

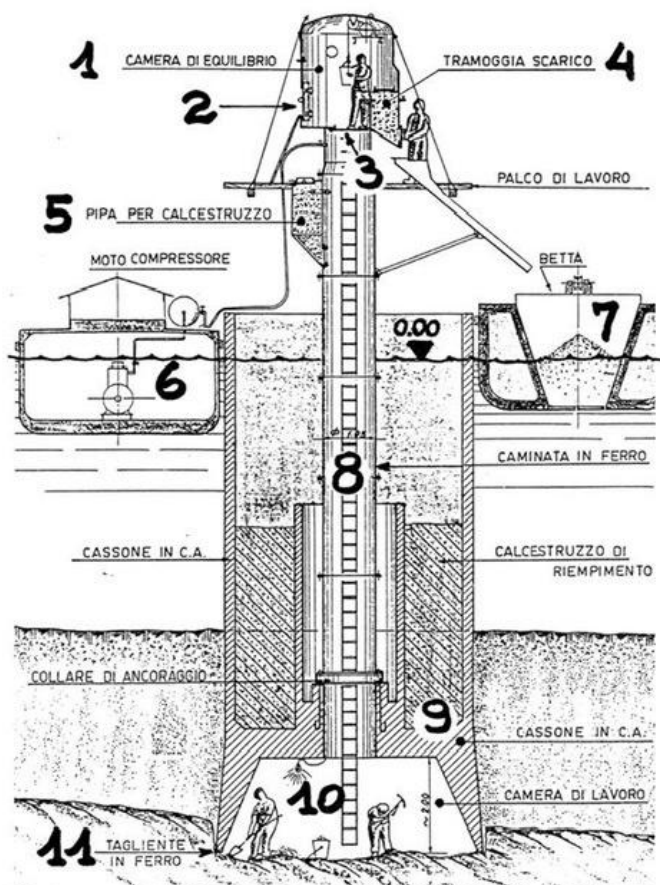
GRADIENT FACTORS: COME CAPIRLI E SCEGLIERLI

Fonte Articolo: <https://www.ymecarsana.com/gradient-factors-come-sceglirli-e-capirli/>

Un alone di mistero aleggia quando si parla dell'impostazione dei Gradient Factors sul computer e se è vero che la regolazione può variare con l'esperienza, qui descriverò come funzionano e quali potrebbero essere i passi iniziali sapendo già di ricevere critiche anche solo per aver suggerito impostazioni diverse da quelle ritenute più corrette da altri. Mi prenderò questo rischio rincorato dal fatto che, spero molti, potranno capire meglio questo sistema di regolazione della sicurezza nella pianificazione di un'immersione con un software decompressivo che si basa sull'algoritmo Buhlmann..

TEORIA DELLA DECOMPRESSIONE

Già molti anni fa in occasione della costruzione dei piloni dei ponti, si era capito che i lavoratori pressurizzati nei cassoni stagni, avevano problemi se riportati in superficie da determinate profondità. Camminavano piegati dal dolore (da cui il nome della Patologia da Decompressione in inglese: "bent") e gli esiti potevano essere anche fatali.

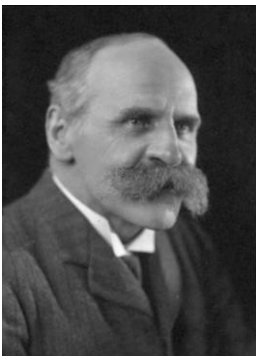
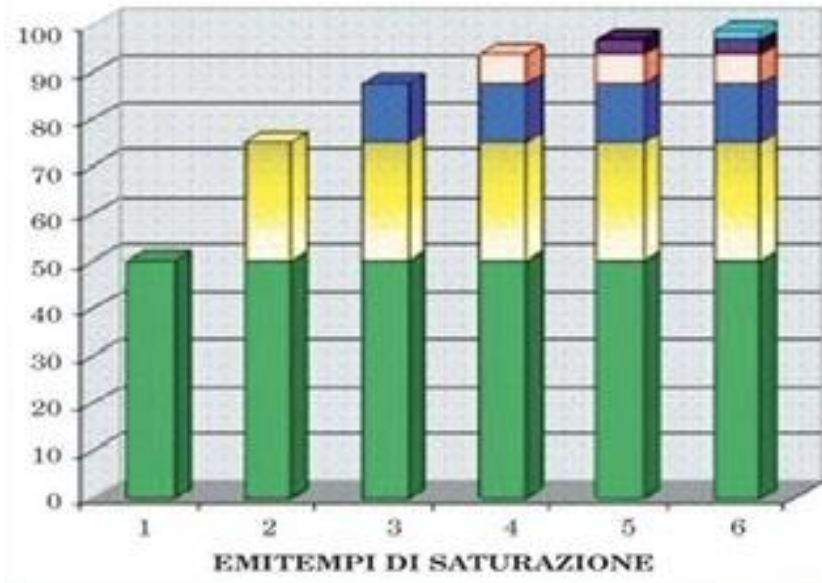


