

cenni di subacquea

Quelli che seguono sono appunti scritti per uso personale, per facilitare il ripasso di teoria di 1mo e 2do grado CMAS: per questo motivo non pretendono assolutamente di sostituire i manuali di subacquea. Metto questi appunti a disposizione di tutti i visitatori del mio sito: per i sub, perchè possano ripassare la teoria; per gli altri, perchè possano incuriosirsi e magari... iscriversi a qualche corso di subacquea...

Argomenti:

ATTREZZATURA

[apnea](#)

[attrezzatura respirazione assistita \(a.r.a.\)](#)

LEGGI FISICHE FONDAMENTALI

ANATOMIA E BIOLOGIA

[apparato respiratorio](#)

[apparato cardiocircolatorio](#)

[orecchie, timpani & compensazione](#)

TECNICHE DI IMMERSIONE

[apnea](#)

a.r.a.:

[saturazione & desaturazione](#)

[tabelle](#)

[programmazione](#)

[esempi di calcolo](#)

INCIDENTI (documento a parte)

attrezzatura per APNEA

- muta, guanti e calzari in NEOPRENE (contiene bolle d'aria e consente un isolamento termico migliore): la muta in due pezzi da 3-5mm è più elastica, liscia all'interno (facilita la respirazione ed i movimenti)
- maschera a volume ridotto & boccaglio (aeratore o "snorkel")
- pinne a sgancio rapido, lunghe strette, rigidità media
- zavorra in piombo: cintura a sgancio rapido e cavigliere
- orologio e profondimetro (a colonna, bagno d'olio o membrana)
- coltello
- boa segnasub (o barca d'appoggio con boa): bandiera rossa con banda trasversale bianca per segnalare ai natanti la presenza del sub (devono stare distanti almeno 50 mt...)

al termine dell'immersione, l'attrezzatura va lavata con acqua dolce.

attrezzatura respirazione assistita (A.R.A.)

- muta, guanti e calzari in NEOPRENE (contiene bolle d'aria e consente un isolamento termico migliore): la muta in due pezzi da 3-5mm è più elastica, liscia all'interno (facilita la respirazione ed i movimenti)
- maschera e boccaglio (aeratore o "snorkel")
- pinne larghe e rigide, lunghezza media, a sgancio rapido
- zavorra x muta + 2 Kg per la bombola (per evitare la pallonata con la b. scarica)
- orologio e profondimetro oppure computer (che incorpora entrambi)
- coltello
- boa segnasub (o barca d'appoggio con boa)
- torcia
- bombole (revisione ogni quattro e poi ogni due anni)
- g.a.v. (giubbetto assetto variabile)
- "gruppo" (manometro, frusta, doppio erogatore)

al termine dell'immersione, l'attrezzatura va lavata con acqua dolce.

leggi fisiche fondamentali

PASCAL	la pressione esercitata su un fluido si trasmette con uguale intensità in tutte le direzioni	sono le leggi fondamentali per capire gli effetti della pressione e darne una misura fisica
TORRICELLI	1 ATM = 760mm Hg Press.totale= 1 ATM + 0,1 ATM per ogni metro di profondità	
Principio di ARCHIMEDE	un corpo immerso in un fluido riceve una spinta dal basso verso l'alto pari al peso del volume del liquido spostato	galleggiamento e assetto; l'attrezzatura crea un volume maggiore (quindi spinta maggiore da annullare con la zavorra)
BOYLE & MARIOTTE	a temperatura costante, il volume del gas è inversamente proporzionale alla pressione cui è sottoposto	<ul style="list-style-type: none"> - pressione nei polmoni e consumo d'aria - tappa di compensazione a 3mt - embolia
CHARLES	a volume costante, la pressione di un gas è proporzionale alla sua temperatura	pressione di carica delle bombole; pericolo di ghiaccio e condensa con svuotamenti rapidi
DALTON pressioni parziali	la pressione esercitata da un miscuglio di gas è uguale alla somma delle pressioni parziali esercitate dai singoli gas	legata alla legge di Henry, ci permette di capire il comportamento di O2, CO2 e azoto
HENRY scambi gassosi	a temperatura costante, la quantità di gas che si scioglie in un liquido è proporzionale alla pressione che il gas esercita sulla superficie del liquido	in superficie situazione stabile, in discesa l'azoto viene rilasciato dal sangue, in risalita viene ripreso nel sangue: una variazione intensa di pressione può provocare MDD (malattia da decompressione - vedi incidenti)

