

MANUALE DI IMMERSIONE

ESTENSIONE AL 1° GRADO
CORSO DI 2°- 3° GRADO

Manuale adottato da FisaSub



Foto Cesarini

**A. BENTIVEGNA - V. DI MARIO
2001**

MANUALE DI IMMERSIONE

di
A. Bentivegna - V. Di Mario

Testi:

Antonello Bentivegna
Valter Di Mario

Disegni:

Antonello Bentivegna

Veste grafica:

Valter Di Mario

Foto:

Archivio
Centro Sub Nadir - Roma

MANUALE DI IMMERSIONE

PREMESSA

Questo manuale di immersione subacquea (CD Rom e stampato) è stato concepito secondo una filosofia didattica basata sul concetto di formazione continua.

I vari livelli contenuti non rappresentano un punto di arrivo nella formazione didattica, ma un gradino di crescita nelle conoscenze.

Il manuale d'immersione è uno strumento a disposizione della scuola per permettere una preparazione dell'allievo, il più elevata possibile, in tutto il suo percorso formativo.

Una icona riportata su ogni pagina mostra l'indicazione più adatta alla destinazione del manuale.

Gli argomenti selezionati nel corso base sono ripetuti e ripresi nei corsi successivi in modo più analitico, per essere usati opportunamente all'interno dei corsi.

Questo vale anche per gli opuscoli che riportano lo stesso materiale in una veste più agile e possono essere usati come singole dispense o inseriti nei vari corsi in qualsiasi momento.

Della stessa serie, per le specialità destinate a gradi avanzati, sono in preparazione altri opuscoli quali:

SALVAMENTO,
ARCHEOLOGIA,
FOTOSUB,
VIDEOSUB,
AMBIENTE.

Ognuno di questi opuscoli potrà essere usato singolarmente, come approfondimento specialistico, o, come supporto conoscitivo anche in un corso di 1° grado.

Va per altro aggiunto che, la sola consultazione del manuale non può garantire tutta la conoscenza necessaria alla pratica dell'attività subacquea.

E' quindi di fondamentale importanza la frequenza di un corso di immersione condotto da un istruttore qualificato, e, soprattutto, un adeguato numero di immersioni guidate in acque libere.

Gli autori

A. Bentivegna - V. Di Mario



Indice analitico

LE SINCOPI

Sincope Ipossica
Sincope da Idrocuzione

FORME DI ANNEGAMENTO

L'annegamento in acqua dolce
L'annegamento in acqua clorata
L'annegamento in acqua salata

BAROTRAUMI

Embolia gassosa traumatica
Embolia gassosa arteriosa

SDD SINDROME DA DECOMPRESSIONE
LA SATURAZIONE
L'AZOTO E L'ORGANISMO UMANO
LE TABELLE DI DECOMPRESSIONE
LA NARCOSI D'AZOTO
L'IMMERSIONE IN QUOTA
LA TERMOREGOLAZIONE BIOLOGICA
CORSO DI PRIMO SOCCORSO

La formulazione grafica di questo manuale rende possibile l'integrazione del testo in relazione alla graduale crescita dell'allievo.

In ogni pagina sarà ospitata una icona; essa rappresenta l'indicazione migliore alla finalità del manuale.

LEGENDA DELLE ICONE



Testo adatto al:
Corso di 1° Grado



Testo adatto al:
Corso di 2° Grado



Testo adatto al:
Corso di 3° Grado



Testo adatto al:
Corso di Guida Sub

LE SINCOPI

La Sincope Ipossica



Per **SINCOPE IPOSSICA** o **DA APNEA PROLUNGATA** s'intende quella forma di sincope provocata dalla diminuzione nel sangue della tensione d'ossigeno al disotto dei limiti tollerabili, per cui viene a mancare un adeguato rifornimento al cervello.

La scarsità di ossigeno influirà negativamente sulla normale funzionalità dei neuroni cerebrali che non potranno più condurre normalmente gli stimoli nervosi.

L'APNEA

Per apnea si deve genericamente intendere l'arresto volontario della respirazione.

La respirazione è un atto involontario che, però, può essere influenzato, fino ad un certo punto, dalla volontà.

Durante l'immersione il subacqueo può contare soltanto sulla presenza di ossigeno presente nel proprio organismo.

A partire dall'inizio dell'apnea, cioè dall'interruzione volontaria della respirazione, la riserva di ossigeno tenderà a diminuire e, parallelamente, tenderà a salire l'anidride carbonica prodotta dall'attività metabolica dei tessuti del corpo umano.

La regolazione della respirazione in termini semplificati avviene nel modo seguente:

nel cosiddetto centro respiratorio, localizzato a livello bulbare, esistono due centri intercomunicanti tra loro e cioè il centro inspiratorio ed il centro apneistico che, a seconda degli stimoli che vengono dalla periferia, permettono rispettivamente l'inspirazione oppure l'apnea. Gli stimoli periferici provengono dai cosiddetti **GLOMI CAROTIDEI**, che sono una sorta di microscopici sensori posizionati lateralmente alla biforcazione dell'arteria carotidea comune da cui nasce l'arteria carotidea interna, che è l'arteria principale di rifornimento di sangue al cervello.

Questi sensori hanno il compito di analizzare continuamente le quantità di O_2 e di CO_2 presenti nel sangue in forma disciolta (non legata dai globuli rossi del sangue): se registrano una quantità inferiore al normale di O_2 o una quantità superiore al normale di CO_2 , fanno partire lo stimolo indirizzato al **CENTRO INSPIRATORIO** che provoca l'inspirazione. Se invece le quantità di O_2 o di CO_2 sono nella norma parte lo stimolo per il **CENTRO APNEISTICO** che permette l'apnea.

L'organismo per la propria sopravvivenza, ha bisogno di ossigeno e lo utilizza continuamente, producendo anidride carbonica come scarto metabolico, per questo motivo, pur cessando volontariamente gli atti respiratori, le scorte di O_2 immagazzinate nei polmoni, verranno progressivamente utilizzate, quindi diminuirà la pressione parziale di O_2 , mentre aumenterà la pressione parziale di CO_2 .

Interrompendo volontariamente la respirazione dopo un periodo variabile e da soggetto a soggetto, per intervento del centro inspiratorio bulbare, si avrà l'invio ai muscoli inspiratori (specialmente al diaframma) di stimoli per la contrazione e, quindi, per l'inspirazione (**CONTRAZIONI DIAFRAMMATICHE**). Se l'apnea viene mantenuta, il centro respiratorio cessa di funzionare e si arriva alla sincope ipossica.

SI POSSONO DISTINGUERE DELLE FASI BEN PRECISE CHE PORTANO DALL'APNEA ALLA SINCOPE:

1° FASE

DISAGIO: si ha all'inizio dell'immersione ed è un effetto psicologico. Si può avere anche una bradicardia, come riflesso all'immersione del viso in acqua fredda.

2° FASE

BENESSERE: caratterizzata da una grande disponibilità di O_2 e ad un ancora basso tasso di CO_2 , dovuti all'aumento della pressione ambiente in immersione.

LE SINCOPI

La Sincope Ipossica e da idrocuzione



3° FASE

SOFFERENZA: s'innescia il meccanismo automatico della respirazione con la comparsa delle contrazioni diaframmatiche. Questo indica al subacqueo di essere già entrato in una zona di pericolo. Tuttavia le contrazioni diaframmatiche provocano una sorta di rimescolamento tra l'area alveolare e lo spazio morto delle vie aeree ed ulteriore passaggio di CO₂ tra il sangue e gli alveoli, dando la sensazione di falso benessere.

4° FASE

PERICOLO: è lo stato di falso benessere che dura in modo variabile secondo i soggetti e anche per lo stesso soggetto. Se il sub in questa fase non si mette in condizione di respirare andrà incontro alla sincope ipossica.

5° FASE

PUNTO DI ROTTURA (BREAK POINT): nel caso in cui il sub si trovi ancora sott'acqua andrà incontro ad una sincope o ad annegamento.

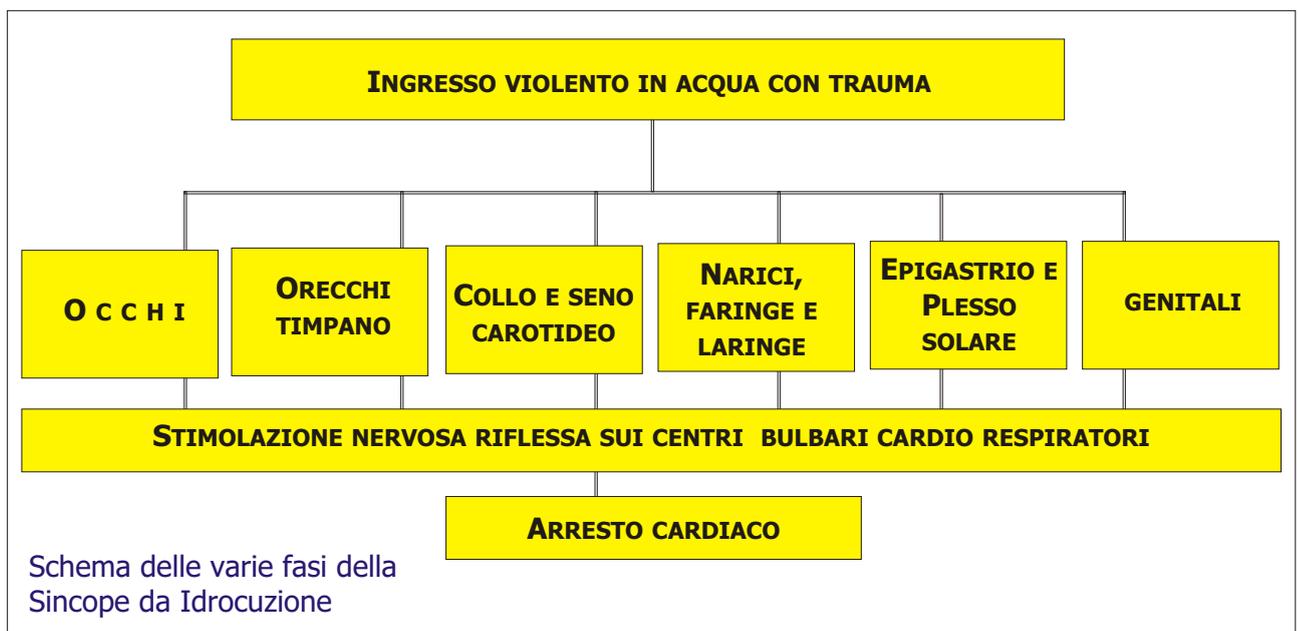
Se l'apnea è stata preceduta da una prolungata iperventilazione, lo stimolo per la respirazione tarderà ad arrivare, avvicinando pericolosamente il punto di rottura.

L'iperventilazione è una manovra che serve a rimuovere l'anidride carbonica residua a livello alveolare, abbassandone il tasso, falsando così le funzioni dei glomi carotidi.

LA SINCOPE DA IDROCUZIONE

E' facile rischiare questo tipo di incidente senza averne realmente coscienza .

Si deve evitare quindi di entrare a contatto con l'acqua dopo un'abbondante sudorazione, una lunga esposizione al sole, un'intensa attività muscolare o quando si è ancora in fase di digestione. Sono queste le situazioni che possono provocare nell'organismo una vasodilatazione, con aumento della temperatura corporea. Se non si aiuta l'organismo ad abituarsi gradatamente alla diversa temperatura dell'acqua, si rischia che il contatto tra il corpo e l'acqua, generalmente più fredda , provochi una vaso costrizione periferica che determina, a sua volta, un ritorno eccessivo di sangue nelle grandi vene cave verso il cuore e la stimolazione di un riflesso nervoso con arresto cardiaco e la perdita di conoscenza.



ASFISSIA E ANNEGAMENTO



Si definisce asfissia la mancata ossigenazione del sangue con accumuli di anidride carbonica dovuta ad un'alterazione o arresto degli scambi gassosi.

Le cause che determinano l'asfissia sono:

OCCLUSIVE - OSTRUTTIVE
IMPEDIMENTI ALLA MOBILITA' DELLA GABBIA TORACICA
INIBIZIONE DEI CENTRI NERVOSI DEL RESPIRO
ALTERAZIONE QUALITATIVA DELL'ARIA
PNEUMOTORACE

FORME DI ANNEGAMENTO

L'annegamento è uno stato di asfissia acuta di tipo occlusivo. Causato da un'inondazione bronco alveolare, provoca una ridotta ossigenazione del sangue, fino all' "anossia", che, a livello cerebrale, è la causa dell'arresto respiratorio.

Come tutte le forme di asfissia si può dividere in due categorie:

asfissia semplice, quando la causa ha determinato solo arresto respiratorio, mentre è presente il battito cardiaco

asfissia complicata quando alla mancanza del respiro corrisponde assenza del battito cardiaco.

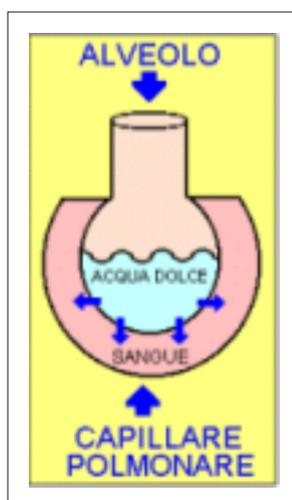
ESISTE UNA DISTINZIONE PRECISA TRA GLI ANNEGAMENTI AVVENUTI IN ACQUA DOLCE, IN ACQUA DOLCE CLORATA E IN ACQUA SALATA.

ANNEGAMENTO IN ACQUA DOLCE

INONDAZIONE DEGLI ALVEOLI POLMONARI IN ACQUA DOLCE.
L'ACQUA DOLCE E' MENO CONCENTRATA DEL SANGUE.

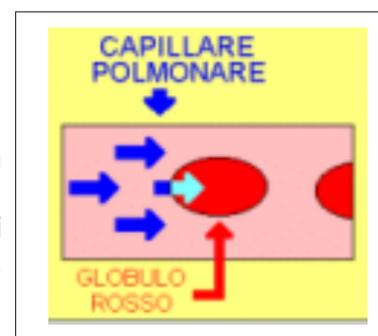
Per motivi osmotici si ha un passaggio di acqua dagli alveoli nei capillari polmonare e di conseguenza nella circolazione sanguigna.

A differenza dei gas dove, pressione maggiore si sposta verso pressione minore, nei liquidi è quello a maggiore concentrazione ad attrarre quello a minor concentrazione.



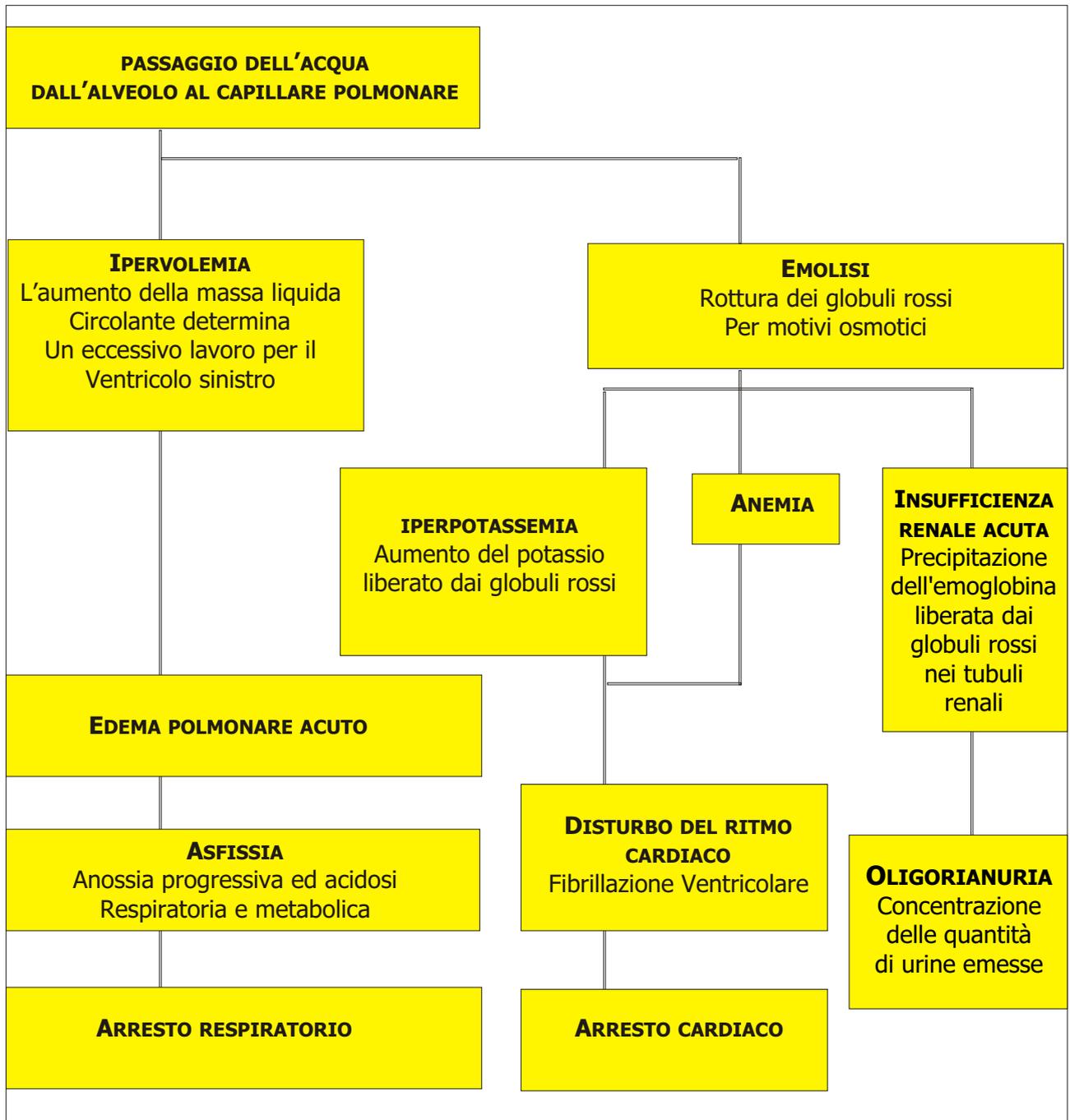
Schema rappresentativo del passaggio di acqua dolce dall'alveolo al capillare polmonare

Una Ipervolemia (aumento della massa liquida) genera per motivi osmotici una emolisi (rottura dei globuli rossi).





