

La turbomacchina solare nelle applicazioni spaziali (*)

C. D'AMELIO

Ricevuto il 19 Febbraio 1963

RIASSUNTO. — Fra i vari sistemi di conversione di energia per applicazioni spaziali la turbomacchina solare a vapore presenta uno dei campi di applicazione più vasto nei riguardi della potenza.

Nel presente lavoro vengono esaminati taluni fra i principali problemi inerenti a tale tipo di macchina, con particolare riguardo alla scelta del ciclo termico e del fluido operante. Per quest'ultimo vengono indicate quelle che sono le caratteristiche ideali.

SUMMARY. — Among the various systems of converting energy for space applications, the steam solar turbine-machine is one of the widest application fields with regard to power.

This paper examines some of the most important problems related to this kind of machine, with special reference to the choice of the thermal cycle and of the operating fluid. The ideal characteristics of the latter are also given.

INTRODUZIONE.

L'avvento ed il rapidissimo crescente sviluppo dei veicoli spaziali, siano essi orbitali o no, ha reso di importanza sempre maggiore lo sviluppo dello studio di generatori di potenza nello spazio.

I sistemi che possono essere adoperati, per tale scopo, sono diversi differenziandosi principalmente per il fatto di sfruttare energia presente nello spazio sotto forma raggianti (ad esempio energia solare) e trasformarla in energia direttamente utilizzabile quale quella meccanica od elettrica, o di trasportare da terra le fonti stesse dell'energia, sotto forma, ad esempio, atomica o nucleare.

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

Ovviamente, i diversi sistemi hanno ciascuno vantaggi e svantaggi, dovuti principalmente alla variazione del rapporto peso-potenza, potenza che a sua volta è variabile nella sua entità con la durata e la natura del viaggio spaziale; è da notare che il rapporto peso/potenza per gli impianti spaziali è condizionato dalla potenza, quando si tratti di sistemi sfruttanti energia presente nello spazio, e dall'energia quando siano sistemi sfruttanti sorgenti di energia trasportata da terra.

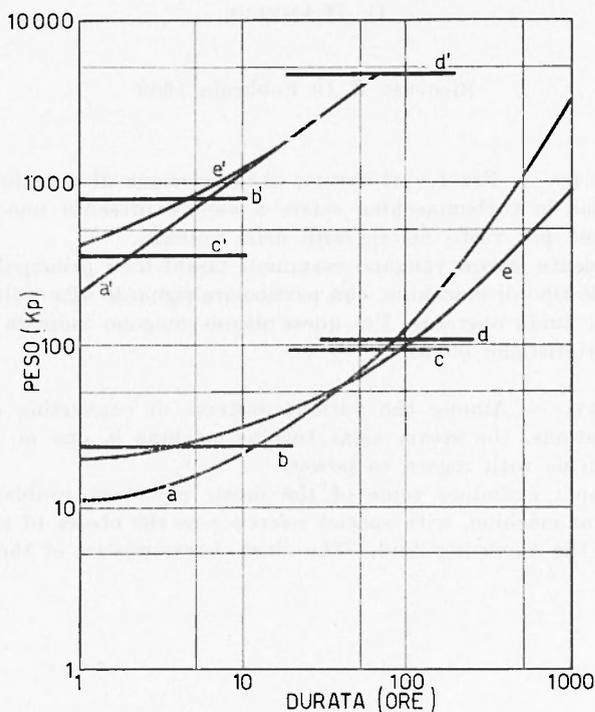


Figura 1

- a* = Energia Chimica — Cielo aperto — 1 kW.
- a'* = Energia Chimica — Cielo aperto — 100 kW.
- b* = Turbomacchina solare — Cielo chiuso — 1 kW.
- b'* = Turbomacchina solare — Cielo chiuso — 100 kW.
- c* = Energia nucleare — Senza schermo — 1 kW.
- c'* = Energia nucleare — Senza schermo — 100 kW.
- d* = Celle solari — 1 kW.
- d'* = Celle solari — 100 kW.
- e* = Energia chimica — Cielo chiuso — 1 kW.
- e'* = Energia chimica — Cielo chiuso — 100 kW.

Le potenze richieste — trascurando nella presente analisi quella necessaria ai fini propulsivi, e considerando solo la potenza cosiddetta

ausiliaria, cioè quella richiesta per la strumentazione e l'esercizio — variano da qualche W a diversi kW, in relazione alla durata ed alla natura della missione spaziale. Pertanto, in funzione di tale durata e natura, vi sarà una determinata richiesta di potenza; poichè inoltre il peso del sistema di conversione è, come detto, funzione della potenza o dell'energia richiesta, è possibile ricavare un diagramma del peso dei diversi sistemi di conversione, per una determinata potenza, in funzione della durata della impresa (Fig. 1).

Quando si tratti invece di sistemi in cui il rapporto peso/potenza è condizionato solo dalla potenza, è possibile ricavare un diagramma (Fig. 2) del peso in funzione della potenza.

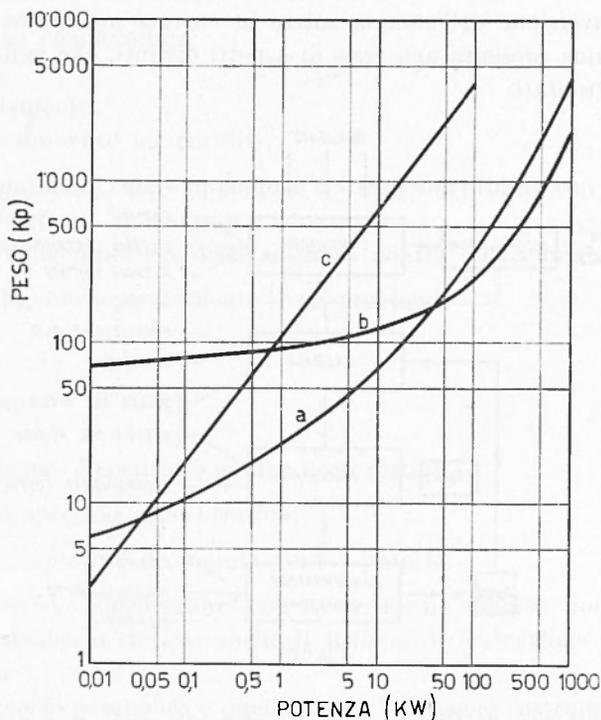


Figura 2

- a) Turbomacchina solare;
- b) Macchina nucleare a ciclo chiuso;
- c) Batterie solari.

