



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

**Appunti universitari**

**Tesi di laurea**

**Cartoleria e cancelleria**

**Stampa file e fotocopie**

**Print on demand**

**Rilegature**

NUMERO: 1777A -

ANNO: 2015

# **A P P U N T I**

STUDENTE: Baiocco Fabio

MATERIA: Sistemi di bordo aerospaziale. prof. Maggiore

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.  
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

# INTRODUZIONE:

SISTEMA DI BORDO: unione di componenti collegate in grado di trasformare/trasportare: materia, energia, info

sistema: Alleanza → funzione: controllo assetto

sottosistema: Impianto Idraulico → funzione: azionamento comandi di volo [+componenti distinti uniti da elementi di trasporto]

Componente: Attuatore → funzione: movimento superficie mobile

I.B. Integrazione/ Interazione sottosistemi → consentire funzioni di alto livello.

Suddivisione:

Circa ~~...~~, ~~...~~ ⇒ costo al kg SISTEMI > costo al kg STRUTTURE

SICUREZZA: Libertà di non sottoporsi a rischi inaccettabili (~~...~~) → freedom from unacceptable risk

FFIDABILITÀ: Probabilità di non avere guasti o rischi (reliability)  $RISK \left( \frac{\text{expected loss}}{\text{unit of time}} \right) = SEVERITY \left( \frac{\text{expected loss}}{\text{loss event}} \right) \times PROBABILITY$

SISTEMI PRIMARI: [~~...~~]

- comandi di volo e carrello
- Impianto combustibile
- Impianto pneumatico,  $\zeta$ , idraulico

SISTEMI SECONDARI: [necessari per ~~...~~, loro disfunzione non compromette sicurezza]

- Impianto di Pressurizzazione
- Strumenti di Bordo

↓  
abortire missione

SISTEMI AUSILIARI: [possibile degrado missione, ma ~~...~~, creazione disagio]

- Sistema antighiaccio e deicing
- Sistema di condizionamento

es: Spesa ↑ Peso ↔ ↑ efficienza

temperatura:  $-60^{\circ} \pm +70^{\circ}C$  (A umidità) ← componenti  $\zeta$  ←  $\Delta$  pressione

Idemità ↔ smottimento colore

vibrazione e Carichi a contingenza critica

Progettazione Sistemistica:

- tecnica
  - COMPONENTISTICHE: competenze specifiche o tecnologie avanzate
  - SISTEMISTICHE: integrazione componenti ("scatole nere")

schema a blocchi

modello matematico

simulazione modello

Port Nb. V componente

Request & proposal

esempio offerte tecnico-economiche

Richiami Fisica:

profondità INTENSIVA: dipende da ~~...~~ // grand. ESTENSIVA: dipende da ~~...~~ e dalle ~~...~~

MECCANICA LINEARE:  $\rightarrow$  Velocità  $[m/s]$ ; Forza  $[N = \frac{kg \cdot m}{s^2}]$

MECC. ROTATIVA:  $\omega$   $[\frac{1}{s}]$ ;  $C$   $[N \cdot m]$

IDRAULICA:  $p$   $[Pa]$ ;  $\dot{V}$   $[m^3/s]$

ELETTRICA: tensione  $V$   $[V]$ ; corrente  $i$   $[A]$

PNEUMATICA: Entalpia specifica  $[J/kg]$ , Portata in massa  $m$   $[kg/s]$

x unità di volume

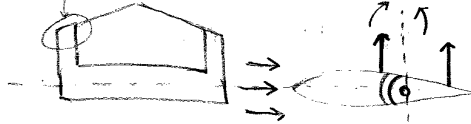
Principio di Pascal

Eq. Continuità

Pr. cons. Energia:  $p_2 + \frac{1}{2} \rho_2 v_2^2 + \rho_2 g z_2 + c_v T_2 = p_1 + \frac{1}{2} \rho_1 v_1^2 + \rho_2 g z_1 + c_v T_1 + L + q$

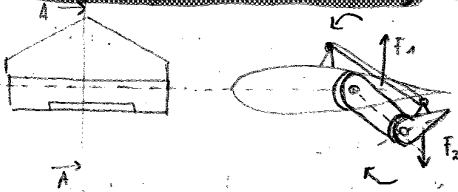
COMPENSAZIONE AERODINAMICA: (anni 30) → compensazione non deve essere eccessiva → pilota per la sensibilità

~~...~~ anteriormente all'asse di cerniera



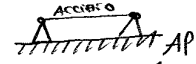
• ~~...~~ effetto compensante (~~...~~) o meno di non ↑ sup. di comp  
 Problemi: al bordo d'attacco: ~~...~~

~~...~~ (balance tab): per aerei + veloci



Svantaggi: perdita di efficacia sup. mobile: ~~...~~ di manovra ~~...~~

1) ACCIAIO + PULEGGIE → ~~...~~ x ke fune non resiste a compressione



→ ~~...~~ che va poi ~~...~~ → ~~...~~ (sbolzi di T + materiali)  
 puleggia non troppo piccola ⇒ cuscinetto-perno: cresce momento di attrito (può superare qll aerodinamico)

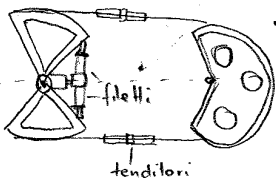
2) ~~...~~ lega Al: ERCAU + Leve di rinvio con snodi sfere (per evitare momenti sghembi)

L<sub>1</sub> ~~...~~ x evitare

L<sub>2</sub> ruota attorno ad asse e anche su pioni ≠

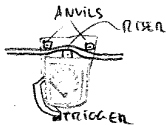
3) ~~...~~ della ~~...~~

Legolatore di tensione: In questa struttura primaria in Al si ~~...~~ molto di più ~~...~~  
 ⇒ qualche mm mi stravolge la regolazione fatta precedentemente.



- 2 settori a "V" incernierati liberi di ruotare, ma tenuti insieme da oggetto che fa da puntone  
 - filetti se soggetti a compressione si avvolgono (schiacciano molla) la quale cederà proporzionalmente alla compressione. Se fune cede (dilatazione), molla restituisce energia ⇒ recupero tensione.

misuratore di tensione:

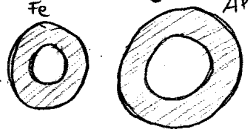


in funzione della forza con cui schiaccio trigger e di quanto si alza il riser con scala graduata misuro tensione. (ogni linea ha la sua scala graduata)

avanzazioni: passafune per portata pressurizzata.

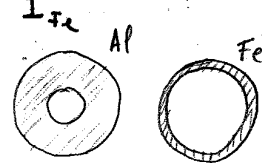
compromesso tra quanto isolo e quanto ottimo posso avere → sistema di pressurizz. dove garantiva reintegro delle perdite.

2) comandi rigidi: lega di Al (+ tenero ⇒ ↑ diametro)



• Se comprimo → problemi di stabilità equilibrio elastico  
 CARICO DI IMPUNTAMENTO

nom. inerzia (Area) << ↓ I<sub>Al</sub> in trazione, ma aumento xò anche il carico oltre il quale c'ò



I =, ma Fe struttura sottile ⇒ instabilità locale = cedimenti locali prima di globali

$$P = \frac{\pi^2 EI}{\lambda^2}$$

N.B. SNODO SFERICO: rotazione attorno ad asse preferenziale e inclinazione di questo.

• Disaccoppiamento oscillazioni a frequenza propria.

linee di comando reversibili:

catena + rocchetto dentato → x comandi flessibili.

### VANTAGGI DEI COMANDI POTENZIATI:

~~...~~

↳ in quelli reversibili => cedevolezza elastica linea lunga metri + cusciotti e nodi soggetti a giochi

• ~~...~~ a comandi liberi -> posizione neutra x richiamo nelle.

• non c'è + bisogno di ~~...~~, se non per ridondanza.

### COMANDI FLY BY WIRE (70') - Tornado

Militori: sensibilità artificiale + SAS (stabilità artificiale)

Eurofighter: intrinseca instabilità longitudinale -> tendenza a spostarsi da equilibrio -> permette manovre velocissime.

-> pilota non riuscirebbe mai a riprendere aereo -> segnali assetto agiscono su sup. mobili:

SAS via via degrada + manovra pilota brusca

Ritorno segnale da trasduttore volante -> feedback -> correzione errore posizione

J.B. Scombro info in tempo reale di: valvole, attuatori, dati di navigazione ecc.

• ~~...~~ inserimento

• ~~...~~ quadrupla (= sicurezza meccanica) -> linee di trasmissione e computer (~~...~~)

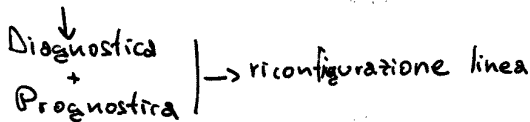
software -> poco affidabile (interposizione mente umana) -> NORIS INTERNAZIONALI

• 3 aziende di sviluppo ≠

• obbligo uso determinati compilatori e Debug.

• Report obbligatorio

• Protocolli Time Triggers: individuazione guasti nel tempo e nello spazio



~~...~~ consumo combustibile

no such x ~~...~~ dovuto

si ~~...~~ mech-trim ~~...~~

PRO N.B. ~~...~~, ~~...~~, ~~...~~, ~~...~~, ~~...~~ no riposa i

fly by wire: • - addestramento piloti (~~...~~)

• - ~~...~~

• protezione sviluppo volo (~~...~~)

• ↑ rigidità e mantenimento posizione

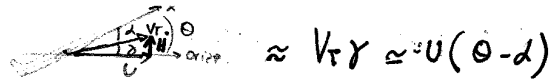
• ↑ comfort e stabilità => ~~...~~

• SAS e ~~...~~ facile interfaccia con Autopilot.

• Trim automatico

-> stabilizzatore ruota spostando centro aerodinamico.

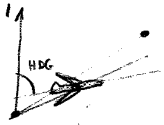
componente verticale velocità:  $H = V_T \sin \gamma$



→ riceve segnale:  $H = \int U(\theta - \alpha) dt$

HEADING CONTROL: piccola TL induce virab e ecc. centripeta:  $a_c = g \tan \phi = U \dot{\psi}$

$\psi$ : vel. angolare di cambiamento dell'heading



• angolo di sbandamento  $\phi_0$   $\propto$  angolo di prua

• errore dell'angolo di prua  $\psi_E = \psi_{com} - \psi$  } angolo di prua effettivo  
 ong. di prua comandato

anello interno → elevata banda passante → smorzamento

$\phi_0 = k_E \psi_E$   
 guadagno allentore

funzione trasferimento anello esterno:  $\frac{\phi}{\psi} = \frac{L_E}{L_p} \frac{1}{1 + \tau_D D}$

$p$  = vel. ang. di rollio

$\xi$  = angolo di barra eltoni

$L_E = \frac{dH_E}{d\xi}$  ~ mom. di rollio

$L_p$ : derivata mom. rollio rispetto a vel. rollio

$\tau_D$ : costante di tempo della risposta al rollio =  $I_x / L_p$

YAW DAMPER:

dispositivo ausiliario full-time di ~~controllo della deriva~~

~~per compensare l'azione smorzante~~

si aggiunge ai comandi pilota senza intralciarli)

~~si aggiunge ai comandi pilota senza intralciarli)~~

azione smorzante  $\propto \omega$  - volando a 10000m no formiche → eliminare componenti turbolenza lungo z (+ pericolose)

$M = Yb$

→ ~~momento laterale~~

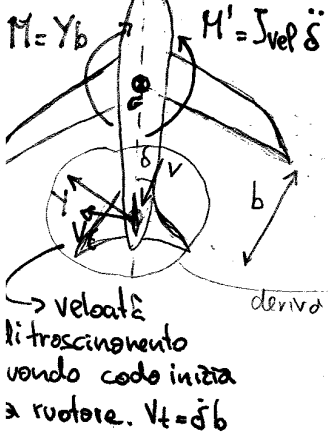
→ mom. di inerzia del sistema che deve essere vinto da M

- temporale forza di deriva (Y)

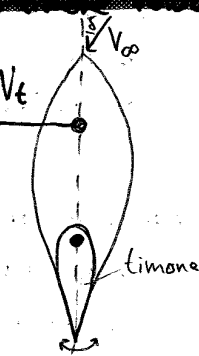
N.B. comfort, ma anche ↓ consumi.

⇒ ~~rapido trasmissore segnale~~

azione smorzante → ~~movimento naturale di smorzamento~~



→ velocità di trasciamento vondo coda inizia a ruotare.  $V_t = \delta b$



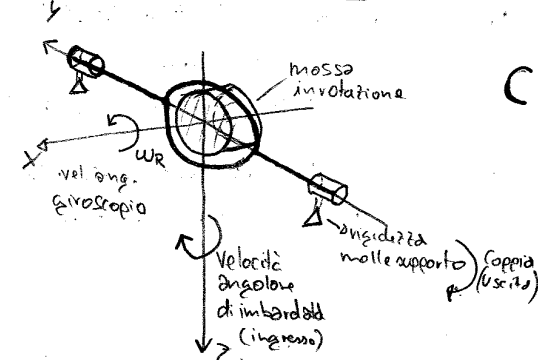
- rotazione va a ridurre  $\delta$

- ridurre effetto di  $Y \propto \dot{\delta}$  → movimento dovuto al movimento dell'a/m

⇒ incremento artificiale con YD

~~ho tempo di elaborazione e azione al timone~~

→ rapido trasmissore segnale!



