

CONTRO DIFFUSIONE ISOBARICA NELLE IMMERSIONI TECNICHE

Fonte Articolo: <https://www.ymecarsana.com/contro-diffusione-isobarica/>

Parlando con amici durante una cena riguardo all'immersione effettuata nel pomeriggio, è sorta la domanda sul perché *non si debba passare da un gas con alto contenuto di elio ad uno con alto contenuto di azoto. Essa si può verificare anche in altri casi (passando da O2 a miscela di fondo) come vedremo fra poco.* Cercando di spiegare i motivi che mi hanno sempre spinto ad avere un graduale calo/incremento dei gas inerti mi sono reso conto che il concetto della *contro-diffusione isobarica* non è molto conosciuto. Ecco dunque una breve spiegazione affinché possa essere chiaro a tutti.

Contro diffusione Isobarica

La contro-diffusione isobarica è un fenomeno ancora poco conosciuto anche se, teoricamente, è coerente con la logica decompressiva. Ciò che viene descritto qui è quindi una teoria, purtroppo non è ancora una verità assoluta. Riguarda la fuoriuscita o l'entrata nei tessuti di due gas inerti (elio e azoto) che hanno una diversa velocità e solubilità in essi, dovuta al cambio di miscela respiratoria ad una profondità costante.

Avviene quando un subacqueo passa da una miscela con alta percentuale di un gas inerte ad un'altra miscela con un'alta percentuale di un altro gas inerte pur rimanendo alla stessa profondità. Può anche avvenire in altri casi come vedremo presto.

Si pensa che i gas non metabolizzati (inerti) si diffondano in direzioni opposte (fuori e dentro lo stesso tessuto) a seconda dei rispettivi gradienti di pressioni parziali anche senza essere soggetti a cambiamenti di pressione ambiente (da qui il termine *isobarica* che significa "stessa pressione")

Dato che la tensione (pressione) in un tessuto è dato dalla somma delle tensioni (pressioni parziali) esercitate dai singoli gas presenti nel tessuto, il risultato è che crescerà passando la soglia critica del "valore M" e producendo, quindi, Malattia da Decompressione.

[Per maggiori chiarimenti sulla teoria della decompressione clicca qui](#)

Vediamo quali sono i tre casi in cui questa situazione può avvenire:

Primo: Contro-Diffusione Isobarica cutanea

Questa condizione avviene se un subacqueo sta respirando una miscela più pesante di quella nella quale è immerso. Da questa affermazione capiamo subito che non interessa i subacquei che s'immergono con una muta umida, ma solo quelli che fanno uso della muta stagna.

Se il subacqueo usa una miscela di elio come gas per la muta stagna, essa può penetrare a livello epidermico aggiungendosi a quella assorbita dall'interno del corpo, in modo tale che la somma del gas inerte nel tessuto della pelle sorpassi il valore critico di tensione del valore M. Questo può portare a lesioni e macchie sull'epidermide del tutto simili a quelle di una Malattia da Decompressione cutanea.

Sistema per ovviare la contro diffusione isobarica: bombolino per la muta stagna

Evitarlo è piuttosto semplice: **non usare miscele a base di elio per gonfiare la muta stagna!** Opzione non difficile perché tutti sanno che una miscela a base di elio non ha un buon potere isolante e costa più della semplice aria. Nonostante ciò, nella mia esperienza, ho visto più volte subacquei che non avendo il bombolino dedicato per la stagna o una connessione a bassa pressione sugli erogatori delle bombole decompressive, optavano per una frusta di bassa pressione montata sugli

erogatori del bibombola anche se carico di Tmx 18/45. Più alto è il contenuto di elio nella miscela e maggiore è il rischio.

Secondo: Contro-diffusione Isobarica N2 alto →He alto

Quando un subacqueo passa da una miscela con alto contenuto di azoto ad una miscela con un alto contenuto di elio, esso può entrare nei tessuti più velocemente di quanto l'azoto esca, facendo sì che la tensione dei gas inerti sorpassi la soglia critica del "valore M".