È possibile osservare dall'analisi di questi diagrammi⁽¹⁾ come sia conveniente da un punto di vista rapporto peso/potenza la conversione dell'energia solare in energia direttamente utilizzabile mediante turbo-

macchina a vapore, quando la natura e la durata della missione spaziale richiedano potenze ausiliarie comprese nel campo fra i 30 Watt ed i 30 kW.

Ci si interesserà, in questa breve esposizione, dei problemi relativi alla conversione dell'energia solare in energia meccanica nello spazio, mediante turbomacchina a vapore, con particolare riguardo alla scelta del ciclo termico e del fluido più adatto, indicando infine quali dovrebbero essere le caratteristiche ideali del fluido.

IL PROBLEMA.

La conversione dell'energia solare in energia meccanica mediante turbomacchina presenta una serie di aspetti distinti, che vanno separatamente affrontati.

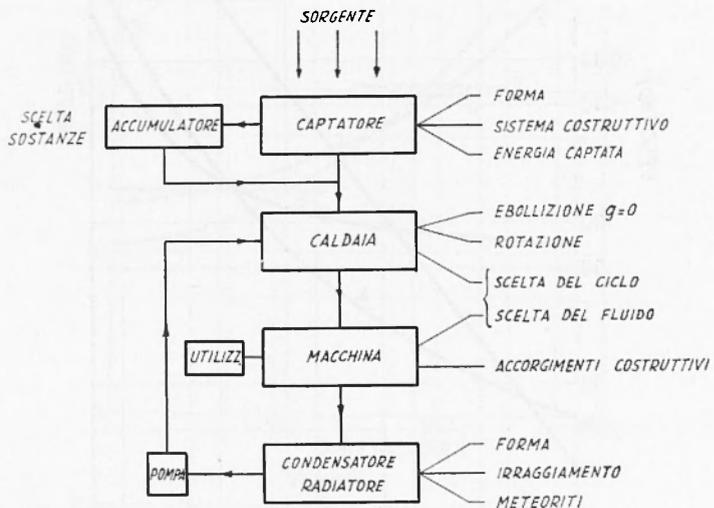


Figura 3

Nello schema di Fig. 3 sono riportate le varie fasi del processo, dalla captazione dell'energia (captatore-caldaia), alla utilizzazione dell'energia trasformata in energia meccanica.

Nello schema stesso sono riportati anche quelli che sono alcuni fra i maggiori problemi, relativi alle varie fasi del processo, e cioè rispettivamente:

a) Captatore:

forma del captatore,

- sistema costruttivo,
energia captata;
- b) Caldaia:
fenomeni di ebollizione in campo gravitazionale nullo,
rotazione della caldaia;
- c) Caldaia-Macchina:
scelta del ciclo,
scelta del fluido operante;
- d) Macchina:
accorgimenti costruttivi;
- e) Radiatore condensatore:
forma,
irraggiamento,
bombardamento meteoritico;
- f) Accumulatore di calore (quando si tratti di voli orbitali con parte della
traiettoria in ombra):
scelta delle proprietà della sostanza adatta all'accumulazione.
- Si analizzano separatamente i vari problemi.

IL CAPTATORE.

Il captatore è costituito da due parti distinte:

- a) lo specchio concentratore;
- b) il captatore di energia vero e proprio.

Lo specchio concentratore può avere forme diverse, fondamentale-
mente parabolica o sferica; anche il sistema di costruzione può essere
di vari tipi.

Lo specchio parabolico o quello sferico può essere costruito a sezioni,
montate fra loro, con la possibilità di aprirsi automaticamente o a co-
mando.

La superficie riflettente, generalmente con coefficienti di riflessioni
dell'ordine di 0,98, può essere metallica o con depositi metallici su super-
fici particolari.

Un tale sistema concentratore, mentre fornisce ottimi risultati per
quanto riguarda la captazione dell'energia, presenta lo svantaggio del
peso relativamente elevato, raggiungendo valori intorno a 2 Kp/kW.

Un ulteriore tipo di specchio, di concezione più semplice è quello costituito da un pallone sferico di plastica gonfiato, in cui una calotta è resa riflettente mediante depositi sottili di materiali metallici.

In tali tipi di specchi si ha il vantaggio del minimo peso per kW (circa 0,01 Kp/kW), ma nascono degli inconvenienti di altra natura, non facilmente eliminabili.

La superficie del pallone avrà una determinata trasparenza, necessariamente non totale, e pertanto non tutto il flusso d'energia incidente su essa raggiungerà lo specchio.

Ancora, e problema questo più grave, il pallone è soggetto, come le altre parti della macchina, al bombardamento meteoritico, che provoca la foratura, o persino il laceramento, del sottile strato di plastica. Questo fenomeno conduce al conseguente cambio di forma del pallone, e dello specchio, per effetto delle tensioni superficiali della plastica non più equilibrata della differenza di pressione fra l'interno e l'esterno del pallone.

Comunque, a parte tali considerazioni di carattere pratico, è forse opportuno richiamare l'attenzione sul sistema di concentrazione.

Esiste una limitazione fondamentale per quanto riguarda la possibilità di concentrazione dell'energia da uno specchio parabolico o sferico che sia. Questa limitazione è data dal fatto che i raggi solari incidenti non sono paralleli, ma convergenti con un angolo pari al diametro apparente del disco solare cioè al rapporto fra diametro del sole e la distanza del sole dallo specchio concentratore.

Ovviamente, detto β tale angolo la superficie riflettente rifletterà, in ogni punto, verso il collettore, un cono di raggi con angolo all'apice β , rendendo impossibile la concentrazione di tutta l'energia in un punto (Fig. 4).