$C = J_R \omega_R \dot{\delta}$  → tradotta in segnale → protocollo = qll delle servovalvole

• spostato timone o quanto basta per ridurre Y (simplificando azione smorzante naturale)

• Lo ~~...~~ ~~...~~ ~~...~~ con ~~...~~ ~~...~~ ~~...~~ del pilota

Se fly-by-wire → uso segnale a più alta frequenza → + veloce

Y.D. attivato su volontà del pilota → Y.D. ~~programmata~~ ~~realizzata~~ ~~per~~ ~~...~~

~~...~~ } ~~...~~ gestite dal pilota Y.D. → in volo rettilineo uniforme.

# CARRELLO: ATA-32

5-70 / peso a volo 5-77 / MTOW

- cinemotismi con attuatori PNEUMATICI / IDRAULICI per ESTRAZIONE / RETRAZIONE
- " " APERTURA / CHIUSURA PORTELLONI
- AMMORTIZZATORE (elastico + dissipatrice) → preservare struttura primaria
- Composto anti torsione
- Attuatore per lo sterzo
- Freni
- Sensore (Weight on Wheels) ABS
- Ruota e Pneumatico (smaltimento calore)
- Leve per sgancio manuale

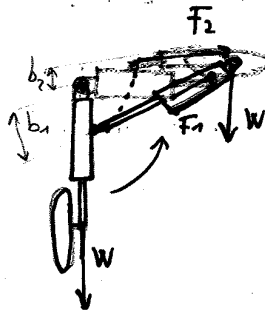
Lo non a parte sottile (Acciaio, Titanio)  
(pochi punti in cui ho saldatura)

• progettazione al CAD complessa  
→ comporta variazioni struttura

## 2 architetture:

- ~~...~~ (elicotteri, velivoli militari portaelica) → carichi maggiori al suolo
- ~~...~~ (ammortizzatore dentro)

estrazione (moltissime soluzioni)  
posizioni ottimali cerniere, martinetti  
- interferenza



•  $F_2$  deve bilanciare momento agente carrello

$$\text{...} = \Rightarrow F_2 > F_1$$

→ c'è anche forza aerodinamica

~~...~~ springs: ~~...~~

I.B. Se ~~...~~ non si chiude devo ritardare  $L_0$  ~~...~~

procedimenti numerici → carico sul carrello (ideale è avere forza costante)

~~...~~ da segnale di a/m stabile a terra

No squilibri tra retratto ed estretto.

in funzione del peso.  $L_0$  quando segnale spinge il carrello a retrarre.

I.B. In retrazione ~~...~~ è minore → ulteriore svantaggio  
(costretto ad aumentare sezione)  $L_0$  STelo

## AMMORTIZZATORE:

funzione elastica: assorbe  $E\delta$  trasformarlo in energia potenziale

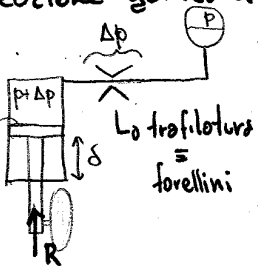
funzione dissipatrice: en. nec. → calore (smorzando oscillazioni) → ~~...~~ da fonti

OLEOPNEUMATICO → migliori rendimenti a parità di peso

forti → ~~...~~  
=> ~~...~~

$L_0$   $\delta$ : convivenza difficile olio-gas => menischi di separazione.

sezione gomma carrello (scleroticamente)



R si trasforma in  $\Delta p$

$$R = A(p + \Delta p) = A \left[ p_0 \left( \frac{V_0}{V_0 - A\delta} \right)^\gamma + K \left( \frac{d\delta}{dt} A \right)^2 \right]$$

$$p = p_0 \left( \frac{V_0}{V_0 - A\delta} \right)^\gamma \Rightarrow \text{trasf ADIABATICA}$$

$$p = p_0 \left( \frac{V_{iniziale}}{V_{finale}} \right)^\gamma$$

pressione carrello non a tend

$$R = \underbrace{A p_0 \left( \frac{V_0}{V_0 - A\delta} \right)^\gamma}_{\text{componente statica (ELASTICA)}} + \underbrace{A K \left( \frac{d\delta}{dt} \right)^2}_{\text{componente viscosa}}$$

$$\Delta p = K \left( \frac{d\delta}{dt} A \right)^2$$

velocità portata

: perdita di carico concentrata dovuta alla strozzatura.

è unificato: tubelens, struttura radiale: cerchi di acciaio che supportano tele in strati successivi: sulle quali viene vulcanizzata struttura in gomma. ↓  
Kevlar

collegare in base alla capacità di resistere a pressione.

dopo corso allarghi: ~~cerchi ruote~~ → senza meno  $\phi$  che motore  $\forall$  ruote motore  $\neq$  che stimo  $w$ .  
libre chiove  $\Rightarrow$  mi accorgo quando devo cambiare.

Cerchi: in ~~Al + Mg~~ (~~acciaio + Al~~)  $\rightarrow$  ma ~~non~~, ma avendo contatto solo o compensare avendo corpo tondo e una prima sull'instabilità locale

↓  
oggetto  
principale  $\rightarrow$  - allarggio  
- pressione gonfiaggio  
e compensazione

$\hookrightarrow$  ~~parti di centro~~, ~~parti + spesse~~  
~~rispetto all'Al~~  $\Rightarrow$  ~~maggiore capacità~~  
~~meccanica~~.

Se pn. scoppia  $\rightarrow$  cerchio si infoca

$\rightarrow$  lato negativo del Mg [~~il lato negativo del Mg come~~]

~~Spina termica~~: nel caso di TTT ~~il cerchio si~~  $\Rightarrow$  evitare che p<sup>11</sup>  $\Rightarrow$  scoppio

-RENi: (~~se si~~)  $\rightarrow$  non ha senso aggiungere peso al cerchio 20 per frenare 20% peso

$\equiv$  cin orizzontale  $\Rightarrow$  ~~il cerchio si~~ (efficienza elevata su alta velocità, poi uso freni)

~~cerchio~~  $\rightarrow$  ~~il cerchio si~~ a dissipare.

Circolo idraulico (3-ridondanze)  $\rightarrow$  ~~il cerchio si~~ a gas  $\rightarrow$  ~~il cerchio si~~ ogni 20+40 frenate.

~~il cerchio si~~: ~~il cerchio si~~ di portata  
~~il cerchio si~~: per ~~il cerchio si~~ la frenata  
~~il cerchio si~~ di ~~il cerchio si~~ in ruote  $\rightarrow$  ~~il cerchio si~~ in ~~il cerchio si~~ e ~~il cerchio si~~ ruota.

Autobrake: ~~il cerchio si~~ in f (corico, L pista, cond. atmosferiche)

Se pista bagnata livello + basso.

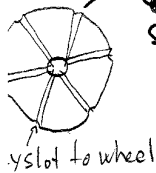
Segnale da Weight on Wheel  $\rightarrow$  pressione indirizzata da Computerino  $\rightarrow$  ~~il cerchio si~~

reni di stazionamento:  $\rightarrow$  usano accumulatori a gas.

$\rightarrow$  x stazionamento lungo  $\rightarrow$  cunei.

RENi A DISCHI MULTIPLI:  $\rightarrow$  lavorazione + economica / dissipazione calore  $\uparrow$

MOTORE: ~~il cerchio si~~ in modo da ~~il cerchio si~~ con ~~il cerchio si~~, ma ~~il cerchio si~~ ~~il cerchio si~~



~~il cerchio si~~ per ~~il cerchio si~~ dovuto al calore  
• dischi molto estesi (smaltire + Energia)  $\Rightarrow$  ~~il cerchio si~~ superficie  
~~il cerchio si~~ di ~~il cerchio si~~ ~~il cerchio si~~  $\rightarrow$  ~~il cerchio si~~  
mi cui imbozzatura nel motore  
 $\downarrow$   
~~il cerchio si~~ nell' ~~il cerchio si~~

unico elemento che non può scivolare sull'asse

MOTORE: anello metallico di supporto x ~~il cerchio si~~ di ~~il cerchio si~~ (~~il cerchio si~~)

I dischi di estremità si chiamano: ~~il cerchio si~~ e ~~il cerchio si~~ (~~il cerchio si~~)

oggi i dischi: Carbonio. Temp. di ~~il cerchio si~~  $\rightarrow$  500°C - ~~il cerchio si~~  $\rightarrow$  1000°C

Molla di ~~il cerchio si~~: aiutano, rilasciando il comando di frenata, il freno a staccarsi.  $\rightarrow$



# SISTEMA IDRAULICO: ATA-2g

Principio di Pascal



'Oleodinamico' → utenze, comandi, accessori.

Fluido incompressibile è vettore di energia nella trasformazione: MECC. → IDR. → MECC.

PRO: ① ottime Coppie sviluppate con ↓ ingombro

② ~~...~~ e ~~...~~ (~ 10m tubazioni)

③ ~~...~~ e ~~...~~ EMERGENZA

④ ~~...~~

⑤ ~~...~~ (trasferimento p: Velocità del suono), potenze facilmente modulabili

CONTRO:

① In caso di ~~...~~

② ~~...~~, continuo ~~...~~

③ ~~...~~ al ~~...~~

④ ~~...~~ + tendenza a creare ~~...~~ → allontano da propulsori

↳ poco modul. ma quando faccio devo disconnettere tutto la linea e ~~...~~ ed ~~...~~ → comportamento ammortizzatore → perdita rigidità a comandi bloccati.

↳ molto ~~...~~ → perdita fatturato.

COMP:

• generazione ~~...~~ ~~...~~

Q, ESTENSIVA

• ponticello giunzione anche con filo conduttivo

impedenza osseosa

→ serco: ionizzo aria se vicino a serbatoio infiamma vapori

I.B. [È la resistenza al passaggio dell'olio nel circuito a creare (P) non la pompa]

INTENSIVA

→ ridondante (~~...~~) + di tipi ≠.

• Engine Driven Pump → ingranaggi conici sul propulsore portano moto al casing (pompia)

• Motor Driven Pump (4)

• ~~...~~ ↔ impianto ~~...~~

• RAT manualmente

N.B. Aerei transaereo con solo 2 propulsori: per faro RAT.

UTENZE: attuatori

↳ LINEARI  
↳ ROTATIVI

• ACCESSORI: - accumulatori a gas (emergenza - regolazione)

- filtri, guarnizioni → continuità

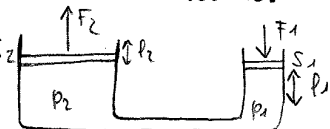
- Serbatoi: ↓ T + eliminazione bolle d'aria

- Scombiatori di calore:

potenza idraulica:

$$W = p \times Q \quad [W] = [Pa][m^3 s^{-1}] = [Nm^{-2}][m^3 s^{-1}] = [Nm \cdot s^{-1}] = [J s^{-1}]$$

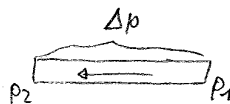
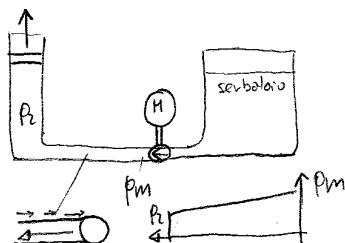
Torchio Idraulico:



$$p = \frac{F}{S} ; \text{trascurando attriti } p_1 = p_2 ; F_2 = p_2 S_2 = p_1 S_1 = \left(\frac{F_1}{S_1}\right) S_2$$

$$\Rightarrow \text{cons. dell'En: } F_1 p_1 = F_2 p_2$$

• ci sono però perdite di carico



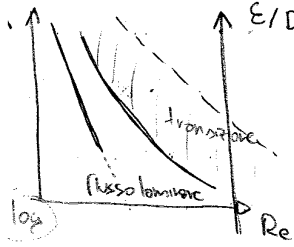
↳ - trascuro ↑ T

- trascuro EN. POTENZIALE → tubo orizzontale

→ ~~...~~ ~~...~~

$$W_t = (p_1 - p_2) Q \text{ potenza dissipata}$$

**DIAGRAMMA DI MOODY:**



$\epsilon/D$ : rugosità relativa (in aeronautica sempre tubi lisci, non considero)

$Re = \frac{V D}{\nu}$

formula di Moody: x i tubi con  $Re > Re_{tr}$  in alcuni casi anche  $Re < 2500$

$$\Delta p = \lambda \frac{L}{D} \frac{\rho}{2} V^2$$

coduta di pressione  
coeff. di perdita  
velocità

Perdite

Concentrate:

allargamento rettangolare:  $\Delta p = \left[1 - \left(\frac{A_1}{A_2}\right)\right]^2 \frac{\rho V_1^2}{2g}$

restringimento rettangolare:  $\Delta p = \eta \frac{\rho V_2^2}{2g}$

sezione tronco di cono:

$\Delta p = m(\beta) \frac{\rho (V_1 - V_2)^2}{2g}$

$\eta = 0,5$  per  $D_1 > 2 D_2$   
 $\eta < 0,5$  per  $D_1 < 2 D_2$

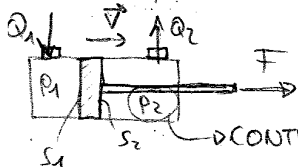
OSTACOLO:

$\Delta p = V^2 \left(\frac{1}{m \cdot C_c} - 1\right)^2$ ,  $m = \frac{A_1}{A}$ ,  $C_c =$  coeff. sperimentale

N.B. Perdite di carico complessive: concentrate + distribuite

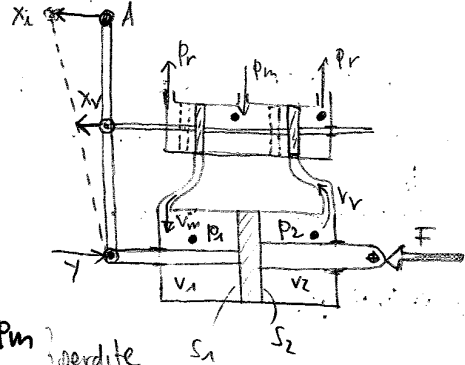
**ATTUATORI:**

idealmente, o regime:  $F = p_1 S_1 - p_2 S_2$



$\Rightarrow p_1 S_1 - p_2 S_2 - F_{resistenza} - F_{inertie} = m_{TOT} \dot{V}_{TOT}$

Cilindro: corso x  $S_1 \rightarrow$



$p_1 = p_m - \Delta p_m$

$p_2 = p_r + \Delta p_r$

$F = p_1 S_1 - p_2 S_2 = S_1 (p_1 - k p_2)$

$k_m = \frac{S_1}{S_m}$ ,  $k_r = \frac{S_2}{S_r}$

$k_m = f(\nu, viscosità)$

$\Delta p_m$   
 $\Delta p_r$  perdite

$\Delta p \propto V^2 \rightarrow \Delta p_m = f(V_m^2) = k_m k_m^2 V^2$

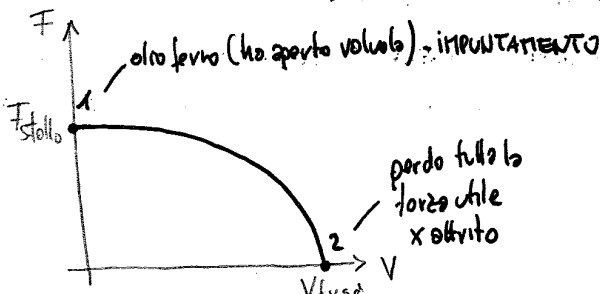
$\rightarrow \Delta p_r = f(V_r^2) = k_r k_r^2 V^2$

$= S_1 (p_m - \Delta p_m - k (p_r + \Delta p_r))$   
 $= S_1 (p_m - k_m k_m^2 V^2 - k p_r - k k_r k_r^2 V^2)$

trascuro perché  $p_r = 0$  ( $p_m$ ) di almeno 2 ordini

$\Rightarrow S_1 p_m - k k_r V^2 = S_1 p_m - V^2 (k_1 + k k_2)$

$= S_1 p_m - k_{tot} V^2$



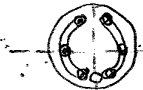
1-2 pl. a Potenza=0

parti in movimento: ACCIAI TRATTATI → si genera cmq ~~...~~

1° cilindri: [questione di OTIRIO]: ~~...~~ → ~~...~~ → ~~...~~ per turbolenza  
~~...~~ → ~~...~~ per turbolenza.

1° DISPARI: [MECCANICA VIBRAZIONI]

simmetria: martellamento flogia → ~~...~~ ~~...~~ ~~...~~ ~~...~~  
 nel passaggio da zona chiusa a zona aperta

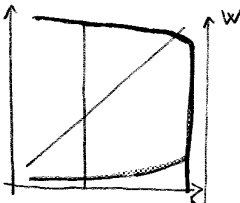


x evitare rendo carico ASIMMETTRICO

- vibrazioni  
 + silenzio

N.B. Punto di funzionamento si sposta  
 x pilot cambio manella → nr gradienze

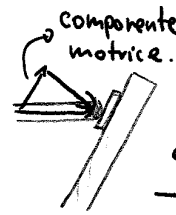
PRESTAZIONI:



- pompa autoregolante  
 (garantisce p fino a certa Q)  
 → inclinando opportunamente protello.

pompa a vortice (inclinazione protello =) dead head  
 so portata, ma cmq potenza x perdite d'ottimo.

→ ~~...~~ a pistoncini ~~...~~ anche ~~...~~  
 • stesse formule: invertono rendimenti



facendo entrare olio in pressione  
 ed inclinando opportunamente protello  
 → coppia uniforme.

$$Q = C_{ip} \cdot \eta$$

$$W = C_m \omega = C_{ip} (p_m - p_r) \eta_m \eta_y = Q(\Delta p)$$

⇒ Cilindro di ~~...~~ gestisce ~~...~~ e peso ~~...~~ ⇒ anche motori 4 pesano di più.

PER VOLUMETRICHE

↳ ~~...~~ ( ~~...~~ ) → ~~...~~ → attriti meccanici/fluidodinamici elevati

olio spostato con  
 costone di q.d.m.

IN SINTESI:

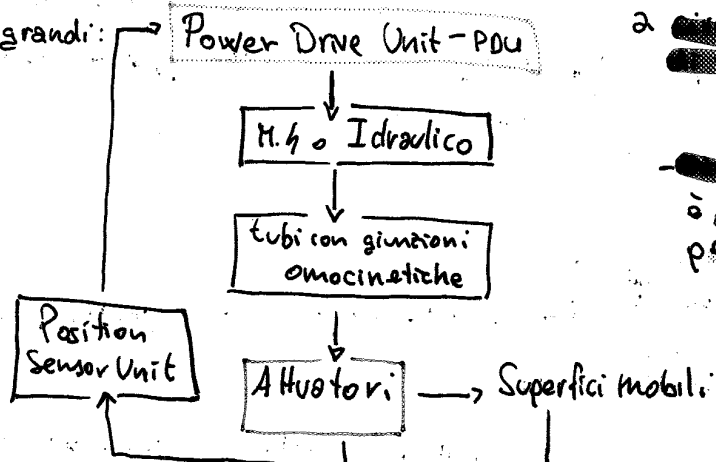
ATTUATORI:

~~...~~: • ~~...~~ idraulico ~~...~~

• ~~...~~ motorizzati } → motore ~~...~~ ~~...~~  
 • ~~...~~

• ~~...~~ (azionamento lento e softvaro)  
 ↓ anche xke  
 riduce usura con SISTEMI ← rendimenti + usura / A Hito  
 a ~~...~~ ELEVATI

• Per velivoli grandi:



~~...~~ diretto ad ingranaggi  
 è ingranaggi (grochi), ~~...~~  
 per ~~...~~

SOMMA IN COPPIA: (meglio se ho bisogno di ~~...~~) ~~...~~ questo provocherebbe  
 solo ~~...~~ (o 1/3) dello ~~...~~, ma moto cmq trasferito. → devono essere ~~...~~

Attrimenti carico si riversa su motori + lenti

Adomamente: ~~...~~ con il motore:

Se voglio controspingere incremento di pressione → spillamento a valle - piccolo attuatore con molla  
 => blocco sul nascere eccesso di portata.

Se c'è risucchio portata → inclinazione svenata.

|| => sistema rapido e preciso

↓  
 RIDUCE ~~...~~

## ACCUMULATORI A GAS

→ ~~...~~ insorgenza ~~...~~  
 • ~~...~~ energia idraulica, ~~...~~ e possono ~~...~~

DISPOSITIVO di misura dello carico del sistema: => tutti i dispositivi pneumatici si scaricano.

RISERVE DI EMERGENZA (max ~~...~~) → dove tempo a piloti di inverte sistemi: di ridondanza e contromisure  
 • ~~...~~ dovuti a incomp. olio durante transitori.

in caso di otturazione ~~...~~ colpo di ariete.

se s'è → olio  
 EFFETTI DEVASTANTI

• ~~...~~ → poco usati

Lo ~~...~~ => molto efficienti, ma • attaccato da olio → sbriciola  
 (w/p) ↓  
 • patisce fatica (gonfio-sgonfio)

• ~~...~~ (usati fino a 1000 m) → ~~...~~ complete + ~~...~~ attenti

↓  
 funzionamento inverte discontinuo  
 ↑  
 attrito Coulombiano! elevato

~~...~~ (metol bellows)

30 anni sponenziazione x garanzia eccellente vita a fatica dei sottili strati metallici.

30 tenute  
 30 commento

→ Posti ~~...~~ / ~~...~~

Dimensionamento:  
 3 condizioni limite:

1. Solo gas + valvola non ritorno chiusa

- Accumulatore agisce in pochi secondi  
 → uso politropica (esponente  $\gamma$  geometria)

2. Minima pressione operativa + valvola aperta

$$p = p_0 \left( \frac{V_0}{V_0 - V} \right)^\gamma$$

$\gamma = 1,4$  transf. veloce adiab.  
 $\gamma = 1$  " lento isot.  
 ↳ In fase di corsa  
 ↳ Scarica

3. Max press. operativa + " "

$$\Rightarrow V_T = V_U \frac{p_M / p_p - p_{min} / p_p}{1 - (p_M / p_M)^{0,715}}$$

Valore totale ecc. / Valore olio da erogare

↳ valore teorico da maggiorare del 30%.

## SERBATOIO

• ~~...~~ bilanciamento portata: ~~...~~ (anche se c'è valvola) succhio + olio di quanto ritorni di by-pass

• dissipazione termica

→ ~~...~~ valvole (il ~~...~~ → ~~...~~)

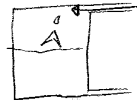
• ~~...~~ => dissipatori / ~~...~~ termici → ~~...~~

olio caldo superficie → tempo di raffreddarsi prima di rientrare in circolo.

• ~~...~~

elementi principali:

- bocchettone di rifornimento con filtro
- finestra controllo lvl / sonda lvl con trasduttore
- uterica presa con pompa ausiliaria
- linee di ritorno cranti
- linee di drenaggio



spesso olio fatto cadere su tegola  
 sventole bollid'aria  
 => oggi non + => serbatoi pressurizzati  
 x evitare cavitazione. pompe

→ ~~trattare~~ quindi ~~potrebbe~~ ~~idraulico~~ da un ~~sistema~~ ~~ottimo~~ ~~senza~~ ~~rischiare~~ ~~fluidi~~ idraulici.

⇒ Può ~~essere~~ ~~in~~ ~~tutte~~ ~~le~~ ~~fasi~~ ~~del~~ ~~volo~~.

4-340 : 3 circuiti idraulici paralleli.

3-757 : " " " → x abilitatore volo transonico ⇒ RAT . blu : ausiliario (quando 2 rotte anche ush → RAT)

~~Requisiti di sicurezza~~ ⇒ alimentatori da 3 circuiti: ~~più~~ ~~sicuri~~.

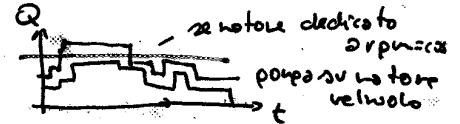
~~Questi~~ sono alimentatori ~~simmetricamente~~ così che in caso di guasto non si aprono asimmetria

CASI MILITARI (servizi self pressurizing) + presenza di pompa a mano.

problema del progetto.

progetto attuatori

~~degradazione cumulativa portole lungo tutto lo durata del volo~~



~~Il motore~~ ~~come~~ ~~se~~ ~~fosse~~ ~~unico~~ ~~sopralimentata~~ e debba ~~alimentare~~ ~~tutto~~ ~~il~~ ~~circuito~~.

portole richieste ⇒ scelgo pompe ↔ gearbox ↔ manetta : decollo 100%.

crociera 50%.

atterraggio ↓

inversori di spinta 100%.

da maggior

Installazione e integrazione con altri sistemi



Se ~~esagera~~ con ~~clerosare~~: ~~...~~ → ~~...~~ → ~~...~~

• ~~blowby~~ → T<sub>bl</sub> ( ~~...~~ ) → ~~...~~ / ~~...~~  
• ~~...~~

Se ~~troppo~~ poco: eccessivo afflusso ~~...~~ → ~~...~~ ~~...~~

### 3 tipi di FCU

- ~~...~~ sensori p uscita compressore, camera di combustione, scarico
- EEC ~~Electronic Engine Control~~ FCU idromeccanico con controllo elettronico di ~~...~~ ~~...~~
- FADEC ~~Full Authority Digital Engine Control~~ → PC che controlla una servo-valvola  
movetta è collegata solo per via ~~...~~ all'FCU

in passato: profilamento con valvole → modulare p a monte degli iniettori (FCU analogica)

→ addestramento pilota e non ~~...~~ → bolta → limiti strutturali

↓  
modulo in base a feed back

↓  
No tempo  
x smaltire  
energia

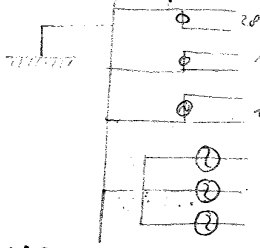
N.B. FADEC molto in  
ambito militari  
in cui ~~...~~  
bussola.