Questo si potrebbe verificare se il subacqueo effettua un "break" dall'ossigeno in decompressione a 6 metri, passando al gas di fondo e sviluppando una *Malattia da Decompressione di tipo I*. Alcune didattiche consigliano di non passare dall'ossigeno a miscele con un contenuto superiore al 20% di elio. La miscela decompressiva Tmx 50/20 è un'ottima scelta che consente anche di non diminuire troppo bruscamente il livello di elio dal gas di fondo e permette di poter effettuare un break dall'ossigeno.

Questa situazione potrebbe interessare anche i subacquei che fanno uso di sistemi CCR manuali. Dopo una parte di sosta a 6 mt effettuata respirando O2 per ottimizzare la decompressione, effettuare un "lavaggio" con un diluente ad alto contenuto di elio, potrebbe creare il medesimo problema.

[Se vuoi sapere come funziona un CCR rEvo clicca qui](#)

Terzo 1: Contro-diffusione Isobarica He Alto→N2 alto

Può sembrare assurdo che se viene sconsigliato di passare da una miscela ad alto contenuto di N2 ad una ad alto contenuto di elio, possa essere altrettanto sconsigliato di fare il contrario e cioè **passare da una miscela ad alto contenuto di elio ad una con basso contenuto di elio ed alto contenuto di azoto**.

Questa terza situazione è la più controversa e pericolosa.

Se il computer subacqueo tecnico trimix indica uno stop ad una certa profondità, l'algoritmo considera il massimo gradiente possibile (differenza fra pressioni parziali fra la pressione del gas nei tessuti e quello a livello polmonare/ambientale) per non sorpassare la soglia critica dei valori M nei tessuti saturi.

Supponiamo per esempio che nel mio rebreather ho un diluente 10/60 e a 21mt durante la sosta indicata dal computer, decido di inserire nel rebreather il mio bailout EAN50 come nuovo diluente.

Il gradiente dell'elio è ora ben superiore a quello massimo che il computer aveva stabilito. Il computer indicherà addirittura un tempo di decompressione diminuito una volta cambiato il diluente. Ciò che sta succedendo è che, respirando una miscela con meno elio, esso uscirà dai tessuti con una velocità ben superiore a quella di sicurezza! Lo stesso potrebbe succedere anche in circuito aperto passando da un Tmx 10/60 ad un EAN 50 (per questa ragione il 50/20 è un'ottima soluzione). Alcuni software prendono in considerazione sbalzi troppo marcati fra i contenuti di gas inerti nei cambi di miscele sott'acqua e li segnalano con un allarme. Nella prossima sezione capirai come il software stabilisce che il cambio gas sia o meno adeguato.

[Se vuoi sapere di più sui CCR clicca qui](#)

Terzo 2: Controdiffusione isobarica e solubilità

Questo fenomeno è anche dovuto alla differenza di solubilità dei due gas inerti nei tessuti (supponiamo quello lipidico). **Sappiamo che un gas è considerato più narcotico di un altro se ha un indice di solubilità maggiore nel tessuto lipidico rispetto ad un altro**. Questo ci fa dedurre che *l'azoto abbia un'indice di solubilità ben maggiore dell'elio* essendo notoriamente più narcotico.

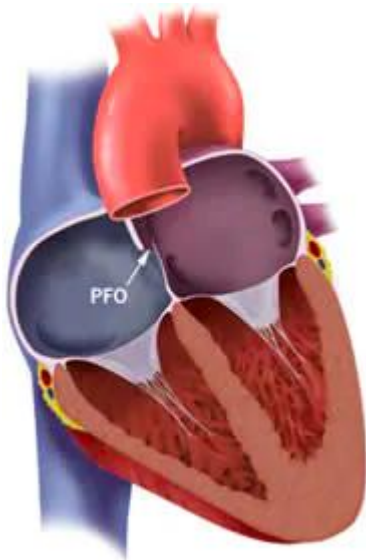
Si pensa che passando da una miscela ad alto contenuto di elio ad una ad alto contenuto di azoto (es EAN50 o aria), *l'indice di solubilità maggiore dell'azoto* nei tessuti lipidici sia tale da permettergli di entrare in tali tessuti ad una velocità tale che la somma delle tensioni azoto+elio sorpassino la soglia critica dei valori M.