apparato respiratorio

L'aria è una miscela di gas (azoto:78-80%; ossigeno: 20%; anidride carbonica: 0,03%, oltre a gas minori): per quanto riguarda la respirazione, ci interessano l'ossigeno e l'anidride carbonica.

La respirazione è data da cicli inspiratorii ed espiratorii; la combinazione dei due si chiama **atto respiratorio**.

L'aria inspirata dal naso o dalla bocca passa ai polmoni attraverso faringe, laringe e trachea. Negli **alveoli** polmonari, l'aria cede ossigeno e si ricarica di anidride carbonica (che arrivano rispettivamente al 15% e al 4-5%).

La variazione di anidride carbonica viene sentita da ricettori chiamati **nuclei chemiotattici**, i quali comandano delle contrazioni diaframmatiche per ristabilire la situazione.

L'espirazione consente di buttare fuori l'aria ricca di anidride carbonica e liberare i polmoni per un nuovo atto inspiratorio.

La ripetizione di atti respiratori profondi si chiama IPERVENTILAZIONE: L'iperventilazione consente di liberare bene i polmoni dall'anidride carbonica, ma "falsa" la capacità ricettiva dei nuclei chemiotattici: va quindi eseguita con cura e non deve essere ripetuta troppe volte di seguito.

La capacità media dei polmoni è di circa 5,5 - 6 litri d'aria e lo spazio dei polmoni si può considerare così suddiviso:

spazio morto broncotracheale	155 cc	non partecipa agli scambi gassosi	
volume riserva inspiratoria	2500 cc	volume accumulato partendo da una inspirazione normale, inspirando al massimo	
volume corrente	500 cc	volume coinvolto in cicli respiratori normali	capacità vitale
volume riserva respiratoria	1000cc	volume accumulato partendo da una espirazione normale, espirando al massimo	
volume residuo	1350 cc	si emette solo in caso di pneumotorace totale, o se i polmoni vengono asportati...	

La **capacità vitale** è il volume d'aria che si riesce a ventilare dalla massima inspirazione alla massima espirazione.

apparato cardiocircolatorio

L'inspirazione porta aria nei polmoni: gli alveoli polmonari permettono di cedere ossigeno al sangue e recuperare anidride carbonica da espellere.

Grazie alla spinta del cuore, il sangue arterioso parte dai polmoni ricco di ossigeno (21%, oltre ad un 5,1% di co₂), passa attraverso il cuore (orecchietta sx-valvola mitrale-ventricolo sx-valvola aortica) e gira per il corpo: nel percorso lungo le **arterie**, il sangue rilascia ossigeno e preleva anidride carbonica attraverso i capillari.

Il sangue (adesso al 15% di o₂ e al 5,8% di co₂) ritorna al cuore attraverso le **vene**: dopo essere passato dal cuore (orecchietta dx-valvola tricuspide-ventricolo dx-valvola sigmoide) il sangue venoso ritorna agli alveoli polmonari dove cede l'anidride carbonica in eccesso ed incamera ossigeno.

NB: la combinazione degli effetti delle leggi di Henry, di Dalton e di Boyle-Mariotte può provocare accumulo nel sangue di azoto, e quindi rischio di embolia o mdd (vedi sezione a parte sugli [incidenti](#)).

orecchie, timpani & compensazione

I **timpani** sono una membrana interna all'orecchio e sono collegati a naso e bocca tramite le **tube di eustachio**.

