

## CHE COS'È UN CIRCUITO O REBREATHER?

### *Autore*

Luigi Casati

Gruppo Speleologico Lecchese C.A.I.

### *Fotografie*

Archivio

Gruppo Speleologico Lecchese C.A.I.



### *Sommario*

Nell'ambiente delle grotte sommerse e specialmente nei grossi sistemi, sempre più frequentemente si utilizzano dei circuiti semichiusi o chiusi, comunemente chiamati, all'inglese, rebreathers. S'introdurrà l'argomento spiegando perchè tali circuiti stiano diventando importanti, tenuto conto che si è cominciato ad utilizzarli anche nelle cavità artificiali sommerse.

### *Abstarct*

In submerged caves and especially in bigger cave systems the ever more frequent use of closed circuits or half-closed circuits is applied; its english expression "rebreathers" is commonly used also in Italy. Here we introduce the issue, explaining why this circuits are becoming important, with an eye also on submerged artificial cavities.

### *1 - I rebreathers*

Nell'ambiente delle grotte subacquee e specialmente nei grossi sistemi, sempre più frequentemente vengono alla ribalta apparati che stanno rivoluzionando le possibilità esplorative: si tratta dei circuiti semichiusi o chiusi comunemente chiamati, all'inglese, rebreathers. Cosa sono questi circuiti e perché stanno diventando così importanti?

Un circuito semichiuso o chiuso non è altro che la discendenza modificata del primo autorespiratore ad ossigeno chiamato ARO, utilizzato fin dal primo dopoguerra, a livello sportivo. Il principio di funzionamento è simile: reintegrare la quantità di ossigeno metabolizzata dal nostro organismo e trattenere l'anidride carbonica prodotta dal nostro organismo. L'anidride carbonica viene trattenuta da un filtro contenente calce sodata, trattata chimicamente affinché in caso di allagamento del canister non diventi caustica; il gas di espirazione passa attraverso il filtro si purifica dalla Co2 e ritorna nel circuito di inspirazione.

Un piccola parentesi ci permette di capire meglio i vantaggi forniti da questi apparecchi: il classico circuito aperto "OC" utilizzato dalla massa dei subacquei sportivi in questi anni, ha dei limiti di autonomia a seconda della quantità di bombole e delle loro dimensioni, delle profondità che si vogliono raggiungere; il tipo di gas immesso

nelle stesse limita, a sua volta, le profondità. Un corpo umano in superficie ventila mediamente 20 l al minuto di aria; questi litri aumentano in maniera proporzionale all'aumento della pressione in relazione alla profondità.

A 10m di profondità avremo 2Bar, quindi il corpo campione consumerà  $20l \times 2Bar = 40 l/min$ .

A 50m di profondità avremo 6Bar, quindi il corpo campione consumerà  $20l \times 6Bar = 120 l/min$ .

A 100m di profondità avremo 11Bar, quindi il corpo campione consumerà  $20l \times 11Bar = 220 l/min$ .

Con questi esempi comprendiamo come il subacqueo che utilizza un circuito aperto aumenta il consumo, quindi riduce l'autonomia, con l'aumentare della profondità. Con gli apparecchi semichiusi "SCR" il nostro subacqueo imposterà, a seconda del tipo di apparecchio utilizzato, un flusso di gas in l/min oppure un rapporto tra i due polmoni che permettono il funzionamento di certi tipi di circuiti semichiusi e che gli garantirà un consumo ridotto e costante rispetto al circuito aperto. Se il nostro sub imposta un flusso di 10 l/min questa quantità di gas sarà idealmente costante a qualsiasi profondità. Con gli apparecchi chiusi "CCR", il nostro subacqueo imposterà un flusso o una pressione parziale e avrà un consumo medio di 1l/min.

Profondità in metri	Pressione in Bar	Consumo OC l/min	Consumo SCR l/min	Consumo CCR l/min
0	1	20	10	1
10	2	40	10	1
50	6	120	10	1
100	11	220	10	1

I circuiti semichiusi si suddividono in due tipi: attivi o a flusso costante, e passivi o a richiesta. La differenza fondamentale tra i due sistemi è nell'alimentazione: in un semichiuso attivo (es. Voyager, Azimut, Dolphin) l'alimentazione è a flusso costante ed il flusso è regolato da un regolatore di massa, oppure da un flussometro o da un ugello calibrato. Questo flusso viene calcolato tramite un formula matematica che utilizza valori conosciuti quali il consumo metabolico, la percentuale della miscela in bombola, la percentuale della miscela nel sistema di respirazione.