**EVOLUZIONE 4:**

GEARBOX / - MOTORI IONAVICI o PNEUMATICI dedicati / APU / RAT / GPU / bolina

Sistemi di generazione tutti agganciati a cercassa → difficile da individuare oggi, xkè anche in composito

Atterraggio: fase critica



• Più è alta l'alimentazione + è preferibile avere un carico pesante (potenza)

In DC e trifase è facile avere potenza costante:

→ In monofase NO! potenza oscilla

+ è bassa alimentazione meglio è

**MACCHINE ELETTRICHE: (DINAMICHE - STATICHE)**

AC - Sincrone Trifase (⊗) o ASINCRONE (⊙)

DC - Dinamo (⊗) o UTILIZZATORI

Sincrone: velocità di rotazione α frequenza tensione alternata generata

Asincrone: (alimentazione mono o trifase)

velocità di rotazione dipende anche dal carico

L'energia è prodotta da rotazione di una spira in uno statore a  $n$  poli creando  $f_{em} = \vec{v} \wedge \vec{B}$  in e out della spira posti in un anello con contatti striscianti.

Tipi di generatori con in uscita una  $R$  per evitare  $\uparrow \downarrow V$  repentine e downse.

**A MAGNETI PERMANENTI**

AD AUTOECCITAZIONE, 4 poli con una coppia di spire.  $V_{out} \approx V_{cc}$  che alimenta le spire

AD ECCITAZIONE SEPARATA DC con un'armatura con controllo di eccitazione

(a causa di attriti e resistenza interne  $\times \vec{B}$  ↓ rischio di diseccitazione autonoma)

generatori  $\downarrow$  in continua: regolazione

a vibrazione (molla chiusura contatto)

a pila di carbone: dischi in carboni + molla → mantenere costante il voltage output

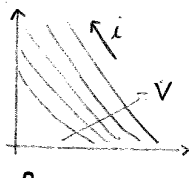
⇒  $\sigma/m$  medio piccoli

**STARTER-GENERATOR: in DC con spazzole**

requisiti x la scelta: • tensione e corrente max

• regime di rotazione

N.B. elevato corrente in fase di avviamento  
- Nonvalente macchina funziona di generatore  
⇒ potenza in gioco minori



a punti di  $i$ ,  $V \uparrow \Rightarrow C \uparrow \Rightarrow \uparrow rpm$

a punti di  $V$ ,  $C \uparrow \Rightarrow i \uparrow$

• PESO:

$W_{stator} + W_{generator} > W_{stator-gen}$

• frequenze di rotazione:  $f = \frac{n \cdot p}{60}$   $n = rpm$ ,  $p = n$  coppie e poli. Possò  $\uparrow f$  a punti di velocità di rotazione

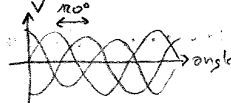
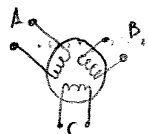
• B. CONTRO spazzole: usura, scintille, disturbi  $\downarrow \vec{B}$ , formazione di archi → basso densità aria.

in AC: sostituire due semicolleoni con 2 collettori circolari → 1 triplice → una sola spazzola

Se  $\sigma$  armatura ⇒ statore e  $\vec{B}$  ruota ⇒ alternatore senza contatti striscianti;

→ ancora spazzole xkè devo alimentare avvolgimento che crea  $\vec{B}$  rotante  $\rightarrow$  uso magneti permanenti

**Generatori trifase:**



6 morsetti di interfaccia alla macchina

↳ collegati a stella e ridotti a 4 uscite → un neutro e 3 fasi.

- peso di più  
- correnti in catione all'indire + alte

↓  $i$ , non presenti

alternatore raddrizzato - brushless DC generator: uscita raddrizzata in DC

↓ peso e  $\uparrow \eta$ , rimangono 2 spazzole lisce per alimentazione circuito creazione campo su rotore → molto meno critiche

rinuncia alla reversibilità della dinamo

regolazione (con un diodo) agisce sull'intensità di corrente che crea il  $\vec{B}$  di eccitazione

generazione a magneti permanente, un rotore e un'uscita trifase



A parità di potenza peso zero (bilineare) AC grazie allo motore tensione.

→ In AC è però necessaria una batteria DC esterna in caso di total block-out.

TRV + affidabile dell'inverter

Alternatore " " della dinamo

Motore in cabina: → disconnessione generatore qualora il dispositivo o relé fallisse

Organi di protezione:

da corto-circuiti // o interruttori di massima corrente → riscaldamento → deformazione lamine → interuttore  
o sovracorrenti // o fusibili → rottura

Organi di manovra:

• interruttori o relé → se comandi da automatismi

↓  
con manuali  
o sensori di  
posizione

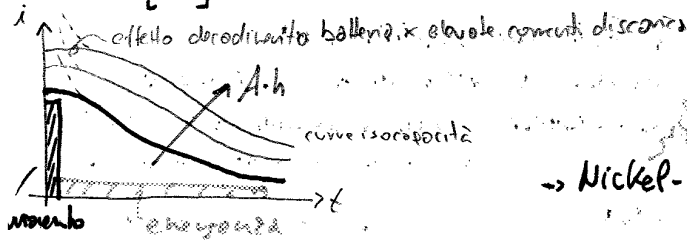
↓  
comando  
⚡

↑  
protezioni  
e di un piccolo → en. 4 per motore dedicato di avviamento

ACCUMULATORI: en. chimica ↔ en. 4 ⇒ ambiente APV o Emergenza

Scopo secondario: attenuazione fluttuazioni di tensione. ↳ con pompe idrauliche e alternatori scollegati.  
⇒ ridurre coppia resistente

Capacità: [Ah]



→ capacità deve essere tale da raggiungere leggermente entrambi i requisiti di emergenza e avviamento.

→ Nickel-Cadmio hanno 11 correnti istantanee e 11 voltaggio continuo

- ↓ manutenzione e ↓ scarico se non usati
- 2000 cicli (anche se ha 1 meno di altre)
- tensione erogata più costante nel tempo
- maggiore densità di energia

$$60 \frac{Wh}{kg} > 30 \frac{Wh}{kg} \text{ (Piombo)}$$

Batterie x sistemi di emergenza:

Argento-Zinco, Litio

alta vitalità (300-400 cicli), ma immagazzinano 11 energia:  $200 \frac{Wh}{kg}$

o per  
energia ↓  
peso

# SISTEMA DI CONDIZIONAMENTO & PRESSURIZZAZIONE - ATA 21

regola  $p, T, \text{umidità}$ , composizione chimica dell'aria x accettabilità e comfort.

condizione di benessere:  $p = p_a$  8000ft max: gradienti:  $\uparrow$  max 500 ft/min  $\rightarrow$  facilità di compensazione  
 $\downarrow$  max 250 ft/min

Per evitare ipossia servono 80 mmHg aria  $\Rightarrow$  400 mmHg  $O_2$  (21% dell'aria)  $\approx$  FL150

2 metodi: ①  $\uparrow$  %  $O_2$  con  $p_{tot} = \text{cost}$ . ②  $\uparrow$   $p_{tot}$  con %  $O_2 = \text{cost}$ .

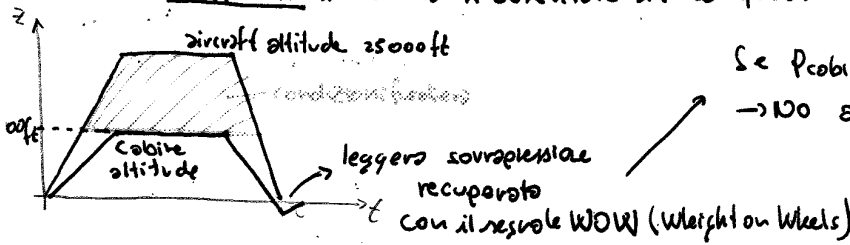
TEMPERATURE ACCETTABILI: estate 20-24°C  $\rightarrow$  umidità relativa 30-70%  
 inverno 18-22°C

CONDIZIONAMENTO: Si spilla aria da un turbocompressore o da un compressore dedicato [motori alternativi] regolazione pressurizzazione scaricando portate verso esterno  $\rightarrow$  continuo ricambio aria  
 valvole di efflusso a sezione variabile  $\propto \Delta p$  (in cab)

Pilots immette dati di pressurizzazione in base a rate of climb e quota prevista prima del decollo

controllo & emergenza:

programma predefinito in cabina x aumentare il comfort:

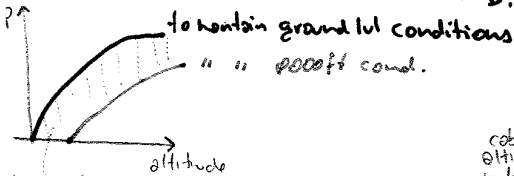


Se  $p_{cabina} \neq p_{tot}$  WOW manda segnale  $\rightarrow$  NO aprir porte prima che ripressurizz./depress. sia completa

Se emergenza: valvole di sicurezza differenziali si sigillano  $\rightarrow$  cabina si satura di  $CO_2$  (cna tempo x scendere da quota)

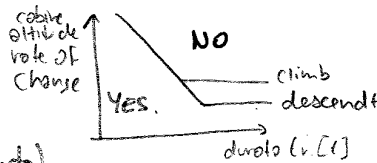
compensano carichi strutturali dovuti a  $\Delta p$  tra (in) e (out) fusoliera.

aprendosi e chiudendosi se  $|\Delta p(\text{ext} - \text{int})| > k_{sicurezza} = \sigma$ ,  $\sigma$  dipende dal dimensionamento della fusoliera  
 se  $p_{ext} > p_{int} \rightarrow$  instabilità! N.B. Cabin rate of climb in discesa è inferiore!



diversità qui con  $\Delta p$  in condizioni stazionarie

In condizioni non stazionarie  $\rightarrow$  limitazioni gradiente in funzione della durata del transitorio.



N.B. fusoliera Carbonio  $\Rightarrow$  pressione minima tollerabile da 8000ft  $\rightarrow$  6000ft  $\Rightarrow \Delta p \uparrow$

## CONDIZIONAMENTO (ciclo aperto)

via da imp. pneumatico  $T > 200^\circ C \Rightarrow$  CAU  $\Rightarrow 2^\circ C < T < 50^\circ$

Cold Air Unit  
 oltre limiti di comfort a 2°C evitano anche formazione di ghiaccio

riduzione spillamento aria (bleed) da propulsore  $\rightarrow$  consumi  $\downarrow$

$\Rightarrow$  ricircolo parziale aria in cabina (SUB-FREEZING)

N.B. a 100% bleed spillo 5-10% portate

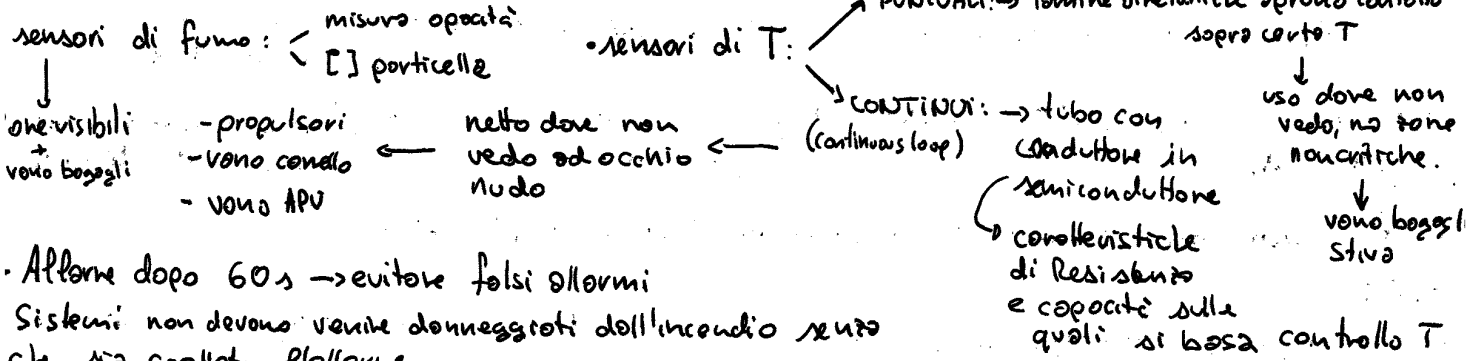
$\Rightarrow$  quasi raddoppio consumi  $\rightarrow$  se ricircolo 50-60% portate  $\rightarrow$  dimezza consumi

mix + conveniente tra risparmi combustibile e aria non troppo usata

tempo: APU  $\rightarrow$  pneumatico

zone di ricircolo hanno filtri: evitare virus pollini, batteri

## SISTEMA ANTINCENDIO - ATA 26



- Allarme dopo 60s → evitare falsi allarmi
- Sistemi non devono venire danneggiati dall'incendio senza che sia scattato l'allarme
- trasmissione segnali anche via radio

**ESTINTORI** → No polvere No schiuma → danneggiati sistemi

- ↳ freon (GAS) → estingue fiamme, ma non crea soffocamento
- ↳ inpronto x zone remote [devo essere sicuro che di serbatoi pressurizzati con FREON ce ne sono pochi]
- difficile in gondole notturne: flusso d'aria disperde estinguente
- Se guasto circuito → non posso aprire valvole serbatoi FREON → explosive cartridge
- ↳ dove fiamme + probabili ⇒ maggiore eiezione di freon

## IMPIANTO di OSSIGENO - ATA 35

- maschere** con erogazione localizzata ⇒  $O_2$  prodotto x via chimica → bombole 200 bar x 200 polari perrebbero trp.
- ↳ regolano %  $O_2$  in base alla  $P_{\text{cabina}} \approx \% O_2 \propto \frac{1}{P_{\text{cabina}}}$
- 2 sistemi ≠ tra cabina e passeggeri
  - c'è kit con bombole di emergenza
  - ↳ se bombole (equipaggio) → regolatore di portata
- N.B. x valvole ad alta quota di tenuta x evitare problemi strutturali pressurizzato dinamo, no rete naschere.
- ⊙ olio, grasso, solventi, polveri, gomme, parti, parti, parti
- ↳ in prossimità inpronto  $O_2$  pressurizzato
- ↳ lubrificanti o guarnizioni ⇒ fuoro
- || → uso materiali speciali: Acciaio inox AP 6064/T6

futuro OBOGS: on board oxygen generator system

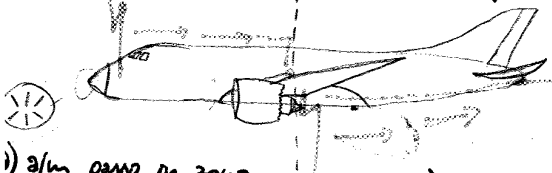
# Scariche Fulmini - penetrazioni HIRF / ispezioni a seguito di eventi anormali.

