

## SCHEDA INFO<sub>iper</sub>BARICA

# IMMERSIONE SUBACQUEA: APPARATO RESPIRATORIO



Immagini generate da IA Copilot



Banca dati immagini Inail

Il rischio da esposizione ad **ATMOSFERE IPERBARICHE** è un rischio multifattoriale, che va valutato **tenendo in considerazione gli altri rischi specifici del contesto lavorativo in cui si opera.**

### Tecniche di immersione

Risalgono all'**antichità**, quando l'uomo primitivo cercava di immergersi trattenendo il respiro, per la pesca subacquea e la ricerca di ricchezze.

#### Immersione in apnea

**Senza bombole**, trattenendo il respiro. Si basa su rilassamento, controllo respiratorio e assetto.

**Apnea statica** (fermi, trattenendo il respiro); **Apnea dinamica** (nuoto orizzontale)  
**Apnea in profondità** (discesa verticale); **Apnea in assetto costante** (scendere e risalire con le proprie forze, pinne o monopinna); **Free immersion** (discesa e risalita tirandosi lungo un cavo).

Oggi risulta molto praticata l'immersione in apnea, conosciuta come **Free diving**, perché offre una sensazione di libertà grazie alla ridotta attrezzatura richiesta.

Oltre allo sport, molti lo vivono come una pratica meditativa: silenzio, lentezza, profondità. Disciplina che infonde meditazione, controllo mentale e forma fisica, consentendo di scendere in profondità in armonia con l'ambiente marino.

*Nota: Non immergersi mai da soli e praticare sempre con un compagno esperto o almeno di pari esperienza perché deve poter scendere alla stessa profondità per eventuale recupero.*

## Immersione in apnea: problemi respiratori

Nell'immersione in apnea il problema respiratorio principale è legato ai sintomi di carenza di ossigeno che sono dissociati da quelli dell'aumento di anidride carbonica.



### Motivazioni

Quando la  $ppCO_2$  è aumentata di poco, aumenta la ventilazione con possibilità di contrazioni diaframmatiche (in alcuni sono deboli e sincronizzate con il battito cardiaco, talvolta vanno in risonanza). Quando la  $ppCO_2$  è alta per l'alterata sintesi di neurotrasmettitori non si avverte più la fame d'aria. Inoltre, dopo ripetute esposizioni ad aumentata  $ppCO_2$  si riduce l'impulso all'aumento della ventilazione

Aumento  
di anidride carbonica



Potrebbe avvertire  
con le contrazioni  
diaframmatiche

Carenza di ossigeno



Non ci avverte e  
induce perdita dei  
sensi

Questi due aspetti devono essere visti nel quadro della variazione delle pressioni parziali dei gas dovuta alla variazione di profondità.

Si consiglia di evitare iperventilazione spinta; solo un paio di atti respiratori profondi.

## Immersione con autorespiratore (SCUBA-Self-Contained Underwater Breathing Apparatus )

Permette immersioni più lunghe e profonde, esplorando i fondali marini respirando aria compressa da una bombola, contenente aria (ARA=Auto-Respiratore ad Aria) o miscele di gas a varie concentrazioni di ossigeno e azoto.

Tali tecniche permettono una respirazione normale durante l'immersione, in modo da prolungare l'immersione stessa, sia con finalità ricreative che professionali.

## Respirazione con autorespiratore

L'erogatore fornisce aria **alla stessa pressione dell'ambiente.**

Una respirazione lenta e profonda aiuta a:

- ridurre lo sforzo
- risparmiare aria
- prevenire l'accumulo di  $CO_2$

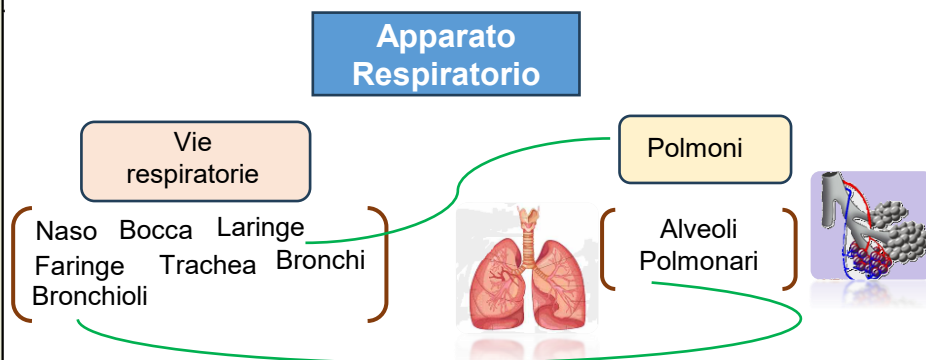


Immagine generata da IA Copilot

Un aspetto non connesso con la respirazione, ma molto importante, è la purezza dei gas respiratori. Si deve evitare la presenza del monossido di carbonio, responsabile di molti decessi in immersione.