Schema rappresentativo delle varie fasi in un **ANNEGAMENTO IN ACQUA DOLCE**



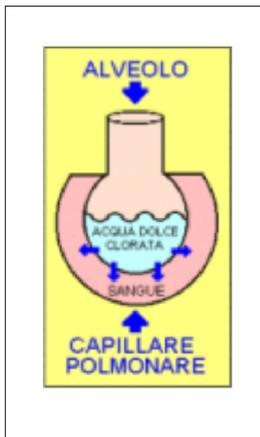


ANNEGAMENTO IN ACQUA CLORATA

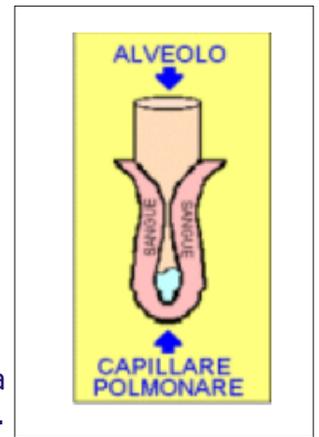
Nell'annegamento in acqua dolce clorata una prima complicazione si verifica già nel momento in cui l'acqua entra in contatto con l'aveolo.

Il cloro contenuto nell'acqua distrugge una sostanza detta **SURFACTANTE** che è presente nelle pareti semipermeabili dell'aveolo. La distruzione di tale sostanza provoca gravi danni alle funzioni osmotiche.

Questa patologia è anche detta **POLMONITE CHIMICA** o **SINDROME DI MENDELSON**.



Schema rappresentativo del passaggio di acqua clorata dall'aveolo al capillare polmonare. Si noti come anche l'acqua clorata abbia comunque una concentrazione simile a quella dell'acqua dolce.



Schema rappresentativo dell'aveolo polmonare a seguito del passaggio di acqua clorata.

ANNEGAMENTO IN ACQUA SALATA

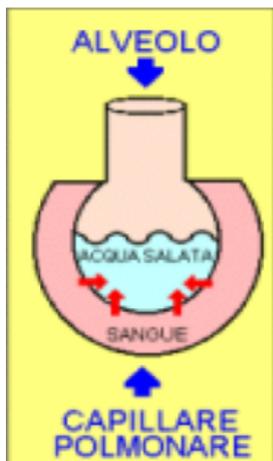
A seguito dell'inondazione degli alveoli polmonari con acqua salata.

L'ACQUA SALATA E' CIRCA 3 O 4 VOLTE PIU' CONCENTRATA DEL SANGUE.

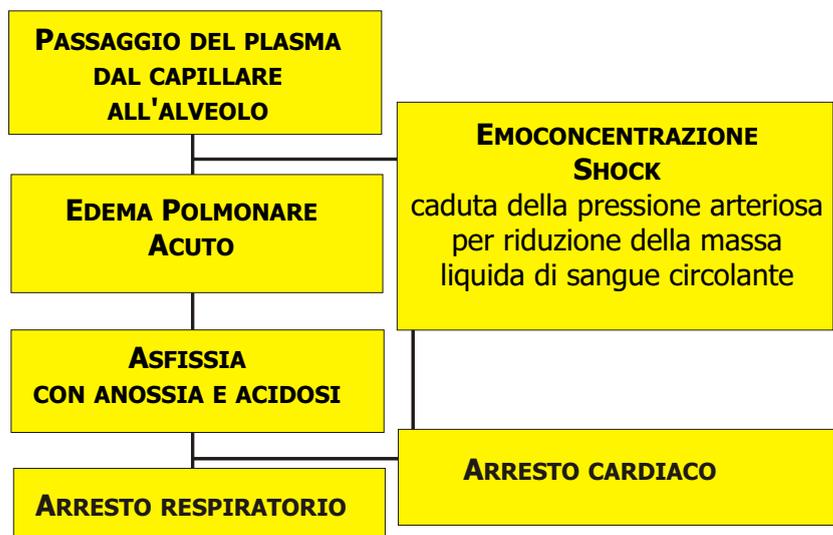
Per motivi osmotici si ha un iniziale passaggio della parte liquida del sangue (plasma) dai capillari agli alveoli polmonari con conseguente **EDEMA POLMONARE ACUTO**.

Successivamente, ristabilito un equilibrio fra le concentrazioni degli elementi liquidi, lo scenario che si presenta è verosimile a quello dell'annegamento in acqua dolce.

Schema rappresentativo del passaggio di plasma dal capillare all'aveolo (edema polmonare)



Schema rappresentativo delle varie fasi in un **ANNEGAMENTO IN ACQUA SALATA**





Per chiarire il funzionamento della Legge di BOYLE-MARIOTTE, facciamo un piccolo esperimento:

Immergiamo un palloncino pieno d'aria in acqua e verifichiamo come il suo volume si riduca mano a mano che aumenta la profondità e quindi la pressione che grava su di esso. Il palloncino riacquisterà gradatamente il suo volume quando, con movimento inverso, risalirà in superficie.

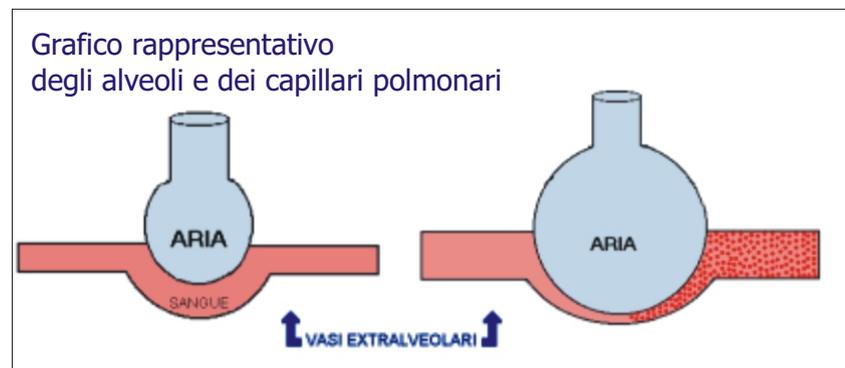
Viene esemplificato in tale modo l'enunciato della legge fisica sopra citata:

"a temperatura costante, il volume diminuisce all'aumentare della pressione e viceversa".

Possiamo renderci conto, in tale modo, che cosa sia una sovraddistensione o barotrauma polmonare, semplicemente paragonando gli alveoli polmonari di un sommozzatore (A.R.A.) a dei palloncini pieni d'aria.

Questi minuscoli sacchetti, che costituiscono il tessuto polmonare, si comporteranno come tali e in fase di risalita aumenteranno di volume, di pari passo con la diminuzione della pressione idrostatica.

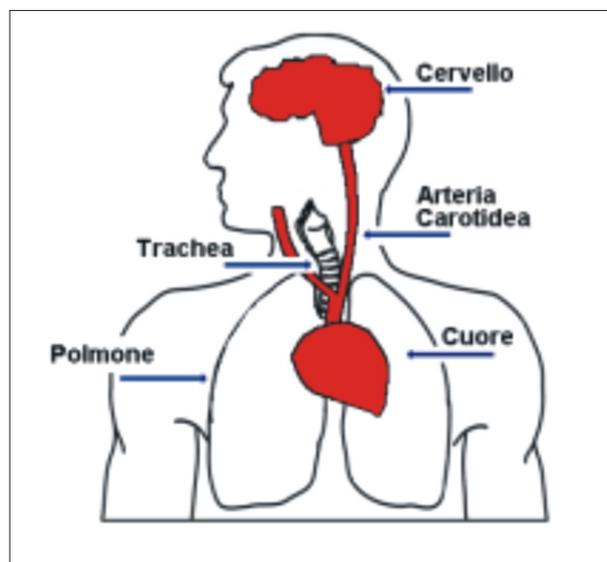
Se l'aria presente al loro interno non viene espulsa durante la risalita del nostro sommozzatore, le pareti degli alveoli cominceranno a dilatarsi. Proseguendo l'ascesa e persistendo i motivi che impediscono all'aria in espansione di essere espulsa, continueranno a crescere di volume fino al loro limite di elasticità con successiva rottura.



Una marcata dilatazione alveolare conduce ad uno stiramento dei vasi extralveolari. Le bolle d'aria che fuoriescono da un'eventuale lacerazione possono penetrarvi originando così un quadro di embolia gassosa arteriosa denominata "E.G.A.".

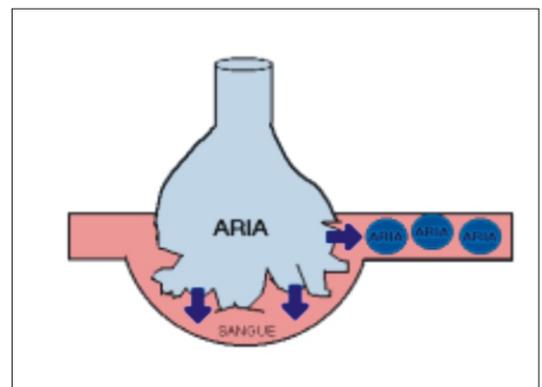
FASI INIZIALI DI UN BAROTRAUMA

Se la pressione intraalveolare supera di 2 - 3 decimi di atmosfera la pressione idrostatica esterna, si produrranno delle lacerazioni della parete alveolare, con diffusione di bolle d'aria nei tessuti circostanti. I sintomi che derivano da questa lesione dipendono dalla localizzazione dell'aria fuoriuscita.



E.G.T. Embolia gassosa traumatica

Lesione di un alveolo polmonare dovuta a barotrauma e conseguente passaggio d'aria nel circolo arterioso.



BAROTRAUMI E LESIONI POLMONARI

E.G.A. (Embolia gassosa arteriosa)



I sinonimi di questa gravissima patologia sono: "Aeroembolismo" e "Embolia gassosa traumatica". Con questo termine s'intende il passaggio diretto di aria compressa nel Grande Circolo. Spesso, associato all'Embolia gassosa arteriosa, si verifica anche un pneumotorace iperteso a valvola. Tale incidente ad insorgenza acuta e di marcata gravità, è secondario alla presenza di malformazioni cardiache (per cui grosse bolle gassose possono saltare il filtro polmonare e penetrare nel Grande Circolo).

L'aumento della pressione endoalveolare provoca una iperdistensione delle pareti dell'alveolo con conseguente rottura dei setti interalveolari e un passaggio d'aria nel torrente circolatorio. In quest'ultimo caso, l'eziopatogenesi è dovuta ad una rapida risalita a glottide chiusa, per cui si crea un impedimento alla fuoriuscita di gas dai polmoni, mentre è in corso una riespansione del medesimo gas a seguito del diminuire dalla pressione ambiente: superata la capacità elastica del polmone di dilatarsi, si arriva alla rottura e conseguente entrata d'aria nel circolo arterioso polmonare.

Inoltre l'aria può farsi strada fra le strutture vasoconnettive con formazione di: enfisema mediastinico, enfisema sottocutaneo, oppure l'aria può dirigersi verso la pleura con conseguente di formazione di pneumotorace (PNX).

Le grandi emergenze subacquee connesse con l'EGA ed interessanti l'apparato respiratorio, avvengono soprattutto durante immersioni con autorespiratore ad aria (ARA). Tali patologie insorgono durante la fase di risalita e ne sono spesso vittima i sommergebilisti durante le esercitazioni di "free escape".

SINTOMATOLOGIA

La sintomatologia si verifica nell'ultima fase dell'emersione e può manifestarsi sino ad un'ora dopo, tuttavia la percentuale più rilevante si evidenzia al momento dell'arrivo in superficie.

La sintomatologia dei barotraumi polmonari comporta, oltre a malessere e vertigini, un grave deficit respiratorio (se è presente il pneumotorace, come quasi sempre capita), dolore retrosternale intenso, in caso di semplice iperdistensione alveolare, in seguito possono comparire dispnea, cianosi e pallore (dovuto alla compressione della base del collo).

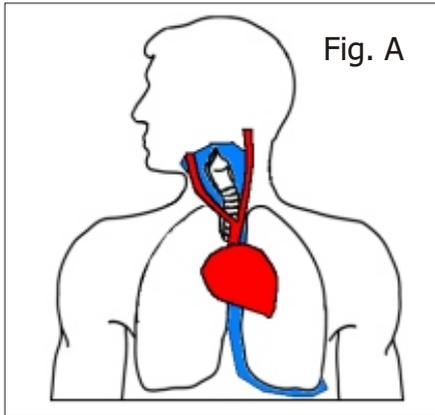
Qualora avvenga penetrazione d'aria nei vasi sanguigni si manifesteranno embolizzazione arteriosa cerebrale; insufficienza cardiaca acuta per presenza d'aria nel ventricolo sinistro, con ostacolo alla funzione di pompa; embolizzazione coronarica; shock e complicanze neurologiche; è possibile l'arresto cardiocircolatorio e la morte improvvisa.

Per quanto riguarda le complicanze neurologiche, quasi sempre presenti, esse sono dovute all'ostruzione meccanica del flusso sanguigno cerebrale, dovuta alle bolle. A questo si aggiunge subito dopo un'altra complicazione: è stato infatti dimostrato che, anche se le bolle venissero eliminate tutte quante, (grazie alla ricompressione in camera iperbarica), permanerebbe una grossa riduzione del flusso ematico cerebrale, tale riduzione troverebbe la sua spiegazione nel fatto che le bolle gassose (prima di essere eliminate) avrebbero creato delle microlesioni su cui poi si sarebbero adesi i leucociti, con conseguente rilascio di mediatori chimici.

Questa sintomatologia neurologica varia con il variare della localizzazione delle bolle e può manifestarsi con: emiparesi; crisi convulsive epilettiformi; allucinazioni; deficit visivi. L'unico trattamento in caso di EGA è quello di somministrare ossigeno, essere pronti se necessario ad attuare una rianimazione cardio polmonare e allertare i soccorsi (**118**) per fare arrivare l'infortunato al Centro Iperbarico più vicino, sperando di essere riusciti a limitare i danni il più possibile.

BAROTRAUMI E LESIONI POLMONARI

E.G.A. (Embolia gassosa arteriosa)

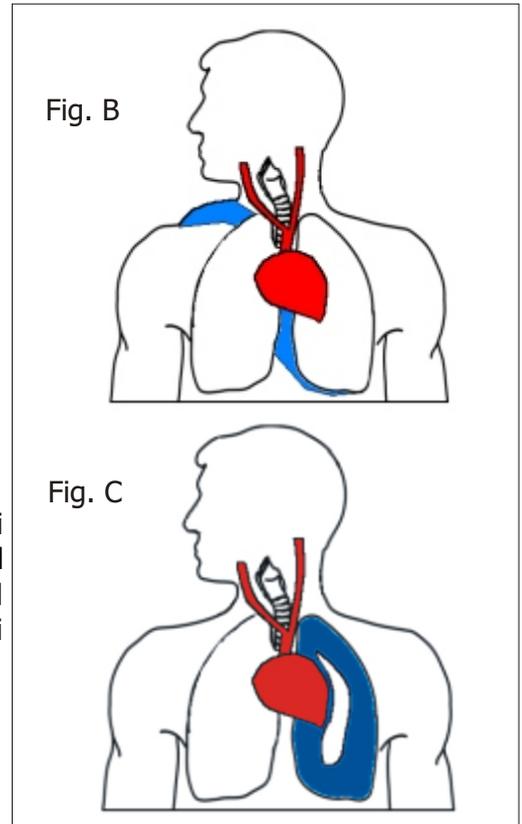


La zona azzurra indica la localizzazione delle bolle

Le bolle d'aria possono localizzarsi nella regione toracica che prende il nome di **MEDIASTINO**, dove sono collocati importanti organi vitali. La situazione descritta prende il nome di **ENFISEMA MEDIASTINICO**. Fig. A

La zona azzurra indica la localizzazione delle bolle

Le bolle d'aria possono localizzarsi dietro la clavicola e all'altezza del collo, provocando dei rigonfiamenti. La situazione descritta prende il nome di **ENFISEMA SOTTOCUTANEO**. Fig. B



Le bolle d'aria possono rompere il rivestimento che avvolge i polmoni (pleura viscerale) provocando lo scollamento del polmone e la sua improvvisa riduzione di volume fino al collasso. La situazione descritta prende il nome di **PNEUMOTORACE**. Fig. C

La zona azzurra indica la localizzazione delle bolle



LA RISALITA DI EMERGENZA

In caso di risalita d'emergenza mantenere iperesteso il capo dell'infortunato per favorire la fuoriuscita d'aria dalla bocca.

LA SINDROME DA DECOMPRESSIONE (S.D.D.)



Come già accennato le notevoli quantità di Azoto che si sciolgono nel nostro organismo, non costituiscono un problema durante l'immersione, ma possono diventarlo nel momento della risalita. Durante la risalita si verifica una riduzione della pressione ambiente, e di conseguenza una riduzione della pressione dell'aria respirata. Questo determina una differenza di pressione tra l'Azoto disciolto e quello libero. Se tale riduzione di pressione (decompressione) avviene in modo troppo drastico, definita tecnicamente decompressione esplosiva, l'Azoto liberato dai tessuti tende a tornare allo stato gassoso, formando microscopiche bolle che, per grandezza o quantità, arrivano ad ostruire la circolazione venosa, o ad intasare il circolo polmonare. Tale sintomatologia si aggrava con il passare delle ore, pertanto un tempestivo soccorso presso un centro iperbarico è l'unica terapia valida.

Prima di approfondire il discorso su questo tipo di incidente, proviamo a fare un esempio per raffigurare quello che avviene nel nostro organismo se effettuiamo una risalita incontrollata generando una drastica riduzione di pressione.

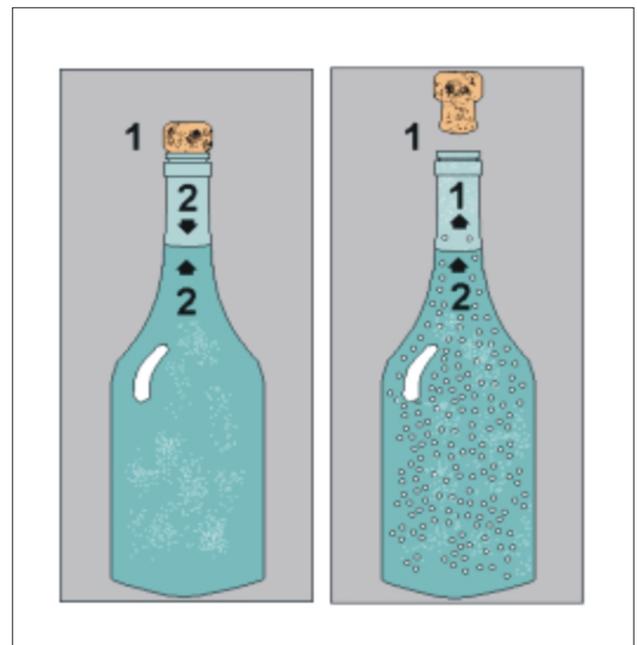
Nella bottiglia di spumante, per esempio, (Fig. a Dx), il gas è presente ad una pressione maggiore rispetto all'esterno. Stappando la bottiglia, il gas, in essa contenuto, tende a raggiungere l'equilibrio con la pressione ambiente.