Mentre nel caso di veicoli orbitali tale angolo resta pressoché costante, variando poco la distanza del veicolo dal sole rispetto alla sua distanza media, nel caso di missioni spaziali non orbitali la variazione di β può assumere una certa importanza, poiché la concentrazione dei raggi diminuisce a mano a mano che β aumenta.

È possibile dimostrare ed è ovvio dalla semplice osservazione della Fig. 4, che con uno specchio parabolico si riesce ad ottenere una concentrazione molto migliore che non adoperando uno specchio sferico.

I raggi solari vengono concentrati su un collettore che può avere forma emisferica o piana; nel caso di collettore emisferico, la quantità di energia captata, a parità di specchio, risulterà maggiore.

L'energia così captata serve al riscaldamento ed alla evaporazione del fluido elastico nel collettore.

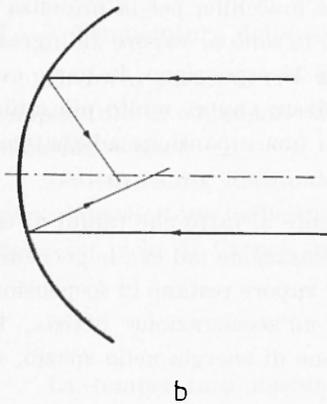
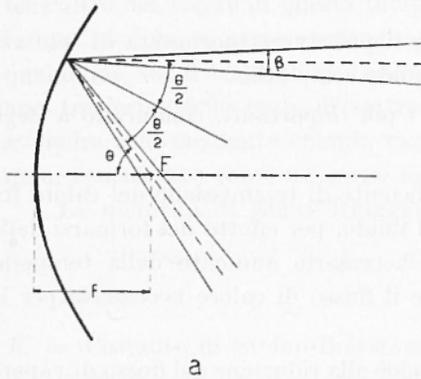


Figura 4

- a) riflessione su specchio parabolico;
 b) riflessione su specchio sferico.

LA CALDAIA.

Naturalmente, nel veicolo spaziale l'accelerazione, nella parte del viaggio in cui non vi è spinta, sarà nulla; come è noto, il fenomeno della ebollizione in campi gravitazionali nulli assume un aspetto alquanto diverso da quello normale.

Infatti, sperimentando su tale tipo di ebollizione (2), sono stati riscontrati alcuni particolari fenomeni, che possono essere così riassunti:

a) Le bolle di vapore che si formano in seno al liquido, non si allontanano da esso formando, in uno col liquido stesso, una schiuma;

b) Il flusso di vapore dalla caldaia al condensatore si riduce fortemente fino ad arrestarsi talvolta, con conseguente aumento della pressione della caldaia;

c) Quando il flusso ha luogo, si può avere fuoriuscita di solo vapore, della suddetta schiuma o di liquido come tale.

Questi fenomeni, che sono fra i più importanti, conducono a degli inconvenienti quali:

1. Una diminuzione del coefficiente di trasmissione del calore fra la parete interna del captatore ed il fluido, per effetto del formarsi della schiuma suddetta, con conseguente necessario aumento della temperatura delle pareti stesse per ottenere il flusso di calore necessario per la potenza richiesta alla macchina.

2. I danni relativi al punto *b)* cioè alla riduzione del flusso di vapore ed aumento della pressione della caldaia sono di conseguenza evidenti.

3. Infine, la fuoriuscita di schiuma dalla caldaia, oltre ad alterare il fenomeno dell'espansione nell'ugello della macchina per la presenza di gocce di liquido in condizioni di saturazione in seno al vapore all'ingresso dell'ugello (gocce che ovviamente, durante la espansione, in parte evaporano), comporta l'ingresso in macchina di un vapore molto più umido di quanto non si sarebbe avuto nel caso di una espansione adiabatica a partire da vapor saturo.

Questa serie di inconvenienti, unitamente al fatto che taluni di essi si ritrovano anche nel fenomeno della condensazione (ad es., le goccioline di liquido derivanti dalla condensazione del vapore restano in sospensione nel condensatore), consigliano di creare un'accelerazione fittizia, facendo ruotare, in un impianto di conversione di energia nello spazio, sia il collettore che il radiatore-condensatore.

Ferma restando quindi la soluzione, scelta peraltro da diversi autori proponenti tali impianti, di rendere sia il collettore che il radiatore rotanti, varrà osservare, a questo punto, quale sono a nostro avviso, il ciclo termico ed il fluido più convenienti per questo tipo di macchina.

IL FLUIDO ED IL CICLO TERMICO.

In una torbomacchina spaziale, alimentata da energia solare con concentrazione di raggi, la scelta del fluido operante è subordinata essenzialmente al peso dell'insieme per unità di potenza e al rendimento del ciclo.

Quest'ultimo nel caso di macchina a vapore con temperature superiori al di sotto alla temperatura critica del fluido evolvente è funzione senz'altro del valore di questa temperatura superiore e di quella dell'isoterma inferiore (a parte eventuali surriscaldamenti). È da osservare che qualunque sia il ciclo chiuso adoperato dalla macchina, esso presenta una trasformazione reale di sottrazione di calore, sottrazione che può avvenire solo mediante energia raggiante da un radiatore verso il cielo nero, considerato come un corpo nero alla temperatura di 0°K .

La quantità di calore irraggiato dal radiatore sarà:

$$Q = K \varepsilon A F T_R^4$$

Dove:

K = Costante di Stefan-Boltzman

ε = Coefficiente di emissività del radiatore

A = Superficie totale radiante

F = Fattore di forma del radiatore

T_R = Temperatura della superficie radiante.

È ovvio pertanto che a parità di forma del radiatore, una elevata temperatura di emissione riduce la superficie radiante e quindi il peso del radiatore stesso.

D'altro canto, indicando con T_C la temperatura assoluta di captazione del collettore, l'efficienza del ciclo, considerato in prima approssimazione un ciclo di Carnot, risulta espressa da

$$\eta = \frac{T_C - T_R}{T_C}$$

La temperatura massima del ciclo T_C risulta limitata però dalle caratteristiche tecnologiche del generatore.