- fulminazione + probabile in zone equatoriali → 1 fulmine ~ 1.000.000 V ~ 30.000 A
- + probabile in nuvole e a quote: 1524 - 4572 metri

high intensity radiated field

Probabilità zona di contatto:

raggi di curvatura elevati → tipolari - muso - estremità



1) a/m passo in zona di alta durezza ⇒ foto da ponte

b) errore non conduttivo filmie uso a/m x scaricarsi → riduzione impedenza

⇒ tutte le superfici devono condurre ben l'una con l'altro  
~ Resistività e impedenza MAX di 3 MΩ

→ parti in composito vanno protette opportunamente

MicroGrid Foils

→ danni a struttura soprattutto nei punti di entrata ed uscita

ANNI → aumento buchi, esplosione → soprattutto x la fibra di carbonio

strati fibra separati da resina → ad alte T frigge → evapora → esplosione  
gusci protettivi a bassissima impedenza → evita passaggio di carbonio

ZONA 1: ↑ %: muso, motori, profili ed estremità, inpenaggi, conello, sonde, sensori, scarico H<sub>2</sub>O

→ controllo visivo + connessioni metalliche

ZONA 2: ~ %: zone contigue a zona 1 (Pitot e sensori AOA)

Ispezione: come zona 1

ZONA 3: ↓ %: zone coperte o altrimenti improbabili

→ si controllano in caso di riscontro negativo di controlli 1-2

→ si verifica integrità impianto elettrico

ZONE HIRF → zone 1 da proteggere ulteriormente:

- cabina pilotaggio
  - alloggiamento
- colze metalliche

~ reticolati rivestiti di Argento

- Vernici
- grossi conduttori di fissaggio su viti

$\Delta UA = 1,496 \cdot 10^8 \text{ km}$  - distanza medio Sole-Terra

oltre i 120 km tutte le molecole gassose biatomiche sono dissociate.

A quote molto elevate l'attività emissiva del Sole influenza molto le [ ] delle specie chimiche

He e H sono leggeri  $\Rightarrow$  si accumulano nella parte superiore dell'atmosfera.

25000 km:  $z = 20-90 \text{ km}$ :

temperatura cinetica (legata alle velocità di spostamento delle molecole), cresce molto influenzata da

attività solare  $\hookrightarrow z \approx 11$  - temperatura esosferica

$\rightarrow$  non termodinamica xke' molecole non schiacciate: l.c.m.  $\Rightarrow$  urti diversi  $\Rightarrow$  reazioni chimiche  $\neq$

Scambio termico nello spazio + complesso: Non c'è atmosfera che omogenizza la temperatura!

o cambia con attività solare.

Joto andamento temperatura cinetica  $\Rightarrow \rho = \rho_{SL} e^{-z/H}$

$$(-z \frac{M_i z}{RT})$$

peso molecolare dell'atmosfera

In orbita bassa: LEO (Low Earth Orbit - 300-900 km)

densità atmosferica è bassa ma non trascurabile  $\Rightarrow$   $\uparrow$  attività solare  $\Rightarrow$   $\uparrow$  resistenza aerodinamica

GEO: 36000 km  $\rightarrow d = 10^{-20} \text{ kg/m}^3$   $\rho = 10^{-15} \text{ Pa}$

$\Rightarrow$   $\downarrow$  precisione  $\vec{v}$  di orbitazione satelliti.

J.B. p.c.m. per  $z = 200 \text{ km}$  è già  $>$  grandezza satelliti.

$\Rightarrow$  da  $z > 200 \text{ km}$  scambio termico avviene per: irraggiamento solare diretto  $\rightarrow 1371 \text{ W/m}^2$

vento solare non riesce a scaldare perché particelle sono rarefatte.

- riflessione terrestre (albedo)
  - emissione corpo nero Terra
- $\rightarrow 200 \text{ W/m}^2$

IONOSFERA: 85-1000 km: dissociazioni (perdita  $e^-$ ) a causa di interazione tra foto + radiazione UV

varia  $\propto$  attività solare

$\hookrightarrow$  riflette molte onde radio

come magnetico provoca polarizzazione circolare dell'onda che si propaga negli strati ionizzati.

$\Rightarrow$  disturbo segnali polarizzati linearmente.

MAGNETOSFERA:  $\vec{B}$  a quote alte  $\rightarrow$  complesso

a quote basse  $\vec{B} \downarrow$  di 0,5% all'anno.  $\downarrow \vec{B}$  all'equatore e varia anche con latitudine

fosse di Van Allen: particelle intrappolate da  $\vec{B}$  in funzione della loro carica. (anche x anni)

interne: protoni esterne:  $e^-$  (meno energetici)

$\Rightarrow$  ambiente aggressivo per sistemi di bordo, ma anche schermo per atmosfera sottostante.

J.B. Intensità radiazioni delle fasce dipende dall'attività solare.

$\hookrightarrow$  problemi di comunicazione + accumulo di cariche elettrostatiche  $\rightarrow$  archi

ossido di indio (alta resistività)  $\rightarrow$  trasparente  $\Rightarrow$  finestri

$\hookrightarrow$  anche non in fasce (corrente  $\neq$  differenziali di  $\neq$  parti satellite)

$\rightarrow$  x dove continuità elettrica  $\rightarrow$  dove non è possibile porre

superfici conduttive (pannelli)

METEORITI: - naturali  $\rightarrow$  rari e mediamente piccoli

- detriti. flusso meteoriti si concentra attorno a corpi celesti di massa maggiore.

c'è fascia di asteroidi dove probabilità  $\uparrow$  elevata.

ricordi ma velocità elevate  $\Rightarrow$  microesplosioni  $\rightarrow$  altera proprietà termiche superfici  $\Rightarrow$  opacizzazione

$\rightarrow$  O monoatomico come nel caso!

EVAPORAZIONE e SUBLIMAZIONE: evaporazione solida da superficie quando  $P_{amb} < P_v$

tensione di vapore

$\hookrightarrow \propto T$   $\rightarrow$  difficile valutare qti sublimato perché T variabile

lubrificazione metalli non è critica strutturalmente, ma si deposita su superfici a specchio o trasparenti.

Pericolosi i rivestimenti polimerici

=> lubrificanti usati a terra non vanno bene (hanno bassa tensione di vapore)

uso oli o bassa viscosità o lubrificanti solidi, es. Solfuro di Molibdeno

riduzione attrito con sistemi magnetici L> sublimano anch'essi ma durano di più

I.B. azione erosiva dell'O legato più che altro alla velocità relativa degli atomi nei confronti dei corpi

Ag -> ossidabile e ossidazione => rivestito con pellicole (Ossido di Indio è già ossidato -> non reagisce più)

Resistenza meccanica:

molti materiali soprattutto metallici ↑ vita a fatica (hype: assenza gas superficie critiche)

vetro ↑ resistenza mecc. di 1000 volte.

UV -> indebolimento, degrado proprietà ottiche ed elettriche -> pannelli si scoloriscono di più e opachi.

Pannelli a T > 60/70°C perdono prestazioni. -> ↓ inevitabile (copertura in vetro)

RADIAZIONI:

admiral e rinvio sottoposti anche a modeste dosi tendono a scolorirsi -> corrosivi

critiche ad elevata energia: protoni, neutroni, α, ioni -> trattamento di ionizzazione nel materiale finché non entsteht da collisione atomica -> ulteriore ionizzazione (cosa che non avviene per gli e<sup>-</sup>)

-> interazione con giunzioni drogato N-P -> alterano informazioni

protezione dei semiconduttori è difficile -> protezione sistemi se bombardate possono generare radiazioni ionizzanti.

. danno permanente  
. danno temporaneo (del 'bit')  
-----> bruciatura transistor e perdita dati

=> sistema hardware: radiation hardened - \$ 100X  
(ecco anche xke satelliti non vanno in fase di Von Allen)

Effetti cumulativi:

1. Effetti transitori

.. " dell'addebitamento al volo

3. " cumulativi permanenza in volo -> reversibili

4. " " irreversibili

} -> microorganismi:  
1. ridistribuzione vasso sanguigno  
2. Atrofia muscolare  
3. Problemi vestibolari  
4. Fragilità scheletrica

-> radiazioni ionizzanti =  $21 \text{ g/cm}^2 \text{ Al}$

-> sistemi di protezione ottivi => richiesta  $\vec{B}$  => 11 esercizi -> (nucleare)

anche Idrogeno è ottimo schermo -> atomo piccolo, orbitale vicino al nucleo

anche Polimeri -> Polietilene.

-> tank vicini (liquido) => schermo elettrico oneroso

↑  
T.H. polke => si preferisce H<sub>2</sub>O

# SISTEMA DI CONTROLLO TERMICO: ~ scambio termico sotto forma di onde 4-B totale payload durante missione (per radiazione)

Spazio  $\Rightarrow$  4K

## Situazioni:

- 1) scambio tra 2 superfici separate da un mezzo che non partecipa (es. vuoto) occorre distinguere se superfici sono nere o no.
- 2) " " " " aeriforme che partecipa + semplice

Se nere:  $\bar{\alpha}$  radiazioni riflesse, sup. assorbe tutto e lo riemette come un radiatore integrale di Planck  
 Se non nera:  $\rightarrow$  complica

colore: sole, propulsori, apparati ed elettronici, batterie.

$\rightarrow$  schermi protettivi in fase lancio

fino a 150km scambio termico per contatto atmosferico, dopo sempre meno importante

Spesso per determinare fattibilità missione: equilibrio termico tra: - radiazione solare diretta  
 - riflessione del pianeta (albedo)  
 - " da altri pianeti  
 - radiazione dispersa dal satellite stesso

parametri di interesse:  $\rightarrow$  distribuzione spettrale (cost. nel sistema solare)  
 - intensità  
 - collimazione

max W, visibile

$\approx 1 \text{ UA}$   $1371 \pm 5 \text{ W/m}^2$  : costante solare

intensità radiazione solare:

$$J_s = \frac{P}{4\pi D^2} \rightarrow \text{potenza totale uscente dal sole}$$

↓  
distanza

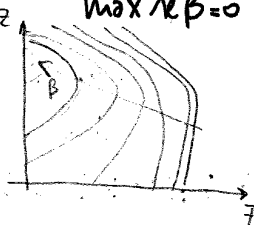
N.B. Albedo varia con condizioni atmosferiche superficie.

max re nuvole (op)

$$J_a = J_s \alpha F$$

frazione rad. solare incidente riflessa

$\rightarrow$  fattore di visibilità:  $F = f(h, \beta)$   
 quota  $\downarrow$  angolo orientazione  
 max re  $\beta = 0$



$\rightarrow$  posso trascurare le disuniformità di albedo stagionali tra i due emisferi.

per  $z < 90 \text{ km}$   $\Delta T \propto f(\text{potenziale})$  altro si  
 per  $z > 300 \text{ km}$  convezione trascurabile

Radiazione planetaria (vario cost. stagioni)  $\rightarrow$  emissione predominante  $\rightarrow$  IR

Considero satellite stesso e anche spazio profondo come corpo nero a OK  $\rightarrow$  certo valore di emissività

## Bilancio termico satellite:

- potenza dissipata internamente
- coefficiente assorbimento (delle sup. esterne)  $\rightarrow \alpha = \frac{\text{energia radiante assorbita da un corpo}}{\text{energia sr di esso incidente}} = f(\text{materiale, natura sorgente radiazione})$

Emissività

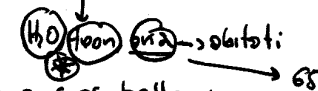
$\epsilon = \frac{\text{en. emessa da una superficie}}{\text{en. che emetterebbe (x corpo nero) allo stesso } T_{\text{eq. radiativa}}}$

N.B. corpo nero: emette en. allo max intensità per ciascuna  $\lambda$   
 - assorbe completamente tutto l'en. incidente.

variazioni/discontinuità dei flussi termici  $\rightarrow$  alissi, var. ang.  $\leftarrow$  spandimento, immersione, proiezioni di ombre  
 $\rightarrow$  principalmente: Riduzione flussi t. dall'esterno verso l'interno  $\rightarrow$  tranne x componenti con forti dissipazioni interne

$\downarrow$  colore verso l'esterno

• sistemi pumped loop: → fluido raccoglie calore → verso radiatori → dissipazione nello spazio

abbinati →  → solventi } con Cold Plate & Live (power)


→ lower con stionamento a gas bellows → 68-80 °F → scambiatori g-p. o r-p.

