

Capire i Valori M

di Erik C. Baker (1998) – Traduzione: Beppe Sub (2018) – Rev. 1

Gli elementi principali dei modelli decompressivi basati sui gas disciolti del tipo cosiddetto "Haldaniano" sono tre: il calcolo dell'assorbimento e del rilascio dei gas, i valori M e un insieme di ipotetici "compartimenti tissutali". I subacquei tecnici affidano ai modelli decompressivi la loro sicurezza durante la decompressione utilizzando i molti programmi per computer oggi disponibili. Una buona comprensione dei valori M può aiutare i subacquei a determinare opportuni fattori di sicurezza e a valutare l'adeguatezza dei vari profili decompressivi per una specifica immersione.

Cosa sono i Valori M (**M-Values**)? Il termine **M-Values** fu coniato a metà degli anni 1960 da Robert D. Workman, ufficiale medico, mentre conduceva ricerche sulla decompressione per conto dell'unità sperimentale d'immersione della marina americana (NEDU, Navy Experimental Diving Unit).

Valori M sta per **Valori Massimi**. Il Valore M di un dato "compartimento tissutale" a una data pressione ambiente è definito come il valore massimo della pressione dei gas inerti che quel "compartimento tissutale" può "tollerare" senza segni visibili di malattia da decompressione (MDD).

In altre parole, i Valori M rappresentano i limiti della differenza tollerata tra pressione dei gas inerti e la pressione ambiente in ciascuno dei compartimenti tissutali.

I valori M sono indicati anche come "Limiti della sovrappressione tollerata", "Tensione critica" e "Limiti di sovra-saturazione". Il termine Valori M (M-values) viene usato di solito da coloro che studiano i modelli decompressivi.

STORIA

Per definire un profilo di risalita sicuro, i modelli decompressivi Haldaniani confrontano i valori calcolati della quantità di gas disciolto in ognuno degli ipotetici compartimenti tissutali con dei criteri che limitano la risalita.

Nei primi anni in cui vennero elaborati tali modelli, a partire da quello sviluppato da **John S. Haldane** nel **1908**, si limitava la risalita col criterio dei "rapporti di sovra-saturazione." Haldane scoprì che un subacqueo i cui "compartimenti tissutali" erano saturi dopo aver respirato aria a 10 metri di profondità poteva ritornare in superficie (livello del mare) senza avvertire i sintomi della MDD. Siccome la pressione ambiente a 10 m di profondità è il doppio di quella in superficie, Haldane concluse che si poteva utilizzare come criterio per limitare la risalita il rapporto 2:1 tra pressione dei gas disciolti nei tessuti e la pressione ambiente. Haldane usò questo rapporto approssimativo per sviluppare le prime tabelle decompressive. In seguito, fino al decennio 1960, altri studiosi dei modelli decompressivi utilizzarono valori diversi di tale rapporto per ciascuno dei compartimenti tissutali. La maggior parte delle tabelle impiegate dalla marina americana vennero calcolate con questo metodo (sovra-saturazione).

Però c'era un problema: molte tabelle calcolate con questo metodo non funzionavano bene nelle immersioni lunghe e profonde.

Robert Workman iniziò a rivedere sistematicamente il modello decompressivo tenendo conto delle ricerche eseguite dalla marina americana e giunse ad alcune conclusioni importanti.

Prima di tutto si accorse che il rapporto 2:1 di Haldane (che si basava sulla respirazione di aria) era in realtà pari a 1,58:1 se si considera solo la pressione parziale del gas inerte, l'azoto [$0,79 \times 2 = 1,58$]. Infatti le ricerche sulla decompressione avevano nel frattempo appurato che l'ossigeno non gioca un ruolo importante nella MDD, la quale è causata dai gas inerti come l'azoto.

Rivedendo i dati ottenuti per via sperimentale, Workman si accorse che la massima sovra-saturazione tollerata **cambia con la profondità**, ed inoltre è **diversa per i vari compartimenti tissutali** (ogni compartimento è definito dal suo periodo di emi-saturazione).

I dati dimostravano che i compartimenti tissutali più “veloci” (quelli con periodi di emi-saturazione più bassi) possono tollerare una sovra-saturazione maggiore rispetto ai compartimenti “lenti”. Inoltre, per tutti i compartimenti, la sovrappressione tollerata aumenta con la profondità.

Workman abbandonò quindi il concetto di “rapporto di sovrappressione” e iniziò ad indicare le massime pressioni di azoto (o di elio) tollerabili per ogni dato compartimento e per ogni profondità con dei valori che chiamò **Valori M** (M-values).

Dopodiché approssimò con delle rette questi Valori M, compartimento per compartimento, in funzione della profondità (un procedimento matematico che si chiama “interpolazione lineare”).

Riscontrò che le rette interpolatrici erano in buon accordo con i dati sperimentali.

Osservò che l'interpolazione lineare dei Valori-M è molto utile per eseguire i calcoli con l'impiego di un calcolatore.

I VALORI M SECONDO WORKMAN

La rappresentazione dei Valori M secondo Workman sotto forma di equazioni lineari è stata un importante passo in avanti nell'evoluzione dei modelli decompressivi. I suoi Valori M introdussero il concetto della relazione lineare tra pressione ambiente e pressione parziale tollerata dei gas inerti in ciascuno dei compartimenti tissutali. Questo concetto è un elemento importante dei modelli attualmente sviluppati dai ricercatori.

Workman espresse i suoi Valori M sotto forma di equazioni lineari rappresentate da rette, ognuna definita per mezzo di una coppia di parametri: intersezione e inclinazione (si veda la Figura 1).

Workman chiamava il Valore M in superficie M_0 (“M zero”). È l'intersezione di una delle rette dei Valori M con la linea verticale che rappresenta la pressione al livello del mare (pressione assoluta 1 bar, pressione manometrica zero).

Workman chiamava ΔM (Delta M) l'inclinazione delle rette dei Valori M. Indica la variazione del Valore M al variare della pressione.

