

# Seminario: Il Rischio da Atmosfere Iperbariche

Il rischio da atmosfere iperbariche: che cosa è, dove si può trovare nei luoghi di lavoro.

Enrico Marchetti

07/02/2023

# Programma

- 1) **Cosa intendiamo per atmosfere iperbariche**
- 2) **Dove troviamo le atmosfere iperbariche**
- 3) **Quali sono i rischi da atmosfere iperbariche**

**Cosa intendiamo per atmosfere iperbariche e come questo interessa l'ambiente di lavoro?**

**Per atmosfera iperbarica si intende una situazione di lavoro in cui la pressione è maggiore di quella al livello del mare.**

**Noi viviamo, per la maggioranza del tempo, in ambienti che hanno una pressione dell'aria di circa una atmosfera (760 mmHg=1 ATM).**

**Questo comporta che tutti i gas che compongono la miscela «aria» che respiriamo siano in equilibrio fra esterno ed interno del corpo.**

**L'aria della superficie terrestre è composta dal 78% di azoto ( $N_2$ ), dal 21% di ossigeno ( $O_2$ ), da anidride carbonica ( $CO_2$ ), vapor d'acqua, argon ed altri gas 1%.**

**Utilizzando le pressioni parziali possiamo dire che 1 Atm di aria è composta da 0,78 Atm di  $N_2$  (ossia il 78% di 1 Atm di aria), da 0,21 Atm di  $O_2$  (ossia il 21% di 1 Atm) ed altri gas.**

**Questo significa che il nostro organismo è in equilibrio con queste pressioni di gas. Ossia l'ossigeno disciolto nel nostro gas arterioso è circa il 21% di 1 Atm. Ma anche l'azoto si scioglie nei tessuti corporei con una percentuale del 78%.**

**Mentre l'ossigeno serve per ossigenare i tessuti e sostenere la loro produzione di energia, l'azoto molecolare non ha alcun uso da parte del corpo umano. È un gas inerte. Serve come riempitivo.**

**Ci si può trovare in atmosfera iperbarica anche in alta quota. Si supponga di essere in un lago di alta montagna a 2000 metri s.l.m. La pressione atmosferica sarà di circa 0,8 ATM; ossia  $0,8 \cdot 760 = 608$  mmHg.**

**Questa è la pressione di equilibrio se si sosta in quota almeno un giorno intero.**

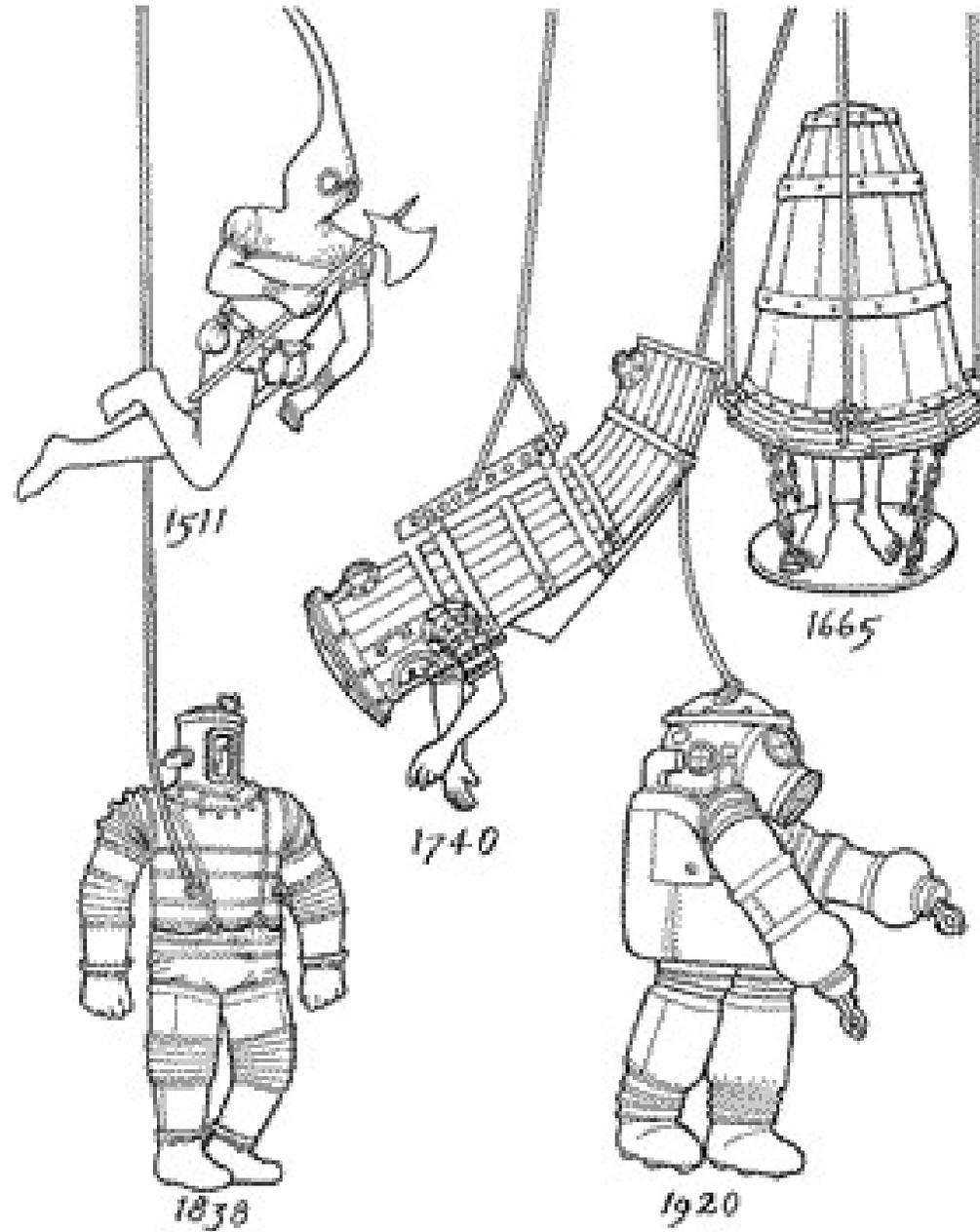
**Se si fa una immersione nel lago a 10 metri si trova una pressione approssimativamente di  $1 + 0,8$  ATM, ossia 1368 mmHg.**

