

Roma, 3 novembre 2022

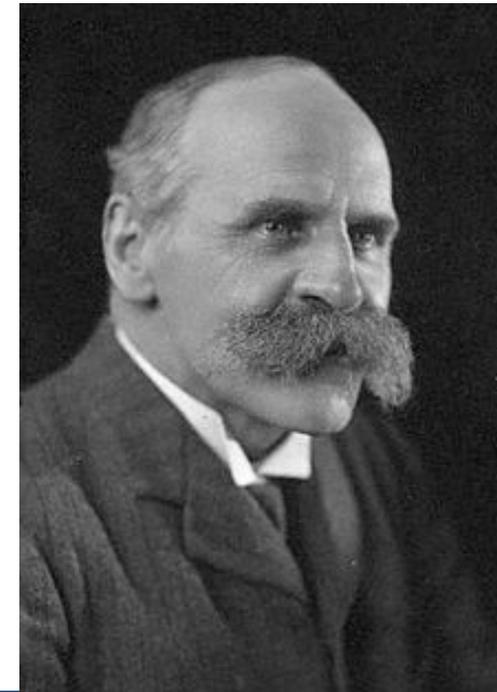
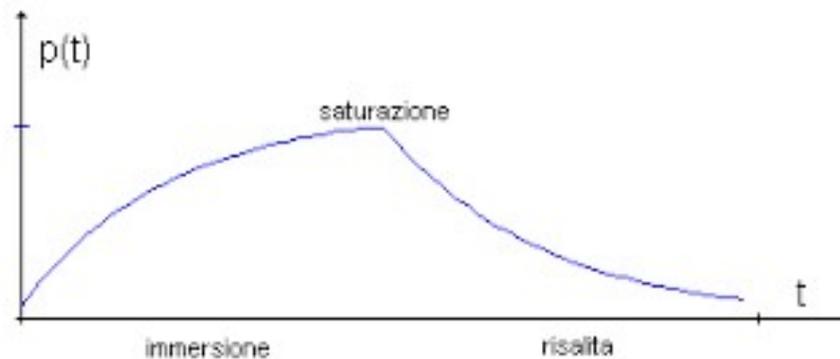
Enrico Marchetti - primo ricercatore

Gli sviluppi nel triennio 2019-2021 della ricerca iperbarica INAIL



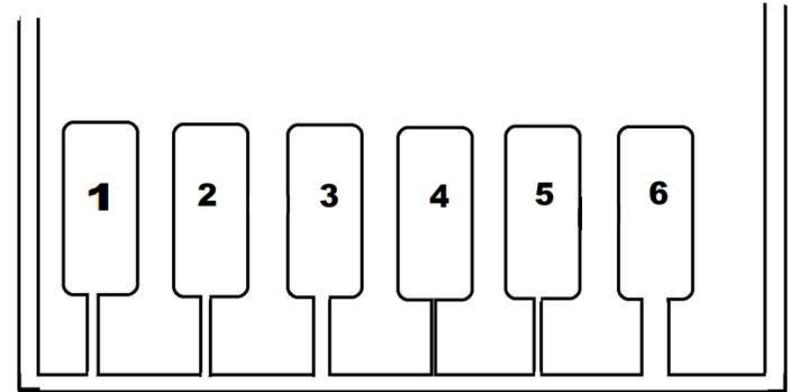
L'esposizione a pressione più alta di quella ambientale ha indotto una notevole attività di ricerca sin dall'inizio dell'era tecnologica. I lavori originali di Paul Bert (1878) e di John Haldane (1908) aprirono la strada ad uno studio scientifico delle varie patologie che si potevano presentare in immersione, a cominciare da quella oggi definita PDD (Patologia Da Decompressione).

Il modello di decompressione di Haldane era esclusivamente chimico-fisico: prevedeva sei tessuti differenti con sei diversi emitempi simmetrici di saturazione/desaturazione ed un singolo valore fisiologico di sovrasaturazione critica di 2:1.