I VALORI M SECONDO BÜHLMANN

Il Professor **Albert A. Bühlmann**, medico, iniziò le sue ricerche sulla decompressione nel 1959 presso il Laboratorio di Fisiologia Iperbarica della Clinica Universitaria di Zurigo (Svizzera). In oltre trent'anni di lavoro produsse numerosi contributi alla scienza della decompressione.

Nel **1983** pubblicò la prima edizione del suo libro più noto, “Dekompression - Dekompressionskrankheit”, tradotto e pubblicato in Inglese nel 1984 (Decompression - Decompression Sickness).

Nel 1983 il libro di Bühlmann divenne il primo riferimento quasi completo disponibile al pubblico per il calcolo della decompressione. L'algoritmo di Bühlmann diventò così il fondamento universale per la maggior parte dei produttori di computer da immersione e anche per i programmatori indipendenti che operavano su un numero crescente di Personal Computer.

In Germania vennero pubblicate ancora tre edizioni di questo libro (1990, 1993, 1995) col titolo “Tauchmedizin” (pubblicate in Inglese in Inglese col titolo “Diving Medicine”).

Il metodo di Bühlmann deriva da quello di Workman. Comprende anch'esso i Valori M espressi da relazioni lineari tra pressione ambiente e pressione tollerata del gas inerte nei vari “compartimenti tissutali” ipotetici.

La prima differenza tra i due approcci sta nel fatto che Workman considera sempre la pressione a livello del mare come pressione zero e calcola i Valori M in base alla profondità. Bühlmann al contrario considera sempre le pressioni assolute, come si usa oggi (la pressione a livello del mare è 1 bar, la pressione a 10 metri è 2 bar, eccetera).

Questo si spiega forse considerando che Workman era interessato alle immersioni della marina americana, che presumibilmente operava solo partendo dal livello del mare, mentre Bühlmann era uno scienziato svizzero e operava anche in altitudine sui laghi nord-alpini.

Bühlmann pubblicò due serie principali di Valori M (con alcune varianti), che divennero ben note tra i subacquei: la serie ZH-L12 (nel libro del 1993) e le serie ZH-L16 (nelle edizioni successive). La sigla ZH sta per Zurich (Zurigo, la sua città natale), L sta per Limite (limite di sovra-saturazione), mentre il numero 12 o 16 indica il numero di coppie di coefficienti che definiscono le rette dei Valori M dei compartimenti tissutali (identificati dal rispettivo periodo di emi-saturazione). Si noti che Bühlmann definì i Valori M sia per l'azoto che per l'elio.

I Valori M della prima serie (ZH-L12, 1993) erano determinati empiricamente, cioè con prove sul campo. Aveva dodici coppie di coefficienti per sedici compartimenti (alcuni compartimenti avevano le stesse rette).

I Valori M delle serie ZH-L16 furono derivati matematicamente partendo dai periodi di emi-saturazione in base alle proprietà dei gas inerti (volume tollerabile del gas inerte in eccedenza e solubilità del gas inerte). La serie ZH-L16 per l'azoto è divisa in tre sotto-serie (A, B, C). La serie ZH-L16 per l'elio è unica.

La serie ZH-L16A ha sedici coppie di coefficienti per sedici compartimenti tissutali con sedici periodi di emi-saturazione. Questa serie non si dimostrò abbastanza conservativa nei compartimenti centrali.

La serie ZH-L16B, leggermente più conservativa, è consigliata per il calcolo delle tabelle.

La serie ZH-L16C, leggermente più conservativa, è consigliata per il calcolo in tempo reale nei computer da immersione.

Come per Workman, anche i Valori M di Bühlmann sono espressi da equazioni lineari rappresentate da rette, definite per mezzo di due coefficienti, "a" e "b" (intersezione e inclinazione). Si veda la Figura 1.

Il coefficiente "a" è l'intersezione della retta dei Valori M con la linea di pressione assoluta zero (origine degli assi). Il coefficiente "b" è l'inverso dell'inclinazione della retta.

(Si noti che quando il coefficiente "a" vale circa 0,5 bar alla pressione assoluta zero questo non significa che gli esseri umani possono resistere alla pressione ambiente zero. Si tratta solo di un requisito matematico per definire la retta).

VALORI M SECONDO DCAP E DSAT

Molti subacquei tecnici riconosceranno la serie di Valori M "11F6" utilizzati dal programma DCAP (Decompression Computation and Analysis Program) della Hamilton Research. Questa matrice di Valori M venne definita dal Dott. Bill Hamilton e i suoi colleghi durante lo sviluppo delle nuove tabelle decompressive in aria per la marina svedese. Questa matrice di valori funzionava anche per le immersioni trimix ed è alla base di molte tabelle personalizzate in uso presso i subacquei tecnici.

Molti subacquei ricreativi conoscono il Recreational Dive Planner (RDP) distribuito da PADI (Professional Association of Diving Instructors). I Valori M utilizzati per il RDP furono sviluppati e collaudati dal Dott. Raymond E. Rogers e dal Dott. Michael R. Powell con i loro colleghi del DSAT (Diving Science And Technology), una società del gruppo PADI. I Valori M DSAT sono stati ampiamente collaudati con immersioni ed esami Doppler a ultrasuoni.

