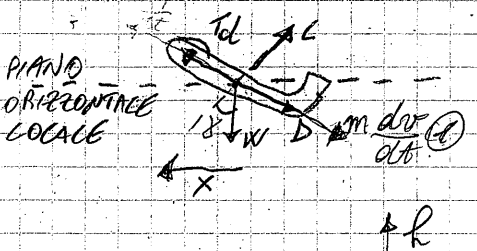
LEZIONE 6 MARZO 2018

(RICHIAMI QUADERNO PRIMA)

SALITA STAZIONARIA BETTO

IPOTESI ALLA BASE:

- MOTO STAZIONARIO $\left(\frac{dv}{dt} \approx 0\right)$
- ATMOSFERA CALMA (NO VENTO)
- MOTO NEL PIANO VERTICALE (2D)
- SPINTA DISPONIBILE T_d ALLINEATA CON v (ASSE X ROLLIO ALLINEATO)
- VOLO SIMMETRICO (ASSE Y BECCHEGGIO)
- ANGOLO DI TRAIETTORIA $\gamma \ll 1$ $\left(D \approx T_n\right)$



$T_d = D + W\gamma$ $\quad -\sin\gamma \approx \gamma$

$L = W$ $\quad \cos\gamma \approx 1$

$\frac{dx}{dt} = v$; $\frac{dh}{dt} = v\gamma$; $\frac{dW}{dt} = -c T_d$ ②

$\gamma = \frac{T_d - D}{W}$; $V_z = v\gamma$; $\left|\frac{dh}{dW}\right| = \frac{v_z}{c T_d}$

SALITA RIPIDA → MASSIMIZZA γ

SALITA RAPIDA → MASSIMIZZA V_z → UGUALE

SALITA ECONOMICA → MASSIMIZZA $\frac{dh}{dW}$ →

VEDIAMO ORA IL CASO DI MOTO NO STAZIONARIO.
(FORTE VARIAZIONE DI QUOTA IN TEMPI MOLTO BREVI QUINDI LE FORZE AERODINAMICHE VARIANO VELOCEMENTE)

NON VALE PIÙ $\frac{dv}{dt} \neq 0$. 2 APPROCCI AL PROBLEMA:

- METODO ANALITICO (PROGRAMMI DI SALITA REALI UTILIZZATO NEI VELIVOLI COMMERCIALI ACCEL. MODERATE)

SI USA PER VELIVOLI COMMERCIALI CON ACCEL. MODERATE QUESTO METODO NON FUNZIONA NEL CASO DI ACCEL. FORTI CON AD ESEMPIO VELIVOLI MILITARI.

- METODO ENERGETICO → UTILIZZATO CON FORTI ACCELERAZIONI È STATO SVILUPPATO DAGLI AMERICANI PER VELIVOLI MILITARI FORTEMENTE PROPULSI.

METODO ANALITICO

L'IPOTESI DI MOTO STAZIONARIO $\left(\frac{dv}{dt} \approx 0\right)$ VIENE SOSTITUITA DALL'IPOTESI CHE L'ACCELERAZIONE ABBIA LA STESSA DIREZIONE DI v QUINDI DA ① SI HA: $T_d = D + W\gamma + m\left(\frac{dv}{dt}\right)$

③ $\frac{W}{g}\frac{dv}{dt} = T_d - D - W\gamma$ (DALLA FIGURA SU)

CONSIDERO $\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dh}\frac{dh}{dt} = \frac{dv}{dh} v\gamma$ DALLA ②

→ $\frac{dv}{dh} v\gamma = \frac{dv^2}{dh}\frac{\gamma}{2}$ SOSTITUISCO SU NELLA ③ $\frac{W}{g}\frac{\gamma}{2}\frac{dv^2}{dh} = T_d - D - W\gamma$

$$\gamma W\left(1+\frac{1}{2g}\frac{dv^2}{dh}\right)=Td-D \rightarrow \boxed{\gamma=\frac{Td-D}{W}\frac{1}{1+\frac{1}{2g}\frac{dv^2}{dh}}}$$