In tal caso il subacqueo può avere forti giramenti di testa e senso di vomito che possono **rendere le soste di decompressione pericolose**. Questi sintomi sono simili a quelli di un'inflammazione all'apparato vestibolare e potrebbero indicare quindi una Malattia da Decompressione dell'orecchio interno. Essendo l'orecchio interno considerato un tessuto ad alto assorbimento (come un tessuto lipidico) e veloce, potremmo dedurre che questo fenomeno dipenda *dall'alto indice di solubilità nei tessuti lipidici dell'azoto*.

Falsi allarmi

Da ciò che si sa, raramente il terzo problema si riscontra per immersioni a quote inferiori a 80mt ed episodi di forti giramenti di testa e senso di vomito in immersioni a quote inferiori sono generalmente dovute a:

- *Forame Ovale Pervio*



Forame Ovale Pervio (PFO) aumenta i rischi di Malattia da Decompressione

Se vuoi sapere di più sul forame ovale pervio vai sulla [pagina DAN!](#)

- *Diversa pressione negli spazi aerei delle due orecchie interne* dovuto ad una incapacità ottimale di bilanciare pressione in risalita (blocco inverso mono-laterale). Questo problema può essere risolto iper-estendendo il capo e guardando verso l'alto (suggerimento del Dott. Longobardi). In tale posizione si favorisce l'apertura dei condotti nell'orecchio interno alleviando il disbarismo fra le due orecchie.

Come il Software decompressivo gestisce la Contro-diffusione Isobarica

Ci sono vari approcci per evitare problemi di contro-diffusione Isobarica del tipo **terzo 2**, ma fondamentalmente tutti suggeriscono di **gradualizzare la diminuzione del contenuto di elio e dell'aumento di azoto**.

GAS SOLUBILITY AT 37°C				
Gas	Molecular Wt.	Water Solubility	Fat Sol.	oil to H ₂ O ratio
Cyclopropone	42	0.204	7.14	35
Nitrous oxide	44	0.47	1.4	3.2
Nitrogen	28	0.013	0.067	5.2
Xenon	131.3	0.085	1.7	20
Krypton	84	0.045	0.43	9.6
Argon	40	0.026	0.14	5.3
Radon	222	0.15	0.19	1.25
Neon	20	0.0097	0.019	2.07
Hydrogen	2	0.016	0.048	3.1
Helium	4	0.0085	0.015	1.7
Oxygen	32	0.024	0.12	5.0
Carbon Dioxide	44	0.56	0.876	1.6

This table is a composite of information taken from:
 P. Bennett, "Performance Impairment in Deep Diving Due to Nitrogen, Helium, Neon and Oxygen," *Proceedings of the Third Symposium on Underwater Physiology*. C. Lambertsen, ed. (Baltimore: Williams & Wilkins), 1967, Pp. 327-8.
 Lawrence et al., "Preliminary Observations on the Narcotic Effect of Xenon with a Review of Values for Solubilities of Gases in Water and Oils," *Journal of Physiology*, 105:197-209, 1946
 S. Miles, *Underwater Medicine* (Philadelphia: Lippincott), 1969.