Grafico delle pressioni: valori M secondo Workman e secondo Bühlmann

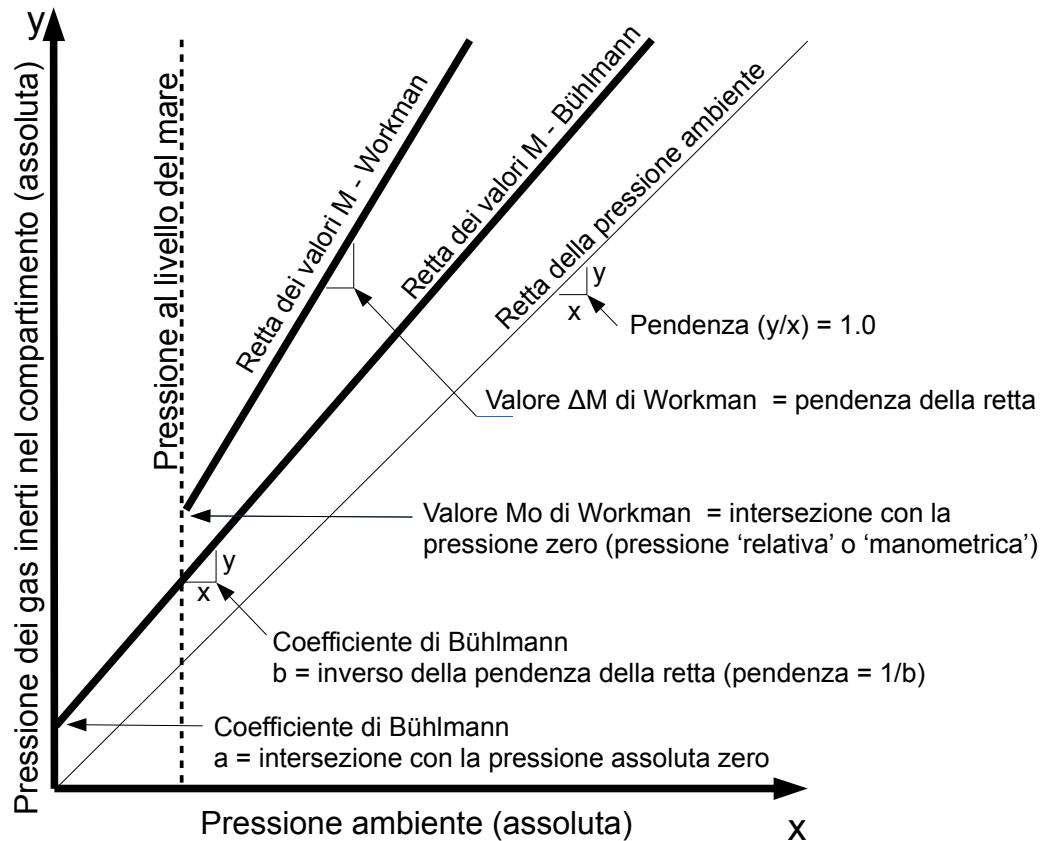


FIGURA 1

MATEMATICA DEI VALORI M	
Forma generale delle equazioni lineari:	$y = mx + b$ $x = (y - b) / m$
Stile Workman:	Stile Bühlmann:
$M = \Delta M \times \text{Prof.} + M_o$ (in metri di colonna d'acqua) Prof. Tollerata: $(P - M_o) / \Delta M$ (in metri di colonna d'acqua)	$Pt \text{ tol. i.g.} = (P_{amb} / b) + a$ (in bar) $P_{amb.tol.} = (Pt \text{ i.g.} - a) b$ (in bar)
Conversioni	
Workman → Bühlmann	Bühlmann → Workman
$a = M_o / 10 - \Delta M$ (10 m di colonna d'acqua = 1 bar) $b = 1 / \Delta M$	$M_o = 10 (a + 1/b)$ (10 m di colonna d'acqua = 1 bar) $\Delta M = 1 / b$
Terminologia e definizioni	
Secondo Workman:	Secondo Bühlmann:
P = pressione del gas inerte (assoluta) in un ipotetico "compartimento tissutale"	Pt i.g. = pressione del gas inerte (assoluta) in un ipotetico "compartimento tissutale"
M = pressione del gas inerte (assoluta) tollerata in un ipotetico "compartimento tissutale"	Pt.tol i.g. = pressione del gas inerte (assoluta) tollerata in un ipotetico "compartimento tissutale"
Prof. = pressione manometrica misurata dalla superficie, al livello del mare	Pamb = pressione ambiente assoluta
Profondità tollerata = pressione manometrica tollerata, misurata dalla superficie, al livello del mare	Pamb.tol. = pressione ambiente assoluta tollerata
M _o = intersezione della retta con la retta verticale della pressione a profondità zero; Valore M alla superficie	a = intersezione della retta con l'asse y (pressione ambiente assoluta zero)
ΔM = inclinazione della retta dei Valori M	b = inverso dell'inclinazione della retta dei Valori M

Tabella 1: Valori M (per azoto) - Confronto tra i diversi algoritmi decompressivi Haldaniani
 Tabella 3: Valori M (per elio) - Confronto tra i diversi algoritmi decompressivi Haldaniani

Imperial System - Sistema di misura americano - [Nota del traduttore: non ho riportato le tabelle con i valori espressi nel sistema di misura americano]

Tabella 2: Rette dei **Valori M** (per AZOTO) - Confronto tra algoritmi decompressivi Haldaniani
 Sistema metrico

