

ATMOSFERE IPERBARICHE: NON SOLO MARE

Enrico Marchetti (1), Angelo Tirabasso (2)

(1) Ex ISPESL, Dipartimento di Igiene del Lavoro, Laboratorio Agenti Fisici, Via di Fontana Candida 1, 00040 Monte Porzio Catone (RM).

(2) Università di Roma Tor Vergata, Dipartimento di Otorinolaringoiatria.

1. INTRODUZIONE

Le attività lavorative svolte in atmosfera iperbarica hanno una lunga storia (fig. 1), ma mai come oggi sono state diversificate per finalità e ambiente di svolgimento.

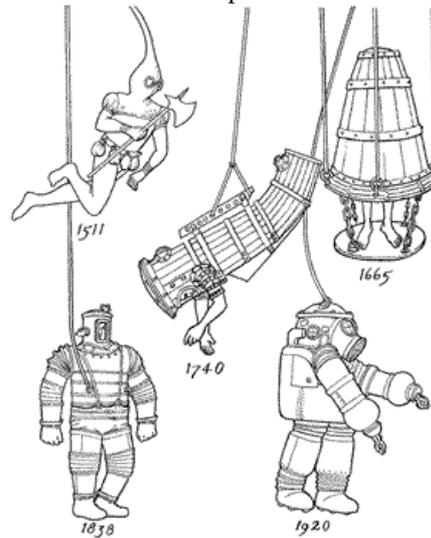


Figura 1: alcune forme di lavoro subacqueo in contesto storico.

Dopo il 1700, grazie all'evoluzione tecnologica della rivoluzione industriale, iniziava l'era dei "cassonisti". Questi erano operai che lavoravano in una miniera allagata da cui veniva espulsa l'acqua pompando aria a pressione nell'ambiente di lavoro. Quest'aria, a pressione maggiore di quella atmosferica, li esponeva ad un rischio più subdolo di quello da cui li doveva proteggere: l'annegamento. La consapevolezza di tale rischio comincia a prendere forma pochi anni dopo: nel 1716 Halley [1], infatti, osservava alcuni peculiari effetti sugli operai. Nel 1845 Triger [2] estende tali osservazioni, ma dobbiamo arrivare alla fine dell'800 per avere un tangibile interesse per la compressione e decompressione (riconosciuta nel 1878 da Paul Bert [3] come responsabile delle patologie osservate). Infatti nel 1907 la

Marina Militare britannica attribuisce l'incarico a John Scott Haldane di studiare delle procedure di decompressione per i palombari della Marina. Questo incarico produce un caposaldo della teoria della decompressione [4] che produce tuttora risultati. Questo studio, infatti, contribuì a determinare le impostazioni che vengono ancora oggi seguite per elaborare la corretta procedura di decompressione per le diverse professionalità che operano in atmosfere iperbariche.

Notiamo a margine che l'inizio dell'attività lavorativa in atmosfere iperbariche non è legata all'acqua ma è, piuttosto, la conseguenza dell'intenzione di effettuare attività a secco in ambienti naturalmente allagati. Le attività lavorative sono di carattere industriale, con notevole impegno di capitale, ed i lavoratori sono costituiti da personale proletario poco professionalizzato.

Solo con la nascita della figura del palombaro (dopo il 1800) la professionalità di chi lavora in alta pressione comincia a crescere. Infatti nel 1829 Charles e John Deane progettano e realizzano il primo elmo da palombaro. Un'attrezzatura individuale così tecnologica e costosa non può essere messa in testa a persone poco qualificate.

La crescita della professionalità ha portato con sé anche un aumento della tutela, con la conseguente formazione di figure giuridicamente definite e tutelate. Nel tempo si è anche sviluppata una disciplina giuridica tecnica per alcune delle figure che si sono andate differenziando a partire dalle due precorritrici: cassonisti e palombari.

L'attuale stato delle cose è alquanto più articolato di quanto non fosse agli albori del lavoro in ambienti iperbarici. Le professioni che afferiscono alle atmosfere iperbariche si svolgono sia in acqua che a secco, vedono impegnate sia uomini che donne e sono variamente tutelate dal punto di vista sanitario e fisico. Il presente lavoro si prefigge di esaminare le varie tipologie di lavoro iperbarico e di valutare la loro tutela giuridica dal punto di vista della salute e prevenzione lavorativa, limitandosi al solo agente iperbarico.

Naturalmente i fattori di rischio che accompagnano queste attività lavorative sono molti ed i più disparati. Alcuni di questi fattori di rischio interagiscono tra loro dando luogo ad un'esposizione difficilmente valutabile, in quanto mancano gli indicatori corretti per l'interferenza. Per citare un esempio ovvio basta considerare le vibrazioni e il microclima severo freddo per i subacquei di alto fondale. Anche gli aspetti di sicurezza sono a volte interferenti: se il mare è mosso la decompressione non si può fare in acqua. La valutazione di tutti questi aspetti ci distrarrebbe dal mettere correttamente a fuoco la pura e semplice azione di un'atmosfera iperbarica. Pertanto non si terrà conto di alcun altro fattore di rischio che non la pressione del gas inerte che è presente nella miscela respiratoria. Con questo non si vuole sminuire ogni altro aspetto che qui viene omissis, ma solamente porre l'accento su uno dei rischi fisici che è entrato a far parte solo di recente della consapevolezza dei preventori.

L'esposizione ad atmosfere iperbariche fa sì che il gas presente nella miscela respiratoria, che non prende parte agli scambi metabolici, passi nei tessuti del lavoratore. Quando egli torna all'atmosfera di partenza il gas inerte deve nuovamente tornare all'ambiente. Questo può essere un evento potenzialmente rischioso che deve essere prevenuto. Nel tempo si sono sviluppate delle idonee strategie per prevenirlo ed evitarlo. Questo sono le procedure di decompressione che si fondano sulle tabelle di decompressione e sul loro corretto uso. Prima degli anni '80 l'unico di tali sussidi era costituito dalle tabelle di decompressione della

Marina Militare degli Stati Uniti (USN: *United States Navy*). Queste servivano a tutti: erano utilizzate sia per immersioni commerciali (in acqua ed in secco) sia per immersioni ricreative e anche per sottoporre a terapia i subacquei incidentati. Ancora adesso le tabelle più utilizzate e più recenti sono quelle della Marina Militare degli Stati Uniti (cui ha contribuito pure quella Italiana), cui si sono però aggiunte negli anni '90 le tabelle del Ministero del Lavoro Francese ed infine quelle dette RGBM, che fanno capo ad un diverso modello (si veda oltre). Ma soprattutto le tabelle si sono diversificate per tipologia di attività. Attualmente nelle diverse professioni che operano in ambiente iperbarico le tabelle operative sono moltissime, sia in aria che in acqua. Le grandi compagnie hanno sviluppato le proprie, dato che devono essere specifiche per una attività e non per altre. Naturalmente è intuitivo capire che non tutte le tabelle vanno bene per tutte le attività. Questo dipende essenzialmente dalle condizioni di test delle tabelle, oltre che dalle ipotesi sotto cui sono state derivate. Questo fa nascere l'esigenza che la procedura sia valutata prima di eseguire il lavoro, per poterla commisurare con le altre precauzioni adottate. Quindi ne nasce un obbligo in sede di valutazione dei rischi: programmare l'esposizione ad atmosfera iperbarica e scegliere la tabella di decompressione. Questo deve essere l'obiettivo centrale dell'attività di valutazione preventiva dei rischi per questo peculiare agente fisico. Perché ciò sia operativamente fattibile occorre che sia sancito per legge e che non ci siano procedure obbligate da norme troppo vincolanti, in modo da poter scegliere la tabella migliore fra quelle a disposizione. Questo ci porta a fare un esame delle diverse professioni e delle loro caratteristiche.