Avvenendo questo, in modo veloce, si formano all'interno della bottiglia un numero incontrollato di bolle.

Tale situazione, è un esempio pratico di come si innesca il meccanismo della **SINDROME DA DECOMPRESSIONE**

Proviamo ora a trasportare la situazione dalla bottiglia, al nostro organismo.

Le bolle liberate nel circolo venoso, possono intasarlo, compromettendo l'ossigenazione.



SITUAZIONE DI NORMALE CIRCOLAZIONE



SITUAZIONE DI OSTRUZIONE DEL VASO SANGUIGNO

Le bolle di Azoto formatesi all'interno del capillare venoso ostruiscono la circolazione, generando una situazione di IPOSSIA



LA SINDROME DA DECOMPRESSIONE (S.D.D.)

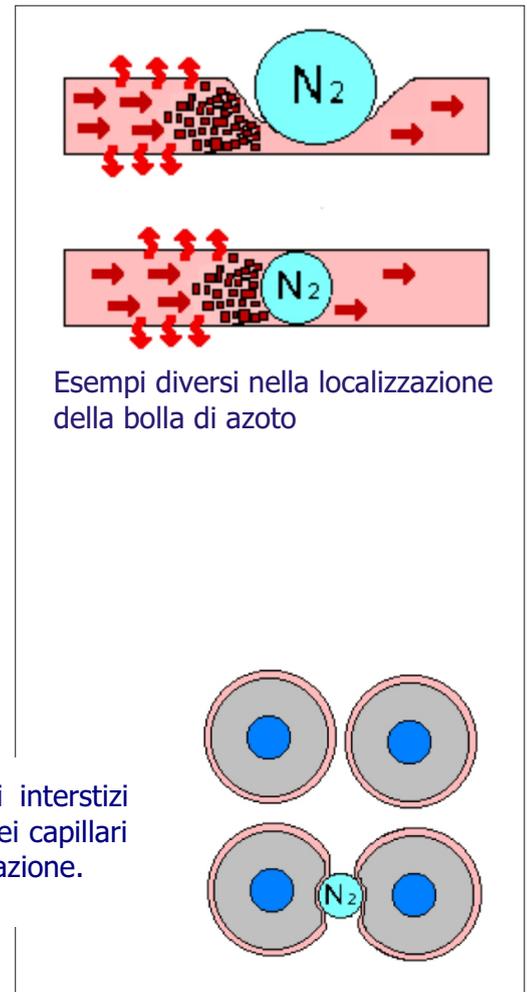
EVOLUZIONE DI UNA S.D.D.



Per effetto dell'ostruzione creata a valle dalla bolla, inizia un processo di Ipossia. A monte del vaso si verifica, a causa del rallentamento del flusso, una **Emotrasudazione**, ovvero una fuoriuscita della parte liquida del sangue (plasma) attraverso le pareti del vaso. La conseguenza nella perdita della parte liquida è detta Emoconcentrazione ovvero un accumulo delle parti corpuscolari del sangue.

A seguito dell'ipossia si verifica una situazione di instabilità che provoca la diminuzione dell'attività della **citocromo-ossidasi**, tale diminuzione porta ad una formazione incontrollata dei **radicali liberi dell'ossigeno**.

Altamente reattivi, i radicali liberi, si combinano con qualsiasi sostanza vengano a contatto creando delle alterazioni cellulari.



Le bolle d'Azoto possono localizzarsi negli interstizi cellulari, comprimendo i vasi, o all'interno dei capillari venosi, provocando un ostruzione nella circolazione.

La citocromo-ossidasi è uno degli enzimi più importanti, che interviene nella fase terminale della catena respiratoria e che trasforma l'ossigeno molecolare in acqua.

I radicali liberi sono atomi o molecole che hanno un numero dispari di elettroni e possiedono un elettrone spaiato nell'orbitale esterno. I radicali liberi dell'ossigeno si formano dalla rottura del legame delle molecole di ossigeno.

In condizioni normali di omeostasi, molti processi metabolici portano alla formazione di Radicali Liberi. Prodotti utilizzati all'interno della cellula, la loro tossicità viene annullata da un accettore fisiologico che subisce un processo ossido-riduttivo.

L'insieme delle sostanze che agiscono da accettori sono dette "scavengers", cioè "divoratori di rifiuti".

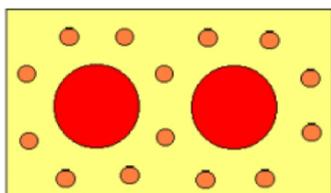
Una diminuzione di queste sostanze o un aumento incontrollato di radicali liberi portano a modificazioni chimiche di sostanze presenti all'interno della cellula.

LA SINDROME DA DECOMPRESSIONE (S.D.D.)

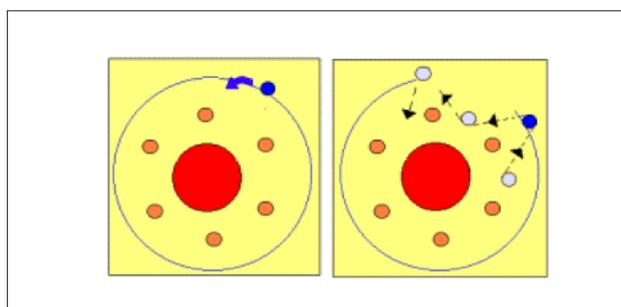
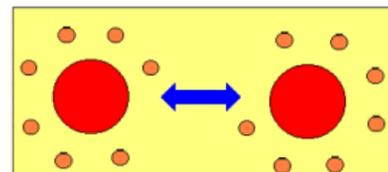
PROCESSO NELLA FORMAZIONE DEI RADICALI LIBERI



Rappresentazione del legame dell'ossigeno.
Le due molecole hanno 8 elettroni ciascuna di cui 2 in comune



A seguito della scissione, gli elettroni diventano 7 per ogni molecola.
L'elettrone disparo inizierà a gravitare nell'orbitale esterna.



Le molecole si trasformano in RADICALI LIBERI dell'O² generando una situazione di instabilità dovuta alla loro reattività

Una delle alterazioni più importanti è l'attivazione dell'**acido arachidonico**, la conseguente formazione di sostanze aggreganti, portano alla formazione di **microtrombi**.
Per questo motivo, nelle S.D.D. di tipo 2, è necessaria non solo la terapia iperbarica, ma anche farmacologica.

S.D.D. LE TIPOLOGIE

Le Sindromi Da Decompressione sono divise, in S.D.D. di tipo 1 e S.D.D. di tipo 2, questa distinzione è determinata dalla localizzazione della bolla e quindi dalla gravità dell'incidente.

SINDROME DA DECOMPRESSIONE DI TIPO 1

**LINFATICHE
CUTANEE
OSTEOMIOALTRAGICHE (Bends)**

SINDROME DA DECOMPRESSIONE DI TIPO 2

**SOVRADISTENSIONE POLMONARE (Chokes)₁
MIDOLLARE
CEREBRALE
VESTIBOLARE**

1) - La sovradistensione polmonare (chokes) è annoverata tra le S.D.D. di tipo 2 perché richiede lo stesso tipo di trattamento.

LA SINDROME DA DECOMPRESSIONE (S.D.D.)

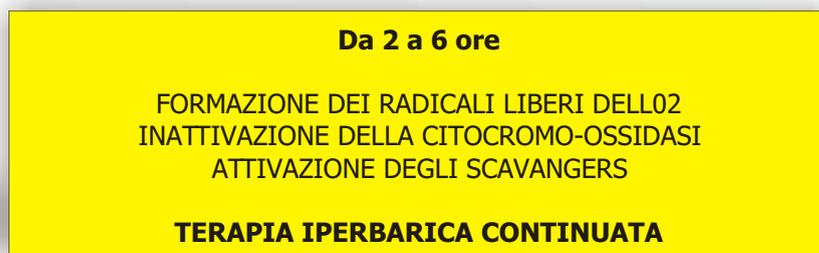
TRATTAMENTO



LA SINTOMATOLOGIA

I sintomi della S.D.D. variano, da sensazioni di prurito o lievi dolori localizzati simili a dolori articolari, per le forme di tipo 1, a paralisi degli arti precedute da formicolio, perdita di coscienza, perdita dell'orientamento con nausea e vomito, soffocamento per asfissia (chokes), nelle forme di tipo 2. Tranne che in quest'ultimo caso, i sintomi possono comparire anche dopo alcune ore nelle S.D.D. di tipo 1, e, fino a 30 minuti dopo la risalita, nelle S.D.D. di tipo 2.

EVOLUZIONE CLINICA DELLA S.D.D.



COSA FARE

Allertare il 118

Somministrare O₂ a flusso 12/15 litri minuto (flussometro ossigeno e mascherina devono corredare la bombola di ossigeno)

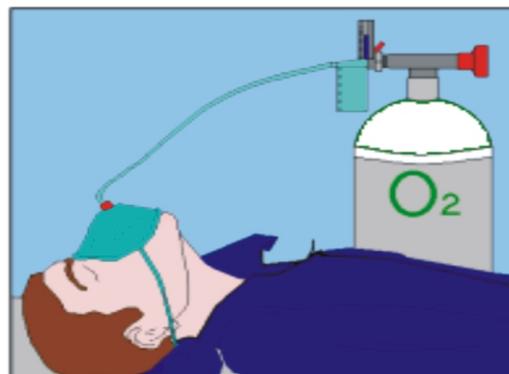
Fare bere all'infortunato molta acqua

Assistere l'infortunato fino all'arrivo dei soccorsi

Posizionare l'infortunato, qualora si manifestino conati di vomito, tenendolo sdraiato lateralmente.



Posizione corretta, in fase di decompressione, sulla cima dell'ancora.



Posizione per somministrazione di Ossigeno.

COSA NON FARE

Ricomprensione in acqua

Somministrare farmaci di qualsiasi tipo, compresi analgesici

Contattare centri iperbarici militari

Trasporti non concordati con il 118

LA SINDROME DA DECOMPRESSIONE (S.D.D.)



Le cause di questo tipo di incidente sono dovute ad una risalita non corretta o, a monte, ad un errore di programmazione dell'immersione.

Rispettare la velocità di risalita in 10 mt. al minuto, è importante quanto rispettare le soste di decompressione.

Altri fattori che possono determinare l'innescarsi di una S.D.D. possono essere:

- il freddo eccessivo,**
- il non perfetto stato fisico,**
- l'elevato affaticamento.**

Bisogna sempre avere chiaro in mente, che tutte le tabelle di immersione ed i computer subacquei, calcolano le procedure di decompressione su modelli matematici, pertanto risulta evidente una percentuale di rischio anche se accettabilmente bassa. Questa percentuale si alza vertiginosamente se tali procedure vengono omesse o modificate.

Seguire scrupolosamente le indicazioni delle tabelle di immersione è una norma di sicurezza del subacqueo, saperle applicare è fondamentale per la sua preparazione.

L'AZOTO E L'ORGANISMO UMANO

aggiornamento al precedente
"l'azoto e l'organismo umano"



Foto Cesarini

A. BENTIVEGNA
2001

L'AZOTO E L'ORGANISMO UMANO



Nell'immersione con l'A.R.A. (Auto Respiratore Aria) non ci si deve preoccupare soltanto dell'Ossigeno (O_2) e dell'Anidride Carbonica (CO_2) come nelle immersioni in apnea, dove la durata dell'immersione è condizionata dalle diverse concentrazioni di questi gas nel nostro organismo.

A condizionare l'immersione con l'A.R.A. invece entra in gioco un gas, l'Azoto (N_2).

Dapprima trascurato (Apnea) esso costituisce una parte importante nella miscela definita "Aria" poiché ne rappresenta circa l'80% della composizione.

L'azoto viene definito un "GAS INERTE" perché non partecipa attivamente ai processi vitali dell'organismo, non viene utilizzato dalle cellule in quanto tale, né dai tessuti, né dagli organi che compongono il corpo umano.

Descrizione gas	Simbolo	Percentuale
Azoto	N_2	78,96
Ossigeno	O_2	20,96
Anidride carbonica	CO_2	0,05
Altri gas		0,03
Totale %		100,00

Tab.1 Percentuali dei gas componenti la miscela ARIA

In immersioni particolari l'Azoto può essere eliminato dalla miscela respiratoria (immersioni con A.R.O., dove si utilizza Ossigeno puro), o sostituito (immersioni con Miscele, dove si utilizzano Elio o altri gas).

Nelle immersioni con A.R.A. noi respiriamo Aria, l'Azoto è quindi presente nel nostro organismo, obbedendo alle leggi fisiche che regolano il passaggio dei gas nei liquidi, la grandezza che regola tale concetto è la solubilità.

CONCETTO DI SOLUBILITA'

La solubilità rappresenta la massima concentrazione di gas che può essere disciolta in un liquido a quei valori di pressione e temperatura.

La tabella sottostante esprime alcuni coefficienti di solubilità dei GAS INERTI rispetto ai processi vitali dell'organismo

GAS	PESO MOLECOLARE	COEFFICIENTE DI SOLUBILITA' NEI LIQUIDI
ELIO	4	0,015
NEON	20	0,019
IDROGENO	2	0,036
AZOTO	28	0,067
ARGON	40	0,14
XENON	131	1,7

Il nostro organismo, costituito in larga parte da liquidi, si comporta come qualsiasi altro solvente, e l'Azoto, introdotto attraverso la respirazione, segue le leggi dei gas.

In superficie il nostro organismo contiene in soluzione una quantità di Azoto (circa 1 Lt.) che è proporzionale, secondo la LEGGE DI HENRY, alla pressione parziale dell'Azoto presente nell'aria che respiriamo, in queste condizioni il nostro organismo è detto saturo.

LEGGE DI HENRY

A temperatura costante la quantità di gas che si può disciogliere in un liquido dipende dalla pressione parziale (P.p.) che quel gas esercita sul liquido e dalla solubilità nel liquido stesso.

L'AZOTO E L'ORGANISMO UMANO



Durante una immersione, poiché respiriamo aria a pressioni superiori a quella atmosferica, anche la Pressione Parziale (Pp) dell'Azoto sarà diversa, di conseguenza altro Azoto passerà in soluzione nei tessuti fino a raggiungere la stessa Pressione Parziale dell'Azoto libero, tenderà quindi ad aumentare proporzionalmente all'aumentare della profondità di immersione (tab. sotto).

PRESSIONE AMBIENTE	TIPO DI GAS	Pp. DEL GAS LIBERO	TIPO DI SOLVENTE	TEMP. SOLVENTE	Pp. DEL GAS NEL SOLVENTE	QUANTITA' DI GAS NEL SOLVENTE
1 bar	AZOTO N2	0,80 bar	CORPO UMANO	37°C.	0,80 bar	1lt
2 bar	AZOTO N2	1,60 bar	CORPO UMANO	37°C.	1,60 bar	2lt
3 bar	AZOTO N2	2,40 bar	CORPO UMANO	37°C.	2,40 bar	3lt

Questo significa che nell'immersione si raggiunge la saturazione quando la pressione parziale dell'Azoto nei tessuti è in equilibrio con la pressione parziale dell'Azoto libero nell'ambiente o in equilibrio con la pressione parziale dell'Azoto presente nell'aria respirata. La velocità con cui i tessuti raggiungono questo equilibrio dipende dalla velocità di diffusione di questo determinato gas.

Il trasporto di materia (gas) può avvenire attraverso gli urti delle molecole del componente (gas), per questo si parla di diffusione o trasporto molecolare.

La diffusione (trasporto di materia) avviene nella direzione del gradiente negativo (da maggiore concentrazione verso minore concentrazione).

La **diffusività** (capacità di diffusione) dipende dalla pressione e dalla temperatura dell'ambiente. La diffusione di un gas può essere di tipo convettivo (turbolento o rotatorio), è in questo caso che il trasporto di materia avviene per gradiente di pressione (da alta pressione a bassa pressione).

Nel corpo umano la pressione è di tipo microvascolare perché lo scambio avviene all'interno dei capillari (vasi).

I capillari sono costituiti da un monostrato di cellule epiteliali attraverso i cui interstizi (spazi) avviene il passaggio delle molecole gassose. Per raggiungere la saturazione, cioè per equilibrare la pressione parziale d'Azoto in tutti i tessuti occorrono 12 ore, indipendentemente dalla profondità di immersione e quindi dalla differenza tra la pressione parziale dell'Azoto in soluzione nel corpo umano e la pressione parziale dell'Azoto libero (ambiente).

Si può definire **tempo di saturazione** quello necessario per equilibrare la differenza tra la pressione parziale dell'Azoto disciolto nell'organismo e la pressione parziale dell'Azoto libero (ambiente).

CONCETTO DI SATURAZIONE

Una soluzione si dice satura ad una certa temperatura e pressione, quando a quella temperatura e pressione essa è in equilibrio con soluto non disciolto o, come si usa dire, in presenza di corpo di fondo.

DIFFUSIONE

Con diffusione si intende il trasferimento di materia (gas liquido) all'interno di un sistema (corpo umano) per effetto di una differenza di concentrazione.

L'AZOTO E L'ORGANISMO UMANO



TABELLA DELLA DIFFERENZA FRA PRESSIONI PARZIALI

PRESSIONE	PROF.	Pp N ₂ LIBERO	Pp N ₂ SOLUZIONE	Pp N ₂ DIFFERENZA
1 bar	0 mt	0,80 bar	0,80	-
2 bar	10 mt	1,60 bar	0,80	0,80
3 bar	20 mt	2,40 bar	0,80	1,60

TABELLA DEL TEMPO DI SATURAZIONE TOTALE

Pressione	Tipo gas	Pp Gas libero	Tipo solvente	Pp Gas soluzione	Tempo saturazione
1 bar	AZOTO	0,80 bar	Corpo umano	0,80	12 h
2 bar	AZOTO	1,60 bar	Corpo umano	1,60	12 h
3 bar	AZOTO	2,40 bar	Corpo umano	2,40	12 h

I tessuti si dividono in TESSUTI VELOCI, TESSUTI MEDI e TESSUTI LENTI, in base alla loro velocità di saturazione.

A condizionare questa velocità è la diversa vascolarizzazione dei questi tessuti.