Tale velocità di saturazione viene parametrizzata da un modello matematico esponenziale per ciascun tessuto, dove l'emitempo del tessuto viene individuato dal suo livello di perfusione sanguigna. Haldane ha valutato il tempo di emisaturazione dei vari tessuti [Haldane et al.] per calcolare la saturazione totale ed ha stabilito, come criterio di sicurezza decompressiva, che non dovesse superare il doppio della pressione ambiente.

$$T(t) = c \cdot e^{\beta \cdot t}$$



Questi modelli prendono in considerazione solo i meccanismi e la tensione dell'azoto nei tessuti (perfusione, non diffusione) e non la fisiologia relativa all'intero organismo che subisce le variazioni di pressione in ambiente ostile (stress decompressivo).



Tutti i modelli decompressivi successivi erano simili, limitandosi ad aumentare il numero dei tessuti (A. Buhlmann 1986: 18 tessuti) ed a modificare i valori di sovrasaturazione critica per ciascun tessuto, eventualmente legandoli ad altri aspetti fisiologici e fisici (R. Workman li collega a emitempo e solubilità, 1965).



Infatti Workman introdusse i valori di massima sovrasaturazione critica (M values) per ogni tessuto. In altri modelli si sono adottati indicatori legati alle microbolle ed ai micronuclei presenti nei tessuti [RGBM, Wienke] o ad una asimmetrica velocità di saturazione rispetto alla desaturazione [Thalman et al.].

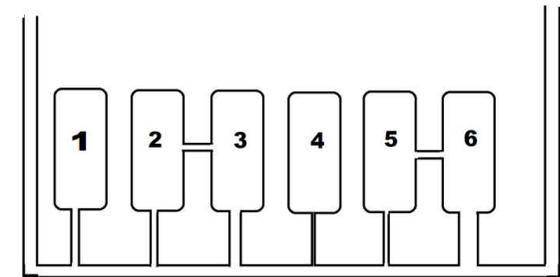


In ogni caso tutte le teorie della decompressione considerano il fenomeno dell'assorbimento e liberazione dell'azoto dai vari tessuti come qualcosa che avviene secondo modelli fisico-chimici in cui gli aspetti fisiologici vengono considerati dal punto di vista perfusionale.

In tempi più recenti ci si è resi conto che il corpo umano funziona come un unico organismo funzionalmente integrato.

Un organismo in cui una causa mette in moto tutta una serie di processi fisiologici e biochimici che coinvolgono parti anche non direttamente collegate dell'organismo (ad es. epigenetica).

Infatti l'Organizzazione mondiale della sanità (OMS) definisce la salute come «uno stato di completo benessere fisico, mentale e sociale e non semplice assenza di malattia».



In effetti la definizione OMS di salute prevede che ogni fenomeno sia integrato con tutto quanto accade nel corpo umano. Inoltre negli anni recenti del nuovo secolo si sono scoperti mezzi d'indagine sui processi metabolici interni molto approfonditi. L'applicazione di questi mezzi all'esposizione ad atmosfere iperbariche è l'obiettivo dei progetti di ricerca che ho proposto e gestito nel corso di tre trienni di ricerca, dal 2016 al 2024.

