

I principali aspetti biologici del volo spaziale, con particolare riguardo al microclima della cabina (*)

A. SCANO (**)

Ricevuto il 19 Febbraio 1963

RIASSUNTO. — Dopo un cenno ai principali aspetti biologici del volo spaziale e dopo aver delineato alcune limitazioni attuali di questo, l'A. espone brevemente, sulla scorta delle ricerche eseguite e delle ipotesi presentate da vari studiosi, le conoscenze sui più importanti problemi dell'ambiente di una cabina spaziale occupata dall'uomo.

Vengono esaminati criticamente il rifornimento di O_2 e l'eliminazione di CO_2 , l'eliminazione del vapor d'acqua e delle altre sostanze gassose o volatili prodotte dall'uomo o dalle apparecchiature della cabina, l'eliminazione ed il ricupero parziale o totale degli escreti, il mantenimento della pressione e della composizione dell'aria o della miscela respirata, il mantenimento della temperatura.

Particolare considerazione viene data ai sistemi chiusi di rigenerazione dei gas respiratori, dei quali vengono discussi i diversi tipi in base allo stato attuale dei risultati sperimentali, alla possibilità di pratica attuazione, alla sicurezza ed al rendimento assoluto e relativo al tempo di impiego.

Si conclude che per viaggi di qualche giorno sono ancora preferibili le scorte di O_2 e la fissazione chimica o fisica del CO_2 e degli altri inquinanti, per viaggi di maggior durata (settimane e mesi) appaiono attualmente migliori i cicli chiusi di rigenerazione chimica e fisico-chimica dell' O_2 dal CO_2 espirato e dall'acqua di ricupero, mentre i cicli chiusi di rigenerazione biologica — peraltro interessanti perchè atti a risolvere vari problemi contemporaneamente — presentano ancora notevoli incognite.

SUMMARY. — After a mention of the principal biological aspects of spaceflight and of a few of its limitations, the Author exposes briefly (on

(*) Nota presentata al 2° Congresso Internazionale Tecnico Scientifico dello Spazio, Roma, 19-23 Giugno 1962.

(**) Ispettorato di Sanità Aeronautica, Capo dell'Ispettorato: Ten. Gen. med. C.S.A. Prof. T. Lomonaco.

Centro di Studi e Ricerche di Medicina Aeronautica e Spaziale, Direttore: Ten. Col. med. C.S.A. Prof. A. Scano.

the basis of research performed and of hypotheses presented by various scientists) the existing knowledge on the most important problems of a space cabin occupied by man.

The supplying of O_2 and the elimination of CO_2 , the elimination of steam and of other gaseous or volatile substances produced either by man or by the cabin's equipment; the elimination and the partial or total recovery of excreta; the maintenance of pressure and of the composition of air or of the breathable mix; the maintenance of temperature, all of these elements are critically examined.

Special attention is devoted to the closed systems of regeneration of breathable gases. The main types of these are discussed on the basis of the present state of experimental results. Also the possibility of practical application, security and yield (both absolute and relative to application times) are surveyed.

The conclusion is that O_2 supplies and chemical or physical fixing of CO_2 and other defiling substances are preferable for journeys lasting a few days. On the other hand, for journeys in the order of weeks or months, closed cycles of chemical and physical-chemical regeneration of O_2 and CO_2 expired and of recovery water are to be preferred. Closed cycles of biological regeneration — though interesting from the point of view of contemporary solution of several problems — still present several unsolved questions.

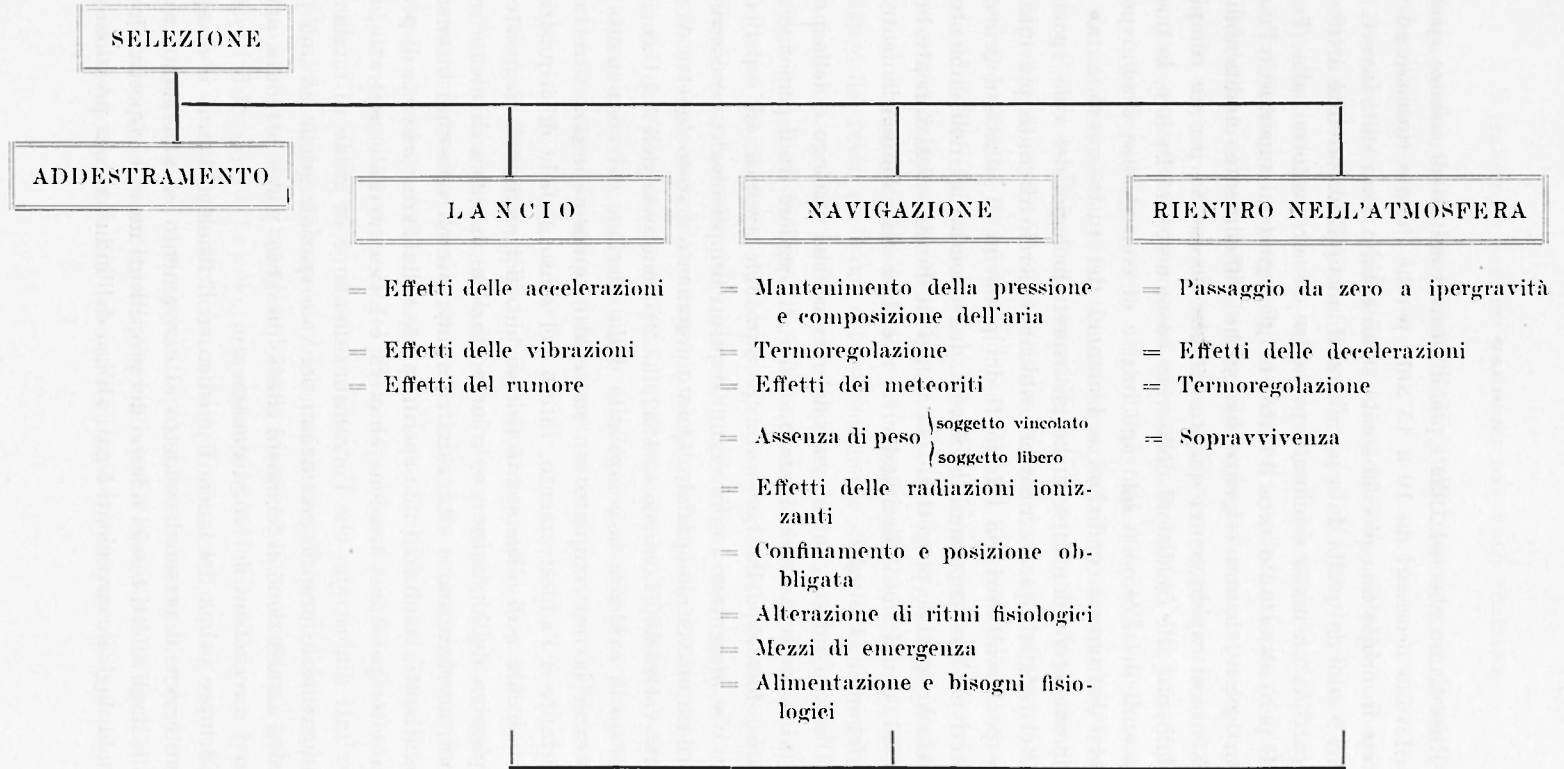
Un illustre studioso e pioniere delle scienze aerospaziali, il von Kármán, ha affermato qualche tempo fa: « Noi non siamo in grado di compiere viaggi verso gli altri sistemi solari, almeno in un futuro prevedibile: sono troppo distanti ».

