

Chiariamo la confusione sulle “Soste profonde”

di Erik C. Baker (2000)

Traduzione Beppe Sub (Rev. 1 - 2018)

Certamente il vecchio proverbio "meglio prevenire che curare" vale anche per le varie forme di malattia da decompressione (MDD). Il miglior trattamento per questo tipo di disturbi è prima di tutto portare a termine un profilo decompressivo sufficiente. I subacquei tecnici hanno riscontrato che certi disturbi si possono evitare con profili che comprendono delle "soste profonde" (Deep Stop). Un esame più attento dei modelli decompressivi rivela che questa pratica serve a ridurre o eliminare l'eccessiva sovrasaturazione. Compreso ciò, si potrà modificare il modello decompressivo in modo da limitare con precisione la sovrasaturazione e calcolare le soste nella zona di decompressione fino alla profondità della "sosta decompressiva più profonda possibile".

Nota: per ulteriori spiegazioni sui concetti e sulla terminologia della decompressione utilizzati in questo articolo, i lettori sono pregati di fare riferimento al precedente articolo dell'autore "Understanding M-value" (pubblicato in origine su **Immersed**, vol. 3, autunno 1998).

Molti subacquei tecnici hanno notato sensazioni di malessere o affaticamento dopo certi tipi d'immersione con decompressione. Le immersioni brevi o sportive (bounce dive) sono caratterizzate da profondità relativamente elevate con breve permanenza sul fondo e producono spesso questo genere di sintomi. In questo tipo d'immersione, l'applicazione tradizionale del modello decompressivo basato sui gas disciolti porta a calcolare la prima sosta deco a profondità molto minore rispetto a quella di fondo. Diversi subacquei hanno riferito che aggiungendo al profilo alcune "soste profonde", cioè a profondità maggiori di quanto richiesto dai calcoli tradizionali, i sintomi dopo l'immersione si riducono moltissimo o scompaiono. La confusione e le controversie tra subacquei tecnici riguardano la profondità e il numero di queste "soste profonde".

Le osservazioni empiriche dei subacquei hanno portato allo sviluppo di metodi arbitrari per aggiungere delle "soste profonde" ai profili decompressivi. Molti di questi metodi si basano su giudizi e opinioni personali invece che sul calcolo della decompressione. L'analisi dei profili decompressivi che comprendono soste profonde assegnate in modo arbitrario rivela dei possibili problemi, come ad esempio soste troppo profonde e anche soste a bassa profondità troppo brevi per compensare il gas in più assorbito durante le soste profonde.

IL CALCOLO TRADIZIONALE

Nella teoria e nella pratica della decompressione si tende a un compromesso tra una decompressione "sufficiente" (cioè senza sintomi di MDD) e una decompressione "economica" (cioè più breve, con minor consumo di gas e minore permanenza in acqua). Gli algoritmi decompressivi tradizionali a gas disciolti, come quelli sviluppati da Robert D. Workman e Albert A. Bühlmann, cercano di ottimizzare la decompressione permettendo al subacqueo di risalire fino alla minor profondità possibile, il cosiddetto Ceiling (tetto), calcolato in base ai limiti alla risalita imposti dai Valori M calcolati per gli ipotetici compartimenti tissutali. Questa tecnica consente una doppia economia: durante la decompressione si rende più rapida l'eliminazione dei gas inerti nei compartimenti più veloci mentre si riduce al minimo l'assorbimento nei tessuti più lenti. In pratica, la tradizione insegna ai subacquei di "staccarsi dal fondo" e risalire alla svelta fino alla prima sosta deco.

In una tipica immersione breve o sportiva (bounce dive), il calcolo tradizionale permette una risalita diretta relativamente lunga dal fondo fino alla prima sosta. In questa situazione, i compartimenti più veloci possono trovarsi vicino alla saturazione completa in profondità mentre i tessuti più lenti sono saturi solo in parte. Perciò i compartimenti più veloci controllano l'inizio della risalita perché il loro contenuto di gas inerti si avvicina ai Valori M molto prima dei compartimenti più lenti. La prima sosta è prevista quando la pressione dei gas inerti è uguale o vicina al valore M in uno dei compartimenti.