Solubilità gas nei tessuti importante per la controdiffusione isobarica

Considerando che la quantità di un dato gas dissolto in un tessuto saturo è dato dalla pressione di saturazione moltiplicato per il coefficiente di solubilità e che la quantità totale dei gas è dato dalla somma dei singoli gas nel tessuto, possiamo calcolare quale sarà la tensione del tessuto prima del cambio gas:

$$[(f_{He} \text{ gas1} \times sol_{He}) + (f_{N2} \text{ gas1} \times sol_{N2})]$$

e dopo un cambio gas (che non dev'essere maggiore)

$$[(f_{He} \text{ gas2} \times sol_{He}) + (f_{N2} \text{ gas2} \times sol_{N2})]$$

Ecco la condizione che dev'essere rispettata per non incorrere in un potenziale caso di Malattia da Decompressione Vestibolare

$$[(f_{He} \text{ gas2} \times sol_{He}) + (f_{N2} \text{ gas2} \times sol_{N2})] < [(f_{He} \text{ gas1} \times sol_{He}) + (f_{N2} \text{ gas1} \times sol_{N2})]$$

Dove:

$f_{He} \text{ gas 2}$ = frazione di elio nella miscela alla quale si passa

sol_{He} = coefficiente solubilità elio nel tessuto lipidico 0,015

sol_{N2} = coefficiente solubilità azoto nel tessuto lipidico 0,067

La formula indica che la quantità dei gas inerti in un tessuto saturo non deve essere inferiore a quella della miscela alla quale s'intende passare.

Supponiamo di voler verificare se il passaggio da una miscela Tmx 20/25 ad un EAN40 a 30 mt è sicura. Dalla formula sopra indicata ricaviamo che:

- $(0,25 \times 4 \times 0,015) + (0,55 \times 4 \times 0,067) = 1,624 \text{ bar}$
- $(0 \times 4 \times 0,015) + (0,6 \times 4 \times 0,067) = 1,608 \text{ bar}$
- **il passaggio è sicuro perché i valori sono pressoché uguali (diff 0,02 bar)**

Esempi di pianificazione considerando la contro diffusione Isobarica e semplificazione

Il coefficiente di solubilità dell'azoto è di 0,067 atm e quella dell'elio è di 0,015 atm quindi l'azoto è più solubile di 4,5 volte nel tessuto lipidico rispetto all'elio ($0,067/0,015=4,5$ Approx 5).

Se aumento la percentuale di azoto non più di 1/5 (sarebbe 1/4,5 approssimato a 1/5) della diminuzione della percentuale di elio il problema non si verifica e questa si chiama *regola dei quinti*.

Passando infatti dal Tmx 20/25 all'EAN40

- l'incremento dell'azoto è del 5%
- la diminuzione dell'elio è del 25%
- **5/25 è uguale a 1/5 quindi rispetta la regola dei quinti**

Passando da una miscela Tmx 10/60 ad un EAN50

- l'incremento di azoto è del 20%
- la diminuzione dell'elio è del 60%
- **20/60 = 2/6 = 1/3 > 1/5 non rispetta la regola dei quinti**

Passando dal diluente Tmx 10/60 all'EAN50

- Nei sacchi del CCR con PPO2 a 1,3 bar la miscela a 21 mt sarà: Tmx 42/39
- L'incremento di azoto è del 31%
- la diminuzione dell'elio sarà del 39%
- **31/39 = 0,7 > 1/5 (0,2) non rispetta la regola dei quinti**

[Se vuoi approfondire ulteriormente come non avere problemi di contro diffusione isobarica nei cambi di miscela clicca qui \(in inglese\)](#)

Conclusioni

Sebbene la materia sia controversa e non completamente conosciuta, alcuni parametri logici ci fanno capire che sarebbe meglio agire in modo conservativo **applicando la regola dei quinti. Il buonsenso ci porta anche a non usare una miscela a base di elio per la nostra muta stagna ed a evitare di passare da una miscela senza Elio ad una con alto contenuto di Elio in decompressione.**

Gradualizzando l'aumento dell'azoto e la diminuzione dell'elio nei cambi gas si evitano i problemi di contro diffusione isobarica