

sori. Per lo studio di certi problemi possono utilmente servire le armi da fuoco e i metodi della balistica.

19

N. A. Rinin: Propulsione a reazione senza utilizzazione dell'aria esterna.

Il problema di un aumento della velocità di volo oltre i limiti oggi conseguiti può essere risolto per due vie, già definite da S. E. Crocco con i nomi di *iperaviazione* e *superaviazione*. Ma nella superaviazione si incontra il problema del propulsore. Occorre un propulsore di potenza indipendente dalla quota e capace di fornire un rendimento accettabile anche in condizioni di densità e di velocità per le quali l'elica non è più adatta. A questi requisiti risponde il propulsore a reazione o razzo.

1. *Principio del funzionamento e del volo del razzo.* — Definizione del propulsore a razzo. Si distinguono tre tipi fondamentali di razzi: 1) razzo di tipo comune, nel quale la spinta si ottiene mediante espulsione dei prodotti della combustione, combustibile e comburente essendo ambedue nel razzo stesso; 2) razzo con aspirazione dell'aria esterna per aumentare la spinta (imbuti di Melot-Venturi); 3) razzo con captazione dell'aria esterna che si autocomprime e serve da comburente (Lorin Crocco).

Spinta del razzo semplice (teorema della quantità di moto):

$$F = \frac{u}{g} c$$

u = peso dei gas espulsi al secondo, c = velocità di espulsione.

Per rendere grande F occorre aumentare u e c .

2. *Mezzi per aumentare il getto di massa al secondo e la velocità di uscita.* — La massa espulsa dal razzo si può aumentare mediante la captazione dell'aria ambiente e l'espulsione di essa con i prodotti della combustione. Se si indica con c' la velocità di espulsione, con a il rapporto fra la massa complessiva lanciata e quello del solo combustibile bruciato, il rendimento (meccanico) risulta:

$$\eta' = \frac{2v(c' - v + v/a)}{c'^2 - v^2 + 2v^2/a}$$

che per il razzo semplice ($a = 1$) diviene:

$$\eta = \frac{2v/c}{1 + \left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

Il valor massimo di η è in ambedue i casi uguale ad 1 e si consegue per $v = c$. Il confronto fra η ed η' richiederebbe di poter mettere in relazione c e c' . Cenno alle esperienze di Jacobs e Shoemaker e a quelle di Schubauer.

L'aumento della velocità di espulsione si ottiene adottando miscele di alto potere calorifico. Se tutta l'energia termica sviluppata nella combustione si trasforma in energia cinetica, si avrebbe una velocità ideale di uscita

$$c_1' = 91 \sqrt{\frac{Q}{1 + \alpha L}}$$

Q = potere calorifico, L ossidante strettamente necessario, α coefficiente di eccesso). Se il carburante è ossigeno puro $\alpha = 1$, se aria $\alpha = 4,33$.

L'A. tratta il caso degli idrocarburi bruciati con ossigeno puro e accenna alla possibilità, vantaggi e inconvenienti dell'aggiunta di metalli (litio, boro, alluminio, ecc.) nel combustibile. La massima velocità ideale sembra essere quella fornita dall'idrogeno (5170 m./sec.).

Il processo funzionale del motore a reazione consiste nella combustione della miscela a pressione costante e successiva espansione dei gas ottenuti. Ora in tale processo di combustione, date le alte temperature raggiunte, si hanno fenomeni di dissociazione, che l'A. studia brevemente. Per diminuire la dissociazione è stata proposta l'aggiunta di diluenti. Obert ed altri propongono di adoperare un eccesso di idrogeno. In conclusione, la scelta del miglior combustibile ha bisogno di ulteriori indagini. Attualmente la miglior miscela sembra essere benzina e ossigeno nel rapporto 1 : 3,5 in peso.

3. *Termodinamica del motore a reazione.* — Dalla velocità ideale di espulsione occorre passare a quella effettiva c_0 . Essa è data dalla termodinamica (formula di Zeuner) in base al rapporto delle pressioni p_0/p . Il rendimento termico risulta

$$\eta_t = 1 - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

Sulla forma dell'ugello influiscono, fra gli altri fattori, la pressione p_0 del gas nella camera di combustione, la pressione p sull'apertura di uscita e la pressione esterna p_a . Queste ultime in generale non coincidono e l'A. illustra, sulla scorta di Esnault-Pelleterie, i tre casi possibili: $p = p_a$, $p > p_a$, $p < p_a$.

