

CONI

CMAS

**FEDERAZIONE ITALIANA PESCA SPORTIVA
E ATTIVITA' SUBACQUEE**



Programma Corso di specializzazione in

Immersione con miscele iperossigenate

NITROX

Estratto dal
“REGOLAMENTO GENERALE ATTIVITA’ DIDATTICA”

Articolo XXXII Corso di immersione con miscele N2-O2

Allievi

- 01) Organizzazione Società affiliate
02) Età minima 16 anni compiuti
03) Requisiti a) Possesso del brevetto di 2° grado "Sommozzatore" o equivalenti
b) 10 immersioni certificate sul regolamentare libretto federale di immersione dopo il conseguimento del brevetto di "Sommozzatore".
c) Intervallo di almeno 4 mesi dopo il conseguimento del brevetto di "Sommozzatore".
04) Durata minima teoria 08 ore
acque libere 02 esercitazioni di cui 1 con N1 ed 1 con N2
05) Programma quello approvato dal Consiglio Federale
06) Brevetto Attesta la frequenza ad un corso per effettuare immersioni entro i limiti stabiliti dal brevetto di base con finalità come da specializzazione.

Istruttori

- 01) Organizzazione Società affiliate su delega delle Sezioni Provinciali
02) Requisiti per accedere all'esame a) Possesso del brevetto di Istruttore A.R. di 1° grado
b) Possesso del brevetto di specializzazione
c) Frequenza con esito positivo del corso di preparazione
d) Esecuzione di almeno 5 immersioni oltre i -30 metri nei 6 mesi precedenti l'inizio del corso certificate sul regolamentare libretto federale di immersione dopo il conseguimento del brevetto di specializzazione come allievo
03) Durata minima teoria 12 ore (comprehensive di prova d'esame)
acque libere 02 esercitazioni
05) Programma quello approvato dal Consiglio Federale
06) Brevetto Istruttore abilitato a svolgere corsi di immersione con miscele N2 O2 ed a rilasciare i relativi brevetti. Può accompagnare gli allievi in mare in relazione alle norme stabilite dai brevetti di base.

Introduzione

Scopo del corso è trasmettere in modo realistico ed obiettivo i vantaggi ed i rischi dell'impiego di miscele iperossigenate nella subacquea ricreativa; un serio e approfondito studio in merito non può prescindere da una visione d'insieme dell'impiego delle miscele e dei criteri di scelta di esse; daremo definizioni precise dei vari termini impiegati insieme ad una visione prospettica dell'impiego delle miscele nella subacquea con alcuni riferimenti alla evoluzione storica delle miscele iperossigenate.

Qui approfondiremo la prospettiva dalla quale valutiamo l'impiego del NITROX che è più semplice della comprensione di queste righe, ed analizzeremo alcuni argomenti utili a fare luce sui fondamenti tralasciando completamente quanto non ci serve; chiariti i fondamenti dell'impiego delle miscele tutto diviene semplice ed immediato.

Da alcune scelte di fondo, che risulteranno quindi ben individuabili, ricaveremo tutti i risultati che vengono comunemente utilizzati; quest'approccio all'argomento richiede un impegno in più da parte dell'allievo rispetto a leggere una serie di "dati" ma ci permette di poter comprendere davvero gli elementi utili a valutare l'impiego di miscele nella subacquea ricreativa.

E' bene subito precisare che per ottenere ricariche di miscele presso i centri appositi è indispensabile avere conseguito gli opportuni brevetti che certificano l'addestramento acquisito; per ovviare all'inconveniente non si pensi di caricare miscele "in casa": i rischi di tali pratiche, come vedremo, sono enormi senza le opportune attrezzature e competenze .

Questo programma si divide in due parti, una prettamente dedicata agli allievi ed una successiva per gli istruttori. La differenza non sta ovviamente nei contenuti, bensì nel diverso approccio culturale. E' indispensabile che un istruttore sia a conoscenza in modo completo della materia per cui l'approfondimento contenuto nella seconda parte che potrebbe sembrare ripetitivo, nella realtà e' una trattazione scientifica e tecnica.

Alla stesura della prima parte del testo ha collaborato il Sig. Riccardo Pepoli cui vanno i ringraziamenti. Peralto i ringraziamenti vanno per la disponibilità alla reciproca collaborazione dimostrata sia da Michele Perna sia da Gianni Slaviero

PRIMA PARTE – ALLIEVI –

Argomenti del corso

- Cosa sono le miscele
- Tabella di applicazione delle miscele
- Evoluzione delle miscele
- Vantaggi dell'impiego del Nitrox
- Frazioni, Percentuali, Pressioni parziali
- Accenni sulla pressione
- Legge di Dalton
- Il calcolo a T
- La miscela Nitrox e i suoi componenti
- L'ossigeno: impieghi ed effetti
- Incidenti derivanti dall'uso del mix iperossigenato
- Saturazione dell'emoglobina
- L'iperossia
- I limiti delle esposizioni
- Il metodo del CNS
- Nitrox I II e EANx
- La MOD
- I fattori di sicurezza
- Le Tabelle di decompressione Nitrox
- EAD
- Come si impiegano le comuni tabelle US Navy con le miscele Nitrox
- Best Mix
- END
- Velocità di risalita
- Le regole della decompressione
- Analisi della miscela
- Rischi dell'impiego del Nitrox
- Le attrezzature

TEORIA

Cosa sono le miscele?

Qualunque miscela respirabile è composta da ossigeno e da uno o più gas inerti;

- Gli inerti sono gas che non partecipano attivamente alla respirazione ma sono indispensabili per ridurre la pressione parziale dell'ossigeno in profondità.
- Gli inerti comunemente impiegati in ambito subacqueo sono l'azoto, l'elio e l'argon; eccezionalmente viene impiegato anche il neon e, in ambito lavorativo, in altissimo fondale, anche l'idrogeno e piccolissime frazioni di inerti molto pesanti.

L'aria è di fatto una miscela di azoto ed ossigeno con tracce di altri gas rari e talora di contaminanti; si assume (per esempio nei calcoli decompressivi) che sia composta dal 20.8% di ossigeno e dal 79.2% di azoto (le percentuali di Anidride Carbonica e Gas vari presenti nell'aria, sono considerate in arrotondamento nelle percentuali di O₂ e N₂).

Col termine NITROX viene identificata una miscela di azoto/ossigeno in cui la percentuale d'ossigeno è superiore al 20.8%; impiegate in tutto il mondo sono le miscele denominate NITROX I che contiene il 32% di O₂ ed il NITROX II che contiene il 36% di O₂; analogamente con l'acronimo EANx (Enriched Air Nitrox) s'identifica una generica miscela NITROX con x % di O₂.

Ad esempio una miscela NITROX I si può anche chiamare EAN32; una miscela EAN64 è invece composta dal 64% di O₂ e dal 36% di N₂.

Occorre ricordare che esistono altre miscele binarie che si possono combinare, esse sono composte da ossigeno e un inerte, le principali sono: l'HELIOX miscela composta da elio ed ossigeno e l'ARGOX miscela composta da argon ed ossigeno; il neon, quando usato (quasi mai in ambito sportivo), da luogo a miscele NEOX.

Le miscele ternarie sono invece composte da ossigeno e da **due gas inerti** e vengono normalmente definite **TRIMIX**; con questo termine in ambito sportivo ci si riferisce sempre ad una miscela di ossigeno, azoto ed elio; in altri ambiti sono state impiegate anche altre miscele ternarie, specifiche per impieghi particolari.

L'unico gas puro che viene utilizzato comunemente in ambito subacqueo è ovviamente l'ossigeno ma è necessario valutarne bene l'impiego in dipendenza da svariati fattori a cui accenneremo nel seguito.

Il motivo principale dell'impiego di miscele diverse rispetto all'aria consiste innanzitutto nell'incrementare la sicurezza dell'immersione nel contempo estendendo i ranges operativi di tempo e/o di quota; questo punto è molto importante e verrà più volte ripreso.

Nella tabella della pagina successiva sono indicate le principali applicazioni delle varie miscele in funzione della profondità in ambito sportivo.

Tabella di applicazione delle miscele in funzione delle profondità.

PROFONDITÀ	MIX DI FONDO	MIX DECOMPRESSIVI	MIX DA VIAGGIO
0-40 ambito ricreativo	ARIA, NITROX I, NITROX II	LA STESSA MISCELA DI FONDO	NON USATE
0-40 ambito Nitrox Tecnico	EANx DI FONDO	EANx DECOMPRESSIVO, O2	NON USATE
40-66 ambito Nitrox Tecnico, deep air	EANx, ARIA	ARIA, EANx, O2	EANx, ARIA
50-70 trimix	TRIMIX	O2, EANx	EANx, ARIA
60-100 trimix	TRIMIX	ARIA, EANx, ARGOX, O2	ARIA
>100 trimix	TRIMIX	ARIA, EANx, ARGOX	ARIA, TRIMIX da viaggio

- La parola **NITROX** e` composta dalle iniziali delle parole **NITR**ogen (azoto) ed **Oxy**gen (ossigeno) ed riconosce in maniera generica una qualsiasi combinazione di miscele Azoto (N₂) e Ossigeno (O₂).
- Nel nostro corso parleremo di **NITROX** solamente quando la percentuale di ossigeno presente in miscela sarà superiore a quella dell'aria atmosferica e quindi maggiore del **21%**.

Il corso prevede l'utilizzo di miscele standardizzate e precisamente:

Immersioni con percentuali di O₂ standardizzate del 32% chiamato **NITROX I** e del 36% chiamato **NITROX II**, sempre e comunque in curva di sicurezza.

Evoluzione storica delle miscele respiratorie iperossigenate

Volutamente parleremo solo delle miscele iperossigenate poiché queste sono quelle che ci interessano in quest'ambito; peraltro sarebbe troppo dispersivo anche solo accennare all'evoluzione storica dei vari mix.

Nel 1912 in Germania venne impiegato per la prima volta un rebreather a circuito chiuso (non troppo diverso dal nostro A.R.O) che forniva una miscela EAN45; l'anno successivo venne prodotto ed impiegato un rebreather che miscelava automaticamente l'EAN30.

La U.S. Navy si occupò di Nitrox fin dal 1943 con ampie sperimentazioni e infine nel 1950 iniziò ufficialmente ad impiegare questa miscela nelle operazioni; nel 1959 venne pubblicato il primo manuale d'uso della U.S. Navy.

Parallelamente la comunità scientifica e professionale incominciò ad impiegare questa miscela.

Bisogna però attendere il 1970 perché il N.O.A.A. (National Oceanic and Atmospheric Administration), ente americano non a fine di lucro, incominciò ad occuparsi delle miscele Nitrox; al termine di questi studi vennero pubblicate le tabelle N.O.A.A. per le miscele NITROX I e NITROX II; queste tabelle sono ancora attualmente impiegate e, come vedremo nel seguito, non sono altro che le tabelle ad aria U.S. Navy modificate.

Finalmente nel 1985 incomincia la diffusione in ambito ricreativo delle miscele NITROX.

Il NITROX non è una miscela nuova né sperimentale ma è ampiamente sperimentata e conosciuta; il suo impiego in ambito ricreativo è già una realtà in Italia. Ed i subacquei ricreativi che impiegano NITROX stanno sempre più aumentando.

Subacquea ricreativa e subacquea tecnica

Questa classificazione delle attività subacquee non è fittizia ed è importante perché permette di comprendere appieno il significato delle scelte di fondo e delle filosofie d'approccio all'attività subacquea da parte dei singoli e delle organizzazioni didattiche.

La subacquea ricreativa e quella tecnica hanno in comune la finalità sportiva dell'immersione ed anche il fatto che entrambi gli approcci hanno come primo obiettivo la sicurezza.

Tutte le didattiche ricreative addestrano i propri allievi ad effettuare immersioni entro i 40 mt. in coppia ed in curva di sicurezza; quelle tecniche all'ottimizzazione dell'immersione che è decisamente fuori curva con impiego di tutte le miscele sperimentate, aria compresa, al fine di incrementare al massimo i ranges operativi.

Purtroppo, per svariate ragioni, gli standard della subacquea ricreativa vengono troppo spesso non rispettati addirittura durante la fase addestrativa. Questo comportamento che è assai diffuso in Italia è fortunatamente fortemente represso, ma persiste purtroppo in talune realtà. Si noti che questo comportamento è senza senso e crea danni notevoli e mentalità profondamente sbagliate. Questo punto, come vedremo nel seguito, è molto importante e rappresenta di fatto l'unica reale controindicazione all'impiego del NITROX nella subacquea ricreativa; è di buon auspicio il fatto che le nuove leve siano ben informate durante i corsi dei rischi che comporta il non rispetto degli standard.

In ambito tecnico, per contro, i limiti vengono rispettati con grande rigore anche dopo il conseguimento dei brevetti.

Di qui l'esigenza di far comprendere i fondamenti della teoria delle miscele NITROX: per potere affrontare col giusto rigore l'argomento discernendo le assunzioni di partenza dalle conseguenze, i reali e notevoli vantaggi dai seri rischi di una pratica non adeguata.

Vantaggi dell'impiego delle miscele NITROX nella subacquea ricreativa

- Maggiore (circa il doppio) tempo di permanenza sul fondo in curva di sicurezza
- Minore e più efficace decompressione nelle immersioni fuori curva
- Maggiore durata delle immersioni ripetitive
- Minore stanchezza durante e dopo l'immersione
- Annullamento della narcosi d'azoto
- Minore o completa assenza di impurità ed olii nella miscela inspirata
- Maggiore sicurezza nelle tabelle per il Nitrox (NOAA)
- Minore incidenza statistica di incidenti embolici e, quando vi siano, sono meno gravi rispetto all'impiego dell'aria perché l'iperossigenazione mantiene più a lungo l'integrità cellulare dei tessuti colpiti

La maggiore purezza del Nitrox rispetto all'aria è legata al processo di ricarica che quando non è impiegato un compressore oil-free (senza olio) viene effettuata con dei sistemi di filtraggio; l'argomento è complesso e richiede un corso a sé .

E' evidente che date le finalità della subacquea ricreativa il NITROX è "l'aria" ideale; presenta notevoli vantaggi e nell'ambito dei 40 metri garantisce maggiore sicurezza; oltre questa profondità il NITROX I non è più adeguato si supera infatti la PO_2 di 1.6 atm.; è logico che esiste la possibilità di impiegare oltre i 40 metri ed entro i 66 metri delle opportune miscele dette **EANx** che però presentano sempre meno vantaggi rispetto all'aria: nell'ambito dei 50 metri un EAN26 dà ancora sensibili vantaggi, oltre in pratica si impiega l'aria.

Questo tipo d'immersioni sono però al di là dell'ambito ricreativo e usualmente in queste si fa uso di ossigeno e/o miscele EANx con alte percentuali di ossigeno per scopi decompressivi.

Frazioni, percentuali, pressioni parziali dei gas nelle miscele

A tutti sono ben note le leggi dei gas perfetti ed il significato di percentuale o di frazione di un gas in una miscela; ad esempio: l'aria, che sappiamo costituita dal 20.8 % di O₂ e dal 79.2 % di N₂, avrà una frazione di azoto $F_{N_2} = 0.792$ ed una frazione di ossigeno $F_{O_2} = 0.208$: ovviamente, così come la somma delle percentuali dei gas costituenti la miscela è 100, la somma delle frazioni dei gas costituenti una miscela dà 1. a prescindere da ciò che è noto, faremo comunque un breve riepilogo della legge Fisica che in maggior misura condiziona l'impiego delle miscele.

LA LEGGE DI DALTON, l'enunciato di tale legge è il seguente:

“ La pressione totale esercitata da un miscuglio di gas è uguale alla somma delle singole pressioni parziali dei gas componenti il miscuglio stesso”. Prima di spiegare il significato di tale affermazione è necessario capire bene che cosa si intende per pressione parziale: se consideriamo un miscuglio di gas qualsiasi, possiamo definire pressione parziale di un gas componente il miscuglio come la pressione che esso avrebbe se si trovasse ad occupare tutto il volume occupato dal miscuglio, da solo. Tale pressione parziale si ottiene praticamente moltiplicando la pressione totale del miscuglio gassoso per la percentuale in volume in cui è presente nel miscuglio il suddetto gas. Vediamo di chiarire con esempi la situazione. Consideriamo come miscuglio di gas quello atmosferico, cioè l'aria; i gas presenti con le relative percentuali sono:

AZOTO	78,00%	(79.2)	(0.792)arrot.
OSSIGENO	20,96%	(20.8)	(0.208)arrot.
ANIDRIDE CARBONICA	0,03%		
GAS VARI	1,01%		

Supponiamo di considerare un volume d'aria di 10metri cubi alla pressione atmosferica ($P=1$ atm.) e di voler conoscere in queste condizioni la pressione parziale (P_p) dell'ossigeno.

La P_p . dell'ossigeno sarà quella che l'ossigeno avrebbe se occupasse da solo tutti i 10 metri cubi e sarà data dal prodotto tra la pressione totale e la sua percentuale divisa per 100.

$$\mathbf{Pp. \text{ossigeno} = (1 \times 20,96) : 100 = 0,2096}$$

Oppure volendo considerare che 1 atm = 760 mm.Mercurio

$$\mathbf{Pp. \text{ossigeno} = (760 \times 20,96) : 100 = 159,296 \text{ mmHg}}$$

Se ancora invece di trovarci a pressione atmosferica ci trovassimo a 30 mt di profondità (P = 4 atm. = 3040 mmHg) avremmo una PpO₂ pari a :

$$\mathbf{(PpO_2 \ 3040 \times 20,96) : 100 = 637,184 \text{ mmHg}}$$

Ritornando infine alla legge di Dalton essa ci dice semplicemente che la somma delle pressioni parziali dei gas componenti il miscuglio, deve dare la pressione totale cui si trova il miscuglio stesso.

Sempre riferendoci all'aria a pressione atmosferica.

Gas	Percentuale	P. parziale
Azoto	78,00 %	592,800
Ossigeno	20,96 %	159,296
Anidride Carbonica	0,03 %	0,304
Gas vari	1,01 %	7,60
100,00 % = 1 atm		760,00 mmHg = 1 atm

$$\mathbf{Pressione \ totale = 760mmHg = 1 \ atm}$$

Per evitare incomprensioni banali dovute all'utilizzo di simbologie non comuni, proponiamo una tabellina di conversione, che ci permettera` di comprendere il significato di P_g, P, F,

P_g = P_p pressione del gas = Pressione parziale di un gas in una miscela

P = P_t pressione = Pressione totale (ATA)

F = % frazione = Percentuale frazionata del gas in miscela : 100

Cionondimeno è meno conosciuto in ambito ricreativo un semplice trucchetto mnemonico per "fare i conti" immediatamente; è il cosiddetto sistema a T

$$\frac{P_g}{P \mid F_g}$$

Calcolo a T

Il sistema a T ci permette di ricavare immediatamente le tre equazioni che legano pressione parziale di un gas, frazione dello stesso in miscela e pressione totale.

