

LANCIATORI

Di Marco Giancola

Il primo passo da affrontare per definire una strategia di immissione in orbita di un veicolo spaziale è la scelta del lanciatore.

Un lanciatore (detto anche *vettore*) è composto da una struttura aerodinamica (paragonabile alla fusoliera di un aereo), un sistema di propulsione (*endoreattore*), un sistema di guida ed il carico di strumentazione, o altro, che prende il nome di *carico pagante* (*payload*) o *carico utile*. Tutti i moderni razzi sono costruiti in modo che la loro struttura sia integrata con i serbatoi dei propellenti: lo stesso cilindro d'acciaio, o d'alluminio, che contiene i propellenti è anche la struttura meccanica attraverso la quale i motori del razzo trasmettono la spinta ed il carico è collocato sulla cima del lanciatore (detta *ogiva*), sotto il cono terminale.

La scelta del lanciatore risulta condizionata da numerosi fattori, alcuni di tipo economico-politico, altri di natura tecnico-progettuale, riguardanti cioè massa, volume e dimensionamento. Poiché le esigenze sono spesso contrastanti, è necessario attuare una scelta di compromesso che riesca a soddisfare il maggior numero possibile dei vincoli imposti.

Dicesi *rapporto di massa* il rapporto tra la massa del razzo in condizioni di lancio (propellenti e carico pagante inclusi) e la massa del razzo a vuoto. Il vettore ideale dovrebbe avere un rapporto di massa infinito: assolutamente tutto dovrebbe essere consumato nei motori e, da ultimi, persino i motori stessi; soltanto il carico dovrebbe restare. Poiché il razzo ideale è ovviamente irrealizzabile, i progettisti si sforzano di ottenere i rapporti di massa più elevati possibili; attualmente il limite è fra 20/1 e 25/1.

La tecnica di realizzare un lanciatore separandolo in due, tre o quattro segmenti distinti, detti *stadi*, è un modo per aumentare il rapporto di massa. Quando uno stadio ha utilizzato tutto il suo propellente, viene sganciato dal resto del vettore e lo stadio successivo viene attivato; dopo ogni separazione, la massa del razzo diminuisce e la sua velocità aumenta. Inoltre, ciascuno di essi ha un compito ben preciso: ci può essere uno stadio destinato al trasporto del carico utile, uno che gestisce i trasferimenti orbitali, un altro ancora che gestisce la traiettoria al di fuori dell'orbita terrestre, eccetera. In certi casi, tuttavia, non è possibile usare diversi stadi; ad esempio, a causa di una rampa di lancio troppo piccola o magari della forma del veicolo che non lo consente (come lo Space Shuttle della NASA). In questi casi, si utilizzano i *booster* (detti anche *razzi ausiliari*), che sono piccoli razzi posizionati ai lati del vettore i quali, una volta esaurito il propellente, si staccano come se fossero stadi.

Un lanciatore si muove in accordo con il principio di azione e reazione: il suo moto è la reazione alla fuoriuscita dei gas di scarico emessi dal propulsore. Vi sono tre indici principali che caratterizzano la qualità del sistema di propulsione di un vettore: la spinta, l'impulso specifico e l'impulso totale.

La *spinta* è la forza che spinge il razzo come reazione all'espulsione dei gas dal propulsore. Essa è uguale al prodotto della massa di propellente combusto nell'unità di tempo per la velocità v (rispetto al razzo) con la quale i gas sono emessi:

$$T = v \frac{dm(t)}{dt}$$

essendo $m(t)$ la massa del propellente combusto all'istante t . Ovviamente, tale forza deve essere maggiore del peso totale del razzo per realizzare il distacco dal suolo.

L'*impulso specifico* caratterizza la potenza e l'efficienza del propulsore ed è pari al rapporto tra la velocità v e l'accelerazione di gravità (di conseguenza, ha le dimensioni di un tempo):

$$I_{sp} = \frac{v}{g} = \frac{T}{g\dot{m}(t)}$$

I moderni motori a propellente liquido presentano un impulso specifico di circa 500 s; mentre i motori a propellente solido sono caratterizzati da un impulso specifico di circa 300 s.

L'*impulso totale*, che caratterizza il lanciatore nella sua globalità, è il prodotto della spinta per la durata Δt dell'accensione del propulsore:

$$I_{tot} = T\Delta t$$

Poiché il tempo d'accensione dipende dalla quantità di propellente disponibile nei serbatoi, l'impulso totale fornisce un criterio di classificazione dei lanciatori nella loro globalità.