Lavoratori nei cassoni per la costruzione dei piloni di un ponte

Haldane (1860-1936), nel 1908 pubblicò le prime tabelle per le immersioni avendo intuito alcune regole fondamentali:

- I tessuti del corpo si saturano di azoto
- Si saturano e desaturano a velocità esponenziale
- Hanno diverse velocità in base alla vascolarizzazione dei tessuti

–Dato che la velocità di saturazione e desaturazione è esponenziale la saturazione totale è irraggiungibile da qui la necessità di introdurre il concetto degli emitempi e cioè di quanto tempo sarà necessario per saturare un tessuto al 50%. Ciò significa che se un tessuto viene identificato come “tessuto da 10min”, esso si saturerà al 50% dopo 10min, di un altro 25% dopo altri 10min, di un altro 12,5% dopo altri 10min, di un altro 6,25% dopo altri 10min, di un altro 3,125% dopo altri 10 min e di un altro 1,56% dopo altri 10 min. Dopo sei emitempi il tessuto verrà ritenuto per convenzione “saturo” anche se in effetti non lo è perchè la somma di $50\%+25\%+12,5\%+6,25\%+3,125\%+1,56\% = 98,5\%$.

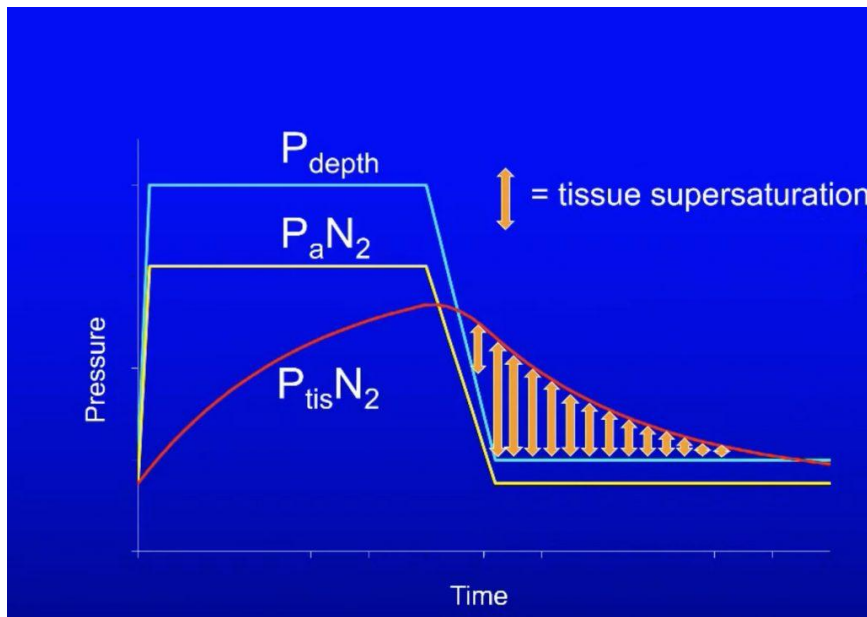


John Scott Haldane

In base a questo ragionamento, Haldane costruì un modello matematico considerando 5 tessuti da 5, 10, 20, 40, 70 min di emitempo. Come detto, è necessario considerare più tessuti perché nel nostro corpo, essi differiscono per una diversa vascolarizzazione e, di conseguenza, velocità di saturazione e desaturazione. I tessuti “veloci” sono quelli molto perfusi (con molto sangue) come gli organi vitali, il cervello, il sangue stesso, etc. Essi avranno emitempi di 5 o 10 minuti. Quelli più lenti, con meno sangue, sono le ossa, le cartilagini, etc e avranno emitempi più lunghi quindi, si satureranno e desatureranno più lentamente.