Una bassa temperatura di radiazione aumenta le dimensioni del radiatore; esiste, ovviamente, per una determinata potenza del complesso, un « optimum » per il rapporto fra la temperatura del collettore e del radiatore che rendono minimo il peso del complesso, per un determinato valore del rapporto fra il peso dell'unità di superficie dello specchio e quello dell'unità di superficie del radiatore, assunto come parametro. Fissato tale parametro, il rapporto ottimo fra la temperatura massima e minima del ciclo, e cioè del collettore e del radiatore, può essere ricavato con l'ausilio di particolari diagrammi (¹).

Ovviamente, all'aumentare dell'isoterma superiore si ha una riduzione in peso del complesso, a parità di rendimento, ovvero un rendi-

mento maggiore a parità di peso, il che si traduce comunque in un minor peso dell'insieme a parità di potenza.

In un progetto recente ⁽³⁾, utilizzando come fluido operante vapori di Rubidio, fissata l'isoterma superiore a 650°C, si è ottenuta una isoterma inferiore pari a 350°C, con un rapporto fra i pesi per unità di superficie del captatore e dello specchio pari a 0,4 circa.

Tuttavia, nel ciclo in discussione, qualora in prima approssimazione si facesse espandere isentropicamente il vapore di Rubidio dalle condizioni di vapore saturo e secco a 650°C fino alla pressione corrispondente a 350°C, si avrebbe un titolo di vapore praticamente inaccettabile per l'ul-

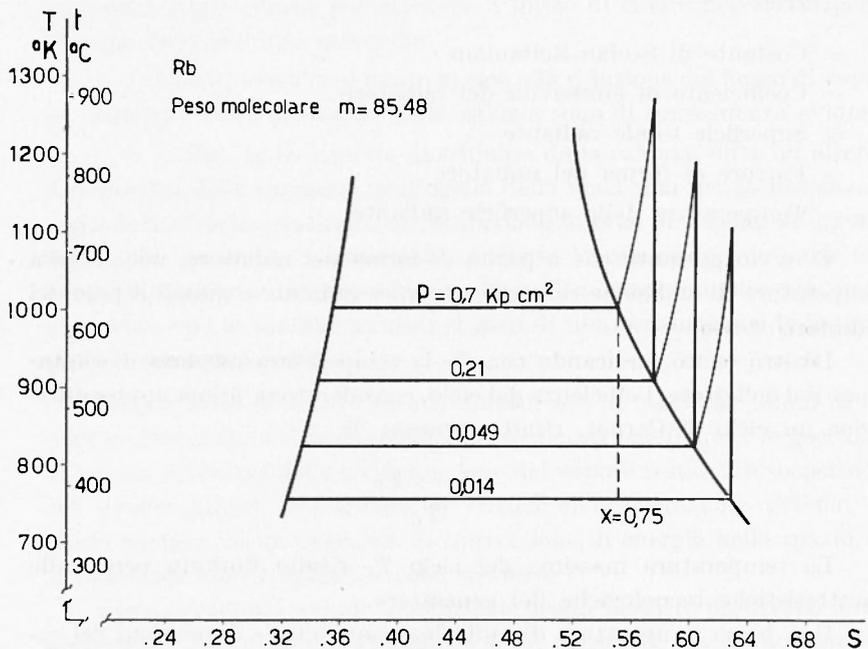


Figura 5 - Ciclo termico a vapore di rubidio

tima girante, $x = 0,75$ (Fig. 5) dovendosi pertanto ricorrere a tre surriscaldamenti, con temperatura massima intorno ai 1000°C.

È ben evidente che in un impianto del genere il surriscaldamento risulta molto complicato sia per quanto riguarda la diminuita semplicità dell'impianto (introduzione dei surriscaldatori, separazioni della macchina in più corpi) sia per l'ovvio aumento di peso, che può essere anche notevole, dell'intero impianto.

Un'ulteriore complicazione che sarà analizzata nel paragrafo relativo alla accumulazione, nell'adozione di cicli a surriscaldamento, si ha nel caso di voli orbitali, nei quali è necessaria un'accumulazione di energia per il periodo in cui il veicolo percorre il tratto di orbita in ombra.

A nostro avviso quindi, il ciclo termico più adatto per tale tipo di impianto risulta quello di Rankine senza surriscaldamenti, con elevate temperature per l'isoterma superiore al fine di aumentare il coefficiente economico del ciclo stesso. Ma l'elevarsi dell'isoterma di evaporazione rende notevolmente difficile la scelta del fluido in quanto ad esso si richiede di avere alta temperatura critica e pressioni di vapore saturo particolarmente basse alla temperatura superiore onde non essere costretti a ricorrere a generatori di vapore particolarmente robusti e quindi di peso inammissibili per simili apparati.

Ancora, necessità contrastante con la prima, la tensione di vapore saturo alla isoterma inferiore non deve essere molto bassa, per evitare il fortissimo aumento di volume specifico del vapore.

Contemporaneamente si richiede al fluido un adeguato valore della pressione di dissociazione alle temperature elevate, per ovviare alle note perdite di occultamento di calore dovute appunto a tale fenomeno. Questa condizione farebbe indirizzare la scelta verso sostanze semplici (elementi) possibilmente a molecola monoatomica.