Infatti le equazioni:

P_g = P x F_g pressione del gas uguale a pressione per frazione del gas

F_g = P_g : P frazione del gas uguale a pressione del gas diviso pressione

P = P_g : F_g pressione uguale a pressione del gas diviso frazione del gas.

Oppure:

P_p = P_t x % pressione parziale uguale a pressione totale per percentuale : 100

% = P_p : P_t percentuale uguale a pressione parziale diviso pressione totale x 100

Pt = Pp : % pressione totale uguale a pressione parziale diviso percentuale x 100

Sono ricavabili ricordando il **T**. Basta vederlo come un **operatore di moltiplicazione** se i termini sono alla stessa altezza e un **operatore di divisione** se uno è sopra l'altro:

$$\frac{P_g}{P \times F_g}$$

Come si interpreta il calcolo a T

Se ci interessa la pressione parziale P_g di un gas vediamo che **$P_g = P \times F_g$** .

Se ci interessa P la pressione totale **$P = P_g : F_g$** .

Se ci interessa invece conoscere la frazione di un gas F_g , note la pressione totale P e la frazione del gas F_g , **$F_g = P_g : P$** .

Con la semplice legge di Dalton, applicata, riusciremo a ricavare parecchie informazioni importanti della teoria delle miscele quali l'equivalente narcotico di una miscela (**E.N.D.**), la profondità equivalente in aria per una miscela NITROX (**E.A.D.**), la profondità massima d'impiego di una miscela (**M.O.D.**).

In questo corso, metteremo in evidenza come concetti nuovi, rispetto all'impiego dell'aria, siano ricavabili e dimostrabili con la semplice legge di Dalton in modo da mettere in evidenza i principi che stanno alla base: è utile quindi comprendere bene quali sono le ipotesi di partenza, le conseguenze sono ricavabili.

Accenni sulla Pressione

- La massa d'aria che circonda il globo terrestre, ha uno spessore di circa 20.000 metri, tale massa ha un peso, e quindi esercita una pressione sui livelli sottostanti.
- La pressione si esprime in atmosfere (**ATM**), quella massima, esercitata dalla massa d'aria presa in considerazione precedentemente, ed esercitata al livello del mare è valutata in una atmosfera.
- Una **ATM** a livello del mare ha un peso, esso equivale ad 1Kg per cm quadro, e facendo riferimento al principio di Torricelli, possiamo dedurre che:
una colonna d'aria di circa 20.000 metri di altezza, oppure una colonna d'acqua alta 10 metri, oppure una colonna di mercurio alta 760 mm, esercitano su un cm quadro una pressione di una **ATM**, che equivale ad un Kg per cm quadrato, oppure a 760 mm Hg

Distinzione della Pressione

- Pressione atmosferica = peso di una colonna d'aria (20.000 mt) su un cm quadro = **ATM**
- Pressione Idrostatica o relativa = peso di una colonna d'acqua (10 mt) su un cm quadro = **ATR**
- Pressione Barometrica si esprime in mmHg di mercurio
- Pressione assoluta o pressione totale = somma della pressione Atmosferica + pressione Idrostatica = **ATA = ATM + ATR**

Uguaglianze delle simbologie e dei termini inerenti le pressioni e le percentuali

Per renderne più semplice l'interpretazione e l'immediato riconoscimento, proponiamo una scaletta di equivalenza.

Pp Pressione parziale = Pg Pressione del gas

% Percentuale = F Frazione x 100

Pt Pressione totale = P Pressione

Esempio 1:

Gas di respirazione ARIA composto da 79% N₂ + 21% O₂ = 100% = 1 (Pt)

$$\frac{1 (Pt) \times 79 (N_2)}{100} = PpN_2 = 0.79$$

$$\frac{1 (Pt) \times 21 (O_2)}{100} = PpO_2 = 0,21$$

$$PpN_2 (0,79) + PpO_2 (0,21) = Pt 1$$

La pressione parziale di un gas in un miscuglio, in qualsiasi variazione possa assumere la pressione totale, è sempre proporzionata alla percentuale che il gas vi rappresenta, e la percentuale a differenza della pressione, qualunque sia la variazione pressoria rimane inalterata.

Esempio 2:

A 90 metri (10 ATA) le percentuali del miscuglio d'aria che abbiamo visto precedentemente non variano infatti continueremo ad avere il 79% N₂ + 21% O₂ = 100% . Ma le Pp varieranno in relazione al variare della PT.

90 metri = 10 ATA

Pt = PpN₂ + PpO₂

$$PpN_2 = \frac{10 (Pt) \times 79 (N_2)}{100} = 7.9$$

$$PpO_2 = \frac{10 (Pt) \times 21 (O_2)}{100} = 2.1$$

Il Calcolo a T

Esempio:

Formula

$$P_g = P \times F_g$$

Calcolo a T

$$\frac{P_g?}{F_g \quad P}$$

$$F_g = P_g : P$$

$$\frac{P_g}{F_g? \quad P}$$

$$P = P_g : F_g$$

$$\frac{P_g}{F_g \quad P?}$$

Miscela NITROX e i suoi componenti: i gas ossigeno ed azoto

Tutti sanno che l'ossigeno può essere tossico e l'azoto narcotico; è chiaro che gli effetti negativi di un qualunque gas dipendono dalla pressione parziale alla quale viene respirato e dal tempo di esposizione: con l'A.R.O., sappiamo che esiste una correlazione tra tempo e profondità all'esposizione alle elevate pressioni parziali di O₂; nel contempo, con l'A.R.A., sappiamo che la narcosi d'azoto dipende innanzitutto (ma non solo) dalla profondità.

Con il metodo del T immediatamente sappiamo che la pressione parziale dell'ossigeno in una miscela è data da:

$$PO_2 = P \times FO_2$$

Dipende quindi dalla pressione ambiente e dalla frazione di O₂ contenuta nella miscela; ad esempio un sub immerso a 6 metri che respira O₂ puro è soggetto alla stessa pressione parziale di O₂ di un sub immerso a 22 metri in EAN50, o di un sub immerso a 67 metri in aria; infatti:

$$PO_2 = 1.6 \times 1 = 1.6 \text{ (atm. a – sei metri ossigeno puro)}$$

$$PO_2 = 3.2 \times 0.5 = 1.6 \text{ (atm. a - 22 metri in EAN 50)}$$

$$PO_2 = 7.7 \times 0.208 = 1.6 \text{ (atm. a - 67 metri in ARIA)}$$

Ricordando inoltre che il NITROX è una miscela binaria, la pressione parziale di azoto è data da:

$$PN_2 = P - PO_2$$

Ovvio essendo la somma delle pressioni parziali dell'ossigeno e dell'azoto la pressione totale.

Siccome tutti gli inerti (azoto compreso) causano il fenomeno della saturazione noi abbiamo interesse a diminuire il più possibile la pressione parziale dell'inerte, aumentando il più possibile la pressione parziale di O₂; nei prossimi paragrafi ci occuperemo proprio di questo problema ossia quali sono le pressioni parziali massime di O₂ che possiamo impiegare in sicurezza.

L'ossigeno: i suoi impieghi ed effetti fisiologici al variare della pressione parziale

L'uso della miscela arricchita di ossigeno è limitato dalla pressione e quindi dalla profondità infatti non tutti i subacquei si rendono conto che l'immersione profonda ad Aria (oltre i 66 mt), può dar luogo alla tossicità dell'ossigeno al SNC (Sistema Nervoso Centrale).

Le ultime analisi che si riferivano ad incidenti occorsi in immersioni profonde ad Aria, hanno rilevato che la causa di tali incidenti era imputabile alla tossicità dell'ossigeno determinata dalla elevata PO₂ e non alla narcosi da Azoto o altre cause normalmente prese in considerazione.

Al fine di sapere ciò bisogna prima riconoscere il significato di alcuni termini:

SNC : Il Sistema Nervoso Centrale, è costituito essenzialmente da due organi: Encefalo, ed il Midollo Spinale, mentre centinaia di nervi e gangli costituiscono invece:

SNP : Il Sistema Nervoso Periferico, a noi basta sapere che gli impulsi nervosi e le sostanze chimiche costituiscono i due tipi di messaggi che si verificano nell'interno del corpo umano ed il sistema nervoso è alla base di questo tipo di comunicazione.

Neuroni : Sono le vere cellule del sistema nervoso; esse sono specializzate nella conduzione degli impulsi e perciò contribuiscono all'attività generale di comunicazione e di controllo dei diversi organi.

Sistema Circolatorio : Trasporta ossigeno ed altre sostanze a tutte le cellule, prendendo così parte integrante al metabolismo cellulare.

Metabolismo : Sta ad indicare una trasformazione chimica degli alimenti assorbiti. Perché ciò avvenga è necessario che ci sia l'ossigeno per iniziare i processi enzimatici. Infatti l'ossigeno dopo essere entrato nel sangue si scioglie nel plasma per combinarsi chimicamente con l'Emoglobina.

Emoglobina : E' una complessa molecola proteica indispensabile per la respirazione cellulare. Essa ha il compito di " fissare " l'ossigeno per formare l'Ossiemoglobina

Ipossia : Condizioni anormali di decremento dell'Ossigeno nei tessuti.

Iperossia : Condizioni anormali di aumento dell'Ossigeno nei tessuti

Il Nitrox pone problemi di tossicologia che ne limitano l'utilizzo, tali problemi riguardano essenzialmente l'ossigeno, e l'organismo umano svolge le sue funzioni vitali utilizzando l'ossigeno e producendo anidride carbonica.

I meccanismi del metabolismo sono così delicati e complicati che ogni minima variazione delle concentrazioni di questi gas provoca alterazioni più o meno evidenti. Però è altrettanto vero che lo organismo umano riesce a tollerare grandi variazioni della PpO₂ e del CO₂ grazie a delle modificazioni funzionali dell'apparato circolatorio e respiratorio. In una esposizione dell'O₂ a pressione **Normossica**, cioè alla pressione esistente a livello del mare (159 mmHg) la respirazione dei tessuti avviene

normalmente. Le cose cambiano quando si respira ossigeno **iperbarico**, ovvero quando la PO₂ aumenta avvengono i seguenti adattamenti funzionali:

- **La frequenza cardiaca diminuisce**
- **Il flusso circolatorio periferico diminuisce, specie a livello del cervello.**
- **La ventilazione polmonare diminuisce.**

Quindi tramite questi meccanismi di difesa l'organismo riesce a tollerare aumenti della PO₂ per tempi relativamente lunghi.

Questi limiti non possono però essere generalizzati, perché la tolleranza all'esposizione all'Ossigeno oltre che dipendere dalla PO₂ e dalla lunghezza dell'esposizione, essa può variare anche dal lavoro muscolare in immersione.

Se la PO₂ è eccessiva e questi meccanismi di difesa non bastano più, si verificano fenomeni tossici. Gli effetti tossici dell'ossigeno al SNC possono variare dalle semplici vertigini alle più gravi convulsioni.

Questi sintomi possono venire memorizzati con l'acronimo **CONVUTIV** diffuso largamente negli ambienti Nitrox :

- **CON**vulsioni, la più grave conseguenza di tossicità dell'ossigeno al SNC, il subacqueo infatti rischierebbe di annegare nel corso degli spasmi convulsivi.
- **N**ausea, a volte intermittente.
- **V**isione, ogni anomalia visiva, quale ad esempio la visione a tunnel.
- **U**dito, ogni anomalia all'udito o fischio nelle orecchie.
- **T**remori, che solitamente si manifestano inizialmente alle labbra o ai muscoli facciali, ma possono coinvolgere ogni muscolo, questo è il sintomo più frequente e chiaro di avvelenamento da O₂.
- **I**rritabilità, che comprende comunque ogni variazione comportamentale.
- **V**ertigini, o capogiri nel corso dell'immersione.

Ulteriori sintomi potrebbero comprendere l'incapacità di respirare profondamente, oppure impaccio o scoordinazione muscolare. È importante ricordare che l'intollerabilità all'O₂ di un subacqueo dipende da Pp, e tempo di esposizione, ed è notevolmente ridotta con l'esercizio fisico o fatica in genere. Quindi più profondi si va meno tempo ci è concesso prima che intervengano i sintomi di intossicazione.

Nel corso delle immersioni sportive la PO₂ idealmente più sicura è di un massimo di 1.6 ATA. Anche se la maggior parte delle persone può tollerare in condizioni di riposo, Pp di O₂ superiori alle 2 ATA per diversi minuti; ma questi livelli sono utilizzati sia nelle decompressioni in **SURFACE SUPPLIED SYSTEM** (rifornimento dalla superficie, con standard di immersione lavorativa) che nel trattamento iperbarico di malattia da decompressione, quali l'Embolia Gassosa Arteriosa ed altre forme trattate in Ossigenoterapia.

L'uso della miscela iperossigenata può portare a tre tipi di incidenti dal punto di vista dei processi fisiologici:

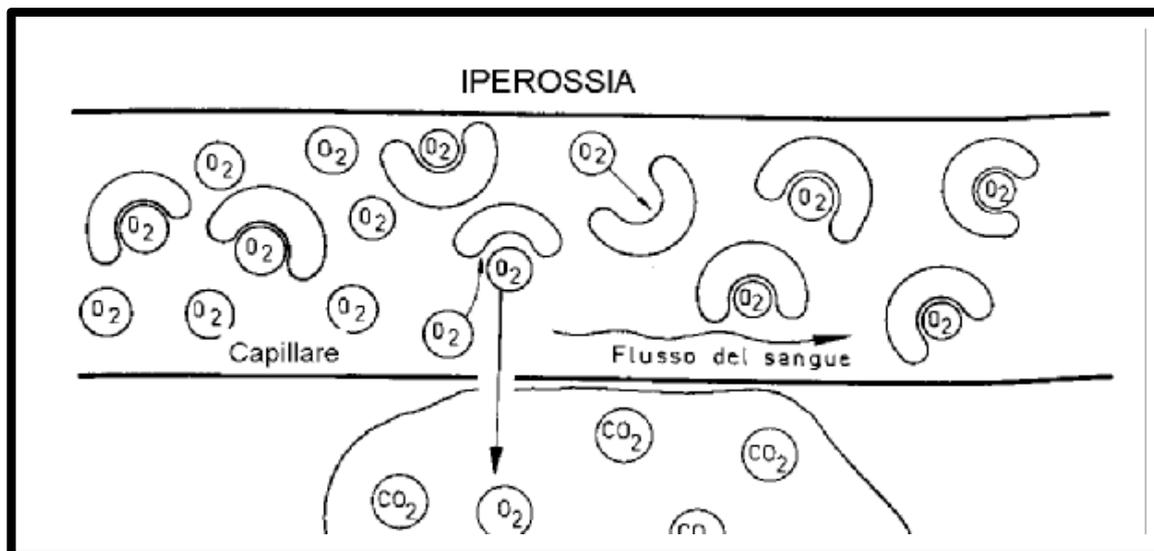
L'aumento eccessivo della PO₂ può dar luogo ad effetti tossici gravi quali le convulsioni

- Le convulsioni o effetto BERT sono dovute ad alterazioni del funzionamento delle cellule cerebrali, per blocco degli enzimi proposti alla respirazione cellulare.

- Le convulsioni sono certamente favorite dall'ipercapnia, indotta dall'iperossia o dal lavoro muscolare.
- L'eccessivo aumento della PO_2 finisce per bloccare l'emoglobina in condizione di ossidazione (saturazione al 100%) anche del sangue venoso. Viene quindi a mancare la funzione di trasporto del CO_2 da parte dei globuli rossi con l'emoglobina ridotta. Da ciò ne consegue un aumento della PCO_2 nei tessuti e nel sangue con relativi disturbi a livello della respirazione cellulare e disturbi vasomotori.

Anche la vasodilatazione cerebrale è un fenomeno derivante dall'eccesso di CO_2 , e se ciò si verifica mentre il cervello è difeso dall'iperossia per mezzo di una vasocostrizione, una esagerata quantità di sangue iperossigenato arriva a livello delle cellule cerebrali e può scatenare le convulsioni. Da questo si comprende come anche il lavoro muscolare in immersione, che produce CO_2 , può esercitare un'azione accelerante della comparsa dei disturbi da iperossia.

Fig. saturazione dell'Emoglobina



La saturazione dell'emoglobina

L'ossigeno ha una funzione primaria, ed è quella di intervenire nel processo metabolico delle cellule, infatti il trasporto dell'ossigeno dagli alveoli polmonari ai tessuti (dove viene consumato e sostituito dall'anidride carbonica), avviene attraverso due modalità.

1. Una ossida in maniera regolare l'emoglobina come avviene normalmente.
2. L'altra passa in soluzione fisica nel plasma sanguigno (legge di Henry), quando quel sangue giunge ai tessuti, l'ossigeno legato all'emoglobina, viene passato alle cellule, ed a quel punto l'emoglobina invece di raccogliere l'anidride carbonica presente nella cellula, si ossida nuovamente. Il sangue lascia i tessuti ancora carico di ossigeno, e quindi possiamo considerare satura l'emoglobina.

Al fine di rendere più comprensibile questa trattazione, elenchiamo alcune unità di misura di pressione, con relative conversioni.

- **1 ATA = 1 BAR = 1000 mbar = 760 mmHg = 100 kPa**
- **mmHg = millimetri di mercurio**
- **1 kPa = 10 mbar**
- **1 mmHg = 1,316 mbar**
- **Per passare da mmHg a mbar moltiplicare per 1,316**

La percentuale di emoglobina (Hb) che si trasforma in HbO₂ (ossiemoglobina) è la stessa per valori di Pp di O₂ superiori a 133 mbar. Per cui si ha una curva di saturazione con maggiore o minore pendenza in funzione della presenza di CO₂ nel sangue.

Possiamo infatti verificare che un alta percentuale di CO₂ abbassa la curva e fa liberare ossigeno, mentre una bassa percentuale di CO₂ fa aumentare più celermente la percentuale di HbO₂.