CONCETTO DI SOVRASATURAZIONE

Risalendo da una determinata quota, i tessuti inizieranno a scaricarsi, ma per eguagliare la pressione ambientale dell’azoto respirato alla nuova quota, necessiteranno di un certo periodo. Durante questo periodo saranno in una condizione di *sovrasaturazione* rispetto alla pressione ambientale dell’azoto inspirato. Questa sovrasaturazione non deve eccedere di 1,58 volte la pressione dell’azoto negli alveoli polmonari che sarà nel caso dell’aria di $0,79 \times$ pressione assoluta. Eccedendo questo limite si incorre in una Patologia Da Decompressione.

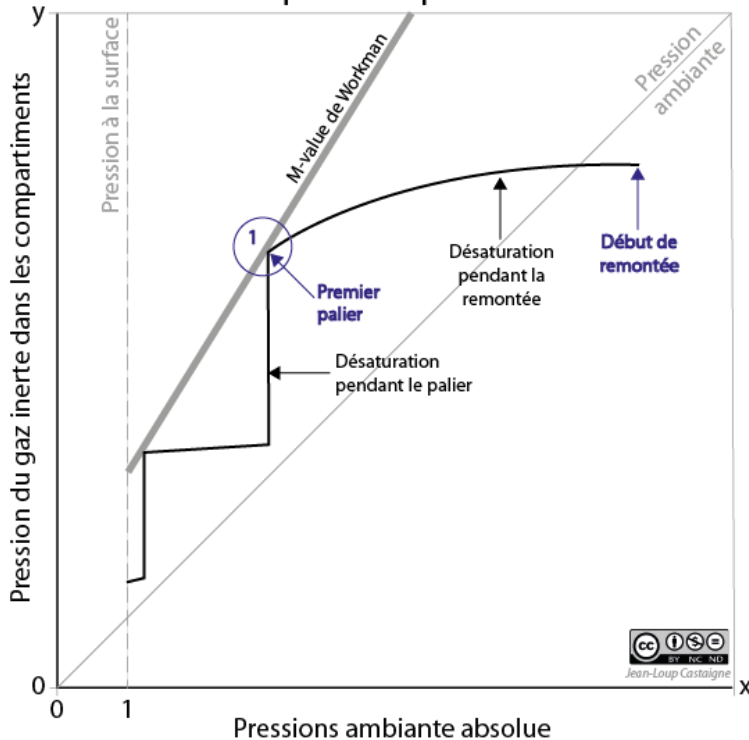


Nella figura sopra abbiamo una linea blu che indica l'aumento della pressione scendendo in profondità e che si stabilizza una volta giunti sul fondo. Quella gialla indica l'aumento della pressione parziale dell'azoto inspirato durante la discesa: anch'essa si stabilizza raggiungendo il fondo. La linea rossa indica un tessuto che si inizia a saturarsi, ma non raggiunge la saturazione completa (altrimenti toccherebbe la linea gialla nella fase piatta, cioè quella di fondo). Il momento in cui le linee blu e gialla iniziano a scendere è quello della risalita. Entrambe scendono velocemente dato che la risalita è a 10mt/min, mentre quella rossa che indica la saturazione del tessuto scende molto meno rapidamente, generando la *sovraturazione*.

ROBERT WORKMAN

Workman in tempi ben più recenti ebbe la possibilità di semplificare la compressione del sistema di calcolo della decompressione introducendo il concetto del "valore M ". Esso indica il valore di sovraturazione massima che un tessuto può tollerare per non si incorrere in un Patologia Da Decompressione. Vengono anche introdotti più compartimenti per adattarsi meglio alle caratteristiche fisiologiche umane e il rapporto massimo di sovraturazione è 1:1,58 come sopra descritto. Come si può vedere dal grafico, sull'asse verticale abbiamo la pressione del gas inerte nel tessuto e sull'asse orizzontale abbiamo la pressione ambiente (Profondità+1bar). La linea a 45° è quella di saturazione, quando un tessuto tocca quella linea è saturo e non si può saturare di più eguagliando la pressione ambiente del gas inerte. La saturazione di un tessuto è ricavata moltiplicando per 6 il valore dell'"emi-tempo" del tessuto; un tessuto da 5 min sarà considerato saturo dopo 30 min (5×6) e toccherà la linea di saturazione indicata come "Pressione Ambiente" sul grafico sotto.

