

## Cosa è un Rebreather

Un sistema di respirazione autonoma a circuito chiuso.

Di solito è costituito da un loop di respirazione (breathing loop) dentro il quale il sub espira e dal quale il sub inspira. La particolarità è che il flusso della miscela respirata si muove solo in un senso. Tutti i rb moderni sono costituiti più o meno dai soliti elementi, un boccaglio collegato a dei tubi di gomma corrugata, uno per l'inalazione e uno per l'esalazione, un sistema di addizione di ossigeno al loop, un sistema per rimuovere l'anidride carbonica dal loop, una sacca morbida o contropolmone ( per fornire al sub il gas sufficiente per respirare).

L'ossigeno viene aggiunto al loop per sostituire quello metabolizzato dall'organismo e l'anidride carbonica prodotta del sub viene rimossa attraverso un assorbente chimico.

Dato che la maggior parte del gas del loop rimane al suo interno, invece di essere espulsa sott'acqua come i sistemi scuba (Self Contained Underwater Breathing Apparatus), il rebreather è molto più efficiente , dal punto di vista del consumo di gas, e ci fornisce una autonomia molto maggiore.

La grandezza dei contropolmoni è un aspetto critico del design di un rb, perché devono essere sufficientemente grandi per fornire il volume del gas che il sub inspira ed espira in un singolo atto respiratorio. Molti incorporano due contropolmoni nel breathing loop, uno di inspirazione e uno di espirazione.

Dato che i contropolmoni si espandono quando il sub espira il volume totale (di galleggiamento) del sub rimane costante. Quindi a differenza dei sistemi scuba, tra la fase inpiatoria e quella espiatoria l'assetto non cambia.

Ci sono tre tipi di rebreather, quelli a Ossigeno puro, quelli a circuito semi-chiuso, e quelli a circuito chiuso a miscele con controllo elettronico.

Analizzeremo nel dettaglio solo quelli a circuito chiuso a miscele (CCR).



## I rebreather a circuito chiuso Closed-Circuit Rebreather - CCR

Sono diversi dai semichiusi per due ragioni, primo il gas non è periodicamente ventilato fuori dal loop, eccetto in risalita, secondo la percentuale di ossigeno nel loop è dinamica, cioè cambia con la profondità, poiché è la pressione parziale dell'O<sub>2</sub> che invece è mantenuta costante, invece della percentuale.

Sono inoltre caratterizzati dalla presenza di due bombole separate di O<sub>2</sub> e di diluente (quest'ultimo può essere aria, EANx, eliox, trimix). L'aggiunta di O<sub>2</sub> è regolata da un sistema elettronico collegato a dei sensori di ossigeno e ad una valvola di aggiunta dell'O<sub>2</sub> stesso controllata elettronicamente (o manualmente come back-up), invece di una valvola a massa costante come nei semi chiusi.

L'aggiunta di diluente è una operazione manuale o automatica. Nel secondo caso è presente una valvola di addizione su un contropilone che quando collassa viene attivata aggiungendo quindi diluente al loop. Altrimenti si usa un pulsante manuale.

Il sistema elettronico ci fornisce molte informazioni dettagliate, specialmente se nel controller è implementato un sistema di decompressione in tempo reale.

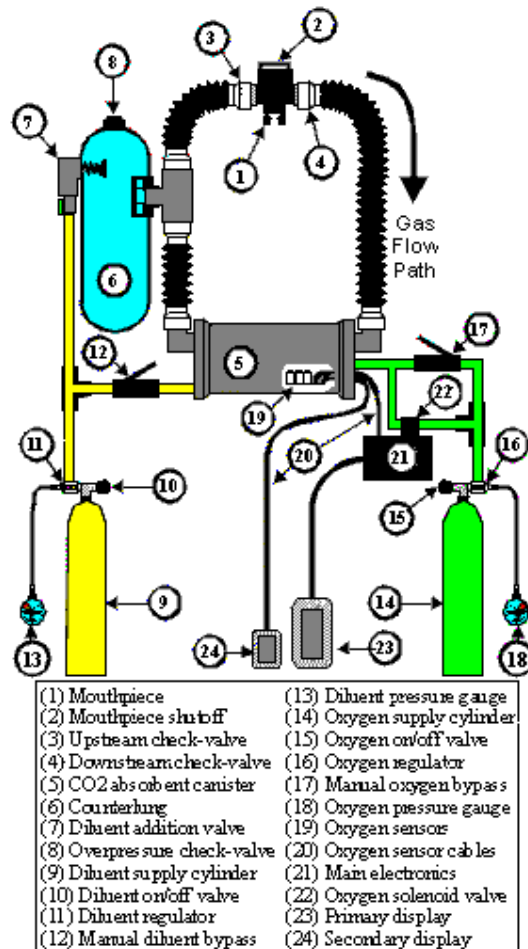
Il sub ha la possibilità di selezionare un Set – point, cioè un valore di pressione parziale dell'O<sub>2</sub> di suo piacimento (di solito 1,3 o 1,4 ), a volte questa operazione è possibile anche sott'acqua, per aumentare l'efficienza della deco. Il punto critico è la monitoraggio di questo set point, cioè del valore di PO<sub>2</sub> prescelto, quindi in molti rb è presente un secondo controller di back up.

Sono questi il tipi di rebreather più complessi e richiedono più attenzione nel controllo della PO<sub>2</sub>, per mantenerla entro limiti di sicurezza (soprattutto l'alta PO<sub>2</sub>).

Di contro sono quelli che ci danno i vantaggi maggiori rispetto ai semi chiusi, perché il consumo di gas è molto minore per esempio, e perché il mantenimento di una PO<sub>2</sub> costante , riduce di molto i tempi di decompressione.

Ci sono svantaggi e vantaggi per ogni tipo dei rb elencati prima.

### Closed-Circuit Rebreather



## I CCR e la pressione parziale di O2

Ricordiamoci la legge di Dalton:

Per semplicità diremo che la pressione totale di una miscela è uguale alla somma delle pressioni parziali dei singoli componenti della miscela stessa e che la pressione parziale di ogni singolo componente della miscela è direttamente proporzionale alla percentuale di quel gas nella miscela.

---

Esempio

Miscela: Aria

L'aria è costituita dal 21% di O<sub>2</sub> e dal 78% di azoto. Il restante 1% sono gas nobili. A terra la pressione atmosferica è circa 1 bar quindi nella "miscela aria" la Pressione parziale dell'O<sub>2</sub> è 0,21 bar e quella dell'azoto 0,78 bar, che sommate fanno circa 1 bar.

A 30 mt la pressione ambiente (assoluta) è di 4 bar. Nella miscela aria le proporzioni non cambiano, quindi la PO<sub>2</sub> sarà  $0,21 \times 4 = 0,84$  e la PN<sub>2</sub> sarà  $0,78 \times 4 = 3,12$  la cui somma è 3,96 bar (aggiungete 0,04 bar di gas nobili).

---

Si capisce quindi il bisogno di avere molto chiara la fisica dei gas per quanto attiene alle pressioni parziali. Questa comprensione è vitale per i sub che usano il rebreather. Nei rb a circuito chiuso l'elettronica mantiene la PO<sub>2</sub> ad un livello costante, detto set point. Quando i sensori nel loop avvertono una diminuzione di PO<sub>2</sub> il controller apre una valvola a solenoide che aggiunge ossigeno nel loop. Quindi la PO<sub>2</sub> è mantenuta costante. Il volume del gas rimanente è costituito dal diluente il quale è per la maggior parte gas inerte e non viene metabolizzato.

Esempio:

Immaginiamo un sub a 30 mt con un CCR (closed circuit rebreather), dove la pressione ambiente è 4 bar. Se il set point dell'O<sub>2</sub> è mantenuto costante a 1,4 dal sistema (cioè la pressione parziale dell'ossigeno è a 1,4), la pressione parziale del gas inerte (nel caso di diluente aria sarà azoto) sarà 2,6 (e non 3,12 come visto nell'esempio precedente).

Se il sub risale a 10 mt. La pressione ambiente si riduce a 2 bar. Dato che la PO<sub>2</sub> nel loop è sempre a 1,4 allora la PN<sub>2</sub> (pressione parziale dell'azoto) sarà 0,6 bar e non 1,56 (come in un sistema scuba).



## Rebreather a circuito chiuso e decompressione

E' la pressione parziale del gas inerte nel sistema di respirazione che determina i tempi di deco, quindi per minimizzare i suddetti tempi dobbiamo minimizzare la pressione parziale del diluente (cioè dell'inerte). Questo si ottiene mantenendo la PO<sub>2</sub> al massimo consentito (entro i limiti di tossicità dell'O<sub>2</sub>). Nei sistemi scuba la % dell'O<sub>2</sub> è costante, il che significa che la PO<sub>2</sub> è massima solo nella parte più profonda dell'immersione. Durante tutte le altre fasi la PO<sub>2</sub> è sotto il massimo. Per aumentare l'efficienza della deco alcuni sub usano in decompressione gas diversi dall'aria, per avere un'alta PO<sub>2</sub>. Tuttavia questa pratica è limitata dalla logistica, ad due o massimo tre diverse miscele, quindi la miscela sarà ottima solo in due o tre punti dell'immersione.

---

Esempio:

Immaginiamo un sub in circuito aperto a 30 mt che respira EAN35. La pressione ambiente è di 4 bar quindi la PO<sub>2</sub> sarà di 1,4 bar (0,35 x 4) e la PN<sub>2</sub> di 2,6bar. In un sistema a circuito chiuso, che usa aria come diluente e un set point di 1,4 bar, la situazione sarà esattamente la stessa del sub in circuito aperto.

Quando il sub con "scuba" sale a 15 mt, dove la pressione ambiente è 2,5 bar, la PO<sub>2</sub> sarà di 0,875 bar e la PN<sub>2</sub> di 1,625bar. Alla stessa profondità il sub con il rebreather, con un set point a 1,4 bar avrà nella miscela una PN<sub>2</sub> di 1,1 bar, quindi la differenza (tra le pressioni parziali dei gas inerti) sarà di 0,525 bar, cioè di circa il 32% e la sua decompressione sarà molto più breve.