Nella sua semplicità, questa frase ci sembra sintetizzare la posizione attuale della scienza nei confronti della cosmonautica propriamente detta, posizione non di sfiducia verso la possibilità prossime o lontane della ricerca in questo campo, ma di onesta e consapevole valutazione delle immani difficoltà che dovrà superare l'uomo se vorrà riuscire a navigare veramente tra i pianeti di altri sistemi solari.

Pensiamo perciò che si debba fare una chiara distinzione, almeno per quanto concerne il settore biologico, fra i problemi e gli studi concernenti il volo spaziale nell'ambito del nostro sistema solare, in parte risolti o affrontabili con le conoscenze delle quali disponiamo o possiamo ragionevolmente prevedere, ed i problemi della navigazione al di fuori di questo, i quali sono notevolmente più complessi ed in molti casi soltanto ipotizzati.

Vero è che il progresso in tutte le discipline, specialmente in quelle fisiche e tecnologiche, è così veloce, a volte con aperture impensabili, da sorpassare in breve tempo concetti e previsioni che apparivano quanto mai giustificati e razionali.

ASPETTI BIOLOGICI DEL VOLO SPAZIALE



TELETRASMISSIONE DEI DATI PSICO-FISIOLOGICI A TERRA PER IL CONTROLLO DELL'EFFICIENZA DEL PILOTA

Ricordiamo che nel 1952 i più informati cultori di scienze spaziali prevedevano necessari da 10 a 15 anni perchè l'uomo riuscisse ad immettere in orbita una piccola sonda strumentale: sono stati invece sufficienti 9 anni da quella data per aversi il lancio di un satellite artificiale occupato da un uomo e pilotato per oltre 25 ore attorno alla Terra.

È però altrettanto vero il fatto che gli organismi superiori e l'uomo in particolare, hanno esigenze biologiche difficilmente modificabili di tanto, e così rapidamente, quanto sarebbe necessario per un completo adattamento alle condizioni della vera cosmonautica. Inoltre, la nostra conoscenza del Cosmo è solo agli inizi e di conseguenza l'uomo potrà trovarsi di fronte a condizioni e fenomeni del tutto nuovi e tali da modificare profondamente anche gli aspetti biologici del volo spaziale.

Nel redigere questa relazione abbiamo perciò ritenuto più interessante per ascoltatori già informati dei problemi di carattere generale, circoscrivere l'esposizione allo studio delle condizioni dell'ambiente in un veicolo spaziale progettato per viaggi di durata relativamente breve (fino ad alcuni mesi) limitandoci a ricordare solo sommariamente gli altri fenomeni biologici.

Diciamo subito che il lavoro del medico, del fisiologo e dello psicologo inizia molto prima del lancio, al fine di scegliere fra il personale volontario, fornito della necessaria preparazione tecnica ed esperienza, coloro che presentano i non comuni requisiti fisiopsicologici necessari per governare un veicolo spaziale. Questo argomento è stato oggetto di una recente relazione (Lomonaco, 1962) al 2° Congresso dell'A.I.U.S., che ha messo in evidenza la complessità della selezione del cosmonauta ed il notevole lavoro compiuto con successo in questo campo. Altrettanto importante è l'addestramento, inteso nel senso globale di acquisizione di conoscenze e di allenamento fisiopsichico per migliorare la resistenza complessiva dell'organismo e la sopportazione specifica di alcune condizioni: accelerazioni e vibrazioni rilevanti; stimoli sensoriali inconsueti e disturbanti; condizioni mai sperimentate sulla Terra (assenza di peso); elevata temperatura; tensione emotiva e fatica mentale protratte, etc. I risultati dimostrano che l'organismo umano è in grado di migliorare grandemente le proprie prestazioni nel volo spaziale grazie ad una progressiva assuefazione ai fenomeni citati, in gran parte ottenuta attraverso i meccanismi del condizionamento.

Sempre prima del lancio il medico ed il fisiologo hanno il compito di proteggere il personale addetto al caricamento ed alla manovra del missile dagli effetti tossici o lesivi dei propellenti usati, e rispettivamente il pilota dagli inconvenienti legati all'uso dell'indumento a pressione per

il tempo, talora assai lungo fra l'inizio delle manovre di lancio e la partenza.

Durante il lancio, prima fase attiva del volo, dominano il quadro gli effetti delle accelerazioni e delle vibrazioni di varie lunghezze d'onda ed ampiezza, sui quali non ci soffermiamo poiché rappresentano capitoli classici di medicina aeronautica trasferiti ed ampliati nel campo spaziale.

Nella fase di volo orbitale od a notevole distanza dal campo gravitazionale terrestre si ha il fenomeno dell'assenza parziale o totale di peso. Dei suoi effetti e dei mezzi per studiarlo parlerà fra poco il Dott. Meineri. In questa fase, oltre ai problemi del microclima della cabina, che saranno esposti meno sommariamente nella seconda parte della relazione, ed a quelli dell'alimentazione, ne esistono altri, di origine psicofisiologico, concernenti il confinamento del cosmonauta, del quale parlerà il Ten. Col. Strollo, la sua posizione obbligata, la formazione di un equipaggio ed il suo rendimento in funzione delle singole personalità, dei turni di lavoro, della iperattività (come sinora è avvenuto) o della ipoattività (come si ritiene potrebbe avvenire in viaggi molto lunghi). Un aspetto biologico del tutto peculiare, ed estremamente importante, è rappresentato dagli effetti delle radiazioni cosmiche, ed in genere di tutte le radiazioni ionizzanti dello spazio, sull'organismo del cosmonauta. Di esso sarà detto ampiamente da altro relatore. Vogliamo qui solamente ricordare i considerevoli progressi che negli ultimi anni sono stati fatti nel campo della radioprotezione con sostanze chimiche, tanto per la prevenzione quanto per la terapia delle alterazioni biochimiche e cellulari, che danno motivo a sperare in una migliore difesa, sia pure temporanea (attraversamento di fasce radioattive, eruzioni solari) dell'organismo umano.

Durante il rientro nell'atmosfera terrestre, altra fase attiva, i problemi corrispondono a quelli del lancio, con in più la protezione dall'elevata temperatura provocata dall'attrito della superficie esterna della cabina contro le molecole sempre più dense di aria, nonché quello della sopravvivenza e del ricupero del pilota dopo l'ammarraggio o l'atterraggio con tutto il veicolo o con il paracadute.

