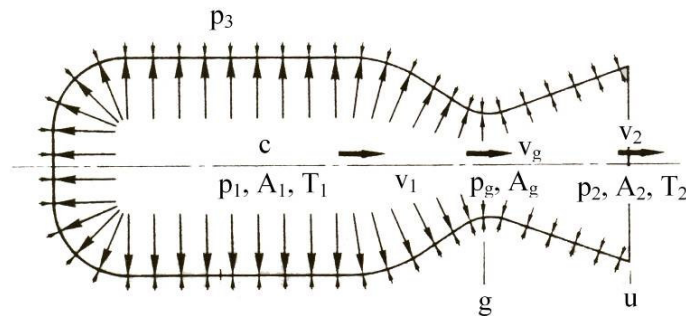


# INGEGNERIA AEROSPAZIALE. *Propulsione a Razzo*

## 1. SPINTA. CONFIGURAZIONE DELL'EFFUSORE

La spinta di un razzo è la reazione subita dalla sua struttura a seguito di emissione di materia ad elevata velocità.

La spinta è proporzionale alla portata del propellente e alla velocità dei gas di scarico.



La figura mostra schematicamente:

- la pressione esterna agente uniformemente sulla superficie della camera di un razzo,
- e la pressione del gas sulle pareti interne di un tipico motore a razzo chimico (qualitativamente: pressione proporzionale alla lunghezza dei vettori di figura).

La pressione dei gas decresce passando dalla camera (vedi figura) all'ugello effusore (g: gola dell'ugello; u: uscita dell'ugello) in figura:

- $p_1$  è la pressione nella camera,
- $p_g$  la pressione alla gola e  $p_2$  quella all'uscita,
- $p_3$  è la pressione del fluido esterno (atmosferica),
- $T_1$  è la temperatura assoluta di combustione nella camera.

Tipi di ugelli:

	Subsonico	Sonico	Supersonico
forma			
vel. alla gola	$v_t < a_t$	$v_t = a_t$	$v_t = a_t$
vel. all'uscita	$v_2 < a_2$	$v_2 = v_t$	$v_2 > v_t$
n° di Mach	$M_2 < 1$	$M_2 = M_t = 1.0$	$M_2 > 1$
rapp. pressorio	$\frac{p_1}{p_2} < \left(\frac{k+1}{2}\right)^{k/(k-1)}$	$\frac{p_1}{p_2} = \frac{p_t}{p_t} = \left(\frac{k+1}{2}\right)^{k/(k-1)}$	$\frac{p_1}{p_2} > \left(\frac{k+1}{2}\right)^{k/(k-1)}$

## INGEGNERIA AEROSPAZIALE. *Propulsione a Razzo*

Il software **asp\_2a** e **asp\_2b** consentono il dimensionamento di un ugello supersonico ideale come viene specificato in seguito.

Fissiamo direttamente le idee su un esempio numerico:

si dimensiona l'ugello di un razzo ideale che deve operare a 25000 m di quota, dare una spinta di 5 kN ad una pressione interna di 2068 MN/m<sup>2</sup> e una temperatura interna di 2800 K: si richiedono, cioè, il rapporto tra l'area alla gola e l'area all'uscita e la temperatura T<sub>2</sub> di uscita.

Con il software **asp\_1** si ha la pressione alla data quota ( $2 \cdot 10^{-3}$  MPa) nonché il rapporto pressorio  $p_2/p_1 = 1/811.3$ . Ipotizzato poi che il rapporto  $k = \frac{c_p}{c_v}$  tra calore specifico a pressione costante e calore specifico (abbreviato, a video calcolatrice, con c.s.) a volume costante valga 1.30 e che la costante R dei gas (rapporto tra la costante R' universale dei gas e il peso molecolare  $\mathcal{M}$  dei gas di reazione) valga 355.4 J/kg·K.

Ora con il rapporto  $p_1/p_2 = 1/811.2$  il software **asp\_2b** fornisce il rapporto  $A_2/A_g$  tra area all'uscita e area alla gola dell'ugello:

$$A_2/A_g = 44.16$$

La temperatura di uscita è:

$$T_2 = T_1 \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{k/(k-1)} = 597 \text{ K}$$

Il software **asp\_2a** chiede anzitutto di scegliere il valore del rapporto  $k = \frac{c_p}{c_v}$  tra i 4 valori 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 e poi chiede di scegliere il rapporto tra le pressioni  $p_1/p_x$  (tra 19 valori compresi tra 10 e 10<sup>4</sup>): fornisce in output il rapporto tra le velocità  $v_1/v_g$  (vedi figura a inizio paragrafo) per la sezione divergente di un ugello supersonico.

Il software **asp\_2b** chiede il valore di k (in un menù di 5) e poi il rapporto  $p_1/p_x$  nel menù di 19 valori: fornisce in output il rapporto tra le aree  $A_x/A_g$  (vedi figura a inizio paragrafo) per la sezione divergente di un ugello supersonico.