---

Proprio perché i rebreather mantengono una PO<sub>2</sub> costante (riducendo l'esposizione al gas inerte) possono ridurre drasticamente i tempi di deco in confronto al circuito aperto. Alcuni possono cambiare il set point in immersione aumentando ancora questo effetto.

## FISIOLOGIA BASICA DELLA RESPIRAZIONE

Nonostante che il 21% dell'aria che respiriamo al livello del mare sia costituito da ossigeno, non tutto questo passa dagli alveoli direttamente nel sangue. Solo una piccola quantità di questo viene infatti utilizzato (la quantità reale dipende da vari fattori, ma generalmente varia da un terzo ad un quarto di quello inalato). La maggior parte dell'ossigeno inalato dal sub si disperde nell'espiazione e circa l'80-82% di quello assorbito viene convertito dal processo metabolico in anidride carbonica, la quale è a sua volta eliminata dal corpo con l'espiazione.

Nella maggior parte dei casi lo stimolo della respirazione deriva dal bisogno di espellere la CO<sub>2</sub> invece che dal bisogno di nuovo O<sub>2</sub>, quindi il nostro ritmo respiratorio è regolato più da quanta anidride carbonica produciamo durante il metabolismo che non dalla concentrazione di O<sub>2</sub> nella miscela. Un aumento della concentrazione di O<sub>2</sub> nel gas inspirato non riduce significativamente il rateo della respirazione a parità di sforzo fisico.

Il rateo di respirazione, unito al volume del gas ventilato in ogni singolo atto, determina il "volume di respirazione in un minuto" RMV (respiratory minute volume). Questa è appunto una misura di quanto gas respiriamo in un minuto. L'autonomia di un sistema scuba dipende da questa misura, da quanti litri il sub consuma al minuto (la quale è data a sua

volta di rateo di produzione di CO<sub>2</sub>) e dalla profondità (o meglio dalla pressione ambiente). La concentrazione dell'ossigeno nella miscela non ha praticamente effetto sull'RMV (consumo del gas al minuto).

Proprio per questo i sistemi scuba sono particolarmente inefficienti per sostenere un sub in immersione, perché la maggior parte del gas si perde nell'atto espiatorio. E proprio perché a grande profondità la quantità di gas espirato è progressivamente maggiore, lo sarà anche l'inefficienza del sistema.

I rebreather invece, riutilizzando e "riciclando" il gas espirato, sono molto più efficienti. Nei sistemi a circuiti chiusi praticamente tutto il gas trasportato dal sub è disponibile per il processo metabolico (l'unico che si perde è quello scaricato in risalita, quello usato per pulire la maschera e eventuali perdite). Inoltre non si perde praticamente nulla del gas inerte perché la stessa quantità di diluente continuerà a rimanere all'interno del loop per tutta l'immersione.

Nei sistemi completamente chiusi il volume del gas consumato è indipendente dalla profondità, quindi più si va fondi più i rebreather saranno efficienti in confronto ai sistemi scuba.

Per questo motivo i rb richiedono minori riserve di gas (bombole più piccole). E' importante notare che certe autonomie dei rb dipendono dai consumi metabolici piuttosto che dal rateo respiratorio.

Alti ratei di respirazione potrebbero non ridurre l'autonomia di gas di un rb, al contrario il trattenere il respiro o una respirazione lenta possono non aumentarlo.

Il nostro rateo di respirazione è personale e rappresenta il modo in cui noi "nutriamo" il nostro organismo, che comunque rimane più o meno lo stesso.

## TOSSICITA' DEI GAS

Anche se trattata ampiamente in molti testi di immersione tecnica, vale la pena riprendere il discorso della tossicità dei gas. I rb ci permettono un utilizzo dei gas molto più efficiente dei sistemi scuba, abbiamo visto, e (nel caso dei circuiti completamente chiusi) una minore durata della decompressione.

Ci sono però una serie di problemi che possono diventare importanti quando c'è un malfunzionamento dell'apparecchio o si hanno delle cattive abitudini di immersione. In generale si parla del cattivo mantenimento di una miscela in grado di sostenerci (una miscela cioè respirabile) all'interno del breathing loop. In molti casi le problematiche che potrebbero accadere sarebbero poco importanti in circuito aperto, ma diventano fatali per i sub che usano i rebreather.

Molti rb incidono nei sistemi per ridurre la possibilità che questi problemi si verifichino. Tuttavia non esiste una ridondanza dei componenti, o un design così perfetto da metterci completamente al sicuro che la miscela che stiamo respirando sia capace di mantenerci in vita.

Quindi è fondamentale che i "rebreather divers" capiscano e facciano proprie queste problematiche e che pratichino regolarmente esercizi di simulazione di emergenza per essere capaci di affrontare l'evenienza nel caso si verifichi.

**La composizione della miscela che respiriamo in un sistema scuba è costante e prevedibile, in un rebreather è dinamica, cambia sempre durante tutta l'immersione.**

## Asfissia

Se respiriamo da un sacchetto di plastica chiuso il livello di CO<sub>2</sub> aumenterà e quello di ossigeno diminuirà progressivamente (consumato dal nostro metabolismo). Queste

condizioni ci portano ad un "accorciamento" progressivo del respiro, il cosiddetto fiato corto, conosciuto come *dispnea*. Se questo processo continua il risultato sarà la perdita di conoscenza e la morte. Le difficoltà di respirazione sono dovute principalmente all'aumento di CO<sub>2</sub> e la morte deriva dalla mancanza di O<sub>2</sub>. Quindi, nonostante l'aumento di anidride carbonica nel sacchetto sia la causa della sensazione di disagio e quella che influenza i ritmi respiratori, è il progressivo consumo di O<sub>2</sub> la maggiore preoccupazione.

## IPOSSIA

Mentre i problemi associati con *l'iperossia* sono più familiari ad un sub in circuito aperto, quelli legati all'ipossia invece sono meno conosciuti e non rappresentano generalmente una minaccia. L'ipossia è definita come una concentrazione insufficiente di ossigeno a livello cellulare, tale che le cellule non possono funzionare regolarmente. Le cellule del cervello sono quelle che risentono per prime dell'ipossia e il risultato sarà appunto la perdita di conoscenza e la morte.

L'ipossia è uno delle maggiori preoccupazioni usando i rebreather e forse **la** maggiore con i sistemi a circuito chiuso. L'ipossia non è potenzialmente pericolosa per le sue eventuali e fatali conseguenze, ma anche perché, come la tossicità dell'O<sub>2</sub>, non ci fornisce quasi mai avvisi del suo insorgere.

In un rb con un sistema di addizione di O<sub>2</sub> che non funziona bene il suo insorgere può essere molto lento. Un sub estremamente attento può notare sintomi subdoli quali la scoordinazione dei movimenti, l'euforia, l'incapacità di pensare chiaramente e/o eseguire compiti semplici, prima della perdita di conoscenza.

Questi sintomi saranno evidenti se la pressione parziale dell'ossigeno scende sotto 0,15 bar e la perdita di conoscenza ci sarà sicuramente se continua a scendere a valori di 0,10 bar.

Se un sub che ha subito un fenomeno di ipossia non viene subito assistito con la somministrazione di ossigeno, la conseguenza della perdita delle funzioni cerebrali porterà alla perdita del controllo della respirazione.

Se viene somministrato ossigeno o aria arricchita di O<sub>2</sub> prima della perdita di questa capacità ci sarà un recupero completo. A causa del piccolissimo margine d'errore, i sintomi di ipossia possono passare facilmente inosservati, e dato che un aumento della sensazione di euforia e una riduzione delle capacità mentali può compromettere la capacità del sub di prendere azioni correttive in tempo utile, è estremamente importante che un rb diver assicuri il livello di O<sub>2</sub> nel suo loop ad un valore ben al di sopra del livello ipossico.

L'ipossia è una preoccupazione grave soprattutto nei sistemi completamente chiusi ma anche in tutti gli altri sistemi (semi-chiusi e ad O<sub>2</sub>).

**L'ipossia è una grande preoccupazione per il rebreather diver perché può portare alla perdita di conoscenza senza avvertimenti.**

## IPEROSSIA

L'iperossia è definita come l'eccesso di concentrazione di ossigeno a livello cellulare. La maggior parte degli uomini può sostenere PO<sub>2</sub> di 0,35 bar per un tempo indefinito (estremamente lungo).

Se la PO<sub>2</sub> della miscela inspirata supera il valore di 0,5 bar per periodi molto lunghi allora si ha l'apparizione di fenomeni di tossicità in entrambe le due forme conosciute.

Sopra una PO<sub>2</sub> di 1,0 bar e con tempi di esposizione relativamente corti, questi sintomi diventano meno prevedibili e le sue manifestazioni più gravi.

Nonostante siano state riportate una varietà di sintomi, una grave iperossia può manifestarsi con convulsioni violente. Anche se queste manifestazioni convulsive non siano pericolose abbastanza da ucciderci, per un sub che non indossi una maschera gran facciale porteranno facilmente all'annegamento. Le convulsioni non sono precedute da sintomi affidabili per cui sono particolarmente pericolose. I fattori che possono influenzare la probabilità dell'insorgere di queste convulsioni sono diversi e vari, ma quelli più importanti sono l'entità della PO<sub>2</sub> e la durata di esposizione, il livello di esercizio e l'accumulo dell'esposizione all'ossigeno.

Anche se la misura della "dose" cumulativa del livello di esposizione all'ossigeno dovrebbe essere familiare a tutti i sub esperti di nitrox ne discuteremo con particolare riferimento ai rebreather.

La tabella ci mostra i livelli limite di esposizione all'ossigeno per una singola immersione sui quali sono basati i calcoli della percentuale di CNS clock.