TABELLA DEI TEMPI DI ASSORBIMENTO

TESSUTI ED ORGANI	TEMPO DI SATURAZIONE
Sangue Fegato Reni Polmoni	10'
Tessuto muscolare Cervello	30'-50'
Tessuti connettivi Midollo spinale	100' - 200'
Tessuti grassi (Midollo osseo, adipe) Tessuti scarsa irrorazione sanguigna Cartilagini Labirinto	6 - 12 h

Naturalmente i tempi riportati nella tabella (sopra) non corrispondono ai tempi reali: ogni tessuto è stato considerato indipendentemente dal rapporto che ha, all'interno dell'organismo umano, con altri tessuti.

Nella realtà, dunque, rimanendo valido il discorso sulle diverse velocità di assorbimento, è utile fare riferimento ai tempi di **EMISATURAZIONE** cioè al tempo che un tessuto impiega a raggiungere il 50% della differenza di pressione parziale tra il gas in soluzione e quello libero.

Per esempio, il sangue è un tessuto rapidissimo, nell'assorbire non raggiunge la completa saturazione prima degli altri tessuti proprio perché cede a questi continuamente l'azoto che ha assorbito, così come avviene tra tutti i tessuti.

TABELLA EMISATURAZIONE E ASSORBIMENTO

PROFONDITÀ	PRESSIONE	TIPO GAS	PP GAS LIBERO	TIPO SOLVENTE	PP DIFFERENZA	PP EMISATURAZIONE
0 mt	1 bar	N ₂	0,80bar	Corpo umano	-	-
10 mt	2 bar	N ₂	1,60 bar	Corpo umano	0,80	0,40
20 mt	3 bar	N ₂	2,40 bar	Corpo umano	1,60	0,80
30 mt	4 bar	N ₂	3,20 bar	Corpo umano	2,40	1,20

L'AZOTO E L'ORGANISMO UMANO



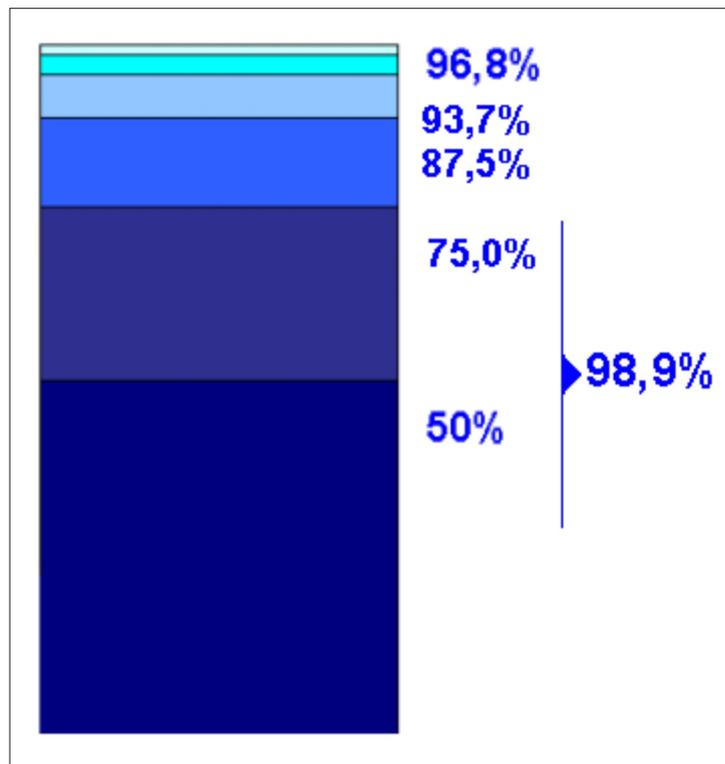
Come abbiamo già detto ogni tessuto ha una sua velocità di saturazione. Prendendo in esame i sei tessuti pilota usati dalle tabelle U.S. NAVY e i loro tempi di saturazione: 30' - 60' - 120' - 240' - 480' - 720'. Ognuno di questi tessuti arriverà alla saturazione attraverso una serie di così detti "EMIPERIODI", durante i quali assorbirà ogni volta la metà della differenza che c'è tra la pressione parziale dell'Azoto già in soluzione nel tessuto e la pressione parziale dell'Azoto libero.

Ogni "EMIPERODO" corrisponde ad 1/6 del tempo totale di saturazione del tessuto. (Tab. sotto)

TABELLA DEGLI EMIPERIODI E LORO ASSORBIMENTO

PERCENTUALE DI DIFFERENZA DI AZOTO	TEMPI DI EMISATURAZIONE DEI VARI TESSUTI						% ASSORBITA	% RESID	TOTALE ASSORBIMENTO
100%	5'	10'	20'	40'	80'	120'	50%	50%	50%
50%	5'	10'	20'	40'	80'	120'	50%	25%	75%
25%	5'	10'	20'	40'	80'	120'	50%	12,5%	87,5%
12,5%	5'	10'	20'	40'	80'	120'	50%	6,25%	93,75%
6,25%	5'	10'	20'	40'	80'	120'	50%	3,12%	96,8%
3,12%	5'	10'	20'	40'	80'	120'	50%	1,56%	98,5%
TEMPO DI SATURAZIONE	30'	60'	120'	240'	480'	720'			

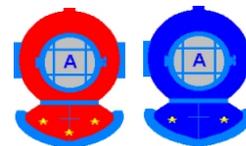
GRAFICO DI UN SINGOLO TESSUTO E DELLE PERCENTUALI DI ASSORBIMENTO.



La saturazione avviene attraverso una "curva esponenziale" o tempo esponenziale, ovvero in 6 **EMIPERIODI**, ciascuno dei quali rappresenta 1/6 del tempo totale.

In ogni **EMIPERODO** ogni tessuto prende il 50% della differenza di pressione rimasta.

L'AZOTO E L'ORGANISMO UMANO



Per chiarire meglio il concetto di come ogni tessuto arriva alla saturazione abbiamo preso in esame il più veloce dei 6 tessuti e realizzato una tabella dove viene indicata la pressione parziale dell'Azoto assorbito nei 6 "EMIPERIODI".

"Nella prima riga della tabella viene riportata la situazione iniziale di equilibrio (saturazione) presente nell'organismo prima dell'immersione".

TABELLA 14

1	2	3	4	5	6	7	8
PRESSIONE IN BAR	Pp AZOTO LIBERO	AZOTO IN SOLUZIONE	TEMPO ESPOSIZIONE	% ASSORBITA	DIFFERENZA P.P.	Pp ASSORBITA	TOTALE ASSORBITO
1 bar	0,80	0,80	0	0%	0	0	98,9%
2 bar	1,60	0,80	5'	50%	0,80	0,40	50%
2 bar	1,60	1,20	5'	50%	0,40	0,20	75%
2 bar	1,60	1,40	5'	50%	0,20	0,10	87,5%
2 bar	1,60	1,50	5'	50%	0,10	0,05	93,7%
2 bar	1,60	1,55	5'	50%	0,05	0,025	96,8%
2 bar	1,60	1,575	5'	50%	0,025	0,0125	98,9%

TABELLA 14

Ogni dato della colonna 3 è ottenuto sommando il valore della colonna 7 con quello della colonna 3 della riga precedente

Come già illustrato precedentemente, ogni tessuto raggiunge la saturazione in modo esponenziale attraverso 6 emiperiodi, ognuno dei quali è pari ad 1/6 del tempo totale. In ogni emiperiodo viene assorbito il 50% della differenza tra la pressione del tessuto e la pressione esterna.

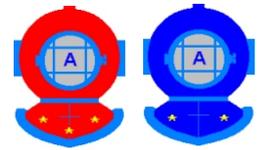
Ciascun emiperiodo, a sua volta, è divisibile per 6 frazioni di tempo che chiameremo, per comodità, **EMI-EMIPERIODI**. Ognuna di queste sarà, come tempo, pari ad 1/6 del tempo dell'emiperiodo.

TABELLA 15

TEMPO DI SATURAZIONE	TEMPO DELL'EMIPERODO	EMIPERODO IN SECONDI	EMI-EMI PERODO IN SECONDI
30'	5'	300"	50"
60'	10'	600"	100"
120'	20'	1200"	200"
240'	40'	2400"	400"
480'	80'	4800"	800"
720'	120'	7200"	1200"

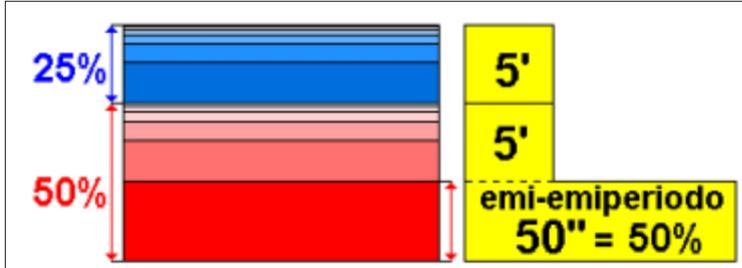
Durante ogni emi-emiperiodo, l'assorbimento avverrà sempre in modo esponenziale, quindi il tessuto assorbirà, ogni volta, il 50% della differenza tra la pressione interna e la pressione che assorbirebbe nell'emiperiodo, cioè il 50% del 50%.

L'AZOTO E L'ORGANISMO UMANO



Nel grafico della tabella n°16 sono rappresentati due emiperiodi del tessuto che emisatura in 5' e la divisione dei vari emi-emiperiodi che corrispondono come tempo a 50" ognuno.

TABELLA 16 - GLI EMI-EMI PERIODI NEL CALCOLO DELL'ASSORBIMENTO



L'assorbimento e il rilascio dell'azoto rispondono ad un legge fisica detta: **LEGGE di HENRY**, pertanto sono calcolabili matematicamente le quantità d'Azoto assorbite durante l'immersione.

Da questo momento chiameremo Tensione la pressione parziale dell'Azoto.
Calcolo della Tensione TN2 dell'azoto dopo un periodo di esposizione.

Il valore TN2 viene calcolato con la seguente formula:

$$T_{N_2} = T_0 + (T_f - T_0) \times (1 - e^{-\frac{\Delta t}{T}})$$

Il numero **e**, è il numero di Nepero e vale **e** = 2,7182818.....ed è un numero che viene spesso, per semplicità, approssimato con la cifra **2**. Quindi la precedente formula viene approssimata per il calcolo nel seguente modo:

$$T_{N_2} = T_0 + (T_f - T_0) \times (1 - 0,5^{\frac{\Delta t}{T}})$$

DOVE:

T₀ = Tensione iniziale
T_f = Tensione finale alla profondità massima raggiunta
T_{N₂} = Tensione raggiunta dopo l'esposizione
T = Periodo del tessuto considerato
Δt = Tempo di esposizione

Per effettuare dei calcoli precisi, bisognerebbe utilizzare un calcolatore o un computer, per contro il calcolo è facile se gli intervalli di tempo considerati, sono multipli dei periodi dei diversi tessuti (vedi tabella sottostante)

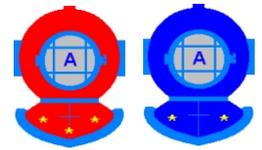
$$\begin{aligned} \Delta t = 1T \text{ sarà } (1 - 0,5^{\frac{\Delta t}{T}}) &= 0,50 \\ \Delta t = 2T \text{ sarà } (1 - 0,5^{\frac{\Delta t}{T}}) &= 0,75 \\ \Delta t = 3T \text{ sarà } (1 - 0,5^{\frac{\Delta t}{T}}) &= 0,875 \\ \Delta t = 4T \text{ sarà } (1 - 0,5^{\frac{\Delta t}{T}}) &= 0,9375 \end{aligned}$$

Passiamo ora ad un esempio applicativo ipotizzando un tessuto T10 (emiperiodo 10') sottoposto ad una pressione di 4 bar per un tempo di 20'

$$T_0 = 1 \times \frac{80}{100} = 0,8 \text{ bar}$$

$$T_f = 4 \times \frac{80}{100} = 3,2 \text{ bar}$$

L'AZOTO E L'ORGANISMO UMANO



mentre:

$$\frac{\Delta t}{T} = \frac{20}{10} = 2$$

pertanto la parentesi con il fattore esponenziale vale 0,75, quindi il calcolo sarà:

$$T_{N_2} = 0,8 + (3,2 - 0,8) \times (1 - 0,5^{\frac{\Delta t}{T}})$$

$$T_{N_2} = 0,8 + (3,2 - 0,8) \times 0,75$$

$$T_{N_2} = 0,8 + (3,2 - 0,8) \times 0,75 = 2,6 \text{ bar}$$

In base a questo calcolo semplificato, possiamo convenire che un tessuto con emiperiodo di 10', dopo un'esposizione di 20' a 4 bar (30mt), raggiunge una tensione di 2,6 bar.

Per calcolare la quantità d'Azoto assorbita dai tessuti più lenti o quando il tempo di esposizione è inferiore al tempo dell'emiperiodo, dovremo applicare al calcolo precedente una divisione.

Se il tempo di esposizione è inferiore al tempo dell'emiperiodo, ma superiore al tempo dell'emi-emiperiodo, tradurremo il tempo di esposizione in secondi e divideremo questo per il tempo dell'emi-emiperiodo di quel tessuto, con la stessa operazione riportata precedente e dividendo il risultato per 2.

Se invece il tempo di esposizione è più breve anche dell'emi-emiperiodo, divideremo l'emi-emiperiodo del tessuto ancora per 6 e divideremo il tempo di esposizione, tradotto in secondi, per questa ulteriore frazione di tempo. In questo caso, anziché dividere per 2, come nell'operazione precedente, divideremo per 4. Prendiamo la stessa esposizione precedente, applicandola, questa volta, ai tessuti più lenti. Ipotizziamo una esposizione di 20' a 30 mt. di profondità e calcoliamo l'assorbimento dei compartimenti T40, T80, e T120.

T40 SARA':

$$\frac{\Delta t}{T} = \frac{20'}{\text{emi-emi} = 400''} = 3 = 0,875$$

Come riportato nel calcolo (a fianco), abbiamo tradotto il tempo di esposizione in secondi e l'abbiamo diviso per il tempo dell'emi-emiperiodo di T40, il risultato è 3, quindi fattore esponenziale 0,875.

Questo vuol dire che il tessuto T40 avrà raggiunto ,dopo 20' di esposizione, il 87,5% del 50% che avrebbe assorbito nell'intero emiperiodo. Pertanto l'operazione riportata di seguito serve a calcolare quanto è l'Azoto assorbito : 87,5% del primo 50%, = 43,75% della saturazione

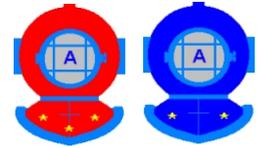
$$T_{N_2} = 0,8 + \frac{(3,2 - 0,8) \times 0,875}{2} = 1,85 \text{ bar}$$

Proviamo ora a calcolare l'assorbimento d'azoto del compartimento T 80 dopo 20' di esposizione .

Per fare questo dobbiamo prima trovare l'emiperiodo del emi-emiperiodo che sarà 133,3"; cioè 1/6 di 800".

$$\frac{800''}{6} = 133,3''$$

L'AZOTO E L'ORGANISMO UMANO



Dato che il tempo di esposizione di 20' corrisponde a 1200", possiamo stabilire che in tale tempo il compartimento T80 ha completato il primo EMI-EMIPERODO, cioè quello corrispondente al primo 25%. Nei successivi 400" di esposizione il compartimento T80 avrà completato 3 emiperiodi del secondo EMI-EMIPERODO, cioè l'87,5% del 12,5%.

$$\frac{\Delta t}{T} = \frac{400''}{133''} = 3 = 0,875$$

Per trovare la percentuale di assorbimento dei primi 800", dovremo usare la stessa operazione fatta in precedenza, ma dividendo il risultato per 4, perché l'assorbimento corrisponde al 25% del totale.

La seconda operazione, per trovare l'assorbimento d'azoto corrispondente ai 400" di esposizione andrà divisa per 8, perché il risultato dovrà corrispondere allo 87,5 % del 12,5 % del totale. Quindi l'operazione sarà:

$$T_{N_2} = 0,8 + \frac{(3,2-0,8) \times 0,50}{4} + \frac{(3,2-0,8) \times 0,875}{8} = 1,36 \text{ bar}$$

Passiamo ora a calcolare l'assorbimento d'Azoto del compartimento T120.

Tale compartimento è divisibile in 6 EMI-EMIPERIODI ognuno di 20', quindi in un tempo di esposizione di 20' questo compartimento avrà raggiunto il primo EMI-EMIPERODO corrispondente al 25% del totale, per cui l'operazione sarà:

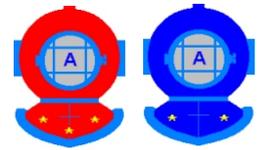
$$T_{N_2} = 0,8 + \frac{(3,2-0,8) \times 0,50}{4} = 1,1 \text{ bar}$$

Con l'utilizzo di questo calcolo possiamo stabilire che dopo un'esposizione di 20' a 30 mt di profondità, il compartimento T10 raggiunge una tensione d'Azoto di 2,6 bar, il compartimento T40

una tensione d'Azoto di 1,85 bar, il compartimento T80 una tensione d'Azoto di 1,36 bar e il compartimento T120 una tensione d'Azoto di 1,1 bar.

%

L'AZOTO E L'ORGANISMO UMANO



LIBERAZIONE DELL'AZOTO

Le notevoli quantità di Azoto che si disciolgono nei tessuti durante l'immersione non costituiscono un problema.

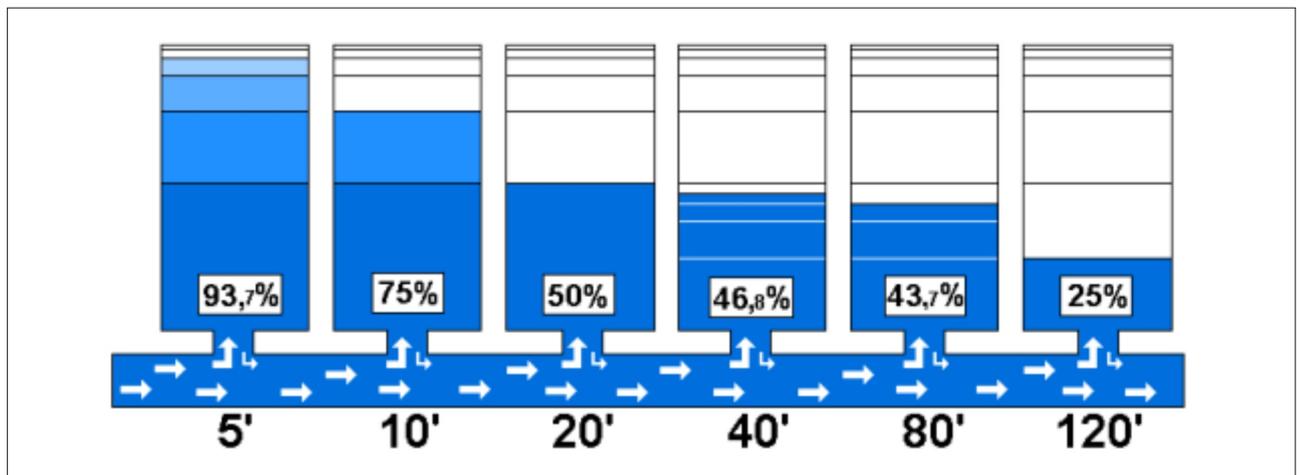
Il problema sorge quando inevitabilmente si deve risalire: diminuendo la pressione esterna e la pressione dell'aria respirata, l'Azoto disciolto nei tessuti tende a tornare allo stato gassoso ad una velocità di desaturazione uguale alla velocità di saturazione. Quindi anche la desaturazione avverrà in modo esponenziale.