Curva di saturazione dell'emoglobina

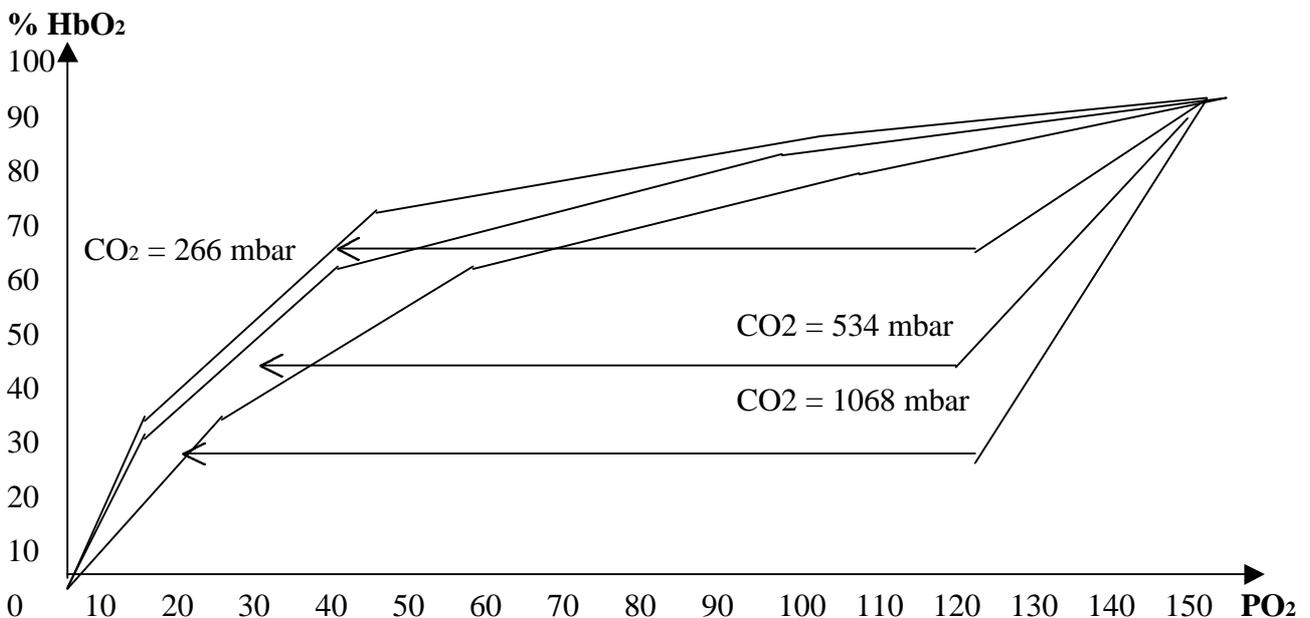


Fig curva di saturazione emoglobina

E' utile riassumere gli impieghi e/o gli effetti fisiologici delle varie PO₂ in una tabella:

Dalla tabella risulta chiaro che anche coloro i quali hanno interessi notevoli, ben più importanti dei nostri, quali i militari ed i professionisti limitano le pressioni parziali di O₂; ci sono importanti distinzioni fra esposizione a secco (in camera) e in acqua, fra esposizioni massime ed esposizioni eccezionali, fra immersioni d'intervento ed immersioni in saturazione.

I motivi sono da ricercarsi in due effetti fisiologici negativi derivanti dall'esposizione iperbarica:

- **L'iperossia del sistema nervoso centrale e del sistema nervoso neuro- vegetativo.**
- **L'iperossia polmonare.**

PO₂ (atm)	Impieghi o/e effetti fisiologici
3.0	Usata solo in camera iperbarica per ricompresioni terapeutiche a 6 [atm] assolute (50 metri di acqua equivalenti), con impiego di EAN50
2.8	Usata solo in camera iperbarica per ricompresioni terapeutiche, con impiego di ossigeno puro
2.5	Limite in decompressione a secco in campana o in camera
2.4	Usata solo in camera iperbarica per ricompresioni terapeutiche a 6 [atm] assolute (50 metri di acqua equivalenti), con impiego di EAN40
2.0	Esposizione eccezionale U.S. Navy per un sub che lavora
1.6	Esposizione massima U.S. Navy per un sub che lavora
0.5	Esposizione massima per un sub che lavora in saturazione
0.35	Limite per un sub che lavora in saturazione
0.21	Pressione ambiente normale (normobarica)
0.16	Inizio di segni d'ipossia
0.12	Gravi segni d'ipossia
0.10	Perdita di conoscenza
< 0.10	Coma o morte

L'iperossia

Il problema dell'iperossia polmonare è legato a esposizioni prolungate con alte percentuali di O₂, qualsiasi subacqueo che effettua un'immersione d'intervento anche estrema o ripetitiva non avrà mai problemi di questo tipo (escludendo ovviamente il subacqueo che utilizza l'ARO); coloro i quali invece effettuano per giorni o settimane permanenze in ambiente iperbarico devono tenere conto di questo problema che diventa primario e che fa limitare di fatto le esposizioni a 0.35 [atm] di pressione parziale di O₂; ci sono sistemi per quantificare l'esposizione (O.T.U.) ma a noi in questa sede non interessano. Ben diverso è il problema dell'iperossia ai centri nervosi poiché questo è un rischio reale e ben più grave di quanto si pensi.

I sintomi di un'intossicazione di questo tipo sono leggere contrazioni muscolari in particolare alla faccia, vertigini, nausea, affanno, visione a tunnel, allucinazioni, sincope, convulsioni.

Si noti che la sincope e le susseguenti convulsioni (simile ad attacco epilettico) sono SINTOMI; in altri termini l'intossicazione dei centri nervosi si manifesta nell' 80% dei casi con il sintomo convulsivo; nel restante 20% questo viene preceduto di pochi attimi dagli altri sintomi peraltro confondibili con problematiche narcotiche.

Questo dato di fatto deve far riflettere perché il problema dell'iperossia dei centri nervosi è un problema subdolo e non gestibile; non dà infatti avvisaglie che ci permettono di identificarlo chiaramente e quando si manifesta, nella maggioranza dei casi, si manifesta proprio col sintomo sincope o convulsioni.

L'iperossia ai centri nervosi non è un problema nemmeno confrontabile con la narcosi d'azoto; la narcosi è un problema gestibile, se adeguatamente addestrati, proprio perché ben identificabile: un sub davvero esperto è in grado di fare il proprio check narcotico e di sapere in qualunque momento della sua immersione con ottima precisione quale è il suo livello narcotico; lo stesso sub, se si sottopone a eccessive esposizioni a elevate pressioni parziali di O₂ viene colpito repentinamente dalla sincope

indipendentemente dalla sua esperienza anzi quasi sicuramente ripetute esposizioni a eccessive pressioni parziali di ossigeno non danno assuefazione bensì sensibilizzano.

Un soggetto colpito da iperossia ai centri nervosi in sincope ed in preda a crisi convulsive in camera non è un problema; la crisi passa, vengono somministrati opportuni farmaci per ridurre la probabilità che l'evento si ripeta, e si prosegue il trattamento decompressivo o ricomprensivo terapeutico senza alcun danno al soggetto; in acqua un soggetto colpito è praticamente un sub morto.

L'affermazione sembra eccessiva ma il problema è davvero in questi termini; su questo punto ritorneremo con una approfondita analisi del rischio.

A secco il rischio d'iperossia ai centri nervosi diminuisce notevolmente; si comprende quindi il perché vi siano importanti differenze alle pressioni parziali massime di O₂ fra esposizione a secco (in camera) e in acqua e fra immersioni d'intervento ed immersioni in saturazione.

ATTENZIONE!!!

In acqua l'unico reale rimedio al problema dell'iperossia dei centri nervosi è la prevenzione; il limite massimo d'esposizione, ampiamente collaudato, per immersioni in acqua libera adottato universalmente è quello massimo per la U.S. Navy ossia 1.6 (atm.).

- L'elevata PO₂ porta a degli effetti di tossicità dell'O₂ dovuta alla mancata funzione di intervenire nei processi metabolici delle cellule
- Il trasporto di O₂ dagli alveoli polmonari alle cellule, avviene secondo due diverse modalità
- Per soluzione fisica nel sangue, e per legame chimico fisico con l'EMOGLOBINA (Hb) Emoglobina e ossigeno formano l'Ossiemoglobina (HbO₂)

Iperossia Polmonare

Esposizioni prolungate alla PO₂ con elevate FO₂.

Iperossia ai centri nervosi

Sintomi:

- Contrazioni muscolari in particolare nel viso
- Vertigini
- Nausea
- Affanno
- Visione a tunnel
- Allucinazioni
- Sincope
- Convulsioni
- Anomalie all'apparato uditivo

I limiti d'esposizione alle pressioni parziali di ossigeno

Una volta definita la pressione parziale massima di O₂ bisogna tenere conto che l'iperossia dipende anche dal tempo di esposizione; in condizioni normali si hanno i seguenti limiti:

Pressione parziale di O ₂ PO ₂ (atm)	Durata Massima per singola esposizione (in minuti)	Massimo tempo cumulativo per esposizioni ripetitive nelle 24 h
1.6	45	150
1.5	120	180
1.4	150	180
1.3	180	210
1.2	210	240
1.1	240	270
1.0	300	300
0.9	360	360
0.8	450	450
0.7	570	570
0.6	720	720

Esistono dei fattori predisponenti/scatenanti l'iperossia: essi sono l'aumento della pressione parziale di anidride carbonica, lo stress, il freddo.

L'aumento della p.p. della CO₂ è un fattore predisponente/scatenante: cattiva pinneggiata, respirazione, lavoro in immersione, assetti sbagliati creano una base di predisposizione molto forte.

Freddo e stress sono elementi che predispongono se continui (inadeguata protezione termica, stress latente elevato) sono scatenanti se repentini (attraversamenti di termoclini, stress di punta derivanti da problematiche in acqua).

Di questo bisogna tenere conto: **in presenza di uno o più fattori predisponenti/scatenanti bisogna ridurre di 0.1 (atm.) il livello massimo di esposizione alla pressione parziale di O₂ mantenendo invariati i tempi massimi di esposizione**; esempio: un'immersione con penetrazione in un relitto ha come limite 1.5 (atm) per 45' massimo, la stessa immersione in condizione di freddo 1.4 (atm) per 45' o 1.3 (atm) per 120'.

Questi limiti sono conservativi ma lo debbono essere perché oltre tutto devono valere per tutti i subacquei; oltre a ciò è chiaro che l'unica arma contro l'iperossia dei centri nervosi è la prevenzione.

Un grave errore comune assai diffuso è quello di contenere le esposizioni a fondo per poi esporsi a lunghe permanenze decompressive in O₂ puro: i conti dei tempi d'esposizione vanno fatti bene, tenendo conto dell'esposizione totale!

Un modo per fare questo conto si basa sul **C.N.S. clock** (orologio del sistema nervoso centrale) argomento del prossimo paragrafo; viene esposto in queste righe, anche se in modo semplificato, perché ci permetterà in seguito di fare alcune importanti considerazioni sulle tecniche di soccorso.

Il metodo del C.N.S.

In immersioni ove si impiegano miscele di fondo e decompressive diverse (magari con l'impiego anche di miscele da viaggio -tipicamente immersioni sportive in TRIMIX od in NITROX Tecnico) è necessario misurare l'esposizione alla pressione parziale di O₂; questo lo fanno normalmente i software decompressivi fornendo all'utente il C.N.S.% che, per non correre rischi deve rimanere, in condizioni normali, sotto il 100%.

Il criterio implementato nel software è quello di pesare ogni minuto d'esposizione con una %; la somma darà il C.N.S. % .

I valori di riferimento sono i seguenti:

Pressione parziale di O ₂ PO ₂ (ATM)	C.N.S. (% / min)
0.6	0.14
0.7	0.17
0.8	0.22
0.9	0.28
1.0	0.33
1.1	0.42
1.2	0.48
1.3	0.55
1.4	0.67
1.5	0.83
1.6	2.22
1.7	2.86
1.8	4.00
1.9	6.67
2.0	10
2.1	20
2.2	100

Si verifica subito che i 45' a PO₂ = 1.6 (atm) danno un C.N.S di : 2.22 x 45 = 99.9 % ;
a PO₂ > 1.6 (atm) bastano pochi minuti d'esposizione per raggiungere il C.N.S. % = 100 %.

Le miscele NITROX I , II , e EANx

Ricordiamo sempre che ci occuperemo di Nitrox I e II in riferimento ad immersioni in curva di sicurezza, l'EANx si riferisce generalmente ad immersioni professionali fuori curva di sicurezza.

Ipotizziamo ora di voler decidere quali miscele impiegare in ambito ricreativo; la profondità massima è universalmente 40 metri quindi ricordando che, per 45' d'esposizione la pressione parziale massima di O₂ è 1.6 (atm), la migliore miscela è:

$$FO_2 = PO_2 / P = 1.6 / 5 = 0.32$$

Questa miscela che contiene il 32% di O₂ ed il 68% di N₂ è il cosiddetto NITROX I; facendo lo stesso conto per i 33 metri troveremmo il NITROX II, e così' per le varie miscele EANx

E' logico che per ogni profondità e tipologia d'immersione esistono miscele ottime dette **Best Mix**; ma nell'ambito dell'immersione ricreativa non ha senso ricercare per ogni immersione la migliore miscela basta impiegare le miscele standard NITROX I e NITROX II che ci danno la necessaria flessibilità con molti vantaggi che scopriremo insieme.

Come si determina la massima profondità operativa - M.O.D. - di una miscela NITROX

Definiti i limiti massimi di esposizione alle elevate pressioni parziali di ossigeno che dipendono dal tempo di esposizione è facilissimo determinare quale è la profondità massima operativa M.O.D. (Maximum Operative Depth) di una qualunque miscela EANx.

Ricordando la regola del T e la legge che lega la pressione alla profondità sappiamo che:

$$P = PO_2 : FO_2$$

$$\text{Prof.} = (P - 1) \times 10$$

e quindi sostituendo si ottiene:

$$\text{ProfMAX} = \text{M.O.D.} = (\text{PO}_2 : \text{FO}_2 - 1) \times 10$$

Facciamo alcuni esempi:

L'aria in condizioni normali, è una miscela respirabile sino ai:

$$\text{M.O.D.} = (\text{PO}_2 : \text{FO}_2 - 1) \times 10 = (1.6 : 0.208 - 1) \times 10 = 66 \text{ metri}$$

Se nell'immersione il subacqueo è esposto a due fattori peggiorativi, ad esempio freddo e stress, la M.O.D. diviene:

$$\text{M.O.D.} = (\text{PO}_2 : \text{FO}_2 - 1) \times 7 \times 10 = (1.4 : 0.208 - 1) \times 10 = 57 \text{ metri}$$

Il NITROX I è respirabile, in condizioni normali sino a:

$$\text{M.O.D.} = (\text{PO}_2 : \text{FO}_2 - 1) \times 10 = (1.6 : 0.32 - 1) \times 10 = 40 \text{ metri}$$

Il NITROX II è respirabile, in condizioni normali sino a:

$$\text{M.O.D.} = (\text{PO}_2 : \text{FO}_2 - 1) \times 10 = (1.6 : 0.36 - 1) \times 10 = 34 \text{ metri}$$

Analogamente l'ossigeno puro è respirabile sino a :

$$\text{M.O.D.} = (\text{PO}_2 : \text{FO}_2 - 1) \times 10 = (1.6 : 1 - 1) \times 10 = 6 \text{ metri}$$

(si consiglia di eseguire calcoli della M.O.D. in condizioni normali, senza cioè fattori peggiorativi o migliorativi al fine di impratichirsi della tecnica di calcolo)

Esempi :

Calcolo della MOD ad aria in condizioni normali ed entro i limiti di esposizione massima alla PO₂ (45 minuti) – utilizzo tabella -

$$\text{PO}_2 = 1.6 \quad \text{FO}_2 = 0.21 \quad P = 1.6 : 0.21 = 7.6 \text{ ATA} \quad \text{MOD} = 66\text{MT}$$

Calcolo della MOD in NITROX I (32% O₂) in condizioni normali ed entro i limiti di massima esposizione alla PO₂

$$\text{PO}_2 = 1.6 \quad \text{FO}_2 = 0.32 \quad P = 1.6 : 0.32 = 5 \text{ ATA} \quad \text{MOD} = 40\text{MT}$$

Calcolo della MOD in NITROX II (36% O₂) in condizioni normali ed entro i limiti di massima esposizione alla PO₂

$$\text{PO}_2 = 1.6 \quad \text{FO}_2 = 0.36 \quad P = 1.6 : 0.36 = 4.4 \text{ ATA} \quad \text{MOD} = 34\text{MT}$$

Calcolo della MOD con fattori di sicurezza

- I fattori aggiuntivi sono un aspetto importantissimo da tenere sempre in considerazione per garantire il massimo della sicurezza in tutte le immersioni in Nitrox.
- Fattore aggiuntivo significa valutare ed eventualmente correggere il valore della MOD in relazione all'analisi della FO₂ presente nelle bombole .
- Fattore diminutivo significa pianificare l'immersione tenendo conto degli aspetti negativi che potrebbero insorgere utilizzando una PO₂ che si utilizza in esposizioni e condizioni normali

I fattori diminutivi sono :

1. Aumento della PCO₂ dovuta a Sforzo fisico e affanno
2. Freddo
3. Stress
4. Uso di farmaci o droghe
5. Uso di alcool
6. Scarso allenamento fisico

- **Ogni fattore sopracitato deve far decrementare di 0.1 ATA la PO₂ .**
- **L'insieme di due o piu` fattori decrementano di 0.2 ATA o piu` la PO₂.**

I fattori aggiuntivi possono influenzare il calcolo della MOD e sono:

1. Differenze nella PO₂ inferiori a 0,1 ATA sono fisiologicamente tollerate e non occorre quindi variare la MOD
2. Se invece la differenza della PO₂ supera 0,1 ATA in piu` oppure in meno, occorrerà variare e quindi ricalcolare la MOD o in alternativa farsi sostituire la bombola.

Esempio applicato:

Se pianifichiamo una immersione di 55 minuti in Gennaio, ed analizzando una miscela Nitrox in cui l'O₂ risulta essere del 33.7% . Quale sarà la MOD?

Dati :

Tempo di esposizione superiore ai 45 minuti = 1.5 ATA PO₂

Gennaio = Freddo = Fattore diminutivo = (- 0.1 ATA) PO₂

FO₂ = 33.7% = 0.337

Calcolo:

$1.5 - 0.1 = 1.4 \text{ ATA PO}_2$

$P = 1.4 : 0.337 = 4.15 \text{ ATA} = \text{MOD} = 31 \text{ mt (per eccesso)}$

Le Tabelle di decompressione NITROX I e II

L'immersione con l'utilizzo della miscela Nitrox prevede l'utilizzo di opportune tabelle che derivano dalle U.S.Navy ad aria e si leggono con lo stesso sistema che utilizziamo durante i normali corsi per sommozzatori. In questa sede per la familiarità dell'utilizzo delle medesime è superfluo riprenderne dettagliatamente in considerazione la lettura e l'applicazione. Prenderemo però in considerazione gli aspetti legati alla velocità di risalita, e l'applicazione in chiave di lettura delle medesime riguardanti le considerazioni su tempo di discesa (TD), tempo di permanenza sul fondo (TP), il tempo di risalita (TR), ed il tempo totale dell'immersione (TTI).