<b>Pressione parziale (ata/bar)</b>	<b>Esposizione singola (minuti)</b>	<b>Esposizione singola (ore)</b>
1,6	45	0,75
1,5	120	2,00
1,4	150	2,50
1,3	180	3,00
1,2	210	3,5
1,1	240	4,00
1,0	300	5,00
0,9	360	6,00
0,8	450	7,50
0,7	570	9,50
0,6	720	12,00

Fonte: NOAA

I limiti di tempo definiscono la durata massima della singola esposizione ad una data pressione parziale di ossigeno, al di sopra del quale possono manifestarsi i sintomi di tossicità dell'ossigeno sul sistema nervoso centrale.



La tabella successiva mostra inoltre i valori di OTU (oxygen toxicity units, unità di tossicità dell'O<sub>2</sub>) di un singolo o di più giorni di esposizione.  
Valori basati sul sistema di esposizione ripetuta (repetitive exposure system) o *REPEX*.

Giorni di "missione"	Unità massima giornaliera (OTU)	Unità massima totale di OTU
1	850	850
2	700	1400
3	620	1860
4	525	2100
5	460	2300
6	420	2520
7	380	2660
8	350	2800
9	330	2970
10	310	3100
11	300	3300
12	300	3600
13	300	3900
14	300	4200
14-30	300	N/A

I sub in circuito aperto saranno esposti alla massima PO<sub>2</sub> solo durante la fase più profonda della loro immersione.

La PO<sub>2</sub> in un circuito chiuso rimane costante per tutta la durata dell'immersione, a prescindere dalla profondità.

Se il set point dell'O<sub>2</sub> è selezionato ad un valore relativamente alto, così da minimizzare i tempi di deco, la % di esposizione del CNS potrebbe diventare il nuovo limite.

In immersioni effettuate per molti giorni di seguito potrebbero essere limitanti le unità di ossigeno accumulate (OTU).

I benefici di alte PO<sub>2</sub>, per quanto riguarda la decompressione, devono essere bilanciati con i tempi e le percentuali di accumulo a carico del sistema nervoso centrale.

**Con sistemi di respirazione a circuito chiuso, dove la PO<sub>2</sub> della miscela respirata rimane relativamente alta durante tutta l'immersione, la percentuale di esposizione del CNS (CNS clock) può essere il fattore limitante dell'immersione stessa**

Quando si usa un rebreather a circuito chiuso, la PO<sub>2</sub> reale del loop può subire, in certe circostanze, temporanee deviazioni dal set point.

Queste deviazioni possono avvenire durante il normale funzionamento, dato che il sistema tenta di compensare le fluttuazioni della PO<sub>2</sub>, o come conseguenza di un malfunzionamento del sistema di addizione di ossigeno.

Improvvisi cambi di quota possono avere profonda influenza sulla PO<sub>2</sub> della miscela respirata. Se la pressione ambiente sale (discesa) anche la PO<sub>2</sub> salirà e se il set point dell'O<sub>2</sub> è relativamente alto (per es. 1,6 bar) il momentaneo aumento della PO<sub>2</sub> potrebbe essere pericoloso.

Molti rebreather sono disegnati per compensare automaticamente con l'addizione di diluente nel loop durante le discese, prevenendo così le spike (scintille) di O<sub>2</sub> e i

superamenti del limite impostato, per questi motivi la PO<sub>2</sub> in un sistema chiuso deve essere attentamente monitorizzato.

Durante le salite il problema si rovescia. La caduta di pressione ambiente provoca una caduta della PO<sub>2</sub> nel loop. Se questa caduta ha un rateo maggiore di quello che il rb è in grado di compensare possiamo incorrere nell'ipossia.

Per le ragioni sopraesposte **il set point non dovrebbe essere maggiore di 1,4 bar** e tutte le volte che possibile dobbiamo abbassare il set point. Selezioni più alte possono essere utili in decompressione, in certe immersioni. Questa scelta deve comunque essere un compromesso tra la durata dell'immersione e il carico di lavoro.

## IPERCAPNIA

L'ipercapnia è un eccesso di anidride carbonica a livello delle cellule e, nei sistemi a circuito chiuso, può essere un grave problema in qualsiasi forma si presenti. Dato che la miscela di gas nei rb è riciclata dentro al breathing loop, l'anidride carbonica in eccesso, prodotta dalla respirazione, deve essere eliminata in qualche modo.

Questo si riesce ad ottenere facendo passare la miscela stessa dentro una "cartuccia" chimico contenente una sostanza assorbente, che "intrappola" le molecole di CO<sub>2</sub>. Questa cartuccia è contenuta di solito all'interno di un contenitore più grande chiamato usualmente filtro.

Con il passare del tempo il materiale chimico che reagisce con la CO<sub>2</sub> perde la sua capacità assorbente.

La durata della cartuccia contenuta all'interno del filtro dipende in massima parte dal metabolismo del sub, dalla temperatura ambiente, dalla quantità e da tipo di assorbente utilizzato.

Se l'assorbente inizia ad essere meno efficiente, se la preparazione della cartuccia è stata fatta male, in modo da permettere la formazione di canali e/o vie preferenziali al passaggio del gas (channeling) o se l'assorbente si bagna, il conseguente aumento dei livelli di CO<sub>2</sub> può portare all'ipercapnia.

Il livello di CO<sub>2</sub> nell'organismo è il primo responsabile dello stimolo della respirazione, essa viene cioè attivata proprio dalla CO<sub>2</sub>.

In atmosfera la quantità di CO<sub>2</sub> è di circa lo 0,033% (0,00033 bar), quantità sufficiente a provocare lo stimolo di respirare.

Un aumento della PCO<sub>2</sub> (pressione parziale di anidride carbonica) anche piccolo, fino a 0,02 bar provoca un marcato aumento della frequenza di respirazione (fenomeno della *dispnea*).

Se la PCO<sub>2</sub> eccede il valore di 0,1 bar appaiono evidenti i sintomi di confusione e sonnolenza. Quando la PCO<sub>2</sub> supera gli 0,15 bar si hanno difficoltà di respirazione, rigidità e spasmi muscolari. Esposizioni prolungate a livelli di CO<sub>2</sub> elevati portano alla perdita di conoscenza. Sintomi gravi di ipercapnia (inclusa la perdita di conoscenza) possono essere facilmente recuperati con l'aggiunta di gas fresco all'interno del breathing loop.

Altri sintomi di ipercapnia come mal di testa, nausea e dolore ai muscoli del petto, di solito sono più difficili da eliminare in breve tempo.

Respirazione con pausa inspirtoria, eccessiva resistenza alla respirazione nel breathing loop e un eccessivo esercizio fisico aggraveranno la situazione.

## **IPERVENTILAZIONE**

Questa non è una forma di tossicità dei gas ma un modo per definire un ritmo di respirazione molto accelerato o una eccessiva ventilazione dei polmoni. Questa può portare a problemi se viene eseguita respirando molto rapidamente senza un'adeguata ventilazione dei polmoni stessi (respirazione poco profonda e superficiale).

Un problema generato dall'iperventilazione è *l'ipocapnia* cioè una eccessiva riduzione dei livelli di CO<sub>2</sub> (dovuti alla sovra ventilazione) che produce sintomi simili all'ipossia.

## **METABOLISMO DELL'OSSIGENO**

In un rebreather a ossigeno puro (ARO) il tempo che il sub può rimanere immerso, non considerando la tossicità dell'ossigeno, dipende solo dal rateo di consumo dell'O<sub>2</sub> dovuto al metabolismo e ovviamente alla riserva di O<sub>2</sub> a sua disposizione, dato che non c'è gas inerte nel loop che ci obbligherebbe a fare soste di decompressione.

Nei rebreather a miscele di gas la durata dell'immersione invece è limitata più dal drenaggio del diluente, in profili di i multilivello, e dalla necessità comunque di decomprimersi, piuttosto che dalla durata della riserva di ossigeno. Tuttavia con la pratica ed in immersioni con poche variazioni di quota, il metabolismo dell'ossigeno può diventare il fattore limitante.

I ratei di consumo di ossigeno in funzione dei livelli di esercizio sono mostrati in questa tabella:

<b>Ratei di consumo metabolico di O<sub>2</sub></b>	
Esercizio nullo	0,3 lt/min
A riposo	0,5 lt/min
Esercizio moderato	0,9 lt/min
Esercizio pesante	2,0 lt/min
Esercizio estremo	3,0 lt/min

---

Esempio:

Immaginiamo un sub che usa un rebreather a circuito chiuso con una bombola di O<sub>2</sub> di 2 lt caricata a 200 atm

1. Quanto durerà la riserva di O<sub>2</sub> effettuando un esercizio moderato?

Il volume totale del gas è di 400lt. Non considerando l'ossigeno perso in risalita per pulire la maschera o altre perdite la riserva sosterrà il sub per:

$$400/0,9 = 444 \text{ minuti oppure } 7,4 \text{ ore}$$

notare che il metabolismo dell'ossigeno non cambia con la profondità ma solo con il livello di esercizio fisico.

2. Quanto durerà la stessa bombola se respirata in circuito aperto alla profondità di 10 mt, assumendo un consumo in superficie di 20 lt/min?

Ogni atto respiratorio a 10 mt contiene il doppio del gas respirato in superficie e la bombola durerà quindi la metà (rispetto alla superficie):

$$(400/20) \times 0,5 = 10 \text{ minuti}$$

3. Qual è il volume di gas che servirebbe a mantenere un sub a 10 mt, con un consumo in superficie di 20 lt/min, per 7,4 ore?

7,4 ore sono 444 minuti

$$20 \text{ lt/min} \times 444 \text{ min} \times 2 = 17760 \text{ litri}$$

---



## Preparazione all'immersione con il rebreather



### Prima dell'immersione

Prima di ogni immersione con rb devono essere prese in considerazione numerose variabili. Come per l'immersione scuba è importante assicurarci che tutti i componenti dell'equipaggiamento siano efficienti. Molto spesso la cosa più importante di una immersione e specialmente con il rb , è la preparazione dell'immersione stessa.

