



Man VS Sound



Spitaleri Andrea

Lo Presti Davide



Indice

- Cos'è la barriera del suono
- Numero di Mach ed effetti collaterali
- Boom sonico
- Effetto Doppler
- Corsa storica – Parte 1
- Corsa storica – Parte 2
- Corsa storica – Parte 3
- Altri pianeti – Parte 1
- Altri pianeti – Parte 2
- Altri pianeti – Parte 3



La barriera del suono

- La barriera del suono è un fenomeno fisico riscontrato quando si viaggia ad una velocità tale da raggiungere la resistenza massima di un fluido (nell'aria, a 1200 km/h circa (333,3 m/s)).

- $v_{m,T} = v_{m,0} + \alpha_m(T)$ \longrightarrow

- $c_s = \sqrt{\gamma \bar{R} T}$

T in °C	a in m/s
-10	325,4
-5	328,5
0	331,5
+5	334,5
+10	337,5
+15	340,5
+20	343,4
+25	346,3
+30	349,2



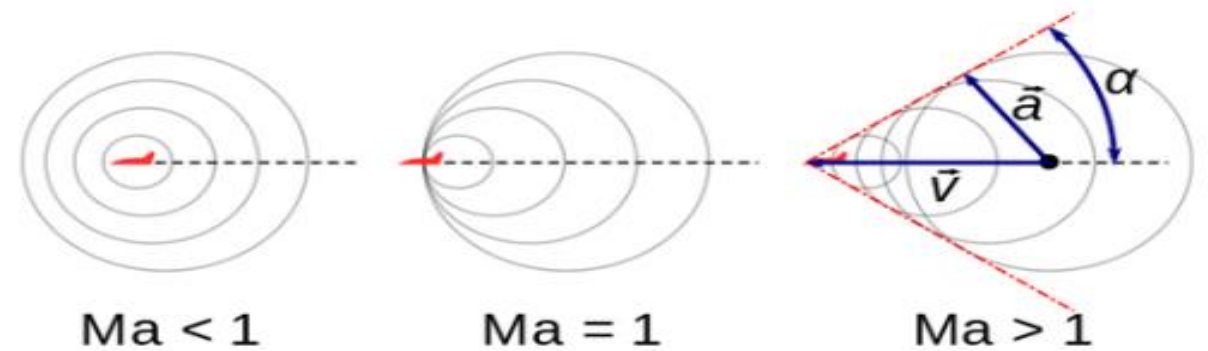
Numero di Mach ed effetti collaterali

- È il rapporto tra la velocità del corpo nel fluido e la velocità del suono nello stesso fluido e si indica con Ma .
- Ma delimita diverse regioni di funzionamento.

numero di mach	regime	fenomeni fisici
$Ma \ll 1$	subsonico	l'aria si oppone al moto per attrito, e può generare forze idrodinamiche come la portanza che sorregge gli aerei.
$Ma \approx 1$	transonico	appaiono nuovi fenomeni idrodinamici, come il repentino formarsi di nuvole di condensazione, o lo strozzamento del flusso, descritto in questa pagina della NASA
$1.2 < Ma < 3$	supersonico	i termini non lineari nell'equazione delle onde diventano importanti, e non si può più applicare il principio di sovrapposizione. Nuove onde elastiche appaiono, con proprietà differenti dalle onde sonore: le onde di shock. Ancora una pagina NASA riporta un applet per calcolarne il profilo.
$3 < Ma < 5$	supersonico elevato	Gli effetti termodinamici sulla compressione dell'aria diventano rilevanti: il velivolo scambia calore con l'aria.
$Ma > 5$	ipersonico	L'elevata temperatura può modificare lo stato di aggregazione dell'aria.