CONFRONTANDO IL CASO STAZIONARIO CON QUELLO NON STAZIONARIO

$$\boxed{\gamma=\frac{Td-D}{W}}$$ CASO STAZIONARIO

$$\boxed{\gamma=\frac{Td-D}{W}\left(\frac{1}{1+\frac{1}{2g}\frac{dv^2}{dh}}\right)}$$ CASO NON STAZIONARIO

$$\left[1+\frac{1}{2g}\frac{dv^2}{dh}\right]^{-1}=K_E$$ ④

$$\boxed{V_E=V\gamma=V\cdot\frac{Td-D}{W}\cdot K_E}$$ → FATTORE DI CORREZIONE DELL'ENERGIA CINETICA

FATTORE = MOLTIPLICA, CORRETTIVO = CORREGGE I RISULTATI STAZIONARI

④ $\frac{1}{2g}\frac{dv^2}{dh} \rightarrow \frac{d}{dh}\left(\frac{V^2}{2g}\right) \rightarrow \frac{d}{dh}\left(\frac{m^2V^2}{2}\frac{1}{mg}\right)$

Tel. 050 8312...
Cell. 388 9837745

ENERGIA CINETICA PERCHÈ DIPENDE DALL'ENERGIA CINETICA E DAL PESO

ASSUME 2 FORME SEMPLICI IN 2 PROGRAMMI DI SALITA ENTRAMBI NON STAZIONARI.

- 1° PROGRAMMA DI VOLO DI SALITA A NUMERO DI MACH COSTANTE (ACCELERA) (MACH-LAW)

$M=\text{cost}$ MA ρ VARIA CON LA QUOTA QUINDI ($h\uparrow \rightarrow \rho\downarrow$) $(\rho\downarrow \rightarrow V=M\sqrt{\rho})$ → V DIMINUISCE DOPO LA TROPOPAUSA IL PROGRAMMA DI VOLO È STAZIONARIO T E ρ COSTANTI

- 2° PROGRAMMA DI VOLO DI SALITA A VELOCITÀ EQUIVALENTE COSTANTE (EAS-LAW)

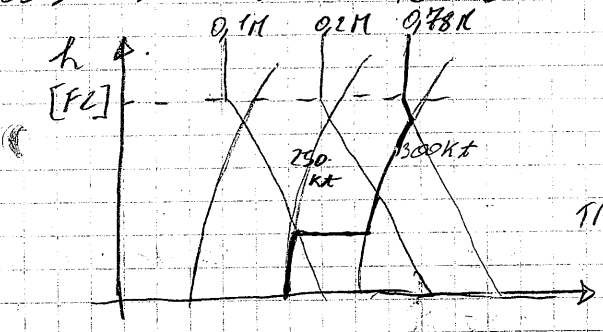
VELOCITÀ EQUIVALENTE $V_{EAS}=V\sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} \rightarrow V=V_{EAS}\sqrt{\frac{\rho_0}{\rho}}$ VELOCITÀ VERA

$h\uparrow \rightarrow \rho$ DIMINUISCE QUINDI V AUMENTA (ACCELERA) SIA SOPRA CHE SOTTO LA TROPOPAUSA

PER UN VELIVOLO CIVILE IL PILOTA SALE CON VELOCITÀ LETTA SULL'ANEMOMETRO COSTANTE, VELOCITÀ INDICATA COSTANTE

NELLA REALTÀ I DUE PROGRAMMI DI VOLO VENGONO USATI IN SUCCESSIONE. PER QUOTE SUFF. BASSA SI USA IL PROGRAMMA DI VOLO 2° DOPO VIENE USATO IL PROGRAMMA DI VOLO 1°

COSA SI INTENDE PER QUOTE SUFFICIENTEMENTE BASSE ?



(FIGURA PAG 18-6)

CURVE ISOMACH: CURVE A MACH COSTANTE E DIVENTANO DRITTE DOPO LA TROPOPAUSA. NOTA CHE SOTTO LA TROPOPAUSA V SCENDE PER h CHE AUMENTA.

CURVE ISOVELOCITÀ EQUIVALENTE
CURVE A VELOCITÀ EQUIVA. COSTANTE IN NODI [Kts]

$$V = V_{EAS}\sqrt{\frac{\rho_0}{\rho}}$$

PER QUESTO SONO CURVE V AUMENTA CON LA QUOTA h.