BOLLE E GRADIENTI

Nel 1965, quando il ricercatore Robert D. Workman presentò per la prima volta il concetto dei Valori M, si dava per scontato che la fuoriuscita dei gas inerti dalla soluzione sotto forma di bolle nei tessuti del subacqueo avvenisse solo al superamento di uno dei Valori M. Già allora questa teoria era controversa, ma si riconosceva che prima o poi la tecnologia avrebbe potuto fornire ulteriori informazioni sulla presenza e sul comportamento delle bolle nel corpo dei subacquei.

Nelle parole di Workman: “si sta esplorando la possibilità di rilevare la presenza di bolle per mezzo di ultrasuoni *in vivo* e *in vitro*, allo scopo di valutare meglio l'adeguatezza della decompressione, ma questa tecnica si trova ancora agli inizi”.

Il tempo è passato. La tecnica di indagine ad ultrasuoni con effetto Doppler si è sviluppata molto ed è stata ampiamente applicata in tutto il mondo alle ricerche sulla decompressione. Le ricerche hanno dimostrato che le bolle sono presenti nella circolazione sanguigna dei subacquei durante e dopo molti tipi di immersioni, comprese quelle senza sintomi di MDD. In altre parole, può verificarsi comunque la formazione di bolle anche senza mai superare uno dei Valori M. Questo fatto è ormai riconosciuto nella scienza della decompressione, ma il meccanismo di formazione e sviluppo delle bolle nel corpo umano non è ancora ben compreso e neanche precisamente definito.

Le leggi fisiche e i “modelli decompressivi a bolle” prevedono la formazione di bolle più numerose e più grandi all'aumentare del livello di sovrappressione (sovra-saturazione). Tradotto nel linguaggio dei modelli decompressivi tradizionali a gas disciolti, questo significa che ci si possono aspettare più bolle quando i gas inerti assorbiti in un compartimento superano di molto la retta della pressione ambiente nel grafico delle pressioni.

ILLUSTRAZIONE DEL PROBLEMA

Il grafico delle pressioni nella **Figura 1** mostra un profilo decompressivo completo calcolato secondo il metodo tradizionale. In questo profilo, i compartimenti più veloci assorbono più

rapidamente i gas inerti durante le fasi iniziali di risalita e controllano la decompressione. I Valori M di questi compartimenti veloci permettono una maggiore sovrappressione rispetto ai compartimenti più lenti. Perciò durante la risalita fino alla prima sosta deco si crea rapidamente una forte sovrappressione, sproporzionata rispetto alle piccole sovrappressioni ammesse durante il resto della decompressione, che è invece controllata dai compartimenti più lenti. È quindi plausibile che durante la risalita verso la prima sosta si formino molte bolle. Nell'esempio della **Figura 1**, la differenza di pressione calcolata è di 22,4 metri di acqua salata (msw) pari a circa 2,2 bar. Per fare un confronto, quando si apre una lattina di bevanda gassata la differenza tra la pressione dell'anidride carbonica disciolta e l'aria è circa 3,1-3,4 bar.

Anche se nella decompressione della **Figura 1** nessuno dei Valori M viene mai superato, un subacqueo può provare sintomi di malessere, affaticamento o stanchezza dopo questa immersione. Una spiegazione di questi sintomi ipotizza il trasporto delle bolle nel corpo e un rallentamento della fuoriuscita del gas a causa dell'accumulo di bolle nei capillari polmonari. Sia come sia, è possibile stabilire una relazione di causa ed effetto tra una elevata sovrappressione durante la risalita e la presenza di sintomi dopo l'immersione. Sintomi vaghi o leggeri come affaticamento e malessere, che di solito non sono oggetto di cure mediche, potrebbero ricadere nella categoria dello “stress decompressivo” (una forma meno grave di MDD).

SOLUZIONI DEL PROBLEMA

Se è plausibile che una sovrappressione elevata (o un rapido aumento della sovrappressione) in un profilo decompressivo portino alla formazione di più bolle (che causano stress da decompressione o MDD), la soluzione ovvia è limitare la sovrappressione. Il tradizionale modello decompressivo a gas disciolti contiene già le informazioni che permettono di affrontare questo problema.