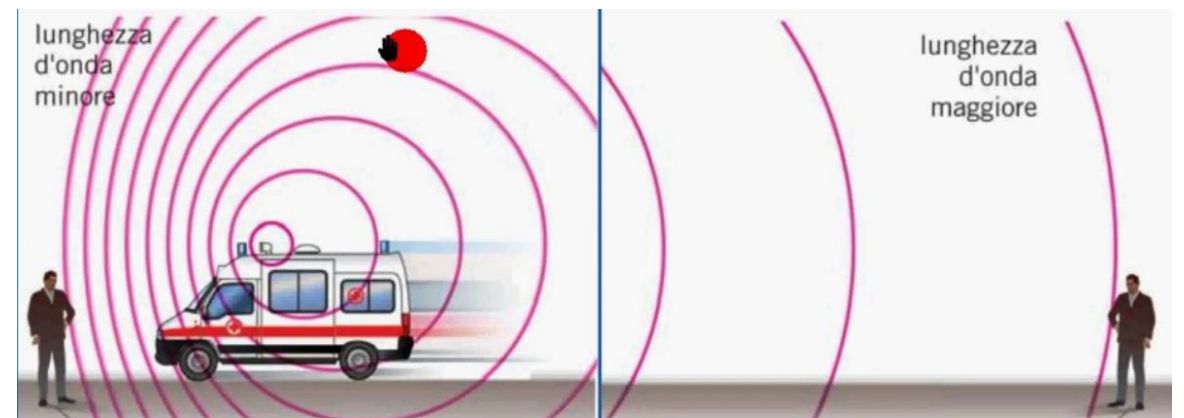
Boom sonico



- Si genera al raggiungimento di $Ma > 1$.
- Si propaga in maniera conica, all'interno del cono di Mach.
- È possibile sentirlo solo dopo il passaggio del corpo, per Effetto Doppler.
- Un esempio è il classico schiocco della frusta.
- L'intensità è soggetta alla legge dell'inverso del quadrato.



Effetto Doppler



- Si genera quando una sorgente si muove rispetto ad un ricevente.
- È la principale causa del boom sonico, ovvero quando il denominatore si annulla.
- A causa di una componente relativa, la frequenza percepita dal ricevente sarà diversa da quella effettiva.

$$f = \left(\frac{v - v_r}{v - v_s} \right) f_0$$



Corsa storica – Parte 1



- All'inizio degli anni '40, quando ancora i velivoli non avevano una necessaria aerodinamicità per superare la barriera del suono, si riscontravano: drastico abbassamento delle prestazioni delle eliche, inversione dei comandi, difficoltà nella richiamata dalla picchiata e strutture non in grado a reggere quella pressione.



Corsa storica – Parte 2



- Sono stati fondamentali gli studi negli anni di fine guerra e dopoguerra, al fine di superare gli ostacoli che separavano l'umanità dal riuscire a infrangere il muro del suono.
- Nel 1942, venne avviato un progetto top-secret per sviluppare il primo aereo al mondo capace di superare la velocità del suono.
- Alcune soluzioni adottate sono state: motori a getto, l'adozione di stabilizzatori orizzontali (maggiore capacità di controllo), l'ala a freccia (riduzione della resistenza aerodinamica).



Corsa storica – Parte 3



- Nel 1947, il primo uomo a volare più veloce del suono con volo livellato fu il pilota Charles Yeager, utilizzando un aereo-razzo Bell XS-1.
- Nel 1948, il Miles M.52 raggiunse la velocità di mach 1,5.
- Nel 1961 un Douglas DC-8, un aereo di linea, ruppe il muro del suono mentre era in crociera.
- Nel 1997 il pilota Andy Green diventò la prima persona a superare il muro del suono in un veicolo a terra, il ThrustSSC.
- Nel 2012 il paracadutista Felix Baumgartner superò il muro del suono senza veicoli, cadendo da 39 045 m, e raggiunse una velocità di 1 342,8 km/h (Ma 1,25).





Altri pianeti – Parte 1

Supponendo di utilizzare la stessa legge utilizzata sulla Terra, per calcolare la velocità del suono sugli altri corpi celesti, troviamo:

- Mercurio ---> $c_s = (331,45 + (0,62 * 167)) = 435 \text{ m/s} = 1\,566 \text{ km/h}$
- Venere ---> $c_s = (331,45 + (0,62 * 464)) = 619 \text{ m/s} = 2\,228 \text{ km/h}$
- Marte ---> $c_s = (331,45 + (0,62 * (-5))) = 328 \text{ m/s} = 1\,180 \text{ km/h}$
- Giove ---> $c_s = (331,45 + (0,62 * (-121))) = 256 \text{ m/s} = 922 \text{ km/h}$
- Saturno ---> $c_s = (331,45 + (0,62 * (-130))) = 251 \text{ m/s} = 903 \text{ km/h}$
- Urano ---> $c_s = (331,45 + (0,62 * (-205))) = 204 \text{ m/s} = 734 \text{ km/h}$
- Nettuno ---> $c_s = (331,45 + (0,62 * (-220))) = 195 \text{ m/s} = 702 \text{ km/h}$