2. RASSEGNA DELLE BASI TEORICHE DELLA DECOMPRESSIONE

La legge fisica fondamentale che fa da base al modello decompressivo di Haldane è la legge di Henry, la quale afferma che due gas a pressione differente tendono ad equilibrarsi quando siano posti in comunicazione.

La tendenza a raggiungere l'equilibrio (livello di saturazione o tensione T) ha un andamento proporzionale al tempo trascorso ed alla differenza di pressione tra i due gas:

$$dT = \beta \cdot t \cdot dP \quad \{1\}$$

La costante di proporzionalità β è una caratteristica del gas inerte che si trova nella miscela respiratoria, ma anche del tessuto in cui si scioglie. Questa proporzionalità tra livello di saturazione, pressione e tempo conduce, per integrazione, ad una legge esponenziale di aumento della saturazione nel compartimento che ha la pressione più bassa:

$$T(t) = c \cdot e^{\beta t} \quad \{2\}$$

con $\beta = \frac{1}{\tau}$

Il tempo τ rappresenta il tempo caratteristico (emitempo) in cui il compartimento a pressione più bassa assorbe la metà del gas inerte che dovrebbe complessivamente assorbire in ragione della differenza di pressione e della sua capacità, per un tempo infinito.

Il corpo umano non è ovviamente costituito da due soli compartimenti, ma si compone di una enorme intreccio di tessuti diversi, ognuno con caratteristiche di assorbimento del gas inerte differenti. Il tessuto immediatamente a contatto con il gas inerte è, escludendo la cute, quello polmonare, che però ha una funzione di trasferimento al sangue molto rapida. Quindi in definitiva, è il sangue che trasporta il gas inerte ai diversi tessuti. Tutti i tessuti scambiano, per contatto o per contiguità dei vasi sanguigni che li irrorano, gas inerte fra loro. Pertanto è stato inizialmente assunto che la velocità di assorbimento dell'inerte fosse proporzionale alla perfusione sanguigna del determinato tessuto. In tempi più recenti¹ ci si è resi conto che in realtà anche la diffusione atomica del gas all'interno dei vari tessuti può indurre un assorbimento significativo e rapido del gas inerte. Il diverso rapporto, in termini di quantità di inerte trasportato, tra perfusione e diffusione determina l'applicazione ottimale di differenti procedure di decompressione [6].

Il modello adottato da Haldane fa ricorso al solo meccanismo della perfusione e prevede che l'aumento della pressione parziale interna (saturazione) e la sua diminuzione in fase decompressiva (desaturazione) siano due fenomeni simmetrici ed esponenziali (si veda {2}). Dato che i tessuti che costituiscono il corpo umano si comportano in maniera differente dal punto di vista della velocità di saturazione e di desaturazione, Haldane [4] suddivise il corpo umano in cinque compartimenti (costituiti da insiemi di tessuti omogenei fra loro rispetto alla velocità di saturazione) con differenti tempi caratteristici di saturazione (emitempi) $1/\tau_i$ (con $i= 1, 2, \dots, 5$) rispettivamente uguali a 5, 10, 20, 40, 75 minuti. Successivamente il numero dei compartimenti è passato da cinque a sei (tabelle USN anni 50' ÷ '60) [7] e poi da sei a dodici (tabelle della Marina Francese e del Ministero del Lavoro Francese del 1990) [8] che costituisce il modello con il numero massimo di compartimenti in cui ricadono, come velocità di saturazione, tutti gli organi e i tessuti del corpo. Ognuno di questi compartimenti ha il suo tempo caratteristico (emitempo). Ossia il tempo in cui raggiunge un assorbimento del 50 % del gas che può essere complessivamente contenuto come soluto in quel determinato solvente alla temperatura del corpo umano ed alla pressione data. Questo emitempo caratterizza la forma della curva esponenziale per quel dato compartimento. I vari compartimenti scambiano gas inerte fra loro tramite il sangue.

Un'ulteriore osservazione formulata da Haldane consistette nel fatto che esistono due regimi in cui un gas disciolto può tornare alla forma gassosa libera: uno senza formazione di bolle ed uno con formazione di bolle. La differenza tra i due tipi di passaggio risiede nella velocità di variazione della pressione interna riferita a quella esterna. Si è potuto osservare che, in conseguenza della differente velocità di variazione, ogni tessuto riesce a tollerare un maggiore o minore rapporto di sovrappressione tra interno ed esterno (ossia di sovrasaturazione critica²) in fase di risalita [8]. Questi valori vengono determinati sperimentalmente sia *in vivo* (su animali) che *in vitro*. Si va dai valori più piccoli del rapporto di sovrasaturazione

¹ La teoria atomica muoveva i primi passi nel 1905, data in cui Haldane fece le prime esperienze di decompressione. Quindi Haldane non poteva assolutamente prendere in considerazione la diffusione, visto che i corpi erano ancora impenetrabili.

² Pressione interna diviso pressione esterna.

critica di 1,54 per il tessuto con un emitempo di 120 minuti³ (rappresentativo di compartimenti lenti come il grasso o il sistema nervoso) ai valori più elevati di 2,72 relativi ai compartimenti veloci come muscolo, reni e sangue. Queste tabelle, più articolate di quelle originali di Haldane ma costruite secondo gli stessi principi, rendono bene conto delle decompressioni più estreme e consentono di effettuare compressioni e decompressioni successive, oltre a compressioni multilivello (ossia con diversi livelli di pressione di lavoro nel corso della stessa pressurizzazione).

La costruzione pratica delle tabelle prevede di valutare qual è il tessuto guida, ossia quello che è più vicino alla saturazione. Questo tessuto funzionerà da serbatoio per trasferire gas inerte ai tessuti che con esso sono in contatto. L'elaborazione delle tabelle che prescrivono tempi di risalita e soste passa appunto per il calcolo di qual è il tessuto guida in un dato momento e qual è la sua sovrasaturazione critica. Quando questa ecceda i valori massimi previsti ci si deve fermare e aspettare un tempo sufficiente per far scendere la pressione parziale del gas inerte sotto al valore critico della sosta successiva. Questo genera una risalita a tappe: le tappe di decompressione.

L'enorme aumento dei dati raccolti derivati dalle immersioni militari e sportive ha consentito di effettuare una analisi delle tabelle di decompressione molto più accurata ed ha evidenziato una carenza di fondo. Questa carenza risiede nel fatto che, in particolari condizioni, la diffusione prevale sulla perfusione. Quindi considerare solo la perfusione porta a tempi di decompressione non corretti. A seguito di ciò si sono sviluppate sia nuove tabelle costruite su un più articolato modello haldaniano [8], sia nuovi modelli misti perfusivi-diffusivi [6] i quali hanno prodotto, a loro volta, nuove tabelle. In particolare, i nuovi modelli elaborati negli anni '90 dalla Marina degli Stati Uniti [5, 9 e 10] sono costruiti con la stessa logica ma hanno adottato un profilo della compressione diverso da quello della decompressione, rinunciando alla simmetria tra le due fasi [9 e 10]; inoltre fanno ricorso ad un maggior numero di compartimenti per tenere conto di tessuti con velocità intermedie tra quelli considerati in precedenza. Infine sono modelli probabilistici: ossia sviluppati tenendo conto di qual è la massima probabilità ammissibile, date le condizioni operative, di rischio di PDD (Patologia da decompressione).