Per prima cosa, c'è un limite alla profondità delle “soste profonde”. **La pressione parziale dei gas inerti nel compartimento che controlla la decompressione durante una sosta decompressiva non deve scendere al di**

sotto del valore minimo necessario a restare nella zona di decompressione. In generale, deve esserci una certa sovrappressione per eliminare in modo efficiente i gas inerti (off-gassing). È importante anche ridurre al minimo l'assorbimento di gas inerti (on-gassing) nei compartimenti lenti durante la decompressione.

Nel contesto del modello tradizionale a gas disciolti, la sosta decompressiva più profonda possibile di un determinato profilo può essere definita come la sosta (scelta tra le profondità deco standard) appena sopra alla quota dove l'assorbimento di gas inerti nel compartimento che controlla la decompressione attraversa la linea della pressione ambiente (vedere le **Figure 1, 2, 3**). Un programma di calcolo della decompressione è in grado di calcolare facilmente la massima profondità della sosta profonda; tale profondità cambia a seconda della velocità di risalita dal fondo e della miscela di gas utilizzata.

Un profilo decompressivo non deve necessariamente avere una sosta alla massima profondità possibile; questa profondità rappresenta semplicemente la quota dove almeno un compartimento si trova in zona decompressiva. In molti profili decompressivi, per limitare la sovrappressione basta iniziare le soste a un certo numero di quote standard al di sopra della massima possibile. Tuttavia la sosta più profonda ammissibile resta una valida informazione per il subacqueo, dato che rappresenta l'inizio della zona di decompressione. Quando il subacqueo raggiunge questa quota durante la risalita, dovrebbe limitare la velocità di risalita a 10 metri al minuto o meno (velocità di risalita in zona deco). Questa pratica aiuterà a ridurre le variazioni rapide di pressione che potrebbero favorire la formazione di bolle.

A questo punto si tratta di trovare un sistema per inserire le soste profonde in un profilo decompressivo. Il subacqueo e biologo marino Richard L. Pyle ha pubblicato un sistema empirico che può essere utilizzato assieme ad un programma per PC in grado di calcolare la decompressione nelle immersioni multilivello. La **Figura 2** mostra il grafico delle pressioni per un profilo decompressivo ottenuto col metodo di Pyle. Dal grafico si desume che questo sistema è più efficace nel ridurre o eliminare le

sovrappressioni eccessive rispetto ai profili calcolati in modo tradizionale.

Tuttavia ci sono dei problemi con questo approccio. A seconda del programma usato per il calcolo della decompressione (e i metodi con cui uno specifico programma aggiunge i suoi specifici fattori di sicurezza), l'assorbimento dei gas inerti nei compartimenti più lenti può avvicinarsi ai Valori M in corrispondenza delle soste meno profonde, a causa del maggior assorbimento di gas che avviene nelle soste profonde. Il programma terrà conto delle soste profonde ma non fornirà lo stesso margine di sicurezza nelle soste meno profonde rispetto a un profilo tradizionale (a meno di aumentare il fattore di sicurezza). Un buon metodo per studiare questo problema è calcolare i valori massimi della "Percentuale dei Valori M" e del "Gradiente Percentuale dei Valori M" in tutti i compartimenti e in tutte le soste deco.

Il grafico delle pressioni nella **Figura 3** illustra un profilo decompressivo completo calcolato utilizzando i "Gradient Factor" per controllare la sovrappressione (sovra-saturazione) durante tutto il profilo deco. I Gradient Factor offrono un approccio coerente per introdurre dei fattori di sicurezza nel calcolo della decompressione. Si possono usare i Gradient Factor per inserire delle soste profonde nella zona di decompressione, per limitare la sovrappressione e per garantire un margine fisso di sicurezza per tutto il profilo decompressivo (sotto forma di una distanza costante dalle rette dei Valori M). Un Gradient Factor è semplicemente una frazione decimale (o percentuale) del "Gradiente Percentuale dei Valori M".

In generale, l'aggiunta di soste profonde allunga le soste deco meno profonde e il tempo totale di decompressione. Ma se il risultato è una decompressione autenticamente "sufficiente" (nel senso definito all'inizio di questo articolo) allora il concetto di decompressione "economica" non viene davvero compromesso.