**Quindi si è in atmosfera iperbarica!**

# **DOVE TROVIAMO LE ATMOSFERE IPERBARICHE**

**Storicamente l'origine dell'attività iperbarica nasce dall'incontro dell'uomo con il mare. Solo in tempi recenti questo connubio è emerso dalle acque e si è ambientato in aria. Questo è solo un altro esempio di come la tecnologia possa cambiare la vita lavorativa.**

**Attualmente le attività lavorative che richiedono di esporre il lavoratore ad una pressione maggiore di quella al livello del mare sono molte e diversificate. Alcune "umide", perché avvengono sott'acqua, altre sono "asciutte« o a secco.**



Numero lavoratori esposti a rischio e soggetti a sorveglianza distinti per ateco

Anno: 2019, Regione: (Tutti i valori colonna), ASL: (Tutti i valori colonna)

TERRITORIO	Descrizione rischio	Lavoratori soggetti a sorveglianza sanitaria - F	Lavoratori soggetti a sorveglianza sanitaria - M	Totale lavoratori soggetti	Lavoratori visitati - F	Lavoratori visitati - M	Totale lavoratori visitati	Lavoratori con idoneità parziali - F	Lavoratori con idoneità parziali - M	Totale lavoratori con idoneità parziali	Lavoratori con idoneità - F	Lavoratori con idoneità - M	Totale lavoratori con idoneità
TERRITORIO	Movimentazione manuale dei carichi	2.198.673	4.163.885	<b>6.362.558</b>	1.074.556	3.008.957	<b>4.083.513</b>	127.970	345.896	<b>473.866</b>	2.674	4.594	<b>7.268</b>
	Sovraccarico biomeccanico arti superiori	927.056	1.593.085	<b>2.520.141</b>	544.306	1.218.219	<b>1.762.525</b>	52.186	112.826	<b>164.012</b>	916	1.906	<b>2.822</b>
	Agenti chimici	649.893	1.929.216	<b>2.579.109</b>	433.598	1.558.555	<b>1.992.153</b>	37.946	180.078	<b>218.024</b>	685	2.093	<b>2.778</b>
	Amianto	1.177	20.813	<b>21.990</b>	797	16.958	<b>17.755</b>	100	2.192	<b>2.292</b>	1	18	<b>19</b>
	Agenti biologici	1.199.256	1.382.409	<b>2.581.665</b>	661.053	1.029.120	<b>1.690.173</b>	47.678	125.639	<b>173.317</b>	1.285	2.003	<b>3.288</b>
	Videoterminali	2.222.732	2.274.690	<b>4.497.422</b>	666.986	753.918	<b>1.420.904</b>	100.321	94.025	<b>194.346</b>	283	304	<b>587</b>
	Vibrazioni corpo intero	56.381	989.517	<b>1.045.898</b>	33.198	799.774	<b>832.972</b>	3.356	80.450	<b>83.806</b>	152	1.341	<b>1.493</b>
	Vibrazioni mano braccio	74.039	994.411	<b>1.068.450</b>	52.432	842.024	<b>894.456</b>	5.694	95.315	<b>101.009</b>	151	1.280	<b>1.431</b>
	Rumore	281.376	2.426.084	<b>2.707.460</b>	213.372	2.012.606	<b>2.225.978</b>	28.797	405.079	<b>433.876</b>	369	2.479	<b>2.848</b>
	Radiazioni ottiche artificiali	27.352	174.429	<b>201.781</b>	16.541	141.583	<b>158.124</b>	1.164	16.039	<b>17.203</b>	5	140	<b>145</b>
	Radiazioni ultraviolette naturali	46.222	210.012	<b>256.234</b>	20.233	157.484	<b>177.717</b>	2.060	15.104	<b>17.164</b>	69	583	<b>652</b>
	Microclima severo	238.650	898.888	<b>1.137.538</b>	163.849	719.157	<b>883.006</b>	12.285	73.451	<b>85.736</b>	364	1.659	<b>2.023</b>
	Atmosfere iperbariche	936	2.790	<b>3.726</b>	668	2.356	<b>3.024</b>	24	176	<b>200</b>	8	7	<b>15</b>
	Lavoro notturno >80gg/anno	428.329	836.482	<b>1.264.811</b>	178.392	447.504	<b>625.896</b>	17.031	40.252	<b>57.283</b>	460	841	<b>1.301</b>
	Altri rischi evidenziati da V.R.	1.166.373	2.863.703	<b>4.030.076</b>	684.635	2.122.944	<b>2.807.579</b>	62.952	234.877	<b>297.829</b>	1.382	3.880	<b>5.262</b>
	Rischi Posturali	1.141.296	1.961.911	<b>3.103.207</b>	713.187	1.475.860	<b>2.189.047</b>	57.605	131.930	<b>189.535</b>	923	2.308	<b>3.231</b>
	Agenti cancerogeni	23.135	107.787	<b>130.922</b>	15.542	88.573	<b>104.115</b>	1.769	11.642	<b>13.411</b>	17	113	<b>130</b>
	Agenti mutageni	7.172	16.227	<b>23.399</b>	3.479	12.831	<b>16.310</b>	558	1.927	<b>2.485</b>	2	21	<b>23</b>
	Campi Elettromagnetici	26.322	81.912	<b>108.234</b>	13.539	57.522	<b>71.061</b>	1.131	7.119	<b>8.250</b>	25	50	<b>75</b>
	Infrasuoni/Ultrasuoni	1.698	2.014	<b>3.712</b>	1.165	1.578	<b>2.743</b>	41	60	<b>101</b>	1	1	<b>2</b>
Silice	4.379	25.743	<b>30.122</b>	1.514	21.980	<b>23.494</b>	319	3.790	<b>4.109</b>	8	59	<b>67</b>	
	<b>Totale</b>	<b>10.722.447</b>	<b>22.956.008</b>	<b>33.678.455</b>	<b>5.493.042</b>	<b>16.489.503</b>	<b>21.982.545</b>	<b>560.987</b>	<b>1.976.861</b>	<b>2.537.848</b>	<b>9.780</b>	<b>25.680</b>	<b>35.460</b>
<b>Totale complessivo</b>		<b>10.722.447</b>	<b>22.956.008</b>	<b>33.678.455</b>	<b>5.493.042</b>	<b>16.489.503</b>	<b>21.982.545</b>	<b>560.987</b>	<b>1.976.861</b>	<b>2.537.848</b>	<b>9.780</b>	<b>25.680</b>	<b>35.460</b>