Graphe des pressions



Adapté de Baker, E.C. (1998). Clearing up the confusion about "Deep Stops", Immersed, Vol. 3, No. 4, Wouter.

Come descritto prima, la velocità di scarico dei tessuti in risalita necessita di tempo, perciò se il mio corpo che contiene il tessuto con emitempo 5 minuti saturo dopo 30 minuti d'immersione, risale di 10 mt si crea una *sovraturazione* perchè il subacqueo è risalito in un minuto, ma il tessuto ha bisogno di ben più di un minuto per equilibrarsi con la nuova pressione ambiente dell'inerte: questo eccesso di saturazione non può essere più di 1,58 volte superiore a quello ambiente. Si può quindi tracciare una seconda linea sul grafico che indica il "Valore M" che non può essere oltrepassato dal quel tessuto per non superare il "valore massimo" (valore M) di sovraturazione. Nel momento in cui il tessuto tocca il valore massimo (la linea dei valori M) il computer genera una sosta di decompressione (indicata con il punto 1) dando al tessuto il tempo di scaricarsi un po' prima di poter continuare la risalita. Ripresa la risalita dopo la tappa di decompressione può darsi che la sovraturazione di quel tessuto tocchi nuovamente la linea dei valori M; il computer genererà un'altra tappa di decompressione fino a quando il subacqueo potrà uscire sano e salvo dall'acqua. Workman aggiunge al modello nuovi tessuti per migliorare l'algoritmo soprattutto nella porzione dei tessuti medi che sono i più stressati dagli obblighi decompressivi.

MODELLO A 16 COMPARTIMENTI

Per complicare le cose bisogna considerare che ogni diverso tessuto inserito nel computer ha una sua specifica linea dei valori M. Nel nostro computer potremmo avere ben 16 compartimenti con 16 linee di valori M diverse. Questo perchè, in effetti, i tessuti veloci sopportano una sovraturazione maggiore rispetto a quelli lenti. Se il nostro computer è tecnico e gestisce anche le miscele contenenti elio, avrà ulteriori 16 tessuti ognuno con i valori M specifici per quel tessuto, considerando anche l'elio come gas inerte presente nei tessuti. Per fortuna che abbiamo un computer al polso o un software decompressivo che calcola tutto per noi!