## APPARATO RESPIRATORIO



*I cambiamenti fisiopatologici del subacqueo suggeriscono particolare attenzione nella valutazione preventiva, specie per l'apparato respiratorio, in funzione del tipo di immersione, della profondità, dei tempi di immersione e del lavoro svolto.*

### Immersione

#### Comporta modificazioni fisiche e fisiologiche

- ❑ **Aumento** della pressione ambiente e dei gas, con diffusione nei diversi tessuti.
- ❑ **Adeguate smaltimento** durante la risalita, per non incorrere in una Patologia da Decompressione (PDD) dei gas respirati.
- ❑ **Evitare di trattenere** il respiro durante la risalita stessa, per non creare una sovradistensione del tessuto polmonare (PBT=*Pulmonary BaroTrauma*).

### Pressione e polmoni

Con l'aumentare della profondità, **la pressione aumenta** (circa +1 atmosfera ogni 10 metri).

L'aria nei polmoni **si comprime in discesa** e **si espande in risalita** (legge di Boyle).

**Non bisogna mai trattenere il respiro:** l'espansione dell'aria può causare **barotrauma polmonare** o **embolia gassosa**.

*In profondità l'ossigeno ha una **pressione parziale più alta**, utile ma potenzialmente tossica se eccessiva (**tossicità dell'O<sub>2</sub>**). Anche l'azoto aumenta la sua pressione parziale (**narcosi da profondità**).*

#### Motivazione

La narcosi è dovuta all'impatto delle aumentate pressioni parziali dei gas (azoto, anidride carbonica e anche alte pressioni parziali di ossigeno) sulla sintesi di neurotrasmettitori quali *brain derived neurotrophic factor* (BDNF), dopamina, glutammato tra gli altri.



*Immagine generate da IA Copilot*



## **Rischi dell'immersione subacquea**



*Immagine generata da IA Copilot*

***Il rischio da esposizione ad atmosfera iperbarica è sempre da valutare considerando sia l'adattamento dell'organismo alle variazioni della pressione esterna sia alle variazioni della pressione parziale dei differenti gas che vengono, inalati dall'operatore.***

I rischi dell'immersione subacquea sono specifici per i soggetti affetti da patologie respiratorie, come l'asma e la BPCO (Bronco Pneumopatia Cronica Ostruttiva).

E' importante una valutazione medica scrupolosa per prevenire incidenti e garantire la sicurezza stessa dei subacquei. Le linee guida per l'idoneità respiratoria all'immersione subacquea includono raccomandazioni specifiche anche per i soggetti con asma.



## Effetti

Effetti di tipo **acuto** e di tipo **cronico** con conseguenze più o meno gravi, che vanno dall'irritazione cutanea alla morte. I sintomi compaiono o durante o a seguito dell'esposizione, nel passaggio dall'ambiente in sovrappressione alla pressione atmosferica di partenza.

Esposizione	Effetti respiratori
Aerosol/vapori di olio	Irritazione bronchiale, tosse, dispnea: possibili quadri di polmonite chimica.
Particelle ultrafini (< 5 µm; es: Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , FeO <sub>x</sub> )	Deposizione alveolare, infiammazione della barriera alveolo capillare.
Esposizione	Effetti sistemici secondari
Monossido di carbonio (CO)	Ipossia tissutale con coinvolgimento neurologico (cefalea, confusione, alterazione del giudizio, perdita di conoscenza).
VOC/Idrocarburi	Effetti neurotossici (euforia, disorientamento) e cardiovascolari (aritmie).
Particolato metallico ultrafine	Possibile coinvolgimento cardiaco (aritmie) e neurologico per meccanismi infiammatori/ossidativi sistemici.

*CO, VOC: idrocarburi che entrano nell'organismo attraverso la ventilazione della miscela gassosa respirata in immersione.*

### In Particolare



Agente	Limite tecnico indicativo	Organo primario	Possibili effetti sistemici
CO	≤ 5 ppm	SNC	Confusione, perdita di coscienza
Olio	≤ 0,5 mg/m <sup>3</sup>	Polmone	Dispnea, danno alveolare
VOC	Variabile	SNC/cuore	Euforia, aritmie
Particolato (<5 µm)	Non specificato	Alveoli	Infiammazione, effetti cardiaci /neurologici



### Segnali clinici precoci

Alterazione improvvisa dello stato cognitivo, nausea, tosse, dispnea, percezione di aria anomala

### Condotta (azioni correttive)

Interrompere l'immersione, risalita controllata, ossigeno normobarico in superficie, valutazione medica.