In un semichiuso passivo (DC55, Recy01, RB80) l'alimentazione è regolata dalla quantità di atti respiratori: ad ogni atto respiratorio fuoriesce dal sistema una quantità di gas costante; questa quantità di gas è vincolata al rapporto tra i due contropolmoni presenti nel sistema, uno esterno che funge da volume di ventilazione ed uno più piccolo interno che funge da contropolmone di espirazione. Uscendo gas ad ogni atto respiratorio, il volume di gas nel polmone di ventilazione diminuisce; raggiunto un volume minimo pre-tarato, si apre il meccanismo di alimentazione ed il gas nuovo entra nel sistema ad alimentare il circuito. Anche in questo caso, per poter scegliere i gas di alimentazione, occorre conoscere due valori fondamentali: il consumo metabolico ed il rapporto tra i due contropolmoni.

I circuiti chiusi a loro volta si suddividono in due gruppi: meccanici ed elettronici, due concezioni completamente diverse. Nel circuito meccanico (Voyager, Kiss) l'alimentazione viene garantita tramite un regolatore di massa o un flussometro e l'elettronica serve solo come controllo per verificare, trasformandola in pressione parziale, la quantità di ossigeno presente nella miscela. Per utilizzare correttamente un circuito meccanico, occorre tenere in considerazione un dato importante: il consumo metabolico personale; in media, un corpo umano immerso in acqua, che si sposta pineggiando, consuma 0,8 l/min di ossigeno: con questo dato si imposta la quantità di ossigeno consumata che serve per mantenere costante la pressione parziale (PpO2) dello stesso.

Nel caso di un aumento di consumo, causato da uno sforzo fisico maggiore, oppure di una diminuzione, nel caso di rallentamento dell'attività, la pressione parziale viene mantenuta manualmente utilizzando delle valvole di by pass, oppure modificando il flusso di alimentazione. Nel circuito elettronico (CISS Lunar, MK15, Buddy Inspiration, Ouroboros, ecc.) l'alimentazione viene garantita dall'impostazione sulla centralina elettronica, del valore di pressione parziale di ossigeno alla quale il subacqueo si vuole esporre ed il controllo della stessa viene fatto tramite sensori di O2 che inviano un impulso elettrico alla centralina elettronica la quale, dopo aver analizzato i dati, alimenta elettricamente una valvola solenoide che apre e chiude il passaggio di ossigeno. La centralina elettronica

mantiene costante la PpO<sub>2</sub>; anche questi circuiti si ha la possibilità di intervenire manualmente in caso di guasto del sistema elettronico oppure in caso di un cambiamento rapido della quantità di ossigeno presente nel sistema di respirazione.

## *2 - Limiti di utilizzo dei differenti sistemi*

Sostanzialmente le immersioni con apparecchi a riciclo di gas, limitando i consumi, aumentano le possibilità esplorative e diminuiscono i problemi logistici. Le grosse esplorazioni ormai dipendono dai limiti imposti dalle attrezzature: poche persone sono in grado di trasportare, sebbene rese neutre, diverse centinaia di chili di attrezzatura in acqua e spesso per diverse centinaia di metri.