Workman (1965)				Bühlmann ZH-L12 (1983)				DSAT RDP (1987)			DCAP MM11F6 (1988)				Bühlmann ZH-L16 (1990)						
CT (N.)	HT (min)	Mo (m)	ΔM (inclin)	CT (N.)	HT (min)	Mo (m)	ΔM (inclin)	CT (N.)	HT (min)	Mo (m)	CT (N.)	HT (min)	Mo (m)	ΔM (inclin)	CT (N.)	HT (min)	A Mo (m)	B Mo (m)	C Mo (m)	ΔM (inclin)	
				1	2.65	34.2	1.2195														
															1	4.0	32.4	32.4	32.4	32.4	1.9082
1	5	31.7	1.8					1	5	30.42	1	5	31.90	1.30	1b	5.0	29.6	29.6	29.6	1.7928	
2	10	26.8	1.6	2	7.94	27.2	1.2195	2	10	25.37	2	10	24.65	1.05	2	8.0	25.4	25.4	25.4	1.5352	
				3	12.2	22.9	1.2121								3	12.5	22.5	22.5	22.5	1.3847	
3	20	21.9	1.5	4	18.5	21.0	1.1976	3	20	20.54					4	18.5	20.3	20.3	20.3	1.2780	
				5	26.5	19.3	1.1834	4	30	18.34	3	25	19.04	1.08	5	27.0	19.0	19.0	18.5	1.2306	
4	40	17	1.4	6	37	17.4	1.1628	5	40	17.11					6	38.3	17.8	17.5	16.9	1.1857	
				7	53	16.2	1.1494	6	60	15.79	4	55	14.78	1.06	7	54.3	16.8	16.5	15.9	1.1504	
5	80	16.4	1.3	8	79	15.8	1.1236	7	80	15.11					8	77.0	15.9	15.7	15.2	1.1223	
								8	100	14.69	5	95	13.92	1.04	9	109	15.2	15.2	14.7	1.0999	
6	120	15.8	1.2	9	114	15.8	1.1236	9	120	14.41											
7	160	15.5	1.15	10	146	15.3	1.0707	10	160	14.06	6	145	13.66	1.02	10	146	14.6	14.6	14.3	1.0844	
8	200	15.5	1.1	11	185	15.3	1.0707	11	200	13.84	7	200	13.53	1.01	11	187	14.2	14.2	14.0	1.0731	
9	240	15.5	1.1	12	238	14.4	1.0593	12	240	13.69					12	239	13.9	13.9	13.7	1.0635	
				13	304	12.9	1.0395				8	285	13.50	1.0	13	305	13.5	13.4	13.4	1.0552	
				14	397	12.9	1.0395	13	360	13.45	9	385	13.50	1.0	14	390	13.2	13.2	13.1	1.0478	
				15	503	12.9	1.0395	14	480	13.33	10	520	13.40	1.0	15	498	12.9	12.9	12.9	1.0414	
				16	635	12.9	1.0395								16	635	12.7	12.7	12.7	1.0359	
											11		13.30	1.0							

Tabella 4: Rette dei **Valori M** (per ELIO) - Confronto tra algoritmi decompressivi Haldaniani
 Sistema metrico

Workman (1965)				Bühlmann ZH-L12 (1983)				Bühlmann ZH-L16 (1990)					
CT (N.)	HT (min)	Mo (m)	ΔM (inclin)	CT (N.)	HT (min)	Mo (m)	ΔM (inclin)	CT (N.)	HT (min)	Mo (m)	-	-	ΔM (inclin)
				1	1.0	34.2	1.2195						
				2	3.0	27.2	1.2195						
1	5	26.2	1.5	3	4.6	22.9	1.2121						
				4	7.0	21.0	1.1976						
2	10	22.5	1.4	5	10	19.3	1.1834						
				6	14	17.4	1.1628						
3	20	20.1	1.3	7	20	16.2	1.1494						
				8	30	15.8	1.1236						
4	40	18.3	1.2	9	43	15.8							
				10	55	15.9							
5	80	17.0	1.2	11	70	15.9							
				12	90	15.9							
6	120	16.4	1.2	13	115	15.9							
7	160	16.4	1.1	14	150	15.9							
8	200	16.1	1.0	15	190	15.9							
9	240	16.1	1.0	16	240	15.9							

CONFRONTO DEI VALORI M

Le Tabelle da 1 a 4 illustrano un confronto dei Valori M per azoto ed elio tra i vari modelli Haldaniani discussi in questo articolo. **Tutti i Valori M illustrati sono espressi nello standard di Workman.** Si nota una evoluzione costante dei Valori M tra i lavori di Workman (1965) e quelli di Bühlmann (1990). In generale, è leggermente aumentata la conservatività, a seguito di un intenso processo di validazione sul campo che ha visto anche l'impiego di esami Doppler ad ultrasuoni per individuare la presenza e la quantità delle cosiddette "bolle silenti" (bolle rilevabili nella circolazione del sangue ma non associate a sintomi di MDD).

COERENZA DEI VALORI M

Confrontando i vari Valori M di algoritmi diversi non si notano enormi differenze. In altre parole si osserva una certa coerenza tra valori determinati da ricercatori diversi in luoghi diversi. Questo è un fatto apprezzabile che indica come la scienza abbia definito una soglia relativamente coerente per l'apparire dei sintomi della decompressione nella popolazione umana.

FORMATO DEI VALORI M

I Valori M si esprimono sotto forma di equazioni lineari, nello stile di Workman o nello stile di Bühlmann. Ciò è ideale per la programmazione e il calcolo in tempo reale nei computer. La dipendenza lineare dalla pressione facilita anche la rappresentazione sotto forma di grafico.

Si possono anche rappresentare i Valori M sotto forma di matrice o tabella. Si tratta solo di pre-calcolare e disporre ordinatamente in righe e colonne i Valori M per ciascun compartimento tissutale associato a un emi-tempo. Ciò è utile per confronti e analisi dettagliate. I programmi per i primi computer (da tavolo e da immersione) "cercavano" i Valori M per ogni sosta decompressiva in apposite tabelle durante l'esecuzione dei calcoli.

CARATTERISTICHE DEI VALORI M

Si possono classificare le serie di Valori M in due categorie: decompressive e non decompressive. Le prime sono per esempio le serie di Valori M del RDP DSAT: servono solo per tornare in superficie (senza deco). I profili senza deco sono calcolati in modo che i gas inerti assorbiti nei compartimenti tissutali non eccedano mai i Valori M alla superficie, in modo da poter tornare direttamente in superficie in ogni momento dell'immersione. Alcuni algoritmi senza deco tengono conto nei calcoli della velocità di discesa e risalita. I Valori M con decompressione sono contraddistinti da un parametro di inclinazione della retta che determina la variazione del Valore M al variare della pressione ambiente. Il valore di tale parametro varia in funzione dell'emi-tempo del corrispondente compartimento tissutale: in genere i compartimenti "rapidi" hanno una maggiore inclinazione della retta e tollerano una maggiore sovrappressione rispetto ai compartimenti più lenti. Siccome l'inclinazione è sempre maggiore di uno, le rette dei Valori M "si allargano" sul grafico delle pressioni e con l'aumentare della profondità saranno tollerabili maggiori sovrappressioni. Un'inclinazione costante pari a uno indicherebbe che quel compartimento tollera la stessa sovrappressione a qualsiasi profondità. In tutti i casi l'inclinazione non può essere minore di uno; in caso contrario la retta dei valori M incrocerebbe in qualche punto del grafico la retta della pressione ambiente, cosa illogica, perché significherebbe che quel compartimento non potrebbe tollerare neppure la pressione ambiente.