È opportuno invece specificare quali sono le modifiche apportate per l'utilizzo ottimale in miscela Nitrox I e II. Le suddette prendono in considerazione solamente due percentuali fisse di ossigeno, il Nitrox uno considera il 32% ed il Nitrox due considera il 36%.

In riferimento alle percentuali fisse sono state elaborate dalla N.O.A.A. i tempi e le profondità di esposizione tenendo in considerazione tutti i fattori che evidenziano la tossicità delle concentrazioni elevate dell'O₂.

In rapporto a ciò, e dentro i canoni della quasi assoluta sicurezza, ne derivano comunque tempi di esposizione che a parità di parametri, e facendo il confronto con una miscela ad Aria, sono di gran lunga superiori.

Abbiamo detto quasi assoluta sicurezza poiché esiste sempre qualche remota possibilità di incidente. Ciò è opportuno specificarlo poiché non esiste immersione alcuna e con qualunque tipo di MIX respiratorio che possa scongiurare in assoluto le problematiche caratteristiche dell'immersione stessa quali l'MDD o l'EGA.

E.A.D

Come si impiegano le normali tabelle ad aria con una qualunque miscela EANx

Ora che abbiamo il nostro NITROX sorge il problema di capire che decompressione fare o meglio qual è il tempo in curva di sicurezza; d'accordo che esistono le tabelle N.O.A.A. ma come sono state ricavate? E se posseggo solo tabelle ad aria come posso fare lo stesso l'immersione ?

L'ipotesi di partenza è che solo i gas inerti partecipano attivamente al fenomeno della saturazione e desaturazione ed alla eventuale formazione di bolle in caso di eccessiva velocità di risalita e/o omessa od incompleta decompressione; questa ipotesi di lavoro è una semplificazione del processo **saturativo e desaturativo**: l'ossigeno ad elevate pressioni parziali dapprima lega tutta l'emoglobina formando ossiemoglobina e quindi satura il plasma ed quindi i tessuti: anch'esso è un gas, anche se metabolico, e segue "la legge di Henry". Sta di fatto che alle pressioni parziali alle quali possiamo esporci per i tempi ai quali possiamo esporci l'ossigeno non dà questi problemi anzi la presenza di più elevate pressioni parziali di O₂ ci "protegge" maggiormente da problematiche di M.D.D. Basandoci su quest'ipotesi siamo in grado di trovare la cosiddetta profondità equivalente in aria (**E.A.D. Equivalent Air Depth**) di una qualunque miscela EANx.

In altri termini ci interessa conoscere, data un'immersione a una data profondità (prof.) in NITROX, a quale profondità equivalente in aria (E.A.D.) avremmo la stessa saturazione a fine immersione; usando la tabella in aria della profondità equivalente aggiungeremo conservazione alla decompressione perché essa sarà effettuata non in aria ma in NITROX ovvero con pressioni parziali di ossigeno più elevate durante la risalita e durante la eventuale decompressione a tappe.

Ricaviamo la formula dell'E.A.D. da questa ipotesi mediante l'uso della solita regola a T; cerchiamo a quale pressione ambiente equivalente (**P_{eq}**) respirando aria si ha la pressione parziale di azoto che abbiamo respirando il Nitrox alla profondità reale:

$$PN_2(\text{NITROX}) = FN_2(\text{NITROX}) \times P = FN_2(\text{ARIA}) \times P_{eq} = PN_2(\text{ARIA})$$

da cui:

$$P_{eq} = FN_2(\text{NITROX}) : FN_2(\text{ARIA}) \times P$$

Ricordando che pressioni ambiente e profondità sono legate dalle note relazioni e che la profondità equivalente cercata è chiamata E.A.D. :

$$P_{eq} = E.A.D. : 10 + 1$$

$$P = \text{Prof.} : 10 + 1$$

Si ricava con qualche passaggio algebrico la nota formula:

$$E.A.D. = [FN_2(\text{NITROX}) \times (\text{Prof.} + 10)] : 0.79 - 10$$

Questa formula ci permette di usare una qualunque miscela EANx usando una qualunque tabella ad aria; **la N.O.A.A. usando questa formula ricavò dalle U.S. Navy le tabelle per il NITROX I e per il NITROX II.**

Normalmente i subacquei usano queste tabelle o la formula ma non sanno ricavarla: questo non è rilevante: ciò che è importante è che conoscano le ipotesi di partenza, che usino le tabelle correttamente, che applichino la formula correttamente.

In quest'ambito era necessario mostrare come la si ricava semplicemente dall'ipotesi iniziale sul comportamento dell'ossigeno nei processi saturativi e desaturativi.

Trovata la formula facciamo qualche importante esempio:

Un subacqueo ha una bombola carica di NITROX I e vuole effettuare un'immersione in curva a -40 metri, vuole sapere dalle sue tabelle U.S. Navy per l'aria qual è il tempo in curva di sicurezza; immediatamente:

$$EAD = [FN_2(\text{NITROX}) \times (\text{Prof.} + 10)] : 0.79 - 10 = [0,68 \times (39 + 10)] : 0.79 - 10 = 33 \text{ metri}$$

Il tempo in curva di sicurezza a -39 mt. in NITROX I è lo stesso tempo che si ha in aria a -33 mt. ossia 20 minuti; in aria a -39 metri il tempo in curva era 10 ' in pratica il tempo a fondo è più che raddoppiato infatti ipotizzando che il subacqueo impieghi 2 ' a raggiungere il fondo con l'aria aveva 8' di permanenza col EAN32 ne ha 18'.

Se lo stesso subacqueo volesse permanere nelle medesime condizioni 30' in NITROX I dovrebbe fare 7' di deco a -3 metri mentre in aria avrebbe dovuto fare 3' a -6 mt. e 18' a -3 mt.; i vantaggi sono evidenti e non hanno bisogno di commenti.

Un brevissimo riepilogo sul calcolo dell'EAD:

- Calcolare l'EAD significa trovare il corrispondente saturativo tra un'immersione in EANx ad una certa profondità confrontandola ed equiparandola ad un'altra immersione ad ARIA a differente profondità.

- Se risulta chiaro che le due immersioni si equivalgono come saturazione sul fondo, rimane evidente che non si equivalgono come saturazione in decompressione.
Infatti, il diverso gradiente dell'EANx **permette una desaturazione più rapida** dell'ARIA

BEST MIX

Il calcolo della miscela migliore

Calcolare un miscela ideale per pianificare un'immersione, significa analizzare attentamente tutti gli aspetti che vi sono inclusi, dalla tossicità dell'ossigeno ai fattori decrementanti. Si tratta quindi di trovare la PO₂ massima sopportabile e calcolare la FO₂ in base alla profondità .

Facciamo alcuni esempi:

Quale sarà la BEST MIX in un'immersione a 32 mt. per 27 minuti in condizioni di freddo?

$$PO_2 = 1.6 - 0.1 \text{ (fatt. decr. Freddo)} = 1.5$$

$$P = 32 \text{ mt.} = 4,2 \text{ ATA}$$

$$FO_2 = 1.5 : 4,2 = 0.357$$

$$\text{BEST MIX} = \text{EAN 35}$$

Oppure:

Quale BEST MIX utilizzare in un'immersione a 23 mt. per 50 minuti?

$$PO_2 = 1.6 - 0.1 \text{ (vedi tabella 50 min.)} = 1.5$$

$$P = 23 \text{ mt.} = 3,3 \text{ ATA}$$

$$FO_2 = 1.5 : 3,3 = 0.454$$

$$\text{BEST MIX} = \text{EAN 45}$$

I due precedenti esempi sono proponibili col sistema del calcolo a T.

es. 1

$$\begin{array}{c|c} 1.5 & \\ \hline \text{Best Mix?} & 4.2 \end{array} = \text{EAN 35}$$

es. 2

$$\begin{array}{c|c} 1.5 & \\ \hline \text{Best Mix?} & 3.3 \end{array} = \text{EAN 45}$$

E.N.D.

Equivalente narcotico delle diverse miscele a profondità diverse

Tutti gli effetti negativi dei gas sul corpo umano, si manifestano a pressioni ben determinate. Infatti la tossicità dell'ossigeno si manifesta oltre la PO₂ di 1.6, e se diamo per assunto il concetto che la narcosi d'azoto respirando aria si manifesta a 40 mt , se ne deduce quindi che la PN₂ corrispondente alla narcoticità dell'N₂ è di 3.95. Come? Facciamo un esempio:

1. Qual è la Pressione parziale dell'Azoto in un'immersione ad ARIA a 40 mt di prof.?

P = 40 mt = 5 ATA
FN₂ = 0.79
PN₂ = 0.79 x 5 = 3.95

2. Se ora prendiamo in considerazione la stessa profondità ossia i 40 mt., ma respirando un mix EAN 32 (68% N₂), potremmo ricavarne la PN₂.

P = 40 mt. = 5 ATA
FN₂ = 0.68
PN₂ = 0.68 x 5 = 3.4

3. Ciò evidenzia quindi che il potenziale narcotico della miscela utilizzata nell'esempio è minore di quello ad ARIA, per comprendere meglio questo vantaggio sul piano fisiologico, proviamo a ricercare la PN₂ 3.4 in un'immersione ad ARIA.

PN₂ = 3.4
FN₂ = 0.79
P = 3.4 : 0.79 = 4,3 ATA
END = 33 mt.

Se ne deduce quindi che le miscele iperossigenate danno minore effetto narcotico dell'Aria .

Nell'utilizzo del Nitrox, conoscere l'END di una miscela ha un'importanza quasi relativa se restiamo dentro i limiti di tempo e profondità imposti dalle tabelle. Ma diventa di fondamentale importanza quando le quote delle immersioni diventano impegnative, poichè oltre che tenere sotto controllo la tossicità dell'ossigeno bisogna prendere in considerazione anche l'aspetto della narcosi da azoto.

Utilizzando il sistema del T.

Es. 1	Es. 2	Es. 3
$\frac{\text{PN}_2 ?}{\begin{array}{ c } \hline 0.79 \\ \hline \end{array} \quad 5} = 3.95 \text{ ATA}$	$\frac{\text{PN}_2 ?}{\begin{array}{ c } \hline 0.68 \\ \hline \end{array} \quad 5} = 3.40 \text{ ATA}$	$\frac{3.4}{\begin{array}{ c } \hline 0.79 \\ \hline \end{array} \quad \text{END ?}} = 4.3 \text{ ATA}$

Precisazioni su velocità di risalita e tappe di sicurezza ed approfondimento sul processo desaturativo con l'EANx.

L'EANx è una miscela, esattamente come l'aria, di azoto ed ossigeno, non è una miscela miracolosa e le sue proprietà sono derivanti dalla maggiore presenza di ossigeno in miscela; nel momento in cui noi utilizziamo una tabella dobbiamo attenerci alle prescrizioni della stessa; esempio le N.O.A.A. e le U.S. Navy prevedono la velocità di risalita di 18 metri al minuto; se noi vogliamo risalire a 10 metri al minuto lo possiamo fare con i dovuti accorgimenti. E dobbiamo tenerne conto anche se respiriamo NITROX . Questo significa che la variazione di velocità di risalita rispetto ai 18 mt. al minuto rallenta l'arrivo in superficie, e quindi allunga i tempi di esposizione alle PO₂, ne consegue quindi che bisogna fare attenzione a non superarne i limiti .

Cosa significa in pratica?

Se riprendiamo in mano una nostra tabella Nitrox , possiamo notare che volutamente non sono stati inseriti i dati relativi della risalita alla prima sosta . Il motivo è da ricercarsi proprio nella differenza di

velocità di risalita, infatti le tabelle di derivazione diretta dalle US Navy, prevedono una velocità di risalita di 18 mt. al minuto. La variazione di velocità che da 18 viene rallentata a 10, comporta un tempo maggiore di esposizione alle PO₂, per ovviare a questo inconveniente, e per tenere soprattutto conto dei benefici derivanti da un più graduale rilascio dell'azoto, viene considerato come tempo di immersione, il periodo che trascorre dal momento che inizia la medesima. Sino al raggiungimento della prima tappa di decompressione.

Per essere più precisi possiamo dire che: il tempo di discesa TD più il tempo di permanenza sul fondo TP più il tempo di risalita alla prima tappa di decompressione TR, sono da considerarsi come durata dell'immersione. Il tempo o la durata dell'immersione più il tempo trascorso alle tappe di decompressione danno quello che per definizione si chiama Tempo Totale dell'Immersione (TTI), e la differenza che emerge dalla variazione della velocità di risalita che da 18 , viene effettuata a 10 mt. al minuto, dovrà essere considerata come fattore di penalizzazione da aggiungere al tempo della durata totale dell'immersione per la definizione del gruppo di appartenenza.

Per quanto riguarda la tappa che viene definita di sicurezza dai subacquei sportivi, rimane sempre possibile l'attuazione, purché essa non vada ad alterare i tempi previsti dalle tabelle.

Per esempio : se effettuiamo un'immersione in EAN 32 , a 27 mt. per 35 minuti, possiamo se lo vogliamo eseguire una tappa di sicurezza di 2 o 3 minuti a tre mt. poiché non pregiudica in alcun modo la corretta applicazione dei tempi e delle profondità da osservare in tabella .

Ci si ricordi sempre che non esistono immersioni senza decompressione: anche le immersioni in curva sono immersioni con decompressione: **è già decompressione la risalita a una data velocità**

Più si va fondo, più si capisce l'importanza di una corretta risalita che è comunque e sempre da applicare anche quando si è fuori curva di sicurezza, le teorie dei salti di quota non sono identificabili in questo corso ; non è questa la sede di opportuni e dettagliati approfondimenti su questo importante argomento ma troppo spesso i nostri allievi non sanno risalire correttamente da una normalissima immersione.

Le tabelle ad aria impiegate in NITROX con la formula dell'E.A.D. danno maggiore sicurezza infatti al momento dello stacco dal fondo si ha la saturazione prevista ma la risalita e la eventuale decompressione non viene effettuata in aria bensì in NITROX e questo è molto conservativo perché la maggiore pressione parziale di O₂ crea un maggiore gradiente desaturativo e una più veloce eliminazione dell'azoto; in pratica si potrebbero fare decompressioni più brevi e quindi facendo quelle calcolate usando l'aria (anche se si applicano con E.A.D.) si ha maggiore sicurezza.

Le tabelle U.S. Navy sono molto usate ma non sono estremamente sicure anche all'interno della stessa curva di sicurezza se si impiega aria; l'argomento esula dalla presenti finalità si tenga comunque presente che in aria è molto meglio usare le Buehlmann ed in NITROX invece le NOAA che sono ancora le US Navy sufficientemente conservative per le ragioni sopraesposte.

Le regole generali per la decompressione.

- In decompressione devi rimanere a fare nulla per un certo tempo aspettando che passi il tempo ad una certa quota.
- E' così facile modificarne le modalità prescritte quanto pericoloso.
- Nella programmazione dovrà essere prevista la quantità di mix necessario per completare la decompressione.
- Dovrà sempre essere effettuata nel massimo della comodità, questa non è una fase di attività ma esattamente il contrario
- Il torace dovrà essere a livello di decompressione meglio ancora tutto il corpo in orizzontale
- Nel limite del possibile evitare di piegare braccia e ginocchia
- Più si sta al caldo meglio è

- Non bisogna affaticarsi
- In fase di pianificazione assicurarsi che la decompressione disponga di cime da decompressione con relativi annessi e intelligente disposizione.

Esistono altre tecniche di decompressione avanzate che vanno oltre le finalità di questo corso.

Analisi della percentuale Nitrox o EANx

L'utilizzo delle miscele è condizionato dalla necessità di poter verificare prima dell'immersione la percentuale di O₂ presente nelle bombole.

Questa è un'operazione di estrema importanza, e non può in nessun caso essere demandata ad altri che se non colui che dovrà utilizzarla.

Il controllo della percentuale di O₂ si effettua con apparecchiature chiamate analizzatori che in relazione all'utilizzatore potranno essere di tipo :

- Industriale
- Medico
- Professionale
- Privato

Nella maggior parte dei casi quando facciamo caricare le bombole in Nitrox, alla fine della ricarica troveremo un cartellino che ne indica la percentuale. Nonostante ciò non bisogna assolutamente fidarsi, e provvedere comunque alla verifica personale.

Dopo aver provveduto a questa fase, il centro di ricarica, provvede alla registrazione che deve avvenire prima sul registro del centro e successivamente sul cartellino della bombola stessa; questo per evitare che qualcuno inavvertitamente si appropri della bombola.

Come si utilizza un analizzatore di tipo comune portatile.

Nella grande maggioranza dei casi lo strumento che dovrà essere utilizzato per effettuare questa verifica è di tipo portatile, che potrebbe prevedere un sistema di analisi a flusso continuo oppure ambientale.

- Flusso continuo: si appoggia intorno all'O ring un apposito deviatore di flusso che termina con un sensore, esso rileva dal flusso sprigionato dalla bombola la percentuale di O₂ presente in essa.
- Ambientale: Viene immesso il gas presente nella bombola in un piccolo contenitore completamente isolato da fattori esterni, all'interno del quale è posto un sensore che identifica la percentuale di O₂.

In entrambi i casi si rende necessario provvedere alla taratura dello strumento che prima di effettuare i rilevamenti necessari dovrà segnare una percentuale di O₂ presente nell'ARIA del 20.8 o 21%.

Solamente nel caso di immersioni in quota sarà necessario ricavare dalla pressione barometrica riscontrata la relativa percentuale di O₂ presente nell'ARIA.

Ulteriori informazioni in merito saranno riscontrate durante le esercitazioni pratiche e durante le lezioni di teoria.

Rischi dell'impiego delle miscele NITROX nella subacquea ricreativa

Il rischio reale è il superamento di quota; superando le MOD la pressione parziale sale repentinamente: è realmente necessario rendersene ben conto e comprendere bene quali siano i margini di manovra e le tecniche per un eventuale soccorso a profondità superiori alla MOD.