Mi è capitato spesso nel passato di rientrare da punte esplorative trasportando fino a 9 bombole da 20 l, un maialino di supporto, alcuni svolgisagola, rimanendo al centro di veri e propri grappoli di attrezzature (fig. 1). Ad ogni immersione esplorativa corrispondeva anche una serie di immersioni per recuperare, ricaricare e riposizionare le bombole utilizzate, e per realizzare ciò occorreva una equipe composta da diverse persone in grado di effettuare delle immersioni impegnative. La quantità di bombole, erogatori, compressori, etc., che si trasportavano sui luoghi di immersione raggiungeva facilmente circa i 40 q. L'uso del circuito aperto (OC) ha permesso esplorazioni incredibili: i vantaggi derivati dalla tradizione e dalle molteplici ridondanze ottenute da differenti bombole, erogatori, etc., si contrappongono ai suoi limiti di utilizzo come l'autonomia limitata alla dimensione e alla quantità delle bombole, l'utilizzo di differenti gas per raggiungere differenti profondità. Da un punto di vista fisiologico gli svantaggi sono: si respira gas a temperature inferiori di circa 5-6° rispetto alla temperatura dell'acqua e si respira gas secco (aiutando la dispersione termica e la disidratazione), si riceve gas nel sistema di respirazione del corpo umano in maniera innaturale cioè in sovrappressione, e la PpO<sub>2</sub> varia a seconda della quota.

I primi circuiti ad essere utilizzati in grotta all'inizio degli anni '90 con successo, sono dei semichiusi: il famoso RI2000 messo a punto da Olivier Isler e da Alan Ronjat. Questo circuito era completamente ridondante ed ha permesso ad Olivier di portare a termine interessantissime esplorazioni pur avendo come grosso limite le dimensioni sostanziose. Olivier è stato il precursore dei sistemi a riciclo in grotta. Nel tempo si sono sviluppati dapprima i circuiti semichiusi perché il loro funzionamento, completamente meccanico, non ha la necessità di nessun apparato elettronico. L'alimentazione dell'impianto, tramite una miscela preconstituita contenuta all'interno di una bombola, permette di conoscere a priori la quantità di ossigeno respirata e quindi fissare i limiti di profondità di utilizzo della stessa. I sensori di O<sub>2</sub> in questo caso servono solo come controllo, per verificare anche durante l'immersione che la programmazione sia stata correttamente impostata. I limiti di utilizzo di questi apparecchi sono inizialmente legati soprattutto alla diffidenza nei confronti del nuovo e del diverso, tuttavia il consumo ridotto di gas che permette delle performances prima impensabili, sarà la spinta della loro diffusione.

L'SCR, essendo semplicemente un riduttore di consumo rispetto all'OC, ha un funzionamento simile a questo tuttavia l'autonomia che si guadagna è decisamente notevole dal momento che più si scende in profondità meno si consuma rispetto ad un OC. La scelta dei gas per raggiungere differenti profondità deve essere accurata come già per l'OC e la PpO<sub>2</sub> varia a seconda della quota; l'emissione ridotta di bolle aiuta a mantenere buona la visibilità all'interno dei sifoni.

Da un punto di vista fisiologico i vantaggi sono notevoli: si respira gas ad una temperatura di circa 32°, temperatura che può variare più o meno di qualche grado se la temperatura dell'acqua varia in maniera importante, si respira gas umido evitando un aumento di dispersione termica e disidratazione, si riceve gas nel sistema di respirazione del corpo umano in maniera naturale cioè a pressione costante. La decompressione beneficia di questi vantaggi fisiologici: a parità di immersione rispetto ad un OC si ottiene una desaturazione migliore, con la possibilità di abbreviare leggermente i tempi. Le performances notevoli che si ottengono usando un solo apparecchio, devono far mantenere la guardia prevedendo sempre un efficiente e corretto sistema di soccorso nel caso di un mal funzionamento della macchina. Non occorre dimenticare che è sempre possibile un errore umano nella preparazione o nell'utilizzo della macchina con le conseguenti possibili avarie.

I circuiti chiusi, in questi ultimi anni, stanno recuperando terreno rispetto ai circuiti semichiusi, grazie anche alla evoluzione degli apparati di controllo. I sensori di O<sub>2</sub>, cuore di un CCR, nell'arco di qualche anno, sono diventati decisamente più stabili e precisi nella lettura, anche ad elevate pressioni e alle differenti PpO<sub>2</sub>, rendendo più sicuro

il controllo della stessa; il CCR, è perciò diventato più sicuro. Se per gli SCR c'è diffidenza, per i CCR la diffidenza della massa è amplificata. Con questo tipo di apparecchi i limiti esplorativi non sono più legati alla attrezzatura, ma alla capacità psicologica e fisica dell'esploratore. Quasi tutti gli esploratori di punta, per questo motivo si stanno orientando verso l'utilizzo dei circuiti chiusi. La massima efficienza di resa per un subacqueo in immersione, la si ottiene in CCR perchè non ci sono sprechi di gas, se non durante gli yo yo, e con una piccola bombola di ossigeno da 2 l caricata a 200 bar si ha una autonomia teorica ad una qualsiasi profondità, di oltre 400'.