LA RETTA DELLA PRESSIONE AMBIENTE

La retta della pressione ambiente è il principale riferimento del grafico. Passa per l'origine, la sua inclinazione è uguale a uno, e rappresenta l'insieme dei punti nei quali la pressione del gas inerte nel compartimento tissutale è uguale alla pressione ambiente. Questo fatto è importante perché quando l'assorbimento di gas inerte in un compartimento supera la retta della pressione ambiente si crea una certa sovrappressione. Le rette dei Valori M rappresentano i limiti della sovrappressione tollerata al di sopra della retta della pressione ambiente.

LA ZONA DI DECOMPRESSIONE

La "zona di decompressione" è la regione del grafico compresa tra la retta della pressione ambiente e la retta dei Valori M (si veda la Figura 3). Nel contesto dei modelli decompressivi basati sui gas disciolti, questa è la zona del grafico dove avviene la decompressione. In teoria, una certa sovrappressione rispetto alla pressione ambiente è necessaria affinché il gas inerte esca da un certo compartimento (in altre parole, affinché avvenga la decompressione). In alcuni casi, per esempio se si aumenta la percentuale di ossigeno nella miscela di gas, un certo compartimento tissutale rilascerà gas inerte anche se la somma delle pressioni parziali dei gas inerti è inferiore alla pressione ambiente. Un profilo decompressivo è "efficiente" quando il carico di gas nel compartimento tissutale che "controlla" la decompressione si trova nella zona di decompressione del grafico. Mentre la pressione ambiente varia secondo l'andamento del profilo decompressivo, il carico di gas inerti dei vari compartimenti tissutali con diversi periodi di emi-saturazione si troverà all'interno o all'esterno della zona di decompressione in funzione di quale compartimento "controlla" la decompressione in quel momento. In generale, i compartimenti "veloci" attraversano la zona di decompressione e "controllano" la decompressione per primi (il loro carico di gas è il più vicino alla linea dei Valori M). Le fasi successive della decompressione saranno "controllate" dai compartimenti tissutali più lenti, uno dopo l'altro.

DUE GAS INERTI

Gli algoritmi decompressivi per le miscele di gas devono tener conto anche di più gas inerti presenti nella miscela di gas respirabili, come elio e azoto nelle miscele Trimix.

Nei moderni modelli decompressivi basati sui gas disciolti si assume che la pressione totale dei gas inerti in un ipotetico "compartimento tissutale" sia la somma delle pressioni parziali dei gas inerti presenti in quel compartimento. (Si noti che i periodi di emi-saturazione dello stesso compartimento sono diversi per gas diversi).

Per le miscele con due gas inerti, i vari algoritmi fanno considerazioni diverse per i Valori M. Alcuni algoritmi utilizzano lo stesso Valore M per azoto ed elio (di solito adottano il valore dell'azoto).

Nell'algoritmo di Bühlmann si calcola invece un Valore M intermedio tra quelli dell'azoto e dell'elio, in proporzione alle quantità dei due gas inerti presenti in un dato momento in un dato compartimento. Nella retta dei Valori M, i coefficienti 'a' e 'b' per (He+N₂) si calcolano come segue. P_{He} e P_{N₂} sono le pressioni parziali di elio e azoto rispettivamente. [Nota del traduttore: si tratta di una "media pesata"].

$$a_{(He+N_2)} = [a_{(He)} * P_{He} + a_{(N_2)} * P_{N_2}] / [P_{He} + P_{N_2}];$$

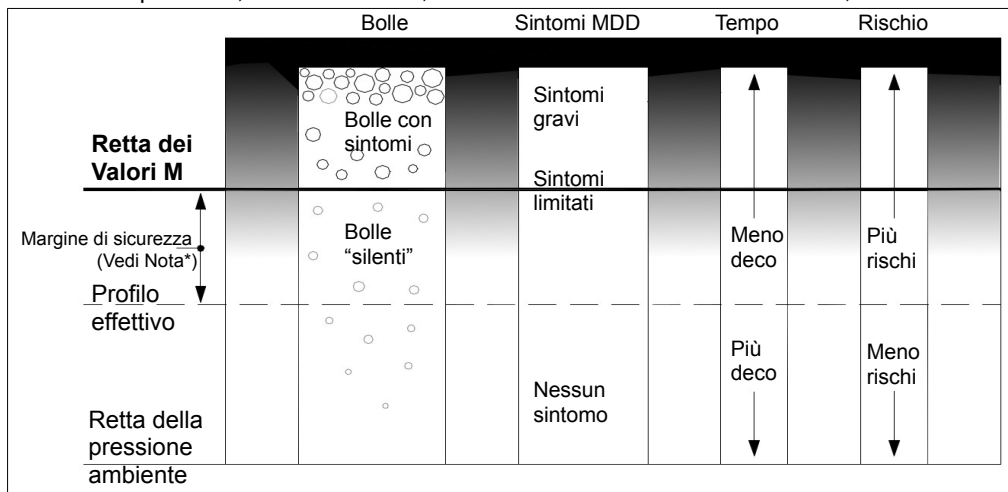
$$b_{(He+N_2)} = [b_{(He)} * P_{He} + b_{(N_2)} * P_{N_2}] / [P_{He} + P_{N_2}].$$

COSA RAPPRESENTANO I VALORI M?