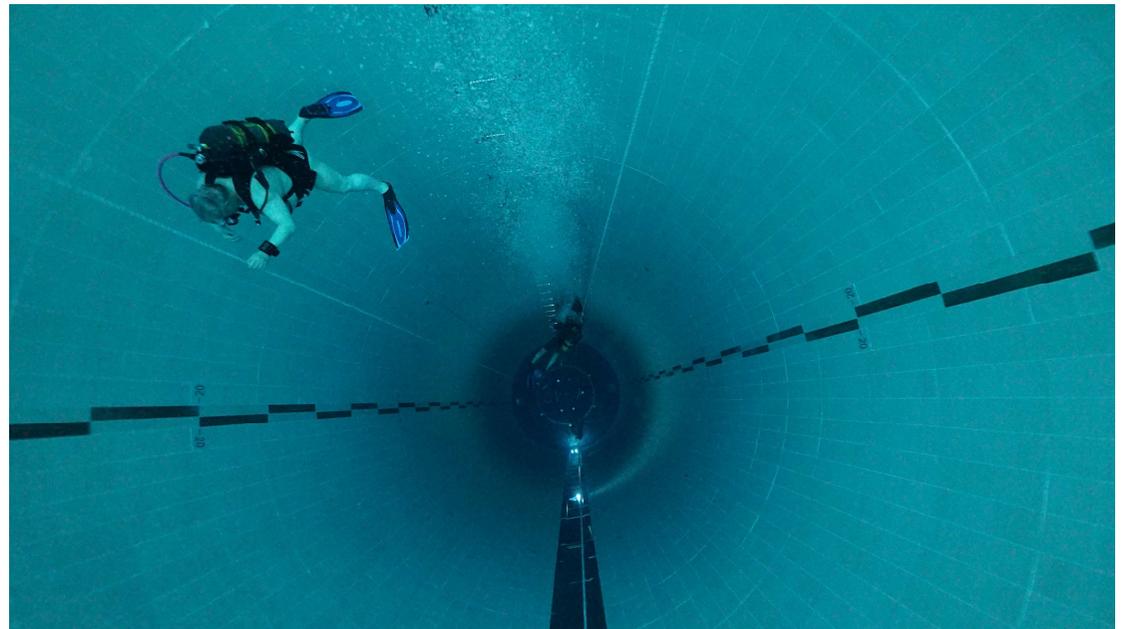
L'ipotesi di riuscire a trovare un indicatore biochimico che si correli bene con la procedura di decompressione seguita, porta alla possibilità di avere una valutazione delle procedure decompressive che non sia legata esclusivamente all'epidemiologia ma anche allo stato di salute dell'individuo inteso come un insieme di corpo e mente.

Se si accetta il concetto di organismo in cui i diversi organi e tessuti interagiscono fra di loro, allora si devono scervere le diverse componenti dello stress decompressivo: temperatura, sforzo fisico, costituzione corporea, formazione ed esperienza.



Occorre rammentare, infatti, che le tabelle di decompressione prendono in considerazione, oltre a durata e profondità, anche osservabili **come percezione della temperatura** ed **esercizio fisico durante l'immersione**. Per questi aspetti, che non indicizzano le tabelle, si ricorre ad un aumento di decompressione passando alla durata successiva ovvero, in casi particolari, alla profondità successiva di quella selezionata per la propria immersione.

Questo fatto è un'implicita ammissione che la fisiologia dell'immersione riguarda il corpo intero e non solo i suoi componenti: tessuti ed organi in relazione con la loro velocità di saturazione dell'azoto.



L'attuale progetto di ricerca nasce con il PNR 2016-2018 e continua con il successivo 2019-2021. Tale progetto si protende nel futuro con il PNR 2022-2024 adesso in vigore.

Il progetto si è trasformato, ovviamente, sulla base delle evidenze raccolte in ciascun progetto triennale. La sua trasformazione ha richiesto una conseguente modifica delle richieste formulate alla ricerca esterna all'INAIL, in modo da venire incontro alle cambiate domande.

Sono state esplorate nel tempo, da parte della rete interna/esterna, diverse risposte potenziali dell'organismo ad agenti fisici iperbarici quali: stress ossidativo, stato immunologico, stato infiammatorio, dispendio metabolico, fattori biochimici valutati con spettroscopia RMN, ormoni e metaboliti del grasso bruno, etc.

Per questo scopo si è sviluppata ad hoc una rete di ricerca che comprende vari dipartimenti universitari oltre all'INAIL ed ai suoi laboratori interni.



Sono stati coinvolti tre Laboratori del DIMEILA dell'INAIL: Agenti fisici, chimici e biologici. Da questi laboratori è giunto non solo supporto di ricerca, ma anche un potente supporto amicale e di pazienza, necessario per superare le prove e le frustrazioni della ricerca sul campo.

Oltre queste risorse interne si sono, nel tempo, attratte e reclutate risorse esterne di due università che hanno fatto capo al Dipartimento di Fisiologia e Farmacologia "V. Erspamer" della Sapienza di Roma insieme all'Università di Roma Tor Vergata. A queste Università si è aggiunto, per un breve triennio, anche l'ENEA, che però ha preferito astenersi negli anni successivi.