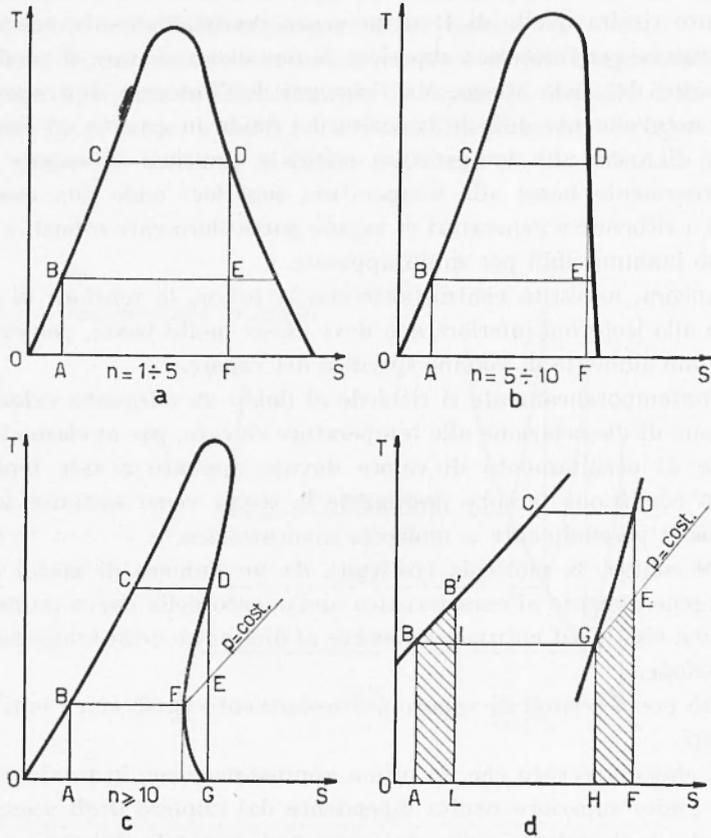
Di contro, la molecola costituita da un numero di atomi ridotto porta generalmente al caratteristico andamento della curva limite superiore che risulta ad entropia crescente al diminuire della temperatura di saturazione.

Ciò porta a titoli di vapore particolarmente bassi, con i noti inconvenienti.

È stato osservato che, in prima approssimazione, la pendenza della curva limite superiore risulta dipendente dal numero degli atomi nella molecola, indipendentemente dal peso degli stessi (4); tale curva limite superiore presenta una pendenza sempre minore al crescere del numero degli atomi, fino ad assumere un andamento ad entropia costante alle varie temperature (almeno nell'intervallo di temperature caratteristiche per tali impianti) ed infine addirittura, per molecole costituite da un numero notevole di atomi, un andamento ad entropia crescente con la temperatura (Fig. 6).

È bene chiaro che, utilizzando per le ragioni suesposte un ciclo di Rankine senza surriscaldamenti, per ottenere un buon titolo di vapore allo scarico a partire da vapor saturo, si dovrebbe adoperare un fluido con una pendenza della curva limite superiore pressoché nulla portando

i fluidi con pendenza negativa a valori del titolo generalmente troppo bassi ed i fluidi con pendenza positiva della curva limite superiore addirittura a vapori surriscaldati, con evidente abbassamento del rendimento del ciclo, qualora non si adoperasse uno scambiatore di calore.



$n =$ Numero atomi della molecola

Figura 6 - Curve limiti di fluidi in relazione al numero di atomi della molecola.

Infatti è stato dimostrato ⁽⁵⁾ che quando il ciclo assume la forma riportata in Fig. 6d, e la quantità di calore rappresentata dall'area tratteggiata viene riutilizzata col riscaldamento del liquido da B a B', il rendimento del ciclo resta praticamente uguale a quello del ciclo di Rankine fra le stesse isoterme.

Ne consegue, però, la necessaria presenza dello scambiatore di calore, con tutti gli inconvenienti relativi a questo delicato organo, primo fra tutti il peso.

Pertanto, ove mai si volesse adoperare il ciclo di Rankine senza surriscaldamenti (a nostro avviso, come detto, il più conveniente), bisognerebbe rivolgersi a fluidi in cui la pendenza della curva limite superiore fosse pressoché nulla.

Volendo seguire questo indirizzo, si dovrebbero abbandonare i corpi semplici oggi proposti quali il Mercurio, il Rubidio, il Sodio ecc. per rivolgersi a sostanze con molecole complesse che però possano mantenere le innanzi esposte caratteristiche, come la stabilità alle alte temperature e la tensione di vapore non elevata alle temperature stesse.

Sostanze con molecole costituite da molti atomi e quindi generalmente con alto peso molecolare presentano inoltre l'innegabile pregio di permettere un efflusso di vapore a parità di isoterme estreme, a velocità ridotte potendosi considerare con sufficiente approssimazione tale velocità proporzionale alla radice quadrata dello inverso del peso molecolare, a parità di γ (*).

Da questo punto di vista, il Mercurio si presenterebbe particolarmente adatto in quanto pur presentando, in accordo col fatto di aver una molecola monoatomica, un titolo allo scarico abbastanza basso, presenta un elevato valore del peso molecolare, $m = 200,61$, cosa che permette di impiegare turbine con cunero ridottissimo di elementi.

In relazione al peso molecolare il Difenile, con $m = 154$ potrebbe avere un notevole interesse, mentre il Rubidio, con $m = 85,48$ presenta già velocità di efflusso notevoli e tali da richiedere, nel campo considerato, una turbina a tre stadi peraltro, come si è visto, con riscaldamento intermedio.

Notevole importanza assume la densità del liquido alla temperatura del condensatore nel caso di macchine con caldaia e condensatori rotanti

(*) Risulta infatti (*), ammettendo in prima approssimazione la

$$pv = RT$$

$$c = 1,985 \frac{\gamma}{\gamma - 1} \sqrt{\frac{\Delta T}{m}}$$

dove:

m — peso molecolare del fluido

ΔT = differenza fra le temperature estreme

$\gamma = \frac{c_p}{c_v}$

c — velocità di efflusso del vapore in m/sec.

come la maggior parte dei progetti di turbomacchine spaziali, rotazione pressoché necessaria come visto in precedenza, principalmente per simulare il campo gravitazionale inesistente, e semplificare in tal modo i fenomeni di ebollizione e di condensazione. Una elevata densità permette con una certa facilità il ritorno del liquido dal condensatore alla caldaia senza bisogno di pompa di alimento ma utilizzando la semplice azione centrifuga, evitando al riguardo qualsiasi soluzione di continuità che potrebbe comparire per l'azionamento della pompa di alimento necessariamente dall'esterno in vista dello speciale fluido.

Il fluido, oltre le accennate caratteristiche, deve ancora essere compatibile con i metalli impiegabili nella costruzione, possedere elevato rapporto v/q ed altri requisiti secondari.

