

I REBREATHER E LA SPELEOLOGIA SUBACQUEA



Attilio Eusebio

L'introduzione degli autorespiratori nella speleologia subacquea sia a circuito chiuso (Close Circuit Rebreather - CCR) sia a circuito semi- chiuso (Semiclosed Circuit Rebreather - SCR), ha consentito prolungate permanenze in immersione. Si sono superati limiti di profondità e tempi di immersione fino a prima inimmaginabili con attrezzature mediamente contenute ed un elevato livello di sicurezza.

La trattazione dei reb merita libri e manuali ad essi dedicati, allo stesso modo seguirne l'evoluzione e analizzare le molteplici applicazioni di queste macchine è una attività full-time che richiede tempo, e totale dedizione. Chi scrive ha iniziato ad utilizzare REB nel 2004 inizialmente in acque libere e progressivamente in grotta. Inoltre si è occupato di queste parti nella stesura del Manuale del Soccorso Speleosubacqueo del CNSAS.

Quanto sopra ribadito è dunque frutto della personale esperienza dell'autore ed è dedicato alle particolarità che l'immersione in grotta richiede specificatamente in termini di ridondanza e sicurezza.

Alcune parti generali sono parzialmente riprese dal sito <https://it.wikipedia.org/wiki/Rebreather> dove viene descritta una accurata classificazione dei vari tipi di reb.



Foto 1 – Primavera 2004, prime immersioni con il Reb Voyager



L'utilizzo dei CCR e SCR ha permesso in ambito subacqueo e anche speleosubacqueo performance prima solo ipotizzabili e raggiungibili unicamente a prezzo di grandi sforzi organizzativi e logistici, con l'impiego di notevoli quantità di attrezzature e di numerose persone di appoggio.

Queste apparecchiature che vedremo descritte nel seguito più dettagliatamente, tuttavia, richiedono una notevole preparazione teorica e una pratica costante oltre a uno specifico addestramento che deve essere mantenuto costantemente nel corso del tempo (una immersione a settimana è suggerito). Infatti, si tratta di apparecchi complessi e delicati che richiedono una manutenzione attenta e costante per evitare il minimo malfunzionamento e l'applicazione di procedure precise e rigorose per individuare il minimo inconveniente e porvi rimedio prima dell'immersione.

Queste macchine, come accennato in precedenza, possono essere a circuito completamente chiuso (CCR) oppure a circuito semichiuso (SCR). I moderni rebreather a miscela sono l'evoluzione dei primi rebreather ad ossigeno (Oxygen Rebreather), che in Italia sono storicamente denominati ARO (autorespiratore ad ossigeno). L'ideazione di questi primi apparecchi risale al 1876 grazie ad Henry Fleuss, poi sviluppato sia dall'azienda germanica Dräger che dall'americano Charles "Swede" Momsen e dal britannico Sir Robert Davis. I primi utilizzi furono come fonte d'aria respirabile per il soccorso nelle miniere, poi vennero impiegati sui sommergibili. Vennero poi migliorati (a opera dei militari inglesi e poi in Italia grazie al lavoro pionieristico di Teseo Tesei) e impiegati in ambito subacqueo dai primi incursori subacquei per via dell'assenza di bolle in superficie e della lunga autonomia.

Il principio di funzionamento generale è pressoché identico in tutti i tipi di rebreather. Il nostro organismo ha bisogno di ossigeno per le funzioni metaboliche, il consumo di ossigeno, tuttavia, è indipendente dalla profondità anche se il volume respirato aumenta con la pressione. La variazione di consumo di ossigeno dipende solo dal lavoro svolto. Per meglio comprendere tale sistema prendiamo ad esempio la respirazione con un normale circuito aperto (bombola con erogatore): come noto l'aria è composta dal 79% di azoto, dal 20,8% di ossigeno e da una percentuale di altri gas (elio, neon, argon, anidride carbonica). Respirando a circuito aperto, ad ogni atto inspiratorio immettiamo nei nostri polmoni una certa quantità di ossigeno, ben oltre comunque il nostro fabbisogno e quando espiriamo perdiamo una parte di ossigeno che potremmo riutilizzare. Il rebreather, a prescindere dal principio di funzionamento, recupera una parte o tutto il gas espirato che altrimenti verrebbe liberato nell'ambiente consentendoci una autonomia maggiore a parità di gas trasportato.