3726

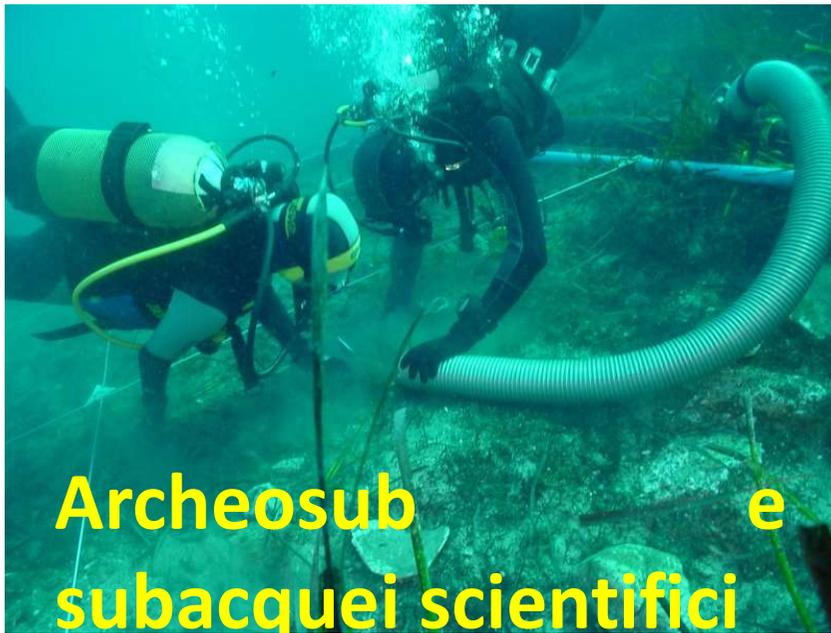




**Subacquei ricreativi  
(istruttori e guide)**



**Cassonisti**



**Archeosub e  
subacquei scientifici**



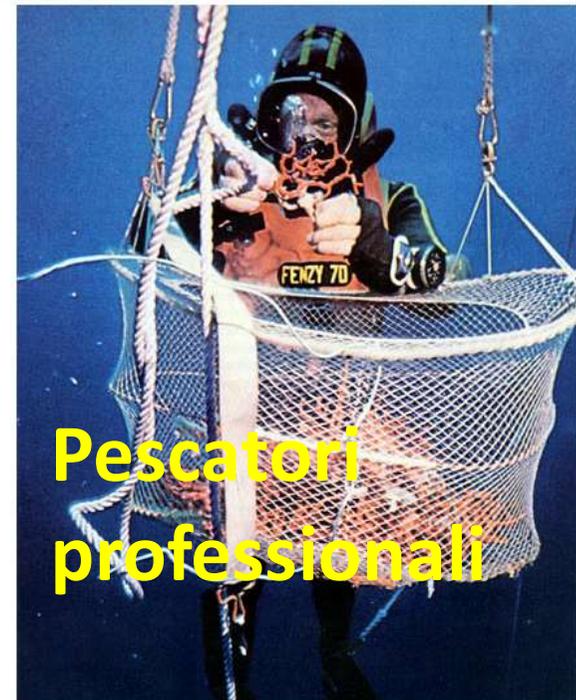
**Subacquei off shore di alto  
e basso fondale**