### Scelta dei gas.

La selezione del diluente o dei gas in generale per un ccr non è così ovvia come si potrebbe pensare. Proprio perché l'ossigeno in questi sistemi viene fornito con una bombola separata, alcuni potrebbero pensare di riempire l'altra bombola solo con gas inerte (solo elio o azoto oppure una miscela dei due). Tuttavia in caso che la situazione di emergenza richieda di respirare un gas in circuito aperto, il diluente potrebbe diventare il gas da respirare. Per questo motivo è importante che il diluente in un ccr sia sempre una miscela in grado di sostenere il sub alla profondità operativa. In altre parole la ppo<sub>2</sub> del diluente, quando respirato alla profondità calcolata, deve essere sempre entro i limiti di sicurezza. Dato che l'ossigeno presente nel diluente è comunque aggiunto al breathing loop, questo partecipa alla respirazione e non viene sprecato.

Un'altra importante considerazione sul diluente , sia nei ccr che nei scr, è l'effetto narcotico del gas. Dato che i rebreather funzionano in modo un po' più complesso rispetto ai sistemi scuba, è importante mantenere una lucidità maggiore durante tutta l'immersione. Idealmente la narcosi equivalente ad azoto (equivalent narcosis depth END) dovrebbe rimanere entro i 40 mt. Anche se la END è sempre stata calcolata considerando solo l'azoto presente nel gas, attualmente si sa che anche l'ossigeno gioca un ruolo nella narcosi. Ci sono delle prove che l'ossigeno causa un narcosi maggiore di quella dell'azoto in certe condizioni, tuttavia in tali condizioni la tossicità dell'ossigeno è più alta e quindi la narcosi passa in secondo piano.

La formula per calcolare la % di azoto FN2 richiesta per dare un dato valore di END , considerando l'azoto come l'unico gas narcotizzante, è :

$$FN2 = \frac{(END(\text{metres})+10)*0,79}{D+10}$$

Esempio:

La percentuale di azoto FN2 richiesta in un diluente per dare una END di 39 metri in una immersione a 75 mt è:

$$FN2 = \frac{(39\text{metres}+10)*0,79}{75+10} = 0,455 = 45,5\%$$

Come descritto la narcosi è funzione della ppN2 (la pressione parziale di azoto) e le equazioni sopra descritte ci mostrano come a profondità maggiori devono essere aggiunti altri gas alla miscela per ridurre la narcosi di azoto.

## Decompressione

Le immersioni con decompressione con i rebreather sono diverse per le caratteristiche peculiari dei ccr.

Nei ccr le dinamiche del gas oinrete sono diverse seia dai scr che dai sistemi scuba.

Dato che la PPO2 RIMANE COSTANTE è la FO2 che cambia (cioè la % di ossigeno nel B.L.) con la profondità.

Quindi le normali tabelle e i computer non possono essere usati per calcolare la deco co i ccr.

I limiti di non deco (NDL) per le immersioni che usano ccr possono essere calcolate per varie profondità calcolando la EAD (profondità equivalente ad aria /equivalent air depth) per ogni profondità.

La formula per calcolare la EAD per i ccr è la seguente, dove la ppo2 è conosciuta ma la fo2 varia con la profondità:

$$EAD(\text{metres}) = ((P-PO2)/0,79-1)*10$$

Dove P rappresenta la pressione assoluta alla profondità in bar.

Esempio:

Un sub che usa un ccr con un set point di 1,4 bar effettua una immersione a 25mt.

Qual è la EAD calcolata per la deco?

La pressione assoluta (P) a 25mt è 3,5bar

$$EAD = (((3,5-1,4)/0,79)-1)*10 = 16,6 \text{ metri}$$

Quindi la EAD è 16,6 metri e il limite di non deco per 18 mt può essere ricavato dalle tabelle standard scuba.

NB: il concetto di EAD per i ccr si applica solo per calcolare il NDL a una data profondità. Le tabelle per la deco sono differenti.

Immersioni con deco con i ccr richiedono speciali schedule basate sulla ppo2 costante. Alcuni Rb commerciali includono computer integrati capaci di calcolare la deco in tempo reale.

In una situazione di emergenza dove il sub ha superato il NDL e deve abortire l'immersione in circuito aperto, le considerazioni sulla deco diventano ancora più complesse.

A causa delle fluttuazioni nella composizione del gas in un ccr, i limiti di deco devono essere calcolati tenendo conto di margini di sicurezza. A maggior ragione se al termine di una immersione in curva con un ccr si deve proseguire in circuito aperto fino alla superficie. E' raccomandato che almeno un minuto di per ogni 10 mt di una immersione senza deco sia sottratto al tempo di non deco, e che delle soste di sicurezza ad molti minuti a 3-6 mt siano previste in ogni immersione con i rebreathers.

### **Altre considerazioni sui gas**

L'ossigeno e il diluente non sono gli unici gas che ci portiamo dietro, come per i circuiti aperti, abbiamo scelto di avere un back up della nostra fonte primaria di gas, per esempio con un'altra bombola e un altro erogatore.

Con il RB abbiamo solo un B.Loop e un filtro che garantiscono il nostro sostentamento sott'acqua. Se succede che per qualche motivo non li possiamo più usare, dobbiamo cambiare con il nostro back up o Bail Out (nel caso dei RB).

Quale sia il nostro Bail Out è importante per le seguenti ragioni

1 - Come per il diluente, il gas di bailout deve essere respirabile alla quota operativa (target depth).

(possiamo usare il diluente nell'attesa di passare ad una fonte alternativa più grande)

2 - Deve essere in quantità sufficiente per permetterci di effettuare una risalita di emergenza completa oppure che ci consenta di raggiungere una riserva opportunamente collocata.

3 - ci deve consentire un profilo decompressivo adeguato

4 - non deve essere eccessivamente narcotica.

Alle quote compatibili con l'aria la scelta può essere semplice e si può portare una quantità di aria sufficiente per garantire una risalita e una deco. Una volta in acqua bassa si può lanciare un pallone di emergenza per richiedere assistenza ed eventualmente gas in più per completare la deco.

E' importante notare come il passaggio in OC anche per un minuto in profondità prima di scendere può modificare significativamente il profilo di deco e di questo si deve tenere conto.

Se non siamo sicuri di quanto volume portare proviamo un test.  
Proviamo una risalita in OC da una immersione tipica o da quella che stiamo pianificando, aggiungiamo almeno il 15% di riserva. Se la bobola è quasi vuota una volta risaliti in superficie, può essere accettabile.  
La regola dei "terzi" non si applica.

### **Eliox e trimix come diluenti**

Per la loro natura i RB spremano molto meno gas dei sistemi scuba. Quindi la spesa per gas inerti più costosi diventa un fattore meno importante comparato ai sistemi OC.  
Di conseguenza l'elio è spesso usato nelle miscele diluenti nella forma di eliox o trimix.  
Ci sono molti fattori da considerare nell'uso di gas multipli con i RB e alcuni di essi non sono ovvi.

Prima di tutto consideriamo una immersione con trimix con una unica bombola. Questo tipo di configurazione è adatta fino a 80mt per tempi di fondo ridotti (30min max). Dato che non ci sono cambi di diluente si può rimanere sul semplice. Dobbiamo fare la miscela ON BOARD (quella sul RB) uguale a quella OFF BOARD per un bail out iniziale a trimix. Questa impostazione sposa la regola che ci siamo dati prima, cioè di essere respirabile in profondità, e non modificherà il profilo decompressivo in maniera importante (alla target depth la  $po_2$  e la  $pn_2/Phe$  etc sono simili) e non saranno eccessivamente narcotiche per la stessa ragione.

Ci sono altri due vantaggi per questo:

1 - È possibile travasare da una bombola di bail out grande 15 lt (off board) su una bombola piccola (3lt) per rabboccare la piccola per altre immersioni (ammesso che i volumi lo consentano).

2 - Assumendo un  $po_2$  di 1,2 o 1,3 in un ccr, si può mantenere un profilo di risalita molto simile se è richiesto un bailout.

Il tempo di risalita in circuito chiuso (mentre rimaniamo sul trimix singolo nel breathing loop e mantenendo la  $po_2$ ) sarà quasi lo stesso che se risalissimo in bailout in open circuit (i diluenti sono gli stessi) poi passando al nitrox 36 e all'ossigeno durante la risalita. Quindi un semplice set di tabelle in circuito aperto di back up può essere usato in questa situazione. Questo significa che in una immersione normale il sub rimarrà in circuito chiuso fino ai 6 mt poi cambierà o in circuito aperto a ossigeno (preferibilmente) o effettuerà la deco in CC ad alti set point, ricordandosi di effettuare un flush ogni 20 min.

In caso di bail out in OC cambiare all'EAN 36 alla sua massima profondità operativa (MOD max operating depth) e in O<sub>2</sub> ai 6 mt ci permetterà di seguire la stessa schedula come in CC.

Oltre gli 80mt o giù di lì, le regole cambiano un po' e come per le immersioni in OC, ci devono essere procedure di bailout più dettagliate e devono essere prese in esame per ogni singola immersione.

Il problema più grande è che in OC a queste profondità, possono essere necessari 3 o più gas di deco e il rebreather deve essere in grado di cambiare i diluenti.

Il fattore qui è la narcosi. Se l'immersione inizia con aria come diluente e poi si cambia con il trimix, un vantaggio del RB qui è che una volta che abbiamo cambiato diluente la END sarà fissa per il resto dell'immersione (dipende ovviamente dal diluente) non importa



quanto fondi si andrà. In altre parole se si cambia a 30 mt la PN2 nel loop non aumenterà più finchè non supereremo la profondità calcolata per una data pn2. Ovviamente dove cambieremo gas influenzerà i nostri profili decompressivi.

### Cambio del gas inerte

Un altro problema poco considerato con i diluenti trimix è la proporzione con cui varia la composizione del diluente e come varia la PO2, per esempio:

Se respiriamo un diluente trimix di 10/52 il bilanciamento sarà il 38% di azoto. Siamo a 70 mt con un set point di 1,4. Dalla legge di Dalton sappiamo che la percentuale di O2 è del 17,5%. Cosa è successo alle percentuali degli altri due gas? Non possono essere alle pressioni equivalenti del 52% e del 38% a 70 mt perché altrimenti queste pressioni parziali sommate insieme con quella dell'ossigeno (1,4) non ci darebbero una totale di 8 bar (70mt).