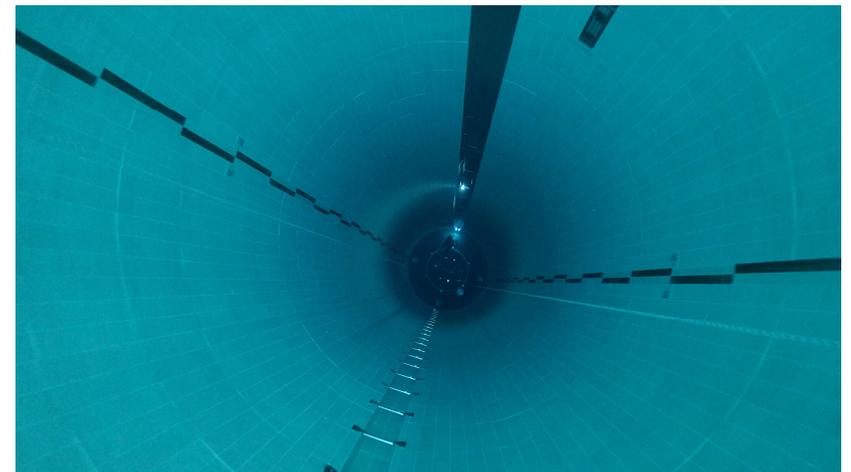
Nel presente triennio si aggiungerà l'ISS (Istituto Superiore di Sanità) e l'Università di Cassino.



Le rilevazioni sul campo sono state condotte in diverse località e condizioni espositive, per cercare di capire l'influenza relativa dei diversi fattori dello stress decompressivo.

Sono state condotte immersioni sperimentali in acque poco profonde a Bolsena (2 sessioni) ed in piscina termale profonda Montegrotto (2 sessioni).

I risultati, come ci si aspettava, sono stati sensibili alle condizioni ambientali di temperatura e attività fisica in immersione. Il confronto tra le diverse risultanze consentirà di associare indicatori biochimici e fattori espositivi secondo un modello matematico che è tuttora in fase preliminare di progettazione.



Le osservabili prese in considerazione grazie alla rete di ricerca attuale sono:

- **Composizione corporea**
- **Abitudini alimentari**
- **Stress ossidativo**
- **Stato infiammatorio**
- **Presenza di allergie**
- **Fitness fisica**
- **Temperatura ambientale e dell'acqua**
- **Esercizio fisico svolto in immersione**

Per sopperire alle carenze metodologiche nella rilevazione delle altre osservabili di interesse, si è fatto ricorso ad un bando esterno (BRIC).

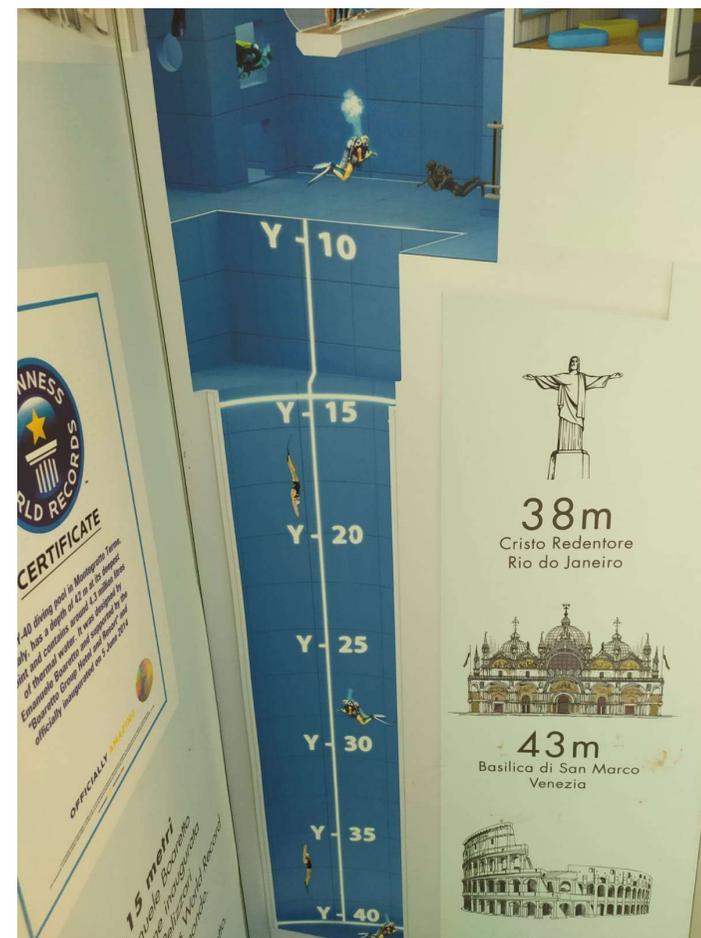


La cordata di gruppi di ricerca esterni è attualmente costituita da:

- **Fisiologia dello sport – Sapienza (capofila e valutazione metabolismo e esercizio fisico)**
- **Nutrizione – Sapienza (valutazione della composizione corporea e delle abitudini alimentari)**
- **Dipartimento di Scienze medico – chirurgiche e biotecnologie – Sapienza (valutazione dello stato infiammatorio)**
- **DIMA – Ingegneria (modellistica matematica e statistica dati)**
- **Biologia - Tor Vergata (valutazione stress ossidativo per via ematica e metaboliti del grasso bruno)**
- **Medicina iperbarica – GSC Poliambulatori Terapia Iperbarica (a titolo gratuito: supporto alle operazioni in campo e contributo alla sicurezza operativa)**



L'attività del progetto si è sviluppata in quattro occasioni sperimentali: due immersioni nel campo di lavoro archeologico del Lago di Bolsena e due immersioni in piscina a temperatura costante di 34°C (Montegrotto). Le immersioni sono state precedute da misurazioni in laboratorio volte ad accertare la composizione corporea con un sistema multimisura per il confronto di dati provenienti da misure fatte in condizioni differenti. Ulteriori misure di fitness fisica sono state fatte nel Laboratorio di Fisiologia dello Sport della Sapienza.



La temperatura costante ed elevata garantisce che alcuni degli adattamenti più caratteristici dell'immersione in acque libere siano resi poco influenti o trascurabili: la percezione del freddo è fortemente attenuata.

Restano sempre presenti gli adattamenti all'ambiente acquatico, quale ad es. la bradicardia da immersione del volto, etc.





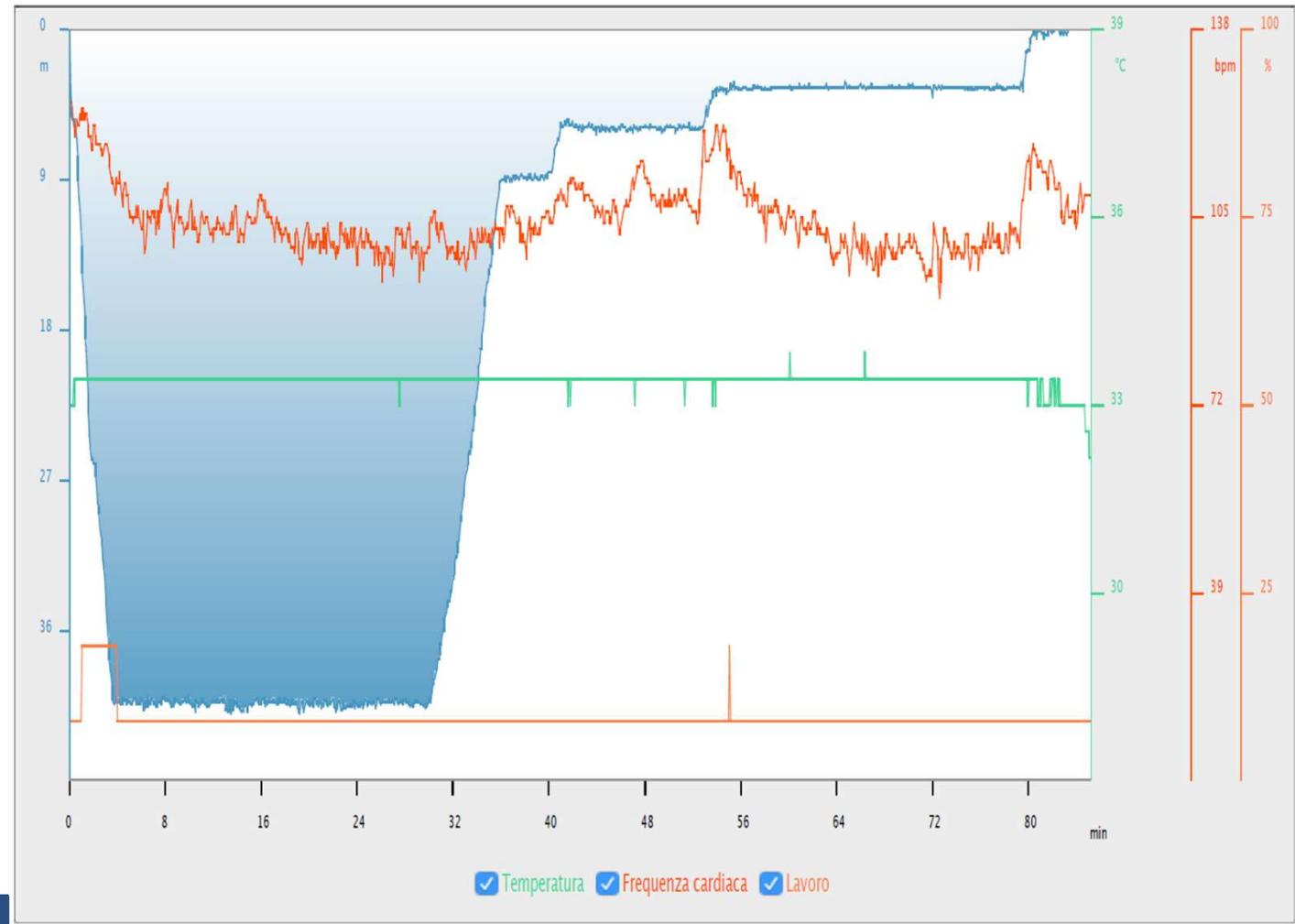
I volontari dei vari esperimenti, a Montegrotto, sono stati esposti per 30 minuti alle tre profondità di 20, 30 e 40 metri.