Un lato di grande interesse biologico di tutta la navigazione spaziale è rappresentato dalla teletrasmissione e registrazione continue dei dati biologici del soggetto in volo, non soltanto ai fini scientifici, ma specialmente per controllarne l'efficienza fisiopsichica così come è controllato il funzionamento dei vari apparati più o meno automatici di governo del veicolo. Dai documentari cinematografici dei lanci orbitali statunitensi, e dai rapporti scientifici che entro breve tempo sono stati messi

a disposizione degli studiosi, appare chiaramente l'imponente organizzazione, che si avvale di un grandissimo numero di fisiologi e di medici, mediante la quale sono stati seguiti, praticamente senza soluzione di continuità, i principali fenomeni respiratori, circolatori, il comportamento e la parola del pilota. Ciò ha consentito, come è evidente, non soltanto la sorveglianza del funzionamento del più perfetto, complesso e prezioso insieme di automatismi (ci si conceda il termine), installato nella capsula, ma ha anche permesso l'assistenza psicologica al pilota, altrettanto necessaria quanto una temperatura confortevole o l'apporto di cibo.

Delineati così, per necessità di tempo in modo molto superficiale, i principali aspetti biologici del volo spaziale, possiamo trattare ora quelli dell'ambiente entro il quale deve vivere ed operare il cosmonauta.

Come è noto, le condizioni fisiche dello spazio differiscono profondamente da quelle esistenti negli strati più bassi dell'atmosfera terrestre e non consentono la sopravvivenza dell'uomo se non racchiuso entro cabine o scafandri a perfetta tenuta di gas, nei quali siano mantenuti valori di pressione, temperatura e composizione dei gas entro i limiti fisiologici.

Ciò comporta la soluzione di numerosi e complessi problemi di ordine biologico e tecnico, molti dei quali resi più difficili dagli altri requisiti del veicolo spaziale (limitazioni di peso e di posto, disponibilità di energia, etc.) e dalla navigazione in assenza di peso e con accelerazioni rilevanti. Per questo motivo, e per la considerevole mole di lavori originali, ancora non molto conosciuti, compiuti in questi ultimi anni, ci è sembrato di qualche utilità trattarli con maggiore ampiezza in questa seconda parte della relazione.

Una elencazione dei principali problemi e dei metodi proposti e attuati per risolverli porta a considerare i seguenti argomenti:

1. - Rifornimento di O_2 ;
2. - Eliminazione del CO_2 ;
3. - Eliminazione del vapor d'acqua e di altre sostanze gassose e volatili prodotte dall'uomo o da apparecchiature (batterie, fluidi idraulici o refrigeranti, etc.);
4. - Eliminazione e recupero degli escreti;
5. - Mantenimento della pressione e della composizione dell'aria;
6. - Mantenimento della temperatura.

Il rifornimento di O_2 deve essere regolabile a seconda delle necessità dell'equipaggio e può essere attuato mediante scorte di gas, composti

chimici, con il recupero chimico o biologico del CO_2 , con la dissociazione elettrolitica dell' H_2O .

Le possibili sorgenti di O_2 , infatti, sono principalmente:

— il gas compresso in bombole (fino a 300 atm), che è la forma più maneggevole e idonea a fornire il gas alla portata necessaria: questo metodo comporta l'inconveniente del peso e dell'ingombro non indifferente delle bombole; è perciò utilizzabile solo per viaggi di breve durata;

— l' O_2 liquido, che ha l'inconveniente di una evaporazione obbligatoria, non regolabile, che corrisponde nelle 24 ore a circa il 10% della massa di O_2 trasportata. Ciò comporta l'esaurimento della scorta in breve tempo anche se il consumo è minimo.

Per rendere possibile l'impiego di O_2 liquido quale scorta nel volo spaziale, Andrews (1961) e separatamente Hankins e Gardner (1960) hanno studiato convertitori in grado di funzionare anche in assenza di gravità, dimostratisi efficienti in varie posizioni ed a diversi valori gravitazionali: il campo di impiego è simile a quello del gas compresso;

— l'acqua: questa contiene l'88% in peso di O_2 ma la sua elettrolisi comporta un elevato consumo di energia elettrica (ca 14 Kwatt/h per m^3 di O_2). Con l'elettrolisi si possono ottenere circa 500 g al giorno di O_2 per kg di apparato;

— il perossido di idrogeno: si decompone spontaneamente con reazione esotermica e può fornire dal 50 al 90% in peso di O_2 , è però instabile e quindi diviene un pericoloso esplosivo; ha comunque il vantaggio di poter essere contenuto in recipienti leggeri e di forma non obbligata;

— il clorato di potassio KClO_3 , che in presenza di biossido di manganese può fornire ca il 40% in peso di O_2 (la reazione non è regolabile);

— i perossidi alcalini, particolarmente quello di potassio K_2O_4 il quale in presenza di aria umida si decompone lentamente con sviluppo di O_2 e formazione di KOH che, a sua volta, è utile perchè fissa il CO_2 , dando luogo a K_2CO_3 ; il rendimento in peso di O_2 è del 33% e sono sufficienti circa 3,5 kg di perossido al giorno per 1 uomo; questo metodo ha un buon rendimento anche per periodi di diverse settimane;

— la dissociazione del CO_2 con metodi fisici e fisico chimici è la soluzione più adeguata per viaggi di lunga durata e sarà trattata con

maggior ampiezza piú avanti: occorre però dire fin d'ora che questo metodo può fornire solo ca l'80% dell'O₂ necessario (in quanto il quoziente respiratorio medio dell'uomo a riposo o in lievissimo lavoro muscolare è intorno a quel valore) e che si frappongono ancora numerose difficoltà tecniche per il raggiungimento di un rendimento soddisfacente.

* * *

Anche per eliminare il CO, esistono vari metodi, da quello classico dei fissatori chimici ai piú moderni che portano alla dissociazione della molecola con recupero dell'O₂. Un'indagine sperimentale comparativa dei fissatori chimici piú efficaci è stata eseguita da noi (1958), portando alla conclusione che i prodotti con rendimento piú elevato sono l'idrossido di sodio (peraltro di difficile maneggio e deliquescente) e la monoetanilamina. Questa ultima è rigenerabile mediante riscaldamento e ci risulta ora essere adoperata nei sottomarini atomici, ma necessita di una ulteriore filtrazione dell'aria per trattenere le tracce di vapori ammoniacali che si sviluppano.

L'assorbimento da parte di zeoliti sintetiche non ci ha dato i risultati brillanti descritti da altri AA; comunque, la rigenerazione dei «setacci molecolari» di silico-alluminato di Na e Ca è difficile in quanto comporta il rapido trattamento termico di una massa cattiva conduttrice del calore per eliminare il CO₂ assorbito.

Recentemente Willard (1961) ha costruito un'apparecchiatura completa (e notevolmente complessa) per la fissazione del CO₂ con il setaccio molecolare Linde tipo 5-A e per la rigenerazione di questo, ma lo stesso A. sottolinea la necessità di ulteriori esperimenti per approfondire l'andamento di alcune variabili che influenzano il rendimento complessivo del sistema. Anche Boiteau e Biget (1961) confermano la limitata efficacia di queste sostanze e propongono l'impiego di una miscela di LiOH e fibre di amianto, sotto forma di sottili dischi, resistenti alle azioni meccaniche ed attivi fra 0 e 60 °C. Interessante teoricamente la diffusione selettiva del CO₂, resa difficile in pratica dalla sua bassa concentrazione. Sulla fotolisi del CO₂ e sulla riduzione mediante H₂, si avrà occasione di tornare fra breve.