Ai problemi del calcolo termodinamico del motore a reazione è consacrata una serie di ricerche di diversi studiosi. L'A. accenna al metodo del prof. Macinski, basato sulle equazioni della fisico-chimica. Le equazioni di partenza sono: le equazioni della velocità di reazione (in numero di n se n sono i componenti della reazione), le tre equazioni indefinite dell'idrodinamica, l'equazione di continuità, quella di stato e quella della trasmissione di calore per convezione (si trascura la conduzione interna), opportunamente adattate. Il problema risulta definito, quando siano date le condizioni ai limiti. Si accenna ad alcune conclusioni riguardanti la forma del boccaglio.

4. *Teoria generale del volo del razzo.* — Durante il suo moto il razzo è sotto l'azione di tre forze: spinta propulsiva, peso e resistenza dell'aria. Nel caso generale la risoluzione del problema è abbastanza complicata.

Il prof. Mescerski nel 1997 scrisse per la prima volta l'equazione differenziale del moto verticale di sollevamento del razzo:

$$M \frac{d^2 x}{dt^2} = - M g - \frac{dM}{dt} c - R(v)$$

integrandola in casi particolari, senza tener conto della variazione della densità dell'aria con l'altezza.

Ziolkowski nel 1903 e nel 1910 ne tenne invece conto, fornendo una risoluzione approssimata.

Nel 1909 Goddard impostò il problema di minimo (quale deve essere la minima massa iniziale del razzo per poter sollevare 1 kg. ad un'altezza data?) e lo risolve per approssimazione. Altre risoluzioni approssimate furono date da Obert (1923) e Hochmann (1925) Hamel (1927), Macinski e Stern (1935) dettero soluzioni rigorose col calcolo delle variazioni e Stern dette anche un esempio numerico.

Il volo inclinato del razzo è stato studiato, oltre che dai suddetti, anche da Bory, supponendo costante la densità dell'aria, da Lvoski nell'ipotesi di una velocità di espulsione costante, densità dell'aria decrescente linearmente con la quota, resistenza proporzionale ad una certa funzione della velocità.

5. *Applicazione della forza reattiva al volo dell'aeroplano.* — Una serie di studiosi (Lorin, Obert, Hohmann, Crocco, Rinin, Korvin-Krowkowsky, Kondratok, Roy, Zander, Sänger, Ziolkowski, Macinski ecc.) ha elaborato la teoria dell'aeroplano a reazione. L'A. riferisce sopra alcuni lavori, cominciando da quelli di G. A. Crocco.

Il gen. Crocco ha studiato il problema dell'aeroplano a razzo principalmente in due lavori: « Possibilità di superaviazione » e « Iperaviazione e superaviazione ». Nel primo ha studiato la traiettoria di un aeroplano con propulsore a razzo nell'ipotesi che il prodotto $\delta F(v)$ (dove $F(v)$ è la « funzione di velocità » di Chapel) resti costante e l'assetto pure resti costante, con che anche l'efficienza resta costante.

Nel secondo, dopo aver studiato in generale il problema del volo stratosferico, tenuto conto della variazione del coefficiente di resistenza con la velocità, e avere introdotto il concetto di « quota economica » corrispondente ad una data velocità, si propone il problema del propulsore, orientandosi verso il « corpo aerotermodinamico » di Lorin e traccia un esempio di possibile traiettoria di un aeroplano stratosferico con questo tipo di propulsore. La traiettoria comprende un tratto ascendente, un tratto orizzontale e una discesa finale in volo librato.

L'A. riferisce poi brevemente su ricerche analoghe di Zander, di Sänger e di Obert.

In tutti questi lavori l'altezza di volo non è inferiore a 30 km., la velocità media non è inferiore a 800 m/sec, la distanza percorsa va da 1200 km. in più. La durata del volo non è grande (mezz'ora secondo Crocco per 1200 km.).

Il Macinski ha studiato il volo orizzontale del razzo, supposti c_x e c_y costanti. Ne risulta un consumo per unità di massa (iniziale) decrescente col tempo. Anche la velocità decresce con legge parabolica.

Conclusione sugli aeroplani a razzo: un confronto dei poteri calorifici e dei rendimenti comparativi fra il propulsore motore-elica e il propulsore a reazione mostra che quest'ultimo potrà avvantaggiarsi sul primo solo alle alte quote e alle alte velocità.