Prima e dopo le immersioni sono stati raccolti campioni di urina e sangue con una durata, per le urine e per il sangue, di un'ora e mezza.

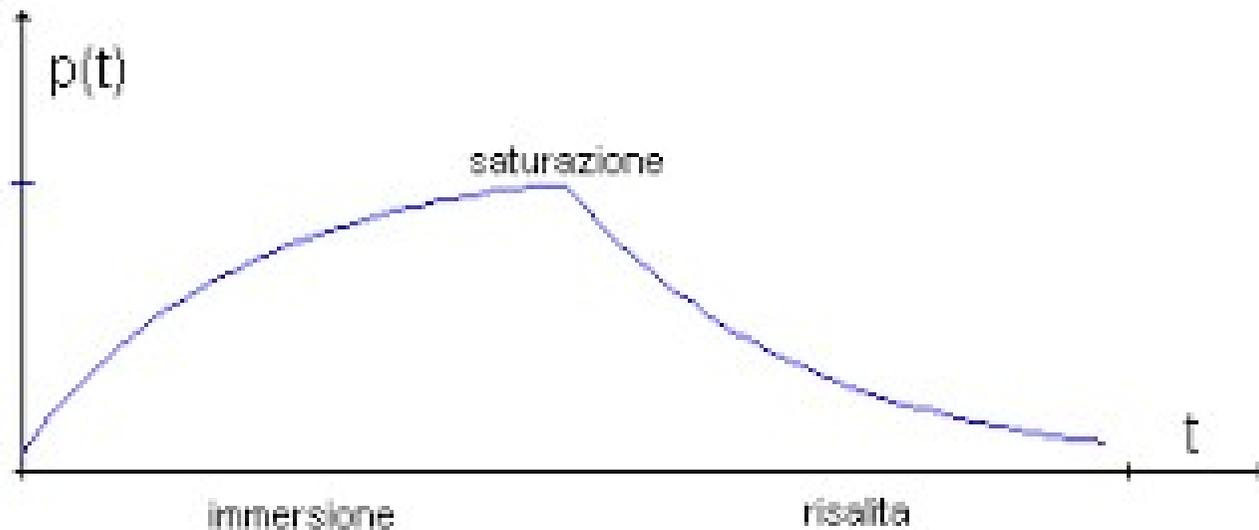


Durante l'immersione sono stati rilevati i parametri fisici di profondità e durata dell'immersione:

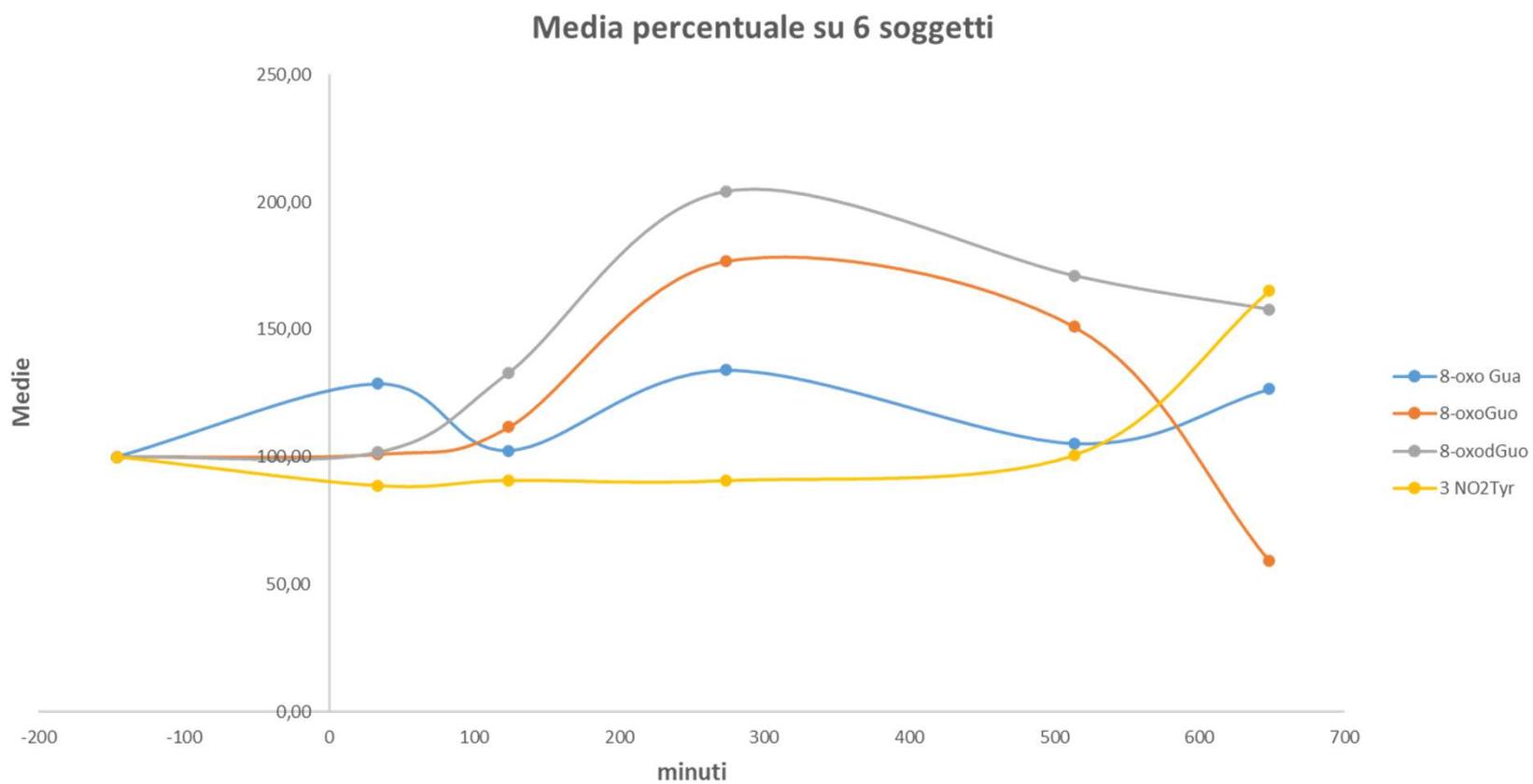
Tale rilevazione è stata fatta con due computer subacquei (decompressimetri) che rilevano anche la **frequenza cardiaca (in rosso)** e la **temperatura dell'acqua (in verde)**.