L'aumento della pressione esterna (quindi dell'acqua) provoca una loro introflessione: la manovra di **compensazione** serve per portare al timpano aria a pressione uguale a quella esterna, così da correggerne la posizione.

La mancata compensazione provoca la rottura della membrana del timpano che, sottoposta ad una pressione eccessiva, si lacera dolorosamente!

La compensazione è un'operazione fondamentale della subacquea e può essere fatta con varie tecniche (pensiamo alla deglutizione quando siamo in macchina e stiamo andando in montagna). Le tecniche più efficaci per la subacquea sono due:

VALSALVA: si chiude il naso e si espira; l'aria viene dirottata nelle tube di Eustachio.
Facile, ma richiede l'uso di tutti i muscoli espiratori.
Inoltre, la richiesta di uno sforzo ulteriore può in alcuni casi favorire una sincope.

MERCANTE-ODAGLIA: compressione dell'aria contenuta nel retrofaringe.
Si chiude il naso e si porta la base della lingua indietro in alto.
è molto efficace, con utilizzo minimo dei muscoli, ma richiede esercizio.

La compensazione è indispensabile soprattutto nei primi metri di discesa.
Superfluo dire che le condizioni fisiche devono essere ottimali: raffreddori e catarro ostacolano l'apertura delle tube di Eustachio e quindi rendono difficile - se non impossibile - la compensazione.

immersione in apnea

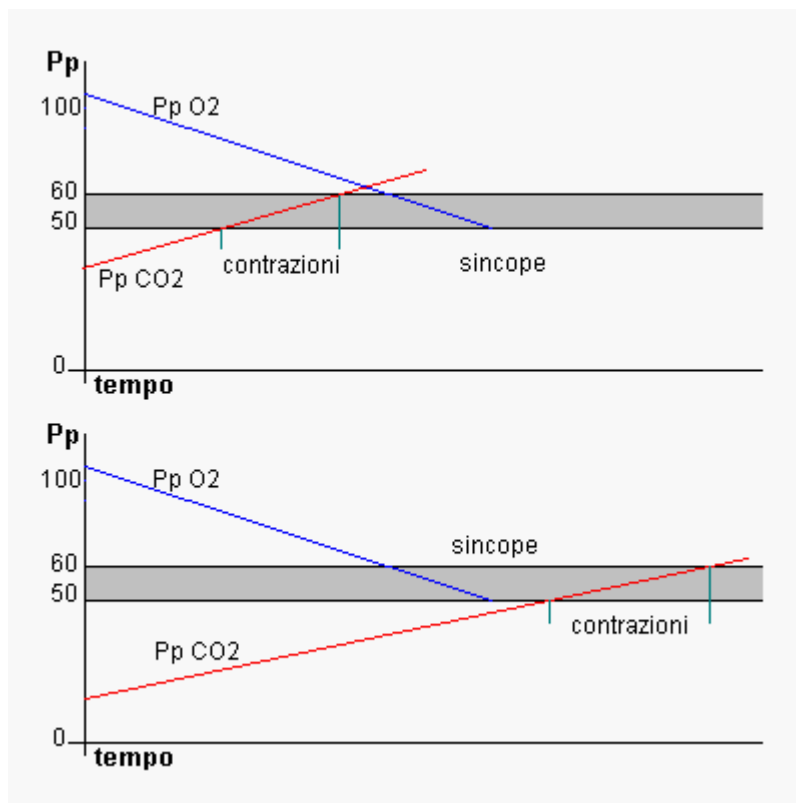
L'immersione in apnea è la più immediata: si trattiene il respiro e... si scende! Non ci sono scambi d'aria, e quindi il sangue si impoverisce di ossigeno e si arricchisce di anidride carbonica. Una concentrazione di ossigeno nel sangue sotto il 10% (*ipossia*) non permette più i processi metabolici: il cervello smette di funzionare e si ha una [sincope](#).