Innanzitutto è bene precisare che respirando ARIA nel 99% dei casi non è la narcosi d'azoto che uccide ma proprio la tossicità dell'O₂ alle elevatissime pressioni parziali: in aria un'immersione a 80 metri crea un livello narcotico di elevato livello che però se adeguatamente addestrati e preparati a gestire è sopportabile, la pressione parziale di ossigeno invece raggiunge livelli davvero preoccupanti: 1.9 (atm); in queste immersioni oggi prive di senso il rischio di crisi iperossiche è però limitato dal fatto che i tempi di permanenza sono sempre assai limitati (qualche minuto).

In NITROX I non è difficile raggiungere la pressione parziale di ossigeno di 1.9 (atm) basta andare a 50 metri; le permanenze però potrebbero essere più estese con rischi elevatissimi.

In altri termini 80 metri in aria o 50 in NITROX I presentano la stessa pressione parziale di ossigeno: quello che ci si deve imprimere nel cervello è che non si devono superare le MOD delle miscele: questi limiti non sono quelli dei 40 metri in aria della subacquea ricreativa.

Questo si ottiene innanzitutto con un'adeguata pianificazione dell'immersione; un ciglio che dai -36 metri cade strapiombante a -55 metri non è un posto da NITROX I anche se noi abbiamo intenzione di fare l'immersione sul cappello.

Al di là di qualsiasi programmazione può però verificarsi il caso di un soccorso subacqueo; cosa facciamo in questo caso lasciamo il subacqueo in difficoltà sul fondo perché non dobbiamo superare la MOD ?

E' necessario fare un'analisi del rischio di una tale situazione; non esistono linee ad alta tensione sott'acqua e se ci sono rischi concreti di vite umane il soccorritore può eccezionalmente esporsi a pressioni parziali superiori a 1.6 (atm) tenendo però ben presente alcuni accorgimenti che individueremo insieme.

Esiste una tabella NOAA di esposizione alle pressioni parziali di O₂ cosiddette eccezionali che sono da impiegarsi solo se si deve intervenire per salvare una vita umana, queste esposizioni non vanno impiegate per la normale attività subacquea: non avremmo davvero più alcun margine di manovra e nel contempo tutte le volte correremmo dei rischi davvero eccessivi.

Attrezzature necessarie e informazioni sul processo di ricarica

E' necessario chiarire alcuni concetti sui quali c'è molta confusione; innanzitutto **non è vero che l'impiego delle miscele Nitrox I e Nitrox II richieda attrezzature dedicate e particolari infatti entro il 40 % di ossigeno si può senza alcun problema usare la normale attrezzatura di cui disponiamo, particolare attenzione va comunque dedicata alla bombola che sarebbe meglio fosse dedicata.**

I subacquei che hanno normalmente parte dell'attrezzatura ossigeno compatibile od ossigeno dedicata è perché fanno uso di O₂ puro e/o miscele quali l'EAN84, l'ARGOX ... che hanno % di O₂ superiore al 40%; queste attrezzature non sono altro che normalissime attrezzature che sono state pulite professionalmente per ossigeno.

I centri di ricarica seri dispongono tecnologie e competenze adeguate a caricare senza problemi miscele sino all'EAN 40.

Conclusioni

L'impiego di miscele NITROX in ambito ricreativo apre nuove prospettive molto interessanti: assenza di narcosi d'azoto, lunghe permanenze in curva di sicurezza, notevole incremento di sicurezza specie nelle immersioni fuori curva e/o ripetitive.

L'incremento di sicurezza è davvero notevole e quindi tutte le didattiche ricreative sono naturalmente interessate; esiste il limite della M.O.D. ossia della massima profondità operativa che deve essere rispettato.

Il problema reale è che con le miscele esistono dei limiti che possono essere raggiunti e superati: è quindi necessario programmare la propria immersione e rispettare il programma concepito; il subacqueo ricreativo può disporre di aria, Nitrox I, e Nitrox II: ha ampia scelta e può responsabilmente decidere di volta in volta cosa vuole fare.

Se fa quello che è abilitato a fare potrà sempre usare il NITROX I, e qualche volta il NITROX II; se prevede che la sua immersione può superare i 40 metri è bene che usi l'aria.

Abbiamo percorso insieme la via che porta all'impiego del NITROX in modo da mettere in luce quali sono le assunzioni di partenza; questo processo logico è indispensabile che venga compreso per poter impiegare correttamente il NITROX per averne un'idea precisa e realistica che ci permetta di valutarne il suo impiego .

La subacquea sportiva è una disciplina giovane che inevitabilmente ha avuto ed avrà ancora profonde modificazioni; siamo convinti che siamo agli albori di una serie notevole di cambiamenti ed è proprio il momento di riflettere nuovamente su cosa vogliamo fare e cosa proporre : il Nitrox può essere il passaggio naturale che permette di accedere alle nuove tecniche, Rebreathers compresi.

TABELLA DI DECOMPRESSIONE NOAA NITROX I

Profondità [metri]	Tempo di immersione [minuti]	Soste di decompressione a metri: [minuti]					Gruppi di ripetizione	
		15	12	9	6	3	Alfabetici	Numerici
15	200					0	*	*
	210					2	N	1,91
	230					7	N	1,91
	250					11	O	1,98
	270					15	O	1,98
18	100					0	*	*
	110					3	L	1,78
	120					5	M	1,85
	140					10	M	1,85
	160					21	N	1,91
	180					29	O	1,98
	200					35	O	1,98
21	60					0	*	*
	70					2	K	1,71
	80					7	L	1,78
	100					14	M	1,85
	120					26	N	1,91
	140					39	O	1,98
24	50					0	*	*
	60					8	K	1,71
	70					14	L	1,78
	80					18	M	1,85
	90					23	N	1,91
	100					33	N	1,91
	110				2	41	O	1,98
	120				4	47	O	1,98
	130				6	52	O	1,98
27	40					0	*	*
	50					10	K	1,71
	60					17	L	1,78
	70					23	M	1,85
	80				2	31	N	1,91
	90				7	39	N	1,91
	100				11	46	O	1,98
	110				13	53	O	1,98

* Consultare la tabella "Limiti di non decompressione"

Profondità [metri]	Tempo di immersione [minuti]	Soste di decompressione a metri: [minuti]					Gruppi di ripetizione	
		15	12	9	6	3	Alfabetici	Numerici
30	30					0	*	*
	40					7	J	1,65
	50					18	L	1,78
	60					25	M	1,85
	70				7	30	N	1,91
	80				13	40	N	1,91
	90				18	48	O	1,98
33	25					0	*	*
	30					3	I	1,58
	40					15	K	1,71
	50				2	24	L	1,78
	60				9	28	N	1,91
	70				17	39	O	1,98
	80				23	48	O	1,98
36	25					0	*	*
	30					3	H	1,52
	40					15	J	1,65
	50				2	24	L	1,78
	60				9	28	M	1,85
	70				17	39	N	1,91
	80				23	48	O	1,98
39	20					0	*	*
	25					3	H	1,52
	30					7	I	1,58
	40				2	21	J	1,65
	50				8	26	L	1,78
	60				18	36	N	1,91
	70			1	23	48	O	1,98
42	15					0	*	*
	20					2	F	1,39
	25					6	H	1,52
	30					14	J	1,65
	40				5	25	M	1,85
	50				15	31	N	1,91
	60			2	22	45	O	1,98
	70			9	23	55	O	1,98

* Consultare la tabella “Limiti di non decompressione”

Profondità [metri]	Tempo di immersione [minuti]	Soste di decompressione a metri: [minuti]					Gruppi di ripetizione	
		15	12	9	6	3	Alfabetici	Numerici

45	10					0	*	*
	15					1	F	1,39
	20					4	H	1,52
	25					10	J	1,65
	30				3	18	M	1,85
	40				10	25	N	1,91
	50			3	21	37	O	1,98

* Consultare la tabella “Limiti di non decompressione”

TABELLA DI DECOMPRESSIONE NOAA NITROX II

Profondità [metri]	Tempo di immersione [minuti]	Soste di decompressione a metri: [minuti]					Gruppi di ripetizione	
		15	12	9	6	3	Alfabetici	Numerici
15	200					0	*	*
	210					2	N	1,91
	230					7	N	1,91
	250					11	O	1,98
	270					15	O	1,98
18	100					0	*	*
	110					3	L	1,78
	120					5	M	1,85
	140					10	M	1,85
	160					21	N	1,91
	180					29	O	1,98
	200					35	O	1,98
21	60					0	*	*
	70					2	K	1,71
	80					7	L	1,78
	100					14	M	1,85
	120					26	N	1,91
	140					39	O	1,98
24	60					0	*	*
	70					2	K	1,71
	80					7	L	1,78
	100					14	M	1,85
	120					26	N	1,91
	140					39	O	1,98
27	50					0	*	*
	60					8	K	1,71
	70					14	L	1,78
	80					18	M	1,85
	90					23	N	1,91
	100					33	N	1,91
	110				2	41	O	1,98
	120				4	47	O	1,98

* Consultare la tabella “Limiti di non decompressione”

Profondità [metri]	Tempo di immersione [minuti]	Soste di decompressione a metri: [minuti]					Gruppi di ripetizione	
		15	12	9	6	3	Alfabetici	Numerici
30	40					0	*	*
	50					10	K	1,71
	60					17	L	1,78
	70					23	M	1,85
	80				2	31	N	1,91
	90				7	39	N	1,91
	100				11	46	O	1,98
	110				13	40	O	1,98
33	30					0	*	*
	40					7	J	1,65
	50					18	**	**
	60					25	**	**
	70				7	30	**	**
	80				13	40	**	**
36	25					0	**	**
	30					3	**	**
	40					15	**	**
	50				2	24	**	**
	60				9	28	**	**

* Consultare la tabella “Limiti di non decompressione”

** Vietate le immersioni ripetute entro il tempo di decadimento totale.

NOAA NITROX II (64% azoto / 36% ossigeno)

LIMITI DI NON DECOMPRESSIONE

MT.	6	7,5	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36
A	60	35	25	15	5							
B	120	70	50	30	15	10	10	10	5	5	5	5
C	210	110	75	45	25	15	15	15	10	10	10	7
D	300	160	100	60	30	25	20	20	15	15	12	10
E		225	135	75	40	30	25	25	20	20	15	15
F		350	180	95	50	40	30	30	30	25	20	20
G			240	120	70	50	40	40	35	30	25	22
H			325	145	80	60	50	50	40	35	30	25
I				170	100	70	55	55	45	40		
J				205	110	80	60	50	50			
K				250	130	90						
L				310	150	100						
M					170							
N					200							
O												
Z												

TABELLA DEI TEMPI DI AZOTO RESIDUO PER IMM. SUCCESSIVE INTERVALLO IN SUPERFICIE NOAA NITROX II

A																0:10	12:00															
B																0:10	2:11	12:00														
C																0:10	1:40	2:50	12:00													
D																0:10	1:10	2:39	5:49	12:00												
E																0:10	0:55	1:58	3:23	6:33	12:00											
F																0:10	0:46	1:30	2:29	3:58	7:06	12:00										
G																0:10	0:41	1:16	2:00	2:59	4:26	7:36	12:00									
H																0:10	0:37	1:07	1:42	2:24	3:21	4:50	8:00	12:00								
I																0:10	0:34	1:00	1:30	2:03	2:45	3:44	5:13	8:22	12:00							
J																0:10	0:32	0:55	1:20	1:48	2:21	3:05	4:03	5:41	8:54	12:00						
K																0:10	0:29	0:50	1:12	1:36	2:04	2:39	3:22	4:20	5:49	8:59	12:00					
L																0:10	0:27	0:46	1:05	1:26	1:50	2:20	2:54	3:37	4:36	6:03	9:13	12:00				
M																0:10	0:26	0:43	1:00	1:19	1:40	2:06	2:35	3:09	3:53	4:50	6:19	9:29	12:00			
N																0:10	0:25	0:40	0:55	1:12	1:31	1:54	2:19	2:48	3:23	4:05	5:04	6:33	9:44	12:00		
O																0:10	0:24	0:37	0:52	1:08	1:25	1:44	2:05	2:30	3:00	3:34	4:18	5:17	6:45	9:55	12:00	
Z																0:10	0:23	0:35	0:49	1:03	1:19	1:37	1:56	2:18	2:43	3:11	3:46	4:30	5:28	6:57	10:06	12:00

	Z	O	N	M	L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A
15	257	241	213	187	161	138	116	101	87	73	61	49	37	25	17	7
18	169	160	147	124	111	99	87	76	66	56	47	38	29	21	11	6
21	122	117	107	97	88	79	70	61	52	44	36	30	24	17	11	5
24	122	117	107	97	88	79	70	61	52	44	36	30	24	17	11	5
27	100	96	87	80	72	64	57	50	43	37	31	26	20	15	9	4
30	84	80	73	68	61	54	48	43	38	32	28	23	18	13	8	4
33	73	70	64	58	53	47	43	38	33	29	24	20	16	11	7	3
36	64	62	57	52	48	43	38	34	30	26	22	18	14	10	7	3

SECONDA PARTE – ISTRUTTORI –

PREMESSA

I gas, che rivestono carattere di interesse nel presente manuale, sono quelli che possono partecipare agli scambi con il corpo umano attraverso la respirazione.

Tali gas, definiti respirabili, raramente vengono utilizzati da soli, normalmente partecipano alla respirazione assieme ad altri formando le miscele respirabili.

Queste fondamentalmente sono formate da due frazioni:

- una parte costituita dall'unico gas veramente indispensabile e vitale alla sopravvivenza del nostro corpo: l'ossigeno;
- una seconda frazione costituita da uno o più gas di riempimento e diluizione.

La varietà del tenore di O_2 , da una parte, dei tipi di gas con le diverse quantità, dall'altra, costituiscono la vasta gamma delle miscele respirabili.

La scelta di tali miscele non è casuale, ma viene dettata dalle esigenze di realizzare una immersione in certe situazioni e deve tenere conto delle limitazioni generate dal nostro corpo.

Paradossalmente per ogni immersione, o meglio per ogni sezione di immersione, si può individuare la miscela adatta.

Certo è che la scelta va sempre supportata da considerazioni di possibilità fisiologiche, di convenienza tecnica ed anche economica.

Nel tenere conto della finalità del presente corso, limitato alla formazione dei subacquei nell'uso di miscele $N_2 - O_2$, si passa ora alla descrizione delle caratteristiche dell'ossigeno e le patologie derivanti, mentre la trattazione delle miscele verrà esposta nel capitolo successivo.

LA TOSSICITÀ DA OSSIGENO IPERBARICO

La tossicità da ossigeno iperbarico comincia a fare sentire i suoi effetti patologici oltre i 500 mbar.

Fondamentalmente i quadri patologici che si manifestano sono:

- a livello corporeo, specialmente polmonare, per pressioni di O₂ fino a 1500 mbar e con tempi di esposizione sempre meno lunghi (effetto Lorraine- Smith);
- a livello di sistema nervoso centrale (SNC), per pressioni parziali oltre i 1500 mbar, con tempi di esposizione ridottissimi (effetto Paul Bert).

La Tab.N°01. riporta i limiti di O₂ utilizzati in vari sistemi di supporto vitale in funzione della pressione parziale, indicando, nelle note, le situazioni ove trovano applicazione. Tali limiti possono essere, inoltre, evidenziati nei grafici di Fig. N°01, ove vengono riportate le curve di tolleranza all'esposizione di ossigeno iperbarico.

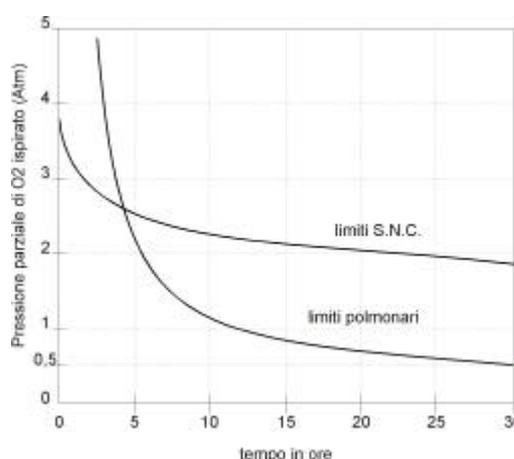


Fig.N°: 01 - Curve di tolleranza all'esposizione di ossigeno iperbarico

Le due patologie presentano quadri differenti di applicazione ma non si può escludere una loro concomitanza nel campo subacqueo sportivo.

Per tale motivo, vanno attentamente conosciute:

in fase di progettazione si devono controllare i campi di applicazione ed i pericoli di insorgenza in fase di realizzazione essere a conoscenza di come fronteggiarle.

Tossicità polmonare

Quando si effettuino esposizioni prolungate all'ossigeno iperbarico ed oltre la soglia della pressione parziale di 0,5 bar, la fisiologia del corpo umano reagisce in vari modi.

Per quanto riguarda il polmone la tossicità dell'ossigeno costituisce un insieme di alterazioni morfologiche e fisiologiche, che si manifestano con una diminuzione della capacità vitale.

I primi segni di irritazione tracheo-bronchiale compaiono infatti dopo circa 10 ore di respirazione di O₂ a 1 Bar e dopo 24-48 ore in simili condizioni si ha sviluppo di ARDS (Adult Respiratory Distress Syndrome).

L'ARDS (o Sindrome di Lorrain Smith) è caratterizzato, da un punto di vista anatomico-patologico, da un ispessimento della membrana alveolo-capillare con conseguente alterazione della diffusione gassosa.

Sono disponibili curve di tolleranza polmonare all'esposizione all'ossigeno, espresse come pressione di esposizione e durata in relazione a decrementi percentuali della capacità vitale.

OTU

Per l'uso sul campo, in operazioni di immersione singole e ripetute e per più giorni, si preferisce usare il termine di OTU, ovvero Dose di Tolleranza all'Ossigeno.

Questo metodo considera, dapprima, l'esposizione massima consentita, in termini di tolleranza all'esposizione all'ossigeno, nel caso di operazioni effettuate in un singolo giorno, poi prosegue considerando le unità di tossicità media giornaliera consentite per i giorni successivi e per tutta la durata dell'operazione.

Per calcolare il numero di OTU, bisogna determinare la PO_2 per ciascuna profondità; quindi vengono sommate le OTU accumulate in ogni fase, ottenendo il numero di OTU totali caratteristico di quella specifica immersione.

A questo punto ci si può assicurare che l'intera esposizione rientri nel limite OTU previsto dalle tabelle (REPEX) dei limiti di esposizione vedi Tab.N°02.

Se le immersioni si protraggono per più giorni, per ad ogni ulteriore giorno di immersione, le esposizioni dell'intero ciclo devono rimanere entro la dose giornaliera di riferimento e. previsto dalle tabelle (REPEX) dei limiti di esposizione vedi Tab.N°02.