Considerato che l'ossigeno è tossico oltre i 6 m di profondità, per scendere oltre, lo si diluisce con aria oppure con una miscela trimix o eliox; in qualsiasi caso la quantità di gas necessaria è veramente irrisoria. Come per il circuito SCR anche per il CCR è importante considerare che la possibilità di un errore umano, nella preparazione o nell'utilizzo della macchina, può essere molto pericolosa. Oltre ai citati vantaggi di autonomia "illimitata" il CCR ha almeno due grossi pregi: non emette bolle e quindi la visibilità rimane sempre buona e permette allo speleosub piena libertà di azione nel percorrere i bizzarri meandri delle cavità allagate senza costrizioni di tempo e profondità.

Da un punto di vista fisiologico la possibilità di avere la PpO<sub>2</sub> costante (la migliore miscela utilizzabile) è un altro importante vantaggio oltre al fatto di respirare caldo, umido, a pressione ambiente: la decompressione ne beneficia in maniera ottimale, ed a parità di immersione rispetto ad un SCR, si ottiene una desaturazione ancora migliore, con la possibilità di abbreviare notevolmente i tempi. Come per lo SCR, con i CCR si ottengono delle performances ancora più importanti su di un apparecchio solo, occorre quindi saper programmare un efficiente e corretto sistema di soccorso nel caso di un mal funzionamento della macchina.

### *3 - La ridondanza*

In OC, la ridondanza minima per le immersioni in grotta è quella di raddoppiare le attrezzature per la respirazione e nelle grosse esplorazioni, per necessità, questa ridondanza viene moltiplicata dalle numerose bombole, erogatori, manometri, etc. In SCR, o in CCR la ridondanza minima per immersioni normali è di due apparecchi, mentre per le grosse immersioni è di almeno tre apparecchi. Si è costretti, sebbene siano macchine molto affidabili, a garantirsi una sicurezza basata su tre apparecchi perché, nel caso di un malfunzionamento di un apparecchio, se si hanno a disposizione ancora due macchine si rimane sempre ridondanti: ritrovarsi a diverse decine di minuti di distanza dall'ingresso su di un apparecchio solo non è né piacevole né sicuro.

Comunque sia, affidare la ridondanza ad altri apparecchi semichiusi o chiusi significa tenere in considerazione che si deve avere sia una quantità di gas di alimentazione o diluente sufficiente a garantire la possibilità di attivare il filtro, sia una costante verifica del buon funzionamento dei circuiti secondari sia l'immediata possibilità di presa di contatto con la macchina di emergenza.

Utilizzando sistemi SCR e la ridondanza in SCR, si limita la quantità e la dimensione delle bombole. Un piccolo autorespiratore ad ossigeno ARO può servire in decompressione per terminare le ultime tappe. Utilizzando sistemi CCR e la ridondanza in CCR, si riduce ai minimi termini la quantità e la dimensione delle bombole. È tuttavia possibile per la ridondanza affidarsi a sistemi SCR. Questa scelta di sicurezza richiede, durante la programmazione, la preparazione di una serie di gas differenti per alimentare il sistema di ridondanza, anche se la dimensione delle bombole sarà decisamente ridotta rispetto al sistema OC.