Il problema della eliminazione dell'anidride carbonica è però solo uno degli aspetti della depurazione dell'aria di un ambiente confinato:

la presenza dell'uomo comporta infatti l'accumulo progressivo di altre sostanze volatili e gassose provenienti dalla cute (particolarmente nella sudorazione), dall'intestino e dalla superficie alveolare. Sono state individuate sostanze organiche quali gli acidi capronico, caprilico, valerianico, butirrico, acetico, lattico, formico e l'acroleina, tutte di provenienza cutanea; lo scatolo, l'indolo, il metano, l'acido solfidrico, di provenienza intestinale; l' NH_3 , alcoli, etc., presenti in tracce minime nell'aria espirata. La produzione di molte fra esse è facilitata dalle fermentazioni dei detriti cutanei, alimentari e del sudore che avvengono soprattutto per azione di germi quando non è curata la pulizia della pelle, del cavo orale e degli indumenti (come probabilmente avverrà in individui confinati in uno spazio molto limitato e con scorte di acqua per uso esclusivamente alimentare).

Le sostanze sopra elencate hanno una scarsa tossicità alle concentrazioni che si osservano negli ambienti male aerati, possono però provocare disturbi considerevoli negli individui viventi in un abitacolo stagno, come è dimostrato dall'esperienza fatta nei sommergibili.

Il McFarland (1946), che sottopone ad una critica severa il loro possibile effetto dannoso, ammette che esse possono causare disturbi (difficoltà a svolgere attività fisica, astenia, nausea, vomito, cefalea, etc.) e sottolinea l'aggravamento causato da eventuale mal d'aria con vomito e diarrea in qualcuno dei soggetti.

Anche le abnormi fermentazioni intestinali provocano aumento nella concentrazione di alcune fra le dette sostanze. Bisogna inoltre tener presente la possibile produzione di vapori o di gas dannosi da parte delle batterie elettriche, degli impianti idraulici di raffreddamento e — nel caso di cabine per lunghe navigazioni — dalla cucina. Gli effetti della respirazione protratta di vari gas e vapori in concentrazione non tossica, alcuni dei quali potrebbero essere presenti in concentrazioni analoghe nell'aria di un ambiente confinato occupato da soggetti umani, sono stati di recente studiati sperimentalmente da Sandage (1961). Questi ha esposto animali di diversa specie, per 90 giorni alla respirazione continua di aria contenente 20 ppm di H_2S , 50 ppm di metil mercaptano, 10,5 ppm di indolo e 3,5 di scatolo, concentrazioni che rappresentano le massime consentite in USA per esposizioni intermittenti di tipo industriale. Al termine del periodo stabilito, l'A. ha trovato un aumento apprezzabile di solfoemoglobina nei ratti e nelle scimmie, un aumento notevole nel topino, sensibile grado di emolisi, alterazioni polmonari (solo nel topino), elevata mortalità (80%) delle scimmie e dei topini. Invece, il fenolo alla concentrazione di 5 ppm fu tollerato senza inconvenienti.

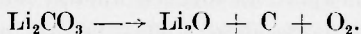
Le concentrazioni massime di altri gas e vapori tollerabili per lungo periodo di tempo dall'uomo sono le seguenti (Keating, 1959):

Anidride carbonica	0,5 ÷ 1% in volume (= 2,8 ÷ 7,5 mmHg)
Ammoniaca	100 parti per milione in volume
Benzene	100 » » » » »
Bisolfuro di carbonio	20 » » » » »
Ossido di carbonio	100 » » » » »
Tetracloruro di carbonio	50 » » » » »
Cloro	1 » » » » »
Etere dicloroetilico	15 » » » » »
Formaldeide	10 » » » » »
Acido fluoridrico	3 » » » » »
Acido solfidrico	20 » » » » »
Bromuro di metile	20 » » » » »
Ossido nitrico	25 » » » » »
Biossido di azoto	25 » » » » »
Ozono	0,05 » » » » »
Fosgene	1 » » » » »
Anidride solforosa	10 » » » » »

Per il progetto Apollo (cabina spaziale che dovrà mettere in orbita 3 uomini intorno alla luna) è stato costruito un « bruciatore di sostanze tossiche » di 4 kg di peso nel quale, mediante ossidazione catalitica e filtrazione, si eliminano tutte le sostanze inquinanti.

Al fissaggio del CO₂ può seguire il recupero dell'O₂, come nel metodo proposto da Shearer e coll. (1962): il CO₂ espirato è adsorbito da uno strato di setacci molecolari e, così concentrato, agisce su ossido di litio:

$\text{CO}_2 + \text{Li}_2\text{O} \longrightarrow \text{Li}_2\text{CO}_3$. Il carbonato fuso è sottoposto ad elettrolisi fornendo di nuovo ossido, carbonio ed O₂:



È stato così ottenuto un gas puro al 99%, contenente ca l'1% di CO₂ e ca 200 ppm di CO, quest'ultimo facilmente ossidato con un adatto catalizzatore. Dallo studio analitico di questi ricercatori risulta che occorrono ca 800 watt di energia elettrica per fornire l'O₂ necessario ad un uomo, con un peso di apparecchiatura di ca 110 kg e vari inconvenienti, fra i quali la necessità di trattare gas secchi perchè la presenza di vapore acqueo diminuisce il rendimento dell'elettrolisi.

Il potassio perossido KO₂ (o K₂O₄) rappresenta, secondo le ricerche di Keating e Weiswurm (1960) un composto assai vantaggioso per la

rigenerazione dell'aria. Esso ha infatti non pochi requisiti favorevoli: minimo peso ed ingombro; indipendenza da sorgenti esterne di energia; assenza di manutenzione o di parti in moto; capacità di provocare una sufficiente circolazione di aria esercitando un'attrazione chimica sul vapor d'acqua e sul CO_2 ; azione purificante sui contaminanti chimici e batterici dell'atmosfera a causa del suo energetico potere ossidante.

Le reazioni chimiche di questa sostanza con l'aria non sono perfettamente conosciute. Secondo gli AA. citati le più probabili sono le seguenti:

- 1) $2\text{KO}_2 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{KOH} + 3/2 \text{O}_2$
- 2) $2\text{KO}_2 + \text{CO}_2 = \text{K}_2\text{CO}_3 + 3/2 \text{O}_2$
- 3) $2\text{KO}_2 + \text{CO} = \text{K}_2\text{CO}_3 + \text{O}_2$
- 4) $2\text{KOH} + \text{CO}_2 = \text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- 5) $\text{KOH} + \text{CO}_2 = \text{KHCO}_3$
- 6) $4/3 \text{KOH} + \text{H}_2\text{O} = 4/3 (\text{KOH} \cdot 3/4 \text{H}_2\text{O})$
- 7) $\text{KOH} + \text{H}_2\text{O} = \text{KOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$
- 8) $1/2 \text{KOH} + \text{H}_2\text{O} = 1/2 (\text{KOH} \cdot 2 \text{H}_2\text{O})$
- 9) $2 \text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} = 2 (\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O})$
- 10) $2/3 \text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} = 2/3 (\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 3/2 \text{H}_2\text{O})$

Le reazioni sono nel complesso esotermiche ed il calore prodotto deve essere rapidamente disperso, altrimenti si raggiunge la temperatura di ignizione nella massa chimica con liberazione di grandi quantità di O_2 ; anche per questo motivo i granuli di KO_2 devono essere disposti in uno strato dello spessore delle singole unità, che offre la massima superficie all'aria ed i contenitori devono essere esposti uno dopo l'altro man mano che si esauriscono. La polvere che proviene da questi è estremamente caustica e perciò è necessario indossare una maschera anti-polvere, occhiali e guanti ed attendere, per togliere la copertura di lana di vetro del contenitore, che la reazione sia iniziata su tutta la superficie del reagente.