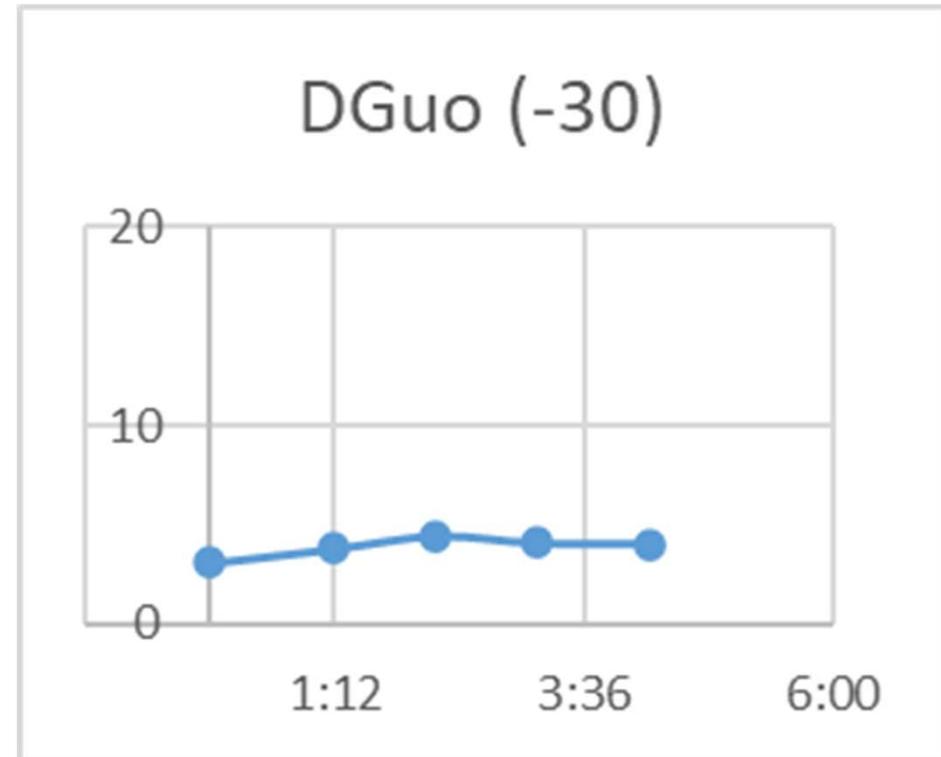
Le tabelle di tipo haldaniano stabiliscono una durata della desaturazione completa di 12 ore perché il tessuto più lento ad assorbire e liberare azoto ha un emitempo di 2 ore. Poiché un fenomeno esponenziale si considera, da un punto di vista pratico, esaurito dopo sei emitempi, si raggiunge una desaturazione completa dopo 12 ore.



Immersione al lago (BRIC 2016)



Immersione in piscina (Montegrotto)



COS'ALTRO FA L'INAIL?

A seguito dell'inserimento nel Regolamento dell'ISPESL delle atmosfere iperbariche tra gli agenti fisici, avvenuto nel 2006, anche il D. Lgs. 81/08 ha adottato tale classificazione.

Oltre alle attività di ricerca, i cui risultati verranno illustrati di seguito, abbiamo sviluppato, [con alcuni entusiasti colleghi](#), la sezione iperbarica del Portale Agenti Fisici (PAF) e stiamo mettendo a punto per conto del Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle P.A. in collaborazione con INAIL ed ISS le Frequently Asked Questions (FAQ) relative al settore iperbarico.



COS'ALTRO FA L'INAIL?

Ampi settori delle attività lavorative in ambiente iperbarico sono poco o nulla normati, con conseguente aumento del rischio lavorativo correlato al fatto di operare in alta pressione.

Per fare un esempio delle condizioni legislative italiane citerò il DPR 321/56 per lo scavo delle gallerie, in cui la decompressione prevista è di due terzi più corta delle tabelle US Navy attuali. ED È LEGGE DELLO STATO!

Non esiste alcuna norma sia per la ricerca subacquea che per l'itticoltura, settori in costante crescita. E questo, purtroppo, porta ad incidenti a volte mortali (Piombino).

Pertanto il personale di ricerca INAIL partecipa alla stesura di norme UNI di salvaguardia dai rischi lavorativi in immersione (off shore, ricerca e itticoltura).



Grazie per l'attenzione