L'empiricità dei valori di sovrasaturazione critica rende il modello haldaniano impreciso, soprattutto sulle immersioni ripetitive e protratte per lunghi periodi. Una più moderna analisi del meccanismo di formazione ed accrescimento delle bolle studia come convivono le due fasi del gas inerte: gassosa e disciolta. Il modello RGBM (*Reduced Gradient Bubble Model*) parte dalla meccanica di formazione delle bolle per accrescimento gassoso su micronuclei preesistenti [6]. Essi sono sia perfusivi che diffusivi (con una matematica piuttosto avanzata). Questo nuovo meccanismo di saturazione/desaturazione porta ad una formulazione delle soste di decompressione più profonde di quello che era la prassi precedente. Nella pratica subacquea sportiva queste soste sono conosciute con il termine *deep stop*.

Tutti i modelli costruiti nel corso degli ultimi anni, inoltre, tengono conto anche dell'attività fisica esercitata dal personale in atmosfera iperbarica. Infatti abbiamo visto che quanto fatto nella fase di compressione influenza abbastanza

³ Questi valori sono riferiti alle tabelle della Marina Francese denominate MN90 [8].

profondamente quanto avviene nelle fasi di risalita e di post-immersione. Per comprendere questo aspetto dobbiamo entrare più nel dettaglio della saturazione. Rispetto all'organismo umano l'interfaccia tra la pressione esterna e quella interna del gas inerte è costituita dall'apparato respiratorio. La superficie degli alveoli polmonari è l'area in cui avvengono gli scambi da fuori a dentro e viceversa. Se nel corso della compressione noi effettuiamo una attività fisica elevata, dobbiamo aumentare corrispondentemente anche l'attività respiratoria per compensare le richieste metaboliche dell'organismo. Questo aumento della ventilazione rende più rapido l'assorbimento del gas inerte accelerando il ritmo di ricambio dell'aria inspirata. A parità di pressione e di permanenza si può avere un maggior assorbimento di gas inerte che varia tra il 10 ed il 30 % in più in ragione dell'attività fisica esercitata. Questo gas deve essere desaturato in seguito e può richiedere soste più profonde e più prolungate. Mentre questo, con le vecchie procedure, si faceva passando alla tabella relativa al tempo successivo di permanenza in profondità, con le tabelle più recenti si comincia a tenerne conto già in fase di compressione attraverso cardiofrequenzimetri che forniscono una stima dell'attività metabolica, sia pure approssimativa.

Le diverse tecniche di calcolo esposte fin qui servono a produrre delle tabelle di decompressione, ossia delle coppie di valori profondità-tempo che ammettono una procedura di decompressione. Quest'ultima è una procedura codificata che si compone di una prescritta velocità di risalita⁴ e di interruzioni della risalita (soste) a determinate profondità per una certa durata. Queste prescrizioni devono essere accompagnate dalle relative definizioni di tempo di fondo (*bottom time*) e di durata dell'immersione. L'insieme costituisce una procedura finalizzata a garantire, con una determinata probabilità, di evitare una patologia da decompressione, ossia un evento che ha un ritardo di insorgenza che va da alcuni minuti ad alcune ore. Quindi un evento che attiene alla sicurezza di immersione. Oltre a tali effetti a breve termine ci sono effetti a lungo termine, quale l'osteonecrosi iperbarica, che hanno tempi ben più lunghi, si parla infatti di alcuni anni. Infine ci sono effetti immediati che sono di origine traumatica, quale la sovradistensione polmonare o traumi dell'orecchio.

I costi di elaborazione di tabelle di decompressione, uniti al grande numero di ore-immersione-uomo necessari per sottoporle a prova sperimentale, fanno sì che non siano un prodotto alla portata degli individui, ma piuttosto degli stati nazionali. Questo spiega perché molte nazioni, quale la nostra, adottano abitualmente tabelle prodotte negli Stati Uniti o in Francia, contribuendo eventualmente alla loro sperimentazione. Peraltro una procedura non sufficientemente sperimentata costituisce un forte aumento del rischio per l'operatore chiamato ad impiegarla.

La periodica e successiva variazione delle procedure di decompressione vista nei paragrafi precedenti mostra che il progresso delle conoscenze in materia di decompressione non è lineare ed ha subito alcuni rapidi avanzamenti separati da periodi di relativa minor crescita. Questo indica, per tutti i fini pratici, una difficoltà a effettuare una previsione sull'evoluzione temporale dello stato dell'arte delle procedure decompressive. Conseguentemente non è possibile stabilire delle

⁴ Ovvero di desaturazione, visto che la pressione varia linearmente con la profondità di acqua.

procedure che devono tassativamente essere adottate con uno strumento relativamente poco flessibile come una legge. Tale definizione deve essere lasciata ad allegati tecnici o, meglio ancora, a linee guida che possono seguire più da presso il progresso delle conoscenze e quindi l'avvicinarsi delle teorie e dei modelli decompressivi.

3. MATERIALI E METODI

Il presente lavoro vuole fare una valutazione comparativa dell'efficacia ed efficienza della prevenzione nelle diverse attività lavorative esercitate in atmosfere iperbariche (aria o altre miscele di gas). Questo per evidenziare, se presente, una difformità nel livello di tutela in materia di prevenzione fra le varie professioni afferenti al settore. Nel caso fosse confermata tale difformità si addiverrebbe alla necessità logica di una norma giuridica che le unifichi sotto il profilo della prevenzione, al fine di non avere disparità di tutela a parità di agente fisico.

La valutazione comparativa prenderà in esame diversi aspetti della tutela della sicurezza dei lavoratori dalle atmosfere iperbariche. In primo luogo si prenderà in considerazione la presenza di una norma giuridica nazionale⁵ di settore. La data della sua emanazione sarà un altro elemento discriminante. Infatti la teoria della decompressione è evoluta molto negli ultimi decenni; quindi una norma emanata negli anni cinquanta non ha la stessa efficienza decompressiva di una che data solo dieci anni. Se la norma è stata emanata prima del '60 avrà punteggio 1, se tra il '60 e l'90 avrà punteggio 2, se dopo il '90 avrà punteggio 3. In assenza di normativa il punteggio sarà nullo.

Oltre a ciò si è voluto valutare la presenza di contenuti tecnici oltre a quelli che inquadrano il profilo lavorativo. Se tali contenuti sono assenti la norma avrà un'efficacia ridotta, pertanto il punteggio sarà 1, mentre se presenti avranno comunque un punteggio pari a 2. In caso i contributi tecnici siano assenti nel corpo della norma, ma essa rinvii a una norma tecnica nazionale o internazionale, il punteggio sarà pari a 3.