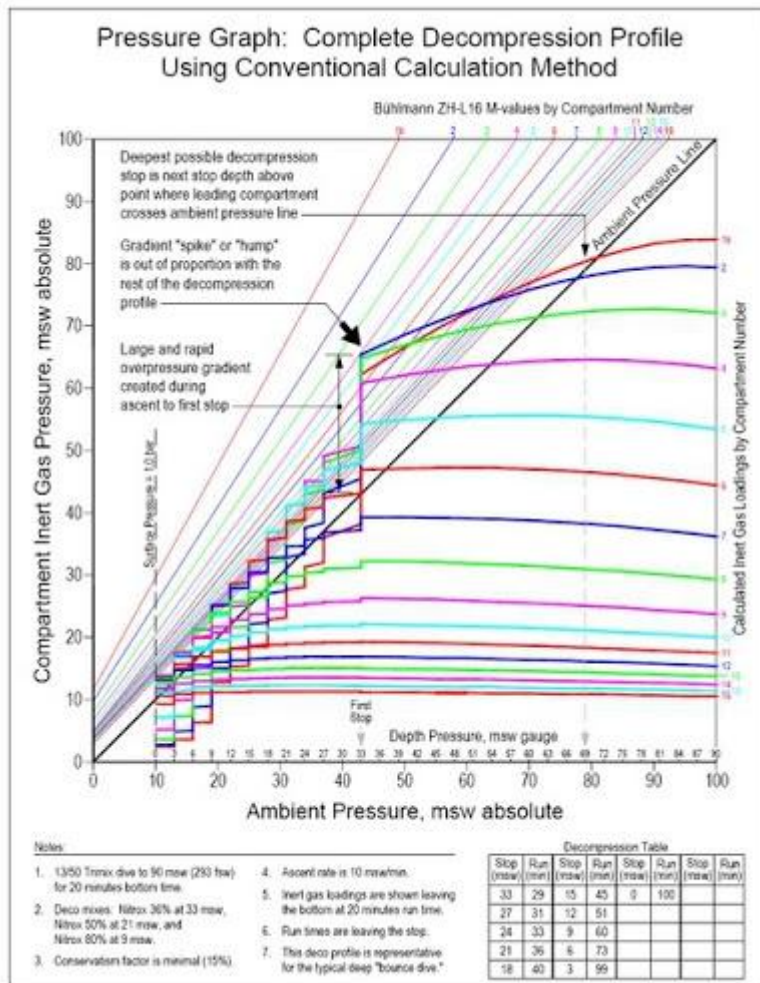


Figure 1

ALBERT BHULMANN



Albert Bühlmann

Bühlmann era (1923-1994) un ricercatore universitario di Zurigo che adatta l'algoritmo di Workman rendendolo più conservativo (modificando le linee dei valori M) e aggiungendo compartimenti arrivando ad inserirne 16 come descritto sopra.

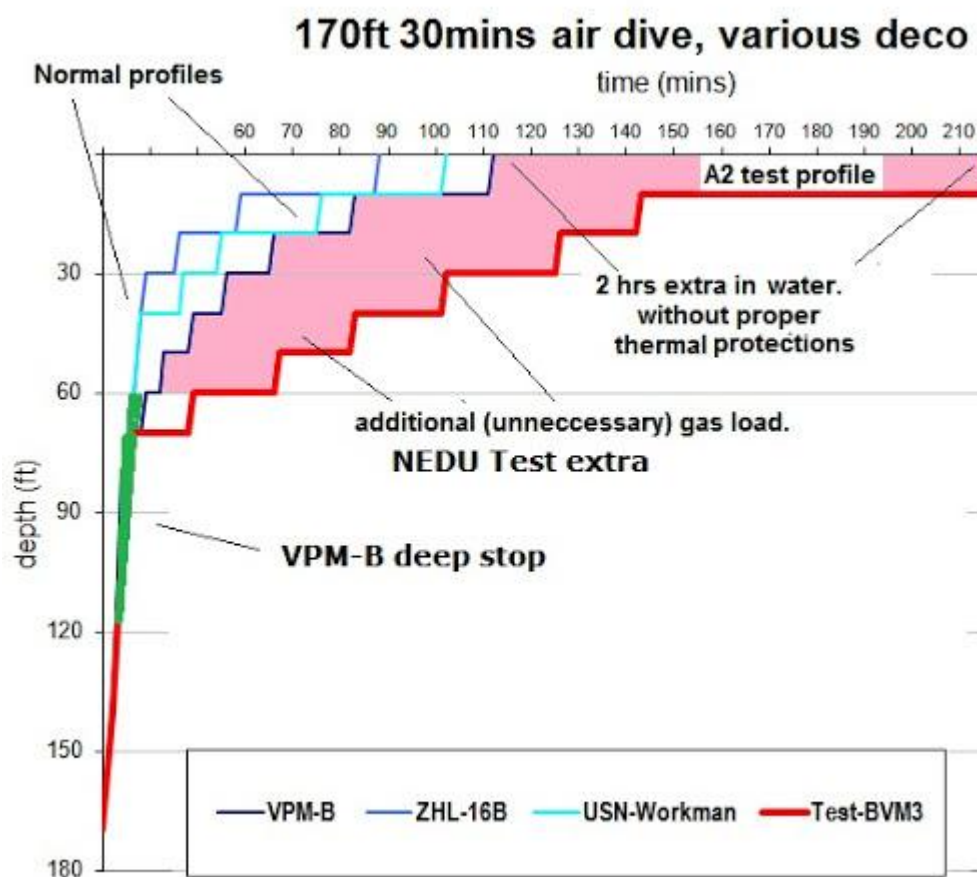
Il suo modello decompressivo è stato cambiato più volte fino ad adattarlo il meglio possibile alla fisiologia umana. Ha avuto la fortuna di poter lavorare con una enorme quantità di dati inviatigli da subacquei ricreativi, tecnici e commerciali ed è per questa ragione quello più sperimentato.