Durante l'emersione, da tutti i tessuti e a diverse quote e velocità, si liberano molecole di Azoto e si formano microscopiche bolle che per diffusione passano dalle zone di maggiore concentrazione a quelle dove il gas si trova in concentrazione minore, cioè dai vari tessuti al sangue e da questo agli alveoli polmonari.

Seguendo il percorso inverso a quello seguito nella precedente fase di assorbimento (vedi tabelle 17 e 18)

TABELLA 17

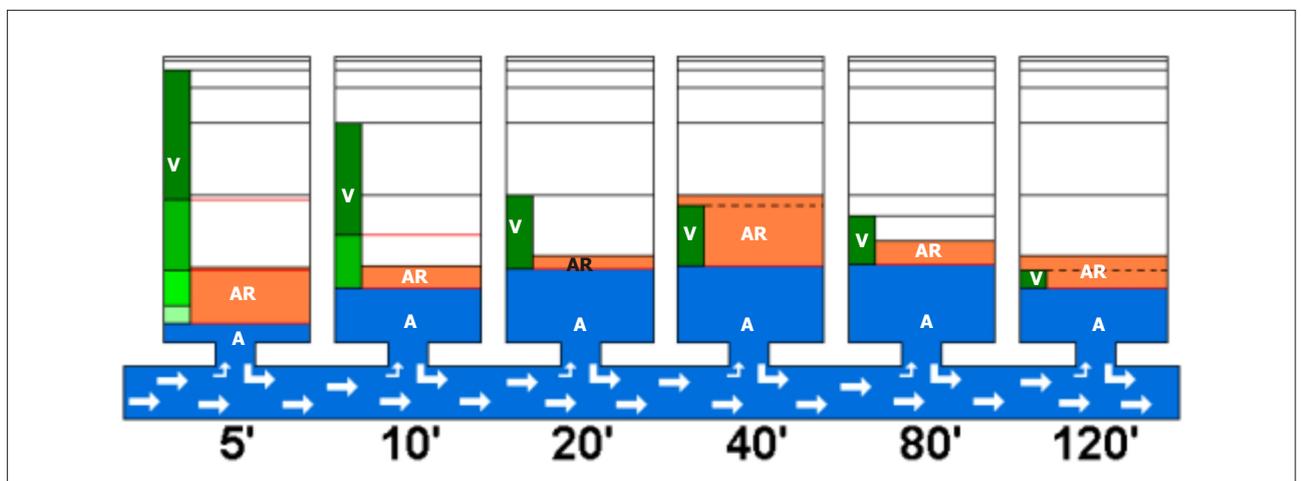
SITUAZIONE DEI 6 COMPARTIMENTI PILOTA DOPO 20' DI ESPOSIZIONE A PRESSIONE ELEVATA.



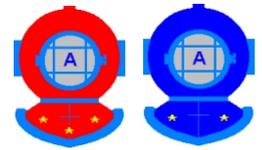
Le zone azzurre indicano la percentuale di gas assorbito dai sei compartimenti durante l'esposizione. Si notino nei compartimenti T40 e T80 evidenziate con la linea bianca, le frazioni degli EMI-EMIPERIODI.

TABELLA 18

SITUAZIONE DEI SEI COMPARTIMENTI 20' DOPO IL RITORNO A PRESSIONE AMBIENTE



L'AZOTO E L'ORGANISMO UMANO



Le zone verdi laterali (v) indicano teoricamente il gas liberato nei relativi emiperiodi, le zone azzurre (A) la percentuale di gas teoricamente presente nel compartimento, le zone in arancione (AR) indicano la percentuale di gas riassorbito per effetto della diffusione e perfusione, quindi la reale situazione delle percentuali di gas nei compartimenti.

Come si nota nelle tabelle 17 e 18 i compartimenti hanno tempi diversi fra loro per arrivare alla saturazione, per cui questi tempi saranno diversi anche per raggiungere l'emisaturazione; come riportato nella tabella 17, nei primi 20', il tessuto più veloce è quasi saturo, mentre il tessuto più lento ha raggiunto 1/4 della sua saturazione.

In questo caso è il compartimento T20, cioè quello che satura in due ore, a fare da pilota, quindi è quel tessuto che non deve superare una pressione di gas assorbita superiore al 50% della differenza di pressione cui è esposto.

Tale situazione perché, durante la risalita e come già detto, ogni tessuto cede, nel proprio tempo di emidesaturazione, e, proporzionalmente al variare della pressione, una parte dell'Azoto assorbito.

Riguardo alla velocità di desaturazione ogni tessuto libera in un emiperiodo la stessa percentuale di gas che prima, nello stesso emiperiodo, aveva assorbito.

Se tutti i tessuti sono saturi, allora, la percentuale liberata in ogni emiperiodo sarà, per quantità di gas, uguale a quella assorbita.

Se un tessuto non è saturo, la pressione parziale del gas liberato sarà comunque del 50%, ma di quello assorbito fino a quel momento e, quindi, come quantità di gas libero minore del 50% precedentemente assorbito.

Per fare un esempio prendiamo uno dei più veloci tessuti delle tabelle U.S., NAVY quello che satura dopo i trenta minuti e calcoliamo un'esposizione di 10' ad una pressione di 1,6 bar di Azoto a 10 mt. di profondità. Tale tessuto prenderà ogni 5' il 50% della differenza di pressione a cui è esposto. Quindi diciamo che quel tessuto dopo 10' ha assorbito il 75% della differenza di pressione parziale (cioè 0,8 bar).

TABELLA 19

TEMPO DI PERMANENZA	PERCENTUALE ASSORBITA	P. PARZIALE ASSORBITA
5 MINUTI	50 %	+ 0,4 bar
5 MINUTI	50 %	+ 0,2 bar
		TOT. + 0,6 bar

Dopo 10' il tessuto preso in considerazione ha raggiunto il 75% della differenza di pressione parziale e la tensione di 1,4 bar (0,8+0,6).

Se invertiamo la situazione ipotizzando un ritorno alla pressione ambiente di 0,8 bar, i tessuti si comporteranno, nella fase di liberazione, nello stesso modo della fase d'assorbimento, per cui, nei primi 5' verrà liberato il 50% della differenza di pressione parziale fra l'Azoto in soluzione nei tessuti e la pressione parziale dell'Azoto respirato. Si libererà dal tessuto il 50% di quel 75% che era stato assorbito.

TABELLA 20

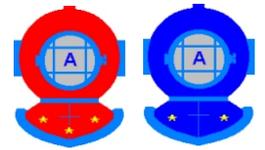
TEMPO DI PERMANENZA	PERCENTUALE LIBERATA	PRESSIONE PARZIALE LIBERATA
5 MINUTI	- 50 %	- 0,3 bar
5 MINUTI	- 50 %	- 0,15 bar
		TOT. -0,45 bar

Quanto esposto sopra sta a significare che l'Azoto assorbito anche in due soli emiperiodi non viene rilasciato nello stesso tempo, ma verrà rilasciato

sempre in 6 emiperiodi, ognuno dei quali corrisponde al rilascio del 50% della differenza che c'è tra l'Azoto in soluzione e quello libero.

Quindi tra assorbimento e rilascio di Azoto da parte dei tessuti, si può parlare di tempo inversamente proporzionale, purché si faccia riferimento alle percentuali assorbite e liberate e non per le quantità dello stesso. Il rilascio diventa inversamente proporzionale all'assorbimento come quantità di Azoto solo se il tessuto è saturo.

L'AZOTO E L'ORGANISMO UMANO



CALCOLO DEL RILASCIO

Calcoliamo ora la tensione dell'Azoto rilasciato (TL Tensione liberata) seguendo l'esempio della tabella 20:

$$T_L = (T_{N_2} - T_0) \times (1 - 0,5^{\frac{\Delta t}{T}})$$

T_0 = Tensione iniziale
 T_{N_2} = Tensione raggiunta dopo l'esposizione
 T = Periodo del tessuto considerato
 Δt = Tempo di esposizione
 T_L = Tensione liberata

La parentesi del fattore esponenziale sarà:

$$\frac{\Delta t}{T} = \frac{10}{5} = 2 = 0,75$$

Utilizzando il calcolo illustrato nelle pagine precedenti sappiamo che dopo un'esposizione di 10' a 20 mt. il tessuto T5 ha raggiunto una tensione d'Azoto (T_{N_2}) di 1,4 bar.

Pertanto l'operazione sarà:

$$T_L = (1,4 - 0,8) \times 0,75 = 0,45 \text{ bar}$$

La tensione d'Azoto liberata (T_L) è 0,45 bar.

Per quantificare la tensione (T_{N_2}) del tessuto T5 basta sottrarre dal valore della tensione raggiunta durante l'immersione, il valore della tensione dell'Azoto liberato.

Es:

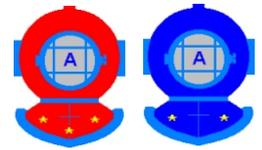
$$T_{N_2} = 1,4 - 0,45 = 0,95 \text{ bar}$$

RILASCIO DELL'AZOTO IN RISALITA

Il rilascio dell'Azoto da parte dei tessuti, non avviene una volta raggiunta la superficie, ma inizia già durante la risalita.

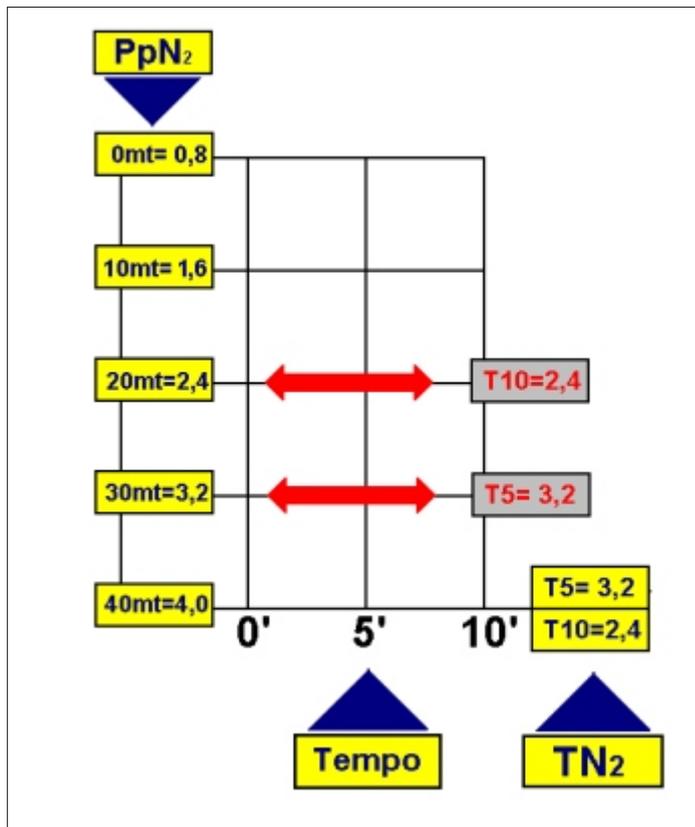
Al momento del distacco dal fondo, nonostante la pressione ambiente inizi a diminuire da subito, non tutti i tessuti liberano Azoto, lo faranno solo quelli che hanno già raggiunto l'equilibrio con la pressione esterna.

L'AZOTO E L'ORGANISMO UMANO



Questo significa che ogni tessuto comincia a rilasciare Azoto dal momento che raggiunge la profondità dove la pressione parziale dell'Azoto respirato è minore della tensione dell'Azoto in soluzione in quel determinato tessuto.

Per fare un esempio, ipotizziamo una immersione a 40 mt di 10', per semplificare ancora prendiamo in esame solo i due tessuti più veloci T5 e T10 che avranno assorbito rispettivamente: il 75% ed il 50% della differenza.



Dopo 10' di esposizione a 40 mt, il tessuto T5 avrà raggiunto una tensione di N₂ di 3,2 bar, il tessuto T10 una tensione di N₂ di 2,4 bar. Continuando a respirare aria alla pressione ambiente, incontrata durante la risalita, non solo tali tessuti non potranno iniziare una desaturazione, ma il T5 continuerà ad assorbire fino alla profondità di 30 mt e il T10 fino alla profondità di 20 mt. Anche non volendo considerare queste fasi di risalita come assorbimento, sicuramente tali tessuti non potranno liberare azoto prima delle quote indicate.

Finché il fenomeno del rilascio dell'Azoto e della formazione delle bolle rimane limitato e, quest' ultime, non superano per numero e dimensione i valori critici, non vi è pericolo per il funzionamento dell'organismo. Se la riduzione di pressione avviene in modo troppo drastico, si incorrerà in una cosiddetta "DECOMPRESSIONE ESPLOSIVA" e l'eccessivo numero di bolle liberate (dilatandosi) si accumulano nei tessuti e/o ostruiscono i capillari sanguigni, oppure arrivano ad intasare il circuito polmonare rendendo difficoltosa la respirazione e la stessa circolazione.

Questa è la genesi dell'incidente più noto a cui il subacqueo con A.R.A. può andare incontro: **S. D. D. (sindrome da decompressione).**

%

LE TABELLE DI DECOMPRESSIONE



Come abbiamo finora visto, durante la risalita da una immersione, il nostro organismo libera l'azoto assorbito sotto forma di micro bolle che saranno successivamente liberate attraverso la respirazione.

Le dimensioni delle bolle sono relative alla differenza di pressione tra esse e la pressione ambiente. Se risaliamo ad una velocità eccessiva esse tendono ad aumentare di volume, ostruendo la circolazione venosa, tanto più velocemente quanto più sarà veloce la risalita.

Lo studio del fenomeno della liberazione delle micro bolle è stato affrontato da molti fisiologi. La Marina Americana (US Navy), per esempio, ha stilato una pianificazione per tempo permanenza, profondità e velocità di risalita compilando alcune tabelle (tabelle di decompressione US Navy) ancora oggi, seppure rivedute e modificate nel tempo, usate da molti subacquei.

Il nostro organismo, alla fine di una immersione, può sopportare fisiologicamente una certa quantità di azoto residuo disciolto a livello tissutale. Una immersione per tempo e per profondità può superare questa quantità, è necessario, allora, liberare la differenza assorbita prima di emergere.

Le tabelle di decompressione prevedono tempi di permanenza prestabiliti a determinate profondità, detti in curva di sicurezza, dove la sola velocità di risalita è sufficiente a liberare la differenza di azoto, assorbita oltre il nostro massimo livello di sovrassaturazione.

Per le immersioni che hanno un durata superiore a questo limite, dette fuori curva di sicurezza, la sola velocità di risalita (anch'essa una forma di decompressione controllata) non è sufficiente. In taluni casi le tabelle prevedono soste (tappe di decompressione), dove è necessario restare per i tempi ed alle profondità stabilite al fine di liberare la differenza che ci separa dal nostro limite massimo di sovrassaturazione.

Per entrambi i tipi di immersione, entro e fuori curva di sicurezza, la velocità di risalita consigliata è di 10 metri al minuto.

Studi hanno dimostrato che tale velocità risulta più sicura sul controllo nella formazione di micro-bolle liberate a seguito di una diminuzione della pressione ambiente (risalita).

Usando le tabelle di decompressione è necessario "quadrare" i calcoli per le immersioni a cui intenderemo procedere, ovvero rapporteremo sempre il calcolo per la decompressione alla profondità maggiore raggiunta, anche se il tempo reale di permanenza, passato alla max profondità, è inferiore al tempo passato ad una profondità minore.

USO DELLE TABELLE DI DECOMPRESSIONE

Anche noi, sia per la parte didattica, sia per l'uso durante le immersioni utilizzeremo le tabelle Us Navy. L'interpretazione e lettura delle tabelle è piuttosto facile, per mezzo di eloquenti figure grafiche, troveremo la relativa chiave di lettura.

Nella Figura, subito a Dx, è visibile uno spaccato del primo quadro delle tabelle. In ordine è possibile leggere la profondità espressa in metri, il tempo di permanenza massimo, i tempi e le profondità per eventuali "tappe di decompressione".

Le profondità indicate sulle tabelle variano ogni 3 metri, in quanto, originariamente espresse in piedi **(la misura di 3 metri corrisponde a 10 piedi)**.

Spaccato delle tabelle U.S. Navy

P	T	9	6	3	FAR
12	200				N
	210			2	N
	230			7	O
	250			11	L
15	100				L
	110			3	L
	120			5	M
	140			10	M
	160			21	N
18	60				J
	70			2	K
	80			7	L
	100			14	M
	120			16	N
	21	50			
60				8	K
70				14	L
80				18	M
90				23	N
100				33	N

LE TABELLE DI DECOMPRESSIONE



Come è possibile notare (Fig. sopra), il primo valore indicato nella sezione tempo (T), subito vicino alla profondità, esprime il limite massimo (tempo/profondità) per il quale la sola velocità di risalita (10 mt/minuto) è sufficiente, per emergere da una immersione, nel rispetto dei massimi valori di azoto assorbito (immersione effettuata in "curva di sicurezza").

Quando si effettua una immersione al limite del tempo massimo della curva di sicurezza (nell'esempio mt.18/60 min.) è bene effettuare una tappa "preventiva" a 3 mt e della durata di 3 minuti. Per un tempo e/o una profondità maggiore indicata nelle tabelle vanno considerati i tempi e/o le profondità subito maggiori, rispetto quelli realmente raggiunti.

Esempio:

P. 18 mt. T. 62 min. va considerato il tempo il tempo subito superiore, ovvero, 70 minuti.

Uguualmente per la profondità, se superato il valore indicato sulla tabella (Es: 19 mt.), Va considerata la profondità subito superiore (Es: 21 mt.).