Per poter recuperare e riutilizzare il gas espirato, è necessario tuttavia che venga filtrato trattenendo il biossido di carbonio prodotto dal nostro metabolismo, per fare questo viene utilizzato un sistema filtrante, che contiene un composto chimico chiamato in gergo "calce sodata" (composto da idrossido di calcio e idrossido di sodio) o nei modelli più evoluti da molecole di sintesi, che ha la proprietà di fissare l'anidride carbonica che lo attraversa. Per tale motivo in ogni rebreather vi è un filtro (chiamato anche canister o capsula) che contiene una certa quantità di detto materiale (mediamente da 1,5 a 4 kg). Il rebreather ha uno o due sacchi polmone, collegati al boccaglio per mezzo di due tubi di grossa sezione (detti corrugati) attraverso i quali passa il gas espirato ed inspirato. Generalmente tra i due sacchi si trova il filtro di calce sodata. Il gas espirato, pur contenendo ancora una certa percentuale di ossigeno, deve essere miscelato con nuovo ossigeno o nuova miscela respiratoria per

poter essere riutilizzato dall'operatore. Il sistema per ripristinare tale percentuale di ossigeno determina il principio di funzionamento dell'apparecchio.

In un circuito chiuso non vi sono (normalmente) fuoriuscite di gas dall'apparecchio e quindi nessuna produzione di bolle. In un semichiuso invece una parte di gas viene espulsa dalla macchina con frequenza costante.

In un recente intervento su un social Aldo Ferrucci risponde con chiarezza alla classica domanda quale sia il REb migliore *“Spesso mi viene posta la domanda di quale sia il miglior rebreather, perché grazie alla mia esperienza non fabbrico il rebreather migliore, perché non fanno un rebreather perfetto. La risposta è molto semplice, perché il Rebreather perfetto non esiste e forse non esisterà mai. Per avvalorare questa affermazione, chiedo quale sia per loro la vettura migliore o perfetta. Ricevo le risposte più disparate, chi dice X per le prestazioni, chi Y per la sicurezza, chi dice Z per il confort, ma nessuno è d'accordo su quale sia la migliore. Se questo non è possibile in un settore che vende decine di milioni di unità, con investimenti in sviluppo e ricerca senza pari, come possiamo pensare che questo sia possibile in un settore che vende poche migliaia di rebreather all'anno? E dobbiamo ringraziare il fatto che le più recenti migliorie in elettronica e materiali, vengono per ricerche effettuate in settori collaterali come la subacquea militare e professionale, se non addirittura in settori dove non c'entra assolutamente la subacquea, vedi i sensori di ossigeno. Certo esistono rebreather di livello superiore ad altri, sia come costruzione, tecnologia, rifiniture e affidabilità. Una grande sfortita al mercato, almeno in Europa è stata data dal fatto che le unità in commercio devono essere conformi alle norme unificate CE EN 14143. Le prove richieste, per quanto parzialmente discutibili, obbligano i costruttori a un livello di qualità e prestazioni elevato e certificato.*



Foto 2 – All'uscita della grotta di Trou Madame (Francia - Lot), si noti la bombola di bail-out lungo il fianco del subacqueo (autore R.Bordin)

Non esiste quindi il rebreather migliore in tutto, esistono varie unità che hanno caratteristiche diverse e meglio si adattano alle varie necessità dei subacquei. Chi vi dice che quel rebreather è adatto a tutti, non sta dicendo la cosa giusta, in buona o in malafede”

Ciò che qui ci preme definire sono le modalità di utilizzo dei CCR e/o dei SCR, qualsiasi sia il modello, nell'ambito dell'attività speleosubacquea, un'attività quindi totalmente differente dalle immersioni in acque libere. Al riguardo, innanzi tutto, vanno distinte le procedure individuali, singole dell'operatore e le procedure che definiamo, per intenderci, collettive della squadra esplorativa. Per definire cosa si intende per procedure individuali di utilizzo di un rebreather in grotta dobbiamo tenere in considerazione che il nostro obiettivo è quello di creare le migliori condizioni di sicurezza per gli speleosub.