ALTRI MODELLI DECOMPRESSIVI

Il modello a permeabilità variabile (Varying Permeability Model o VPM) è un algoritmo di decompressione definito da D.E. Yount e usato nella subacquea sportiva e commerciale. È stato definito in seguito all'osservazione della formazione di bolle gassose nei sistemi esposti a pressione.

Nel 1986 questo modello è stato applicato dai ricercatori della University of Hawaii per calcolare alcune tabelle di decompressione.

Il VPM presume che microscopici nuclei gassosi siano sempre presenti sia nel sangue che nei tessuti che la contengono. Ogni nucleo più grande di una dimensione critica specifica, relativa alla massima profondità raggiunta, crescerà durante la decompressione (e quindi durante la risalita). Il modello ha lo scopo di minimizzare il volume totale di queste bolle mantenendo la pressione esterna dei gas inerti più alta rispetto a quella interna alla bolla. Da questo modello decompressivo ne sono nati altri che vengono usati ancor oggi in molti computer subacquei e rappresentano il fondamento delle "ratio-deco". Non approfondiremo questi modelli perchè il sistema che permette di aumentare la sicurezza sui computer che hanno i Gradient Factor è quello di Buhlmann anche se c'è da dire che introduce tappe di decompressione più profonde per tenere sotto controllo la dimensione delle bolle, ed accorcia le tappe più superficiali come si può notare nel grafico riportato sotto: **Per approfondire di più il modello decompressivo VPM puoi cliccare qui**



GRADIENT FACTORS: DOVE SI TROVANO

Sempre più i computer subacquei ci offrono funzioni per proteggerci dai pericoli della Patologia da Decompressione con funzioni che aumentano il livello di conservatorismo nella gestione delle decompressioni. Mentre i computer che lavorano con l'algoritmo decompressivo VPM elaborano tali livelli prendendo in considerazione il "Raggio Critico della Bolla", molti di quelli che si basano su algoritmi Buhlmann applicano il sistema dei "Gradient Factors". L'Istruttore subacqueo e il suo allievo hanno la necessità di conoscere nel dettaglio come funzionano le due diverse filosofie algoritmiche e i livelli di conservatorismo. Cercherò brevemente in questo articolo, di spiegare proprio queste differenze nel modo più semplice possibile.

COSA SONO I GRADIENT FACTOR

I gradient factor sono un sistema per aumentare la sicurezza nella pianificazione di un'immersione che permette di modificare l'inclinazione della linea dei valori M. Il sistema è stato inventato da Erik Baker negli anni '90 e tuttora è il sistema più avanzato per la gestione della sicurezza con un computer subacqueo.

I Gradient Factors sono due numeri in percentuali nei quali il primo rappresenta il Low Gradient Factor (fattore di gradiente basso) ed il secondo il Hig Gradient Factor (fattore di gradiente alto).

