



SCHEDA INFO_{iper}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.

**Aumento
di anidride carbonica**



Potrebbe avvertire
con le contrazioni
diaframmatiche

Carenza di ossigeno



Non ci avverte e
induce perdita dei
sensi

Motivazioni

Quando la ppO_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

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

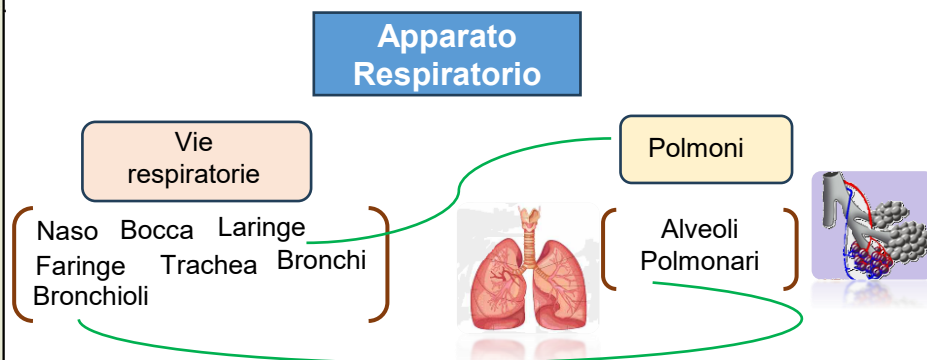


Immagine generata da IA Copilot

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'O₂**). 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 neutrophic factor* (BDNF), dopamina, glutammato tra gli altri.



Immagini 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 ($< 5 \mu\text{m}$; es: Al_2O_3 , FeO_x)	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	$\leq 5 \text{ ppm}$	SNC	Confusione, perdita di coscienza
Olio	$\leq 0,5 \text{ mg/m}^3$	Polmone	Dispnea, danno alveolare
VOC	Variabile	SNC/cuore	Euforia, aritmie
Particolato ($< 5 \mu\text{m}$)	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



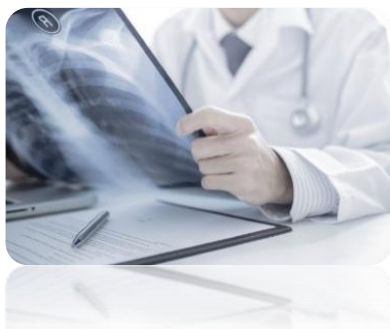
Immagini generate da IA Copilot



Valutazione

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 $CO \leq 5 \text{ ppm}$ e olio totale $\leq 0,5 \text{ mg/m}^3$;
- ☐ 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 Pigini¹, Maurizio Schiavon², Enrico Marchetti¹, Pasquale Longobardi³,
Francesca Filippucci⁴, Corrado Costanzo⁵, Andrea Bogi⁶, Maria Concetta D'Ovidio¹**

¹ *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)*

² *Specialista in Medicina dello Sport, Medical Examiner of Divers Level 1*

³ *Direzione Sanitaria Centro Iperbarico Ravenna, Presidenza AA Fondazione Mistral*

⁴ *Specialista in Medicina Legale, AUSL della Romagna di Rimini*

⁵ *Centro Iperbarico G.S.C. Srl, Roma*

⁶ *Laboratorio di Sanità Pubblica, USL Toscana Sud Est (Siena)*

Curatori Schede INFO_{iper}BARICHE: Maria Concetta D'Ovidio¹, Daniela Pigini¹

Ideazione Schede INFO_{iper}BARICHE: Maria Concetta D'Ovidio¹

Contatti Schede INFO_{iper}BARICHE: m.dovidio@inail.it