Pertanto è necessario che in relazione alla immersione che si va a programmare ogni speleosub abbia una adeguata scorta di gas di emergenza respirabile in circuito aperto (bail-out) in bombole di volume minimo pari a 7 litri o più contenenti gas per quantità e per qualità (EANX - TRIMIX), che consentano un ritorno in emergenza in assoluta sicurezza, ove un malfunzionamento impedisca il normale uso del CCR o del SCR.

Le bombole di bailout devono essere marcate indicando sul corpo in modo ben visibile il tipo di gas che contengono e la MOD. I rubinetti delle bombole di bailout devono essere tenuti aperti, gli erogatori collegati devono avere il primo stadio munito di manometro di alta pressione per controllare la scorta di gas respirabile, frusta di bassa pressione con attacco rapido di adeguata lunghezza per poter eventualmente alimentare il circuito di diluente del CCR manualmente, nell'eventualità che per qualsiasi motivo sia inutilizzabile il diluente (on board) che normalmente alimenta il circuito chiuso.

Tra la frusta di bassa pressione ed il secondo stadio è opportuno inserire uno free flow stop per evitare che una autoerogazione accidentale comporti la perdita del gas di bailout contenuto nelle bombole. Conseguentemente per tutti gli erogatori delle bombole di bail-out dovrà essere utilizzata una valvola di sovrappressione sul primo stadio per evitare i dannosi effetti di un eventuale aumento della pressione intermedia che potrebbero comportare l'esplosione delle fruste di bassa pressione.

Con questo tipo di configurazione la bombola di bailout assume la doppia funzione di riserva di gas respiratorio di emergenza da utilizzare in circuito aperto, ove un inconveniente imponga di abbandonare la respirazione dal circuito chiuso, e di diluente di emergenza per alimentare il circuito chiuso manualmente nel caso in cui per qualsiasi motivo non sia utilizzabile o sia esaurito il diluente on board del CCR ma l'autorespiratore funzioni normalmente senza dare problema alcuno.

Al CCR è opportuno che sia collegato anche un bailout di ossigeno per fronteggiare un'emergenza dovuta all'impossibilità di utilizzare l'ossigeno On Board del CCR o a causa del suo esaurimento. Sarà sufficiente utilizzare una bombola di almeno 0,5 litri di ossigeno con primo stadio dedicato ossigenocompatibile munito di valvola di sovrappressione e frusta di bassa pressione con attacco rapido di lunghezza adeguata a collegarla al by pass dell'ossigeno del CCR e consentire l'alimentazione



manuale dell'ossigeno nel circuito. Se andiamo ad analizzare rapidamente i vari tipi di rebreather esistenti sul mercato vedremo che si possono distinguere:

Rebreather a circuito chiuso

Detti CCR (Closed Circuit Rebreather). Con i rebreather chiusi, siano essi elettronici o manuali, si possono raggiungere elevate profondità con relativa facilità grazie al fatto che è possibile variare la percentuale di ossigeno presente nella miscela ed al fatto che quest'ultima può contenere elio (che limita i problemi di narcosi da azoto oltre i 30 m).

Circuito chiuso a ossigeno puro

Comunemente detti ARO (autorespiratore ad ossigeno), sono stati i primi rebreather ad essere costruiti. Si tratta del tipo più semplice di rebreather e non vi è alcuna parte elettronica. Il sacco polmone viene riempito di ossigeno puro e respirato dal sub, vi sono per questo motivo pesanti limitazioni sulla profondità di utilizzo a causa della tossicità dell'ossigeno. Attualmente la profondità massima consigliata (ppO₂ 1,6 bar) è di 6 m, ma in passato, specie in ambito militare, veniva usato a profondità ben superiori e gli incidenti erano frequenti. Quando il sub espira nel sacco, la capsula provvede ad assorbire la CO₂ e quindi si avrà una progressiva diminuzione del volume di ossigeno presente nel sacco. Periodicamente, per evitare che il sacco collassi non consentendo più la respirazione, il sub in modo manuale (esistono anche apparecchi automatici) immette ossigeno puro attraverso un rubinetto chiamato bypass. Questo apparecchio è caratterizzato da una lunghissima autonomia (fino a 6 ore di immersione continua), estrema compattezza e da una notevole silenziosità.