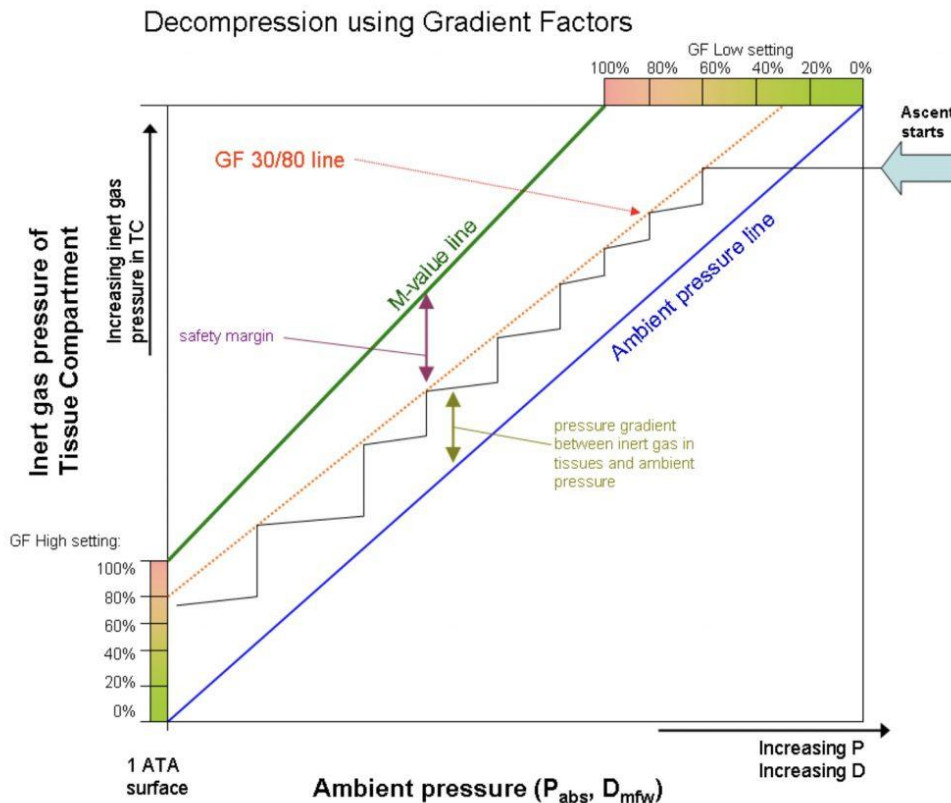


Figure 4: One-tissue model of decompression. Graph starts from top right and goes left down, staying between the ambient pressure line and Gradient Factor (GF) line. GF line stays below the M-value line and forms the safety margin for the decompression. Pure Bühlmann decompression would follow the M-value line (GF 100/100).

Come funzionano i Gradient Factor

Come possiamo vedere dal primo grafico, spostando il LGF (low gradient factor) verso 0% farò in modo da generare una tappa da decompressione prima che i miei tessuti tocchino il valore M aumentando la sicurezza.

Il LGF genera quindi tappe profonde e gestisce i tessuti veloci che sono i primi che in risalita toccano la linea dei valori M. Se con un LGF 80% avrò la prima tappa di decompressione a 12mt, spostando il valore a 60% la tappa di potrebbe generare a 15mt.

Il HGF (high gradient factor) influenza essenzialmente l'ultima tappa di decompressione allungandola man mano che la sposto verso lo 0%. Se con un HGF 80% avrò una tappa a 3mt di 10min, portandolo a 60% essa mi si potrebbe allungare a 15min.

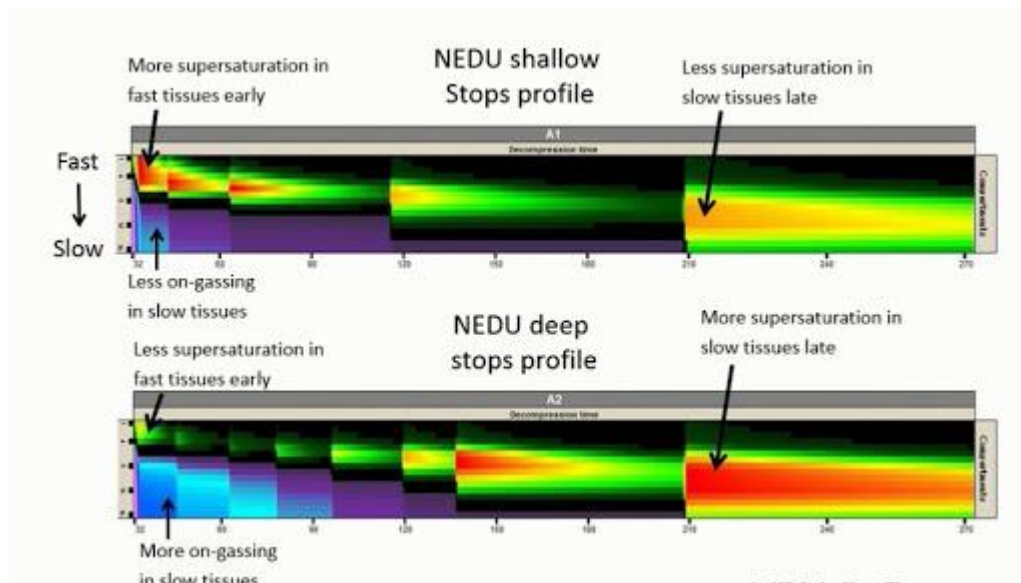
COME GESTIRE I GRADIENT FACTORS?