LA MACCHINA.

Nulla è da dire in questa sede, nei riguardi della macchina non presentando essa, da un punto di vista non prettamente costruttivo, alcuna caratteristica peculiare.

ACCUMULATORE DI ENERGIA.

Nel caso di veicoli orbitali, la traiettoria dell'insieme attraverserà periodicamente zone dello spazio direttamente investite dai raggi solari e zone d'ombra della terra.

Nasce pertanto il problema della accumulazione dell'energia, per l'utilizzo nei periodi in cui il satellite viaggia in zona d'ombra.

Trascurando i tradizionali sistemi di accumulazione sotto forma elettrica, che per grandi potenze risultano assolutamente inadatti allo scopo sia per il loro elevatissimo peso, sia per la loro delicatezza, il problema è stato affrontato da un punto di vista accumulazione dell'energia, sfruttando il passaggio dallo stato solido allo stato liquido e viceversa di talune particolari sostanze nel campo di temperatura richiesto.

Uno studio sulle proprietà chimico-fisiche degli idruri metallici ha messo in evidenza gli elevati calori e temperature di fusione di questi composti, e quindi la loro capacità a servire da accumulatori di calore con temperatura intorno ai 600°C.

Importante, per la scelta della sostanza adatta, risulta la curva della pressione di dissociazione con la temperatura. Infatti è necessario

evitare la dissociazione dell'idruro in idrogeno e metallo, che porterebbe alla variazione delle caratteristiche termofisiche del composto ed all'occultamento di parte dell'energia somministrata, non sfruttabile a temperature superiori a quelle di dissociazione.

Per evitare tale perdita, la pressione nell'accumulatore di energia deve essere superiore a quella di dissociazione, alle varie temperature; appare quindi ovvia la convenienza ad adoperare sostanze con basse pressioni di dissociazione.

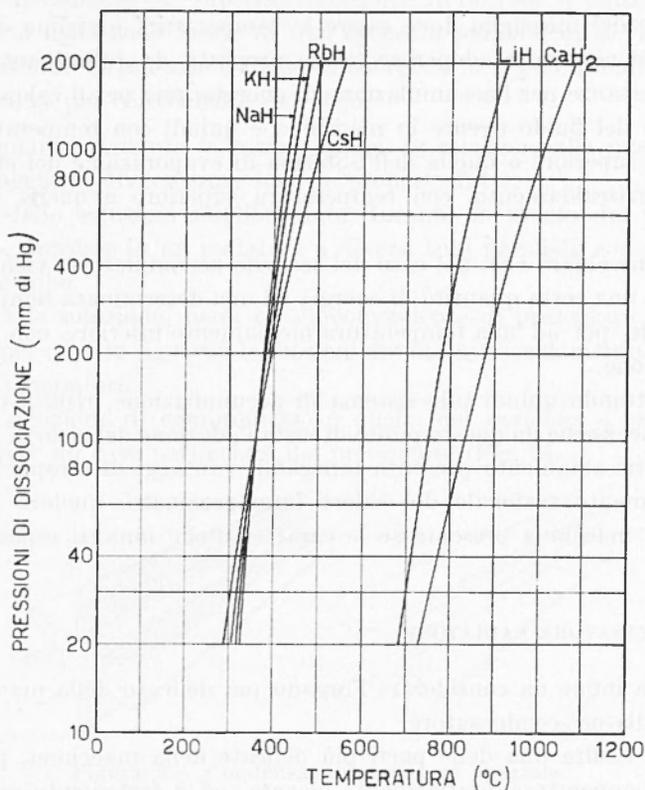


Figura 7 - Pressioni di dissociazione in funzione della temperatura di alcuni idruri.

Nella Fig. 7 sono riportate appunto talune di queste curve relative ad un certo numero di idruri, dalle quali si può osservare come gli idruri di Li e Ca presentino i più bassi valori della pressione di dissociazione a determinate temperature, e siano quindi i più facilmente utilizzabili(?).

Nel recente progetto di cui precedentemente accennato, è stato proposto un miscuglio formato dalla miscela di idruro di litio e litio metallico, nelle rispettive percentuali di 95% e 5%.

Un tale miscuglio, che ha un elevatissimo calore di fusione per kg (circa 600 *Kcal/kg*) presenta il vantaggio di non aver apprezzabili variazioni di volume fra lo stato solido e quello liquido, così da non generare, nell'interno dei condotti di scambio di calore delle sollecitazioni inaccettabili.

Ovviamente, nel caso del ciclo con surriscaldamento, la temperatura di fusione del miscuglio deve essere la temperatura massima del ciclo, a meno di non voler adoperare (come proposto da taluni autori) due diverse sostanze per l'accumulazione di energia, una per il calore di evaporazione del fluido agente in macchina e quindi con temperatura leggermente superiore a quella dell'isoterma di evaporazione del ciclo, una per il surriscaldamento, con temperatura superiore a quella massima del ciclo.

È bene chiaro che, nel caso del secondo accumulatore, viene immagazzinata una certa quantità di energia ad una determinata temperatura, e sfruttata poi ad una temperatura mediamente inferiore, con evidente degradazione.

Accettando quindi tale sistema di accumulazione, risulta di conseguenza che, anche da questo punto di vista l'adozione del ciclo di Rankine senza surriscaldamento presenta innegabili vantaggi di semplicità, peso e sfruttamento razionale del calore immagazzinato, qualora il fluido agente in macchina presentasse le caratteristiche innanzi esposte.

IL CONDENSATORE-RADIATORE.

Resta infine da considerare l'organo più delicato della macchina, e cioè il radiatore-condensatore.

Esso risulta una delle parti più delicate della macchina, perché si trova a temperatura praticamente elevata, ed è fortemente esposto al bombardamento meteoritico.

Il radiatore può essere di forme diverse, dovendo tener conto:

- a) della resistenza al suddetto bombardamento meteoritico;
- b) della massima capacità di irraggiamento, o, ciò che è lo stesso di un elevato valore del fattore di forma.