Infine le norme tecniche e le procedure di decompressione adottate nelle diverse attività lavorative in atmosfera iperbarica vengono valutate per confronto con una particolare procedura. Per un'attività lavorativa svolta a 1,8 atm e della durata di 120 minuti, la procedura utilizzata per il confronto (ed anche la più cautelativa) è stata la Tabella n° 6 USN [5], impiegata di norma per le ricompressioni terapeutiche. Il confronto viene effettuato rapportando in percentuale le aree individuate dai profili delle diverse procedure decompressive nel piano tempo/pressione (espressi rispettivamente in minuti ed atmosfere). L'area individuata dalla procedura meno cautelativa sarà la minore ed avrà, quindi, punteggio nullo. L'area individuata dalla seconda procedura meno cautelativa avrà punteggio 1 e così via le altre.

Tutti questi fattori sommati insieme daranno la possibilità di confrontare il livello di tutela delle varie professioni che operano in atmosfera iperbarica.

⁵ In alcuni casi esistono norme regionali per alcune tipologie di lavoratori iperbarici, ma non le prenderemo in considerazione in quanto non agenti effettivamente *erga omnes*.

4. LE ATTIVITÀ LAVORATIVE IN ATMOSFERE IPERBARICHE

Il presente capitolo è dedicato all'esame delle varie attività lavorative in atmosfera iperbarica. Di ciascuna attività si prenderà in considerazione la dotazione normativa sia giuridica che tecnica. Le attività commerciali in atmosfera iperbarica sono essenzialmente le seguenti: cassoni ad aria compressa, piattaforme petrolifere (alto e basso fondale), lavori portuali (subacqueo di porto), attività ricreative (guida subacquea ed istruttore subacqueo), camere iperbariche, ricerca subacquea, operazioni dei corpi dello Stato (vigili del fuoco, polizia, carabinieri, marina militare).

Il numero di lavoratori impiegati in ciascuna attività può solo essere stimato, in quanto molte delle suddette attività sfuggono ad un inquadramento legislativo che ne renda efficace un'anagrafe. Per fare un esempio si prendano in considerazione le guide subacquee: in poche regioni esiste una legge regionale che ne definisce la figura professionale e che renda possibile dire chi è una guida subacquea e chi non lo è, permettendo di contarle. Poiché manca una legge nazionale, diventa facile eludere un conteggio effettivo. Il che consente improvvisazione (pericolosa dal punto di vista della sicurezza sia dei lavoratori che degli utenti finali), lavoro nero ed evasione fiscale.

Pertanto la stima del numero dei lavoratori impegnati nelle attività elencate in Italia può solo essere approssimativa (tab. 1). I palombari (*hard hat*) sono stati trascurati perché la loro numerosità è fortemente diminuita negli ultimi dieci anni e non hanno quasi più un ruolo nella subacquea commerciale.

Tabella 1: stima del numero dei lavoratori impegnati nelle diverse attività commerciali in atmosfera iperbarica.

n°	Attività	Numero addetti
1	Cassonisti	5.000
2	Sommozzatore in servizio locale	300
3	Subacquei di alto fondale	100
4	Subacquei di basso fondale	400
5	Subacquei ricreativi	10.000
6	Tecnici e medici iperbarici	500
7	Subacquei dei Corpi dello Stato	600
8	Ricercatori subacquei	500
9	Pescatori subacquei professionali ⁶	10
10	Palombari	0
		Totale 17.410

Non tutte le attività sopra citate sono esclusive di altre attività lavorative. Molto spesso il subacqueo del porto è anche ormeggiatore o lavora in un cantiere nautico oppure lavora in un *diving center*. I ricercatori subacquei sono spesso dottorandi o laureandi. Per il resto dei ricercatori l'attività subacquea è quasi sempre marginale rispetto all'attività accademica. I subacquei commerciali di basso fondale hanno

⁶ I cosiddetti "corallari".

spesso una seconda attività in un *diving center*. Questo aspetto rende ulteriormente difficile fare un valutazione individuale dei rischi.

4.1. Cassonisti

I cassonisti, come già detto altrove, sono coloro che eseguono lavori di manutenzione della macchina che effettua lo scavo meccanico, oppure svolgono direttamente operazioni di scavo, in un cassone ad aria compressa. Il cassone è un contenitore stagno che appoggia sul fondo del mare (figg. 2 e 3) oppure la testa della talpa che fa tenuta con la galleria che sta scavando. Poiché tenderebbe spontaneamente ad allagarsi si tiene fuori l'acqua pompando all'interno aria compressa alla pressione corrispondente alla quota di lavoro sotto il livello dell'acqua. Il loro impiego è nell'ambito dell'ingegneria civile: gallerie (stradali, metropolitana o ferrovia), miniere, lavori portuali, costruzione ponti. Questa attività costituisce la più antica di tutte quelle che si svolgono in aria compressa (fig. 1).

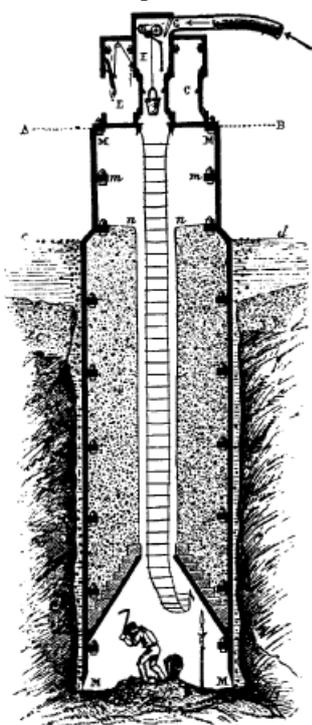


Figura 2: rappresentazione schematica d'epoca (Triger) di lavoro in cassone.



Figura 3: rappresentazione schematica attuale del lavoro in cassone.

Con tutto ciò la sua attualità rimane importante (fig. 3) dato la rinnovata attività di scavo meccanizzato per la costruzione di gallerie sotto fiumi e mari.

Il cassonista è un operaio salariato che opera alle dipendenze, generalmente, di grosse società. La sua specializzazione nasce esclusivamente dall'idoneità a adoperare in aria compressa.

La figura del lavoratore in cassone ad aria compressa in Italia è ben definita e tutelata dal DPR 321/56, che ne specifica sia gli aspetti giuridici che quelli tecnici. Infatti nel 321 sono presenti tanto articoli che stabiliscono quale sia la figura del cassone sta, come articoli che definiscono gli elementi di tutela lavorativa e sanitaria. Fra questi sono chiaramente indicate le procedure di decompressione. Purtroppo queste prescrizioni tecniche sono ferme al 1956 ed hanno subito un'obsolescenza piuttosto marcata [11 e 12]. In ogni caso la norma esiste e tutela la figura professionale fornendo, inoltre, tutela parziale anche ad altre figure professionali che operano in atmosfera iperbarica senza avere una norma che ne prescriva con altrettanta puntualità le condizioni igienico-sanitarie in cui è lecito operare.

4.2. Sommozzatori in servizio locale

Il sommozzatore in servizio locale, altrimenti detto subacqueo di porto, è la figura di riferimento per i piccoli e medi lavori portuali e di raddobbo delle navi in porto. Il suo campo d'applicazione è piuttosto ampio ma, per contro, la sua tutela è piuttosto scarsa. Infatti si tratta, come evidente dalla lettura della legge, di una figura libero professionale che può essere dotata, tutt'al più, di una struttura di supporto a livello di microimpresa.