P	T	9	6	3	FAR
12	200				N
	210			2	N
	230			7	O
	250			11	L
15	100				L
	110			3	L
	120			5	M
	140			10	M
	160			21	N
18	60				J
	70			2	K
	80			7	L
	100			14	M
21	120			16	N
	50				K
	60			8	K
	70			14	L
	80			18	M
21	90			23	N
	100			33	N

Aumentare il tempo di permanenza oltre il tempo limite della curva di sicurezza, significa effettuare per un tempo superiore ed in molti casi anche a tappe di diversa profondità (6 e 9 mt) le soste di decompressione. Per tanto, va tenuto conto dei tempi di decompressione maggiori, nel calcolo della scorta di aria.

Va detto che le tabelle rispettano elevati standard di sicurezza. E' sufficiente pensare alla necessità di dover quadrare sempre l'immersione alla max profondità, quindi al max assorbimento, anche se si è terminato il tempo dell'immersione a profondità minori.

E' bene imparare a memoria almeno i limiti della curva di sicurezza, la tabella grafica a fianco può aiutare nello sforzo Mnemonico.

Prof. Metri	Tempo minuti	Tempo Risalita min/sec
12	200	1.12
15	100	1.30
18	60	1.48
21	50	2.06
24	40	2.24
27	30	2.42
30	25	3.00
33	20	3.18
36	15	3.36
39	10	3.54
42	10	4.12
45	5	4.30

TABELLA DEI TEMPI DI IMMERSIONE IN CURVA DI SICUREZZA

LE TABELLE DI DECOMPRESSIONE



Adesso dobbiamo capire che rapporto esiste tra le tabelle e i tessuti; ovvero qual'è il rapporto che lega il tempo di permanenza sul fondo, alla pressione di azoto assorbita dai vari tessuti in quel determinato tempo.

Per comprendere meglio dobbiamo tornare ai tempi di **SATURAZIONE** e di **EMISATURAZIONE** dei tessuti pilota, presi in considerazione dalle tabelle U.S. Navy per l'elaborazione delle procedure decompressive.

La tabella sotto riporta i sei tessuti e i loro tempi di **SATURAZIONE** ed **EMISATURAZIONE**.

	Tessuti Veloci		Tessuti Medi		Tessuti Lenti	
	30	60	120	240	480	720
TEMPI DI SATURAZIONE	30	60	120	240	480	720
	Tempi espressi in minuti					
	▼	▼	▼	▼	▼	▼
TEMPI DI EMISATURAZIONE	5	10	20	40	80	120
	Tempi espressi in minuti					

Se rapportiamo i tempi di **EMISATURAZIONE** dei vari tessuti ai tempi di permanenza in curva di sicurezza riportati sulle tabelle, troviamo che questi fanno da riferimento a varie profondità. Nella prima parte dell'immersione, da 0 a 15 metri, vengono considerati i tessuti lenti, nella seconda parte dell'immersione, da 15 a 33 metri, i tessuti medi e nella terza parte, da 33 a 45 metri, i tessuti veloci, come è evidenziato nella tabella riportata sotto.

PROFONDITA' METRI	TEMPO DI PERMANENZA	TEMPO DEI TESSUTI PILOTA
12	200	120
15	100	80
18	60	
21	50	
24	40	40
27	30	
30	25	
33	20	20
36	15	
39/42	10	10
45	5	5

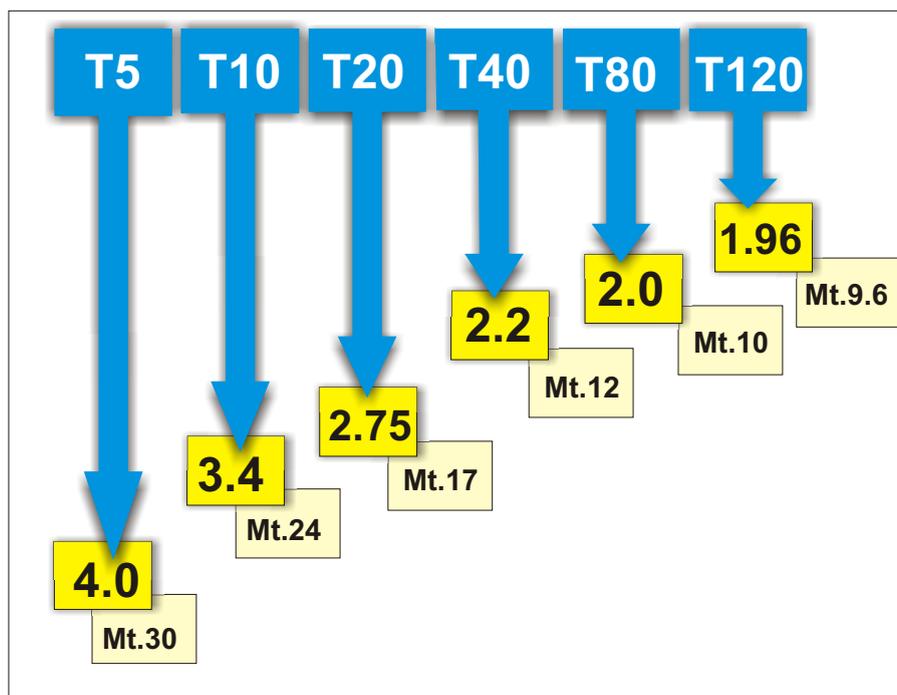
LE TABELLE DI DECOMPRESSIONE



Questa distinzione tra tessuti e profondità è legata non solo al fatto che maggiore è la profondità è quindi maggiore la pressione dell'azoto respirato, diversamente di sarebbe dovuto prendere sempre come riferimento soltanto il tessuto più veloce. Quello che distingue i sei tessuti fra loro oltre alla velocità di assorbimento e rilascio dell'azoto è anche la particolarità di sopportare, in fase di decompressione, pressioni diverse fra loro, ovvero, tra l'azoto assorbito e la pressione ambiente. Queste differenze vengono definite "coefficienti di sovrasaturazione (**Cds**)", più semplicemente ogni tessuto può arrivare in superficie con una pressione di azoto diversa rispetto a quella ambiente. Nella tabella sottostante sono riportati i sei tessuti indicati con la sigla T"xx" dove "XX" rappresenta il tempo di **EMISATURAZIONE** del tessuto, il coefficiente di sovrasaturazione massimo di ogni tessuto, la pressione ambiente di riferimento e il rapporto massimo sopportabile tra pressione del tessuto e pressione ambiente .

TESSUTO TIPO	COEFFICIENTE MAX SOVRASAT.	PRESSIONE AMBIENTE	RAPPORTO TESSUTO - P.A.
T5	4	1	4:1
T10	3,4	1	3,4:1
T20	2,75	1	2,75:1
T40	2,2	1	2,2:1
T80	2	1	2:1
T120	1,96	1	1,96:1

Conoscendo il coefficiente di saturazione di ogni tessuto possiamo tracciare una scala di profondità massima, dove quel determinato tessuto, anche raggiungendo la saturazione, non esce dal proprio coefficiente (**vedi tabella sottostante**); cioè non esce dal rapporto tra pressione del tessuto e pressione ambiente indicato nella tabella sopra riportata.



In funzione di ogni singolo **coefficiente massimo di sovrasaturazione** possiamo stabilire una profondità massima di esercizio per ogni compartimento

LE TABELLE DI DECOMPRESSIONE



Ora è facile rapportare la tabella precedente alla curva di sicurezza e capire perché il tempo di **EMISATURAZIONE** di un determinato tessuto faccia da pilota ad una profondità piuttosto che ad un'altra.

Facciamo un esempio utilizzando direttamente le tabelle ed ipotizzando un'immersione alla profondità di 24 metri, il tempo massimo per rimanere in curva di sicurezza è indicato in 40 minuti (vedi tabella sotto).

P	T	9	6	3	FAR
12	200				N
	210			2	H
	230			7	O
	250			11	L
15	100				L
	110			3	L
	120			5	M
	140			10	M
18	60				J
	70			2	K
	80			7	L
	100			14	M
21	50				K
	60			8	K
	70			14	L
	80			18	M
24	40				I
	50			10	K
	60			17	L
	70			23	M
27	30				H
	40			7	J
	50			18	L
	60			25	M
30	20				G
	30			5	H
	40			13	J
	50			21	L

Il tessuto che fa da pilota, per questa profondità, è T40, quello che EMISATURA in 40 minuti e che ha un coefficiente di sovrasaturazione che non deve superare il rapporto di 2.2:1.

A 24 metri c'è una pressione di 3,4 bar, questo significa che ipotizzando di rimanere per 12 ore in immersione, tutti i tessuti raggiungerebbero la pressione di 3,4 bar.

Se ora prendiamo in considerazione ciascun tessuto, vediamo che: T5 anche saturandosi e quindi arrivando a 3,4 bar di pressione non uscirebbe dal suo coefficiente di sovrasaturazione che è di 4 ;

T10 non solo non completa tutti gli EMIPERIODI, visto che ne raggiunge solo quattro su sei, ma anche questo, pur completandoli non uscirebbe dal suo coefficiente che è di 3,4 bar; T20 che completa due EMIPERIODI supera di poco il suo coefficiente di sovrasaturazione che è di 2.75, ma durante la risalita, per effetto della diminuzione di pressione dell'azoto respirato rientrerà nel suo coefficiente;

T40 in un solo EMIPERIODO prende il 50% della differenza di pressione tra la pressione iniziale del tessuto e la pressione ambiente a 24 metri, cioè prende il 50% di 2,4 bar, quindi 1,2 bar. Questa pressione sommata alla pressione iniziale del tessuto dà una pressione totale pari a 2,2 bar che rappresenta anche il limite massimo di pressione consentito a T40 per rimanere all'interno del suo coefficiente di sovrasaturazione.

Su questo principio sono elaborati i calcoli delle tabelle **U.S. Navy**, qui molto semplificati, ma che sono il risultato di sperimentazioni e riscontri basati su più di 40 anni d'uso da parte di quasi tutti i subacquei del mondo. Le tabelle **U.S. Navy** sono ancora le più usate, sia in ambito sportivo che professionale, nonostante esistano altre procedure decompressive, sicuramente altrettanto valide, ma meno sperimentate nel tempo.

Consigli:

E' facile comprendere come i tempi riportati nelle tabelle in curva di sicurezza, anche se volutamente molto permissivi, arrivino a portare i tessuti al limite del loro coefficiente sopportabile.

Pertanto, in tutte quelle immersioni dove per tempo di permanenza sul fondo si arriva a superare il 75% del tempo totale riportato dalle tabelle, come margine riferito alla curva di sicurezza, conviene sempre, in misura precauzionale, effettuare una sosta di decompressione di 3 minuti a 3 metri.

LA NARCOSI DA AZOTO



E' la narcosi da gas inerte, chiamata anche **IVRESSE DES GRANDES PROFONDEURS** oppure **EFFETTO MARTINI** per la somiglianza con l'ebbrezza alcolica.

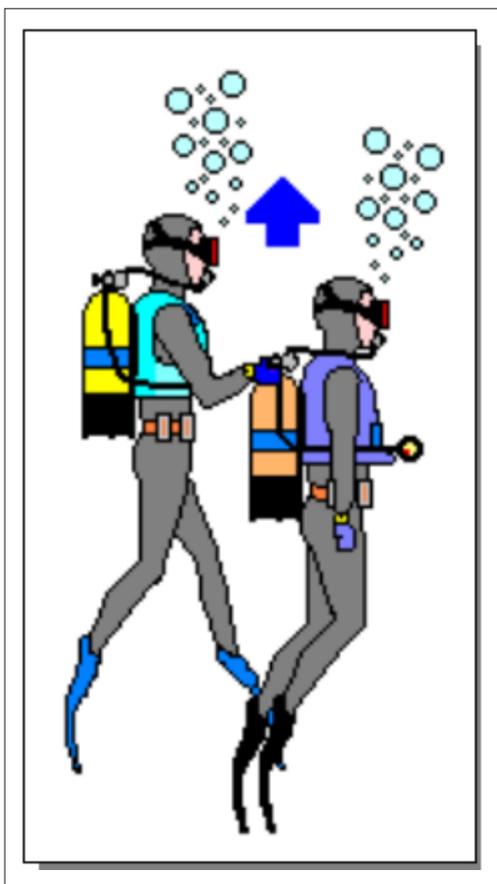
Essa consiste in uno scadimento delle prestazioni mentali e fisiche, dovuto all'esposizione ad alte pressioni di aria.

Lo stato di malessere può insorgere nel corso di immersioni, con una soglia di comparsa delle prime manifestazioni alla profondità di 30 metri. E' sufficiente di solito far risalire il soggetto di qualche metro perche' i sintomi scompaiano.

E'' COMUNQUE CONSIGLIABILE INTERROMPERE L'IMMERSIONE.

COSA FARE:

Avvicinare il sub colpito dagli effetti della narcosi di Azoto e farlo risalire di qualche metro per riportarlo ad uno stato di normalità.



È consigliato per il soccorritore posizionarsi alle spalle dell'infortunato

Iniziare subito la risalita interrompendo l'immersione

Seppur limitata, l'instabilità psicofisica del soggetto colpito da narcosi può generare reazioni inconsulte e non prevedibili da parte del soccorritore.

Il disegno riportato sopra suggerisce una presa possibile al fine di rimanere in sicurezza nella risalita.



SEGNI E SINTOMI

PROFONDITA' DI 30 METRI (PPN2 79% x 4,0 BAR = 3.2 BAR)

Euforia, facilità al riso

Alterata capacità di giudizio, con sopravvalutazione delle proprie energie (overconfidence).

Risposta ritardata a stimoli sensitivi e sensoriali (compresi i comandi verbali, recepiti ma spesso non eseguiti).

Rallentamento del pensiero, tendenza ad avere idee fisse, deconcentrazione, difficoltà a prendere decisioni rapide, errata esecuzione di prove psicometriche (es: calcoli matematici).

Lacune della memoria (soprattutto recente).

PROFONDITA' DAI 30 METRI AI 90 METRI

Sonnolenza

Stato confusionale

Perdita di accuratezza nella esecuzione di determinati movimenti.

Perdita di forza generalizzata.

PROFONDITA' OLTRE I 90 METRI

Perdita di coscienza (stato di vera e propria anestesia)

*

IN SITUAZIONI SPERIMENTALI, FINO ALLA PROFONDITÀ DI 122 METRI OLTRE ALLE MANIFESTAZIONI CITATE SONO STATE NOTATE:

Disturbi di tipo allucinatorio nelle sensazioni visive ed acustiche con sensazioni tipo levitazione

Disorientamento spazio-temporale

Contenuti ideativi maniaco-depressivi

* le situazioni sopra descritte sono risultati di esperimenti effettuati in camere iperbariche sotto la supervisione di medici specializzati e con soggetti allenati professionalmente all'immersione profonda.



Attualmente sono avvalorate 2 considerazioni quali possibili fattori scatenanti della narcosi d'Azoto.

1° CONSIDERAZIONE:

L'azoto in densità elevata si localizza nello spazio sinaptico, allontanando le sinapsi interneuroniche, rallentando così il passaggio dei mediatori chimici della trasmissione

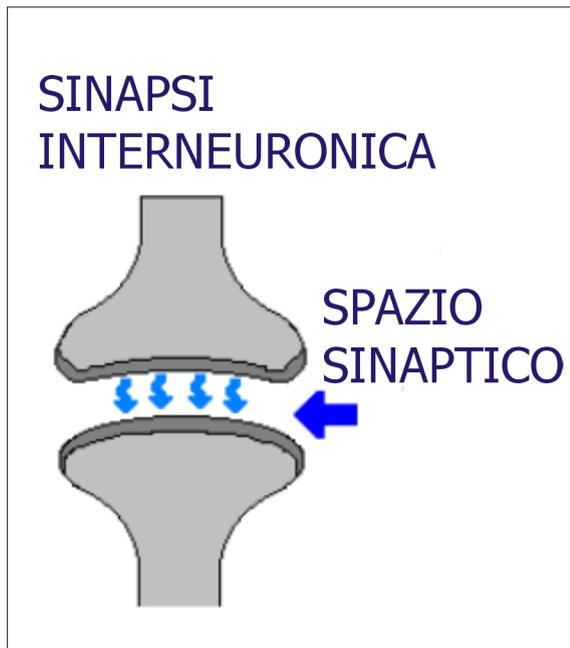


FIG. SX

La Sinapsi interneuronica o bottone sinaptico rappresenta parte di una concatenazione nervosa deputata alla trasmissione di impulsi (mediatori chimici della trasmissione).

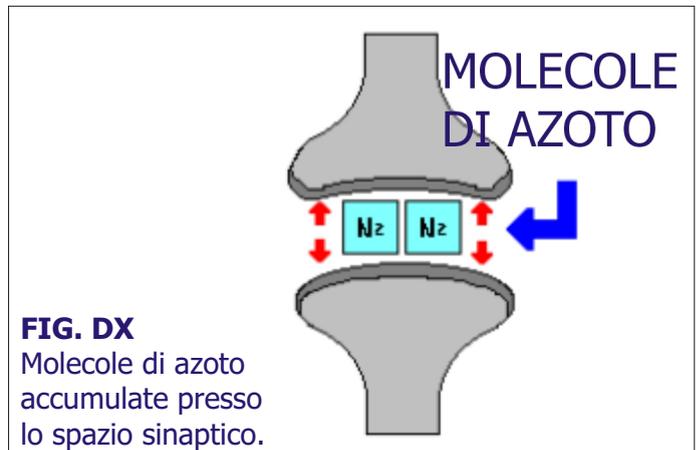
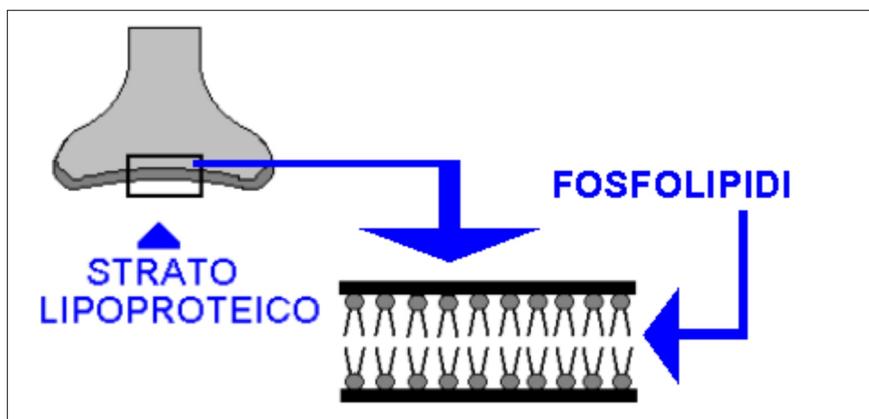


FIG. DX

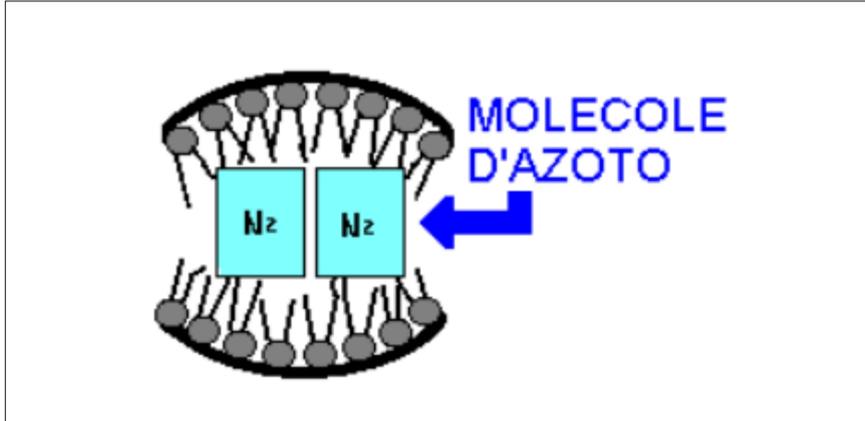
Molecole di azoto accumulate presso lo spazio sinaptico.