Circuito chiuso a controllo elettronico

Rebreather a circuito chiuso elettronico - Sono detti ECCR (Electronic Closed Circuit Rebreathers) e si tratta di dispositivi a miscela controllati da sensori di ossigeno elettrochimici con automatismo elettronico. In questa macchina, che utilizza due bombole (una di ossigeno puro ed una di "diluente", ovvero una miscela di gas che può essere anche aria) il gas contenuto nella bombola di diluente serve solo come "volume da respirare", mentre man mano che l'ossigeno viene consumato, vi è una immissione di quest'ultimo gas attraverso un sistema elettronico. Detto sistema utilizza dei sensori per ossigeno che misurano la percentuale di ossigeno presente nella miscela e se questo scende sotto un valore predeterminato (detto set-point) provvede ad azionare automaticamente una elettrovalvola (detta in gergo solenoide) che lascia entrare una parte di ossigeno dalla bombola che lo contiene.



Foto 3 – In immersione con un rebreather a circuito chiuso a controllo elettronico nella grotta di Landenouse (Francia-Lot) (autore A.Eusebio)



Foto 4 – In immersione con un rebreather a circuito chiuso a controllo elettronico nel Cogol del Veci (Valstagna Veneto) (autore A.Eusebio)

Circuito chiuso a controllo manuale

Sono detti MCCR (Manual Closed Circuit Rebreathers) e si tratta di dispositivi a miscela a controllo elettrochimico manuale. Il principio di funzionamento è in tutto e per tutto simile al chiuso elettronico, tuttavia in questi apparecchi i sensori per ossigeno, rappresentano le loro letture su un display. Questi dati vengono periodicamente letti dal subacqueo e quando le letture scendono sotto un valore prefissato il sub stesso interviene in maniera manuale con un bypass insufflando una certa quantità di ossigeno.

Circuito chiuso ad addizione chimica

Sono detti CCCR (Chemical Closed Circuit Rebreathers) e si tratta di dispositivi a miscela a controllo chimico. Tali apparecchi sono nati in Unione Sovietica fin dagli anni Cinquanta, la loro particolarità consiste nell'avere, in parallelo al filtro della calce, un contenitore di perossido di sodio. Tale composto ha la particolarità di produrre ossigeno in modo direttamente proporzionale alla CO_2 assorbita. Potrebbe sembrare il sistema ideale ma l'uso presenta notevoli rischi. Il perossido, infatti, è esplosivo se viene in contatto con l'acqua e generalmente è stabilizzato con amianto. Questi apparati sono prodotti quasi esclusivamente in Russia e non hanno alcuna (se non ai fini di collezionismo) diffusione nel mondo occidentale a causa del fatto che sono generalmente ritenuti pericolosi.



Foto 5 – In immersione con un rebreather a circuito chiuso a controllo manuale nella grotta dell'Elefante Bianco (Valstagna-Veneto) (autore A.Eusebio)

Rebreather a circuito semichiuso

Detti SCR (Semiclosed Circuit Rebreather). In questi apparati l'ossigeno consumato dal metabolismo è fornito mediante un continuo ricambio della miscela presente nel circuito respiratorio, pertanto una parte di questa deve essere dispersa nell'ambiente esterno: di qui il nome "semichiuso". Come nei circuiti chiusi il biossido di carbonio prodotto dal metabolismo è eliminato dalla calce sodata. Esistono due sistemi per il ricambio della miscela: uno è detto a flusso continuo o alimentazione attiva, l'altro è detto ad alimentazione passiva. Tutti e due sistemi sono alimentati da una o più bombole caricate con miscele preconfezionate.