“Normalizziamo” le percentuali

Il gas che rimane nel breathing loop è ancora nella proporzione di 52 parti di elio e 38 parti di azoto. Quindi con l'82,5% di gas inerte (100-17,5) il contenuto di elio sarà:

$$\frac{82,5 \cdot 52}{52+38} = 47,6\%$$

e quello di azoto sarà:

$$\frac{82,5 \cdot 38}{52+38} = 34,83\%$$

Questa è un'altra ragione perché i diluenti trimix debbano essere calcolati precisamente con la profondità operativa (target depth).

**I software di calcolo della deco sono vitali quando si pianifica una immersione con i rebreather.**

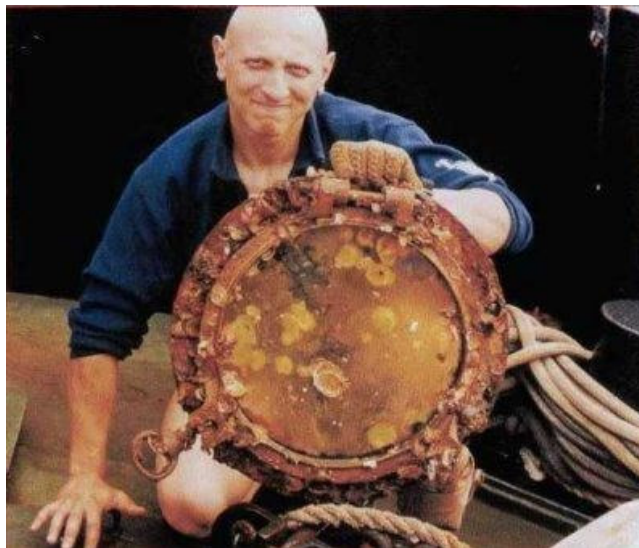
### Mantenere la PO2

Anche con un controllo elettrominico sofisticato qualche volta risulta difficile mantenere la po2 costante specialmente durante le discese e soprattutto in risalita. Le discese sono difficili perché se permettiamo al RB di arrivare al set point in superficie, quando siamo alla target depth avremo potenzialmente una alta po2 (dato che la pressione assoluta è aumentata) e potrebbe essere necessario un diluent flush per ridurla. Una possibilità è quella di selezionare un basso set point di 0,7bar (che è ancora respirabile in superficie) e lasciare che il sistema raggiunga quello alto durante la discesa. In immersioni molto profonde questo potrebbe essere ancora un problema in relazione alla velocità di discesa. Quale che sia il sistema adottato dobbiamo tenerne conto in pianificazione per una giusta deco, specialmente nelle immersioni più profonde. E' comunque meglio pianificare una discesa con un setpoint basso.

Le risalite sono peggio.

Quando risaliamo il gas si espande, l'unità scarica l'aria in eccesso e conseguentemente la  $PO_2$  scende. Il controller fatica a mantenerla costante, aggiungendo più gas e questo porta comunque a scaricare ancora e si ricade in un circolo vizioso. Una tecnica è quella di scaricare il Breathing loop prima di salire allo stop successivo. Aggiungiamo  $O_2$  manualmente e risaliamo. Questo consentirà al loop di stabilizzarsi più velocemente. Durante una lunga deco in CC dove è richiesto il cambio di diluente (cambio del gas inerte) un semplice flush può essere fatto allo switch point (non diversamente dal circuito aperto) per rimuovere tutto il diluente precedente dal BL. Ogni 15-20 min questa azione deve essere ripetuta per lavare dal loop ogni gas inerte che "scarichiamo" dal nostro corpo. La  $PO_2$  avrà ancora bisogno di tempo per stabilizzarsi e potrebbe essere necessario farlo manualmente.

Un altro problema con i RB con l'aggiunta automatica di diluente se capita che il BL si svuoti troppo allora il sistema potrebbe aggiungere ancora diluente riducendo ancora la  $PO_2$ . L'unico rimedio a questo potrebbe essere quello di chiudere fisicamente il diluente e iniziare la risalita. Questa azione è comunque potenzialmente pericolosa perché se dobbiamo ridiscendere il volume del loop diminuirà e non potremo respirare e anche la  $PO_2$  aumenterà rapidamente. Da non fare comunque (noi non abbiamo un sistema automatico per il diluente).



### **Regole dei gas per i rebreathers**

Diversamente dai circuiti aperti non è richiesto di mantenere un terzo dei gas come riserva. La regola dei terzi nei circuiti aperti garantisce il completamento dell'immersione se una avaria accade nel momento peggiore di una immersione. Assumendo che nessun gas ON Board sarà usato come bail out allora i gas off board devono essere calcolati in quantità sufficiente per una risalita sicura o, in caso di immersione in grotta, fino alla "stazione" di sicurezza più vicina.

Mentre è prudente calcolare una riserva di gas del 15%, non dobbiamo calcolare la quantità di gas per avere un terzo alla fine dell'immersione in una risalita normale in circuito aperto. Un grande vantaggio dei RB nelle immersioni con penetrazione come nelle grotte, è che possiamo mettere le bobole di stage o di bailout solo una volta. Infatti esse non saranno usate (al massimo controllate ad ogni passaggio) diversamente da un team OC che comunque sarà costretto ad usarle per completare l'immersione.

## **Pesatura**

Per determinare la giusta quantità di zavorra da indossare per un particolare rebreather segui questi steps:

- 1 - entrare in acqua bassa con il RB con più del peso necessario, così da essere negativo con l'attrezzatura usuale.
- 2 - scaricare gas dal BL fino al minimo consentito per la respirazione (dopodichè saremo costretti ad aggiungere diluente) dovremo avere difficoltà a respirare.
- 3 - cominciamo a togliere peso finchè non iniziamo a diventare leggermente positivi.
- 4 - riaggiungere un 20% del peso della cintura rimanente per avere un margine di galleggiamento da poter amministrare.

Ora dobbiamo fare un aserie di esercizi di risalita controllata finchè la proporzione fra galleggiamento e peso sarà confortevole.

## **Maschera**

Con la limitata quantità di diluente che il RB può portare con se è necessario che il sub usi una maschera che non abbia infiltrazioni di acqua e che non si appanni. Pulizie frequenti e svuotamenti della maschera ci porteranno ad un consumo eccessivo e ad uno spreco di diluente. Maschere Full Face sono una possibilità con i RB. Un vantaggio di questo tipo di maschere è la possibilità di poter usare dei sistemi di comunicazione. La scelta deve tenere conto della presenza di una cavità oronasale separata per evitare accumulo di CO<sub>2</sub>.

## **Gestione del materiale assorbente**

Il più grande nemico dei materiali assorbenti per la CO<sub>2</sub> è l'acqua. E' importante che il filtro che contiene la cartuccia sia ispezionato con cura tra una immersione e l'altra e lasciato in un ambiente ventilato quando viene riposto. Se la cartuccia deve essere riposta per molto tempo tra una immersione e l'altra è raccomandato riporla in un contenitore stagno. Certi assorbenti sono più volatili di altri e possono richiedere speciali procedure. Seguire le istruzioni per riempire bene il filtro, e alcuni consigli sono:

- togliere la cartuccia e assicurarsi che tutto sia asciutto
- Indossare indumenti protettivi per la bocca gli occhi e le mani. Togliere il materiale vecchio dalla cartuccia
- Assicurarsi di togliere e pulire bene il filtro dato che alcuni materiali possono essere difficili da togliere.
- Ispezionare il filtro e le trappole per l'acqua per danneggiamento
- Ispezionare e cambiare gli Orings sciupati
- Caricare l'assorbente seguendo i consigli del fabbricante

- Assicurarsi che non ci siano “canali” nell'assorbente , compattare bene l'assorbente scuotendo il filtro cercando di sentire se il materiale si muove all'interno. Se si continuare a battere e muovere bene il filtro per far si che non “suoni “ più
- Rimontare il filtro sostituendo e lubrificando gli orings

E' importante tenere conto del tempo che un filtro è stato usato. Trovare una procedura adatta per sapere sempre quanto ha lavorato un filtro.

Se non si è sicuri di quanto ha lavorato un filtro si deve sostituire il materiale assorbente.

### Configurazione delle bombole



La configurazione delle bombole è importante specialmente per le immersioni con miscele e con deco. Per esempio Gav e dry suit consumano una grande quantità di gas comparata alla dimensione delle bombole di un RB. Quindi è importante pianificare in funzione del tipo di immersione. Con i ccr di solito il diluente è usato solo durante le discese. Nella maggior parte dei casi si userà molto poco diluente, ma specialmente in immersioni con deco o oltre i 20 mt è importante usare una bombola indipendente per il bailout. Il bailout principale deve essere configurato con un lacciolo intorno al collo per il secondo stadio di bailout. Queste bombole di solito servono sia da bailout che per la stagna/Gav.

### Checklists

Con il RB le checklists sono vitali, questo non perché ci siano molte cose da ricordare ma perché capitano a tutti noi giorni in cui siamo più distratti. Dovremo avere una cl per il nostro rebreather. Quindi la procedura sarà eseguita a memoria (o almeno molte procedure lo saranno ) e poi controlleremo con la CL di aver fatto tutto .

Questo vale per tutte le fasi di utilizzo del RB dal montaggio/ smontaggio al normale utilizzo dello stesso. Nelle operazioni sul campo sarà saggio fare una cl impermeabile e fissarla , per esempio, all'interno del guscio del Rb. Inoltre sarebbe bene avere un'acronimo che ci ricorda i controlli finali pre immersione. Per esempio io (cioè l'autore di questo capitolo – Kevin Gurr) anni fa ho coniato l'acronimo **FLAGS** ( che in inglese vuol dire Bandiera) che uso come cl proprio prima di entrare in acqua. Lo possiamo adattare a molti rebreather ( quindi anche al nostro NdTraduttore). E per il mio finziona così:

**Flow** : Assicurarsi che il flusso e le valvole nel boccaglio funzionino a modino e fare i controlli di pressione positiva e negativa. Controllare le valvole di addizione manuale, di sovrappressione e il bailout.