Per i subacquei, il grafico delle pressioni è uno strumento eccellente per valutare i profili decompressivi. Anche un rapido esame può rivelare zone con potenziali problemi come una sovrappressione eccessiva. Incoraggio coloro che si occupano di modelli e software decompressivi a inserire questa funzionalità nei loro programmi.

Infine, i profili decompressivi usati a titolo di esempio nei grafici di questo articolo sono stati calcolati con dei fattori di sicurezza minimi e sono da considerarsi solo a titolo comparativo.

Erik C. Baker è un ingegnere elettrotecnico che lavora in una ditta di architettura-ingegneria in Pennsylvania (USA) e ha sviluppato diversi programmi per computer per migliorare la sicurezza delle sue immersioni in grotta e trimix.

RIFERIMENTI:

Baker EC. 1998. Understanding M Values. Immersed. Vol. 3, No. 3.

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

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

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.

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

Pyle RL. 1996. The importance of deep safety stops: Rethinking ascent patterns from decompression dives. DeepTech. 5:64; Cave Diving Group Newsletter. 121:2-5.

Schreiner HR. 1968. Safe ascent after deep dives. Rev. Subaquat. Physiol. Hyperbar. Med. 1:28-37.

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 Publishing Co.

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

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

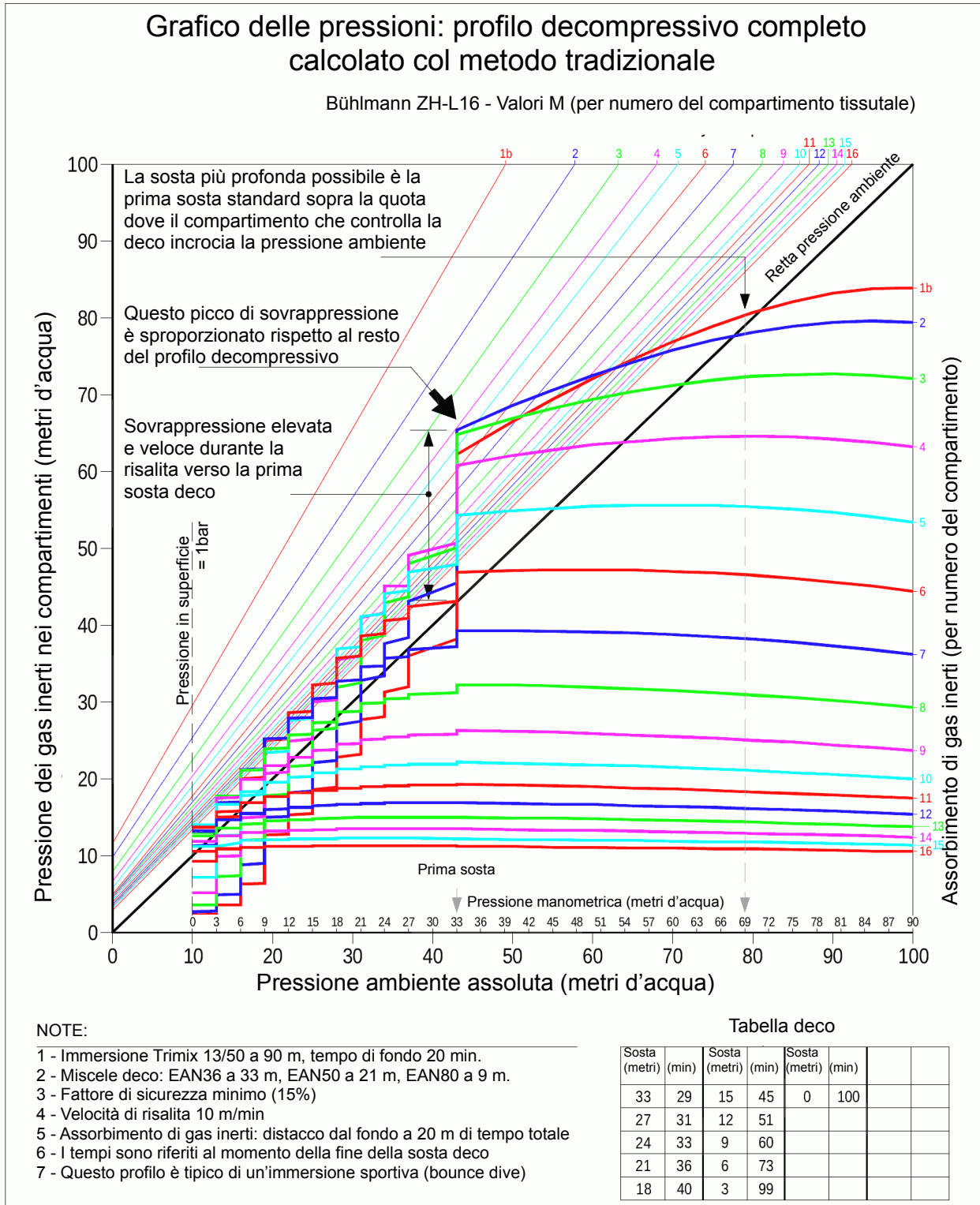


Figura 1

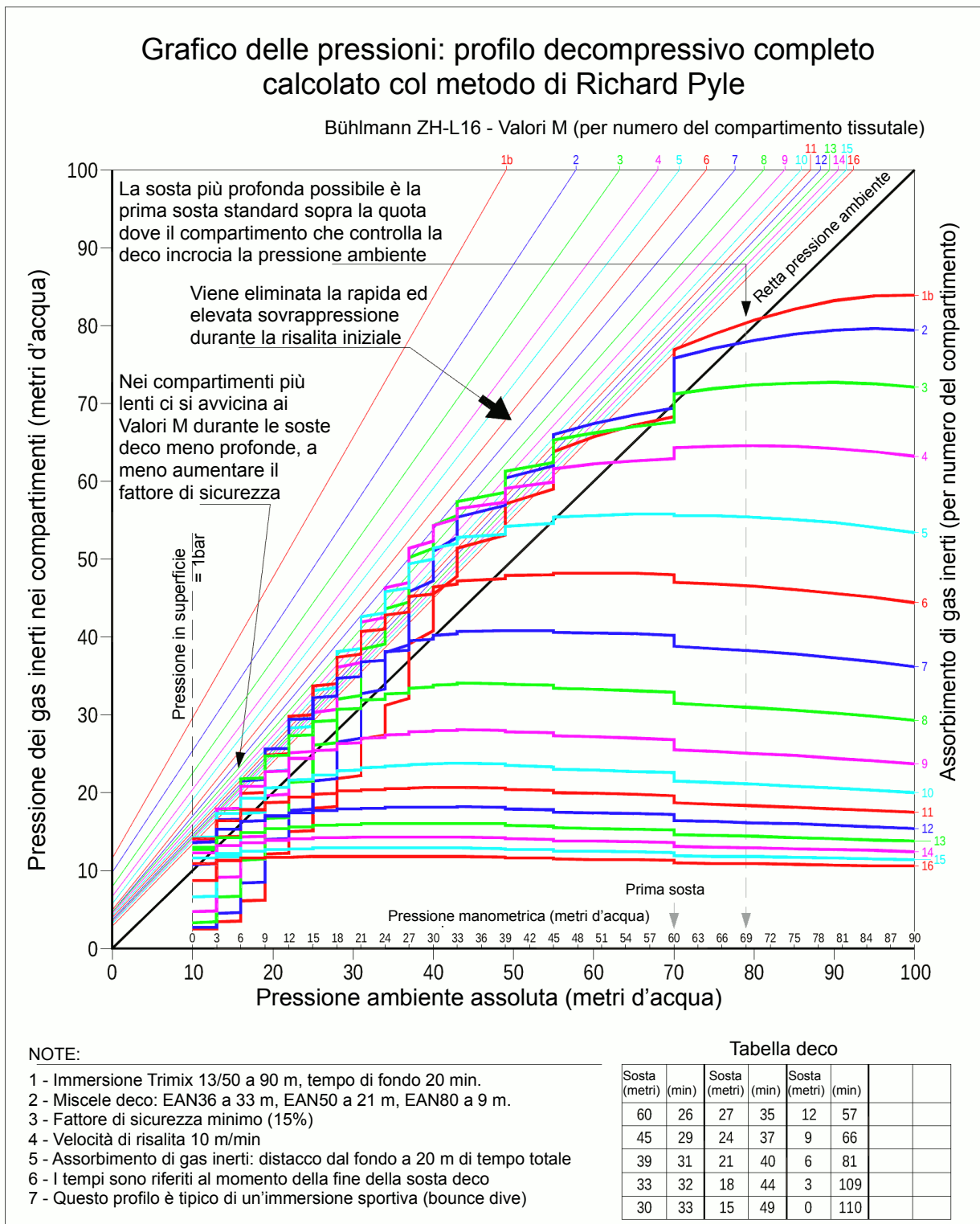


Figura 2

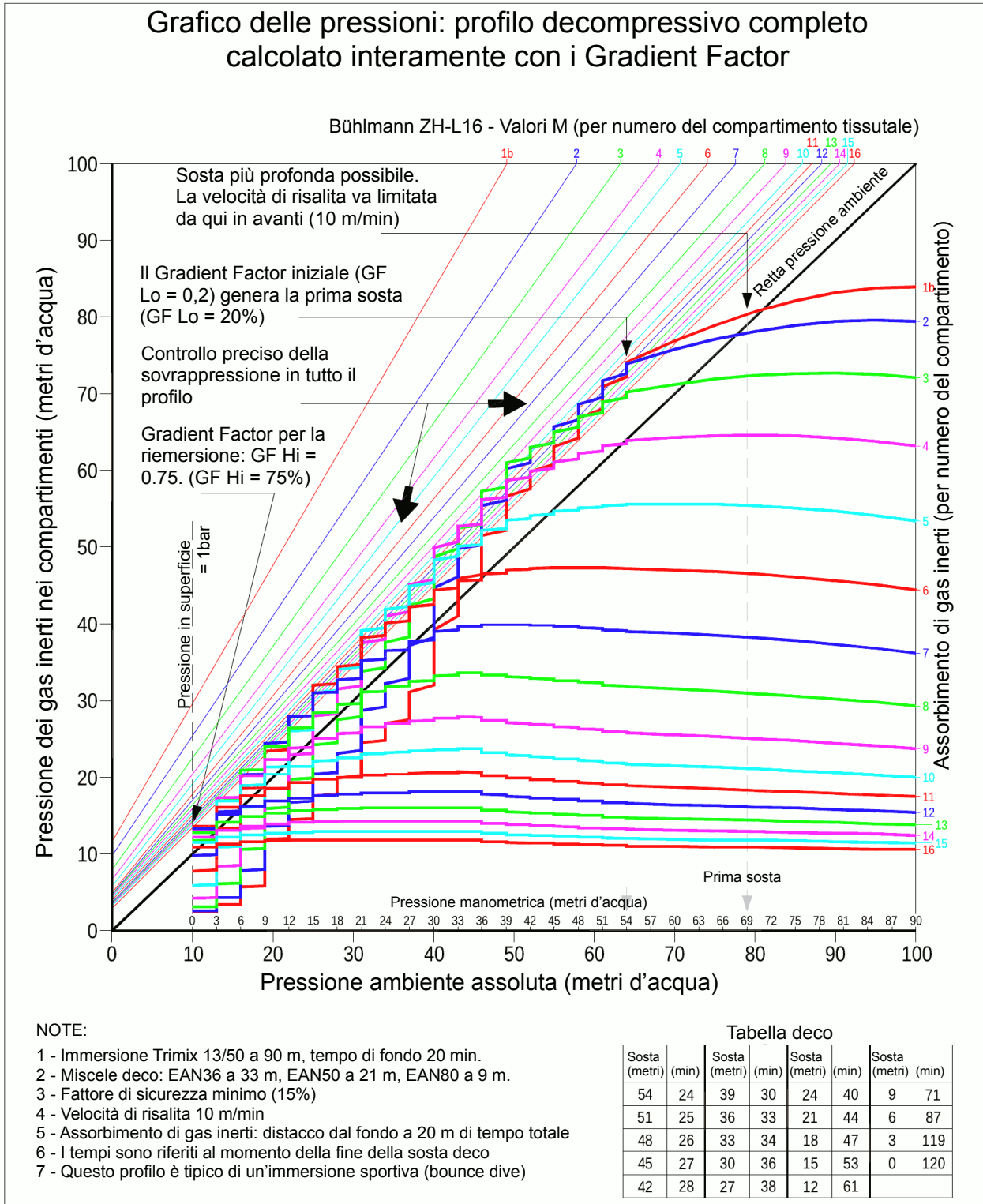


Figura 3

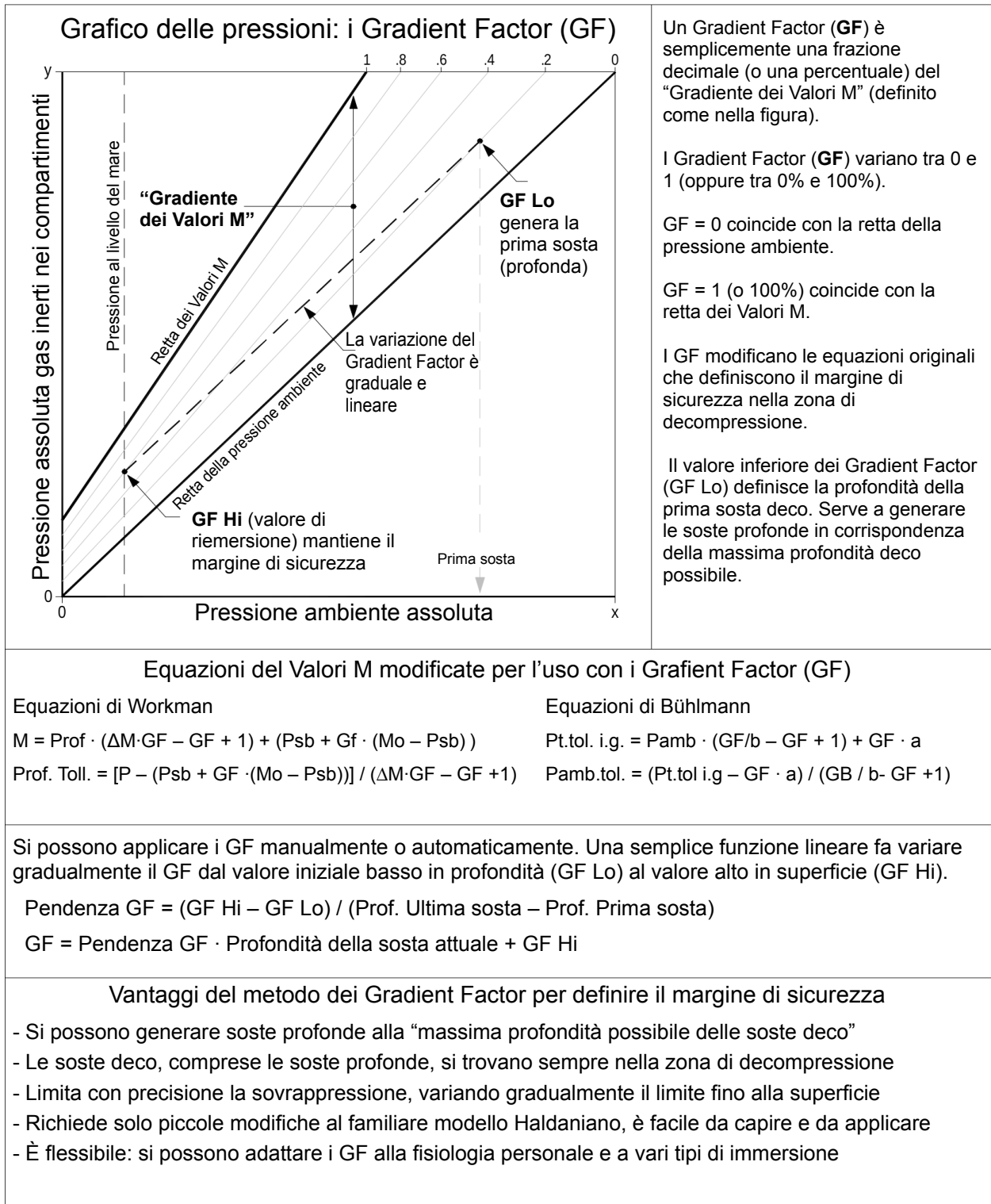


Figura 4