Un eccesso di anidride carbonica (*ipercapnia*) provoca prima "fame d'aria" (le contrazioni diaframmatiche), poi lentezza mentale e muscolare e cessazione delle contrazioni. Con livelli di CO_2 all'11% si ha la paralisi respiratoria centrale e successivamente arresto cardiaco.

I fattori che determinano l'immersione in apnea sono quindi:

- ipossia e ipercapnia
- capacità vitale
- movimento
- condizioni ambientali
- condizione psicologica
- iperventilazione.

L'iperventilazione ritarda la comparsa delle contrazioni diaframmatiche: un'iperventilazione eccessiva può portare alla sincope, senza che il fisico si renda conto di quello che sta accadendo



L'immersione deve essere sempre fatta almeno in coppia: il primo sub si immerge, l'altro resta a galla per controllare che tutto vada bene e per prestare assistenza se necessario. La profondità massima deve essere adeguata alle capacità dell'apneista più debole. L'assetto deve essere leggermente negativo per apnee in bassi fondali e leggermente positivo per apnee profonde, così da facilitare gli ultimi metri della risalita. In ogni caso, sono fondamentali i **MOVIMENTI LENTI** (minor consumo di ossigeno), la **TRANQUILLITÀ** e l'**ALLENAMENTO**.

E' bene sputare il boccaglio per poter respirare immediatamente al momento della riemersione. La compensazione deve funzionare bene. Tra due discese deve esserci tempo sufficiente per riportare alla normalità i valori di ossigeno e anidride carbonica.

Apnea profonda :

In apnea profonda il corpo autoprotette la compressione eccessiva dei polmoni con il fenomeno del **Blood shift**: i vasi polmonari esili si riempiono di sangue per compensare la pressione esterna sui polmoni, quindi i tessuti periferici devono lavorare con poco ossigeno e molto acido lattico.

Un altro aspetto da considerare nelle apnee profonde è la sensazione di benessere che si riceve, dovuta al fatto che la variazione di pressione parziale di ossigeno facilita gli scambi $O_2 - CO_2$. Ovviamente nelle apnee profonde è maggiore il rischio di sincope: quindi occorre considerare bene il calo della pressione parziale dell'ossigeno in risalita.

L'incidente più grave per l'apneista è la **sincope**: una perdita di conoscenza dovuta al fatto che l'ossigeno nel sangue scende sotto il 10% e si verifica un blocco metabolico (*ipossia*). La sincope non dà sintomi di avvertimento.

La sincope può essere "**secca**" (senza iperventilazione preliminare, e quindi le contrazioni diaframmatiche ci sono già state) oppure "**umida**" (a seguito di iperventilazione, e quindi le contrazioni in stato di incoscienza provocano atti respiratori in acqua...).

Alla riemersione il sincopato è rigido, senza respirazione spontanea, di colore scuro - tendente al blu (se l'arresto respiratorio ha preceduto quello cardiaco) oppure biancastro (se due arresti sono stati simultanei). Se le pupille non reagiscono alla luce, è segno di grave sofferenza del cervello. Comunque, l'unica cura è la rianimazione immediata.

La sincope può essere evitata **non forzando le apnee e l'iperventilazione**.

Altri incidenti come l'ipotermia e l'ipertemia vengono trattati con gli [incidenti a.r.a.](#)

saturazione & desaturazione

In base agli studi compiuti da Haldane all'inizio del XX secolo sui lavoratori dei cassonetti, si scoprì che un'eccessiva variazione di pressione in risalita è dannosa per il fisico ed aumenta le possibilità di malattia da decompressione (v. "mdd" nella sezione sugli [incidenti](#)): in particolare, si scoprì che i rischi di *mdd* aumentano in maniera considerevole quando il rapporto tra la pressione tissutale e quella ambientale è superiore a **2:1**. La saturazione/desaturazione di azoto nei/dai tessuti al sangue è alla radice di questo fenomeno.

saturazione e desaturazione:

L'azoto è presente nei polmoni e nel sangue alla pressione parziale relativa alla pressione esistente nell'ambiente.