Consideriamo il moto di un razzo monostadio nel vuoto ed in assenza di gravità. Siano m e V rispettivamente la massa e la velocità del razzo all'istante t , sia inoltre dm la sua perdita di massa dovuta all'emissione del gas di scarico, nel tempo dt , con velocità v rispetto ad esso ($dm < 0$).

Sia dV l'incremento di velocità corrispondente alla variazione di massa dm . Siccome, per ipotesi, il razzo non è sottoposto ad alcuna sollecitazione esterna, per il terzo principio della dinamica, la sua quantità di moto totale si conserva. Pertanto, possiamo scrivere:

$$(m + dm)(V + dV) - (V - v)dm = mV$$

Trascurando il termine $dmdV$, si ha:

$$mdV = -vdm \Rightarrow dV = -v \frac{dm}{m} \Rightarrow \int_{t_0}^{t_f} dV = -v \int_{t_0}^{t_f} \frac{dm}{m} \Rightarrow V_f - V_0 = v \ln \frac{m_0}{m_f}$$

dove t_0 è l'istante iniziale, nel quale il razzo ha massa m_0 e velocità V_0 , e t_f è l'istante in cui cessa l'espulsione del gas, a causa dell'esaurimento del propellente, e la massa del razzo si riduce a

$$m_f = m_0 - (\text{massa del propellente})$$

mentre la sua velocità raggiunge il valore V_f . Se l'istante iniziale t_0 è quello in cui avviene il lancio (e quindi $V_0 = 0$), la quantità m_0/m_f coincide con il rapporto di massa del lanciatore.

L'equazione precedente, che in genere viene scritta nella forma

$$V_f - V_0 = gI_{sp} \ln \frac{m_0}{m_f}$$

è l'equazione fondamentale del moto di un razzo, detta anche *equazione di Tsiolkovsky*.

I sistemi di propulsione dei lanciatori e dei veicoli spaziali si possono raggruppare in tre categorie principali: chimici, nucleari, elettrici. Attualmente, solo i sistemi chimici, basati sulla reazione chimica fra i propellenti, sono d'uso comune, mentre gli altri due sistemi sono ancora in fase di studio e di sviluppo.

a) *Sistemi chimici*. Si dividono in due classi: *a propellenti liquidi* e *a propellenti solidi*.

I sistemi a propellenti liquidi sono attualmente predominanti, perché presentano un più elevato impulso specifico e perché il loro funzionamento può essere controllato (la spinta può essere modulata ed il motore può essere spento e poi riacceso). Per contro, i sistemi a propellenti solidi sono più semplici, meno costosi, e possono essere tenuti pronti al lancio per lunghi periodi. I sistemi a propellenti liquidi sono, a loro volta, distinti secondo due caratteristiche: la temperatura dei propellenti e il metodo di alimentazione del motore. Sono detti *criogenici* i sistemi con liquidi a temperatura molto bassa (per esempio, con ossigeno liquido); essi richiedono che il caricamento dei serbatoi avvenga nell'imminenza del lancio. Altrimenti, sono *a temperatura ambiente*: in questo caso i propellenti possono restare nei serbatoi per lunghi periodi. Occorre precisare che i propellenti criogenici sono più efficienti: essi forniscono un impulso specifico più elevato. L'alimentazione del motore può essere fatta a pressione o a pompa. Nel sistema a pressione, i serbatoi sono caricati con un gas inerte ad alta pressione, che provvede a far fluire i liquidi. Nel sistema a pompa, una doppia turbopompa, azionata da una turbina a gas, provvede a mantenere un flusso costante verso il motore. Il sistema a pompa può fornire un maggior flusso di propellente a pressione più alta con minor massa complessiva rispetto al sistema a pressione.

Nei sistemi a propellenti solidi, poiché il propellente solido ha forma e consistenza definite, esso condiziona la struttura del sistema. Questo si presenta come un insieme integrato di serbatoio e

motore. Anche i propellenti solidi possono essere distinti in due gruppi principali: a base doppia oppure compositi. Un *propellente a base doppia* è costituito da due ingredienti principali, ciascuno dei quali contiene sia combustibile che ossidante: per esempio, nitroglicerina e nitrocellulosa. Essi sono legati assieme perché in coppia sono più stabili e rilasciano maggior energia operando congiuntamente. Un *propellente composito* è costituito da combustibile e ossidante separati e distinti, legati insieme da un terzo elemento (il legante). Essi sono spesso miscelati con un metallo finemente polverizzato, usualmente alluminio, che durante la combustione contribuisce ad accrescere sia la temperatura sia la massa di gas emesso, aumentando di conseguenza l'impulso specifico del motore. I propellenti compositi presentano in genere una rapidità di combustione minore rispetto a quelli a base doppia, ma hanno impulso specifico più elevato.

