Le gallerie di Ressel (Lot-Francia), in configurazione classica. Autore A. Eusebio.