**Subacquei in saturazione**



**Corpi dello Stato**



**Pescatori professionali**



## Ricercatori e archeologi

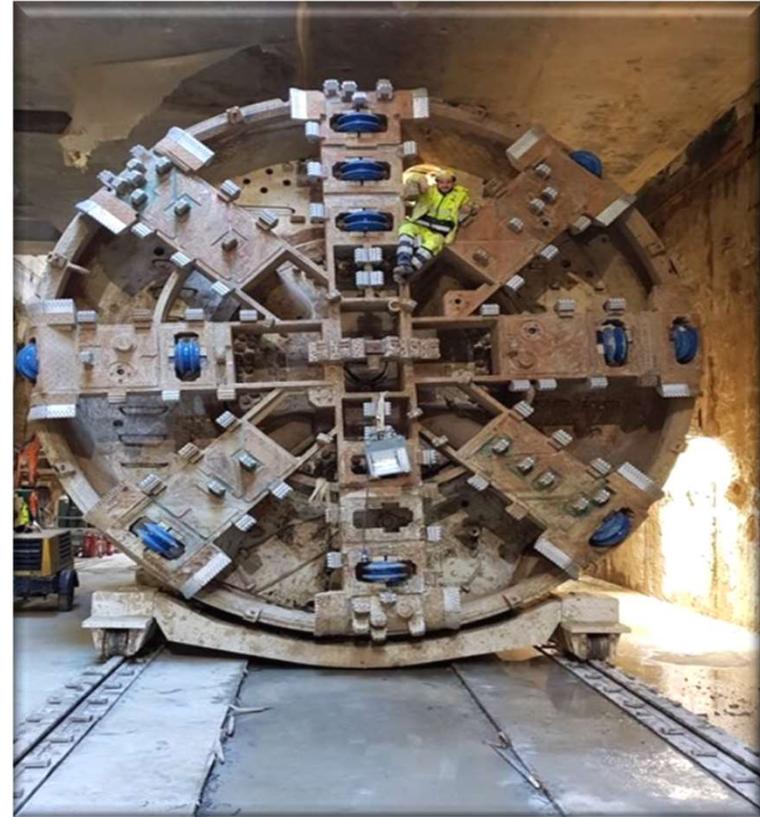




**Medici e tecnici iperbarici**



## Scavo meccanizzato delle gallerie



## Normativa

<b>Professione</b>	<b>Norma giuridica professionale nazionale</b>	<b>Richiamo a contenuti tecnici</b>	<b>Procedura decompressiva utilizzata</b>
<b>Cassonisti</b>	<b>D.P.R. 321/56</b>	<b>sì, nel D.P.R.</b>	<b>D.P.R. 321/56 (art.28)</b>
<b>Sommozzatore in servizio locale</b>	<b>D.M. 13/01/79 D.M. 2/02/82</b>	<b>no</b>	<b>USN Std Air</b>
<b>Subacquei di basso/alto fondale</b>	<b>D.lgs 624/96, DPR 886/79</b>	<b>sì (UNI 11366)</b>	<b>ad hoc</b>
<b>Istruttore/guida subacquea</b>	<b>Assente</b>	<b>sì (UNI)</b>	<b>Dive computers</b>
<b>Subacquei dei Corpi di Stato</b>	<b>Assente</b>	<b>no</b>	<b>USN Std Air</b>
<b>Ricercatore subacqueo</b>	<b>Assente</b>	<b>no</b>	<b>Dive computers/ USN Std Air</b>
<b>Medico iperbarico</b>	<b>Assente</b>	<b>no</b>	<b>USN Table 6</b>
<b>Pescatore subacqueo*</b>	<b>D.M. 20/10/86</b>	<b>no</b>	<b>USN Std Air</b>

**\* Solo corallari, non pescatori di itticultura**

**Ci sono, al momento, tre norme UNI in fase più o meno avanzata di elaborazione:**

- 1. Aggiornamento della 11366**
- 2. Norma sulla subacquea scientifica**
- 3. Norma sull'itticoltura**

# QUALI SONO I RISCHI DA ATMOSFERE IPERBARICHE

Un elenco parziale dei fattori di rischio per il lavoratore:

- 1) Ipossia
- 2) Avvelenamento da CO
- 3) Ipercapnia (CO<sub>2</sub>)
- 4) Tossicità dell'ossigeno (O<sub>2</sub>)
- 5) Narcosi d'azoto (N<sub>2</sub>) (detto anche "effetto Martini")
- 6) Iperventilazione
- 7) Dispnea
- 8) Enfisema
- 9) Pneumotorace
- 10) Sovradistensione gastro-intestinale
- 11) Barotrauma
- 12) Annegamento
- 13) Ipotermia o ipertermia
- 14) Embolia gassosa arteriosa (EGA)
- 15) Patologia da decompressione
- 16) Osteonecrosi iperbarica
- 17) Effetti neurologici
- 18) Effetti sul DNA