Per la legge di Henry, all'aumentare della profondità aumenta la quantità di azoto che si scioglie nei tessuti dell'organismo (in quanto aumenta la pressione ambientale - e quindi quella parziale dell'azoto che tende ad andare "in soluzione" nei tessuti); durante la risalita l'azoto viene rilasciato dai tessuti al sangue, che lo riporta nei polmoni insieme all'anidride carbonica.

In caso di risalita rapida, l'effetto combinato delle leggi di Henry e di Boyle -Mariotte comporta un eccesso di microbolle di azoto nel circolo venoso che tendono ad espandersi, con il rischio di creare dei "tappi" che bloccano la circolazione del sangue.

Tuttavia ogni tessuto ha un tempo di saturazione differente (parliamo di "*tessuto veloce*" o "*tessuto lento*"): andiamo dai 2-3 minuti del sangue ai 10 di fegato-reni-polmoni, ai 30-50 di muscoli e cervello, alle due ore del midollo spinale per finire alle dodici ore del midollo osseo, che è il tessuto più lento.

La saturazione (e la DEsaturazione) completa avvengono in un ciclo di **6 periodi di emisaturazione** (= "saturazione della metà"), durante i quali il tessuto si satura della metà della saturazione rimanente.

All'uscita da un'immersione, il nostro corpo ha azoto in eccesso in quantità dipendente dalla profondità raggiunta e dal tempo di permanenza alle varie quote. Si calcola che l'eliminazione totale dell'azoto avvenga in dodici ore, terminate le quali una successiva immersione viene considerata come "nuova immersione". Al contrario, se vengono fatte altre immersioni in quest'intervallo ("*immersioni ripetitive*") bisogna tener conto dell'azoto accumulato nelle immersioni precedenti: diventa fondamentale l'uso delle tabelle di immersione.

tabelle

Seguendo i principi di Haldane ed i periodi di emisasaturazione e considerando i fattori fondamentali dell'immersione (che sono la profondità, il tempo di permanenza sul fondo, la velocità di risalita e la sosta di sicurezza) sono state elaborate le **tabelle di immersione**, che ci forniscono un'insieme di dati:

- il **tempo** massimo d'immersione per ogni profondità
- il "**gruppo di uscita**" (valore di assorbimento dell'azoto residuo al termine dell'immersione)
- gli **intervalli** di tempo in superficie utili per immersioni ripetitive
- il "**gruppo di entrata**" (valore di assorbimento dell'azoto residuo all'inizio dell'immersione)
- il **tempo da sommare** al tempo dell'immersione successiva per calcolarne le relative tappe
- le **tappe** di decompressione (obbligatorie se si supera il tempo massimo indicato per quella data profondità)
- la **velocità di risalita** per la quale quella tabella è valida (di norma 10 mt/min).

L'insieme dei tempi massimi indicati per ogni profondità si chiama "**curva di sicurezza**", entro la quale non abbiamo bisogno di tappe di decompressione (NB: le immersioni sportive devono essere programmate per rimanere entro la curva di sicurezza).

L'immersione in curva di sicurezza è detta "*senza decompressione*", quella fuori curva "*con decompressione*" perchè bisogna fare le tappe di decompressione indicate sulle tabelle. In ogni caso una **sosta di sicurezza** di tre minuti a tre metri è sempre consigliata e ci permette di essere ulteriormente sicuri.

