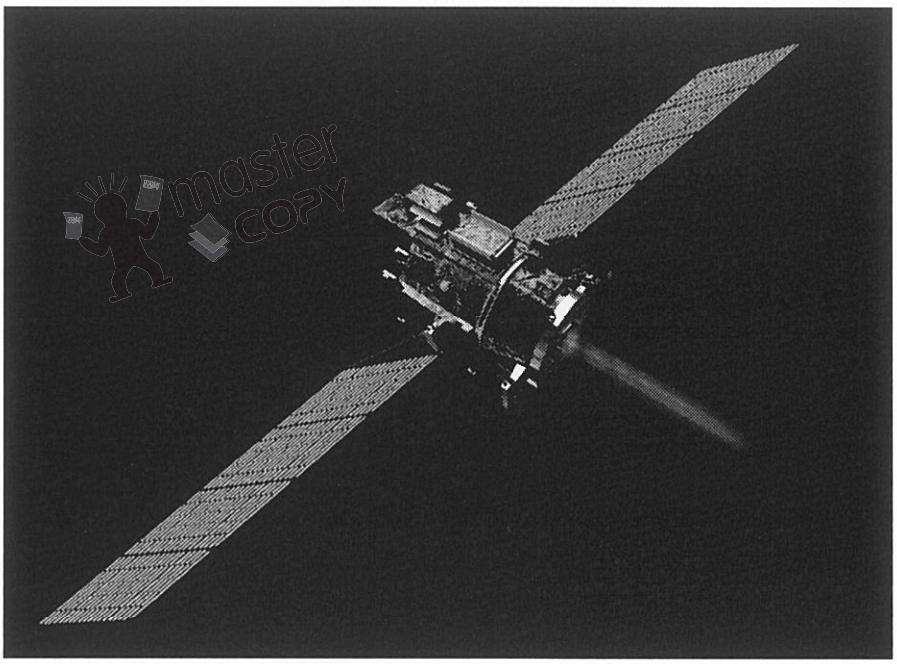
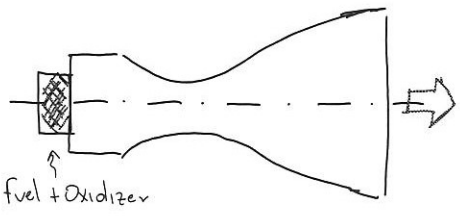
INTRODUZIONE



- Definition and parameters
- Performance
- Thrusters classification
- General observation

Definition and parameters

Propulsione chimica

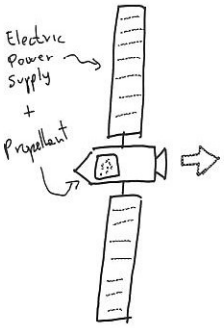


La potenza si genera nella camera di combustione, essa si "consuma" con il propellente.

- Spinte elevate
- "Burning time" molto breve

master COPY

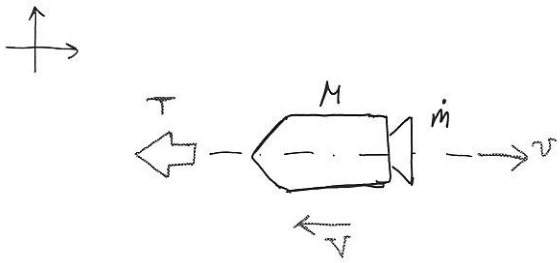
Propulsione elettrica



Qui invece la potenza è fornita da dispositivi, che quindi portano massa la quale non si consuma

- Spinte basse
- "Burning time" molto lungo (migliaia di ore)

master COPY COPISTERIA



Moto 1-D nel vuoto:

$$M\frac{dV}{dt} = T = -\frac{d\Pi}{dt}v_e = \dot{m}v_e$$

(T): Spinta complessiva reale
(ṁ): Portata complessiva reale
} (v_e): **Velocità effettiva di scarico**

master COPY

La v_e è il parametro più importante, ed è definita come $\frac{T}{\dot{m}}$, dove sia per la spinta che la portata dobbiamo considerare tutti i contributi di tutti i dispositivi

v_e non ha un significato fisico, non è misurabile, è un parametro convenzionale, mentre T e ṁ sono misurabili

Il pedice "e" sta per effettiva, cioè vuole dire che quello è il valore capace di produrre gli effetti desiderati

$$dV = -\frac{dM}{M} v_e \qquad \boxed{\Delta V = V_f - V_i = -\int_{M_i}^{M_f} \frac{v_e}{M}\, dM}$$

Questa equazione può essere risolta conoscendo v_e in funzione di M, nel caso semplificato in cui v_e è costante:

Equazione di Tsiolkowsky $\boxed{\Delta V = v_e \ln \frac{M_i}{M_f}}$



Se vogliamo un ΔV più elevato: $\begin{cases} M_i/M_f \uparrow \text{ (ma non efficiente)} \\ v_e \uparrow \end{cases}$



Possiamo indicare v_e anche come:

Impulso specifico di massa $\boxed{v_e = \frac{T}{\dot m} = \frac{T\,\delta t}{\dot m\,\delta t} \sim \frac{[I]}{[m]}}$ $\left[\frac{m}{s}\right]$

impulso per unità di massa

dove δt è l'intervallo inf. di tempo in cui T e $\dot m$ possono essere presi costanti.
Integrando otteniamo la media

$$\boxed{\bar v_e = \frac{\int_0^{t_p} T\,dt}{\int_0^{t_p} \dot m\,dt} = \frac{I_{tot}}{M_{p_{tot}}} = \frac{T \cdot t_p}{\dot m \cdot t_p} = v_e}$$

T e $\dot m$ costanti

Tradizionalmente viene usato:

Impulso specifico $\boxed{I_{sp} = \frac{I_{tot}}{W_p} = \frac{\int_0^{t_p} T\,dt}{\int_0^{t_p} \dot w\,dt} = \frac{T \cdot t_p}{\dot w\, t_p} = \frac{T}{\dot w} \sim \frac{[F]}{[F/t]}}$ $[s]$

impulso per unità di peso

Considerando che $\underline{\dot w = \dot m g_0}$ e $\underline{v_e = \frac{T}{\dot m} = \frac{T}{\dot w} g_0 = I_{sp} \cdot g_0}$



$\boxed{v_e = g_0 I_{sp}}$

g_0 va specificato, non ha un significato fisico, è solamente un fattore (come può essere $10\ m/s^2$)

Quindi se v_e è costante possiamo scrivere $\boxed{\Delta V = g_0 I_{sp} \ln \frac{M_i}{M_f}}$

$$\bar{I}_{sp} = -\frac{\int_{M_i}^{M_f} \frac{I_{sp}\,dM}{M}}{\ln\frac{M_f}{M_i}} = -\frac{\int_{M_i}^{M_f} \frac{T\,dM}{w\,M}}{\ln\frac{M_f}{M_i}}$$

Se ci interessa, questo è il valore medio

Summarizing the above, we see that the concept of total impulse provides a way to interrelate different quantities such as thrust, thrusting time, propellant consumption, exhaust velocity, ideal ΔV of the mission and vehicle mass. It is in fact:

$$I_{tot} = \int_0^{t_p} T\,dt = \int_0^{t_p} v_e\,\dot{m}\,dt = \int_{V_i}^{V_f} M\,dV$$

v_e costante

$$I_{tot} = T\,t_p = v_e\,M_p$$

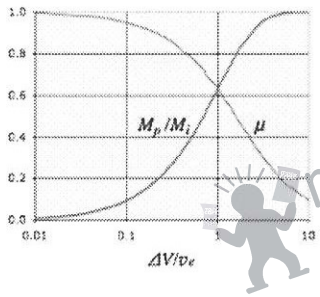
master COPY

master COPY

Scriviamo I_{TOT} così:

$$v_e M_p = v_e(M_i - M_f) = \Delta V\, M_i \frac{\left[1-\left(M_f/M_i\right)\right]}{\ln\left(M_i/M_f\right)} = \Delta V M_i \frac{\left[1-\exp\left(-\Delta V/v_e\right)\right]}{\Delta V/v_e} = \Delta V\, M_i \mu$$

μ : fattore di riduzione massa



Quando $\Delta V << v_e$, $M_p << M_i$ } $\mu \to 1$ e possiamo scrivere:

$$I_{TOT} = T\, t_p = v_e M_p = \Delta V M_i$$

A seconda della missione, con queste relazioni si vanno a determinare le caratteristiche del veicolo

Esempi: Se la missione richiede di raggiungere la Luna, sarà richiesto un ΔV elevato e M_p/M_i cresce ed μ sarà lontano da 1
Se invece vogliamo mantenere un satellite su una certa orbita, ΔV sarà contenuto (rispetto v_e) e possiamo usare le eq. con $\mu = 1$

Quindi, nota la M_i e il ΔV necessario si ottiene I_{tot} e con v_e si ha la M_p (se $\mu = 1$)

Possiamo vedere la v_e come somma dei contributi i-esimi:

$$v_e = \frac{T}{\dot m} = \frac{\sum T_i}{\sum \dot m_i} = \frac{\sum \dot m_i v_{ei}}{\sum \dot m_i}$$ ⇝ Ovvero è la media pesata dei vari contributi

Tipo, considerando il catodo cavo esso contribuisce con una certa $\dot m_i$, ma con una v_{ei} trascurabile, quindi non contribuisce alla spinta, ma si alla $\dot m_{TOT}$

Quindi la v_e complessiva sarà minore della v_e del solo propulsore, infatti un singolo propulsore con la sua v_e richiederà meno potenza di un set di propulsori con la stessa spinta, $\dot m$ ma diversa v_e.
[La via più efficiente è quella di espellere tutta la $\dot m$ alla stessa v_e]

Consideriamo due veicoli con v_e e M_i/M_f differenti, ma con la stessa ΔV, essi performeranno allo stesso modo la stessa missione.