• lamine bimetalliche → si aprono all' ↑ T ↑ emissione termica

• water evaporator (x vuoto → no radiatori) → sfruttano  $H_2O$  evapor.  $H_2O$  prodotto da celle & combustibile

• fan: maggiore efficacia termica → uso per parte del ciclo a T inferiore

Sistemi miniaturizzati MEMS di raffreddamento svanito → integrati nelle schede

Controllo termico con effetto Peltier →  → calore in uno  
freddo nell'altro



eq. di equilibrio xkè tensione  $T = \text{cost.}$  lungo fune. (trascurando attrito in pulegge)

$$T' = T''$$

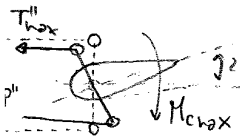
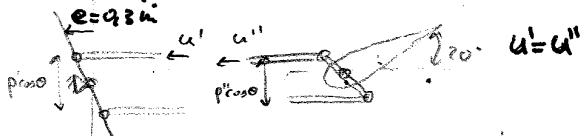
Da tabella: max spostamento ammissibile  $e_{\text{max}}$  pedaliere = 130 mm

$$\Rightarrow \theta_{\text{max}} = \arctg\left(\frac{L/2}{e_{\text{max}}}\right) = \arctg\left(\frac{0,13}{0,2}\right) = 33,02^\circ \Rightarrow \text{tale spostamento deve essere raggiunto in corrispondenza dell'angolo di corsa max del timone (20^\circ)}$$

equilibrio rotazionale cerniera timone:

$$T'' = \frac{M_c}{\frac{p''}{2} \cos \epsilon} \Rightarrow T''_{\text{max}} = \frac{M_{c_{\text{max}}}}{\frac{p''}{2} \cos 20^\circ}$$

$\Rightarrow$  congruenza spostamenti:



$$M_{c_{\text{max}}} = T''_{\text{max}} \cdot \frac{p''}{2} \cos 20^\circ \Rightarrow p'' = \frac{2M_{c_{\text{max}}}}{T''_{\text{max}} \cos 20^\circ}$$

ad esempio: ipotizzando valore tensione max. fune a 3000 N

$\Downarrow$  determino possibile braccio di leva del timone

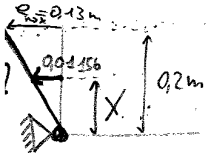
$$u''_{\text{max}} = \frac{p''}{2} \sin 20^\circ$$

$$p'' = \frac{2M_{c_{\text{max}}}}{T''_{\text{max}} \cos 20^\circ}$$

$$= \frac{0,0670}{2} \sin 20^\circ = 0,01156 \text{ m}$$

$$p'' = \frac{2 \cdot 95,26}{3000 \cos 20^\circ} = 0,0676 \text{ m}$$

Voluto vincolo fune a pedaliera per garantire congruenza spostamenti:



$$X : 0,01156 = 0,2 : 0,13$$

$$\Rightarrow X = \frac{p'}{2} \cos \theta_{\text{max}} = \frac{0,01156 \cdot 0,2}{0,13} = 0,0178 \text{ m}$$

SFORZI SUI COMANDI: equilibrio rotazione cerniera pedaliere

$$F_{\text{max}} = \frac{T'_{\text{max}}}{L/2} \frac{p'}{2} \cos \theta_{\text{max}} = \frac{3000}{0,2} \cdot 0,0178 = 267 \text{ N}$$

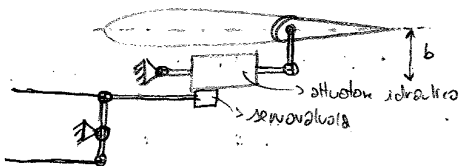
$\rightarrow$  compatibile a valori indicati nella tabella di ergonomia.

POTENZIAMENTO COMANDI:

• decido: no passaggio a modalità reversibile:

$\rightarrow$  NO necessario contenere sforzo max nelle funi.

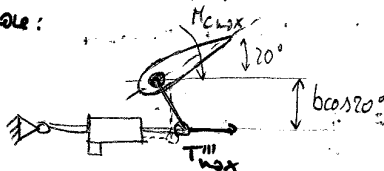
ⓑ può essere qualunque  $\Rightarrow$  sforzo rimane confinato allo stelo dell'attuatore e non risale lungo la linea di comando.



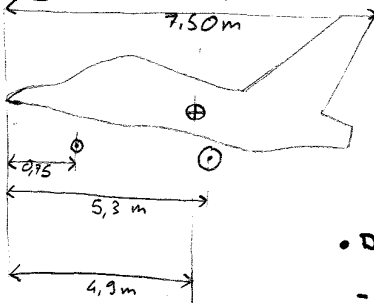
SFORZO su attuatore: eq. rotazione cerniera timone:

$$\Rightarrow b = 0,04 \text{ m} \times \text{volume ingombro attuatore}$$

$$T'''_{\text{max}} = \frac{M_{c_{\text{max}}}}{0,04 \cos 20^\circ} = 2534,3 \text{ N}$$



# ESERCITAZIONE 2 - CARRELLO



peso max al decollo:  $HTOW = 33000\text{ N}$   
 " " all'atterraggio:  $HLW = 30000\text{ N}$   
 $n_{max}$  all'atterraggio:  $n_{lm} = 4$

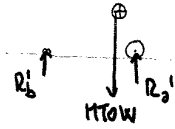
• DIMENSIONARE CARRELLO PRINCIPALE:

- scelta pneumatico
- caratteristiche principali ammortizzatore → pressione di gonfiamento

> Reazioni vincolari:

∴ statico

c. dinamico



→ Pressione gas nello pneumatico:

$$p = p_0 + (p_0 + 1) K_1 s^2$$

→ coeff. di pressione

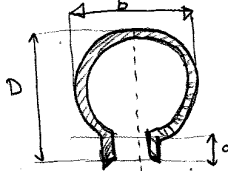
$$S = K_2 b^2 (s - 0,03)$$

→ area impronta

→ coeff. di forma dell'impronta

→ larghezza del battistrada

→ Schiacciamento relativo pn.  $S = \frac{s'}{b}$



$S' = S_{max} K_3$  : schiacciamento assoluto pn.

$$= \frac{(D-d)}{2} K_3 \rightarrow \text{da determinare}$$

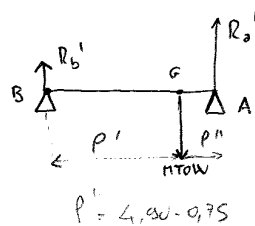
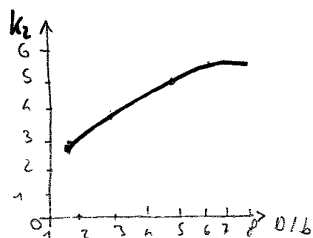
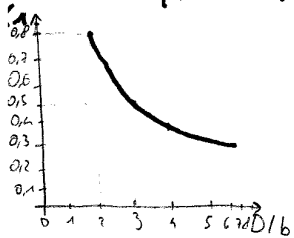
reatto esterno pn.

c. statico  $K_3 = 0,33$

c. dinamico  $K_3 = 0,85$

$K_1, K_2$  in base al rapporto di forma  $\frac{D}{b}$

assumo  $p_0 = 4\text{ kp/cm}^2$



Dalla statica calcolo  $R_a'$ :

$$B) R_a' (p' + p'') - HTOW p' = 0 \rightarrow R_a' = (HTOW \cdot p') / (p' + p'') = \frac{33000 \cdot 4,15}{9,4,55} = \underline{30100\text{ N}}$$

> Ciascuna gomma del carrello principale sarà soggetta in condizione statiche a  $F_a' = R_a' / 2 = \underline{15050\text{ N}}$

In condizioni dinamiche: tocco terra con entrambe ruote principali contemporaneamente.

$$R_a'' = n_{lm} \cdot HLW = 4 \cdot 30000 = \underline{120000\text{ N}} \rightarrow \text{ciascuna ruota carrello principale: } F_a'' = \frac{R_a''}{2} = \underline{60000\text{ N}}$$

Scelgo pneumatico da tabella:

> max schiacciamento (contatto bordo cerchio con battistrada):  $S_{max} = \frac{(D-d)}{2} = \frac{(600-215,1)}{2} = \underline{192,5\text{ mm}}$

→ schiacciamenti assoluti consentiti:

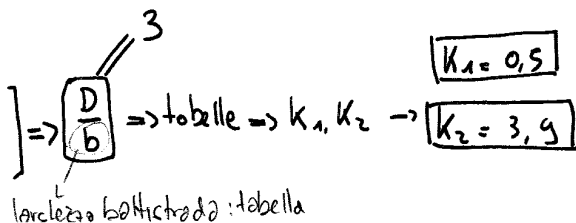
$S' = 0,33 \cdot 192,5 = \underline{63,5\text{ mm}}$  c. statiche

$S' = 0,85 \cdot 192,5 = \underline{163,6\text{ mm}}$  c. dinamiche

→ schiacciamenti relativi:

$S = S' / b = 63,5 / 200 = \underline{0,317}$  c. statiche

$S = S' / b = 163,6 / 200 = \underline{0,818}$  c. dinamiche



→ pressione di carica:

$$P_1 = P_3 \left( \frac{V_{g3}}{V_{g1}} \right)^k = 2994102 \left( \frac{0,00349}{0,00407} \right)^{1,4} = \underline{1565705 \text{ Pa}}$$

• ho ipotizzato evoluzione adiabatica

dopo allungamento: scambi termici → meglio ISOTERMA!

Valto schiacciamento a cui si porta l'ammortizzatore quando il gas si è raffreddato  
 → perdita di pressione  $P_3$ :

$$P_1 V_{g1} = P_3 V_{g4} \quad \rightarrow \quad V_{g4} = \frac{P_1}{P_3} V_{g1} = \frac{1565705}{2994102} \cdot 0,00407 = \underline{0,002130 \text{ m}^3}$$

edimento:

$$\Delta P_4 = \frac{V_{g3} - V_{g4}}{\frac{\phi^2 \pi}{4}} = \frac{(0,00256 - 0,002130)}{0,14^2 \frac{\pi}{4}} = \underline{90281 \text{ m}}$$

• pico di pressione del gas:

(sarroelungazione  $S_{cm}$ )

$$V_{g2} = V_{g1} - P_2 \phi_s^2 \frac{\pi}{4} = 0,00407 - 0,35 \cdot 0,08^2 \frac{\pi}{4} = \underline{0,00231 \text{ m}^3}$$

• cui corrisponde una pressione:

$$P_2 = P_1 \left( \frac{V_{g1}}{V_{g2}} \right)^k = 1565705 \left( \frac{0,00407}{0,00231} \right)^{1,4} = 3460076 \text{ Pa} = \underline{35 \text{ bar}}$$

dal diagramma di Moody (tubi lisci)  $\Rightarrow$  fattore di attrito  $\lambda_1 = 0,038$

$$L_1 = 0,3048 \cdot 2,79 = 0,85 \text{ m}$$

$$\Delta p_1 = \lambda_1 \frac{1}{2} \frac{L_1}{D_1} \rho V^2 = 0,038 \cdot 0,5 \cdot \frac{0,85}{0,0092} \cdot 1030 \cdot 25 = 45200 \text{ Pa} = 0,45 \text{ bar}$$

$$1L = 1 \text{ dm}^3 : 13 \text{ dm}^3 = 0,216 \text{ dm}^3/\text{s}$$

② - ③ analogamente

$$Q_2 = Q_m = 0,35 Q_m = 13 \text{ L/min} \quad Q_2 = V \cdot A_2 \quad A_2 = \frac{13 \text{ L/min}}{5 \text{ m/s}} = \frac{0,216 \text{ dm}^3/\text{s}}{50 \text{ dm/s}} = 0,0043 \text{ dm}^2 = 43 \text{ mm}^2$$

$$A = \pi \frac{d^2}{4} \quad D_2 = \sqrt{\frac{43 \cdot 4}{\pi}} = 7,6 \text{ mm} \quad Re_2 = 4100 \quad (\lambda_2 = 0,04) > 2300$$

$$Re_2 = \frac{5 \text{ m/s} \cdot 0,0076 \text{ m}}{9 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}} = 4111,1$$

$$L_2 = 14,3 \text{ ft} \cdot 0,3048 = 4,4 \text{ m} \quad \Delta p_2 = 0,04 \cdot 0,5 \cdot \frac{4,4}{0,0076} \cdot 1030 \cdot 25 = 306000 \text{ Pa} = 3,06 \text{ bar}$$

$$Q_3 = 13 - 0,35 Q_m = 6 \text{ L/min}$$

$$D_3 = 5,1 \text{ mm} \quad Re_3 = 2800 \quad (\lambda_3 = 0,025) \quad L_3 = 4,9 \text{ ft} = 1,5 \text{ m}$$

$$\Delta p_3 = 95000 \text{ Pa} = 0,95 \text{ bar}$$

Perdite di carico distribuite totali:  $\Delta p_{distr.} = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 = 446200 \text{ Pa} = 4,46 \text{ bar} = 65 \text{ psi}$