DIVE LETTER GROUP	DEPTH (metres)															DIVE LETTER GROUP										
	3	4,5	6	7,5	9	10,5	12	15	18	21	24	27	30	33	36		39	42	45							
A	60	35	25	20	15	5	5												A	0:10	12:00					
B	120	70	50	35	30	15	15	10	10	5	5	5	5						B	0:10	2:10	12:00				
C	210	110	75	55	45	25	25	15	15	10	10	7	5	5	5	5	5	5	C	0:10	1:40	2:50				
D	300	160	100	75	60	40	30	25	20	15	15	12	10	10	10	8	7		D	0:10	1:10	2:49	12:00			
E		225	135	100	75	50	40	30	25	20	20	15	15	13	12	10	10		E	0:10	0:55	1:58	3:33	6:33		
F			350	180	125	95	60	50	40	30	25	20	20	15	15				F	0:10	0:48	1:57	3:22	6:32	12:00	
G				240	160	120	80	70	50	40	35	30	25	22	20				G	0:10	0:45	1:59	3:07	7:05	12:00	
H					325	195	145	100	80	60	50	40	35	30	25				H	0:10	0:40	1:55	2:58	4:26	7:56	12:00
I						245	170	120	100	70	55	45	40						I	0:10	0:37	1:42	2:54	4:40	8:00	12:00
J							315	205	140	110	80	60	50						J	0:10	0:34	1:40	2:53	4:40	8:00	12:00
K								250	160	130	90								K	0:10	0:31	1:37	2:50	4:37	8:00	12:00
L									310	190	150	100							L	0:10	0:28	1:33	2:46	4:33	8:00	12:00
M										220	170								M	0:10	0:25	1:30	2:43	4:30	8:00	12:00
N											270	200							N	0:10	0:22	1:27	2:40	4:27	8:00	12:00
O												310							O	0:10	0:19	1:24	2:37	4:24	8:00	12:00

NEW DIVE LETTER GROUP	REPEITIVE DIVE DEPTH (metres)															
	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	
A	12	241	213	187	161	135	116	101	87	73	61	46	31	25	17	7
B	15	160	142	124	111	99	87	76	66	56	47	38	31	21	13	6
C	18	117	107	97	89	79	70	61	52	44	36	28	21	11	5	
D	21	86	87	80	72	64	57	50	43	37	31	26	20	15	9	4
E	24	80	73	68	61	54	48	43	38	32	28	23	19	13	8	4
F	27	70	64	58	53	47	43	38	33	29	24	20	16	11	7	3
G	30	62	57	52	48	43	38	34	30	26	22	18	14	10	7	3
H	33	55	51	47	42	38	34	31	27	24	20	16	13	10	6	3
I	36	50	46	43	39	35	32	29	25	21	18	15	12	9	6	3
J	39	44	40	38	35	31	28	25	22	19	16	13	11	8	6	3

Le tabelle vanno lette in questa sequenza (*percorso blu nella nostra immagine*):

1. stabilita la profondità (21 mt, nel nostro esempio)
2. e considerato il tempo in cui si è rimasti immersi (35 min.)
3. si ottiene il gruppo di uscita ("G").
4. Trascorso un intervallo di tempo in superficie (supponiamo 2 ore)
5. si ricava il gruppo di entrata, che sarà uguale o - meglio - minore di quello di uscita precedente (*nel nostro caso "D"*)
6. in base al quale ricavare il tempo da aggiungere (24 min) al tempo indicato per la profondità che vogliamo toccare nell'immersione successiva (18 mt.) quando dobbiamo calcolare le tappe di decompressione relative a quest'ultima.

programmazione dell'immersione

PIANIFICAZIONE:

- * scelta del luogo
- * informarsi (cosa si può vedere, cosa evitare, regolamenti e permessi)
- * scelta del mezzo di trasporto per raggiungere la località
- * piano d'immersione: data di partenza, ora di ritrovo, cosa si vede, profondità, durata, consumi, tabelle, ecc.
- * controllo delle condizioni meteo
- * preparazione materiale e nr.telefono utili (in estate ricordare crema ed occhiali da sole)

CONTROLLO E IMBARCO:

- * ritrovo nella località e verifica delle condizioni ambientali
- * appello nominale nel caso di gruppi grossi
- * controllo aria ed attrezzature (con lista scritta o con vestizione mentale)
- * vestizione parziale (se la barca è piccola)
- * imbarco materiale (nella zona del gruppo di appartenenza ed assicurato bene)
- * imbarco subacquei

IMMERSIONE:

- * briefing e preparazione durante il tragitto
- * bombola di riserva montata e chiusa messa in acqua a 3-5 mt (per buona norma)
- * piazzamento delle boe di segnalazione
- * cinque controlli ARIA: bombola, manometro, 1mo e 2do erogatore, carico/scarico gav, valvole
- * cinque controlli CINGHIAGGI: zavorra, gav, coltello, profondimetro, pinne
- * entrata in acqua ed immersione: compagno, tempo, profondità
- * emersione in gruppo
- * ritorno in barca: sgancio zavorra, sgancio pinne e salita
- * recupero attrezzatura e sistemazione-assicurazione della propria
- * appello per gruppi grossi
- * ritorno al porto

esempi di calcolo:

pressioni:

la pressione ad una determinata profondità ("quota") è

$$pr = (q / 10) + 1, \text{ oppure } pr = q + q + 20$$

la pressione parziale dei vari gas è:

$$\text{AZOTO: } 0,78 * pr$$

$$\text{OSSIGENO: } 0,2 * pr$$

immersione e consumi:

sono fondamentali i calcoli delle quantità d'aria (volume_bombola X pressione) e dei consumi al minuto alla quota considerata (quota+quota+20):

$$\text{bombola } \mathbf{15 \text{ Lt a } 200 \text{ atm}} = 15 \times 200 = \mathbf{3000 \text{ Lt}} \text{ (aria totale)}$$

$$\text{tolta la } \mathbf{riserva} \text{ (50 atm): } 15 \times 50 = -750 \text{ Lt}$$

$$\text{tolta la } \mathbf{tappa} \text{ a 3 metri: } (q + q + 20) \times 3 \text{ min} = (3 + 3 + 20) \times 3 = -78 \text{ Lt}$$

$$\text{rimangono } \Rightarrow \mathbf{2172 \text{ Lt d'aria utili}}$$

supponiamo di andare a **21 mt**, dove il consumo è di

$$"q + q + 20" = 21 + 21 + 20 = \mathbf{62 \text{ Lt/min}}$$
 (consumo d'aria a 21 mt)

siamo in sicurezza?

abbiamo 2172 litri consumabili al ritmo di 62 Lt/min:

$$2172 / 62 = \mathbf{35 \text{ min}}$$
 (tempo max di permanenza, senza intaccare riserva e sosta a 3 mt)

SIAMO ENTRO I 40min DELLA TABELLA, E QUINDI IN SICUREZZA

travasi:

due o più bombole collegate consentono di travasare l'aria da quella che ha più pressione alle altre, fino ad avere la **stessa pressione** su tutte

$$\text{una bombola } \mathbf{12 \text{ Lt a } 210 \text{ atm}} = 12 \times 210 = \mathbf{2520 \text{ Lt}}$$
 iniziali

$$\text{una bombola } \mathbf{15 \text{ Lt a } 90 \text{ atm}} = 15 \times 90 = \mathbf{1350 \text{ Lt}}$$
 iniziali

collegando le bombole, è come se avessimo un'unica bombola che ha come volume la somma dei volumi e come quantità la somma dei litri iniziali

$$\text{aria totale} = 12 + 15 \text{ Lt con } 2520 + 1350 \text{ Lt} = \mathbf{27 \text{ Lt}}$$
 con **3870** Lt totali

la pressione di questa ipotetica unica bombola è pari alla pressione alla fine del travaso:

$$3870 \text{ Lt} / 27 \text{ Lt} = 143 \text{ atm}$$

$$\text{nella bombola da 15 Lt troviamo } 15 \text{ Lt} \times 143 \text{ atm} = \mathbf{2145 \text{ Lt}}$$

$$\text{nella bombola da 12 Lt troviamo } 12 \text{ Lt} \times 143 \text{ atm} = \mathbf{1716 \text{ Lt}}$$

*NB: se avessimo bisogno di una sola bombola, il travaso * NON SAREBBE CONVENIENTE * perchè nella bombola*

da 12 Lt avevo inizialmente più aria che in quella da 15 alla fine...