Per quanto riguarda la prima difficoltà, le soluzioni proposte sono di diversa natura, sfruttanti un doppio principio:

1) rendere le diverse zone del radiatore-condensatore stagne; ciò si può ottenere creando diversi circuiti di fluido, indipendenti. Qualora il condensatore-radiatore fosse colpito da un meteorite, la circolazione della zona colpita può essere interrotta automaticamente o, nel caso di veicolo abitato, dall'equipaggio. Questo comporta un pressoché necessario sovradimensionamento del radiatore stesso, pur senza superare determinati limiti.

2) esporre il radiatore il meno possibile al bombardamento meteoritico, riparandolo con superfici riflettenti. In tal caso il radiatore può essere posto nella zona focale di uno specchio parabolico; si viene così anche a rendere direzionale il flusso di energia e lo si può quindi dirigere verso la zona più conveniente del cielo.

Per quanto riguarda la forma, infine, in relazione alla quantità di calore irraggiato, diversissime sono le proposte fatte.

Una delle soluzioni migliori nata durante lo studio del progetto « Elettra », consiste in un radiatore a diversi tubi paralleli, con riflettori fra tubo e tubo.

Una tale soluzione, però, ha l'inconveniente di presentare notevoli problemi per quanto riguarda le tensioni dovute a riscaldamento, almeno per grandi radiatori.

Una soluzione di compromesso è quella del *radiatore a croce*, che risulta essere un caso particolare del precedente (Fig. 8).

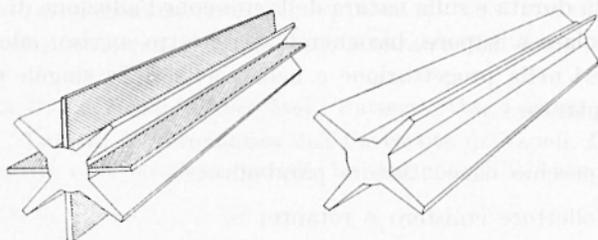


Figura 8 - Condensatore-radiatore spaziale

Per evitare l'irraggiamento reciproco fra elemento ed elemento, vengono interposti dei riflettori.

È possibile dimostrare che il rapporto fra il calore irraggiato da un condensatore-radiatore del tipo a croce senza i riflettori e lo stesso con i riflettori risulta essere:

$$\alpha = \frac{1 - F' \varepsilon}{1 - F'}$$

dove

F = fattore geometrico di forma

ε = coefficiente di emissività.

Normalmente, il valore di a risulta di poco inferiore all'unità.

Eliminando i riflettori, ed aumentando la superficie irraggiante (con allungamento del radiatore) così da riportare al valore iniziale la quantità di calore emessa, si ha un aumento del peso che risulta generalmente essere inferiore al peso dei riflettori, in virtù del fatto che il fatto geometrico di forma F varia con l'allungamento. In tal modo il complesso risulta più leggero, sia pure di una piccola quantità, ma certamente meno delicato.

Tale soluzione dovrebbe risultare, a nostro avviso, una delle più conveniente dal punto di vista della forma in relazione alla quantità di calore irraggiata.

CONCLUSIONE.

Da tutto quanto esposto, si possono trarre le seguenti conclusioni:

Quando nella scelta di un sistema di conversione di energia nello spazio risulta più conveniente, in base a considerazioni sulla potenza richiesta, sulla durata e sulla natura della missione l'adozione di una turbomacchina solare a vapore, bisognerebbe, a nostro avviso, adottare i seguenti criteri nella progettazione e nella scelta delle singole parti costituenti l'impianto:

a) Specchio concentratore parabolico;

b) Collettore emisfero e rotante;

c) Ciclo di Rankine senza surriscaldamenti;

d) fluido presentante un notevole numero di atomi nella molecola, temperatura critica alta, elevata stabilità, pressioni di saturazione alla isoterma superiore non eccessive;

e) Condensatore-radiatore rotante, con superfici radianti a 90° .

Una macchina progettata con tali caratteristiche dovrebbe, a nostro avviso, presentare le migliori caratteristiche in relazione ai fattori peso e sicurezza di funzionamento.

BIBLIOGRAFIA

- (1) ZIMMERMANN R. L., ZWICK E. B., *Space vehicle power systems*. « J. ARS », 29, 8 553-565, (1959).
- (2) LT LLOYD M. HEDGEPEETH, *Zero gravity boiling and condensing*. « Progress in Astronautics and Rocketry », 3, 593, (1961).
- (3) MACAULEY B. T., *The development of a 15 kW (el) solar mechanical engine for space application and its relationship to the fabrication of similar engines for terrestrial usage*. U.N. Conference on new sources of energy, Rome, 1961, E/Conf. 35/S/27.
- (4) GOLDSTEIN M., National Laboratory of Israel, *Slope of the saturated vapor line in a temperature entropy diagramm*. Lavoro non pubblicato.
- (5) TABOR H. - BRONICKI L., *Small Turbine for solar energy power package*. U.N. Conference on new sources of energy, Rome, 1961. E/Conf. 35/S/54.
- (6) D'AMELIO L., *L'impiego di vapore ad alto peso molecolare in piccole turbine*. Ed. I.N.A.G., Napoli, (1935).
- (7) WERNER R. C. - CIARLARIELLO T. A., *Metal hydride fuel cells as energy storage devices*. U.N. Conference on new sources of energy, Rome, 1961. E/Conf. 35/Gen/14

ed inoltre:

BULLOCK R. O., *Vapor turbine for space power*, da « Energy conversion for space », 517, London (1961).

Handbook of Astronautical Engineering, McGraww-Hill Book Company, inc. 1961.

SMETHELLS C. J., *Metals refence book*. Butterworths, London 1962.

D'ELIA G., Istituto di Aeronautica dell'Università di Napoli, *Le potenze non propulsive nelle missioni spaziali*. Lavoro non pubblicato.

Precisazione «Sui risultati di alcune ricerche sulla serie gessoso-solfifera siciliana»

A. FRANCAVIGLIA

Ricevuto l'11 Aprile 1963

RIASSUNTO. — L'A. richiama alcuni dati di fatto che un anonimo recensore, commentando una sua nota nel n° 34 della rivista «Lo Zolfo», ha, involontariamente dimenticato di riferire, sicché la nota predetta può essere interpretata come un attacco all'Ente Zolfi Italiani, anziché alla Compagnie Générale de Géophysique, secondo lo scopo dell'A.