Il pericolo di uno sfondamento dei limiti riportati non si presenta tanto per la singola immersione, quanto in condizioni di immersioni ripetute ed effettuate per molti giorni consecutivi.

I valori delle OTU si possono calcolare con l'espressione:

$$OTU = t \cdot Kp$$

con:

$$t = \text{tempo di esposizione}$$

$$Kp = \left[\frac{(PO_2 - 0,5)}{0,5} \right]^{0,83} = \text{coefficiente (valori precalcolati in Graf. n°1)}$$

Per motivi di totale sicurezza, nelle "ripetute" (immersioni effettuate entro il tempo di fine decadimento rispetto all'ossigeno!!!) è buona norma sommare le OTU conseguenti a ogni immersione, senza tener conto del recupero nell'intervallo in superficie.

Comunque per esattezza scientifica, il rischio di danno da tossicità di O_2 decade del 50% ogni 90' di intervallo in superficie. È previsto il ripristino dei valori normali entro 12-30 ore.

È preferibile che nell'arco della giornata non si superino le 615 OTU per le immersioni singole.

Tale valore corrisponde ad una riduzione reversibile del 2% della capacità vitale polmonare.

Questo perché non bisogna escludere la possibilità di avere necessità di un trattamento ricomprensivo in camera iperbarica, che comporta un ulteriore elevato livello di OTU.

Il valore assoluto delle OTU è un necessario riferimento nelle immersioni sia professionali che sportive: tale valore va confrontato con il limite di riferimento e se ne può anche individuare la pericolosità in termini di percentuale riferita alla dose massima di sopportabilità giornaliera.

SINTOMI - i rimedi

La sintomatologia dell'intossicazione polmonare da ossigeno, come si è detto, si presenta dopo lunghi periodi di esposizione con le seguenti manifestazioni progressive:

1. Tosse di carattere irritativo e secco
2. Disagio alla respirazione con progressivo aumento alla difficoltà respiratoria
3. Riduzione della profondità della respirazione
4. Senso di oppressione e di malessere al torace

Il rimedio più efficace è quello di interrompere prontamente la somministrazione di ossigeno iperbarico, passando alla respirazione in aria o di miscele non arricchite, si consiglia, inoltre, un periodo di controllo del decorso con intervento di un medico specialista.

operativamente:

Si devono determinare le pressioni parziali di ossigeno per ogni singola profondità, la discesa e la risalita andranno a far parte del tempo di fondo.

Dal Graf.N°01, per ogni PO_2 si ricava la dose tossica per minuto.

Questa va moltiplicata per il periodo di permanenza in quella fase e si ottengono le OTU per ogni singola fase dell'immersione.

Il valore delle OTU totali si ottiene sommando i valori delle OTU di ogni fase.

Questo va confrontato con il valore di sopportabilità massima previsto in Tab.N°02 nel caso che le OTU dell'immersione fossero superiori alle OTU limite, si deve riprogettare l'immersione stessa.

Esempio:

Si vuole effettuare un'immersione con Nitrox I (32% O_2 - 68% N_2) che prevede una permanenza di:

25' a 36 metri ($PO_2 = 1,47$ bar)

15' a 20 metri ($PO_2 = 0,96$ bar)

- Si ipotizza che i tempi di discesa e di risalita siano già compresi tra quelli di fondo.
- Dalle tabelle del Nitrox I si ricava
15' decompressione 3 metri
- Si calcolano le pressioni parziali di O_2 :
36 m \Rightarrow 1,47 bar
20 m \Rightarrow 0,96 bar
03 m \Rightarrow 0,42 bar
- Dal Graf.N°01, si determinano i relativi valori di K
36 m \Rightarrow K = 1,73
20 m \Rightarrow K = 0,93
03 m \Rightarrow K = 0,00
- Si possono ora determinare le OTU:

$$36 \text{ m} \Rightarrow \text{OTU} = 1,73 \times 25 = 43,25$$

$$20 \text{ m} \Rightarrow \text{OTU} = 0,93 \times 15 = 13,95$$

$$03 \text{ m} \Rightarrow \text{OTU} = 0,00 \times 15 = \underline{00,00}$$

$$\text{Totale OTU} = 57,20$$

- Dalla Tab.N°02, si stabilisce il limite OTU in 615 e dal confronto si constata che il limite viene ampiamente rispettato.
- Se si vuole ricavare l'incidenza percentuale di tossicità acquisita con l'immersione in confronto con la tossicità massima consentita, si ottiene:
-

$$\frac{57,20}{615} \times 100 = 9,30\%$$

Giorni di esposizione [N°]	Dose giornaliera [OTU]	Dose totale per più giorni [OTU]
01	850	850
02	700	1400
03	615	1860
04	525	2100
05	460	2300
06	420	2520
07	380	2660
08	350	2800
09	330	2970
10	310	3100
11	300	3300
12	300	3600
13	300	3900
14	300	4200
15-30	300	come da rich.

Tabella N° 02.: *Limiti di esposizione all'ossigeno per intossicazioni al corpo ed ai polmoni (REPEX)*

Tossicità neurologica

Il pericolo di intossicazione da ossigeno del sistema nervoso centrale (SNC) interviene ogni volta che si superino i limiti di sopportabilità riportati in Tab.N°01 e costituisce un vero pericolo per i subacquei che raggiungano quote profonde e/o che facciano uso ,anche a quote moderate, di miscele arricchite in ossigeno.

L'aumentata pressione parziale di O₂, scatenando una serie di reazioni all'interno del nostro corpo, si comporta, nei confronti del sistema nervoso, come una droga od altra sostanza tossica.

L'altro fattore, che contribuisce alla manifestazione del quadro tossico, è il periodo di esposizione: maggiore è il tempo di esposizione, maggiore sarà la probabilità di una reazione tossica.

In poche parole, due fattori che decidono l'entità della dose tossica sono il livello di PO₂ ed il tempo di esposizione a quella stessa pressione.

La tossicità neurologica si è presentata subito quando si è cominciato a respirare ossigeno iperbarico; da subito sono state condotte molte ricerche su tale intossicazione.

Nel corso degli anni, i limiti di tempo e di pressione all'esposizione di ossigeno sono stati modificati più volte.

- Negli anni '50 e '60 il limite previsto dal manuale U.S.Navy era di 2,0 bar.
- Negli anni '70 tale limite è stato ridotto ad un massimo di 1,8 bar.
- Attualmente si fa riferimento alla Tab.N°01 e specificatamente:
1,6 barmax 45' per immersioni non impegnative (sportive)
1,5 barmax 120' per immersioni impegnative (lavoro leggero - L₁)
1,4 barmax 150' per molto immersioni impegnative (lavoro medio - L₂)

La imitazione progressiva dei limiti di pressione e di tempo è derivata dall'evidenza dei fatti riscontrati nelle esperienze pratiche.

Ora sono anche disponibili i tempi di reazione alla dose, che devono essere considerati quando si pianificano immersioni tecniche.

Le reazioni fisiologiche all'intossicazione da ossigeno del SNC sono molteplici. Si tratta di un problema complesso, durante il quale si verificano vari eventi ed il cui approfondimento non è oggetto del presente corso.

LE CAUSE

Fattori che predispongono, favoriscono e possono far scatenare l'avvelenamento neurologico da ossigeno.

Predisposizione fisica

- Stanchezza, affaticamento, eccesso di anidride carbonica: un subacqueo poco allenato è predisposto ad affaticarsi facilmente con poche capacità di recupero; un cattivo ritmo respiratorio; un assetto non corretto; situazioni di affaticamento (pinneggiata, corrente, ecc.); condizioni di lavoro o di sforzi. Sono cause predisponenti e scatenanti.

- Predisposizioni personali e legate a condizioni fisiche acquisite o temporanee come l'uso di insulina; condizioni di ipertiroidismo; deficienza di vitamine E. Sono cause predisponenti
- Altri fattori che fungono da agenti predisponenti ed eccitanti vi sono: anidride carbonica, ormoni tiroidei, epinefrina, norepinefrina, acido acetilsalicilico, paraquat, tetracloro di carbonio.

Condizioni ambientali ed operative

- La recidiva alle esposizioni di ossigeno iperbarico non porta all'assuefazione del soggetto migliorandone la possibilità di tolleranza, ma, sembra, al contrario porta ad una **crescente sensibilizzazione con un peggioramento** del quadro di avvelenamento da O₂, sia per soglia di manifestazione, che di intensità della sintomatologia.
- Il freddo: anche il freddo, per il suo effetto di reazione, è da considerare come causa sia predisponente che scatenante.

In conclusione bisogna dire che tutte le cause sopra descritte favoriscono l'insorgenza dell'avvelenamento neurologico da ossigeno: alcune in forma predisponente altre in forma scatenante.

C'è da dire che, spesso, la stessa causa ha la possibilità di manifestarsi in modo diverso: se essa è presente in modo costante e medio, produce un effetto predisponente; mentre se la causa si manifesta in modo improvviso, può scatenare un crisi istantanea e violenta.

SINTOMI

La pericolosità dell'avvelenamento da O₂ sta nel fatto che non sempre la sintomatologia si manifesta chiaramente ed inoltre può venire confusa come relativa all'insorgenza di una narcosi di Azoto.

Inoltre, nelle immersioni profonde, ove i segnali e/o i sintomi possono manifestarsi, il subacqueo ha già da fare i conti con una situazione di narcosi da N₂, con forte rallentamento della percezione, della valutazione e della capacità di gestione.

Infine di solito i sintomi, pur manifestandosi, precedono di pochissimo la fase di crisi grave, dimostrando così la loro scarsa utilità.

Sintomi che possono insorgere con maggior frequenza o più facilmente individuabili.

- Vertigini, capogiri, disorientamento.
- Fibrillazione delle labbra.
- Tremori, solitamente dei muscoli facciali
- Contrazioni e/o fibrillazioni delle labbra, delle guance, del naso, delle palpebre, delle sopracciglia si possono manifestare anche in altri muscoli come la mano, il braccio, ecc.
- Singhiozzi
- **Convulsioni: è insieme un sintomo e la conseguenza degli altri sintomi, quando non vi si è posto rimedio. Frequentemente è l'unica manifestazione dell'avvelenamento neurologico da O₂ ed è, quindi, il punto di arrivo.**

Sintomi che possono insorgere con minor frequenza o meno facilmente individuabili.

- Variazione del comportamento con manifestazione di confusione, depressione, apprensione, ansia, con tendenza all'irritabilità.
- Palpitazioni, bradicardia.
- Modificazione del ritmo respiratorio, con insorgenza di "fame d'aria" (aumento del volume inspiratorio, contrazioni e spasmi diaframmatici).
- Pallori, sudori, nausea di variabili intensità e frequenze, insorgenza finale del vomito a spasmi.
- Disturbi dell'apparato visivo: abbagliamenti, restringimento del campo visivo, visione a tunnel, sensazione di claustrofobia, allucinazioni.
- Disturbi dell'apparato uditivo: ronzii, fischi, scampanellii, allucinazioni uditive, vertigini, nausea, conati a spasmi.
- Sincope

C'è da dire che il subacqueo colpito da crisi iperossica, rimane vittima delle convulsioni, cui è incapace di reagire e di contrastare gli spasmi muscolari. Questi portano di solito alla perdita dell'erogatore ed alla conseguente ingestione di acqua nelle vie respiratorie ed alla morte per annegamento.

LA PREVENZIONE

L'unica maniera per poter evitare e fronteggiare in modo sicuro l'intossicazione da ossigeno al SNC, è LA PREVENZIONE .

Prima dell'immersione

- Evitare di immergersi quando non si è in condizioni fisiche ottimali e/o stanchi.
- Evitare di immergersi quando non si è in condizioni psichiche ottimali.
- Non fare uso di medicinali, droghe od alcool in concomitanza con le immersioni.
- Limitare la profondità delle immersioni ad aria.
- Impiegare miscele per contenere il livello P di O₂ ed i tempi di esposizione entro il limite voluto.
- Programmare con accuratezza le decompressioni ad O₂, usando pressioni e tempi di esposizione adeguati.
- Composti chimici che possono avere effetto inibente: vitamina E, acido ascorbico, superossido dismutasi, mannitolo, acido gamma amino butirrico litio, arginina, barbiturici, ciorpromazina, diazepam, controllo equilibrio acido / base. Composti da usare sotto stretto controllo di un medico iperbarico specializzato.

In immersione

- Non immergersi da soli.
- Avere il "tender" in superficie capace ed informato delle fasi dell'immersione.
- Controllare il livello di lavoro ed affaticamento in immersione.
- Curare moltissimo la propria respirazione: lenta, profonda specialmente in espirazione
- Muoversi sempre in assetto e con grande lentezza ed acquaticità dei movimenti.
- Valutare di volta in volta i propri limiti operativi ed in base ad essi decidere .
- Sapere riconoscere ed interpretare i sintomi che possono degenerare, provocando la manifestazione di una crisi.

- Evitare ogni fattore contribuente

LA GESTIONE

- **Avvisare immediatamente il compagno**
- **Diminuire la pressione parziale di O₂ nel più breve tempo possibile.**

Rimane l'unica procedura da adottare nel caso di insorgenza, di percezione, o meglio, di **sospetto** dei sintomi di avvelenamento neurologico da ossigeno.

Come sopra detto, la crisi convulsiva solitamente segue di poco (secondi o meno) la percezione dei sintomi, quindi il subacqueo non ha tempo di attendere che la sintomatologia si manifesti completamente, ma deve agire con prontezza e rapidità di decisione.

Bisogna risalire con molta rapidità.

Attenzione però! Un'azione di risalita incontrollata e con forte pinneggiata, comporterebbe di conseguenza ad un affaticamento con la definitiva compromissione del precario equilibrio e la probabile rapida insorgenza della crisi convulsiva.

Diventa imperativo moderare i movimenti ed addirittura fermarsi, quindi gonfiare il jacket, raggiungendo quote minori.

E' importantissimo ricordare che le crisi possono insorgere anche in ritardo e colpirci in risalita: **l'immersione deve essere comunque sospesa.**

Si tenga presente che le situazioni, che possono generare un avvelenamento al SNC da O₂, sono relative ad immersioni estremamente tecniche ove il rischio di base è già alto ed è del tutto inutile incrementarlo.

operativamente

Per la progettazione di immersioni con miscele e non, si usa il metodo del Dr. Hamilton.

Per ogni singola profondità ed ogni fase dell'immersione, si devono determinare:

- le pressioni parziali di ossigeno
- i tempi di permanenza (i tempi di discesa e di risalita vengono assommati a quelli di fondo)

Dalla Tab.N°01, si ricava, per ogni PO₂, il relativo tempo massimo consentito di esposizione.

Si determina, per ogni fase e profondità, la percentuale tossica accumulata rispetto alla massima tossicità consentita con l'esposizione alla stessa PO₂. Di fatto si confrontano i tempi di esposizione per la stessa PO₂:

$$\frac{\text{tempo di permanenza} \times 100}{\text{tempo massimo consentito}}$$

Si sommano, ora, tutti i valori di tossicità percentuale.

Il valore risultante

non deve superare 100 %

Qualora tale limite venisse sfondato, l'immersione deve essere

RIPROGETTATA !!

Per poterlo fare con successo si può :

- Diminuire la PO₂:
 - variando la quota di fondo
 - diminuendo la % di O₂ nella miscela
- Diminuire il tempo di esposizione

Gli interventi sopra descritti possono essere applicati singolarmente od anche in combinazione tra loro.

Esempio

Si vuole effettuare un'immersione con Nitrox I (32% O₂ - 68% N₂) che prevede una permanenza di:

25' a 36 metri (PO₂ = 1,47 bar)

15' a 20 metri (PO₂ = 0,96 bar)

- Si ipotizza che i tempi di discesa e di risalita siano già compresi tra quelli di fondo
- Dalle tabelle Nitrox I si ricava:
 - 15' decompressione 3 metri (PO₂ = 0,42 bar)
- Si trovano sulla Tab.N°01 i tempi massimi consentiti per l'esposizione alle relative PO₂
-

36 metri PO₂ = 1,47 bar t_{max} = 120' (approssimazione per eccesso !!!)

200,96 300'

030,41 illimitato

- Si determinano le % di incidenza di tossicità per ogni sezione di immersione:

36 metri 25' / 120' x 100 = 21 % (approssimazione per eccesso !!!)

20 15' / 300' x 100 = 5 %

Totale 26 %

Nell'eseguire questa immersione il nostro corpo ha accumulato una dose di tossicità, rispetto all'ossigeno, pari al 26 % della dose massima compatibile prima di cadere vittima di una intossicazione neurologica.

Quindi entro i limiti prefissati.

Esempio

Si vuole effettuare un'immersione con Nitrox I (32% O₂ - 68% N₂) che prevede una permanenza di:
40' a 40 metri (PO₂ = 1,47 bar)

- Si ipotizza che i tempi di discesa e di risalita siano già compresi tra quelli di fondo
- Si desidera effettuare una decompressione ad ossigeno puro, dimezzando i tempi di tabella:

03' decompressione 6 metri (PO₂ = 1,60 bar)
13' 3 (PO₂ = 1,30 bar)

- Si trovano sulla Tab.N°... i tempi massimi consentiti per l'esposizione alle relative PO₂

40 metri PO₂ = 1,60 bar t_{max} = 45'
06 1,60 45'
03 1,31 150'

- Si determinano le % di incidenza di tossicità per ogni sezione di immersione:

40 metri 40' / 45' x 100 = 89 % (approssimazione per eccesso !!!)
06 03' / 45' x 100 = 7 %
03 13' / 150' x 100 = 9 %
Totale 105%
Bisogna riprogettare.

I° tentativo:

Si evita di usare ossigeno puro in decompressione

- Dalle tabelle Nitrox I si ricava:

05' decompressione 6 metri (PO₂ = 0,51 bar)
25' 3 (PO₂ = 0,42 bar)

- Si trovano sulla Tab.N°01 i tempi massimi consentiti per l'esposizione alle relative PO₂

40 metri PO₂ = 1,60 bar t_{max} = 45'
06 0,51 720'
03 0,42 illimitato

- Si determinano le % di incidenza di tossicità per ogni sezione di immersione:

40 metri 40' / 45' x 100 = 89 %
06 05' / 720' x 100 = 1 %
03 25' / illimitato = 00 %
Totale 90%

Entro i limiti ma con alto coefficiente di rischio.

Si può proporre un ulteriore intervento.

II° Tentativo:

Si usa una miscela che preveda a 40, metri una PO₂ = 1,50 bar (v. Sez. progettazione).