Alcuni subacquei fraintendono il senso dei Valori M e ritengono erroneamente che questi valori traccino una linea netta di demarcazione tra "beccarsi una MDD" e "non beccarsi una MDD". Questo potrebbe spiegare perché alcuni subacquei hanno l'abitudine di spingersi ai limiti delle tabelle o delle indicazioni del loro computer durante la decompressione. La medicina subacquea ha rilevato con l'esperienza che i Valori M sono a volte inadeguati. Il grado di inadeguatezza varia da persona a persona e da situazione a situazione. Di conseguenza è meglio considerare la linea dei Valori M come una linea tracciata in un'area grigia e sfumata (si veda la Figura 2). La ragione di questa scarsa definizione comprende la complessità della fisiologia umana, le differenze tra persona e persona e i vari fattori che predispongono alla malattia da decompressione. In generale, i modelli decompressivi a gas disciolti si sono dimostrati efficaci per i subacquei e i dati raccolti continuano a crescere. Per esempio, si pensava inizialmente che tutti i gas inerti rimanessero disciolti in soluzione e che la formazione di piccole bolle fosse un indice della MDD. Invece ora si sa che le cosiddette "bolle silenziose" sono sempre presenti anche durante immersioni prive di sintomi di MDD. Pertanto, in realtà durante le immersioni si ha una combinazione di due condizioni: la maggior parte del gas inerte si trova probabilmente in soluzione, mentre parte di esso non è disciolto e si trova sotto forma di bolle.

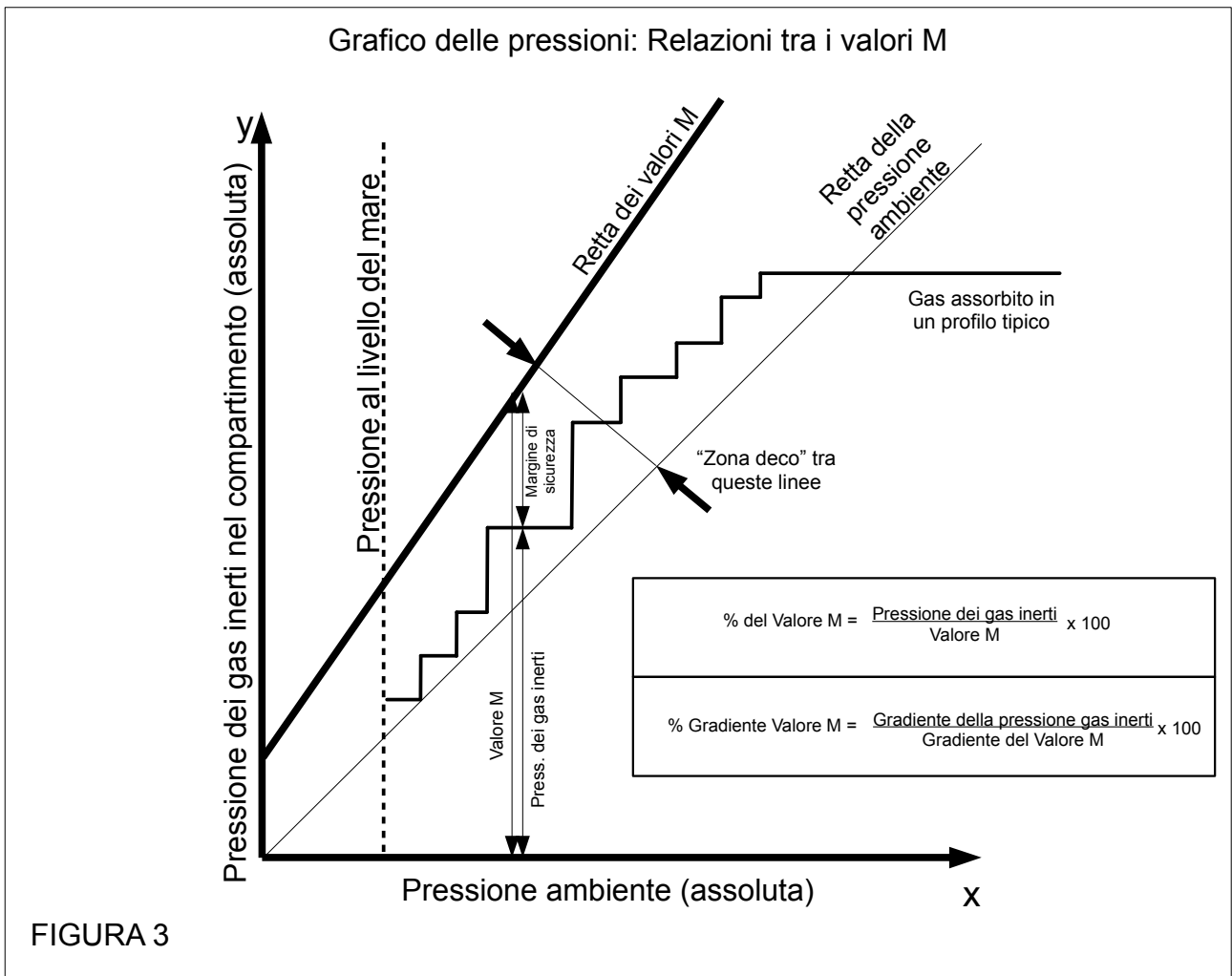
Pertanto un Valore M rappresenta non solo una sovrappressione tollerabile, ma anche una quantità tollerabile di bolle. I Valori M sono stati verificati empiricamente, nel senso che sono state effettuate prove di decompressione su un soggetto umano, in numero relativamente ridotto ma rappresentativo di una popolazione molto maggiore di subacquei. Malgrado i dati ottenuti siano validi in riferimento alla soglia approssimativa dei sintomi della malattia da decompressione, il procedimento seguito non può predire o assicurare una soglia valida per tutti. Inoltre sappiamo per esperienza che esistono fattori che predispongono alla MDD: condizioni fisiche non ottimali, pinguedine, fatica, alcool o droghe, disidratazione, sforzi eccessivi, acqua molto fredda, Forame Ovale Pervio (Patent Foramen Ovale, PFO), eccetera. Ancora, la predisposizione individuale alla MDD può variare anche da una giornata all'altra.