Le prove fatte (una delle quali durata 7 giorni) hanno dimostrato il buon rendimento pratico di questo metodo, senza l'inconveniente teoricamente prevedibile di una sovrapproduzione di O_2 . Con poco più di 150 g di KO_2 per uomo/h è stata ottenuta un'aria con il $20 \div 25\%$ O_2 , $0,5\%$ CO_2 , $60 \div 70\%$ di umidità relativa, priva di odori e contaminanti. Il consumo è alquanto superiore nelle prove di lunga durata.

L'eliminazione del vapor d'acqua dall'ambiente non presenta difficoltà rilevanti e, se avviene con regolarità, contribuisce anche al mantenimento di una confortevole temperatura efficace. Dal resoconto della

prima ascensione in pallone oltre i 30.000 metri (Simons, 1957) risulta che l'umidità relativa dentro l'abitacolo presentò un incremento non previsto, che aggravò le conseguenze dell'aumento di temperatura causato dall'imperfetto funzionamento del sistema refrigerante.

Il vapore acqueo può essere trattenuto con varie sostanze chimiche solide (cloruro di calcio, solfato di calcio o di sodio, silice-gel, ossido di bario o di calcio, cloruro di litio, zeoliti sintetiche, idrossido di potassio o di sodio) e liquide (glicerina, acido solforico, alcoli). Sono da preferire quelle più facilmente maneggiabili e che si possono rigenerare con il calore, quali le zeoliti sintetiche e setacci molecolari, ed il gel di silice. Ugualmente raccomandabili sono i metodi fisici (condensazione per raffreddamento, compressione). In ambedue i casi, volendo utilizzare l'acqua recuperata, occorre purificarla filtrandola attraverso carboni attivati o resine a scambio ionico. Ciò è necessario perchè, come si è già detto, l'aria contiene un certo numero di sostanze inquinanti e di odori che possono causare disturbi non indifferenti all'equipaggio.

Il recupero dell'acqua dai rifiuti e l'utilizzazione o la conservazione della parte restante è stato affrontato sul piano teorico ed applicativo da vari autori. Zeff, Bambenek e Des Jardins (1959 e 1960) hanno eseguito ricerche considerando le esigenze di viaggi spaziali di media durata (da alcuni giorni a 12 mesi) e di un equipaggio limitato (2-10 uomini). Poiché l'uomo introduce in media con le bevande e gli alimenti ca 2200 g di acqua al giorno — alquanto di più secondo altri AA — e ne elimina 2500 (300 g provengono dalle reazioni di ossidazione degli alimenti) è sufficiente che il sistema di recupero abbia un rendimento intorno al 90%. Sono stati sperimentati, impiegando urine oppure urine e feci, i seguenti metodi: distillazione (risultati migliori con la distillazione nel vuoto, a bassa temperatura, di sola urina); congelamento nel vuoto o liofilizzazione, che ha un rendimento del 96% usando solo urine (si ha sublimazione di cristalli di ghiaccio che forniscono acqua leggermente torbida e con batteri, per cui sono necessarie la filtrazione e la potabilizzazione chimica); refrigerazione (basso rendimento); elettrodialisi (residua una notevole quantità di elettroliti e di sostanze organiche per i quali occorre una ulteriore depurazione); filtrazione e scambio di ioni (rappresentano di regola metodi sussidiari ai precedenti). Gli AA citati concludono che i metodi migliori per rendimento, modico peso e volume, sono la distillazione sotto vuoto associata all'uso di resine a scambio ionico e di carbone attivato per eliminare l'odore ammoniacale ed altre impurità. Essi ritengono inoltre che l'urina debba essere raccolta e trattata separatamente dalle feci e a tal fine descrivono vari espedienti di raccolta.

Per quanto riguarda l'urina, quest'ultimo problema era sorto già con l'introduzione nell'esercizio del volo degli indumenti a pressione. Redden (1961) ha descritto un raccoglitore di gomma che viene portato in permanenza, sostenuto da una cintura e fornito di una valvola posta all'esterno dell'indumento, che permette il trasferimento dell'urina in un apposito sacco di polivinile.

È previsto l'impiego delle feci disidratate come sostanze nutritive per le alghe nel caso di ciclo biologico chiuso ed anche come schermo contro le radiazioni in sostituzione di quello rappresentato dalle scorte di alimenti disidratati consumati durante il viaggio.

* * *

Il mantenimento di una sufficiente pressione entro la cabina, assolutamente necessaria per la vita dell'uomo, è un problema di ordine tecnologico tuttora non perfettamente risolto nel senso che non si è riusciti ad impedire la fuga continua di piccole quantità di gas attraverso minime fessure. Ad esempio, nella pianificazione del rifornimento di O_2 per la capsula Mercury è stato previsto un consumo metabolico di 500 cc/min, più che sufficiente alla lieve attività fisica del pilota, ed una perdita dalla cabina di 300 cc/min, con possibilità di compenso fino a 2500 cc/min. È probabile che materiali migliori e l'eliminazione di ogni discontinuità non indispensabile nelle pareti della cabina possano diminuire queste perdite. Va tenuta presente anche la possibilità di fori prodotti dall'impatto di piccoli meteoriti, nei cui confronti potrebbe essere utile l'impiego di una intercapedine di sostanze plastiche che, divaricate da un proiettile, riprendono la loro forma ocludendo il foro così provocato.

Un mezzo per diminuire l'entità delle perdite è rappresentato dalla diminuzione del gradiente di pressione fra cabina ed ambiente esterno. Nella citata capsula Mercury la pressione è stata mantenuta a ca 350 mmHg, con respirazione di O_2 .

L'atmosfera della cabina non dovrebbe però essere costituita da O_2 puro anche se a pressione parziale fisiologica: varie ragioni infatti consigliano la presenza di un gas inerte nella miscela respirata dal pilota spaziale: la respirazione di O_2 puro per molto tempo provoca facilmente atelettasia polmonare nelle zone ipoventilate a causa della rapida diffusione dell' O_2 attraverso la parete alveolare e dell'assenza di un gas inerte che ne occupa la cavità. Un fenomeno analogo, che si manifesta con dolore, accade a carico dell'orecchio medio e delle cavità paranasali

nel caso di occlusione dei tragitti di comunicazione con naso e faringe (secondo Comroe e Dripps, 1950, avviene nel 25% dei soggetti sottoposti ad ossigenoterapia).