2° CONSIDERAZIONE:

L'aumentata concentrazione dell'Azoto rigonfia lo stato lipoproteico della membrana sinaptica, ostacolando il passaggio degli ioni deputati alla trasmissione degli stimoli e di altre sostanze.



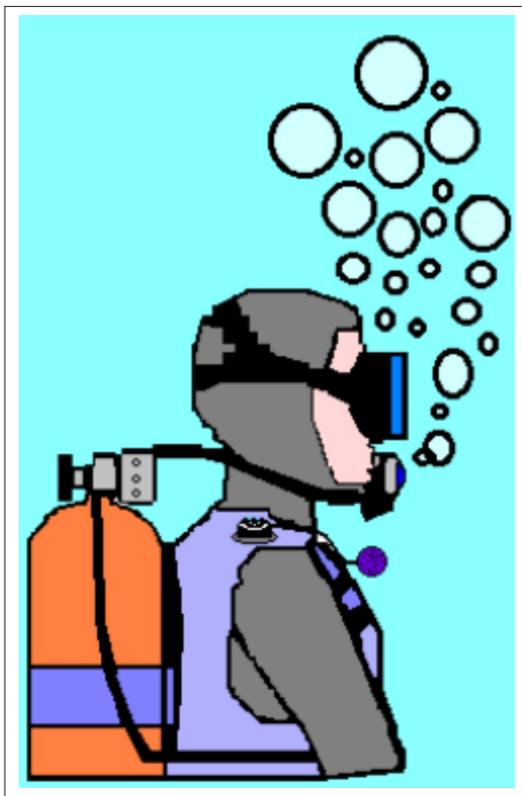
Membrana presinaptica in situazione normale



Membrana presinaptica dopo la diffusione dell'azoto

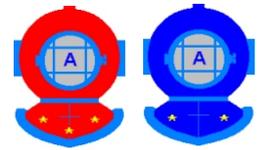
Si ipotizza che, in entrambi i casi, vi sia un coinvolgimento sinergico, dato anche dall'elevato aumento della pressione parziale dell'anidride carbonica (Co₂).

COME EVITARE POSSIBILI INSORGENZE DI NARCOSI DA AZOTO:



Evitate qualsiasi forma di affaticamento.
Evitate qualsiasi situazione che possa modificare la regolarità del vostro ritmo respiratorio.
Durante la respirazione mantenete le giuste pause.
In caso di affanno fermatevi, possibilmente sorretti ad un punto, fino a ritrovare il giusto ritmo respiratorio.
Evitate di fare micro apnee.
La fase **ESPIRATORIA** deve essere sempre profonda.
Non effettuate immersioni oltre il vostro limite certificativo e comunque oltre i 30 mt. soprattutto se non allenati.
Controllate durante l'immersione il vostro stato di lucidità.

L'IMMERSIONE IN QUOTA



Quando si effettua una immersione ad una quota superiore a quella del mare (0 mt), la nostra unità di misura non sarà più 1 bar (pressione al livello del mare) bensì la pressione corrispondente all'altitudine in cui ci troviamo.

Come per le immersioni in mare anche per l'immersione in "alta quota" siamo costretti a rispettare le leggi fisiche che governano l'assorbimento e la desaturazione dell'azoto.

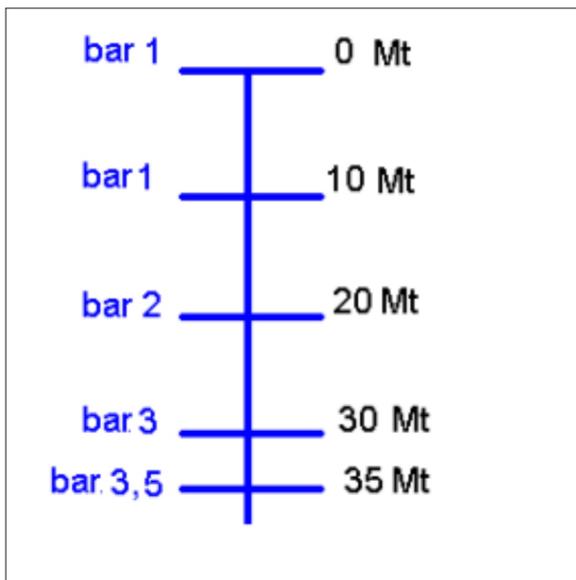
Fatti esclusi alcuni tipi di computer, per calcolare le varie esposizioni nelle immersioni in quota, impareremo ad utilizzare, e, a rapportare alle diverse pressioni, uno strumento che molto bene conosciamo: le tabelle d'immersione.

Nel grafico a seguire, è possibile notare quale sia la differenza fra 2 immersioni, identiche per la profondità raggiunta (35 mt), ma differenti per la quota iniziale.

ES: SINISTRA

SITUAZIONE SUL LIVELLO DEL MARE.

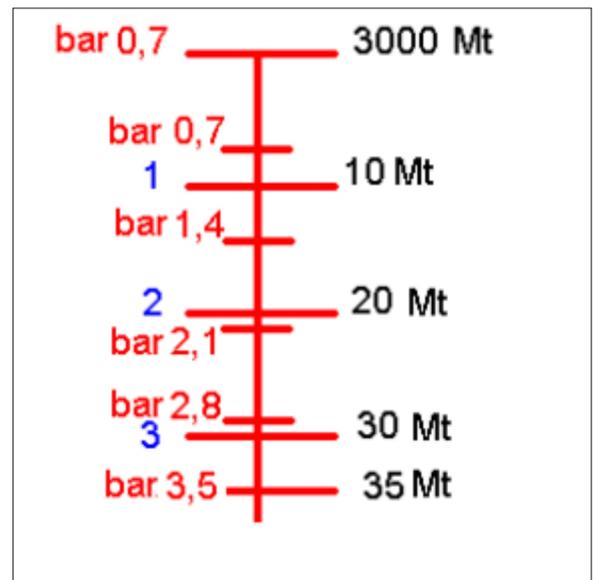
In questo esempio, relativo ad una immersione condotta partendo da una pressione pari a quella sul livello del mare, è possibile notare come la pressione di esposizione, raggiunta alla massima profondità (35 mt), sia tre volte e $\frac{1}{2}$ superiore a quella di partenza.



ES: DESTRA

SITUAZIONE A 3.000 MT SUL LIVELLO DEL MARE (P.A. = 0,7 BAR)

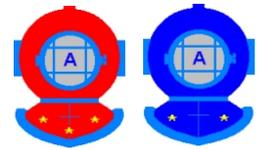
In questo esempio, relativo ad una immersione condotta partendo da una pressione inferiore a quella sul livello del mare (0,7 bar), è possibile notare come la pressione di esposizione, raggiunta alla massima profondità (35 mt), sia cinque volte superiore a quella di partenza.



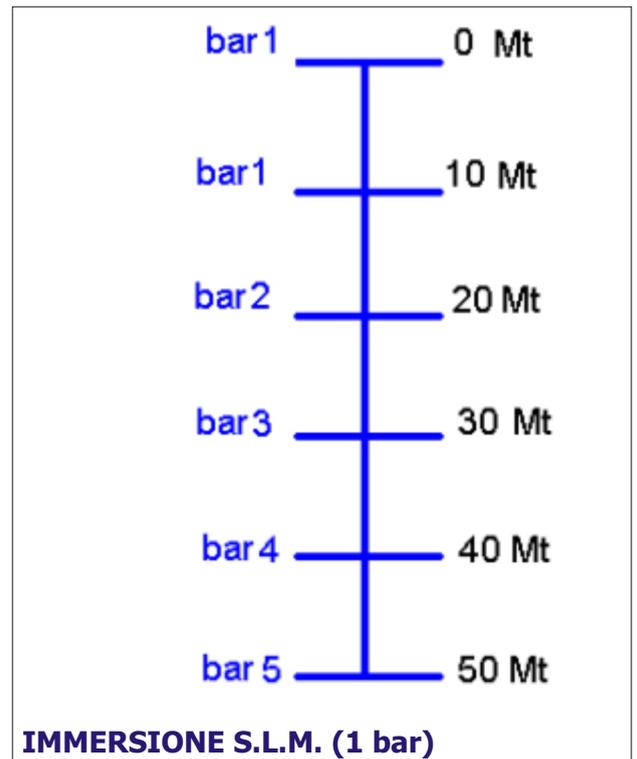
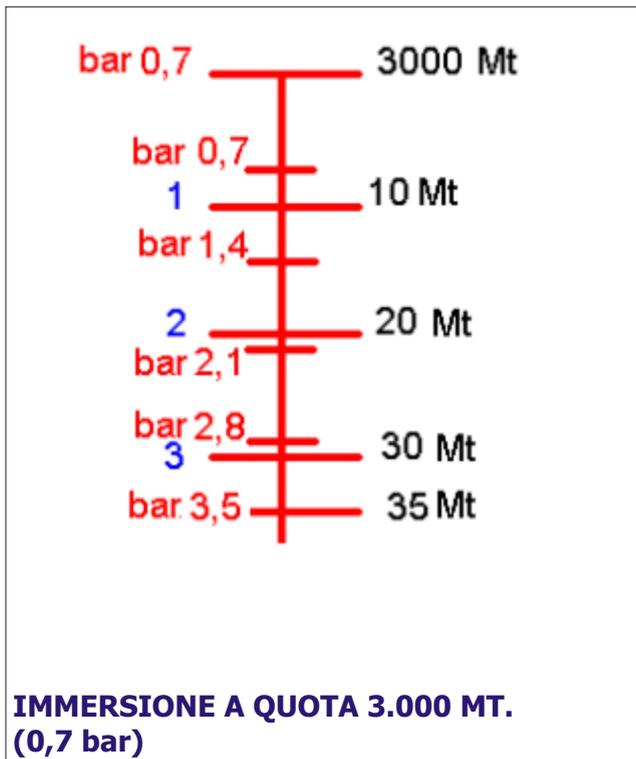
Le tabelle di immersione sono utilizzabili per le immersioni al mare (1 bar) perchè tengono conto dei tempi di esposizione alle varie profondità, basando i coefficienti di sovrassaturazione rispetto ad una pressione ambiente (inizio immersione e fine immersione) di una atmosfera (1 bar).

Se effettuiamo una immersione ad una pressione inferiore a quella del mare, quindi una altitudine superiore a quella del mare, per utilizzare le tabelle di immersione si dovrà procedere considerando l'immersione non alla profondità reale raggiunta, ma alla profondità che avremmo raggiunto al mare, a parità di aumento di pressione rispetto a quella di partenza (PROFONDITA' FITTIZIA).

L'IMMERSIONE IN QUOTA



I grafici riportati a seguire indicano quale possa essere la PROFONDITA' FITTIZIA, per una immersione, effettuata alla quota presa negli esempi precedenti (3.000 mt= 0.7 bar), a parità di aumento di pressione rispetto quella iniziale.



CALCOLO DELL'IMMERSIONE IN QUOTA

Per calcolare la profondità fittizia, per una immersione in quota che corrisponda, quale aumento di pressione con una effettuata al mare, procederemo dividendo la profondità reale raggiunta in quota con la pressione ambiente della quota di partenza:

Prendendo ad esempio le immersioni riportate nei grafici:

Esempio:

$$\frac{PR}{PA} = PF$$
$$\frac{35}{0.7} = 50$$

LEGENDA:

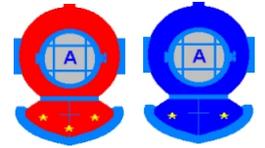
PF = PROFONDITA' FITTIZIA

PR = PROFONDITA' REALE

PA = PRESSIONE AMBIENTE

L'IMMERSIONE SARA' DUNQUE PROGRAMMATA COME UNA EFFETTUATA AD UNA PROFONDITA' DI 50 METRI (SLM)

L'IMMERSIONE IN QUOTA



CALCOLO DELLA DECOMPRESSIONE

Le tabelle di immersione, come per i tempi di esposizione ed i coefficienti di sovrassaturazione, espongono anche le tappe di decompressione rispetto ad una immersione in mare.

Consapevoli che adattiamo una tabella scritta per le immersioni in mare procederemo al calcolo delle **reali** quote dove effettuare la decompressione.

FORMULA PER IL CALCOLO DELLE REALI QUOTE DI DECOMPRESSIONE

$$PF \times PA = PR$$

Ovvero:

$$PF = MT. 9 \times 0.7 = 6,3 - PR = \text{(mt. 6,30)}$$

$$PF = MT. 6 \times 0.7 = 4,2 - PR = \text{(mt. 4,20)}$$

$$PF = MT. 3 \times 0.7 = 2,1 - PR = \text{(mt. 2,10)}$$

Trovando le quote reali di decompressione abbiamo rapportato anche le eventuali soste di decompressione previste.

VELOCITA' DI RISALITA

Anche la velocità di risalita, in una immersione in quota, deve essere rapportata a quella che avremmo avuto al mare.

Utilizzando gli esempi che ci hanno accompagnato per tutta la lezione, in mare, per risalire da una profondità di 50 mt avremmo impiegato 5 minuti.

In quota rapporteremo la velocità di risalita basandoci sulla formula di seguito espressa:

VR = velocità di risalita (10 mt/minuto)

TR = tempo di risalita

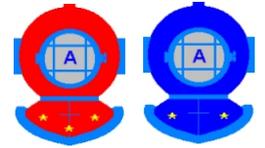
quindi: **PR / TR = VR**

Rapportando l'immersione in quota con quella al mare (PF 50 mt), dove impiegheremo 5 minuti per la risalita, in relazione alla formula sopra esposta procederemo per quanto segue:

$$PR = 35 \text{ mt} / TR = 5 \text{ minuti} = VR \text{ 7 mt./minuto}$$

LA VELOCITA' DI RISALITA PER L'IMMERSIONE SOPRA RIPORTATA E' QUINDI DI 7 METRI AL MINUTO

LA TERMOREGOLAZIONE BIOLOGICA



Il calore è una forma di energia che tende a passare da corpi a più elevata temperatura a corpi ad un livello termico più basso.

L'uomo ha una temperatura interna costante che tende a mantenere in qualunque ambiente si trovi: perciò si dice che è "Omeotermo".

Il corpo umano è fornito di un centro termoregolatore costituito da cellule sensibili ai cambiamenti di temperatura.

Se l'ambiente esterno è più caldo del nostro corpo, per evitare l'accumulo di calore, mediante il sistema nervoso simpatico si avrà una vasodilatazione dei vasi cutanei (il sangue, passando più in superficie a livello cutaneo, perderà più calore) ed una secrezione delle "ghiandole sudoripare" (il sudore passando dallo stato liquido a quello di vapore, abbassa la temperatura cutanea e fa consumare calore al corpo).

IL COLPO DI SOLE

Dopo una prolungata esposizione al sole di tutto il corpo, ma in modo particolare della testa, si ha un assorbimento eccessivo di calore da parte dell'organismo, con vasodilatazione diffusa soprattutto a livello dei vasi cerebrali e delle meningi. Si potrà arrivare ad un "edema cerebrale", cioè un aumento del liquido tra le cellule nervose, che causa una compressione della sostanza nervosa.

Si presenta con:

Volto arrossato e congestionato
Fotofobia (fastidio alla visione della luce)
Cefalea violenta
Nausea, vomito
Rigidità nucale (difficoltà a piegare il capo in avanti)

Si potrà arrivare ad uno stato di deliro con allucinazioni, ad una depressione del sistema nervoso fino allo stato di coma, con riduzione dell'attività respiratoria e collasso cardiaco.

Trattamento:

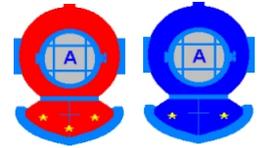
Trasportare il soggetto in ambiente ombreggiato e ventilato, applicare impacchi freddi sulla nuca e sulla fronte per abbassare la temperatura corporea, somministrare bevande fredde e stimolanti per l'attività respiratoria come il the o il caffè e mai alcoliche (l'alcool deprime il centro della respirazione).

IL COLPO DI CALORE

Si verifica in genere in climi tropicali caldo umidi. E' dovuto all'eccessivo accumulo di calore da parte del corpo, a causa della "mancata sudorazione", impedita dall'eccessiva umidità ambientale.

L'eccesso di calore determina un blocco del funzionamento delle cellule nervose del centro termoregolatore.

LA TERMOREGOLAZIONE BIOLOGICA



Si presenta con :

Cute calda, arrossata e secca

Cefalee e vomito

Tachicardia

Dispnea (respirazione alterata nel ritmo e nella frequenza)

Si potrà verificare un abbassamento della pressione arteriosa fino allo stato di coma.

Trattamento:

Trasportare il soggetto in ambiente asciutto, ventilato e lontano da fonti di calore. Liberarlo da indumenti stretti e massaggiarlo con panni umidi, evitare impacchi freddi alla nuca e alla fronte per non generare brividi e vasocostrizioni cutanee che farebbero aumentare la temperatura corporea.

LESIONI DA FREDDO

L'eccessivo abbassamento della temperatura ambientale può determinare un abbassamento della temperatura del corpo.