Figura 2. La retta dei Valori M è una linea **netta** tracciata attraverso una zona **sfumata**. Rappresenta una soglia nominale oltre la quale la maggior parte dei subacquei può aspettarsi più sintomi di MDD. (Nota *) Il margine di sicurezza varia a seconda delle condizioni personali, dello stato fisico, del rischio che si considera accettabile, eccetera.



CONSERVATIVITÀ

I valori M sono associati a un basso livello di rischio con eventuali sintomi lievi. Questo criterio potrebbe tuttavia non essere completamente accettabile per tutti i subacquei, molti dei quali preferirebbero restare nell'ambito della totale assenza di sintomi con un livello di rischio ancora più basso nei loro profili decompressivi. Per fortuna, coloro che si occupano di modelli decompressivi e i programmatori sanno bene che i Valori M da soli non bastano per ottenere tabelle decompressive adatte a tutti i subacquei e a tutte le situazioni. Per questo motivo i programmi per il calcolo dei profili decompressivi utilizzano vari metodi per introdurre una certa conservatività nei calcoli, per esempio aumentano in modo fittizio la percentuale di gas inerte o la profondità o il tempo di fondo utilizzati nei calcoli rispetto ai valori effettivi, oppure aumentano i periodi di emi-saturazione asimmetricamente (durante il rilascio dei gas inerti). Alcuni programmi combinano più di uno di questi metodi. Questi metodi sono efficaci quando sono correttamente applicati. I subacquei ne valutano l'efficacia confrontando la maggiore durata e profondità dei profili decompressivi generati e sperimentando il risultato dei profili stessi.



RELAZIONI TRA I VALORI M

Il diagramma delle pressioni della Figura 3 illustra alcune relazioni fondamentali tra i Valori M e il calcolo della decompressione. Negli anni, molti di coloro che hanno studiato i modelli decompressivi hanno utilizzato il calcolo della **Percentuale dei Valori M**. Il professor Bühlmann, per esempio, valutò molte delle sue prove di decompressione in questo modo, riportando i risultati nei suoi libri proprio in questa forma.

Il calcolo del **Gradiente percentuale dei Valori M** è una misura di quanto un certo profilo decompressivo si addentra nella zona di decompressione. Un Gradiente zero percento (0%) del Valore M cade sulla retta della pressione ambiente e rappresenta il fondo della zona di decompressione. Un Gradiente 100% del Valore M cade invece sulla retta dei Valori M e rappresenta il livello massimo della zona di decompressione.

ANALISI DEI PROFILI

Molti subacquei vorrebbero conoscere esattamente l'effetto dei fattori di sicurezza ("conservatività") introdotti nei programmi che utilizzano. Sanno che fattori di sicurezza più elevati producono profili più lunghi e più profondi, ma vorrebbero informazioni più approfondite.

A condizione di utilizzare un insieme standard di Valori M di riferimento, la **Percentuale dei Valori M** e il **Gradiente percentuale dei Valori M** permettono di valutare e confrontare in modo coerente profili decompressivi diversi e prodotti da programmi, algoritmi e modelli decompressivi anch'essi differenti.

VALORI DI RIFERIMENTO UNIVERSALI

I Valori M ZH-L16 di Bühlmann trovano impiego in tutti o quasi i programmi per il calcolo della decompressione per subacquei tecnici su computer desktop. Questi Valori M sono stati sviluppati e controllati per una vasta gamma di pressioni ambiente; dalle immersioni a grande altezza fino alle immersioni profonde in mare. Applicati in modo conservativo hanno dimostrato di essere “affidabili” per le immersioni tecniche (nella misura in cui qualcosa può considerarsi affidabile in una scienza inesatta). Sono diventati lo standard non ufficiale a livello mondiale e possono fungere da valori di riferimento universali per il confronto e la valutazione dei profili decompressivi.

Per un programmatore è relativamente facile inserire il calcolo delle Percentuali dei Valori M e dei Gradienti percentuali dei Valori M nei profili decompressivi. La Tabella 5 illustra un esempio di questa tecnica e mostra l'effetto dei “fattori di conservatività” utilizzati in un programma per computer desktop disponibile in commercio.

Con “fattore di conservatività” 0%, il profilo decompressivo si trova entro il 90% dei Valori M ed entra circa per il 70% nella zona di decompressione (Gradiente percentuale del Valore 70%). È evidente che questo programma utilizza comunque certo livello base di conservatività, in quanto nessun valore raggiunge il 100%.

Con “fattore di conservatività” 50% (consigliato nel manuale di istruzioni) il profilo si trova entro il 85% dei Valori M ed entra per circa il 40-50% nella zona di decompressione.

Con “fattore di conservatività” 100%, il profilo si trova entro il 77% dei Valori M ed entra per circa il 20-35% nella zona di decompressione.

Si noti che i valori della Tabella 5 corrispondono all'arrivo nelle soste nelle peggiori condizioni, in pratica gli “spigoli” dei “gradini della scala” del profilo dell'assorbimento del gas nel grafico delle pressioni (si veda la figura 3).

I valori più elevati di tutti i profili si riscontrano nei calcoli all'arrivo in superficie. Questo spiega come mai è sempre prudente risalire molto lentamente in superficie dopo l'ultima sosta decompressiva.

Tabella 5: Effetto dei Fattori di Conservatività in un programma per il calcolo dei profili decompressivi disponibile sul mercato. Immersione Trimix 15/40 a 76 metri. Miscele deco: EAN36, Ossigeno.