Un pericolo peculiare è rappresentato dall'attraversamento della cabina spaziale da parte di piccoli meteoriti animati da elevata velocità: questi provocano una « esplosione vaporizzante » tanto più grave quanto maggiore la concentrazione di O_2 presente nell'aria (Gell, 1961). Non sembra raccomandabile l'impiego dell'elio come gas inerte al posto dell'azoto poiché, a causa della sua minima densità, può sfuggire più facilmente attraverso piccole imperfezioni di tenuta della cabina. La presenza di azoto è raccomandata anche per diminuire le probabilità di incendio, ma rappresenta una notevole complicazione tecnica poiché, a causa delle finora inevitabili perdite delle cabine stagne, occorre sostituire l'azoto sfuggito con uguali volumi provenienti da un adatto serbatoio, possibilmente in maniera automatica.

Dai resoconti dei voli spaziali dei Vostok risulta che la pressione in cabina era di 1 atmosfera e la pressione parziale di O_2 intorno a quella di livello del mare.

La temperatura dentro una cabina spaziale dipende essenzialmente dalla temperatura e dalle altre caratteristiche fisiche extra-atmosferiche, dal potere isolante delle pareti e dalle qualità delle loro superfici esterna ed interna, dalle sorgenti di calore presenti nella cabina (comprese quelle di natura biologica) ed infine dalla sottrazione di calore da parte di fenomeni endotermici di natura chimica o fisica che si svolgono al suo interno. Le ricerche di fisica hanno dimostrato un progressivo e rilevante aumento della temperatura al di fuori dell'atmosfera terrestre con inizio intorno agli 80 km per oltrepassare 1000 °C oltre i 400 km.

Gli effetti fisici e biologici di questa temperatura così elevata sono profondamente diversi rispetto a quelli noti per i corpi entro l'atmosfera terrestre. Ciò dipende dal fatto che l'estrema rarefazione degli atomi gassosi a quelle altitudini impedisce praticamente qualsiasi scambio di calore per convezione e che la quantità di calore ceduta dai rari atomi che vengono a contatto con le pareti della cabina è infinitesima: in altri termini, pur essendo molto elevata l'energia cinetica di queste particelle, la loro massa è trascurabile e di conseguenza la quantità di calore presente nell'ambiente spaziale è insignificante. La cabina quindi potrà ricevere o cedere calore nello spazio solo con il meccanismo dell'irradiazione: le parti colpite dai raggi solari si riscalderanno, e quelle in ombra si raffredderanno, in misura dipendente dal gradiente di temperatura e dalle caratteristiche del rivestimento esterno: una superficie levigata, bianca,

speculare rifletterà la massima parte dei raggi ed assorbirà o cederà pochissimo calore; una superficie opaca, nera, assorbirà o cederà la quasi totalità del calore. Orientando opportunamente rispetto al sole le pareti della cabina fornite di caratteristiche assorbenti o riflettenti si può utilizzare entro i limiti necessari l'energia termica del sole. Questa può rappresentare inoltre una importante sorgente di energia per le varie apparecchiature, sia che venga utilizzata direttamente come calore assorbito da corpi neri, sia che venga trasformata in corrente elettrica da batterie di fotocellule o da elementi termoelettrici (la differenza di temperatura fra lato al sole e lato in ombra sarebbe di ca 300 °C).

In effetti, la quantità di calore prodotta entro la cabina è tale da richiederne la dispersione piuttosto che l'assunzione per mantenere nel suo interno una temperatura confortevole per l'uomo.

Allo scopo di disperdere l'eccesso di calore occorrerà disporre di radiatori, che dovranno essere orientati verso il cielo (con temperatura efficace intorno ai 4° K); meno conveniente è l'orientamento verso la terra, che presenta una temperatura media di ca 278° K e meno ancora verso il sole. Tenuto conto che la produzione di calore in una cabina per singolo occupante può andare da ca 500 Kcal/h nei primi tipi a 1000 Kcal/h nei modelli più recenti (calore prodotto in parte dall'organismo ed in parte maggiore dalle apparecchiature elettroniche e meccaniche), Jacobson (1960) calcola che la semplice dispersione attraverso una parete della superficie della cabina non è sufficiente e che occorre un sistema di raffreddamento; dei vari possibili, offre le caratteristiche più idonee il ciclo a vapore acqueo. Nella capsula Mercury è stato installato uno scambiatore di calore per la termoregolazione dell'aria della cabina ed un secondo per quella dell'indumento pressurizzato. La superficie metallica esterna della stessa capsula è ondulata, verosimilmente per aumentarne l'area radiante.

Una condizione speciale è rappresentata dal notevolissimo aumento della temperatura sulla superficie esterna della cabina durante il rientro nell'atmosfera terrestre, a causa dell'attrito con le molecole di aria sempre più densa. Sono state escogitate protezioni di vario tipo, consistenti nel ricoprire le parti che penetrano nell'atmosfera con sostanze la cui fusione sottrae calore, con schermi di berillio, etc. Si è naturalmente curato l'isolamento termico delle pareti. Dal punto di vista fisiologico è utile la diminuzione dell'umidità relativa nella cabina e dentro l'indumento a pressione nonché un adeguato pre-raffreddamento del corpo del pilota, ottenibile con la diminuzione della temperatura dell'aria circolante entro l'indumento ventilato indossato sotto quello a pressione. Tutti i

resoconti del rientro da voli orbitali depongono tuttavia per un rilevante aumento di temperatura nella cabina ed entro l'indumento, ed in qualche caso anche per una transitoria ma sconcertante ipertermia del pilota.

* * *

Esaminati per sommi capi i principali aspetti del microclima di un veicolo spaziale, vorremmo ora esporre le conoscenze attuali sui cosiddetti sistemi a ciclo respiratorio chiuso in quanto essi rappresentano la soluzione più razionale per la rigenerazione dell'aria mediante apporto di sola energia e senza la necessità di scorte di gas o di sostanze chimiche con peso e volume proibitivi. In effetti, prima di giungere a questo concetto relativamente limitato, sono state avanzate suggestive proposte per la costruzione di sistemi ecologici chiusi entro la cabina, introducendovi colture di piante in equilibrio biologico con gli animali.

Quest'idea è stata preconizzata da Ross (1947) che propose l'impiego di piante verdi per la rigenerazione dell'atmosfera, ed è stata posta sul piano sperimentale da Strughold e dai suoi collaboratori Phillips (1952) e Myers (1954), oltre che da ricercatori di altri laboratori (Bowman, 1953). I risultati di queste e di varie altre indagini successive, hanno dimostrato la possibilità di ottenere in laboratorio colture di alghe verdi con un'elevata produzione di O_2 fotosintetica ed in grado di fornire la quantità sufficiente ad un piccolo mammifero per molte settimane.

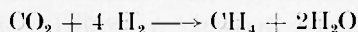
Recenti conferme sono riportate da Benoit e Coll. (1960), i quali espongono uno studio approfondito sulle varie specie vegetali esplorate a questo fine e sui requisiti necessari per un sistema ecologico chiuso (entità della produzione di O_2 , strettamente legata alla velocità di accrescimento; continuità di produzione, dipendente dalla stabilità della coltura; valore nutritivo della pianta; capacità di sviluppare utilizzando i rifiuti dell'uomo). Anche Bates (1961) riporta successi notevoli ottenuti con questo metodo: ad esempio, attraverso un'oculata scelta di alghe si sono trovati ceppi (come quello termofilo di *Chlorella pyrenoidosa* o la specie Gonzales di *Synechocystis*) i quali hanno un'alta produzione di O_2 , con un rapporto di CO_2 assorbito / O_2 prodotto che può essere portato con speciali espedienti a 0,8, sopportano temperature relativamente elevate, utilizzano parte degli escreti umani, non sono sensibili agli antibiotici necessari per inibire l'accrescimento di batteri nella coltura, etc.