I loro compiti consistono in :

- nel lavorare sotto acqua per posare e riparare ponti, moli e fondamenta di arginamento portuali;
- nell'ispezionare degli scafi delle navi e delle installazioni subacquee per rilevare eventuali danni ed effettuare delle riparazioni minori;
- nell'annunciare la condizione delle navi naufragate;
- nel liberarsi dagli ostacoli sotto acqua;
- nel praticare i fori per l'esplosivo sotto l'acqua;
- nel realizzare immersioni legate ad operazioni di salvataggio, di recupero o alla ricerca di annegati;
- nel coordinare altri lavoratori.

La norma che ne definisce la figura professionale è il D.M. 13 gennaio 1979, istitutiva della categoria professionale, che non riporta alcunché di tecnico, fatto salvo l'aspetto formativo. Infatti il decreto definisce le caratteristiche che deve avere il sommozzatore dal punto di vista della formazione. Nel D.M. 2 febbraio 1982 di modifica tale aspetto viene ulteriormente perfezionato. In queste norme mancano sia gli aspetti tecnici sia di tutela igienico-sanitaria.

4.3. Subacquei di basso ed alto fondale

Questa figura professionale, che si ammanta di un fascino non indifferente nell'immaginario collettivo, è tuttavia priva di una legge che ne definisca compiti, formazione e tutela igienico-sanitaria. Il percorso formativo si è costituito nel tempo in maniera del tutto autonoma sotto la guida della legge quadro della formazione professionale n° 845 del 21 dicembre 1978 e rappresenta un punto di eccellenza della categoria. Questo fa del subacqueo formato in Italia un professionista piuttosto ricercato. Peraltro esistono norme tecniche, che si sono evolute essenzialmente nel modo anglosassone, in cui si distinguono le due categorie che operano in mare aperto (*offshore*) da quella in servizio locale (*inshore*), ma nel nostro sistema

giuridico tale differenza non è riconosciuta. Questo genera sovrapposizione e danno ad entrambi le categorie.

Il subacqueo di basso fondale opera a profondità che vanno da pochi metri fino a 50. I suoi compiti sono di supporto alle attività estrattive per la parte sommersa dell'impianto: montaggi parti della trivella, saldature, verifica saldature, etc. Il subacqueo di alto fondale (figura 4) esegue le stesse operazioni, ma a profondità che vanno da 50 a 300 metri. Entrambe le figure sono dipendenti di grosse società, ma con una spiccata professionalizzazione; non sono operai

Nell'assenza di norme giuridiche si è, in tempi recentissimi, inserita un'ottima norma tecnica [13] che specifica compiti, formazione e requisiti di sicurezza lavorativa ed igienico-sanitaria del subacqueo *offshore*. Non vengono citate esplicitamente procedure di decompressione, lasciando alla professionalità delle figure coinvolte (specialista medico subacqueo, supervisore subacqueo, sommozzatore) la libertà di stabilire, prima dell'immersione, quali procedure adottare. Questo sistema funziona bene se la professionalità messa in campo è elevata per tutte le figure e se c'è un'adeguata indipendenza dal datore di lavoro, altrimenti accadono incidenti. Purtroppo in Italia queste condizioni non sono rispettate, soprattutto a causa di carenza giuridica. Inoltre in mare aperto non valgono tutte le norme di tutela del lavoro che hanno applicazione sul territorio nazionale.



Figura 4: Subacqueo di alto fondale che opera con campana d'immersione.



Figura 5: subacqueo dei Vigile del Fuoco durante un intervento tecnico.

La norma tecnica [13] si applica anche ai sommozzatori in servizio locale i quali non hanno, però, la struttura organizzativa di una grande azienda. In questo caso il rischio è di origine organizzativa: carenze rispetto alla norma tecnica non rilevanti dal punto di vista operativo. La causa di tale rischio è da addebitarsi alla sporadica

definizione delle figure professionali che sono istituite per legge. Il sommozzatore in servizio locale è istituito ma non ha norme tecniche specifiche, mentre il sommozzatore *offshore* non è definito ma ha norme tecniche specifiche. Inoltre l'adesione alle norme tecniche è volontaria.

La norma [13] non si applica, esplicitamente, né ai cassonisti né ai subacquei dei Corpi dello Stato né al personale che lavora nelle camere iperbariche ospedaliere.

4.4. Subacquei addetti ad attività ricreative

L'attività subacquea ricreativa in questi ultimi venti anni è cresciuta a dismisura, diventando un vero fenomeno di massa. Contestualmente sono cresciute anche le strutture di supporto alla pratica di questa bellissima attività: centri immersione e scuole di immersione. I lavoratori che operano in questo settore si dividono in professionisti e dilettanti. I primi sono coloro che hanno un'altra attività subacquea professionale che si accompagna a quella di istruttore o di guida. I dilettanti, che a volte lo sono solo per definizione, ma possono essere molto più competenti⁷ dei professionisti, sono coloro che hanno un mestiere principale che si sviluppa fuori dall'acqua. Il compito dell'istruttore è di formare l'allievo a tutte le procedure che ne renderanno sicura la permanenza sott'acqua. Di solito i corsi si articolano in diversi livelli e, di conseguenza, anche le figure di istruttore hanno una articolazione corrispondente. La guida subacquea ha il compito di portare sott'acqua un subacqueo autonomo o meno e di curarne la sicurezza ma soprattutto il divertimento, conducendolo dove l'immersione è più interessante e agevole.

A fronte dello sviluppo dell'attività si deve osservare che non si è avuta una corrispondente attenzione legislativa al fenomeno. Infatti a tutt'oggi risulta assente una legge di settore che ne definisca le figure professionali a livello nazionale. Esistono alcune leggi regionali (di quelle regioni che hanno sul mare un interesse rilevante: Liguria, Toscana, Sardegna e Sicilia) che definiscono le figure della guida subacquea e dell'istruttore, ossia dei principali attori di un centro immersioni (sono colui - o colei - che "producono" il servizio). Nel caso della Toscana manca la definizione della figura dell'istruttore. Queste sono state emanate tra il 1997 ed il 2004 [14, 15, 16, 17]. Nessuno fa alcun cenno alle procedure di decompressione, come è peraltro ovvio visto il contesto. Esistono anche numerose norme tecniche sia nazionali che internazionale che ne specificano i requisiti formativi e di sicurezza, senza peraltro fare cenno a specifiche procedure di decompressione. Infatti sia le guide che gli istruttori seguono quasi sempre procedure computerizzate (figg. 5 e 6). Il fatto che tali norme tecniche siano tutte piuttosto recenti ci racconta un quadro della situazione, anche internazionale, che si sta evolvendo sotto i nostri occhi [da 18 a 29].

⁷ La competenza didattica non è automaticamente legata al saper fare.



Figura 6. subacquei in immersione ricreativa.



Figura 7. computer subacqueo.

4.5. Tecnici e medici iperbarici

Le professioni che afferiscono alla sfera sanitaria hanno una definizione legislativa che si dipana nel tempo, ma non è specifica. Tanto per essere chiari la specializzazione medica che afferisce all'ossigeno terapia iperbarica è stata più volte cambiata. Attualmente è quella dell'anestesista rianimatore. Per contro il tecnico è rimasto da sempre nel vago, così come è successo per il subacqueo *offshore*. I percorsi formativi che li portano ad esercitare la loro professione sono vari e non ben definiti. Ma la professione esiste ed ha un'utilità conclamata, pur mancando di tutela legale.

I tecnici non entrano mai in camera iperbarica (fig. 8) mentre i medici vi si comprimono quando devono seguire pazienti acuti con parametri vitali fortemente critici. Questo tipo di immersioni non ha una norma legale che ne specifichi le procedure di decompressione, ma la buona pratica medica, in Italia, prevede che siano tutte decompressioni in curva di sicurezza ai sensi delle tabelle della US Navy [5].