Dopo aver compreso come funziona il sistema a GF dell'algorithm Bhulmann (sugli altri modelli decompressivi non è utilizzabile) capiamo anche perchè oggi tale algoritmo viene preferito rispetto agli altri. Il subacqueo può infatti variare i valori GF in modo da creare un profilo decompressivo che segue una filosofia decompressiva VPM (risalita con tappe più profonde, ma meno tempo nell'ultima tappa) oppure quella "Bhulmaniana" (meno tappe profonde e più tempo nelle tappe superficiali).

La difficoltà si riscontra quando si chiedono alla comunità subacquea consigli su come impostarli. Ognuno ha le proprie idee che sono, ironicamente, quasi sempre differenti dalle altre e si rischiano veri e propri "linciaggi social" qualsiasi scelta si decida di seguire. Le risposte più sibilline potrebbero essere tipo: "lo capirai sperimentando su te stesso con l'esperienza" come se dovessi finire un paio di volte in camera iperbarica prima di capire quali sono le impostazioni adeguate. Ecco una breve spiegazione che può risultare utile per eliminare la nebulosità delle informazioni che si trovano sul web o nei social.

SUGGERIMENTI SUI GRADIENT FACTORS

Il LGF non sempre aumenta la sicurezza. Generando tappe troppo fonde infatti, si rallenterà la risalita, ma i tessuti lenti non ancora saturi continueranno ad assorbire gas inerte con un risultato finale di aumentare il pericolo di PDD (patologia da decompressione) al posto che aumentare la sicurezza.



Sopra profilo 83mt per 20min Bhulman 40/70
Sotto 83mt per 20min VPM + 4 (Deep stop profile)

Nell'immagine sopra si analizzano due profili fatti a 83 mt per 20 min con le stesse miscele ma con i due diversi algoritmi: Bhulmann 40/70 e VPM+4. Sul lato sinistro del grafico sono riportati i tessuti dai veloci (in alto) a quelli lenti (in basso). Se all'inizio della risalita si nota un minore stress infiammatorio nei tessuti veloci già saturi, quelli lenti continuano a saturarsi durante le tappe fonde generate dal Modello VPM facendo uscire dall'acqua il subacqueo con un livello di infiammazione maggiore.

Personalmente (e non pretendo sia quella corretta!) seguo questa regola: imposto un LGF sul software decompressivo in modo che non generi tappe più fonde del punto in cui prenderò il mio primo gas decompressivo (e quindi della sua MOD). Il computer tecnico nel quale ho inserito le mie miscele, creerà da solo tappe fonde se lo ritiene necessario a seconda della miscela inserita, per evitare una risalita troppo veloce considerando che l'elio esce dai tessuti molto più velocemente rispetto all'azoto. Il profilo identico per tempi e miscele fatto con i GF impostati su 40/70 rispetto a quello VPM con livello di sicurezza +4 lo mostrano con evidenza. **Per comprendere meglio l'evoluzione delle nuove teorie decompressive puoi approfondire cliccando qui (presentazione YouTube in inglese)**

Il GFH invece, non presenta questo problema: allungare il tempo della tappa più superficiale, non fa altro che aumentare il livello di sicurezza. Personalmente uso un valore compreso fra 70 e 80 creando una sorta di tappa di sicurezza di qualche minuto in più rispetto al tempo dell'ultima tappa di decompressione.

Nella subacquea ricreativa alcuni GF utilizzabili sono per esempio 85/80, o 90/85: non vogliamo che si generino tappe fonde se rimango nei limiti di non decompressione: molti studi ritengono infatti che ciò sarebbe controproducente per il livello di infiammazione dei tessuti e il pericolo di PDD. Nei profili più

tecnici 40/70 o 45/80 non dovrebbero generare tappe più fonde della MOD del primo gas decompressivo e lasciano un buon margine di sicurezza nell'ultima tappa. Con il CCR Rebreather il discorso cambia (seppur non di molto: io uso gli stessi GF..) perchè la macchina cambia continuamente miscela durante la risalita. **Se vuoi sapere perché dovresti passare ad un CCR clicca qui.** *Essere conservativi allungando l'ultima tappa, deve comunque prendere in considerazione i valori di intossicazione ed esposizione da ossigeno, soprattutto se questa tappa viene condotta respirando ossigeno puro dato che risulterebbe sarebbe allungata.*