**Altri fattori di rischio possono derivare da incidente alla struttura o all'ambiente che ospita l'attività:**

- 1) Incendio**
- 2) Rottura dei sistemi**
- 3) Esplosione (meno probabile)**

**I rischi della slide precedente verranno trattati dal prossimo relatore, quindi partiamo da questi tre.**

**Se la pressione cresce al di sopra di quella a.l.m., ossia di  $P > 1$  ATM, anche le pressioni parziali dei gas disciolti nel corpo si adeguano, in un tempo variabile che dipende dalle caratteristiche del tessuto che si prende in considerazione. Questa variabilità dipende, per la maggior parte, dalla perfusione sanguigna del tessuto stesso, visto che è il sangue che distribuisce prevalentemente il gas ai tessuti.**

**L'O<sub>2</sub> va in equilibrio più velocemente dell'N<sub>2</sub> perché le cellule lo assorbono, creando una differenza di pressione maggiore che per l'azoto.**

Quest'ultima affermazione è la base concettuale **dell'ossigenoterapia iperbarica** che ha come obiettivo quello di aumentare l'ossigenazione di tessuti che, per motivi traumatici o patologici, hanno un'ossigenazione più bassa del normale.

Infatti se ci troviamo a 2 Atm d'aria avremo una  $PPO_2$  di 0,42 Atm. Ossia doppia rispetto a quella a pressione normale. Questo garantisce una distribuzione di ossigeno ai tessuti maggiore per tutta la durata della terapia.

Le camere iperbariche hanno la possibilità di funzionare, **localmente**, anche al 100% di O<sub>2</sub>, escludendo gli altri gas dell'aria. Per fare ciò si utilizzano dei caschi che avvolgono la testa del paziente e consentono di isolarla dal resto dell'ambiente iperbarico. Tutto il resto della camera iperbarica è a 2 ATM, ma in aria, quindi l'aumento della PPO<sub>2</sub> nella camera è contenuto, mentre il paziente ha un'ossigenazione iperrica.

**Qual è il problema dell'aumento della PPO<sub>2</sub>?**

L'ossigeno è il più diffuso comburente sul pianeta! Ossia quello che serve per realizzare la reazione di ossidazione che da luogo **all'incendio.**



**Le camere iperbariche servono essenzialmente due obiettivi: iperossigenazione di particolari patologie e ricompressione di subacquei con Patologia Da Decompressione (PDD). Per assolvere questi compiti devono essere pluriposto (per legge).**



**Per svolgere questi compiti non possono essere camere monoposto, dato che il medico e l'infermiere devono poter accedere con i pazienti.**

**Le camere pluriposto ad uso clinico in Italia sono regolate da due norme volontarie.**

- le linee guida ex ISPESL (attualmente INAIL);**
- La norma UNI EN 14931.**



Linee Guida

**LA GESTIONE IN SICUREZZA  
DELLE CAMERE IPERBARICHE MULTIPOSTO  
IN AMBIENTE CLINICO**

---

<b>NORMA EUROPEA</b>	<b>Camere iperbariche per persone Camere iperbariche multiposto per terapia iperbarica Prestazioni, requisiti di sicurezza e prove</b>	<b>UNI EN 14931</b>
		NOVEMBRE 2006
	Pressure vessels for human occupancy (PVHO) Multi-place pressure chamber systems for hyperbaric therapy Performance, safety requirements and testing	Versione bilingue del gennaio 2008

---

## Linee Guida INAIL exISPESL

### INDICE

1. Campo di applicazione
2. Valutazione del rischio
3. Misure di sicurezza
4. Locali destinati alla installazione delle camere iperbariche
5. Costruzione delle camere iperbariche terapeutiche
6. Proprietà dei materiali utilizzabili all'interno delle camere iperbariche
7. Sistemi da installare in una camera iperbarica
  - 7.1 Impianto elettrico
  - 7.2 Sistemi di circolazione dei flussi gassosi e climatizzazione della camera iperbarica
  - 7.3 Impianto antincendio
8. Registri per la conduzione delle camere iperbariche
9. Gestione del magazzino
10. Manutenzioni
11. Gestione dei pazienti
12. Monitoraggio clinico dei pazienti
13. Personale di assistenza durante una terapia iperbarica
14. Procedure di emergenza e procedure di impiego

## **UNI EN 14931**

### **CONTENTS**

#### **4 PERFORMANCE, SAFETY REQUIREMENTS AND TESTING 5**

##### **4.1 General 5**

##### **4.2 General requirements common to ante chamber and main chamber 7**

**table 1 Relationship between test pressure, maximum allowable pressure/design pressure,**

**maximum operational pressure and atmospheric pressure 7**

##### **4.3 Main chamber requirements 15**

**table 2: Values to be maintained by ventilation 17**

##### **4.4 Ante chamber requirements 19**

##### **4.5 Control console 21**

##### **4.6 Compressed air supply system 25**

##### **4.7 Treatment gas supply 27**

**table 3: Values for coefficient 27**

##### **4.8 Communications 31**

##### **4.9 Emergency power supply 31**

#### **5 OPERATING INSTRUCTIONS 33**

#### **6 MARKING 33**

**Qui di seguito cerchiamo di collegare i fattori di rischio con le indicazioni costruttive e di funzionamento delle camere iperbariche.**

**Le linee guida ISPEL/INAIL sono di libera circolazione pertanto ne posso fornire una copia in formato pdf. Le norme UNI sono a pagamento e quindi non la posso distribuire.**

**Mi preme far notare che la legge sugli impianti a pressione è, nel frattempo, cambiata e quella nuova non viene citata nel vecchio documento dell'ISPELS perché precedente.**