Sono in fase di studio e sviluppo motori ibridi, che utilizzano combustibile solido con ossidante liquido. Essi possono combinare alcuni vantaggi dei sistemi a propellenti liquidi con la semplicità ed il minor costo di quelli a propellenti solidi. Un tipico motore ibrido consiste di un contenitore con combustibile solido e di un serbatoio di liquido ossidante al di sopra di esso. Il liquido può essere immesso nel contenitore sottostante ove, al contatto con il combustibile, s'incendia. Il motore può essere controllato semplicemente aprendo e chiudendo le valvole che immettono il liquido.

- b) *Sistemi nucleari*. Operano per trasferimento di calore da un reattore nucleare per generare gas di scarico ad elevatissima velocità. L'impulso specifico dipende direttamente dalla temperatura del reattore e inversamente dal peso molecolare del gas di scarico. Più leggere sono le molecole, più facile è l'emissione. I sistemi nucleari sono in grado di sviluppare impulsi specifici maggiori rispetto ai sistemi chimici.
- c) *Sistemi elettrici*. Presentano due caratteristiche principali: una spinta molto bassa ed un impulso specifico elevatissimo. Risultano adatti come propulsori per le sonde destinate allo spazio profondo, dove la forza di gravità ha un ruolo modesto e pertanto una forza anche piccola ma di lunga durata è sufficiente a muovere veicoli di grande massa. Tuttavia i veicoli a propulsione elettrica devono essere posti in orbita terrestre con i sistemi convenzionali. Attualmente, lo studio si sta orientando principalmente sui sistemi elettrostatici e su quelli elettromagnetici a plasma. In tutti questi sistemi, un opportuno propellente, sotto forma di ioni, è accelerato elettricamente a velocità elevatissime per fornire la spinta richiesta.

La scelta del sistema di propulsione, di cui deve essere dotato un lanciatore o un veicolo spaziale, è basata su diversi fattori, fra i quali vi sono:

- obiettivi della missione;
- carico pagante;
- scelta delle traiettorie;
- costi;
- sicurezza;
- vincoli geometrici;
- controllabilità.

Alcuni di questi criteri di selezione possono risultare tra di loro incompatibili, richiedendo opportuni compromessi.

La propulsione fornita al veicolo dal lanciatore viene detta *primaria*, mentre quella fornitagli dal proprio sistema propulsivo è denominata *secondaria* o *ausiliaria*.

I lanciatori e le navicelle spaziali sono dotati di sofisticati dispositivi che li mantengono sulla traiettoria durante le fasi propulsive; essi sono: il *sistema di guida*, che ricostruisce la traiettoria voluta, ed il *sistema di controllo*, o *autopilota*, che controlla la direzione della spinta e l'assetto del veicolo sulla traiettoria, attuando le direttive del sistema di guida.