Sistemi a Flusso Continuo - Alimentazione Attiva. In questi sistemi il ricambio della miscela presente nel circuito respiratorio si realizza mediante un ugello che inietta un flusso continuo di gas proveniente dalla bombola, il gas in eccesso è disperso nell'ambiente esterno da un'apposita valvola posta in genere sul sacco polmone di espirazione o comunque su un punto opportuno del circuito respiratorio. In questi sistemi il valore del flusso è strettamente legato alla composizione della miscela presente nella bombola. Gli ugelli possono esser fissi, quindi uno per ogni tipo di miscela, o regolabili in modo che lo stesso ugello possa essere impostato in funzione del tipo di miscela impiegato. In genere questi apparati fanno uso di miscele Nitrox, ma si possono anche usare miscele Trimix (es.apparato modello Azimuth AF) o Heliox (es.apparato Drager FGG III), bisogna tener conto, però, che ogni tipo di miscela richiede un particolare valore del flusso, quindi un ugello dedicato o una particolare impostazione di un ugello regolabile.

Sistemi a flusso continuo Premiscelati e Automiscelanti - I sistemi a flusso continuo si dividono in premiscelati ed automiscelanti. Nei sistemi premiscelati impiegano un unico flusso di miscela, mentre nei sistemi automiscelanti vi sono due flussi erogati da due ugelli ove almeno uno eroga un flusso variabile in funzione della profondità, in tal modo la composizione della miscela dipende dall'effetto combinato dei due flussi ed è variabile con la profondità. Lo scopo dei sistemi automiscelanti è quello di cercare di ottimizzare la miscela risultante in funzione profondità. Nei premiscelati a massa costante si tratta di apparecchi, generalmente dotati di una sola bombola di gas primario (quello utilizzato dal circuito respiratorio), che generalmente è un nitrox nel quale la percentuale di ossigeno presente è stabilita in base alla profondità che si vuole raggiungere. Il gas, attraverso un sistema meccanico chiamato "dosatore" lascia entrare nel circuito respiratorio un flusso continuo di gas che deve rinnovare la miscela presente, il sub respirando consuma una parte dell'ossigeno presente nella miscela. Per tale motivo la percentuale di ossigeno presente nel circuito è quasi sempre inferiore alla percentuale contenuta nella bombola e dipende dal lavoro svolto (ovvero dal consumo metabolico di ossigeno). Appartengono a questa categoria la maggior parte dei rebreather semichiusi presenti sul mercato.

Gli Automiscelanti a massa costante hanno lo stesso principio di funzionamento dei semichiusi descritti sopra, l'unica differenza è che il gas non è premiscelato, l'apparecchio ha infatti due (o più) bombole contenenti la prima ossigeno e l'altra un altro gas (generalmente nitrox o anche aria). Il vantaggio rispetto al tipo precedente è che pur ottenendo una complessità costruttiva maggiore, si

può decidere la profondità operativa in maniera continua senza necessariamente cambiare il gas primario come nei rebreather sopra descritti. Tali apparecchi, tuttavia, proprio a causa della loro complessità, non hanno trovato una notevole diffusione. Esistono infine i premiscelati ad addizione passiva PASCAR (Passive Addition Semi Closed Rebreather). In queste macchine ad ogni inspirazione, grazie ad un sistema meccanico, vi è una piccola espulsione di gas "vecchio" che viene rimpiazzato dal gas proveniente dalle bombole. Questi apparato possono impiegare miscele Nitrox e Trimix, con il sistema ad alimentazione passiva il passaggio da una miscela all'altra è molto semplice anche in immersione: ciò costituisce un vantaggio rispetto ai sistemi a flusso continuo nei quali è necessario cambiare ugello o impostazione in funzione del tipo di miscela impiegata, cosa che non può essere fatta in immersione.

Nella pratica speleosubacquea i rebreather rappresentano sempre di più le apparecchiature che consentono ora o ancora di più nel prossimo futuro le grandi esplorazioni dove le scorte d'aria necessarie con l'uso delle bombole rendevano impossibili lunghe percorrenze a grandi profondità. Inizialmente tutti i modelli erano pensati back-mount ora si stanno sviluppando sistemi sidemount che consentono un miglior utilizzo del REB a discapito della facilità di gestirne l'assetto; se infine si sceglie questa tecnologia la ridondanza può essere garantita da un altro REB anch'esso in configurazione sidemount. Si tratta naturalmente di materiali in forte evoluzione e fortemente personalizzati dove comunque è richiesto un livello di addestramento estremamente elevato.



Foto 6 – La spedizione in Bosnia italo-slovena Mostar 2007 ha utilizzato sia REB sia sistemi a circuito aperto (autore A.Eusebio)