**La camera iperbarica deve aumentare la pressione dell'aria per consentire di poter respirare ossigeno a pressione elevata. Quindi è un recipiente a pressione. Deve mantenere la pressione stabile, altrimenti le persone all'interno si decomprimono e rischiano la PDD.**

**L'ambiente interno è ad alta pressione, quello esterno a pressione atmosferica.**

**Quindi sono necessarie delle tubazioni di aria ad alta pressione e delle tubazioni di ossigeno.**

**I tubi che portano l'ossigeno devono passare fuori dalla camera, per poi entrare all'interno nel punto più prossimo alla somministrazione al paziente. Così se si buca il tubo dell'ossigeno sfoga fuori dalla camera e non aumenta il rischio d'incendio dentro. La massima pressione parziale dell'ossigeno nella camera non deve eccedere il 23,5% (21% secondo la UNI).**

**Si tenga presente che un aumento di 2,5 punti percentuali dell'ossigeno ad 1 ATM comporta un aumento di rischio d'incendio del 12% circa.**

**Ci devono essere delle valvole a chiusura automatica in caso di variazione brusca della pressione su entrambe le tipologie di tubazioni.**

**L'ossigeno deve essere somministrato con delle maschere facciali per ciascun paziente, in modo da non saturare l'ambiente interno di ossigeno, con un aumentato rischio d'incendio.**

**L'impianto elettrico deve essere a norma antincendio e deve essere dotato di un impianto di terra a bassissima resistenza elettrica. Infatti deve scaricare a terra la corrente statica di una grossa massa metallica, costituita dalla camera stessa e da tutti i tubi e gli apparati ad essa collegati. La camera nel processo di compressione/decompressione si carica staticamente di elettricità per effetto dello sfregamento dell'aria nei tubi e nella camera stessa.**

**Nel caso manchi la corrente che alimenta il compressore che comprime l'aria della camera, ci devono essere delle bombole di dimensioni sufficienti per alimentare l'alta pressione dell'aria per il tempo necessario a decomprimere senza rischi le persone in camera iperbarica fino alla pressione ambiente, dalla più alta pressione che sia raggiungibile dall'impianto.**

**La camera deve avere una climatizzazione dell'aria distinta dall'apparato di compressione, in quanto in fase di compressione l'aria si scalda e in fase di decompressione si raffredda, provocando condensazione del vapor d'acqua.**

**Inoltre ci deve essere un impianto antincendio ad acqua in pressione sempre efficiente e carico.**

**La camera deve avere un doppio ambiente interno separabile per consentire l'eventuale accesso o uscita separata dei pazienti o dei sanitari.**

**Inoltre ci deve essere uno sportello con doppia apertura (interno/esterno) per far entrare o uscire cose che non necessitano di decompressione, tipo medicinali, siringhe, panini con porchetta, etc..**

**La gestione dei pazienti deve essere fatta con grande attenzione, come si è visto dall'incidente del Galeazzi di Milano nel 1997. I pazienti devono togliersi i vestiti e indossare abiti in cotone (niente fibre sintetiche che possono emettere scintille) e non devono portare con loro oggetti che possono innescare incendi (scaldini a lenta combustione, per esempio).**

**L'uso di un metal detector non è proibito!**

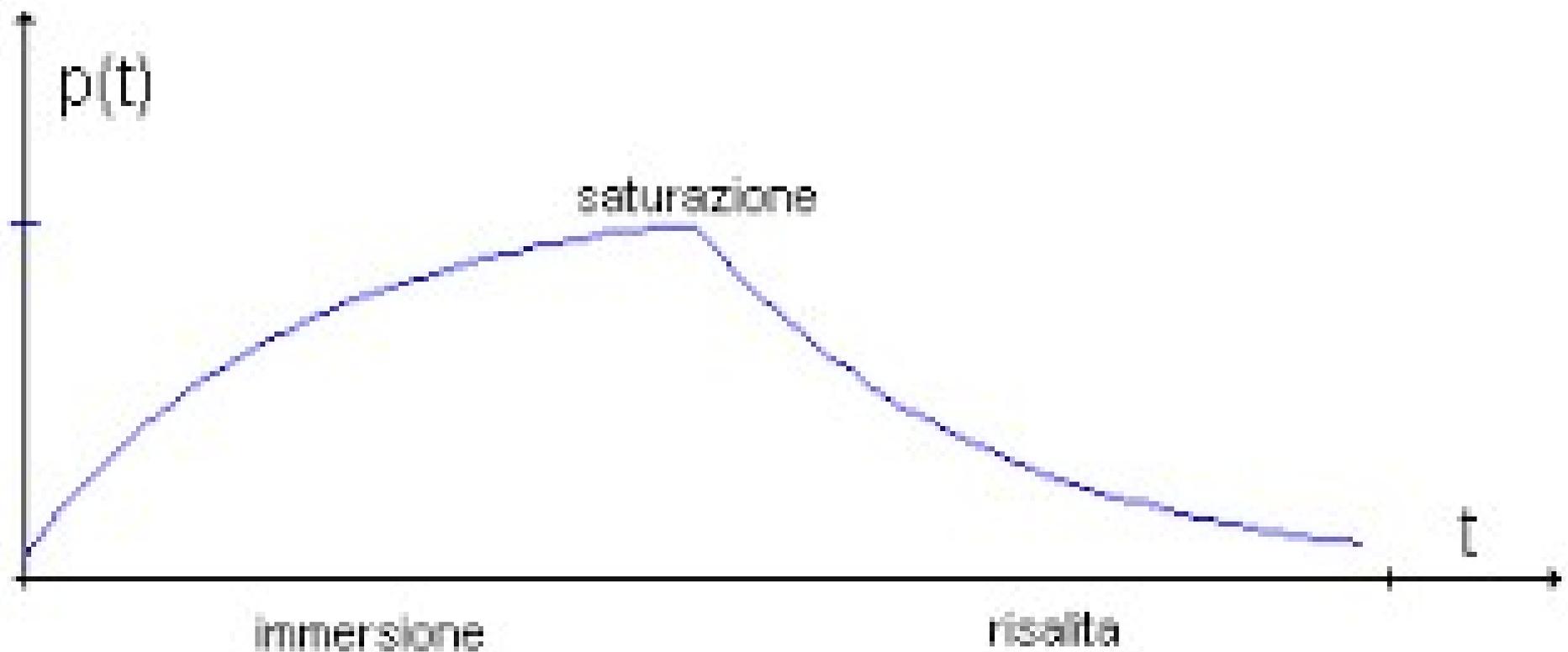
**Il personale della camera iperbarica si divide in interno (che entra nella camera con i pazienti) ed esterno (che manovra la camera).**