PERDITE DI CARICO CONCENTRATE: (ricordo  $\rho T$ , valvole, gomiti) N.B. vale principio sovrapposizione effetti.

$$\Delta p_T = K_T \cdot 0,5 \cdot 1030 \cdot 25 = 36300 \text{ Pa} \quad \Delta p = \frac{1}{2} \rho V^2$$

$$\Delta p_{valvola} = K_{valvola} \cdot 0,5 \cdot 1030 \cdot 25 = 20600 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{gomito} = K_{gomito} \cdot 0,5 \cdot 1030 \cdot 25 = 6400 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{conc.} = 63300 \text{ Pa} = 0,63 \text{ bar} = 9,2 \text{ psi}$$

$$\Delta p_{TOT} = \Delta p_{distr.} + \Delta p_{conc.} = 509500 \text{ Pa} = 5,1 \text{ bar} = 73,9 \text{ psi}$$

Analogamente per  $T_2 = 100^\circ \text{C} \Rightarrow \rho_{100} = 1000 \text{ kg/m}^3 \quad \nu_{100} = 4 \text{ cSt}$

$$\Delta p_1 = 34600 \text{ Pa} \quad \Delta p_2 = 237800 \text{ Pa} \quad \Delta p_3 = 136000 \text{ Pa} \Rightarrow \Delta p_{distr.} = 408400 \text{ Pa}$$

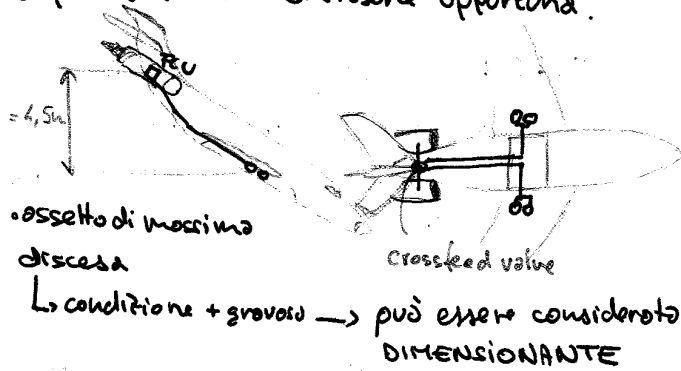
$(\lambda_1 = 0,03) \quad (\lambda_2 = 0,032) \quad (\lambda_3 = 0,037)$

$$\Delta p_T = 35250 \text{ Pa} \quad \Delta p_{valvola} = 20000 \text{ Pa} \quad \Delta p_{gomito} = 6250 \text{ Pa} \Rightarrow \Delta p_{conc.} = 61500 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{TOT} = 469900 \text{ Pa} = 4,7 \text{ bar} = 68,1 \text{ psi}$$

# Esercitazione 4 - Combustibile

• pompa impianto a combustibile deve alimentare la FCU garantendo portata e pressione di cherosene opportuna.



DATI:

$T_{max} = 60000 \text{ N}$  spinta max ciascun motore

$TSFC = 0,64 \text{ N/Nh}$  consumo specifico dello spinto del motore

$\gamma = 8 \text{ N/dm}^3$  peso specifico cherosene in condizioni operative

$V_{cherosene} = 8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

4 pompe complessivamente

$\phi_{tubazione mandata} \leq 30 \text{ cm}$

QUESITO:

Dimensionare pompa alimentazione FCU

100% Spinta max

- angolo rampa => discesa max
- 1 sola pompa su 4 funzionante => valvola cross feed aperta
- $\phi_{l.m.} \leq 30 \text{ cm}$
- perdite di carico conc. = p.d.c. distr.
- pressione in serbatoio in cui è immerso pompa = 1,3 bar
- pressione alimentazione x corretto funzionamento FCU = 9,8 bar

N.B.  $1 \text{ cSt} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

portata max di combustibile:

$Q = 2 T_{max} TSFC = 2 \cdot 60000 \cdot 0,64 = 76800 \text{ N/h} = 1280 \text{ N/min} = \frac{1280}{\rho} = \frac{1280}{8} = 160 \frac{\text{dm}^3}{\text{min}} = 9600 \frac{\text{dm}^3}{\text{h}}$

Mohogramms (pl)

$\gamma = 8 \text{ N/dm}^3 = 8 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2 \cdot \text{dm}^3} = 8000 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2 \cdot \text{m}^3} = 8000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$\rho_{cst} = 0,815 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} = 815 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

collego 2 pt. (peso specifico e viscosità cinematica) => trovo  $\rho_1$  su linea A  
=> retta tra  $\rho_1$  e portata trovo  $\rho_2$  su linea B

assumo  $\phi$  condotto (x. tentativo) di 15mm => collego a  $\rho_2$  => trovo perdite di carico:  $0,2 \text{ kg/cm}^2$  per retroazione

$\Delta p_{distribuite} = 0,2 \cdot 10 = 2 \text{ kg/cm}^2 \approx 2 \text{ bar}$

$\Delta p = \Delta p_d + \Delta p_c + \rho H = 4,5 \text{ bar}$  > del valore della pompa + gravita -> ma pompa è immerso in ambiente a 1,3 bar

pressione piezometrica

=>  $4,5 - 1,3 + 9,8 = 13 \text{ bar}$  è cmq superiore a qll di pressione max raggiungibile con pompe in dotazione => aumento sezione condotto!

pressione richiesta a FCU

COMBUSTIBILE:

$T_{max} = 60'000 N$

$r_{SFC} = 0.64 N/Nh$

$\gamma = 8 N/dm^3$  peso specifico  
cherosene

$\nu_{cherosene} = 8 \cdot 10^{-6} m^2/s = 8 cSt$

$\phi_{mondoto} \leq 30 cm$

$\Delta p_{cone} = \Delta p_{distr.}$

$P_{serb.} = 1.3 bar$

$\lambda_{mond. FCU} = 0.8 bar$

1)  $Q_{max} = 2 \cdot T_{max} \cdot T.S.F.C \left[ \frac{N}{h} \right] \xrightarrow{\frac{1}{60}} \left[ \frac{N}{min} \right] \xrightarrow{\frac{1}{\rho} \frac{dm^3}{N}} \left[ \frac{dm^3}{min} \right] \xrightarrow{\cdot 60 \frac{min}{h}} \left[ \frac{dm^3}{h} \right]$   
 combustibile  $\downarrow$   
L/min

2) collego  $(\gamma) - \nu \rightarrow$  trovo  $(P_1)$  su  $[A]$

$\bullet \left[ \frac{N}{dm^3} \right] = \left[ \frac{kg \cdot m}{s^2 dm^3} \right] \xrightarrow{\cdot 1000} \left[ \frac{kg}{s^2 \cdot m^3} \right] \xrightarrow{\frac{1}{9.81 \frac{m}{s^2}}} \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \rightarrow \left[ \frac{g}{cm^3} \right]$

collego  $(P_1) - Q_{max} \rightarrow (P_2)$  su  $[B]$

3) hyp:  $\phi = 15 mm - (P_2) \rightarrow$  Perdite di carico x rete lineare

$\downarrow$   
moltiplico per lunghezza  
tubazioni

$\Delta p_{tot} = \Delta p_{distr} + \Delta p_{cone} + \rho H \Rightarrow$

$\Rightarrow \Delta p - P_{serb} + P_{mFCU} \xrightarrow{a)} (CFR)$  valori di  $P_{max}$  raggiungibile pompe da GRAFICO

i) Se  $\Delta p - P_{serb} + P_{mFCU} > P_{max\ pompe} \Rightarrow \uparrow \phi \rightarrow \phi = 20 mm - (P_2) \rightarrow$  Perdite di carico...

$\Delta p - P_{serb} + P_{mFCU} < P_{max\ pompe} \rightarrow$  scelgo pompa che maggiora pt. di funzionamento con  $P_0$  minima eccedenza (GRAFICO)

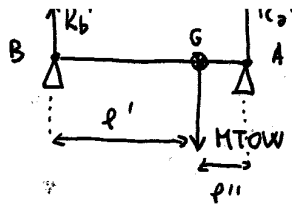
i)  $P_{idraulica} = Q \cdot \Delta p \quad \eta_g = \eta_m + \eta_y = 0.7 \quad \eta_y = 0.8$

$\rightarrow P_{necc} = \frac{P_{idr.}}{\eta_g} \rightarrow P_h = \frac{P_{necc.}}{\eta_h}$

7) hyp.  $V = 28V$  2V cadute  $P_{cavo} = 10m \Rightarrow$  lunghezza unitaria per volt di caduta in  $[ft/V]$

8)  $I = \frac{P_h}{28V} \rightarrow$  grafico  $\Rightarrow \phi_{min}$  da maggiorare

CHIRRELLU



$K_{3\text{statico}} = 0,33$

$K_{3\text{dinamico}} = 0,85$

$P_0 = 4 \text{ kg/cm}^2$

$MTOW = 33000 \text{ N}$

$MLW = 30000 \text{ N}$

$n_{\text{gommaggio}} = 4$

$\frac{D}{b} = 3$

$R_a'' = n_{\text{gomm.}} \cdot MLW$

1)  $\sum M_B = 0 \Rightarrow R_a' (l' + l'') - MTOW l' = 0 \rightarrow R_a'$

2)  $F_a' = \frac{R_a'}{n \text{ gomme}}$  forza per gomma in C.S.

$F_a'' = \frac{R_a''}{n \text{ gomme}}$  " " in C.D

3)  $S_{\text{max}} = \frac{D-d}{2}$  → diametro esterno ed interno pneumatico

$S'_{s./o.} = S_{\text{max}} K_3$  → schiacciamenti assoluti  
statico/dinamico

$S_{s./o.} = \frac{S'_{s./o.}}{b}$  → schiacciamenti relativi }  $\frac{D}{b} = 3$  → tabelle →  $K_1 = 0,5, K_2 = 3, 4$

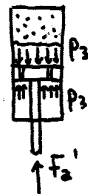
4)  $P_{s./o.} = P_0 + (P_0 + 1) K_1 S_{s./o.}^2$

5) Area impronta:  $S'_{s./o.} = K_2 b^2 (S_{s./o.} - 0,03)$

6) Forza max sopportabile dallo pneumatico:  $F_{\text{max } s./o.} = P_{s./o.} \cdot S'_{s./o.}$  → C.F.P.  $F_a'$  e  $F_a''$

AMMORTIZZATORE  $\phi_p = 9,14 \text{ (hyp.)}$

$P_3, P_2, h \sim 0, \phi_s = 8 \text{ cm}, P_1 = 0,5 \text{ cm}$



1)  $P_3 = \frac{F_a'}{\phi_s^2 \frac{\pi}{4}}$

Ⓘ  $\Delta V_{23} = P_3 \phi_s^2 \frac{\pi}{4} = V_{21} - V_{23}$

Ⓜ  $P_3 V_{23}^k = P_1 V_{21}^k$

Ⓝ  $P_1 \phi_p^2 \frac{\pi}{4} = V_{21} + V_{010}$

ⓓ  $V_{010} = (\phi_p^2 - \phi_s^2) \frac{\pi}{4} P_2$

2) ⓓ ⇒  $V_{010}$

3) Ⓝ ⇒  $V_{21}$

4) Ⓘ ⇒  $V_{23}$

5) Ⓜ ⇒  $P_1$

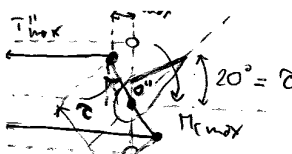
• Raffreddamento:

$P_1 V_{21} = P_3 V_{24} \rightarrow V_{24}$

$\Delta P_4 = \frac{V_{23} - V_{24}}{\phi_p \frac{\pi}{4}}$

$V_{22} = V_{21} - P_2 \phi_s^2 \frac{\pi}{4}$

$P_2 = P_1 \left( \frac{V_{21}}{V_{22}} \right)^k$



$M_{max} = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_{m_{max}}$   
 $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$   
 $V_{max} = \arctg\left(\frac{C_{m_{max}}}{C_{D_{max}}}\right)$   
 $T_{max} = \frac{M_{max}}{L} \Rightarrow P$