Una possibilità valida, ma sicuramente la meno efficiente, per entrambi i sistemi, è l'utilizzo di un circuito aperto di sicurezza. Per riuscire a calcolare bene la quantità e la dimensione delle bombole, necessarie per un rientro in emergenza, occorre avere una buona conoscenza di sé stessi e della attività che si sta svolgendo. Non bisogna utilizzare bombole di soccorso in numero troppo limitato rischiando di non avere gas sufficiente, ma nemmeno, al contrario, bombole troppo numerose tali da creare problemi di organizzazione e di trasporto. La scelta è determinata dalla profondità, dal tempo di immersione alle varie quote, dal consumo in litri al minuto di gas, per calcolare la quantità di gas necessaria per un rientro in sicurezza, considerando eventuali imprevisti. Questa tecnica per i più, al momento sembra essere la più sicura perché da fiducia ad un sistema da noi collaudato nel tempo. È sempre vero che, a seconda del tipo di esplorazione e dei giorni a disposizione, per preparare una linea di bombole per la decompressione e per il ritorno, garantendo una sicurezza su diversi contenitori di gas, la logistica può essere più o meno elefantica. Il rientro in OC obbliga anche ad un cambiamento delle tabelle di decompressione.

#### *4 - Il perchè delle mie scelte*

Dopo aver provato diversi tipi di circuiti semichiusi e chiusi, nel 2002 decido di darmi una marcia in più facendomi costruire da un amico austriaco, Markus Schafheutle, una coppia di circuiti semichiusi passivi, i Recy01. Li ho avuti nelle mani nel 2003 ed utilizzati normalmente per oltre 300 ore; con questi ho esplorato sorgenti di diversa tipologia; alcune lunghe oltre i due chilometri, altre soprattutto profonde e, nel febbraio del 2004, ho raggiunto con essi la massima profondità -186 m, nella grotta dell'Elefante Bianco, a 530 m dall'ingresso (330 m di percorso sono oltre i -100 m).

Nel 2004, durante l'esplorazione dell'Elefante Bianco, dopo aver incontrato Rick Stanton, inizia il mio interesse per i CCR. Ci scambiamo informazioni sulle attrezzature tra le quali i circuiti, io i miei due Recy01 e lui il suo Kiss accompagnato da un CCR laterale auto-costruito sia l'uno che l'altro, meccanici. "Se le esplorazioni riesce a portarle a termine con un CCR, significa che il sistema funziona" rifletto. Il mio rapporto con l'elettronica non è dei migliori e l'elettronica con l'acqua non ha un feeling particolare. Tuttavia mi organizzo per andare, nel mese di maggio, a provare il Voyager, un circuito meccanico italiano che può funzionare in SCR o in CCR. Al momento della verità, rimango colpito per la facilità con la quale respiro e l'aggeggio mi piace a tal punto da abbandonare i miei adorati circuiti Recy01.

Ho iniziato ad utilizzare il Voyager in SCR per conoscerne il funzionamento e dopo diverse decine di ore di utilizzo, sono passato al CCR. Oggi ho più di 400 ore trascorse in compagnia del mio "Voyager" poiché l'ho sfruttato in tutte le mie immersioni: nelle esplorazioni sia lunghe sia profonde, di fatto, ha sempre funzionato bene. Questo circuito ha come caratteristica la semplicità di costruzione per cui, in qualsiasi posto mi trovi, se mi capita di rompere qualche cosa, sono in grado di risolvere il problema con estrema facilità. La manutenzione è ridotta ai minimi termini: si presta facilmente a modifiche per l'ambiente grotta ed ha un sistema di alimentazione del gas decisamente affidabile e preciso. Inoltre, un aspetto molto importante, ho la libertà di ricercare, in collaborazione con il produttore, per proporre miglioramenti dei materiali di utilizzo come i sensori di O<sub>2</sub>, il materiale filtrante, etc. Di questo apparecchio, grazie alla collaborazione con l'Università di Bruxelles, con il dott. Costantino Balestra, con il DAN, si conosce tutto il comportamento del gas in ogni centimetro di percorso.

È fondamentale, per utilizzare senza improvvisare i circuiti, avere una formazione di base corretta. Dal mio punto di vista è necessario fare esperienza con un SCR, perché è un sistema che insegna come ascoltare il funzionamento della macchina e come ragionare in funzione della macchina. Il circuito chiuso, l'apoteosi dei sistemi di respirazione al giorno d'oggi, è il punto di arrivo per ogni speleosub che cerchi di migliorare, avvantaggiandosi con un sistema così diverso dal solito circuito aperto (figg. 2, 3, 4 e 5). Considerando la facile apertura di nuove frontiere, si deve sempre avere presente che l'attività speleosubacquea è pur sempre una attività da non sottovalutare e la ricerca dei limiti nelle immersioni è una sirena che attrae pericolosamente chiunque.