**Quello all'interno ha la responsabilità della salute e del benessere dei pazienti.**

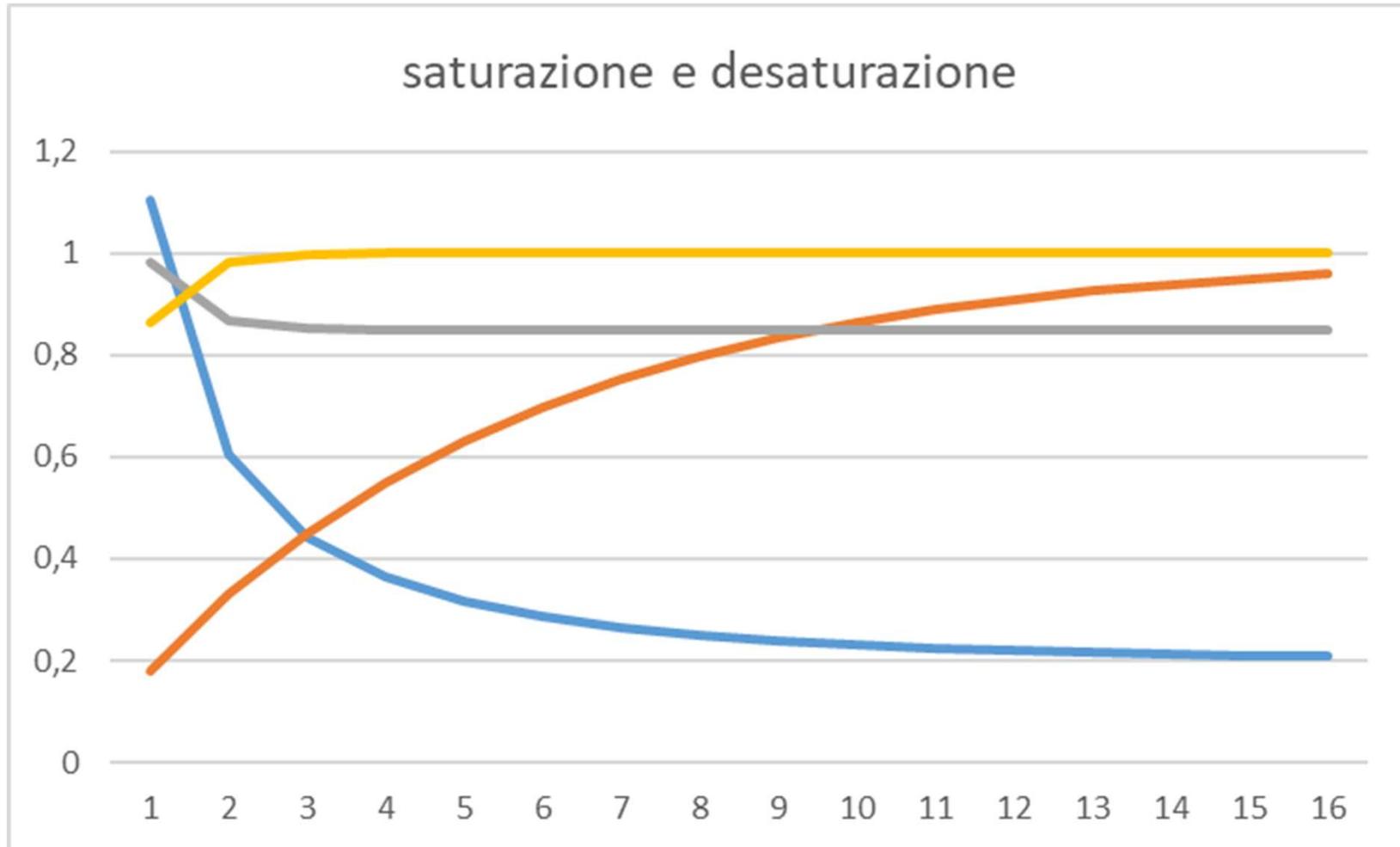
**Quello all'esterno ha la responsabilità della sicurezza iperbarica di tutti quelli che, a vario titolo, stanno dentro.**