Tali successi non devono però far dimenticare che sono stati ottenuti in laboratorio, cioè in condizioni estremamente favorevoli per

quanto riguarda la necessità di nutrizione, accrescimento, riproduzione e difesa delle alghe impiegate. Le colture di alghe abbisognano, infatti, non soltanto di composti azotati in misura superiore a quanto normalmente eliminato dall'uomo, ma anche di un gran numero di elementi (in quantità varie), la cui concentrazione nel liquido nutritivo deve oscillare entro limiti ristretti, di un equilibrio acidi-basi prossimo alla neutralità, di una illuminazione costante e di determinata lunghezza d'onda, del regolare trapianto in soluzione fresca, dell'assenza di germi o cataliti inibitori dell'accrescimento, etc.:

Imprevedibili alterazioni genetiche da radiazioni ionizzanti possono dar luogo a mutanti inadatte alle condizioni obbligate dello scambiatore di gas. Inoltre il peso ed il volume delle colture e apparati sussidiari e l'energia occorrente al mantenimento del processo fotosintetico sono notevoli: si parla di 500 kg per fornire l'O₂ necessario ad un uomo e di 10 Kwatt per l'illuminazione giornaliera. A nostro avviso, gli aspetti più discutibili sono rappresentati dal pericolo della cessazione della funzione fotosintetica per inadeguata illuminazione della coltura, con invasione dell'ambiente da parte del CO₂ metabolico dell'alga e dalla instabilità di questa per cui è possibile la morte in massa della coltura in breve tempo. È indubbio che il sistema ecologico chiuso meriti ulteriori studi per il superamento di queste difficoltà, anche perchè risolve contemporaneamente (almeno in parte) il problema della alimentazione nei viaggi di lunga durata, ma per il momento non pare di prossima attuazione nei veicoli spaziali.

Ci sembrano perciò di notevole interesse i tentativi concreti che si fanno da qualche anno per applicare, migliorando il rendimento, alcune reazioni note di riduzione di CO₂, per via chimica o fisica-chimica ai sistemi di rigenerazione dell'aria. Utile testimonianza di questo orientamento è un Simposio sui sistemi a ciclo respiratorio chiuso, tenutosi nell'Aprile del 1960 presso la Wright Air Development Division, dai cui Atti traiamo le notizie che seguono. Trascurando i procedimenti che necessitano di temperature eccessivamente elevate (decomposizione termica) o che hanno un rendimento inaccettabile, il ricupero dell'O₂ si può ottenere essenzialmente in due modi. Il primo è rappresentato dalla reazione di Sabatier (1902):



la quale si svolge alla temperatura di 200 °C in presenza di un catalizzatore (nickel e ossido di torio) ed è endotermica. L'elettrolisi dell'acqua, ben nota, permette l'ottenimento di O₂ gassoso e dell'H₂, necessario alla

riduzione del CO_2 . Dale e Tamplin (1960) che hanno sperimentato questo metodo, lo ritengono raccomandabile perché possiede molti dei requisiti necessari nella cabina spaziale: non è disturbato dalle accelerazioni e dell'assenza di peso, occupa poco volume, non richiede molta energia elettrica, funziona automaticamente con minima manutenzione e si può regolare a seconda del bisogno, non si esaurisce, non è sensibile a variazioni di temperature ambientale ed alle radiazioni. Il suo attuale rendimento può essere migliorato.

Il secondo metodo consiste nella riduzione diretta, in presenza di catalizzatore, del CO_2 a grafite: $\text{CO}_2 + 2\text{H}_2 \rightleftharpoons \text{C} + 2\text{H}_2\text{O}$.

Foster e McNulty (1961) l'hanno saggiato sperimentalmente, impiegando il Fe come catalizzatore ed hanno ottenuto, per effetto della riduzione di 30 litri di CO_2 in 1 ora, 16 g di carbonio solido. Essi hanno studiato le migliori condizioni di temperatura, pressione, caratteri dei granuli di ferro, i mezzi per separare l'acqua formata, la rigenerazione del catalizzatore ed hanno costruito un modello di apparecchio. A seguito di queste ricerche hanno realizzato un apparecchio di tipo industriale, capace di ridurre 500 cc/min di CO_2 : tale apparato, poco ingombrante e di peso modesto, si è dimostrato in grado di « lavorare » l'anidride prodotta da un uomo durante tre giorni, senza abbisognare praticamente di manutenzione.

Il raffronto fra il peso delle scorte di O_2 e depuratori, quello di un apparato per il ricupero chimico dell' O_2 e dell'acqua e quello infine di un apparato per il recupero biologico dimostra che il secondo è il più conveniente per viaggi superiori ad una settimana e fino ad oltre tre anni, cioè si presta a soddisfare le esigenze degli scambi gassosi di un piccolo equipaggio previsto per l'esplorazione entro l'ambito del sistema solare.

Allo stato attuale delle conoscenze questa via appare quindi la più realistica e sicura.

BIBLIOGRAFIA

- ANDREWS R. C., *Zero-gravity liquid oxygen converter*. « ASD Tech. Rep. 61-431 », (Sept. 1961).
- BATES J. H., *Recent aspects in the development of a closed ecologic system*. « Aerosp. Med. », **32**, 12, (1961).
- BENOIT R. J., TRAINER F., BIALECKI A., *Selection of an alga for a photo-synthetic gas exchanger*. « WADD Tech. Rep. 60-163 », (Feb. 1960.)
- BOITEAU H., BIGET P. L., *Présentation d'un nouveau agent absorbant pour l'élimination de l'anhydride carbonique des atmosphères confinées*, « Atti Congr. Intern. Méd. Aéron. Cosmon. », Paris, Sept. 1961,