Fig. 1. *Oliero: speleosub con "maialino".*

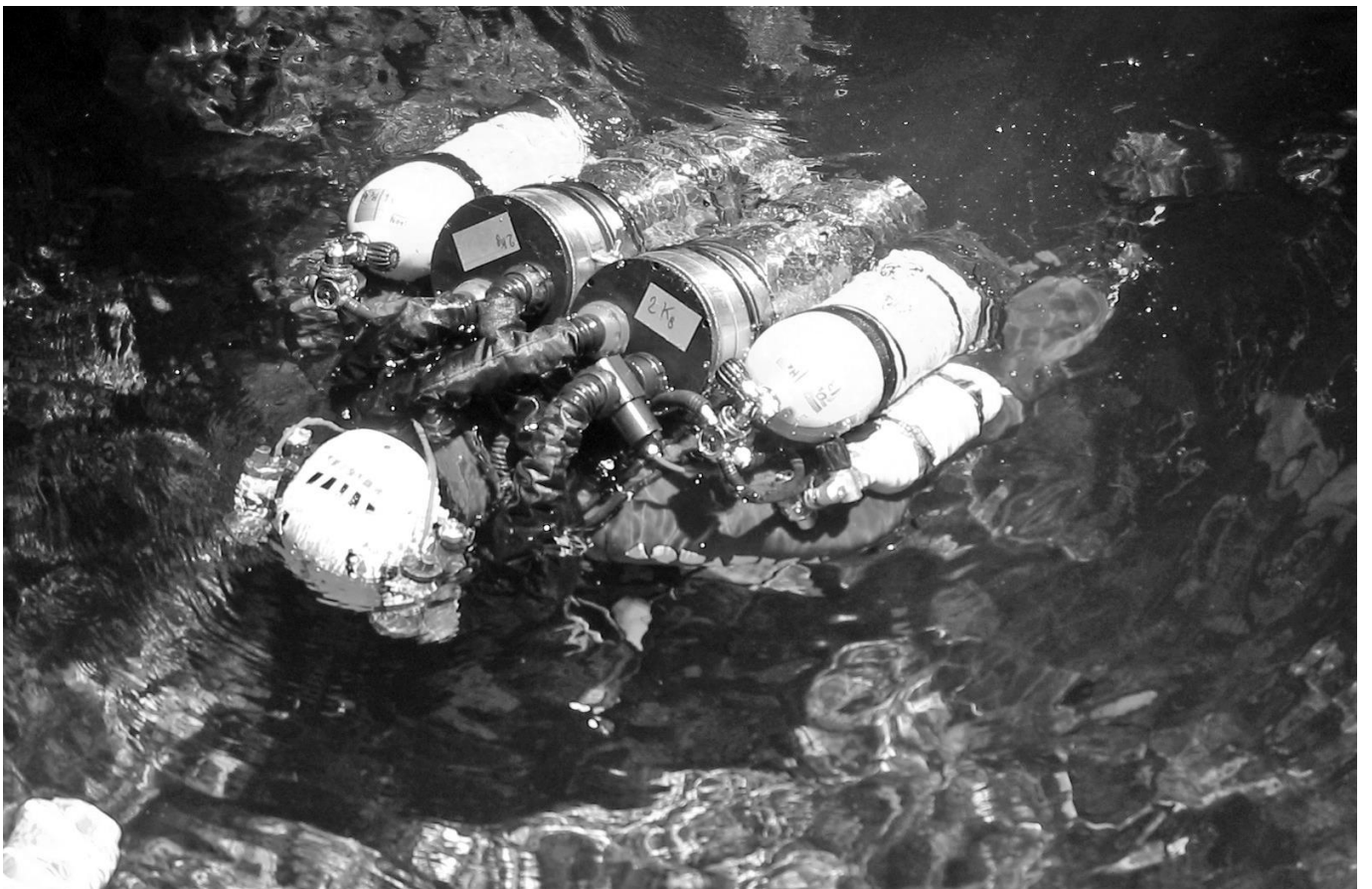


Fig. 3. *Speleosub con circuito rebreather.*

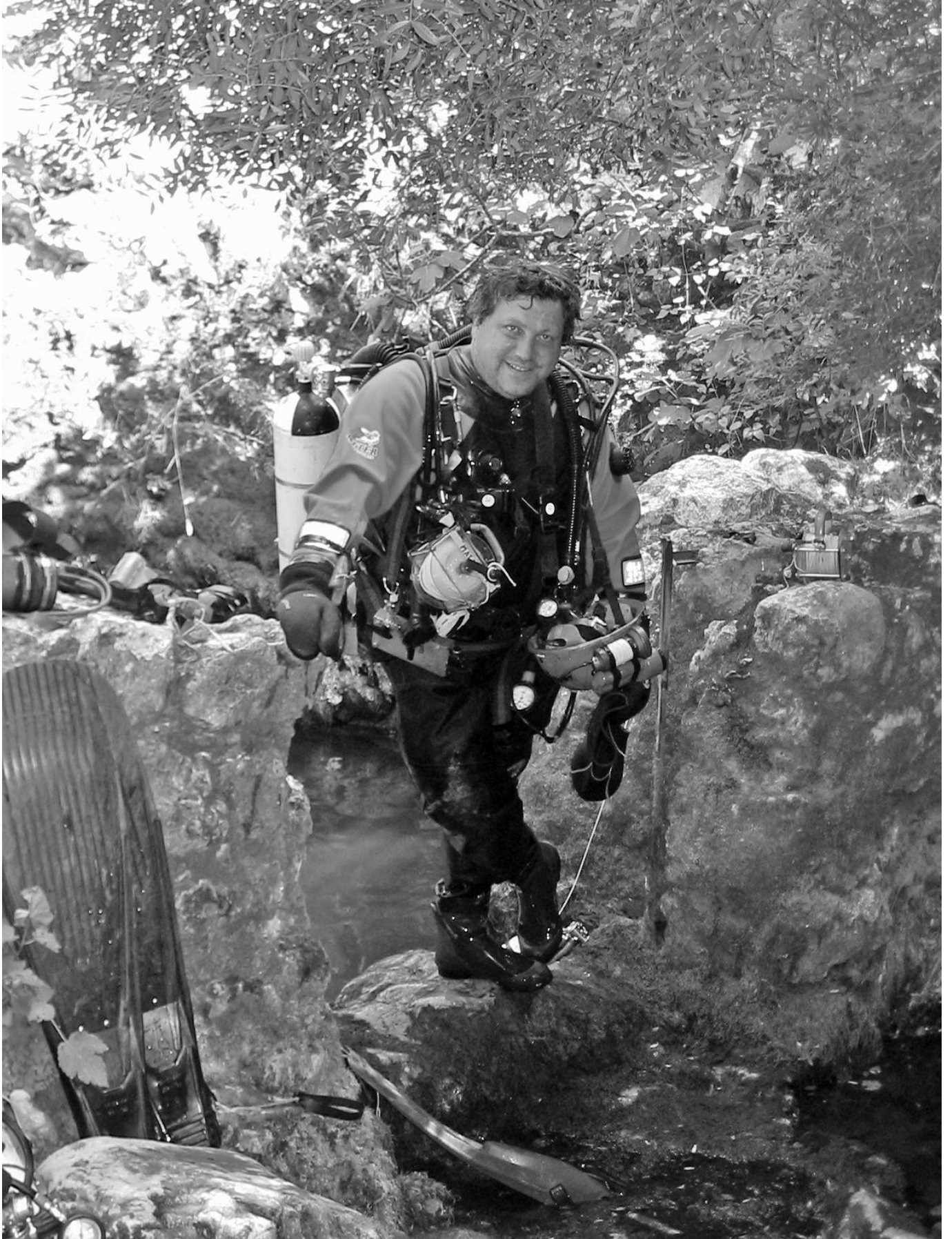
*Che cos'è un circuito o rebreather?*



*Fig. 4. Speleosub con circuito rebreather a Castelcivita.*



*Fig. 5. 2004: operazioni a Castelcivita.*



*Fig. 5. 2004: operazioni a Castelcivita; termine dell'immersione.*