UN VELIVOLO SALE PRIMA A VELOCITÀ EQUIVALENTE COSTANTE LA QUOTA DIVENTA COSTANTE POICHÉ IL PILOTA VA IN VOLO LIVELLATO E ACCELERA A UNA VELOCITÀ EQUIVALENTE MAGGIORE. TALVOLTA SOTTO UNA CERTA QUOTA NON È POSSIBILE VOLARE A VELOCITÀ ELEVATE. QUINDI IL VELIVOLO CONTINUA A SALIRE A VELOCITÀ DI 300 Kt. AD UN CERTO PUNTO LA CURVA INCROCIA LA LINEA DI MACH DI 0,78 ALLA QUOTA DI CROSSOVER. A QUESTO PUNTO IL PILOTA CAMBIA IL PROGRAMMA DI VOLO PER EVITARE DI RAGGIUNGERE IL MACH DI DRAG RISE E SALE AD UN MACH COSTANTE MINORE DI DRAG RISE PER INFINE RAGGIUNGERE LA QUOTA OPERATIVA.

(FIGURA PAG 18-4 CLIMB TABEL) LA PRESTAZIONE DIPENDE DALLA POSIZIONE DEL BARICENTRO.

21 MINUTI PER ARRIVARE DA 0 A 33.000 ft

1668 CARBURANTE BRUCIATO IN Kg

131 DISTANZA ORIZZONTALE IN MIGLIA NAUTICHE (NM)

371 TAS VELOCITÀ MEDIA IN SALITA IN NODI

SALITA A MACH COSTANTE

$$K_E = \left[1 + \frac{1}{2g}\frac{dV^2}{dh}\right]^{-1}$$

STUDIO

$$\frac{dV^2}{dh} = \frac{d}{dh}\left(M^2 a^2\right) \quad \text{POICHÉ QUI } M = \text{COST}$$

$$\frac{d}{dh}\left(M^2 a^2\right) = M^2\frac{d}{dh}\left(a^2\right) = M^2\frac{d}{dh}\left(\gamma_{ARIA} R \Theta\right)$$

$$M^2\frac{d}{dh}\left(\gamma_{ARIA} R \Theta\right) = M^2 \gamma_{ARIA} R \frac{d\Theta}{dh} = \begin{cases} -\gamma_A R \lambda M^2 & (\text{PER } h < 11\,Km) \\ 0 & (\text{PER } h \geq 11\,Km) \end{cases}$$

$$K_E = \left[1 + \frac{1}{2g}\frac{dV^2}{dh}\right]^{-1} = \begin{cases} \left(1 - \frac{\gamma_A R \lambda}{2g} M^2\right)^{-1} & h < h^* \\ 1 & h \geq h^* \end{cases} = \frac{1}{1 - 0{,}133\,M^2} \quad (> 1)$$

$K_E > 1$ SEMPRE POICHÉ $M^2 < M_{DR}^2 < 1$

ATMOSFERA STANDARD

- $p = \rho R \Theta$ CON $R = 287\ J/Kg\,K$
- $a = \sqrt{\gamma_{ARIA} R \Theta}$ CON $\gamma_{ARIA} = 1{,}4$
- $dp = -\rho g\, dh$ CON $g = 9{,}81\ m/s^2$
- $\Theta = \begin{cases} \Theta_0 - \lambda h & \text{PER } h < 11\,Km \\ \Theta^* & \text{PER } h \geq h^* = 11\,Km \end{cases}$

Θ TEMPERATURA
QUOTA ZERO $\lambda = 6{,}5\,\frac{K}{Km} = 0{,}0065\,\frac{K}{m}$

PER $h > h^*$ IL CASO NON STAZIONARIO COINCIDE NEL CASO STAZIONARIO

PER $h < h^*$ HO UN FATTORE CORRETTIVO MAGGIORE DI 1

PROGRAMMA DI SALITA A VELOCITÀ EQUIVALENTE COSTANTE

$$K_E = \left[1 + \frac{1}{2g}\left(\frac{dv^2}{dh}\right)\right]^{-1}$$

STUDIO $\frac{dv^2}{dh}$ CON $v = v_{EAS}\sqrt{\frac{\rho_0}{\rho}}$

$$\frac{dv^2}{dh} = \frac{d}{dh}\left[v_{EAS}^2 \frac{\rho_0}{\rho}\right]$$

v_{EAS} = COSTANTE
ρ_0 = COSTANTE
QUINDI

$$\frac{d}{dh}\left(v_{EAS}^2 \frac{\rho_0}{\rho}\right) = v_{EAS}^2 \rho_0 \frac{d}{dh}\left(\frac{1}{\rho}\right)$$