# LE PROCEDURE DI DECOMPRESSIONE

## Decompressione Il modello



## Diversi tessuti hanno emitempi differenti

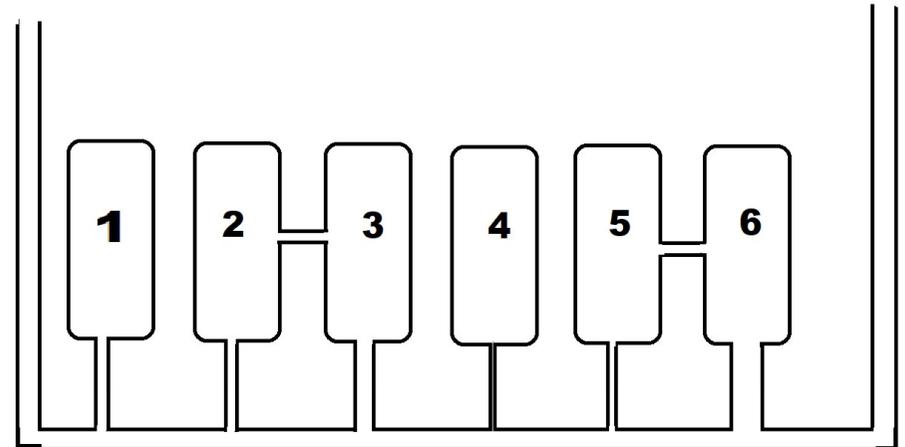


**I vari tessuti che compongono il corpo umano sono messi in contatto ematico dalla circolazione sanguigna, che porta in giro anche l'azoto disciolto. Il sangue ha l'emitempo più breve, quindi satura velocemente (circa due minuti) e trasporta l'azoto ai vari tessuti (perfusione).**

**Alcuni tessuti hanno anche un contatto fisico tra loro e possono trasferire l'azoto anche per diffusione.**

**Per usare una metafora di natura elettrica è come se il sangue mettesse i diversi tessuti che compongono il corpo umano in parallelo, ma alcuni fossero anche in serie tra di loro.**

**Questo ci descrive la cinetica con cui si scambiano l'azoto i vari tessuti. I tessuti vengono identificati con il loro emitempo nel processo esponenziale di saturazione e di desaturazione.**



**Dopo che sono trascorsi sei emitempi un tessuto si considera saturo o desaturato. Quindi il tessuto che viene coinvolto e che ha il tempo (emitempo) più lungo è quello che controlla la decompressione, perché sarà anche il più lento rilasciare tutto l'azoto assorbito.**

**Però se un tessuto è molto lento ed il tempo breve rispetto al suo emitempo, non riuscirà ad assorbire molto azoto e quindi non ne dovrà scaricare molto. Per quantificare il termine "molto" occorre un algoritmo che calcoli la sua saturazione esponenziale secondo il suo emitempo e che calcoli anche lo scambio eventuale con gli altri tessuti coinvolti dalla diffusione.**

## **Ma serve un criterio...**

**Oltre al modello di saturazione e desaturazione serve un criterio di discriminazione tra un processo di decompressione sicura ed una pericolosa.**

**Haldane nel 1908 ha proposto un semplice criterio di 2:1 per tutti i tessuti; ossia la pressione del gas disciolto nei diversi tessuti non deve mai superare il doppio di quella del gas ambiente (respirato). Negli anni questo criterio si è progressivamente adattato alle sperimentazioni delle diverse marine militari. Attualmente si adotta un criterio diverso per ciascun tessuto.**

**Criterio di corretta decompressione Attuale.**

**Anche il numero di tessuti presi in considerazione, rappresentati dai propri emitempi, è aumentato dai primi 6 di Haldane (1908) ai 16/18 di Buhlmann (1980).**

NITROGEN		
Tissue half-time (min)	a	b
2.65	2.200	1.220
7.94	1.500	1,220
12.2	1.080	1.212
18.5	0.900	1.198
26.5	0.750	1.183
37	0.580	1.163
53	0.470	1.149
79	0.455	1.124
114	0.455	1.124
146	0.455	1.071
185	0.455	1.071
238	0.380	1.059
304	0.255	1.040
397	0.255	1.040
503	0.255	1.040
635	0.255	1.040

**Una decompressione corretta per una persona sana non è detto che vada bene per una persona con patologie che coinvolgono la circolazione sanguigna. Pertanto le decompressioni ottimizzate per la camera iperbarica sono di solito più lente di quelle per i subacquei.**

## **VALUTAZIONE DEL RISCHIO**

**La valutazione del rischio richiede la verifica della conformità sia alla linea guida ISPESL citata, che alla norma UNI. Sono necessarie procedure, non solo di decompressione, collaudate e sperimentate.**

**Inoltre occorre avere una soluzione pronta per ogni possibile guasto o interruzione (ridondanza). Infine servono dei controlli di qualità sui gas impiegati e sulle strutture permanenti.**

Evidentemente l'argomento esubera il limitato tempo a disposizione, ma la traccia da percorrere segue il filo del discorso qui presentato.

**GRAZIE PER L'ATTENZIONE**