## Ruolo della respirazione nella sicurezza

### Una buona respirazione

subacquea è:

- continua
- lenta
- profonda
- Rilassata



Questo aiuta a:

- mantenere un buon assetto
- ridurre il consumo d'aria
- prevenire stress e incidenti
- ridurre il rischio connesso con l'iperventilazione



Immagini generate da IA Copilot

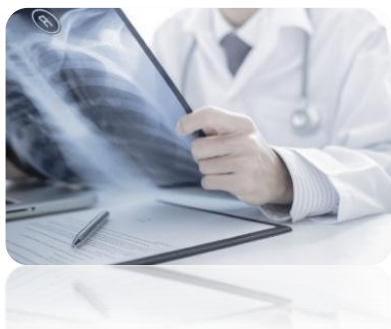
## Valutazione

PAF



La valutazione del subacqueo sano o con patologie respiratorie, deve essere:

- approfondita,
- personalizzata,
- deve tener conto della maturità del soggetto,
- del suo livello di comprensione,
- del senso di responsabilità e disponibilità ad accettare un presunto aumento di rischio.



*Banca dati immagini Inail*

**Un controllo medico preventivo e periodico è la miglior garanzia per poter svolgere l'attività subacquea in tranquillità e permette di conoscere la situazione personale del candidato, suggerendo le tecniche e i metodi di immersione adattati al soggetto.**

## Nota tecnica EN 12021

La norma tecnica EN 12021 per aria respirabile compressa:

- stabilisce CO  $\leq$  5 ppm e olio totale  $\leq$  0,5 mg/m<sup>3</sup>;
- richiede assenza di odori/sapori anomali;
- impone controllo dell'umidità per prevenire corrosione e formazione di particolato.



Banca dati immagini Inail

## Riferimenti

- D.Lgs. 9 aprile 2008, n. 81 Attuazione dell'articolo 1 della l. 123/2007, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro. Gazzetta ufficiale n. 101 del 30 aprile 2008. Supplemento ordinario n. 108/L
- Inail (<https://www.inail.it/>)
- Centro iperbarico Ravenna (<https://iperbaricoravenna.it/>)
- SIMSI - Società Italiana di Medicina subacquea ed Iperbarica (<https://simsi.it/>)
- Undersea and Hyperbaric Medical Society (UHMS) (<https://www.uhms.org/>)
- Compressor Operator AIR. Annotazioni su compressori e qualità aria secondo EN 12021:2014 (estratto manual NADD), 2026
- Hadrup N, Sørli J, Frederiksen M, et al. Oil mists and vapours: A review of exposure and toxicity, with dose descriptors from inhalation studies. *Toxicology* 2025; 519:154314. doi: [10.1016/j.tox.2025.154314](https://doi.org/10.1016/j.tox.2025.154314)

## Autori

**Daniela Pigni<sup>1</sup>, Maurizio Schiavon<sup>2</sup>, Enrico Marchetti<sup>1</sup>, Pasquale Longobardi<sup>3</sup>,  
Francesca Filippucci<sup>4</sup>, Corrado Costanzo<sup>5</sup>, Andrea Bogi<sup>6</sup>, Maria Concetta D'Ovidio<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro e Ambientale (DiMEILA), Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro (INAIL), Monte Porzio Catone (Roma)*

<sup>2</sup> *Specialista in Medicina dello Sport, Medical Examiner of Divers Level 1*

<sup>3</sup> *Direzione Sanitaria Centro Iperbarico Ravenna, Presidenza AA Fondazione Mistral*

<sup>4</sup> *Specialista in Medicina Legale, AUSL della Romagna di Rimini*

<sup>5</sup> *Centro Iperbarico G.S.C. Srl, Roma*

<sup>6</sup> *Laboratorio di Sanità Pubblica, USL Toscana Sud Est (Siena)*

**Curatori Schede INFO<sub>iper</sub>BARICHE:** Maria Concetta D'Ovidio<sup>1</sup>, Daniela Pigni<sup>1</sup>

**Ideazione Schede INFO<sub>iper</sub>BARICHE:** Maria Concetta D'Ovidio<sup>1</sup>

**Contatti Schede INFO<sub>iper</sub>BARICHE:** [m.dovidio@inail.it](mailto:m.dovidio@inail.it)