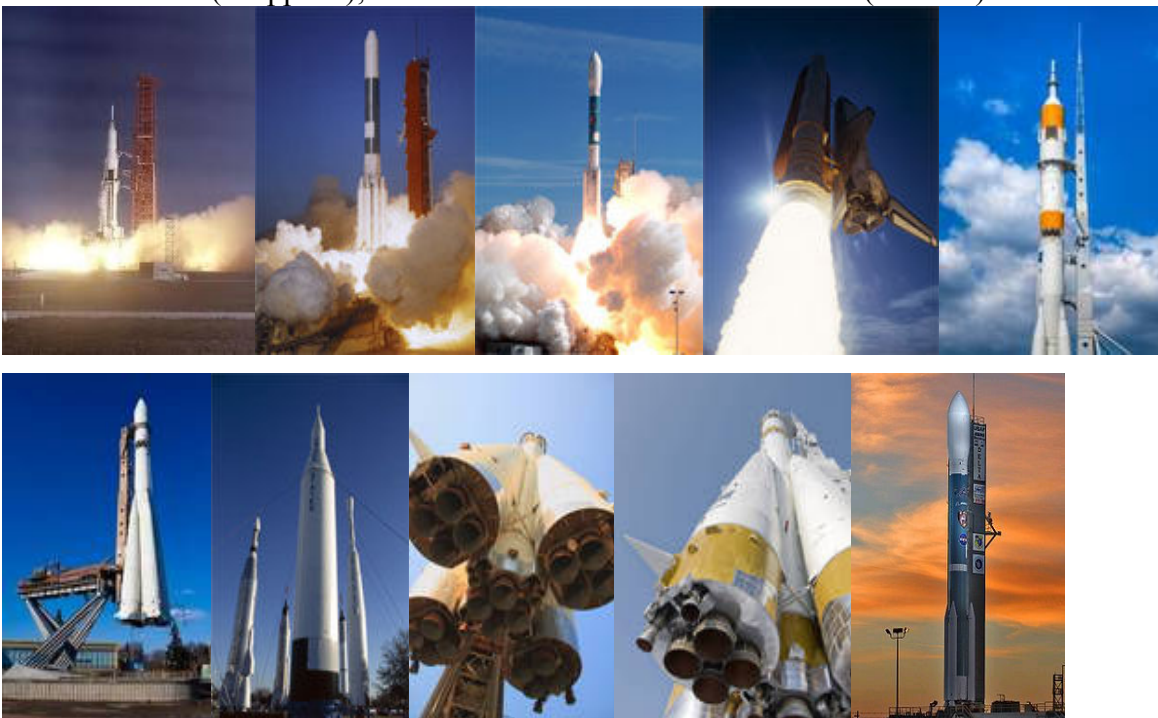
Tre sono i sistemi di guida utilizzati per i vettori spaziali: (a) il *radiocomando da terra*, che è il più preciso per la fase propulsiva nell'atmosfera terrestre e per tale fase viene normalmente usato; (b) il *sistema inerziale semplice*, che opera autonomamente a bordo del veicolo; anche se meno preciso, esso è il più semplice ed è usato frequentemente nelle missioni spaziali locali; (c) il *sistema inerziale controllato sulle stelle*, che include un sottosistema ottico altamente preciso per effettuare la ricostruzione della traiettoria a partire dalla posizione di stelle note, con lo scopo di correggere gli errori intrinseci del sistema inerziale stesso; quest'ultimo sistema viene normalmente usato dai veicoli che si muovono nello spazio profondo. E' inoltre presente un sistema di *telemetria*, cioè un sistema di radiocomunicazioni tra la base ed il veicolo.

Nel segmento di bordo sono presenti:

- sensori che raccolgono dati sul comportamento del veicolo e sul volo;
- un dispositivo che organizza e codifica i dati raccolti in un formato adatto alla trasmissione;
- un trasmettitore che invia tali dati alla stazione di terra;
- un *trasponditore (transponder)*, ossia un ricevitore e trasmettitore automatico che consente sia l'invio di comandi al veicolo che l'inseguimento radar da terra per la ricostruzione della sua traiettoria.

Per concludere, riportiamo una lista dei lanciatori più noti:

- Ares (USA);
- Ariane (Unione europea);
- Athena (USA);
- Atlas (USA);
- Cosmos (Russia);
- Delta (USA);
- Diamant (Francia);
- Falcon (USA);
- Jupiter (USA);
- Lambda (Giappone);
- Proton (Russia);
- Saturn (USA);
- Sojuz (Russia);
- Space Shuttle (USA);
- Taurus (USA);
- Titan (USA);
- Vanguard (USA);
- Vega (Unione europea);
- Vostok (Russia);
- Zenit (Ucraina).



Bibliografia

Enciclopedia delle scienze fisiche; Roma, Istituto della enciclopedia italiana fondata da Giovanni Treccani S. p. A., 1992; volume 5.

Grande enciclopedia della scienza e della tecnologia; Novara, Istituto Geografico De Agostini S. p. A., 1997.

Graziano M.: *Missioni lunari*, tesi di laurea in Ingegneria Astronautica; Università degli studi di Roma "La Sapienza", A.A. 1996/1997.

Mencuccini C., Silvestrini V.: *Fisica I*; Napoli, Liguori Editore, 1987.

http://it.wikipedia.org/wiki/Lista_di_lanciatori_spaziali

[http://it.wikipedia.org/wiki/Vettore_\(astronautica\)](http://it.wikipedia.org/wiki/Vettore_(astronautica))