$$v_{EAS}^2 \rho_0 \frac{d}{dh}\left(\frac{1}{\rho}\right) = -\frac{v_{EAS}^2 \rho_0}{\rho^2}\frac{d\rho}{dh} = -\frac{v^2}{\rho}\frac{d\rho}{dh} \quad (5)$$

$$\frac{d\left(\frac{1}{\rho}\right)}{d\rho}\frac{d\rho}{dh} = -\frac{1}{\rho^2}\frac{d\rho}{dh}$$

$$v^2 = v_{EAS}^2 \frac{\rho_0}{\rho}$$

DAI GAS PERFETTI

$$\frac{dp}{dh} = \frac{d\rho}{dh} R\Theta + \rho R \frac{d\Theta}{dh} \Rightarrow \frac{d\rho}{dh} = \frac{-\rho}{R\Theta}\left[g + R\frac{d\Theta}{dh}\right] = -\frac{\rho}{\gamma_{ARIA} R\Theta}\left[g + R\frac{d\Theta}{dh}\right]$$

MOLTIPLICO E DIVIDO PER γ_{ARIA}

DA STEVINO

$$-\rho g$$

SOSTITUISCO $\frac{d\rho}{dh} = -\frac{\rho \gamma_{ARIA}}{\gamma_{ARIA} R\Theta}\left[g + R\frac{d\Theta}{dh}\right]$ NELLA (5)

$$-\frac{v^2}{\rho}\frac{d\rho}{dh} = \frac{v^2 \gamma_A}{\gamma_A R\Theta}\left[g + R\frac{d\Theta}{dh}\right]$$

SI OTTIENE $\frac{dv^2}{dh} = M^2 \gamma_A\left[g + R\frac{d\Theta}{dh}\right]$

$M^2 \gamma_A (g - R\lambda)$ $h < 11\,Km$

$M^2 \gamma_A g$ $h \geq 11\,Km \left[\frac{d\Theta}{dh} = 0\right]$

$$K_E = \begin{cases} \left[1 + \left(\frac{\gamma_A}{2g}(g - R\lambda)\right)M^2\right]^{-1} & h < 11\,Km = \frac{1}{1 + 0{,}56\,M^2} \\ \left[1 + \left(\frac{1}{2}\gamma_A g M^2\right)\right]^{-1} & h \geq 11\,Km = \frac{1}{1 + 0{,}7\,M^2} \end{cases}$$

$0{,}56$ $\quad$ $0{,}7$

AVRÒ K_E SEMPRE MINORE DI 1 POICHÈ IL DIVISORE È UNA SOMMA ED È QUINDI MAGGIORE DI 1.

I PROGRAMMI DI VOLO A VELOCITÀ INDICATA COSTANTE SONO CONVENIENTI PER EFFETTUARE I VOLUTI PROGRAMMI DI SALITA IN QUANTO IL COMPITO DEL PILOTA DURANTE L'ESECUZIONE DELLA FASE DI VOLO SARÀ DI MANTENERE COSTANTE IL VALORE DELLA VELOCITÀ INDICATA SELEZIONATA A QUOTA ZERO.

NEI CASI FORTEMENTE NON STAZIONARI (ACCELERAZIONI - DECELERAZIONI) SI APPLICA IL METODO ENERGETICO.

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

METODO ENERGETICO

QUESTO METODO ERA STATO PENSATO PER STUDIARE LE PRESTAZIONI DI UNA CLASSE DI VELIVOLI MILITARI (GLI INTERCETTORI). QUESTI SONO DELLE MACCHINE CHE DEVONO RAGGIUNGERE IL PIÙ VELOCEMENTE ②

QUOTA ENERGETICA ① $h_e \triangleq h + \frac{v^2}{2g}$

(QUOTA POICHÉ SI MISURA IN METRI)

MOLTIPLICO LA ① PER mg:

$mg\,h_e = mgh + \frac{v^2}{2g}\,mg$

$mg\,h_e$ → ENERGIA TOTALE SPECIFICA (PER UNITÀ DI PESO)