$U_{max} = \frac{P}{2} \sin 20^\circ = U'_{max}$   
 $U_{max} = \frac{L}{2} : C_{m_{max}}$   
 $T_{max} = T_{max} \frac{P}{2} \cos 20^\circ$

potenziamento  
 $r = b = 0.04 \text{ m}$   
 $T_{max} = \frac{M_{max}}{b \cos 20^\circ}$   
 $\frac{T_{max}}{2\pi} = \frac{T_{max}}{\Delta p_{max}}$

$C_{m_{max}} = b \sin 20^\circ$   
 $F_{stallo} = \Delta p_{max} \cdot S_{ref}$   
 $V_{voto} = \frac{C_{m_{max}}}{\epsilon}$   
 $L_{voto} = \frac{r}{\omega}$   
 $F_{oll} = \frac{2}{3} F_{stallo}$   
 $V_{oll} = \frac{V_{voto}}{\sqrt{3}}$

$P_{max} = V_{oll} \cdot F_{oll}$   
 $P_{max} = V_{oll} \cdot S_{ref} \cdot k$

- omandi ATA 27
- UTOPLOTA ATA 22
- ARRELO ATA 32
- RAULICO ATA 29
- OMISTIBILE ATA 28
- LETRICO ATA 24
- NEUMATICO ATA 36
- ONDITIONALI ATA 21
- NTINCENDIO ATA 26
- ISSIGENO ATA 35
- NTIGHACCIO ATA 30
- STATAI ATA

**AMMORTIZZATORE**  
 $R_0' (P' + P'') - \pi T \omega \cdot P' = 0$   
 $\frac{F_A}{S} = \frac{R_0'}{n \sin \alpha}$   
 $R_0'' = \frac{R_0'}{n \sin \alpha}$   
 $R_0''' = N_{okem} \cdot M \cdot L \cdot W$   
 $S_{max} = \frac{D-d}{2} \cdot S'_{s/10} = S_{max} K_{3,10}$   
 $S_{s/10} = \frac{D-d}{2} \cdot \frac{D}{b} \rightarrow \text{tab. } K_1, K_2$   
 $P_{s/10} = P_0 + (P_0 + 1) K_1 S_{s/10}^2$   
 Area impronta  $S_{s/10} = K_2 b^2 (S_{s/10} - 0.03)$

**ATTUATORE**  
 $P_2 = \frac{F}{S}$   
 $V_{oll} = (\phi_2^2 - \phi_1^2) \frac{\pi}{4} P_2$   
 $P_1 \phi_1^2 \frac{\pi}{4} = V_{g1} + V_{olio}$   
 $P_3 \phi_3^2 \frac{\pi}{4} = V_{g2} - V_{g3}$   
 $P_2 V_{g3} = P_1 V_{g1}$   
 $P_2 = P_1 \left(\frac{V_{g1}}{V_{g2}}\right)^k$   
 $\Delta P_A = \frac{V_{g2} - V_{g1}}{\phi_p^2 \frac{\pi}{4}}$   
 $V_{g2} = V_{g1} - P_2 \phi_s \frac{\pi}{4}$

$R = A p_0 \left(\frac{V_0}{V_0 - \Delta S}\right)^\gamma + A^3 K \left(\frac{dS}{dt}\right)^2$   
 elastica      viscosa  
 $W_p = P_0 \pi \frac{\phi_s^2}{4}$

**REIDITIE DI CARICO**  
 $[v] = 1 \text{ m}^2/\text{s} = 10000 \text{ st} = 10^6 \text{ CST}$   
 $[r] = 1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 10 \text{ Pa} = 10^3 \text{ cP}$   
 $[P] = 1 \text{ psi} = 1 \text{ lb}/\text{in}^2 = 6897 \text{ Pa}$   
 $[L] = [0.3048 \text{ ft}]$   
 $T, \text{ Skydroll } 500 \rightarrow \text{tab} \Rightarrow \nu, \rho$   
 $Q_1 = V A_1 \rightarrow \sqrt{\frac{4 A_1}{\pi}} \rightarrow Re = \frac{V D_1}{\nu}$   
 $\Delta P_{distr.} = \lambda_1 \frac{L_1}{2 D_1} \rho V^2$   
 $\Delta P_{com. tot} = K_{1,2,3,4,5} \cdot \frac{1}{2} \rho V^2$   
 $\Delta P_{tot}$

**ACCUMULATORE IDR.**  
 $P_2 = \frac{F}{S}$   
 $\Delta V_{olio} = \Delta V_{gas} = C \cdot S$   
 $\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{1/\gamma} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_1}{V_1 + \Delta V_{olio}}$   
 $T_1 = P_1 \delta$   
**ATTUATORE** / pompe idrauliche  
 martinetti:  $F = P_2 S_c - P_b (S_c - S_s)$   
 $W_{eff} = \frac{\Delta p \cdot C.i.p. \cdot rpm}{\eta_m \cdot \eta_v} = \frac{\Delta p \cdot Q}{\eta_m \cdot \eta_v}$   
 $W = C_{teor} \cdot \frac{rpm}{2\pi} = C_{teor} \cdot \frac{\omega}{\eta_v \cdot \eta_m} = \frac{\Delta p \cdot Q_{teor.}}{\eta_v \cdot \eta_m \cdot \eta_6}$   
**MOTORI idr.**  
 $Q = C.i.p. \cdot rpm / \eta_v$   
 $W_{eff.} = C.i.p. (P_m - P_v) rpm \cdot \eta_m \cdot \eta_v$

**COMPRESSIBILE** [L/m]  
 $Q_{max} = 2 T_{max} TSPC$   
 $[N/h] \cdot \frac{1}{8} \frac{dm^3}{N} \rightarrow \left[\frac{dm}{h}\right] \cdot \frac{1}{60} \rightarrow \left[\frac{dm^3}{min}\right]$   
 $[r] = \frac{N}{dm^3} = \frac{1000 \text{ kg}}{m^3} \cdot \frac{1}{9.81} \rightarrow \frac{K_2}{m^3} \rightarrow \left[\frac{g}{cm}\right]$   
 $P_1 - Q_{max} \rightarrow P_2$   
 4) hyp:  $\phi = 15 \text{ mm} - P_1$  Perdite di Caric per l'etro  
 5)  $\Delta P_{tot} = \Delta P_{distr.} + \Delta P_{com.} + \rho H$   
 $\Delta P_{tot} = P_{amb} + P_{pneu} \text{ (CTR)}$

$x > 1 \phi \dots$   
 $P_2 = \frac{P_1}{\gamma}$   
 $P_3 = \frac{P_2}{\gamma}$   
 7) hyp:  $V = 2 \text{ PV}$  perdite 2V CTR. l'altro  
 $\Rightarrow$  lunette 222 unitario per Volt di caduta [ft]  
 $T = \frac{P_2}{2 \text{ PV}} \rightarrow \phi$



# CARRELLO: ATA-32

15 ÷ 20% peso vuoto  
3 ÷ 7% MTOW

• Ammortizzatore: OLEOPNEUMATICO

$$R = A p_0 \left( \frac{V_0}{V_0 - A \delta} \right)^\delta + A^3 K \left( \frac{d\delta}{dt} \right)^2$$

$$W_p = p_0 \pi \frac{\phi_s^2}{4}$$

↑ velocità di schiacciamento  
↑ fattore di contingenza max

2 forcella  
2 gambo

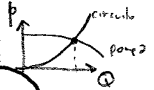
- pneumatico ~ 15 ÷ 20 bar ~ 4 categorie
- cerchi ~ AP / M<sub>2</sub> → compressione / capacità
- freni → pressure plate // torque plate
- autobrake ~ molla di distacco
- hydraulic fuses
- metering valve
- anti-skid
- wear indicator Pin

# IDRAULICO: ATA-29

⊕  
↑ W/k<sub>2</sub>  
↑ η + controllabilità  
cumulo en. emergente  
manutenzione

⊖  
decadimento se perdite  
\$ filtro/raffreddamento/manutenzione  
difficile attivatori in //  
colore/depositi

## OMPE



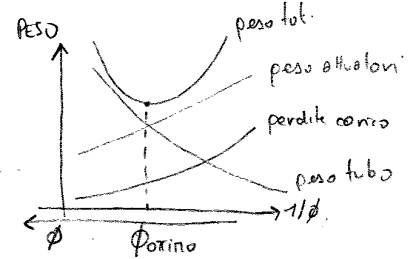
EDP → Gearbox  
MOP → ⚡  
Pneumatico  
RAT

• accumulatori  
• filtri, guarnizioni  
• serbatoi  
• sbrinatori di colore

φ, 3.5 m/s  
φ, 5 m/s, 21 MPa

W = Ap × Q

Pinnesi  
rotativi

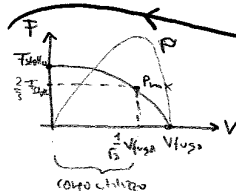


PERDITE DI CARICO  
(Re = VD/ν)

distribuite:  $\Delta p = \lambda \frac{L}{D} \frac{1}{2} \rho V^2$   
concentrate

Q =  $\frac{C_i \cdot p \cdot n}{\eta_v}$   
W =  $Q (P_m - P_v) \eta_m \eta_v \eta_p$

$F = S_1 p_m$   
 $V_{Pmax} = \sqrt{\frac{F_{stollo}}{3 k_{TOT}}}$   
 $F_{Pmax} = \frac{2}{3} F_{stollo}$



$F = S_1 p_m - k_{TOT} V^2$

$k_{TOT} = (S_1 k_{m1} k_m^2 + k S_1 k_{m1} k_v^2)$   
 $k = \frac{S_2}{S_1}$  coroll. geom. martinello

VOLUMETRICHE

NON VOLUMETRICHE (q.d.m.)

$Q_{regolata} = C_i \cdot p \cdot n \cdot \eta_v$

$W_{eff} = \frac{(P_m - P_{osp}) Q}{\eta_v \eta_y \eta_m}$

5 ÷ 9 pistoncini per Q continua → inclinazione protello → autoregolante

Evitare 1° modo vibratorio flessionale attorno asse → rendo carico asimmetrico → disperi

3,6 cm<sup>3</sup> - 20 kW - 2 kg

• borse portole e velocità



**INTIGHIACCIO - ATA 30** ~  $(H_2O \text{ sovraffuso})$  ~ liquido a  $T < 0^\circ C$  ~  $P_{in} > P_{ext}$  tensione superficiale

- 10 ÷ 0 vetroso ↑ pericolo
- 15 ÷ -10 granuloso } tendenza
- 20 ÷ -15 brinoso ↓ pericoloso

3500 ÷ 6500 m

ghiaccio ~ ↑ peso e D ↓ L e Trazione ~ stoffo anticipato  
 blocco comandi + disequilibratura rotori  
 tubi Pitot - No cockpit view

**ANTI-ICE**: preventiva

- aria calda } continuo, high power
- chimico

**DE-ICE**: correttiva

- pneumatico gonfiabile
  - on/off
  - elettro espulsivo/impulso  $\vec{B}$
- low power

**EOLMINI**:

zone equatoriali  
 nuvole 1524 - 4572 m

tipolari + muso + altre estremità ~ Impedenza max = 3mΩ

- ponte 2 arie ≠
- aria isolante ↓ impedenza

resina

zone HIRF ~ cabina  
 cablaggi  
 riparo 4

DANNI (entrata - uscita) ~ compositi (fibra di C) ~ Micro Grid Foils ~ protezione ultrarapida

**AMBIENTE SPAZIALE**

fase di lancio

- vibrazioni meccaniche + rumore ~ riflessione tenore
- onde d'urto transoniche } f(payload)
- acc. medio ↑ + carichi impulsivi sep. stadi ~ + modulare spinta
- gradiente termico ambientale + depermutazione

vento solare ~ pressione ~ correggere orbite e velocità

oltre 120 km tutte le molecole biatomiche: dissociate

meteoriti ~ opacizza ~ ↓ proprietà termiche ~ sublimazione metalli

ESOSFERA (80-90 km) ~ temperatura cinetica α attività solare

$$f = P_{SL} e^{(-2M_i^2 / R^2 T)}$$

LEO (300-900 km) ~ c'è ancora resistenza aerodinamica

GEO (3600 km)

- irraggiamento sole ⊕
  - albedo
  - emissione corpo nero terra
- s scambio termico

IONOSPHERA (85-1000 km) ~ disturbo segnali polarizzati  
 P incoerente

MAGNETOSPHERA ~ fasce di Van Allen ~ interne: protoni  
 esterne: e<sup>-</sup>

problemi di comunicazione  
 + accumulo di elettrostatiche

Sublimazione α T (variabile) ~ olii a bassa volatilità / lubrificanti solidi

O ~ ossigeno ~ rivesto con Ossido di Indio

UV: infortunio, opacizza ~ pannelli TT ~ η ↓

radiazioni ionizzanti (protezioni: stesse generano) ~ alterano giunzioni N-P ~ radiation hardened hardware

protezione

- $\vec{B}$  artificiale → ↑↑ Energia
- H<sub>2</sub> (liquido) ~ T<sub>HL</sub>
- H<sub>2</sub>O
- polimeri