**Loop** : Incominciare una fase di Pre-respirazione (pre-breath), assicurarsi che ci sia ossigeno sufficiente nel loop.

**Analyse** : Aggiungere ossigeno e controllare tutte le letture di PO2 che devono ovviamente salire (avremmo già fatto una calibrazione durante una fase precedente, questa è solo una verifica finale che tutto funzioni). Poi aggiungiamo diluente e verifichiamo che tutte le letture scendano. Un Flush (aggiunta) di ossigeno e di diluente sono anche un controllo ulteriore che le bombole sono state correttamente installate (cioè dal lato giusto).

**Gauge** : Controllare che la pressione delle bombole , incluso il bailout, sia sufficiente per concludere l'immersione.

**Stack** : Confermare che lo "stack" , cioè il filtro (è uno slang ma suona bene), abbia una durata sufficiente per l'immersione, sia stato rifornito o controllato. Continuare a respirare per 3-5 minuti e controllare per sintomi di Ipercapnia.

## **PRE - DIVE CHECKS**

Questa è una guida generale per i controlli pre immersione (da adattare al nostro!)

- Analizzare la bombola di ossigeno del diluente.
- Controllare l'erogazione dell'ossigeno e del diluente e la pressione delle relative bombole e montarle sul rebreather.
- Montare i corrugati e il boccaglio e controllare se ci sono perdite.
- Controllare il funzionamento del boccaglio (se le valvole sono montate bene).
- Aprire le bombole, controllare il funzionamento delle valvole di addizione manuale e l'erogatore di bailout.
- Effettuare la calibrazione dei sensori.
- Gonfiare il breathing loop e verificare il funzionamento della valvola di sovra pressione.
- Controllare la valvola di addizione automatica del diluente (noi per ora non l'abbiamo).
- Verificare che ci sia sufficiente tempo rimanente nel filtro.
- Verificare lo stato di carica delle batterie.
- Verificare il funzionamento del controller principale e secondario.
- Confermare il set point (0,7 o 1,3).
- Dopo ogni grande smontaggio (smontaggio completo) fare una immersione di test.

## **SEQUENZA DI PRE-BREATHE**

Prima di immergersi deve essere eseguita sempre una sequenza di pre respirazione. Ogni RB ha le sue procedure specifiche ma in linea di massima gli steps sono questi (per i circuiti chiusi):

- Con tutte le bombole chiuse effettuare i test di pressione positiva e negativa.
- Selezionare un set point della PO2 (selezionare un valore relativamente basso così da non precaricare troppo il breathing loop con una miscela troppo ricca di ossigeno) 0,7 bar è sufficiente
- Attivare il controllo elettronico dell'ossigeno (controllers)
- Mettere il selettore del boccaglio su circuito chiuso e iniziare a respirare normalmente ( questo perché avremmo già fatto il boccaglio modificato 😊 ).
- Confermare che il controller mantenga il set point prescelto per almeno 3 minuti.
- Verificare il funzionamento del controller secondario.
- Verificare il funzionamento del filtro stando attenti ai sintomi di ipercapnia.
- Verificare il funzionamento del sistema di addizione di diluente.
- Verificare il funzionamento del bailout.

## Procedure di immersione

Una volta verificato che il sistema funziona correttamente ed è configurato per l'immersione pianificata siamo pronti ad entrare in acqua.

Le procedure con i rb sono diverse da quelle scuba per diversi motivi.

Anche se la molta esperienza con i sistemi scuba è di aiuto per capire la fisica e la fisiologia dell'immersione, le procedure specifiche di un rebreather sono molto diverse dal circuito aperto.

## Verifica iniziale in acqua

Ci sono diverse procedure che devono essere eseguite immediatamente dopo l'ingresso in acqua. Queste devono essere fatte non più fondi dei 6 mt.

- Controllare ogni perdita di gas dal rebreather.
- Verificare che il controllo della PO2 funzioni.
- Verificare che il controller secondario funzioni.
- Regolare l'assetto.
- Ricontrollare l'erogatore di bailout.

## Discesa

Ci sono molte variabili importanti associate alle discese con il rb che differiscono dal circuito aperto.

Con ogni tipo di rb, l'aumento della pressione durante la discesa farà collassare i/il contropolmoni.

Ne saranno condizionati sia l'assetto che le caratteristiche del gas che stiamo respirando (aumento della PO2). Quando un contropolmone è completamente collassato non c'è più un eccesso di volume di "Aria" che il sub possa respirare.

Molti rb prevedono una valvola automatica per gonfiare i contropolmoni. In funzione di come è fatto il sistema comunque potrebbe non essere sufficiente per i bisogni del sub e potrebbe essere necessaria comunque un'addizione manuale durante discese rapide (il problema non si pone , noi abbiamo solo il manuale ,per ora).

L'altra conseguenza è l'aumento della PO<sub>2</sub> questa potrebbe arrivare a valori troppo alti (con un ccr). Nella maggioranza dei casi aggiungeremo diluente al breathing loop durante la discesa.

Dato che il diluente dovrebbe essere scelto in modo da non superare la PO<sub>2</sub> massima, se respirato in OC (open circuit) in caso di bailout alla massima quota pianificata, l'aggiunta di diluente non dovrebbe essere un problema.

Tuttavia ci potrebbe essere un ritardo tra la discesa iniziale e l'addizione di diluente, a meno che i contropolmoni non siano tenuti ad un volume minimo, e questo potrebbe portare ad un aumento rapido della PO<sub>2</sub> (spike), specialmente a quote vicine alla quota massima, aumento pericoloso, dove il diluente è meno efficace nel ridurre la PO<sub>2</sub>.

Per questo motivo è importante, quando ci si immerge con un ccr, mantenere il volume dei contropolmoni al minimo indispensabile per respirare, usare un diluente con una % di O<sub>2</sub> relativamente bassa (per es. aria) e selezionare un set point (livello di PO<sub>2</sub>) conservativo in modo da poter compensare per eventuali "spike", per avere un margine di errore.

In rb con il set point regolabile fra un valore alto e un valore basso, selezionare quello basso in superficie fino alla quota massima e solo alla quota cambiare con quello alto.

### **Controllo dell'assetto**

Tutti i sub che vengono dal circuito aperto hanno difficoltà a controllare l'assetto le prime volte che usano un rb. Ci sono due ragioni ed entrambe associate ai contropolmoni.

La prima interessa l'aggiustamenti "fine" dell'assetto. Molti sub contano sulla variazione di volume dei loro polmoni per controllare piccole variazioni di assetto (inalare per salire e espirare per scendere).

Usando un rb invece, i contropolmoni si espandono e si contraggono in maniera opposta ai nostri polmoni, quindi l'assetto non cambia durante il ciclo di respirazione.

Sub esperti possono trovare questa particolarità disorientante all'inizio, ma con un po' di pratica aggiustamenti fini dell'assetto, attraverso piccoli cambi del volume del breathing loop diventeranno naturali.

La seconda ragione interessa i cambi di assetto legati ai cambi di quota. Per controbilanciare i movimenti dei polmoni, i contropolmoni devono essere morbidi (devono sentire la pressione esterna) come se fossero un gav, e quindi varieranno di volume con i cambi di quota.

Collasseranno in discesa, e saremmo costretti a inserire diluente, si espanderanno in risalita fino all'azionamento della valvola di sovrappressione o al nostro intervento di sgonfiamento manuale.

Da un contropolmone completamente vuoto a completamente pieno ci può essere una grande variazione di volume e quindi anche l'azione di galleggiamento potrebbe essere consistente.

Proprio perché bisognerebbe mantenere il volume dei cp al minimo questa variazione diventa evidente in risalita e, anche se tutti i rb sono disegnati per ventilare l'eccesso di gas fuori da rb stesso quando il cp è completamente espanso è meglio, di solito, farlo prima in "manuale", prima che l'azione di galleggiamento diventi troppo evidente o incontrollabile.

Questo può essere fatto sia esalando dal naso l'aria in eccesso, quando si usa una maschera standard, sia con i sistemi manuali (valvole). Se non si presta attenzione a scaricare il loop durante una risalita potremmo incorrere in una risalita incontrollata.

### **Caratteristiche di respirazione**

Respirare in un rb è diverso che respirare da un erogatore.

Molti fattori influenzano la resistenza alla respirazione e in molti casi sarà uguale o inferiore ai sistemi scuba.

Però vari effetti "idrostatici" giocano un ruolo nel determinare lo sforzo respiratorio richiesto per respirare in molti rb.

Dipende in sostanza da dove sono piazzati i contropolmoni. Se i cp sono davanti al sub avremo facilità ad inspirare quando il sub è in posizione prona, viceversa se è sdraiato sul dorso, e al contrario se i cp sono sul dorso.

Un rb ben disegnato minimizzerà comunque questi effetti.

Altri fattori sono il diametro dei corrugati e il disegno del filtro.

Un'altra considerazione sulle caratteristiche di design di un rb sono relative al fatto che lo stesso gas è riutilizzato più volte attraverso ripetuti atti respiratori. Due benefici sono che il gas rimane umido (riducendo i problemi di disidratazione) e che tende a rimanere caldo (riducendo la perdita di calore).

Quest'ultimo è particolarmente vero quando l'assorbente lega con la  $CO_2$  in una reazione esotermica (dipende però dal tipo di assorbente.)

### **Monitorizzare la pressione parziale dell'ossigeno**

E' fondamentale mantenere il controllo della pressione parziale dell'ossigeno nel breathing loop.

Nei rebreather a circuito chiuso sia l'ipossia che l'iperossia sono dei veri pericoli.

L'unico modo in cui un sub possa controllare la  $PO_2$  in un rebreather a circuito chiuso è attraverso dei sensori elettronici.