40' a 40 metri ($PO_2 = 1,50$ bar)

- Dalle tabelle Nitrox I si ricava:

05' decompressione 6 metri ($PO_2 = 0,51$ bar)

25' 3 ($PO_2 = 0,42$ bar)

- Si trovano sulla Tab.N°01 i tempi massimi consentiti per l'esposizione alle relative PO_2

40 metri $PO_2 = 1,50$ bar $t_{max} = 120'$

06 0,51 720'

03 0,42 illimitato

- Si determinano le % di incidenza di tossicità per ogni sezione di immersione:

40 metri $40' / 120' \times 100 = 34 \%$

06 $05' / 720' \times 100 = 1 \%$

03 $25' / \text{illimitato} = 00 \%$

Totale 35%

Largamente entro i limiti e con un accettabile coefficiente di rischio.

conclusioni

Alla fine di tutta la trattazione sulla tossicità da ossigeno iperbarico, rimane la consapevolezza che, anche per le immersioni eseguite in campo sportivo e non strettamente professionistico, sussistono le condizioni per una manifestazione, anche concomitante, delle patologie polmonare e neurologica.

Il progettista

Deve tenere in debito conto il pericolo, programmando e riprogrammando l'immersione in modo da non correre alcun rischio:

- **Diviene imperativo eseguire i controlli rispetto ad ambedue le possibilità di insorgenza di tossicità sia polmonare che neurologica.**
- Essere in grado di sapere valutare la percentuale di rischio rispetto ai limiti massimi di tolleranza.
- Essere rigorosi nell'applicare i metodi di calcolo per la determinazione dei parametri, non concedendo sconti ed approssimazioni favorevoli.
- Non avere alcuna indecisione ed essere determinati nell'impedire le immersioni gravate da qualche "sospetto" di irregolarità.

Il subacqueo

Lo stesso rigore e scrupoloso atteggiamento deve essere applicato anche in immersione:

- Bisogna essere al corrente e partecipare della progettazione di ogni fase dell'immersione, condividendone le scelte.
- Bisogna affrontare le immersioni di un certo tipo con atteggiamento estremamente attento **quasi sospettoso.**
- Avere ben chiari i limiti operativi e i modelli di comportamento.
- Al minimo sospetto: applicare le procedure di emergenza senza indugio e ripensamenti.

CERTO É CHE SI RISCHIA DI ESSERE ECCESSIVAMENTE PRUDENTI E RIMANERE COL SOSPETTO DI AVER AGITO SENZA OGGETTIVA NECESSITÀ, MA UN SIMILE ATTEGGIAMENTO RIMANE DECISAMENTE PREFERIBILE RISPETTO AL RISCHIO DI UN INCIDENTE.

Le miscele binarie $n_2 - o_2$

L'immersione con miscele, al pari delle immersioni fuori curva ed in altitudine, è da considerarsi un'immersione estremamente tecnica.

Un lavoro molto importante, al fine della buona riuscita dell'immersione, è quello di programmarla accuratamente nelle varie fasi.

Progettazione

- Scelta della $P_{max} O_2$ per la specifica immersione.
 - Composizione della miscela.
 - Individuazione dei tempi di permanenza e di decompressione.
 - Verifica della tossicità dell'ossigeno.
 - Definizione dei parametri definitivi
 - Scelta del sistema decompressivo.
 - Grafico di immersione: Costruzione
- Calcolo del coefficiente di rischio
Individuazione dei parametri critici.
- Verifica e controllo che i parametri siano all'interno del range del sistema decompressivo.
 - Eventuale riprogettazione e successiva verifica.

Logistica

- Logistica di viaggio.
- Attrezzature personali e collettive - reperimento e logistica.
- Imbarcazioni di supporto - emergenza e sicurezza.
- Primo soccorso e pronto soccorso - attrezzature, operatori e logistica.
- Liste di controllo.
- Mansionario.

Si procede, quindi, ad una verifica finale e globale. Abbastanza frequentemente si deve intervenire riprogrammando totalmente o solamente le sezioni che non offrono adeguata garanzia, fino alla soddisfazione di tutti i parametri ed i capisaldi di sicurezza.

Nel presente capitolo verrà trattato solamente l'argomento relativo alla progettazione, dato che le logistiche trovano spazio in altri capitoli o sono di pertinenza di corsi precedenti.

PROGETTAZIONE

Per procedere alla progettazione di un'immersione con l'uso delle miscele Nitrox, bisogna tener conto dei fattori e dei limiti esposti nelle considerazioni precedenti.

Dal punto di vista delle finalità del presente corso, come si è già detto, viene presa in esame solo la miscela detta Normossica (aria) e la miscela Iperossica (quando la pressione parziale dell'ossigeno risulta superiore a quella dell'aria).

Al fine di una corretta progettazione bisogna procedere per stadi successivi.

Scelta della $O_{\max} O_2$

Innanzitutto bisogna definire quale sia la massima pressione parziale ammissibile per l' O_2 . Questo limite viene fissato secondo i gradi di attività che si prevedono eseguire nel corso di immersione:

- 1.6 per immersione non impegnative - ricreative - sopralluoghi (S)
- 1.5 per immersioni impegnative - lavoro leggero (L_1)
- 1.4 per immersioni estremamente impegnative - lavoro medio (L_2)

Altro motivo di scelta diviene il tempo di esposizione massimo concesso alla PO_2 . I valori del tempo massimo in funzione della pressione parziale sono riportati in Tab.N°01: maggiore è il tempo di esposizione o l'attività fisica esercitata, minore dovrà essere la PO_2 usabile.

I valori di tabella non vanno interpolati, ma, come sempre, si deve arrotondare al valore più cautelativo.

Esempio:

si voglia effettuare un'immersione con un tempo di permanenza di 40' ed attività motoria pari a L_1
Dalla Tab.N°01 si ricava che è permesso usare una $PO_2 =$ or $< 1,5$ bar

Esempio:

si voglia effettuare un'immersione con un tempo di permanenza di 50' ed attività motoria pari a S
Dalla Tab. N° 01 si ricava che è permesso usare una $PO_2 =$ or $< 1,5$ bar

Composizione della miscela

Si passa quindi a definire la composizione della miscela, supportati da alcune considerazioni.

Lo scopo di una miscela iperossigenata è quella della riduzione della PN_2 ed il conseguente arricchimento in O_2 .

Si cerca di mantenere tale arricchimento più alto possibile, al fine di prevenire e limitare gli effetti patologici generati dal gas di diluizione.

Per la determinazione di quanto esposto, può essere applicata la formula:

$$\% O_2 = \frac{(PO_{2\max} \times 100)}{Pa}$$

con:

$PO_{2\max}$ = pressione di ossigeno massima attribuibile (v. 2.1)

Pa = pressione assoluta corrispondente alla profondità massima raggiungibile

La percentuale di azoto, ovviamente, viene ricavata per differenza:

$$\% \text{N}_2 = 100 - \% \text{O}_2$$

È stato elaborato un grafico (v. Graf. N° 02), ove sono evidenziati i limiti superiori ed inferiori di PO₂, visualizzando i campi operativi e limitando le profondità a quelle previste per le miscele iperossigenate.

Su tale grafico:

- possono essere immediatamente individuate le miscele adatte ad ogni profondità.
- per ogni miscela scelta, si può visualizzare la profondità massima di utilizzo.
- diventa facile programmare l'utilizzo di miscele diverse per la stessa immersione.
- risulta agevolato il compito del tender per una rapida scelta, nel caso di variazioni in fase operativa e di immersione in atto.

Le percentuali di ossigeno, così calcolate o reperite sul grafico, possono venire arrotondate ed adattate a valori **inferiori (sempre!!)**, per motivi di reperibilità della miscela in commercio e/o in base a considerazioni di sicurezza, quali possono essere la possibilità di dovere effettuare degli affondamenti incontrollati o di emergenza.

Esempio:

Si vuole determinare la miscela per una immersione ricreativa ad una profondità reale Dr = 22 mt (= 3,2 bar)

Dalla Tab.N°01 si ricava, per attività ricreativa S, una P_{max} O₂ = 1,6

Allora , in base alla precedente formula, si ricava:

$$\% \text{O}_2 = 1,6 \times \frac{100}{3,2} = 50\%$$

ed inoltre:

$$\% \text{N}_2 = 100 - 50 = 50\%$$

Parimenti si possono controllare sul grafico i risultati ottenuti

Esempio:

Si vuole determinare la miscela per una immersione di lavoro moderato ad una Dr = 22 mt (= 3,2 bar)

Dalla Tab. N° 01 si ricava, per L₂, P_{max} O₂ = 1,4

Allora , in base alla precedente formula, si ricava:

$$\% \text{O}_2 = \frac{1,4 \times 100}{3,2} = 43,75\%$$

Una simile miscela non viene reperita sul mercato, a meno di non farla costruire appositamente ed é di difficile controllo. Per tali motivi si può decidere di utilizzare una miscela con:

% O₂ = 40 %

ne consegue che:

% N₂ = 100 - 40 = 60 %

Parimenti si possono controllare sul grafico i risultati ottenuti

Determinazione del tempo massimo di permanenza e dei tempi di decompressione

Come precedentemente anticipato, anche i tempi di esposizione all'ossigeno iperbarico devono essere accuratamente determinati.

In fase di progettazione, il tempo totale di permanenza é un parametro da controllare immediatamente.

Bisogna procedere per tentativi successivi.

Si prendono in considerazione i valori di:

- **t_d** - tempo di discesa;
- **t_r** - tempo reale, questo valore va preso tal quale, senza maggiorazioni dovute al grado di attività, dato che nella determinazione della P_{max} O₂ si é già tenuto conto di tale eventualità;

parimenti non va maggiorato del tempo di maggiorazione t_m dato che questo procedimento riguarda le patologie legate all'ossigeno iperbarico e non quelle legate all'azoto ed inoltre si deve fare riferimento alla reale esposizione;

- **t_s** - tempo di risalita fino alla prima fermata decompressiva.

Nel computo della “quadra” per la determinazione del tempo massimo di permanenza é una consuetudine, che gioca a favore della sicurezza, considerare la somma di tutti e tre i valori di tempi precedenti.

Alcuni sistemi, legati all'uso di computers, tengono conto dell'effettivo carico di esposizione, ricorrendo ad operazioni di integrazione del carico espositivo istantaneo.

Una volta individuati il tempo massimo di permanenza, si può determinare il pacchetto decompressivo, corredato dei rispettivi tempi di permanenza e di risalita nonché delle pressioni parziali dell'ossigeno..

Si viene in possesso, così, dei parametri caratterizzanti le varie sezioni dell'immersione.

Verifica della tossicità dell'ossigeno

Una volta identificato il tempo espositivo per ogni sezione dell'immersione e la relativa PO₂, si procede alla verifica di tossicità, utilizzando i metodi esposti nei paragrafi precedenti e riferiti a:

- tossicità neurologica (SNC),
- tossicità riguardante le patologie polmonari (OTU).

Scelta dei parametri definitivi

Dal confronto dei valori di progetto con i parametri previsti per una immersione sicura, si possono riscontrare due situazioni:

- quando si riscontra uno sfondamento dei limiti, si deve procedere ad una nuova impostazione dell'immersione, variando alcuni dati:
 - profondità e/o tempi di permanenza e/o miscela di fondo e/o miscela di trasferimento e/o miscela decompressiva.
- Quindi, si deve ripercorrere l'iter di prima progettazione e procedere al controllo dei valori reperiti in secondo tentativo.
- Questo iter va percorso e ripercorso fino a totale soddisfazione dei capisaldi di sicurezza.
- quando infine si ottiene una soddisfacente conferma di sicurezza, si può procedere nelle operazioni di progettazione, utilizzando i valori (tempi, profondità, miscele) che abbiano avuto un riscontro positivo nel precedente tentativo.

A questo punto inizia la vera e propria fase di progettazione e definizione dell'immersione.

Scelta del sistema decompressivo

Per procedere alla scelta del sistema decompressivo adatto all'immersione che si intende fare, bisogna prima definire quali sono le condizioni operative concernenti l'immersione stessa.

- Conoscere gli standard personali (dati, consumi minutali, ecc.)
- Conoscere gli standards ambientali (altitudine, temperature, profondità, ecc.)
- Tipo di attività (sportiva, lavoro)
- Conoscere gli eventi accaduti prima dell'immersione (ripetute, altitudine, ecc.)
- Congruità della scelta delle miscele utilizzabili
- Tempo di decadimento
- Situazioni critiche
- Situazioni di emergenza
- Logistica di intervento curativo

Si può, quindi procedere all'individuazione del sistema decompressivo, che presenti l'utilizzo di quei modelli che si avvicinano il più possibile alle specifiche esigenze.

La raccomandazione é di non scegliere sistemi che non siano centrati sulla immersione in programma.

Eventualmente:

RIPROGETTARE L'IMMERSIONE IN BASE AGLI STANDARD DEL SISTEMA DECOMPRESSIVO SCELTO.

Per poter proseguire nell'esposizione del presente manuale, si rende necessario, a questo punto, operare la scelta del sistema decompressivo.

I motivi di scelta devono basarsi su elementi di sicurezza, completezza e, non ultima, la diffusione. É opinione, non solo personale, che il modello U.S. Navy dotato delle integrazioni apportate con gli interventi dovuti al NEDU ed al NOAA, più risponde alle richieste sopra riportate.

Esso assiste il subacqueo nell'immersione sportiva, in quella eccezionale, nelle decompressioni, nelle calcolazioni con miscele. Il sistema prevede tutta una serie di interventi di emergenza e curativi, nonché riesce a definire la pericolosità dello stesso modello, fornendo le tabelle di rischio. Non ultimo, é senz'altro il sistema più diffuso e sul quale si basano molti altri sistemi decompressivi.

Con tale sistema si é sempre in grado di risolvere qualsiasi problema decompressivo, qualsiasi sia il percorso di immersione seguito.

Allora, per le esemplificazioni pratiche del corso in oggetto, viene adottato tale modello, al fine di poter risolvere tutte le casistiche degli esempi riportati ed alla cui consultazione si rimanda utilizzando le tabelle allegate al presente manuale.

A questo punto dell'iter di progettazione, una volta individuato il sistema decompressivo, é possibile avere a disposizione tutta una serie di metodiche di calcolo e di tabelle che permettono di individuare e di determinare il percorso dell'immersione e la sua caratterizzazione nonché l'ottenimento dell'eventuale pacchetto decompressivo e le regole che lo supportano.

Profondità di miscela: D_m

Una volta costituita la miscela ed individuato il sistema decompressivo, ci si trova di fronte alle seguenti due situazioni.

1. La miscela scelta é dotata delle tabelle di decompressione specifiche e già calcolate per le profondità ed i tempi nel relativo campo di utilizzo. In questo caso il compito diviene semplificato e non resta che seguire le indicazioni delle tabelle. Questa facilitazione è riscontrabile con tutte quelle miscele di uso più corrente come le Nitrox I e Nitrox II, le cui tabelle sono facilmente reperibili in commercio e vengono allegate al presente manuale.
2. Nel caso in cui la miscela scelta non sia dotata delle relative tabelle, si deve ricorrere a metodiche di calcolo e di comparazione.

Il metodo prevede di equiparare la PN_2 alla pressione di azoto riscontrata per le immersioni in aria ed utilizzare le relative tabelle e, quindi, tutto il concernente potenziale teorico-pratico del sistema decompressivo:

- Tempi di discesa e risalita
- Calcolo del tempo fittizio
- Tappe di decompressione
- Utilizzo di O_2 per la decompressione
- Uso delle tabelle di emergenza
- Valutazione del rischio di immersione
- Teoria delle immersioni successive

Per poter procedere a tale equiparazione, bisogna rispondere al quesito: qual è la profondità con uso di miscela aria che equivale alla profondità con uso della miscela considerata ? Cioè bisogna trovare la profondità equivalente alla miscela aria: D_m .

Al fine di poter rispondere a questa domanda si possono seguire due strade, ambedue supportate da considerazioni legate alla teoria di saturazione.

- La prima metodica di calcolo é legata alla considerazione del carico massimo totale, dovuto all'azoto, che va ad interessare il nostro corpo.
Tale metodo non viene preso in considerazione perché risulta di applicazione più difficoltosa e meno cautelativo rispetto al seguente.

- L'altra metodica si basa sulla considerazione che la forza motrice, determinante l'acquisizione dell'azoto da parte dei tessuti del nostro corpo, è costituita dalla PN_2 relativa e non a quella assoluta.

Normalmente, alla partenza dell'immersione, i tessuti sono già saturi in azoto per il livello pressorio ambientale e, dopo l'immersione, il nostro corpo ritorna alle stesse condizioni pressorie ambientali. Per le immersioni comprendenti diversi livelli pressori ambientali, invece, bisogna seguire il percorso della tensione di gas nei tessuti, ma questo argomento esula dallo scopo del presente corso e se ne demanda la trattazione ai manuali di immersioni fuori curva e di immersioni in altitudine.

Da quanto detto, nasce che il carico di saturazione va riferito solamente al salto pressorio cui effettivamente il nostro corpo viene sottoposto.

In definitiva, per la determinazione del D_m , si deve partire dalla pressione parziale effettiva di azoto:

$$PN_{2 \text{ (effettiva)}} = \left(\frac{\% N_2}{100} \right) \cdot (P_{\text{tot (effettiva)}})$$

ove:

$$P_{\text{tot (effettiva)}} = \frac{D_r}{10}$$

una volta determinata la $PN_{2 \text{ (effettiva)}}$ si può determinare la pressione equivalente alla miscela aria:

$$P_{\text{ea}} = \frac{PN_{2 \text{ (effettiva)}}}{0,79}$$

quindi calcolare la profondità equivalente alla miscela aria:

$$D_m = P_{\text{ea}} \times 10$$

il precedente percorso di calcolo può venire semplificato, utilizzando una sola espressione:

$$D_m = (D_r) \cdot \left(\frac{\% N_2}{79} \right)$$

Esempio:

Si vuole determinare la profondità equivalente in aria per una immersione a livello mare, con:

$$D_r = 22 \text{ m}$$

Miscela: 40% O_2 - 60% N_2

Con l'espressione precedente si ricava:

$$D_m = (22) \cdot \left(\frac{60}{79} \right) = 16,7 \text{ m}$$

Costruzione del grafico di immersione

È sempre bene visualizzare l'immersione, specialmente se impegnativa, costruendone il profilo: rimarrà più impresso il percorso da seguire e sarà di grande aiuto per visualizzare, anche mentalmente, variazioni e decisioni da prendere durante l'immersione stessa.

Il grafico diviene indispensabile per il personale di assistenza in superficie, al fine di seguire fattivamente lo svolgimento dell'immersione ed avere un'immediata conoscenza delle anomalie cui può seguire una tempestiva decisione di intervento.