SUMMARY. — The Author recalls certain factual elements which had been involuntarily forgotten by the anonymous editor who commented a note of his in the issue N° 34 of the magazine «Lo Zolfo». This inconveniency might have caused the note itself to be interpreted as an attack against the Ente Zolfi Italiani, rather than the Compagnie Générale de Géophysique, as the author had meant it.

Nella mia nota dal titolo sopra riportato, apparso sugli «Annali di Geofisica» (Francaviglia 1962), ho cercato di mettere in evidenza le cause del risultato negativo dell'indagine geofisica condotta dalla Compagnie Générale de Géophysique (C.G.G.) per incarico dell'Ente Zolfi Italiani (E.Z.I.) nelle zone di M. Stretto e Trabia-Tallarita nella Sicilia centrale.

Debbo dichiarare che lo scopo della mia nota è stato quello di far risaltare come la C.G.G., pur avendo avuto a disposizione i risultati dei rilevamenti geologici di dettaglio, i profili stratigrafici delle trivellazioni già eseguite nelle due zone, nonché tutti gli altri dati utili alla soluzione del problema proposto, abbia adottato un metodo di prospezione, che la sua lunga esperienza in materia doveva sconsigliare.

Come già è avvenuto in altra occasione (Francaviglia 1955, 1956), la C.G.C. non ha creduto opportuno controbattere le mie osservazioni,

sia per assoluta mancanza di argomentazioni scientifiche, sia perché i risultati delle trivellazioni di controllo hanno contraddetto le sue deduzioni fatte in sede di relazione, e, infine, perché non poteva pubblicare le giustificazioni addotte per spiegare queste contraddizioni, che avrebbero certamente deposto a sfavore della C.G.G.

Ippolito e Manfredini A. (1951) hanno scritto che molti risultati negativi delle ricerche geofisiche sono dovute al fatto che le Società di prospezione mirano, in primo luogo, ad accaparrarsi un lavoro, approfittando della scarsa competenza che, in genere, i committenti hanno della materia, senza curarsi se le condizioni di giacitura del minerale cercato contrastino con le condizioni teoriche richieste per la corretta interpretazione dei risultati di campagna. Nel caso presente, l'E.Z.I. non aveva allora un proprio reparto geofisico o un consulente qualificato. Si comprende benissimo che abbia dato ascolto ai rappresentanti di una Società che si presentava con una esperienza ultratrentennale.

Non comprendo, quindi, l'intervento dell'E.Z.I. in una polemica fra me e la C.G.G. — Non è mia intenzione di polemizzare con l'E.Z.I., ma sono costretto a rilevare alcune inesattezze nelle quali, certamente in buona fede, è incorso l'anonimo recensore.

I primi lavori di ricerca solfifera veri e propri sono stati iniziati dall'E.Z.I. nel 1949 con lo studio di dettaglio dei bacini di Trabia-Tallarita e di Lercara Friddi, per iniziativa del Prof. Gerbella allora Direttore tecnico e Amministratore Delegato dell'E.Z.I., seguiti nel 1950 dai lavori nel bacino di Palma di Montechiaro, studiato in precedenza geologicamente e geofisicamente da me e Manfredini A. (Manfredini A. 1950, Francaviglia 1951), e in quelli di Comitini-Aragona e Favara-Ciavalotta; nel 1951 dallo studio dei bacini compresi nel foglio 268 «Caltanissetta».

Non è esatto dire che io sono «stato uno dei geologi che ha avuto incarico dall'Ente Zolfi di eseguire rilevamenti alla scala di 1 : 25.000 in varie zone. Rilevamenti che sono serviti anche per aggiornare la Carta Geologica della Sicilia». Ciò è avvenuto soltanto dopo la creazione del Centro di Terrapelata a Caltanissetta.

Nella mia nota ho dato atto all'E.Z.I. di non essersi mai contentato del parere di un solo geologo, e di essere ricorso all'indagine geofisica nei casi controversi. Ho, invece, rimproverato, e ancora una volta rimprovero, alla C.G.G. di non aver tanto conto di quanto era già stato pubblicato, di quanto avevo scritto nelle mie relazioni all'E.Z.I., della relazione del geologo Jaoul della Compagnie de Mines de Huaron, e di avere, pertanto applicato un metodo che non poteva dare, e non ha dato, i risultati richiesti per le condizioni di giacitura della serie gessoso-solfifera.

La migliore prova della bontà del mio contributo alla ricerca solfifera e della fondatezza della mia critica costruttiva è data dalle pietose giustificazioni fornite dalla C.G.G. per giustificare il risultato negativo del suo lavoro nel caso in esame, e dal non avere essa rilevato le mie critiche pubblicate in riviste di ampia diffusione.

Roma, Istituto Nazionale di Geofisica, Aprile 1963.

BIBLIOGRAFIA

- FRANCAVIGLIA A., *Risultati di alcune ricerche sulla serie gessoso solfifera siciliana*. « Annali di geofisica », **XV**, Roma, (1962).
- *Un esempio di mancata collaborazione fra geologia e geofisica: l'indagine idrologica nel territorio di Catania*. « Boll. Soc. Geol. It. », **LXXIII**, Roma, (1955).
- *Ancora sulla ricerca idrologica nei dintorni di Catania*. « Boll. Soc. Geol. It. », **LXXV**, Roma, (1956).
- *La ricerca del minerale solfifero in Sicilia*. « Riv. Min. Sic. », **7**, Palermo, (1951).
- IPPOLITO F. e MANFREDINI A., *La geofisica e la geologia nelle ricerche idriche*. « L'Aequa », **7-8**, Roma, (1951).
- MANFREDINI A., *Studio geofisico della formazione gessoso-solfifera siciliana col metodo della resistività*. « Boll. Uff. Geol. d'It. », **LXX**, Roma, (1950).
-