Assicurare un livello sicuro di  $PO_2$  nel breathing loop richiede sia un disegno intelligente del loop stesso ( per es. sensori multipli, sistemi elettronici di backup etc) e procedure di monitoraggio adeguate da parte del sub stesso.

Una buona pratica include frequenti cross-checks del sistema primario di controllo per verificare la coerenza del sistema e periodici tests per verificare l'accuratezza della lettura dei sensori ( diluent flushes, cioè insufflazioni di diluente per verificare la lettura dei sensori in presenza di una miscela conosciuta).

### **Monitorizzare la riserva dei gas**

Anche se il consumo di gas usando i rebreathers è molto minore dei sistemi scuba, un accurato controllo delle riserve è sempre parte importante di un sicuro protocollo di immersione con i circuiti chiusi.

Con questo tipo di rb (usati a profondità costante) è la riserva di  $O_2$  e non quella di diluente che limita la durata di una immersione.



Il consumo di gas dipenderà dal livello di esercizio fisico, come dal livello di perdita di gas dovuto agli svuotamenti della maschera, dalla eventuale perdita del loop e dalla durata delle salite/discese durante l'immersione.

Ancora dovremo calcolare un margine adeguato.

**A prescindere dal tipo di rebreather usato, nella miscela diluente è compresa pure la miscela di bail out, quindi il sub deve tornare subito in superficie quando la riserva di miscela di diluente rimanente non è più sufficiente ad un sicuro ritorno in superficie in circuito aperto.**

Questo vale ancora di più nelle immersioni con decompressione.

Molti rb portano una quantità di gas insufficiente (per il bailout) già in immersioni nel range dei 20 mt., quindi è necessario portarsi delle bombole aggiuntive.

### **Risalite**

I due fattori più importanti in risalita sono la variazione di assetto a causa della espansione dei contropolmoni, e la caduta della PO<sub>2</sub> nel loop fino a livelli ipossici.

Abbiamo già parlato della problematica del controllo dell'assetto , Il problema più grosso a questo punto è quello di evitare l'ipossia durante le risalite.

In particolare il livello della PO<sub>2</sub> dentro il loop non deve mai scendere al di sotto di 0,20bar.

Ad una profondità di 40 mt ,dove la pressione ambiente è 5 bar, questo non è un problema poiché la pressione nel loop sarà di circa 1.0 bar. e , se risaliamo direttamente in superficie, la PO<sub>2</sub> scenderà a 0,20 bar.

Nelle immersioni più profonde e nelle immersioni dove il set point della PO<sub>2</sub> è meno di 1,0 bar (generalmente questo è un valore non raccomandato), la possibilità di un black out ipossico, nei pressi della superficie, può essere un pericolo reale e deve essere prestata la massima attenzione per evitare questo problema.

## **PROCEDURE POST – DIVE**

### **Post dive**

- Lavare e disinfettare come da procedura particolare per ogni singolo rb
- Soffiare con aria il rb e sgonfiare i contropolmoni.
- Ricaricare il filtro se necessario
- Ricaricare sempre le bombole di diluente e di O<sub>2</sub>.

- Ricaricare i bailout.

### **Stivaggio del rebreather**

- Lavare e disinfettare
- Asciugare
- Rimuovere i sensori O2 (IN caso di lunga inattività).
- Rimuovere l'assorbente e riporre in un luogo asciutto.
- Lasciare le bombole parzialmet piene.
- Lubrificare gli Orings.
- Scrivere su un log le date dei sensori, delle batterie e del filtro.

## **AVARIE E MALFUNZIONAMENTI**

Anche se le peculiarità e le abilità per usare un rb sono relativamente semplici da imparare e possono essere acquisite in un tempo breve, riuscire ad avere ragione delle procedure di emergenza può richiedere molto più tempo e pazienza.

Il pericolo più grande quando si usa un rb è la troppa confidenza.

Dal momento che un sub esperto si può trovare presto a suo agio con un rb, si può pensare di essere degli esperti di rb quando in effetti non lo siamo affatto.

Tutti i problemi che possono succedere in circuito aperto possono accadere anche con il rb ma molti sono i problemi specifici dei rb.

<b>La prima linea di difesa sono dei pre-dive checks appropriati</b>
--

Una delle problematiche dei rb è che la maggior parte delle avarie potenziali sono insidiose e difficili da individuare.

In particolare l'ipossia e l'iperossia possono far perdere conoscenza ad un sub senza che questo se ne accorga affatto.

E' imperativo che il sub sia allenato e addestrato a riconoscere il problema in tempo, prima che questo possa diventare pericoloso per la vita, e che sia in grado di affrontarlo intelligentemente non appena questo si manifesta.

L'unico modo di essere sicuri di essere in grado di essere preparati a risolvere il problema è solo praticando continuamente degli esercizi dedicati.

<b>In una emergenza sono le abilità che sono state acquisite meno e male che si perdono per prime.</b>
--

Un vantaggio dei rb è che , rispetto ai sistemi scuba, il sub ha molto più tempo per intraprendere una azione correttiva ( a patto che un sub non perda conoscenza prima che il problema stesso sia riconosciuto).

Molti problemi possono essere risolti così il sub non deve interrompere l'immersione.

### **Breathing loop allagato**

Sfortunatamente molti materiali che assorbono la CO2 non reagiscono bene con l'acqua

Infatti alcuni assorbenti per es. l'idrossido di litio, reagiscono violentemente con l'acqua e producono un "cocktail caustico" molto pericoloso per la salute dei nostri polmoni.

Per ovvie ragioni, i sub che usano questi materiali, rischiano di esporli al contatto con l'acqua.

Anche se i rb disegnati opportunamente integrano dei sistemi di "trappole" per l'acqua, che consentono di respirare anche con un loop quasi totalmente inondato, è importante minimizzare la quantità di acqua che può penetrare nel loop e avere un metodo per farla uscire dal loop stesso.

Tutti i rb inevitabilmente accumuleranno un po' di acqua all'interno per via della condensazione.

Il gas espirato dal sub è caldo e saturo di vapor d'acqua.

Il volume di acqua, sotto forma di vapore, che può rimanere all'interno di una miscela è funzione della temperatura, più caldo il gas più acqua può trattenere.

Il gas che passa attraverso il filtro è riscaldato ulteriormente dalla reazione esotermica dell'assorbente con la CO<sub>2</sub>. Quando questo gas entra in contatto con i corrugati, si raffredda perché questi sono freddi, essendo in contatto con l'acqua circostante. E il vapore condensa.

Il volume totale del vapore condensato può essere di diversi millimetri all'ora e anche di più in acque fredde.

Un'altra fonte di acqua nel loop è la perdita accidentale del boccaglio sott'acqua.

Tutti i rb prevedono una qualche valvola che impedisce all'acqua di entrare dal boccaglio, una volta tolto di bocca. Tuttavia una perdita accidentale può far entrare acqua nel loop. Altre fonti possono essere perdite nelle connessioni del loop, contropolmoni o corrugati danneggiati o altre perdite (infiltrazioni).

In molti casi ce ne accorgeremo perché sentiremo un gorgoglio o un'aumento di resistenza nella respirazione.

### **Avarie e malfunzionamenti del filtro assorbente**

La peggiore avaria del filtro è il suo allagamento.

Praticamente non c'è modo di risolvere la situazione, una volta che l'allagamento è avvenuto. Nella migliore delle ipotesi la resistenza alla respirazione salirà alle stelle e la capacità assorbente si ridurrà ai minimi termini. Nel caso peggiore invece il loop si riempirà di una pericolosa miscela caustica.

In entrambe i casi la soluzione sarà di passare in circuito aperto.

Un'altra forma di malfunzionamento è la riduzione delle capacità assorbenti. Questa può essere causata da vari fattori:

- Un'impacchettamento maldestro del filtro stesso che favorisce la formazione di vie preferenziali di passaggio dell'aria dentro al filtro stesso (channeling).
- Il materiale assorbente si esaurisce a causa di un esercizio fisico eccessivo (grande produzione di CO<sub>2</sub>) e/o ad una variazione del metabolismo individuale.
- Contaminazione dell'assorbente.

- Cattiva gestione dell'assorbente e superamento del suo limite temporale di assorbimento.
- Materiale scadente o inadatto.

Quale che sia la causa, l'effetto è sempre lo stesso: ipercapnia (eccesso di CO<sub>2</sub> nell'organismo).

Fortunatamente i sintomi dell'ipercapnia sono di solito avvertibili prima che raggiungano livelli pericolosi. Sfortunatamente però l'eccesso di CO<sub>2</sub> è correlato ad altri problemi più insidiosi, come le convulsioni causate dalla tossicità dell'O<sub>2</sub>, quindi l'ipercapnia deve essere accuratamente evitata.

I sintomi iniziali di ipercapnia includono un sapore di orina nel loop e un respiro "corto" durante le attività fisiche.

Come il livello della CO<sub>2</sub> sale questo fiato corto si aggrava (è più evidente quindi) anche se i livelli di esercizio fisico sono più bassi, inoltre compaiono altri sintomi come il mal di testa, vertigini, formicolii.

La gravità dei sintomi aumenta in funzione di vari fattori come il tipo di assorbente, la causa del malfunzionamento dell'assorbente stesso, il livello di sforzo fisico, il metabolismo individuale etc.

Tutte le volte che si avvertono sintomi di ipercapnia l'immersione deve essere interrotta, e se i sintomi si aggravano dobbiamo fare un'open circuit bailout.

### **Avaria delle riserve di gas (Ci Finisce L'aria!)**

Anche se, come abbiamo già evidenziato, i consumi sono molto minori del circuito aperto, dobbiamo monitorizzare comunque e con precisione le quantità a nostra disposizione e concludere l'immersione con un ragionevole margine di gas rimanente.

Di solito succede per questi motivi:

- Cattiva gestione dei gas
- Perdita rapida di gas
- Avaria ai sistemi di distribuzione (primi stadi)

La cattiva gestione (riserve insufficienti) può essere evitata solo con una pianificazione attenta e diligente, lasciandoci margini di errore sufficienti.