Figura 8. camera iperbarica in un disegno d'epoca.



Figura 9: camera iperbarica nella pratica corrente.

4.6. Subacquei dei Corpi dello Stato

I subacquei dei Corpi dello Stato svolgono servizi di natura varia ma, in generale, deputati a risolvere situazioni che si sono create per effetto di cause naturali o umane. Oltre a ciò ci sono i subacquei della Marina Militare che possono effettuare missioni di combattimento (abbastanza raro in tempo di pace). Per quest'ultima categoria la decompressione è un problema secondario, tanto che le tabelle US Navy prevedono

una risalita a velocità doppia delle immersioni ordinarie. Quelle di servizio dei Corpi dello Stato invece hanno un limite (VV.FF.) a 50 metri (fig. 5). Non tutti hanno leggi istitutive. Le varie origini hanno date abbastanza sparse tra loro, ma vanno tutte dal 1952 (VV.FF.) in poi (tranne la Marina Militare che risale alla fine degli anni '30). Non hanno contenuti tecnici. Molto spesso sono proprio questi corpi tecnici ad emanare le tabelle di decompressione, come è il caso della Marina Militare che ha contribuito alla fase sperimentale delle tabelle US Navy. In generale si fa riferimento alle tabelle US Navy. In tempi più recenti si cominciano ad usare i computer subacquei (fig. 7).

4.7. Ricercatori subacquei

La ricerca è arrivata sott'acqua abbastanza di recente però, in Italia, non ha avuto un riconoscimento legale come invece negli altri paesi comunitari. Il ricercatore subacqueo esegue rilievi di carattere scientifico che non possono essere compiuti senza la necessaria professionalità scientifica specifica da parte di un operatore subacqueo professionale. A titolo di esempio si prenda in considerazione la conta di varietà marine: senza la capacità di distinguere le diverse specie è impossibile fare il conteggio in maniera efficace. Così come è difficile ricavare un campione di sedimento con la sonda se non si sa riconoscere il tipo di fondo che si vuole campionare. Il personale impiegato ha estrazione varia: studenti, dottorandi, ricercatori e professori. Non c'è spazio per operai, ma si tratta di persone con un elevato livello d'istruzione.

Alcune norme di buona pratica (non dell'ISO ma di categoria) esistono in paesi anglosassoni (essenzialmente Stati Uniti), ma da noi non sono state recepite. Le procedure più utilizzate per questa categoria sono quelle della subacquea ricreativa, con le limitazioni del basso fondale previste dai Vigili del Fuoco. Molto spesso vengono impiegati computer subacquei.

4.8. Pescatori subacquei professionali

Questa categoria è stata istituita con il D.M. 20 ottobre 1986 [29]. Tale decreto non riporta norme tecniche e non ne esistono di tipo UNI. Le procedure decompressive sono molto variabili, in quanto operano a profondità estremamente basse (intorno a - 120 metri). Sono i cosiddetti corallari. La loro attività si esplica essenzialmente nella raccolta ad alta profondità di corallo ed altre specie. Il livello di rischio per loro è elevato ma sono tutti liberi professionisti. Fanno decompressione in camera iperbarica monoposto sul ponte della barca di appoggio.

4.9. Palombari

Sono una specie estinta; ne esisteranno due in tutto il mondo. Pertanto non li abbiamo considerati nel lavoro.

5. DONNE E IPERBARISMO

Le donne hanno cominciato ad accostarsi ai lavori in atmosfere iperbariche negli anni '70 circa, soprattutto negli Stati Uniti [30]. Il loro accesso alle professioni in mare ha ricevuto un'accoglienza dominata dal pregiudizio. In alcuni casi tale

pregiudizi osi è, col tempo, trasformato in collaborazione ed accettazione, in altri è diventato mito (si pensi a film tipo “Soldato Jane”).

Il fatto che si impone all’attenzione è che ovunque le donne si sono cimentate in attività iperbariche esse hanno saputo raggiungere ed occupare posizioni di prestigio, pur dovendo affrontare difficoltà decisamente superiori all’altro genere [30]. Ad esempio l’attrezzatura subacquea, pensata per un uomo standard americano (90 kg per 1,80 m), che è stata adattata alla corporatura femminile solo negli anni ’90.

La domanda che ci vogliamo porre in questo contesto è se ci sia una differenza tra generi dal punto di vista degli effetti della decompressione. La fisiologia dell’uomo differisce da quella della donna in molti aspetti, alcuni piuttosto evidenti. Poiché la fisiologia è il risultato di un adattamento e specifiche richieste ambientali che si sono determinate nel corso dell’evoluzione, ci si potrebbe aspettare una convergenza adattativa tra generi, pur con soluzioni specifiche differenti. Da questo punto di vista la ricerca scientifica non ha dato risultati né per il sì [31] né per il no [32]. Quindi la domanda deve, per ora, rimanere in attesa di una risposta più consistente dal punto di vista statistico. Infatti entrambi i lavori citati hanno come casistica dei settori poco generali di popolazione subacquea. Ma dato che la subacquea ricreativa è in forte espansione e, visto che le donne vi prendono parte con assiduità, ci si augura che parte del lavoro dedicato allo studio⁸ delle procedure di compressive prenda anche in considerazione la differenza di genere.

6. RISULTATI

Per ciascuna professione è stato calcolato un punteggio che risulterà tanto più alto quanto maggiore è il livello di prevenzione e protezione dal rischio atmosfere iperbariche. Il computo è stato effettuato secondo le modalità già descritte in materiali e metodi il cui risultato è riportato schematicamente nella tabella 2.

Sulle otto professioni considerate operanti in ambienti iperbarici soltanto tre risultano essere governate da norme giuridiche professionali: i cassonisti (D.P.R. 321/56), i sommozzatori in servizio locale (D.M. 13/01/1979, D.M. 2/02/1982) ed i pescatori subacquei (D.M. 20/01/1986). Le altre (subacquei di basso e alto fondale, medici iperbarici, gli istruttori e le guide subacquee, i subacquei dei Corpi di Stato ed i ricercatori subacquei) al giorno d’oggi non godono di una normativa nazionale che le inquadra.

Ancor più sconcertante è la quasi totale assenza di norme a contenuti tecnici nel panorama lavorativo iperbarico: con l’eccezione dei cassonisti, dei subacquei di basso e alto fondale e dei subacquei ricreativi⁹ che ne sono dotate, le altre professioni non sono governate da alcuna norma tecnica nazionale o internazionale di settore.

Nonostante la carenza normativa, però, è noto a tutti i lavoratori iperbarici come una scorretta procedura decompressiva possa essere rischiosa per la salute. Per questo ciascuna delle professioni indicate ha di norma una propria procedura di elezione,

⁸ Ad esempio da parte del *Divers Alert Network* (DAN).

⁹ Queste norme sono, però, volte a garantire che il servizio fornito sia standardizzato qualitativamente per la salvaguardia, non tanto dei lavoratori coinvolti, quanto del pubblico che ne fruisce.

come riportato in tabella 3. Oltre a rischi di patologia da decompressione (PDD) si dovrebbe prendere in considerazione anche un rischio igienistico piuttosto subdolo (lenta e fortemente dilazionata insorgenza) quale l'osteonecrosi iperbarica [33 e 34]. Di quest'ultimo, però, nessuno si è finora occupato in maniera risolutiva [33].