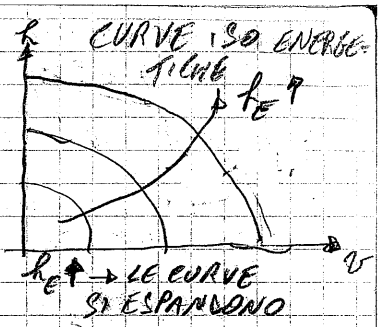
mgh → ENERGIA POTENZIALE

$\frac{v^2}{2g}\,mg$ → ENERGIA CINETICA

DEFINIZIONE:

QUOTA ENERGETICA È QUELLA QUOTA CHE POTREBBE RAGGIUNGERE IL VELIVOLO SE RIUSCISSI A CONVERTIRE TUTTA L'ENERGIA CINETICA IN ENERGIA POTENZIALE

CURVE ISO ENERGETICHE



② POSSIBILE UN ALTRO AEREO O UN BERSAGLIO NEL METODO ENERGETICO SI USA:

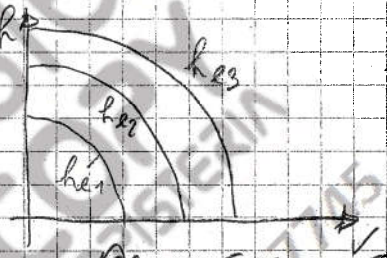
MASTER COPY
Tel. 050 831 21 26
Cell. 388 9837745

LEZIONE DEL 7 MARZO 2018

SALITA NON STAZIONARIA GETTO (METODO ENERGETICO)

$\frac{W}{g}\frac{dv}{dt} = T_d - D - W\gamma$

$h_e \triangleq h + \frac{v^2}{2g}$



$h_{e_1} < h_{e_2} < h_{e_3}$

DA QUESTE DUE EQUAZ. POSSO CALCOLARE:

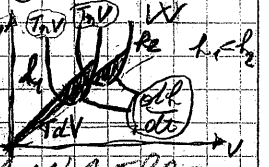
ECCESSO DI POTENZA (SEP)

SPECIFIC EXCESS POWER ⇒ $\frac{dh_e}{dt} = \frac{v(T_d - D)}{W}$

$\frac{dh_e}{dt} = \frac{dh}{dt} + \frac{2v}{2g}\frac{dv}{dt} = v\left[\gamma + \frac{1}{g}\frac{dv}{dt}\right] = \frac{vT_d - vD}{W} = \frac{P_d - Dv}{W}$

($\frac{dh}{dt} = V_z = v\gamma$)

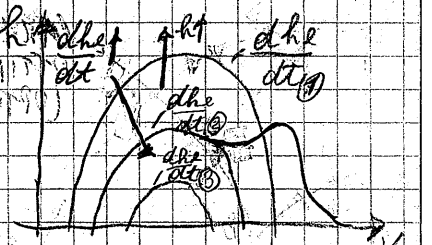
$\left[\gamma + \frac{T_d - D}{W} - \gamma\right]$



① IL SEP DIPENDE DAL MOTORE DEL VELIVOLO (T_d) E DALL'AERODINAMICA (D) E ANCHE DAL PESO (W). $T_d \uparrow \Rightarrow \frac{dh_e}{dt}\uparrow$, $D \downarrow \Rightarrow \frac{dh_e}{dt}\uparrow$, $W \downarrow \Rightarrow \frac{dh_e}{dt}\uparrow$

NEL CASO SUPERSONICO RAGGIUNGO IL PICCO DI DRAG RISE E HO UN TERMINE DI RESISTENZA AGGIUNTIVA (HO UNA GOBBA VEDI GRAFICO A FIANCO) (A CAUSA DELLA VARIAZIONE DI C_{D_0} E K)

NEL CASO SUBSONICO LE CURVE DI EGUAL SONO:



$\frac{dh_e}{dt_②} > \frac{dh_e}{dt_③} > \frac{dh_e}{dt_④}$

SI CONTRATTANO AL CRESCERE DI $\frac{dh_e}{dt}$ (QUINDI ALL'AUMENTO DI QUOTA IL SEP DIMINUISCE)

② UTILIZZATO PER UN CALCOLO SEMPLICE SENZA UTILIZZO DI CALCOLATORI. SI UTILIZZA LO STESSO GRAFICO PER DISEGNARE LE CURVE. h_e E dh_e/dt, I GRAFICI SONO DISEGNATI A PESO FISSATO.