[Nota del Traduttore: ho convertito le profondità da piedi in metri]

Fattore di conservatività 0%				Fattore di conservatività 50%				Fattore di conservatività 100%			
Deco stop (m)	Run Time (min)	% Max del Valore M (Compart.)	Gradiente % max del Valore M (Compart.)	Deco stop (m)	Run Time (min)	% Max del Valore M (Compart.)	Gradiente % max del Valore M (Compart.)	Deco stop (m)	Run Time (min)	% Max del Valore M (Compart.)	Gradiente % max del Valore M (Compart.)
								42	35	74.3% (4)	29.3% (3)
								39	37	76.0% (4)	31.0% (3)
				36	35	81.6% (4)	47.0% (3)	36	40	77.4% (4)	33.9% (4)
33	36	85.8% (4)	59.4% (4)	33	38	84.5% (4)	55.7% (4)	33	43	77.6% (4)	35.5% (4)
				30	39	79.0% (5)	39.4% (4)	30	45	75.4% (5)	22.6% (4)
27	38	89.0% (4)	69.3% (4)	27	41	82.1% (5)	46.0% (4)	27	49	76.5% (6)	26.3% (5)
24	41	89.5% (5)	69.1% (4)	24	45	83.2% (5)	49.1% (5)	24	53	76.3% (6)	20.3% (5)
21	44	88.3% (5)	65.6% (5)	21	49	82.2% (6)	42.5% (5)	21	58	77.0% (6)	22.1% (6)
18	48	89.8% (6)	67.2% (6)	18	55	83.2% (6)	45.1% (6)	18	68	78.2% (7)	24.9% (6)
15	55	91.1% (6)	72.2% (6)	15	64	83.1% (7)	44.1% (6)	15	78	76.9% (7)	17.6% (7)
12	64	90.3% (7)	67.7% (7)	12	75	83.1% (7)	42.8% (7)	12	96	78.4% (8)	22.5% (7)
9	79	90.7% (7)	70.7% (7)	9	95	84.5% (8)	46.0% (7)	9	124	78.3% (8)	22.4% (8)
6	94	90.9% (8)	70.7% (8)	6	113	84.2% (9)	47.1% (8)	6	147	78.9% (9)	24.4% (9)
3	119	91.1% (9)	72.2% (9)	3	144	85.8% (10)	51.7% (10)	3	189	81.2% (11)	32.6% (10)
0	120	93.6% (11)		0	145	88.6% (12)	62.6% (12)	0	190	84.9% (13)	46.6% (13)

Nota: i valori si intendono al momento dell'arrivo alla rispettiva sosta deco

MARGINE DI SICUREZZA

Grazie alle relazioni tra i Valori M (vedi sopra) e un insieme standard di Valori M di riferimento, i subacquei possono determinare dei limiti di decompressione personali ben definiti e trasferibili. Il margine di sicurezza selezionato dipende dalla predisposizione personale e dalla precedente esperienza con i profili decompressivi. È sempre raccomandabile valutare onestamente la propria forma fisica nei confronti delle immersioni con decompressione. Per esempio, l'autore fa un lavoro sedentario e ha scelto come limite personale una Percentuale del Valore M pari al 85% e un Gradiente percentuale dei Valori M pari al 50-60% per le sue tipiche immersioni trimix.

Per assicurare un margine di sicurezza fisso, è possibile calcolare un profilo decompressivo con una percentuale predefinita del Gradiente dei Valori M. Il vantaggio di questo approccio sta nella completa coerenza nell'intera gamma delle pressioni ambiente e il controllo preciso sul profilo decompressivo risultante.

INFORMAZIONI SULL'AUTORE

Erik C. Baker è un ingegnere elettrotecnico che lavora in una ditta di architettura-ingegneria in Pennsylvania (USA). Si occupa di ricerca nella teoria della decompressione per diletto e ha sviluppato diversi programmi per computer in linguaggio FORTRAN per il calcolo e l'analisi della decompressione. È un subacqueo brevettato trimix e grotte.

RIFERIMENTI SULLA DECOMPRESSIONE:

Bennett PB, Elliott DH, ed. 1993. The Physiology and Medicine of Diving. London: WB Saunders.

Boycott AE, Damant GCC, Haldane JS. 1908. The prevention of compressed air illness. J Hyg (London) 8:342-443.

Buhlmann, AA. 1984. Decompression-Decompression Sickness. Berlin: Springer-Verlag.

Buhlmann, AA. 1995. Tauchmedizin. Berlin: Springer-Verlag.

Hamilton RW, Muren A, Rockert H, Ornhagen H. 1988. Proposed new Swedish air decompression tables. In: Shields TG, ed. XIVth Annual Meeting of the EUBS. European Undersea Biomedical Society. Aberdeen: National Hyperbaric Center.

Hamilton RW, Rogers RE, Powell MR, Vann RD. 1994. Development and validation of no-stop decompression procedures for recreational diving: The DSAT Recreational Dive Planner. Santa Ana, CA: Diving Science and Technology Corp.

Schreiner HR, Kelley PL. 1971. A pragmatic view of decompression. In: Lambertsen CJ, ed. Underwater Physiology IV. New York: Academic Press.

Wienke BR. 1991. Basic decompression theory and application. Flagstaff, AZ: Best.

Wienke BR. 1994. Basic diving physics and applications. Flagstaff, AZ: Best.

Workman RD. 1965. Calculation of decompression schedules for nitrogen-oxygen and helium-oxygen dives. Research Report 6-65. Washington: Navy Experimental Diving Unit.

Workman RD. 1969. American decompression theory and practice. In: Bennett PB, Elliott DH, eds. The physiology and medicine of diving and compressed air work. London: Bailliere, Tindall & Cassell.

Traduzione © Beppe Sub (2018) – I diritti della traduzione sono a disposizione dei proprietari del testo originale. La riproduzione della traduzione o parte di essa è vietata ai sensi delle leggi nazionali e internazionali sul diritto d'autore.