Una rapida perdita può essere nella forma di una frusta rotta, un oring scoppiato, un'avarìa ad una valvola di una bombola, un'avarìa ad una valvola di ammissione (anche il solenoide).

Se succede una avarìa al solenoide e questo rimane in aperura si può avere un rapido aumento della PO<sub>2</sub>, che può essere molto pericoloso se non corretto prontamente chiudendo la bombola di O<sub>2</sub> e eseguendo un diluent flush (addizione di diluente) immediato.

Potrebbe essere anche un problema che non riusciamo ad aggiungere gas nel loop. Nel caso che sia il diluente che non funziona potrebbe essere un problema di minore importanza, nel caso che si interrompa subito l'immersione.

Infatti se si risale non serve una ulteriore addizione di diluente, dato che il gas nel loop espande.

Un problema con l'O<sub>2</sub> può essere molto critico dato che il diluente potrebbe non essere sufficiente a mantenerci in vita rimanendo in circuito chiuso. Quindi dovremo necessariamente passare in OC (open circuit), almeno che non abbiamo una bombola di O<sub>2</sub> di backup oppure sia disponibile un diluente (aria o nitrox) per fare un flush del sacco.

### **Avaria dell'elettronica**

Con i rebreather a circuito chiuso a controllo elettronico è essenziale che il sub abbia una comprensione completa e una pratica naturale nella gestione del rb in manuale e nelle eventuali procedure di bypass.

L'elettronica può fallire per vari motivi e la abilità associate ad un controllo manuale , per uscire da una situazione del genere sono il nostro primo pensiero. Per quanto esse possano essere rare e per quanto l'elettronica sia affidabile, il controllo manuale del rb deve essere praticato in modo costante e regolare. Ci saranno poi procedure e metodi specifici per ogni rb.

<b>IL CONTROLLO MANUALE DEVE ESSERE ESERCITATO CON REGOLARITA'</b>
--

### **Avaria dei sensori dell'Ossigeno**

I sensori possono non funzionare per vari motivi, acqua sulla membrana del sensore, squilibri di pressione, calibrazione sbagliata, sovraccarico, connessioni elettriche rotte, estreme fluttuazioni della temperature(esposizione al sole per es.) ed altro.

Un'aspetto importante dell'addestramento con i rb è il riconoscimento dell'avaria di uno o più sensori prima che la PO<sub>2</sub> raggiunga livelli pericolosi (alti o bassi).

Molti rb usano 3 sensori che funzionano " a maggioranza" (voting logic), se due sensori danno una lettura simile e il terzo molto diversa il controller da retta ai primi due e spesso ha ragione.

Ma la democrazia non è sempre una bella cosa, e la "maggioranza" potrebbe avere preso una cantonata.

Tutte le volte che c'è un problema con i sensori dobbiamo effettuare dei test specifici per determinare quale sia quello che fornisce una lettura sbagliata.

Il test più ovvio è il diluent flush.

Aggiungendo diluente al loop e osservando il comportamento dei sensori saremo in grado di capire quale sia quello che non funziona.

Se aggiungiamo diluente aria (21%O<sub>2</sub>) e siamo a 30 mt sappiamo che dobbiamo leggere sui sensori 0,84 (cioè 0,21 x 4 bar), se in sensore legge 1,3 è lui quello rotto.

Nel caso che il controller, se sono 2 insieme i sensori in avaria, dia retta a quello/i rotti dovremo passare al controllo manuale.

Ogni rb avrà comunque le sue procedure specifiche che non sono molto diverse da quelle descritte.

### **Malfunzionamenti e scenari di bailout – sommario (Closed circuit rebreathers)**

<b>Sintomi</b>	<b>Avaria</b>	<b>Azione correttiva</b>
Rumori di movimenti d'acqua (gorgoglii)	Loop allagato (contropolmoni o corrugati)	Se esiste applicare la procedura di recupero o di drenaggio del loop altrimenti bailout
Aumento della resistenza alla respirazione	Filtro allagato	Se esiste applicare la procedura di recupero o di drenaggio del loop altrimenti bailout
Non riesco a respirare	Avaria irrecoverabile del loop	Open circuit bailout
Fame d'aria /mal di testa	Malfunzionamento dell'assorbente	Continuare a flushare con il diluente per rimuovere l'eccesso di CO2 e risalire (semiclosed mode) o OC Bailout
Avaria dell'addizione di Diluente	Perdita del diluente	Non aumentare la profondità. Risalire in CC
La PO2 scende il solenoide non si sente più	Perdita dell'ossigeno	Risalire lentamente, se la PO2 scende sotto 0,2 OC BAilout
Nessuna lettura della quantità di gas/perdita di gas	Avaria del manometro o del primo stadio	Non aumentare la profondità e risalire in CC
Schermo spento o letture erratiche	Avaria del controller	Passare al controllo manuale. interrompere
Letture della PO2 fluttuanti	Avaria dei sensori	Disabilitare l'addizione automatica. risalire in OC o passare in modalità semichiusa (da vedere!)

### **ESERCIZI IN ACQUA (circuiti chiusi)**

<b>Esercizio</b>	<b>Circuito chiuso</b>	<b>Quando praticarlo</b>
Monitorizzare i sensori	Sia sul controller principale che sul secondario	In tutte le immersioni
Iniezione manuale di diluente con controllo dell'assetto	Iniettare mentre si monitorizza la PO2	Inizialmente in acqua bassa poi ad una profondità con una

		PO2 minima di 0,6bar
Iniezione manuale di O2 per mantenere una PO2 di sicurezza di 1,4 bar	Isolare il solenoide e usare le valvole in manuale (simula l'avaria del solenoide)	Inizialmente a 6 mt poi in una immersione tipica in risalita.
Avaria del loop	Open circuit bailout o recupero se possibile	Inizialmente 6 mt o meno poi da non più di 20 mt.
Open circuit bailout	Assumere il loop parzialmente funzionante e riempirlo in risalita	Inizialmente a 20 mt fino ad un massimo di 30 mt. Controllare il consumo del bailout

## Manutenzione del rebreather

### Sensori dell'ossigeno

Il punto debole di un rebreather a controllo elettronico è il sistema di controllo automatico e in particolare i suoi sensori. Questi sono come delle piccole batterie la cui energia è generata dalla reazione chimica dell'ossigeno. I sensori si degradano con il tempo e hanno una vita limitata. Di solito durano da 1 a 3 anni, in funzione del loro uso.

Inoltre a causa di questa particolarità devono essere regolarmente "calibrati".

I rb più vecchi impiegano una serie di potenziometri per ottenere la calibrazione. Il rb viene calibrato in un ambiente saturo di O2 (100%) e si aggiusta la lettura in modo da leggere 1,0 bar a livello del mare. Moderni controllers consentono di calibrare con il 100% di O2 a qualunque altitudine. I sensori sono inoltre influenzati dalla temperatura e dall'umidità e un buon design deve tenere conto di questo.

Alcuni usano riporre i sensori in un ambiente privo di O2 in modo che "non si consumino". Bisogna fare attenzione in questo caso, perché dobbiamo lasciar passare un po' di tempo perché il valore del sensore si stabilizzi, una volta reintrodotti dove invece l'ossigeno è presente,

**L'acqua è un nemico dei sensori O2. E' fondamentale che dopo l'uso il loop sia ventilato ed asciugato in atmosfera e che sia consentito alle membrane dei sensori di asciugarsi.**

**E' generalmente una buona idea soffiare dell'aria secca sulle membrane dei sensori (ma non dentro ai sensori), per rimuovere l'umidità accumulata. I condizionatori di casa o gas ozono sono eccellenti per asciugare il rb ed i sensori.**

### Disinfettare e pulire

Il rebreather è un ambiente caldo e umido, ideale per la crescita dei batteri. Il breathing loop deve essere regolarmente disinfettato e pulito (Betadyne, Dettol etc) e poi asciugato. Controllare i metodi approvati dal costruttore.

Alcuni detersivi possono rendere gli o-rings meno elastici, quindi questi devono essere controllati spesso per rotture e opportunamente lubrificati con grasso ossigeno compatibile, dato che i rb usano O2 al 100%.

Seguire la seguente procedura

Dopo ogni immersione

- Asciugare in atmosfera
- Sciacquare il boccaglio in acqua dolce.
- Evitare l'ingresso di acqua nel loop.

Dopo una giornata di immersione

- Disinfettare il boccaglio e i corrugati.
- Usare solo disinfettanti approvati e diluiti correttamente. (Betadine diluito 10:1 con acqua o il Dettol usato come uno spray)
- Sciacquare con acqua dolce e tiepida.
- Non lasciare le parti a lungo nella soluzione di disinfettante.

Ogni 8 ore di immersione

- Disinfettare il boccaglio, i corrugati, le trappole dell'acqua, i contropolmoni e il filtro.

## **O-RINGS**

Non togliere gli o-rings dalle sedi a meno che non sia strettamente necessario. Comunque. Se smontati, devono essere accuratamente ispezionati per rotture prima del rimontaggio. Una abbondante lubrificazione di solito non è necessaria e può attrarre sporcizia e compromettere la tenuta. Una leggera lubrificazione periodica è tutto quello di cui hanno bisogno. Ispezionare anche le sedi degli O-rings.

Si dovrebbe fare una completa ispezione ogni circa 30 ore di funzionamento.

## **Corrugati**

Controllare per danneggiamenti visibili dopo ogni immersione e cambiarli se necessario. Sarebbero da riporre in contenitori rigidi per evitare danneggiamenti durante il trasporto. Non sollevare il rb dai corrugati e non riporci sopra cose pesanti.

## **Contropolmoni**

Tenerli asciutti e ventilati quando non si usano. Controllare attentamente le connessioni con il breathing loop per eventuali danneggiamenti. Ispezionare il sacco interno ogni volta che facciamo un test per le perdite. Controllare il sacco esterno per danneggiamenti dopo ogni immersione e quello interno, se quello esterno è danneggiato.

## **GAV**



Controllare come al solito per danneggiamenti e perdite dopo ogni immersione. Specialmente con la muta umida il gav è fondamentale per la sicurezza.