Le componenti per realizzare un buon profilo di immersione sono:

- tempo di preparazione
- coefficiente di saturazione iniziale
- tempo di discesa
- tempo reale di permanenza
- tempo fittizio di permanenza
- tempo di maggiorazione
- tempo di risalita
- tempo di tabella
- profondità di tabella
- tappe di decompressione
- cambio degli A.R.
- individuazione delle varie miscele utilizzate
- coefficiente di saturazione in uscita
- tabella dei consumi
- valutazione del rischio

Calcolo dei consumi

Per il calcolo dei consumi, nel caso di uso di sistemi respiratori a circuito aperto, si procede con le stesse modalità usate per le miscele ad aria.

Per quanto riguarda il calcolo per le apparecchiature a circuito chiuso o semiaperto viene rimandato alla letteratura specifica tecnica, esulando l'argomento dal presente corso.

Verifica e controllo

L'iter seguito per la costruzione e la rappresentazione del grafico di immersione, ci mette in condizione di venire a contatto con tutti i parametri concorrenti alla sua progettazione. Immediatamente, siamo in grado di valutare le condizioni e le possibilità di realizzo del nostro progetto.

Abbastanza facilmente si possono individuare i parametri che assumono priorità rispetto ad altri e, specialmente, quelli che rivestono carattere di pericolosità e possono indurre a situazioni critiche.

Infatti i parametri, che compongono il percorso dell'immersione, devono venire programmati e confrontati con i limiti fisiologici imposti e relativi ad ogni tipologia di immersione.

In riferimento alle immersioni con miscele N₂ - O₂, si sono individuati i seguenti parametri caratterizzanti ed i relativi limiti operativi:

Profondità max 42 metri
Limite SNC max 80 %
Limite OTU max 615 giornaliere
Velocità di discesa max 15 metri / minuto
Velocità di risalita max 10 metri / minuto
Coefficiente di saturazione finale max $S = O \Rightarrow 1,98$
Coefficiente di rischio max 2 %

OLTRE I QUALI NON SI DEVE ANDARE IN NESSUN CASO !!

La riprogettazione

Quando anche uno solo dei parametri caratterizzanti l'immersione non si trova all'interno dei limiti prefissati,

SI RENDE NECESSARIO RIPROGETTARLA !!!

L'immediata considerazione che si deve, fare prima di procedere alla riprogettazione di una immersione che non presenta in prima fase carattere di sicurezza, é quella di chiedersi se effettivamente convenga effettuare tale immersione, o la si possa evitare.

Nel caso in cui si voglia comunque procedere, si può rendere possibile l'esecuzione di una immersione a rischio, intervenendo su alcuni parametri, al fine di ricondurre tutte le caratteristiche all'interno dei termini di sicurezza.

Per quanto riguarda i parametri comuni con immersioni senza l'uso di miscele, si rimanda alla letteratura dei specifici corsi.

Vengono qui considerati solo i parametri caratterizzanti e costituenti l'immersione con uso di miscele. Gli stessi possono essere variati con i seguenti interventi:

D_{tab} - intervenire sulla profondità di tabella, vuol dire andare a variare la:

- profondità reale (andando a profondità minori)
- profondità fittizia (variando la costituzione delle miscele)

t_{tab} - per intervenire sul tempo di tabella si può:

- effettuare discese e risalite rapide (entro i limiti, ma anche non perdere tempo)
- ridurre il tempo reale di permanenza (usando più squadre per effettuare lo stesso lavoro)
- ridurre il tempo fittizio (evitando e/o riducendo e/o frazionando l'attività fisica)
- contenere od eliminare il tempo di maggiorazione (intervenendo sullo stato di saturazione iniziale e/o usando altre squadre "fresche").

SCN - l'unico modo di intervenire su questo parametro é la variazione della P_{max} O₂, supportandosi alla Tab. N° 01.

OTU - per intervenire sulla tossicità polmonare, si può variare la composizione della miscela e/o il tempo di esposizione e/o la profondità di utilizzo e/o il tempo di decadimento per l'O₂

Da quanto esposto, si può vedere che le possibilità di intervento sono molteplici e si possono variare più parametri al fine di ottimizzare la progettazione dell'immersione.

Bisogna far rilevare che quando un solo parametro viene cambiato, anche tutti gli altri subiscono delle variazioni, dato che in qualche modo sono tutti interdipendenti.

Questo comporta che si deve adottare un atteggiamento di cautela nella variazione dei valori caratterizzanti, specialmente se si procede alla variazione di più parametri contemporaneamente:

si potrebbe ottenere l'effetto di aggravare delle condizioni invece che migliorarle

Da quanto detto si ricava che, a volte, è possibile "aggiustare" una immersione ad alto rischio, intervenendo su alcuni parametri componenti.

Altre volte, quando questo non è possibile, non bisogna avere esitazione a rinunciare ad immergersi.

Nella progettazione di qualsiasi tipo di immersione bisogna farsi supportare da una profonda onestà, nella valutazione dei parametri ed estremo rigore, nella applicazione dei limiti critici. Senza cedimenti ad approssimazioni favorevoli, aggiustamenti personalizzati, interpretazioni facilitanti.

DEVE DIVENIRE UN VANTO CONSIDERARSI FARSI CONSIDERARE RIGOROSI E PRUDENTI.

conclusioni

VANTAGGI

Vantaggi operativi:

- Rispetto ad un'immersione ad aria alla stessa profondità si constata uno spostamento della curva di sicurezza con effettivo aumento del limite di tempo di non decompressione, dovuto all'abbassamento della PN₂ di esposizione durante l'immersione e quindi un minore accumulo di gas inerte da parte dei tessuti.
- Rispetto ad una immersione ad aria alla stessa profondità, si ottiene una riduzione dei tempi di decompressione, dovuto al motivo esposto al punto precedente, nel caso venga oltrepassata la curva di sicurezza.

Aumento del livello di addestramento e conoscitivo del subacqueo, con approfondimento della teoria di base della saturazione.

Vantaggi fisiologici

- Riduzione, rispetto all'aria ed alla stessa profondità, della possibilità di insorgere della narcosi di azoto.

- Riduzione delle probabilità di manifestazione di MDD dovuta ad un effettivo minor accumulo di gas inerte.
- Riscontrata resistenza dell'integrità delle cellule, in casi di situazioni critiche locali con insorgenza di MDD, dovuta alla iperossigenazione dei tessuti conseguente all'esposizione a PO₂ maggiorata.
- Tasso di azoto residuo notevolmente ridotto (rispetto all'aria e alla stessa profondità) alla fine dell'immersione.
- La maggiore esposizione per tempi prolungati a miscele iperossigenate procura l'insorgenza di sensazione di benessere e la conseguente riduzione del senso di affaticamento.
- La preparazione della miscela con metodiche accurate, sia nella compressione che nel filtraggio, conduce alla formazione di gas respirati più puliti.

SVANTAGGI

Svantaggi operativi

- Le problematiche riscontrate con l'immersione ad aria non vengono eliminate totalmente. Il grosso vantaggio dell'utilizzo di miscele iperossigenate decresce man mano che aumenta la profondità operativa.
- Maggiore difficoltà e complessità nella progettazione, realizzazione e gestione della immersione con miscela.
- Maggiori rischi relativi alla miscelazione, manipolazione, stoccaggio e trasporto della miscela.
- Costi maggiori di esercizio.

Addestramento teorico e pratico specifico selezionante.

Svantaggi fisiologici

- Maggior pericolo di insorgenza di iperossia, sia per le immersioni singole ed ancor più per le ripetute, con maggior rischio di esposizione al di fuori dei limiti di sicurezza.
- Maggior rischio di incidenti dovuti ad errore umano di miscelazione, di calcolo ed uso di miscele sbagliate.
- Maggior rischio di incidenti nel caso fortuito di dover andare a profondità maggiori del limite previsto dalla miscela stessa

CONVENIENZA

Per immersioni di carattere sportivo ed in assenza di particolari esigenze o condizionamenti, quali immersioni in acque fredde, in corrente, con avverse condizioni meteo od altre ancora, vale la seguente regola

**SI OTTIENE UN VANTAGGIO REALE QUANDO L'UTILIZZO DELLA MISCELA
COMPORTA UNA RIDUZIONE DI QUOTA D_M RISPETTO ALLA QUOTA REALE D_R DI**

ALMENO 6 m PARI A 2 SALTI DI QUOTA.

TABELLA N° 01

P O₂ [Ata]	Tempo max Singola [min]	Tempo max in 24 ore [min]	Stadio		Note	
3,0	Nessuno	Nessuno	T o s s i c i t à	SNC	Polmonare	Terapia con miscela Nitrox 50 % - 50 % a 6 Ata (50 m)
2,8	Nessuno	Nessuno		SNC	Polmonare	Terapia 100 % O ₂ a 2,8 Ata (18 m)
2,5	Nessuno	Nessuno		SNC	Polmonare	Max per decompressione d'immersione lavorativa (a secco)
2,4	Nessuno	Nessuno		SNC	Polmonare	Terapia con miscela Nitrox 60 % - 40 % a 6 Ata (50 m)
2,0	Nessuno	Nessuno		SNC	Polmonare	Limite eccezionale US Navy per sistemi di salvataggio vita
1,6	45	150		SNC	Polmonare	Limite max US Navy per immer. non impegnative (sportive)
1,5	120	180			Polmonare	Limite max US Navy per immer. impegnative (lavoro L ₁)
1,4	150	180			Polmonare	Limite max US Navy per immer. molto impegnative (lavoro L ₂)
1,3	180	210			Polmonare	Nessuna
1,2	210	240			Polmonare	Nessuna
1,1	240	270			Polmonare	Nessuna
1,0	300	300			Polmonare	Nessuna
0,9	360	360			Polmonare	Nessuna
0,8	450	450			Polmonare	Nessuna
0,7	570	570			Polmonare	Nessuna
0,6	720	720		Polmonare	Nessuna	
0,5	Illimitato	Illimitato	Benessere		Massima esposizione per immersioni in saturazione	
0,35	Illimitato	Illimitato	Benessere		Normale esposizione per immersioni in saturazione	
0,21	Illimitato	Illimitato	Benessere		Pressione normale (ambientale o normossica)	
0,16	Nessuno	Nessuno	Sofferenza		Primi segni di ipossia	
0,12	Nessuno	Nessuno	Sofferenza avanzata		Seri sintomi di ipossia	
0,10	Nessuno	Nessuno	Sofferenza critica		Perdita di coscienza	
< ,10	Nessuno	Nessuno	Sincope		Coma - Morte	

 Tabella N° 01.: *Limiti di O₂ utilizzati in vari sistemi di supporto vitale. (NOAA)*

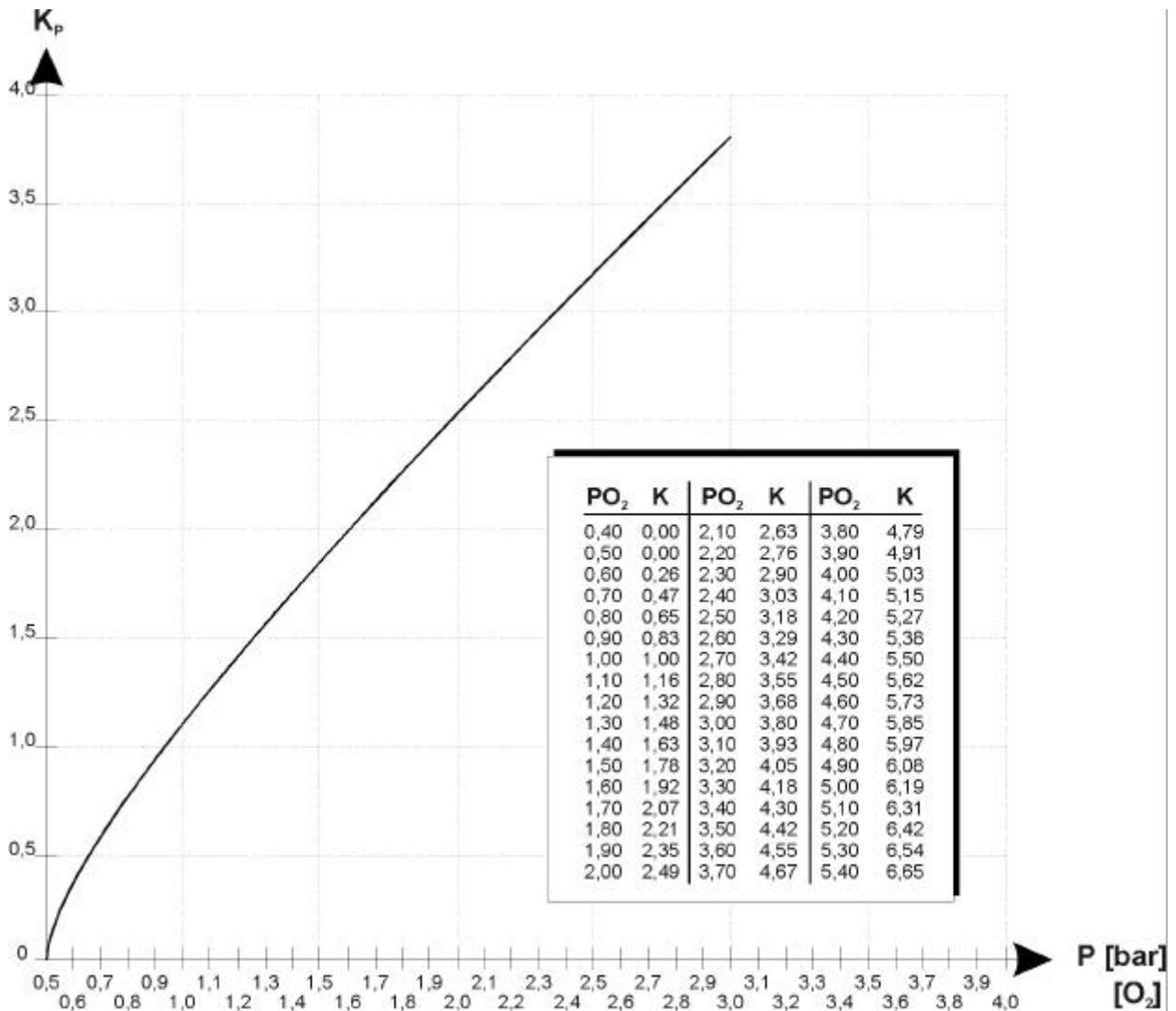


GRAFICO O1: MISCELE N₂-O₂
CALCOLO DELLE OTU - VALORI GIÀ CALCOLATI DEL COEFFICIENTE K CORRISPONDENTE

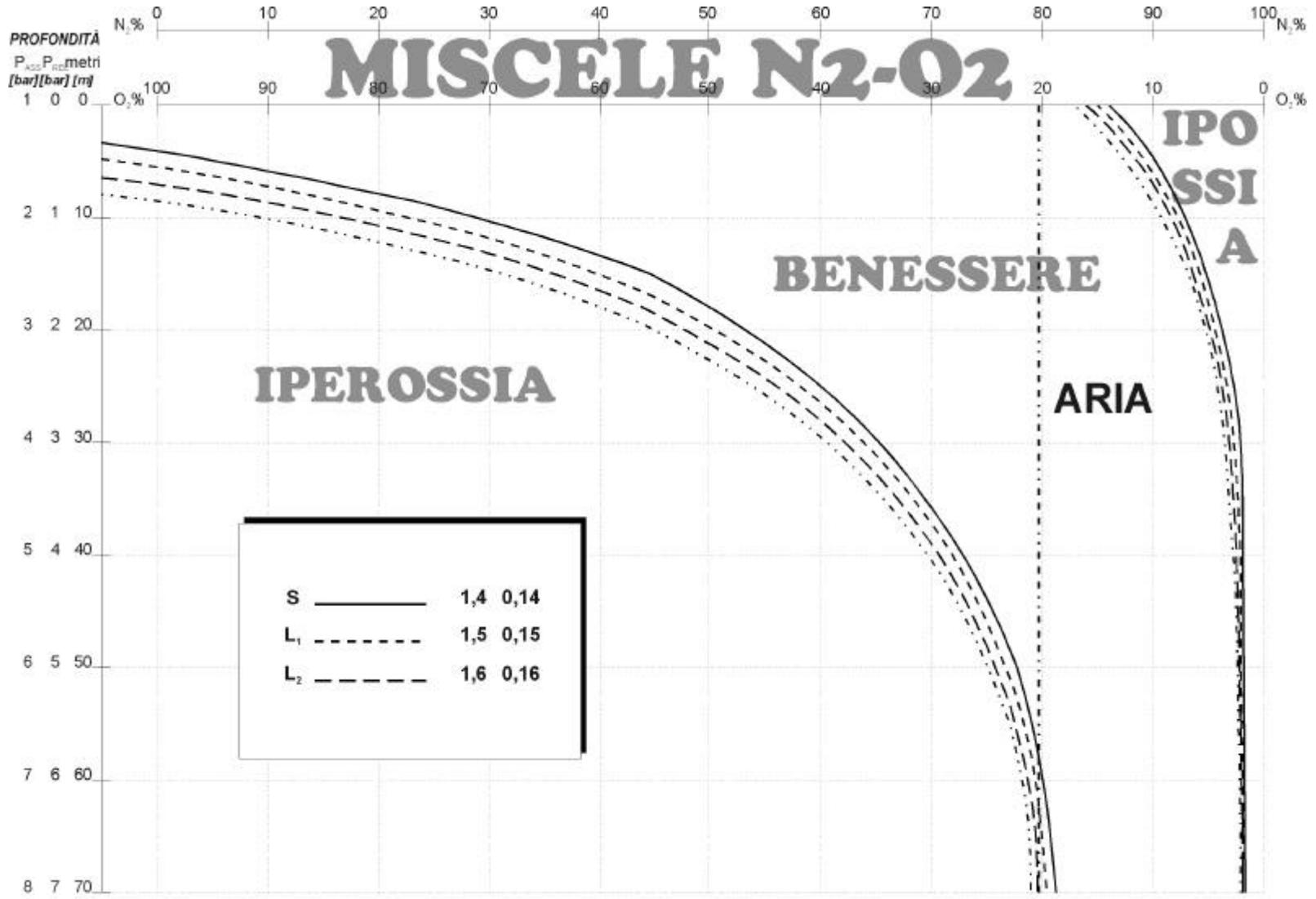


GRAFICO O₂: MISCELE N₂-O₂ - CAMPO DI UTILIZZAZIONE DELLE MISCELE IN FUNZIONE DELLA PROFONDITÀ E DELL'ATTIVITÀ MOTORIA