Il confronto tra le differenti procedure decompressivi è stato effettuato rapportando ognuna delle aree individuate dai vari profili con quella individuata dalla procedura più cautelativa, la Tabella 6 USN, per lavorazioni svolte a 1,8 atm. Le diverse aree sono visibili in figura 10, mentre in figura 11 sono descritti i rapporti tra le stesse aree e l'area di riferimento.

Tabella 2. valutazione comparativa degli aspetti della tutela della sicurezza dei lavoratori dalle atmosfere iperbariche.

Professione	Norma giuridica professionale nazionale	Richiamo a contenuti tecnici	Procedura decompressiva utilizzata	Confronto aree profili decompressivi	Punteggio (si veda capitolo 3)
Cassonisti	D.P.R. 321/56	si, nel D.P.R.	D.P.R. 321/56 (art.28)	vedi fig. 7 e 8	1+2+1=4
Sommozzatore in servizio locale	D.M. 13/01/79 D.M. 2/02/82	no	USN Std Air	vedi fig. 7 e 8	2+0+2=4
Subacquei di basso/alto fondale	Assente	si (UNI 11366)	ad hoc	vedi fig. 7 e 8	0+3+0=3
Istruttore/guida subacquea	Assente	si (UNI)	Dive computers	vedi fig. 7 e 8	0+3+0=3
Subacquei dei Corpi di Stato	Assente	no	USN Std Air ¹⁰	vedi fig. 7 e 8	0+0+2=2
Ricercatore subacqueo	Assente	no	Dive computers/ USN Std Air	vedi fig. 7 e 8	0+0+2=2
Medico iperbarico	Assente	no	USN Table 6	vedi fig. 7 e 8	0+0+4=4
Pescatore subacqueo	D.M. 20/10/86	no	USN Std Air ¹¹	vedi fig. 7 e 8	2+0+2=4

¹⁰ Per i subacquei dei Corpi di Stato è prevista una velocità di risalita doppia (18 m/min) rispetto a quella standard, perciò il punteggio può considerarsi addirittura doppio rispetto al reale

¹¹ In realtà i pescatori subacquei lavorano sempre a pressioni ben più elevate di 1,8 atm e per tempi superiori alle 2 ore, pertanto il profilo decompressivo e la relativa area individuata non è quella riportata in figura 7 per la USN Standard Air Table

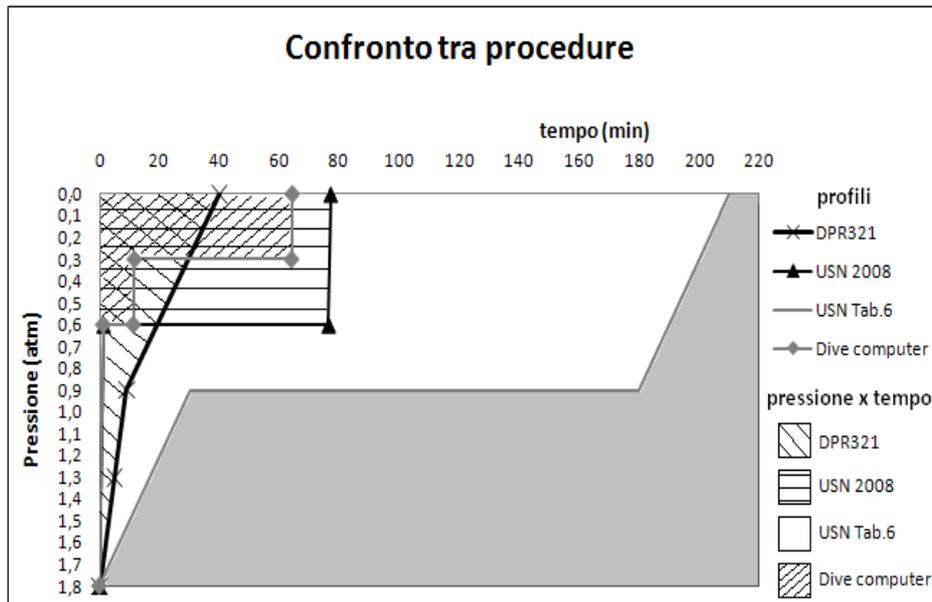


Figura 10. Confronto delle diverse procedure decompressive e delle aree individuate dai diversi profili

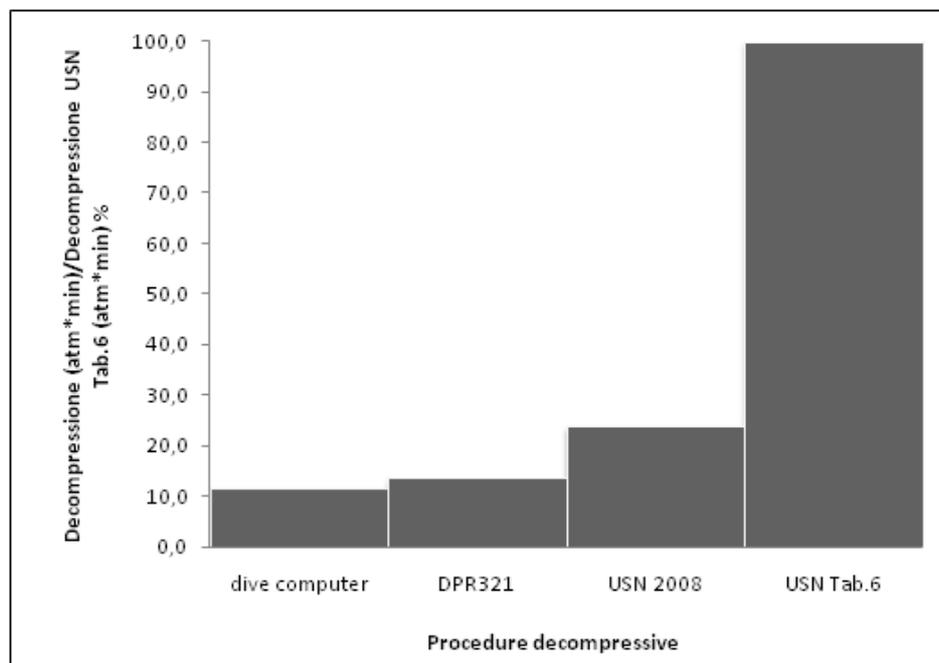


Figura 11. Rapporto percentuale tra le aree individuate dai diversi profili e l'area di riferimento (USN Tabella 6)

7. CONCLUSIONI

Quanto emerge da questa rassegna propone uno scenario alquanto deludente. Infatti è vero che la popolazione lavorativa complessiva è piuttosto contenuta, ma i rischi che corre sono decisamente maggiori di quelli di un lavoratore normobarico. Si evidenzia dalla tabella 2 che tutte le professioni si avvantaggerebbero in sicurezza se si adottasse una norma giuridica attuale che le riconosce e le integra con idonee norme tecniche. Infatti questa sezione del punteggio è la più scarsa. Peraltro il richiamo a contenuti tecnici, ovvero a procedure decompressive, inserite nella norma giuridica rischia di ingessare la parte tecnica e di inibirne un corretto sviluppo a seguito del progresso tecnologico e della conoscenza in materia. Anche in questo caso si vede come il relativo punteggio sia molto basso e, quindi, il vantaggio di avere siffatte norme tecniche sarebbe grande.