Altri pianeti – Parte 2

- Poiché quella formula è stata trovata empiricamente sulla Terra, dobbiamo utilizzare una formula più generale.
- $c_s = \sqrt{\gamma \bar{R} T}$, dove γ è il coefficiente di dilatazione adiabatica, \bar{R} è la costante del gas per unità di massa e T è la temperatura assoluta.

$$\begin{aligned} \sqrt{\gamma \frac{R}{M} T} &\Rightarrow \sqrt{\frac{\frac{J}{\text{mol K}}}{\frac{g}{\text{mol}}} k} \Rightarrow \sqrt{\frac{J}{g}} \Rightarrow \sqrt{\frac{Kg (\frac{m}{s})^2}{g}} \Rightarrow \sqrt{(\frac{m}{s})^2 10^3} \Rightarrow \frac{m}{s} \sqrt{10^3} \end{aligned}$$



Altri pianeti – Parte 3

- Mercurio, ha prevalentemente ossigeno molecolare e la sua temperatura media è 440 K, quindi:
 $\gamma = 1,4$ e $\bar{R} = \frac{8,314}{32} = 0,26 \frac{J}{g K}$ con $c_s = \mathbf{400 \text{ m/s}}$ (1 440 Km/h).
- Venere ha prevalentemente anidride carbonica e la sua temperatura media è 737 K, quindi:
 $\gamma = 1,33$ e $\bar{R} = \frac{8,314}{44} = 0,19 \frac{J}{g K}$ con $c_s = \mathbf{431,6 \text{ m/s}}$ (1 553,6 Km/h).
- Marte ha prevalentemente anidride carbonica e la sua temperatura media è 210 K, quindi:
 $\gamma = 1,33$ e $\bar{R} = \frac{8,314}{44} = 0,19 \frac{J}{g K}$ con $c_s = \mathbf{230,4 \text{ m/s}}$ (829,4 Km/h).
- Giove ha prevalentemente idrogeno molecolare e la sua temperatura media è 152 K, quindi:
 $\gamma = 1,4$ e $\bar{R} = \frac{8,314}{2} = 4,16 \frac{J}{g K}$ con $c_s = \mathbf{940,9 \text{ m/s}}$ (3 387 Km/h).
- Saturno ha prevalentemente idrogeno molecolare e la sua temperatura media è 143 K, quindi:
 $\gamma = 1,4$ e $\bar{R} = \frac{8,314}{2} = 4,16 \frac{J}{g K}$ con $c_s = \mathbf{912,6 \text{ m/s}}$ (3 285,3 Km/h).
- Urano ha prevalentemente idrogeno molecolare e la sua temperatura media è 68 K, quindi:
 $\gamma = 1,4$ e $\bar{R} = \frac{8,314}{2} = 4,16 \frac{J}{g K}$ con $c_s = \mathbf{629,3 \text{ m/s}}$ (2 265,5 Km/h).
- Nettuno ha prevalentemente idrogeno molecolare e la sua temperatura media è 53 K, quindi:
 $\gamma = 1,4$ e $\bar{R} = \frac{8,314}{2} = 4,16 \frac{J}{g K}$ con $c_s = \mathbf{555,5 \text{ m/s}}$ (2 000 Km/h).



Conclusioni

Pianeta	Formula empirica	Formula corretta
Mercurio	435 m/s	400 m/s
Venere	619 m/s	431,6 m/s
Terra	<u>333,3 m/s</u>	<u>333,3 m/s</u>
Marte	328 m/s	230,4 m/s
Giove	256 m/s	940,9 m/s
Saturno	251 m/s	912,6 m/s
Urano	204 m/s	629,3 m/s
Nettuno	195 m/s	555,5 m/s

- Con questo progetto, dopo aver analizzato storicamente la corsa al superamento della barriera del suono, ci siamo spinti oltre, divertendoci a studiare cosa cambierebbe su altri Pianeti, e abbiamo notato che quelli gassosi hanno una velocità del suono molto più grande, pur avendo una temperatura media molto più bassa e che la Terra è al penultimo posto, prima del Pianeta Marte!



GRAZIE PER L'ATTENZIONE