Le lesioni da freddo possono essere di tre tipi:

ASSIDERAMENTO:

se il freddo agisce solo su di una parte del corpo

CONGELAMENTO:

se le lesioni sono determinate solo dalla bassa temperatura esterna

PERFRIGERAZIONE:

Se le lesioni locali sono dovute ad altri fattori, quali: umidità, vento, indumenti e calzature inadeguate, ridotta attività muscolare o immobilità, scarsa alimentazione.

ASSIDERAMENTO

Si può verificare dopo un'esposizione al freddo. Quando la temperatura corporea scende sotto i 35° si parla di ipotermia.

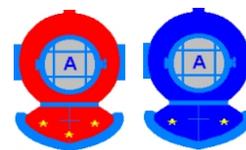
Si distinguono tre tipi di ipotermia in base al tempo di insorgenza:

A - ipotermia acuta, se interviene entro le 6 ore

B - ipotermia subacuta se interviene tra le 6 e le 24 ore

C - ipotermia cronica se interviene dopo 24 ore

LA TERMOREGOLAZIONE BIOLOGICA



All'inizio l'infortunato presenterà:

colorito pallido
aumento degli atti respiratori
aumento dei battiti cardiaci
senso di intorpidimento degli arti

Se la temperatura scende sotto i 35° - 34° C compaiono:

brividi
dispnea
confusione mentale
scarsa coordinazione motoria

Dai 33° ai 30° C compaiono:

rigidità dei muscoli
midriasi pupillare
disturbi della coscienza e del ritmo cardiaco
alterazioni alla respirazione

Dai 30° ai 28° C compaiono:

perdita di coscienza
perdita dei riflessi primari
polso e respirazione quasi nulli
colorito cianotico della pelle

Sotto i 28° C compaiono:

stato di morte apparente
flaccidità muscolare
pupille midriatiche fisse
stato di ibernazione
A questa temperatura vengono rallentati tutti i processi metabolici cellulari.
Al cervello, quindi, saranno evitati i danni dovuti al mancato apporto di sangue ossigenato, per cui è possibile rianimare tali soggetti anche dopo alcune ore.

A 23°C compare:

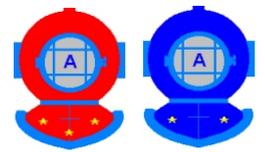
apnea involontaria

A 21°C compare:

arresto cardiaco

Trattamento:

praticare, se necessario, rianimazione cardio - polmonare, portare la vittima in ambiente caldo e asciutto e massaggiare il corpo nudo con panni asciutti, somministrare the o caffè. Evitare alcolici.



CONGELAMENTO

Si localizza di solito agli arti presentandosi in una prima fase con intorpidimento e dolore. La pelle della zona colpita passerà da un colore pallido ad un rosso cianotico, con comparsa di vesciche di carattere sieroso ed avviando la zona colpita, negli stadi di congelamento avanzato, verso una massiva necrosi cellulare.

Trattamento:

muovere l'arto colpito, proteggere la parte con panni asciutti senza costringerla, riscaldare gradatamente l'ambiente ma non la parte colpita.

CORSO DI PRIMO SOCCORSO

SECONDO LE LINEE GUIDA DELL' I.L.C.O.R.

In collaborazione con

CENTRO SUB NADIR



Inserto integrato per corsi avanzati di 2° e 3° grado

D.N.E.M.

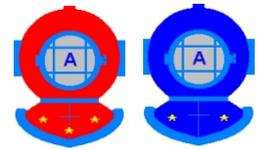
Dipartimento Nazionale Emergenza Mare

FISASUB - F.N.E. 118



Foto Cesarini

**A. BENTIVEGNA - V. DI MARIO
2001**

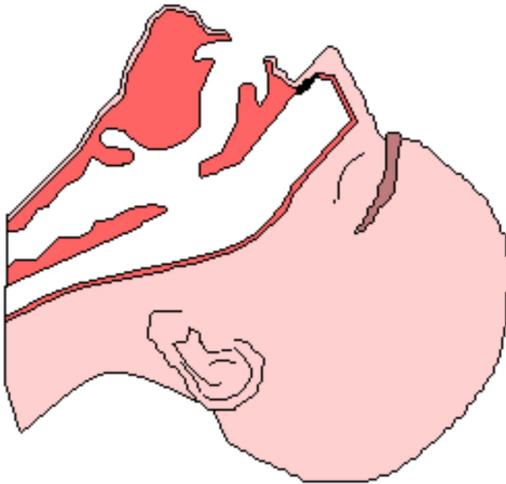


R.C.P.C. RIANIMAZIONE CARDIO POLMONARE CEREBRALE

Secondo le linee guida internazionali di B.L.S.

MANOVRA 1

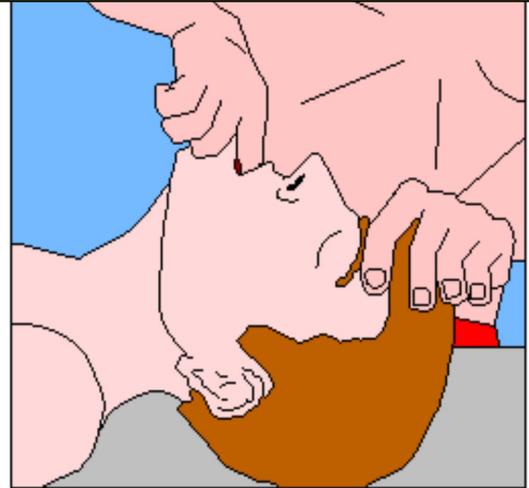
IPERESTENSIONE DEL CAPO



Tale manovra serve a
facilitare l'apertura delle
vie aeree

MANOVRA 2

ISPEZIONE DELLA BOCCA



Rimuovere eventuali
corpi estranei

MANOVRA 3



G.A.S.

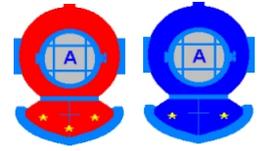
GUARDO
ASCOLTO
SENTO

Guardo eventuali movimenti
della gabbia toracica

Ascolto eventuali suoni o
rantoli emessi dall'infortunato

Sento eventuali emissioni di
aria dell'infortunato

Valutata l'assenza di attività respiratoria dobbiamo
immediatamente praticare le manovre di Rianimazione



MANOVRA 4



**RESPIRAZIONE
ARTIFICIALE**

**Praticare
immediatamente
2 profonde
insufflazioni**

**Nella fase subito successiva si passa al controllo
della presenza del battito cardiaco.**

MANOVRA 5

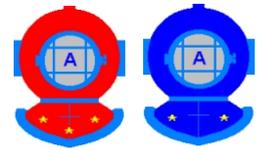
PRESENZA DI CIRCOLO



**Fig. a lato:
RILEVAZIONE DEL POLSO CAROTIDEO**

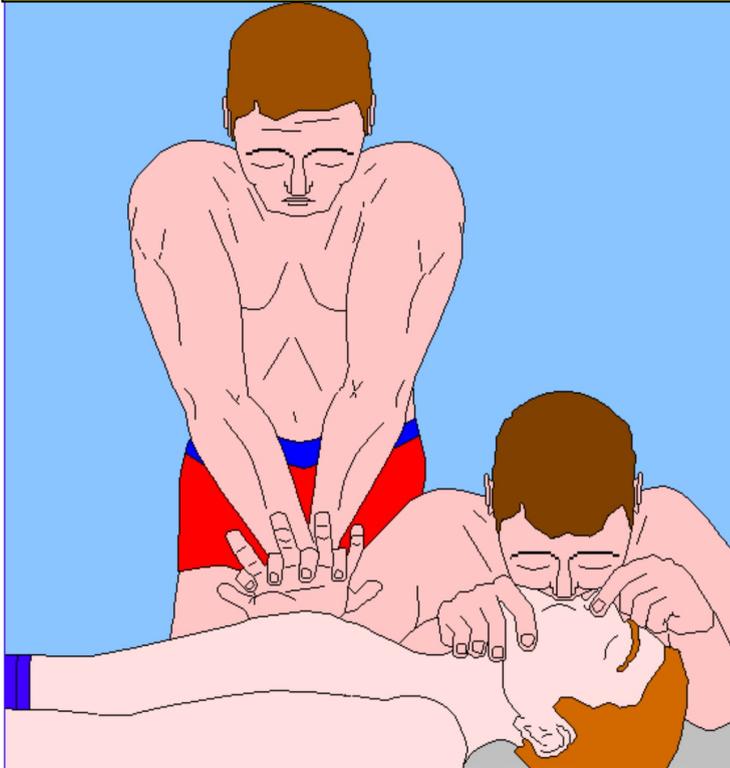
**Il polso va controllato per 10
secondi per essere sicuri della totale
assenza del battito.**

**Se non si rileva nessun segno di attività
cardiaca procedere alla manovra successiva**



MANOVRA 6

RIANIMAZIONE CARDIO-POLMONARE CEREBRALE



Le manovre di respirazione assistita possono essere effettuate anche con l'ausilio di mezzi tecnici specifici



FREQUENZA DELLA RIANIMAZIONE CARDIO-POLMONARE

1 o 2 SOCCORRITORI

Compressioni

80/100 minuto
15 compressioni ogni 9/11 sec..

Respirazioni

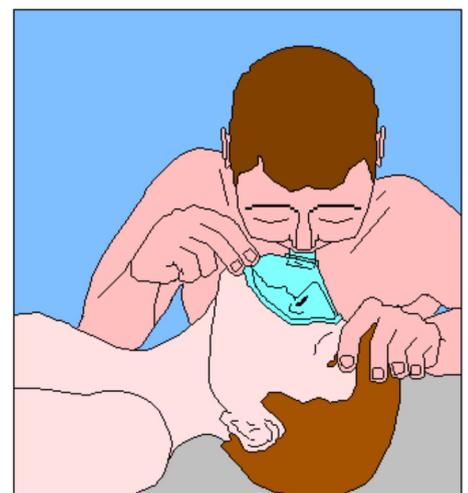
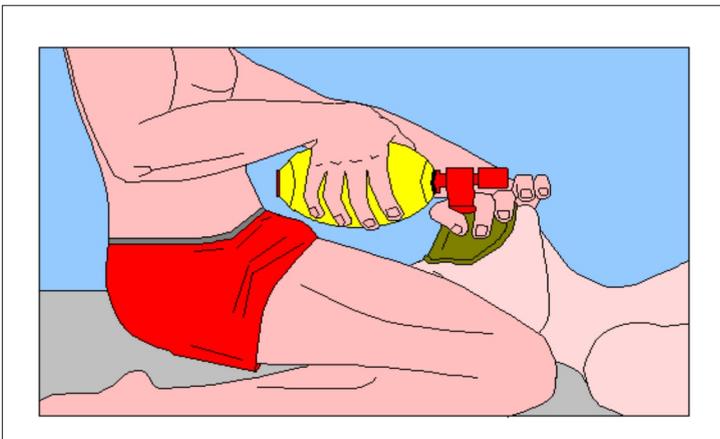
2 insufflazioni dopo 15 compressioni

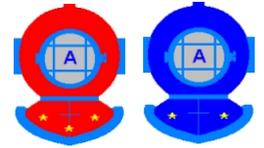
Rapporto

**15 compressioni
2 Ventilazioni**

POCKET MASK

PALLONE TIPO AMBU





Riassunto del Basic Life Support (B.L.S.) in paziente adulto e non traumatico

Valutazione dello stato di coscienza

Scuoti leggermente la persona per le spalle, chiamandola più volte ad alta voce (stimolo tattile e stimolo verbale)

Se la persona non risponde

Allerta il sistema di emergenza sanitaria 118

Allineamento del soggetto su di un piano rigido

Inizia dalla testa, arti superiori ed arti inferiori

Iperestensione del capo

Mano prossima alla testa della vittima sulla fronte, l'altra con due dita sostiene il mento

Apertura della bocca e controllo delle prime vie aeree

Con due dita apri la bocca, pinza la lingua con il pollice e rimuovi tutto quello che può essere di ostacolo alla respirazione, sia corpi solidi che materiale liquido(vomito, sangue ecc.) quest'ultimo va rimosso con garze , fazzoletti, pizzo della camicia o quanto hai a disposizione.

Una volta controllata la pervietà delle vie aeree va fatta la manovra del G.A.S.(guarda ascolta e senti) per 10 (dieci secondi) contando ad alta voce

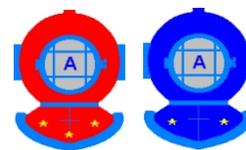
Mantieni sempre l'iperestensione del capo, avvicina l'orecchio e la guancia alla bocca del paziente, con gli occhi **guarda** il torace per osservarne eventuali movimenti, con l'orecchio **ascolta** eventuali rumori respiratori, con la guancia **senti** se vi è fuoriuscita d'aria dalla bocca e dal naso della vittima(l'aria emessa è più calda di quella ambiente).

Accertato che la vittima non respira, si insuffla aria per due volte con il bocca a bocca

Mantieni sempre l'iperestensione del capo, con le dita indice e pollice della mano che sta sulle fronte chiudi il naso, con l'altra mano tira indietro la testa ed apri la bocca. Inspira profondamente e insuffla lentamente aria nella bocca, fai aderire bene la tua bocca a quella della vittima, osservandone il torace.

Valutazione dell'attività cardiaca, apprezzamento del polso carotideo per 10(dieci)secondi contando ad alta voce

Mantieni sempre l'iperestensione del capo, dopo aver insufflato l'aria cerca il polso carotideo. Mano che tiene la fronte rimane, le due dita dell'altra mano che tenevano il mento le metti al centro del collo della vittima, qui trovi il pomo di adamo, scendi lentamente 1,5/ 2 cm. lateralmente verso di te e fermati, poi e conta fino a dieci ad alta voce.



Se il cuore non batte, bisogna eseguire il massaggio cardiaco esterno (m.c.e.)

Individuare il punto dove fare il massaggio cardiaco esterno o m.c.e. (punto di reperi)

Mantieni sempre l'iperestensione del capo, la mano della fronte rimane, con l'altra mano con un dito segui il margine inferiore delle costole dal tuo lato sino al punto di congiunzione tra costole e sterno, qui ti fermi. Due dita dell'altra mano che solo ora lascia la fronte, mettile accanto al primo dito posizionato, metti poi il calcagno della mano con cui hai seguito il margine costale, nello spazio rimasto libero dello sterno, cura di tenere le dita scostate dal torace e posiziona l'altra mano su quella a contatto dello sterno della vittima.

Inizio del massaggio cardiaco esterno (m.c.e.)

Posizionato di fianco alla vittima in ginocchio, con le gambe leggermente divaricate, una all'altezza della spalla e l'altra all'altezza del diaframma, le braccia tese e perpendicolari al torace della vittima, comprimi il torace con movimenti fluidi e continui, facendo fulcro sul tuo bacino utilizzando il peso della parte superiore del tuo corpo, ricordati di contare ad alta voce.

Rapporto tra insufflazioni e compressioni

In uno o due soccorritori deve essere sempre mantenuto un rapporto di 2 (due) insufflazioni e 15 (quindici) compressioni.

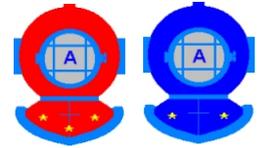
Nel caso di due soccorritori, chiederà il cambio all'altro quello che effettua il m.c.e. e la sequenza ricomincerà sempre con la valutazione del polso e l'insufflazione.

Dopo il primo minuto

Dopo il primo minuto o 4 cicli, devi controllare il polso carotideo, se non fosse ricomparso, continua la sequenza del B.L.S. per altri 4/5 minuti successivi, poi effettua il controllo del polso. Se invece il polso carotideo fosse ricomparso, procedi con la valutazione della attività respiratoria con la manovra del **G.A.S.**, se il respiro non è ricomparso ma il cuore batte, insuffla aria una volta ogni 5 secondi e controlla sempre il polso. Se i parametri vitali sono ricomparsi valuta la coscienza.

Qualora si sia ristabilita sia l'attività cardiaca che respiratoria, metti la vittima in posizione laterale di sicurezza e continua ad assisterla monitorando i parametri vitali

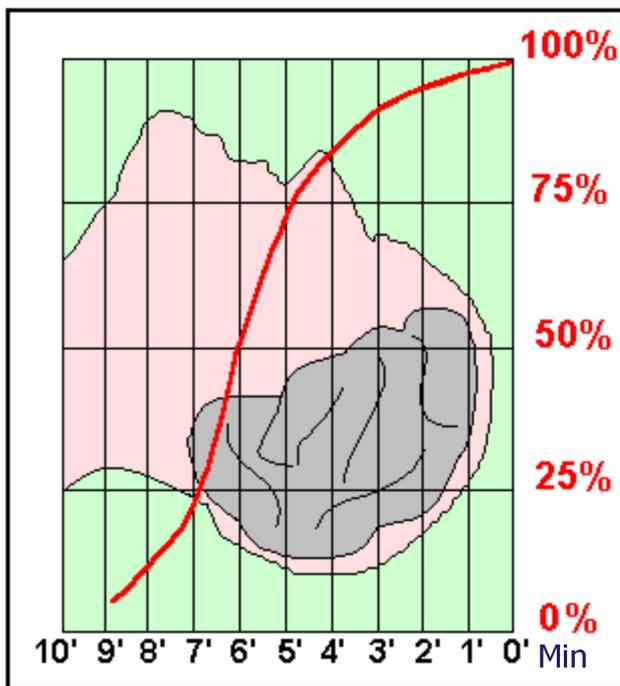
Qualora non si sia ristabilita l'attività cardiaca della vittima continua con il B.L.S. fino all'arrivo dei soccorsi o fino allo stremo delle tue forze. Ricorda che solo un medico può stabilire legalmente se la vittima è deceduta.



La tempestività del soccorso è fondamentale perché, in caso di arresto cardiaco, i primi minuti sono quelli che contano di più.

Il cervello è un tessuto nervoso che se rimane per un tempo troppo lungo senza ossigenazione ne risentirà di danni irreparabili. Il grafico sotto mostra come con il protrarsi del tempo le possibilità di salvezza diventino sempre più scarse. Questo non deve indurci a considerare inutile un soccorso che per qualsiasi motivo viene effettuato in ritardo, ma deve servirci per capire quanto è importante la tempestività nel portare un soccorso.

GRAFICO PERCENTUALI DI RIUSCITA



Nella colonna verticale sono riportate le percentuali che indicano le possibilità di riuscita del soccorso senza danni irreversibili

Nella parte orizzontale in basso del grafico è riportato il tempo nei primi 10 minuti

E' facilmente visibile come la percentuale di riuscita diminuisca con il passare del tempo