Lo sviluppo di procedure decompressive specifiche per le diverse attività sarebbe auspicabile ma dispendioso. Di fatto è un argomento di ricerca che può essere condotto solo da apparati statali idoneamente strutturati ed attrezzati. Questo è infatti un progetto che, in qualità di ricercatori ex ISPESL (in corso di transito nell'INAIL) vorremmo portare avanti. Come si vede dalla tabella 2 la mancanza di procedure decompressive specifiche per le diverse attività contribuirebbe enormemente ad accrescere la sicurezza sia contro la PDD che contro l'osteonecrosi. La strada che si è prefigurata segue le orme delle ultime tabelle USN: studiare una casistica operativa reale in dettaglio e da questa ricavare statisticamente (metodo dei minimi quadrati) le procedure migliori per i cassonisti. Infatti le differenze tra profili studiate mediante le aree sottese rivelano che la mancanza di specificità contribuisce per un buon punteggio alla valutazione finale della sicurezza dei lavoratori iperbarici. Si ritiene, pertanto, che il primo passo verso il miglioramento della sicurezza sia di dare una sistemazione giuridica al settore e quindi di produrre norme tecniche quanto più specifiche possibile. Infine di elaborare procedure specifiche per le diverse professioni iperbariche.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Halley E., *The art of living underwater*, Phil. Trans. Roy Soc., 1917, 29: 492 – 499.
- [2] Triger A.G., *Lettre a M. Arago*, Comptes rendu de l'Academie des Sciences, 1845, 20:445 – 449.
- [3] Bert P., *Barometric Pressure. Research in experimental physiology*, 1878. (Translated in English by Hitchcock MA e FA, 1943).
- [4] Boycott A.E., Damant G.C.C., Haldane J.S., *The prevention of compressed air illness*, J. Hyg. (London), 1908, 8:342 – 443.
- [5] Gray J.G., *United States Navy Diving Manual, Revision 6*, Publ. Direction of Commander, Naval Sea Systems Command, 2008.
- [6] Wienke B.R., Reduced gradient bubble model, Int J Biomed Comput, 26: 237 – 256, 1990.
- [7] Workman R.D., *Calculation of air saturation decompression tables*, Navy Experimental Diving Unit, Research Report 11-57, Washington USA, 1957.

- [8] Molle Ph. (1995), *Plongée de loisir et professionnelle en sécurité*, Paris, Amphora, 1995.
- [9] Thalmann E.D., Parker E.C., Survanshi S.S., et al., *Improved probabilistic decompression model prediction using linear exponential kinetics*, Undersea Hyperb Med, 24 (4): 255 – 274, 1997.
- [10] Weathersby P.K., Survanshi S.S., Hays J.R. and MacCallum M.E., *Statistically based decompression tables III: comparative risk using U.S. Navy, British and Canadian standard air schedules*, Naval Medical Research Institute, Bethesda, Maryland, USA, 1986.
- [11] Marchetti E., Valente G., *Valutazione delle procedure decompressive del DPR 321/56*, atti del 19° Congresso Nazionale A.I.D.I., Napoli, 2001.
- [12] Marchetti E., Tirabasso A., *Esigenza di una normativa sul lavoro iperbarico*, atti del Convegno dBAincontri 2008, Modena, 2008.
- [13] UNI 11366, *Sicurezza e tutela della salute nelle attività subacquee ed iperbariche professionali al servizio dell'industria – Procedure operative*, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano, 2010.
- [14] LEGGE REGIONALE DELLA REGIONE TOSCANA n° 54 DEL 30 luglio 1997, *Disciplina della professione di guida ambientale*.
- [15] LEGGE REGIONALE DELLA REGIONE SARDEGNA n° 26 febbraio 1999 n° 9, *Norme per la disciplina dell'attività degli operatori del turismo subacqueo*.
- [16] LEGGE REGIONALE DELLA REGIONE LIGURIA n° 4 luglio 2001 n. 19, *Norme per la disciplina dell'attività degli operatori del turismo subacqueo*.
- [17] LEGGE REGIONALE DELLA REGIONE SICILIANA n° 8 del 3 maggio 2004, *Disciplina delle attività di guida turistica, Guida ambientale-escursionistica, accompagnatore turistico e guida subacquea*.
- [18] UNI ISO 11107:2010. *Servizi per l'immersione ricreativa - Requisiti per i programmi di addestramento per le immersioni con aria arricchita nitrox (EAN)*, 2010.
- [19] UNI ISO 11121:2010. *Servizi per l'immersione ricreativa - Requisiti per i programmi di addestramento introduttivi alle immersioni subacquee*, 2010.
- [20] UNI . UNI EN 15565:2008. *Servizi turistici - Requisiti per l'erogazione di programmi di formazione professionale e di qualifica delle guide turistiche*, 2008.
- [21] ISO - International Organization for Standardization. 24801. 1. 2007. *Recreational diving services - Safety related minimum requirements for the training of recreational scuba divers - Part 1: Level 1 - Supervised diver*.
- [22] ISO - International Organization for Standardization. 24801. 2. 2007. *Recreational diving services - Safety related minimum requirements for the training of recreational scuba divers - Part 2: Level 2 - Autonomous diver*.
- [23] ISO - International Organization for Standardization. 24801. 3. 2007. *Recreational diving services - Safety related minimum requirements for the training of recreational scuba divers - Part 3: Level 3 - Dive leader*.
- [24] ISO - International Organization for Standardization. 24802. 1. 2007. *Recreational diving services - Safety related minimum requirements for the training of scuba instructors - Part 1: Level 1*.

- [25] ISO - International Organization for Standardization. 24802. 2. 2007. *Recreational diving services - Safety related minimum requirements for the training of scuba instructors - Part 2: Level 2.*
- [26] ISO - International Organization for Standardization. 24803. 2007. *Recreational diving services - Requirements for recreational scuba diving service providers.*
- [27] ISO - International Organization for Standardization. 11121. 2009. *Recreational diving services - Requirements for introductory training programmes to scuba diving.*
- [28] ISO - International Organization for Standardization. 11107. 2009. *Recreational diving services - Requirements for training programmes on enriched air nitrox (EAN) diving.*
- [29] Decreto Ministeriale 20 ottobre 1986 (in G U, 2 dicembre, n° 280), *Disciplina della pesca subacquea professionale.*
- [30] Fife W. (ed.), *Proceedings of the 35° Undersea and Hyperbaric Medical Society Workshop: Women in diving*, 21-23 maggio 1986, Bethesda, Maryland, USA, 1987.
- [31] Bassett B.E., *Decompression sickness in female students exposed to altitude during physiological training*, Annual scientific meeting of the Aerospace Medical Association, 1973, 241 – 242.
- [32] Hagberg M., Ornhaugen H., *Incidence and risk factors for symptoms of decompression sickness among male and female dive masters and instructors – a retrospective cohort study*, Undersea & Hyperbaric Medicine, 30: 93-103, 2003.
- [33] Kindwall E.P., *Compressed air tunneling and caisson work decompression procedures: development, problems and solutions*, Undersea and Hyperbaric Medicine, 24 (4), 337 – 345, 1997.
- [34] Butler W.P., *Caisson disease during the construction of the Eads and Brooklyn bridges: a review*, Undersea and Hyperbaric Medicine, 31 (4), 445 – 460, 2004.