- BOWMAN N. J., *The food and atmospheric control problem on space vessels*. I. *Chemical purification of air*. II. *The use of algae for food and atmosphere control*. « J. Brit. Interplan. Soc. », **12**, 118 e 159, (1953).
- CALVIN M., *Photosynthesis*, in « Radiation Biology and Medicine », Addison Wesley Co., Reading, Massachusetts, (1958).
- Closed circuit respiratory system symposium*. « WADD Tech. Rep. 60-574 », (Aug. 1960).
- COZZA A., *Prevenzione chimica delle lesioni da radiazioni ionizzanti*, « 2° Corso Internaz. Uff. Med. », Firenze, 6-16 Giugno 1962.
- DALE S. H., TAMPLIN A. R., *The Sabatier reaction for inorganic recovery of oxygen in manned space capsule*, in « WADD Tech. Rep. 60-574 ».
- DES JARDINS J., ZEFF J. D., BAMBENECK R. A., *Waste collection unit for a space vehicle*. « WADD Tech. Rep. 60-290 », (May 1960).
- FORSTER J. F., McNULTY J. S., *Study of a carbon dioxide reduction system*. « ASD Tech. Rep. 61-388 », (Aug. 1961).
- GASENKO O., KUZNETZOV A., *Further biological investigations on rockets*. « Atti 2° Congr. Mondiale Med. Aeron. Spaz. », Roma (1959).
- GELL CH. F., THOMPSON A. B., STEMBRIDGE C., *Biological effect of simulated micrometeoroid penetration of a sealed chamber containing animal specimens*. « Aerospace Medicine », **33**, 156, (1962).
- GUILLERM R., BADRE R., *Problèmes atmosphériques posés par les sous-marins à propulsion nucléaire*. « Rev. Corps Santé Armées », **2**, 485, (1961).
- GURFINKEL V. S., ISAKOV P. K., MALKIN V. B., POPOV V. I., *La coordinazione della postura e dei movimenti dell'uomo in condizioni di gravitazione aumentata e ridotta*. « Bjull. Eksper. Biol. i Medits », **11**, 12, (1959).
- GURGIAN D. A., *Effets biologiques des radiations cosmiques sur les Spoutniks*. « C. R. X^e Congrès Eur. Méd. Aéron Cosmon. », Paris, (1961).
- HALEY T. J., *Chemical protection against three types of radiation death, namely haemopoietic, gastrointestinal and the central nervous system*. « 2° Simposio dell'A.I.U.S. », Milano, 20 Aprile 1962.
- HAMMER L. H., *Aeronautical system division studies in weightlessness: 1959-1960*. « WADD Tech. Rep. 60-715 », (Dec. 1961).
- HANKINS D. L., GARDNER P. J., *Liquid oxygen converter for weightless environment*. « ASD Tech. Rep. 61-634 », (Nov. 1961).
- JACOBSON S. L., *Engineering of the sealed cabin atmosphere control system*. « Aerospace Medicine », **31**, 388, (1960).
- KEATING D. A., *Design parameters for the engineering of closed respiratory systems*. « WADC Tech. Rep. 59-766 », (Dec. 1959).
- KEATING D. A., ROUNDY R. W., *Closed ecology*. « WADD Tech. Rep. 61-129 », (March 1961).
- KEATING D. A., WEISWURM K., *Potassium superoxide passive air regeneration studies for manned sealed environments*. « WADD Tech. Rep. 60-707 », (Dec. 1960).

- KUBIAK E. J., REST J., BAMBENECK R. A., *A closed respiratory system evaluator*. « ASD Tech. Rep. 61-512 », (Sept. 1961).
- LALLI G., *Sulla tossicità di alcuni propellenti per missili*. « 2° Simposio dell'A.I.U.S. », Milano, 20 Aprile 1962.
- LOMONACO T., *Previsioni sul comportamento psicofisiologico dell'uomo lanciato nello spazio*. « Min. Med. », 50, 1122, (1959).
- LOMONACO T., *Lineamenti di una selezione psico-fisica del cosmonauta*. « 2° Simposio dell'A.I.U.S. », Milano, 20 Aprile 1962.
- LOMONACO T., SCANO A., *Gli effetti fisiopatologici del volo spaziale ed i problemi biologici della cosmonautica*. « Ulisse », (1962), (in corso di stampa).
- LORET B. J., *Optimization of manned orbital satellite vehicle design with respect to artificial gravity*. « ASD Tech. Rep. 61-688 », (Dec. 1961).
- MYERS J., *Basic remarks on the use of plants as biological gas exchanger in a closed system*. « J. Aviat. Med. », 25, 407, (1954).
- MYERS J. E., BROWN A. H., *Gas regeneration and foods production in a closed ecological system*. « Nat. Acad. Sci., N. C. R. », Publ. 893, Washington, (1961).
- N.A.S.A., *Conference on medical results of the first U. S. manned suborbital space flight*, Washington, D. C., June 1961.
- PARIN V. V., *Some results of physiological studies of man's space flight*, « C. R. X^e Congrès Eur. Méd. Aéron. Cosmon. », Paris, (1961).
- PIPES W. O., *Waste recovery processes for a closed ecological system*. « Nat. Acad. Sci., N. C. R. », Publ. 898, April 1961.
- Propellant-atmosphere system study*. « WADD Tech. Rep. 60-622 », (March 1961).
- REDDEN R. J., *Urine Collection and disposal device for pressure suit*. « ASD Tech. Rep. 61-329 », (Aug. 1961).
- ROSS H. E., *Green plants as atmosphere regenerators*. « Bull. Brit. Interplan. Soc. », 2, 7, (1947).
- SAGAN C., *On the origin and planetary distribution of life*. « Radiation Res. », 15, 174, (1961).
- SANDAGE C., *Tolerance criteria for continuous inhalation exposure to toxic material. I. Effects on animals of 90-day exposure to phenol, CCl₄, and a mixture of indole, skatole, H₂S and methyl-mercaptan*. « ASD Tech. Rep. 61-519 », (Oct. 1961).
- SCANO A., *La dépuration de l'air dans les cabines étanches*. « C. R. 1^{er} Congrès Mondial de Méd. Aéron. », Louvain, 1958.
- SCANO A., *L'iperossia*. « Riv. Med. Aeron. », 21, 88 e segg., (1958).
- SCANO A., *I principali problemi biologici dell'ambiente di un veicolo spaziale, con particolare riguardo alla rigenerazione dell'aria*. « 2° Simposio dell'A.I.U.S. », Milano, 20 Aprile 1962.
- SCANO A., FEA G., *La depurazione dell'aria in abitacoli spaziali*. « Riv. Aeron. », 34, 531, (1958).
- SCHAEFER K., *Selecting a space cabin atmosphere*. « Astronautics », 2, 5, (1959).

- SHEARER R. E., KING G. C., MANSTELLER J. W., *Electrochemical recovery of breathing oxygen from carbon dioxide*. «Aerospace Medicine», **33**, 213, (1962).
- SIMONS D. C., *Manhigh II*. «A F. Missile Dev. Center Tech. Rep. 59-28» (June 1959).
- THOMAS S., *Men of space*, Ed. Chilton, Philadelphia, 1960.
- TIMPONE F., *Calore e temperatura al di là dell'atmosfera*. «Riv. Aeron.», **38**, 413, (1962).
- TISCHER R. G., *Nutrition in space flight*, in «Advance in Space Science», (1961).
- UGANOV S. V., *Réaction sensorielles et état de certaines fonctions motrices en absence de pesanteur*, «C. R. X^e Congrès Eur. Méd. Aéron. Cosmon.», Paris, (1961).
- VIOLETTE F., BOITEAU H., BERNARD S., *Etude des procédés utilisables pour régénérer l'atmosphère au cours des voyages interplanétaires de courte durée*. «II^e Congr. Mond. Med. Aeron. e Sp., Roma» **II**, 2^a, 604, (1959).
- WHITTINGHAM C. P., *La fotosintesi*. «Endeavour», **15**, 173, (1955).
- WILLARD T. L., *Research and development on closed respiratory system accessories. Molecular sieves for carbon dioxide absorption*. «ASD Tech. Rep. 61-527», (Oct. 1961).
- ZEEF J. D., BAMBENECK R. A., *Development of a unit for recovery of water and disposal or storage of solids from human wastes*. «WADD. Tech. Rep. 58-562», (Nov. 1959).
-