

3.4. RESISTENZE AL MOTO

- Sono delle forze che si oppongono al moto di un veicolo (Terrestre - acquatico - aereo)
- per compiere uno spostamento un veicolo deve vincere queste forze.
- Dipendono
 - dalla natura del mezzo ambiente
 - dalle modalità di sustentazione e locomozione
 - dalle caratteristiche cinematiche del moto
 - ✓ traiettoria
 - ✓ velocità
 - ✓ accelerazione
 - dalla massa del veicolo
- Riferendosi all'unità di massa ($1/t$)
 - si parla di resistenze specifiche ($r = R/P$)
 - ✓ espresse in Kg/t o in N/kN
- Rispetto alle caratteristiche cinematiche è possibile distinguere tra:
 - resistenze ordinarie
 - ✓ in moto piano
 - ✓ in moto rettilineo
 - ✓ in moto circolare
 - + sono dovute
 - + al rotolamento delle ruote sul terreno [prevalentemente per veicoli stradali dove maggiore è la deformazione al contatto]
 - + al rotolamento degli assi rispetto al telaio del veicolo o dei corredi [prevalente per i veicoli ferroviari]
 - + all'attrito con il mezzo ambiente [aria o acqua]
- resistenze addizionali
 - ✓ d'inerzia per moto vario
 - ✓ di rombo
 - ✓ in curva
 - + sono dovute per tutti i veicoli terrestri

+ alla salita

[componente della forza peso, lungo l'asse della trazione
con verso opposto a quello della velocità]

+ all'inerzia

[in conseguenza di ogni variazione positiva della velocità]

+ alla percorrenza delle curve

[inversamente proporzionale al raggio e
direttamente proporzionale allo scartamento]

Veicoli ferroviari:

Per le ferrovie sono state proposte numerose formule sperimentali

specifiche che definiscono il valore delle resistenze

specifiche in moto piano rettilineo uniforme come somma

+ di una termine pressoché invariabile con la velocità

[resistenza al rotolamento]

+ e di una componente variabile con essa

[resistenza aerodinamica]

+ le formule tipiche sono di tipo binomiale

$$r_{ord} = a + bv^2$$

+ o trinomiale

$$r_{ord} = c + dv + ev^2$$

++ le costanti più usate in queste formule
sono riportate nelle tabelle 4.1 e 4.2.

~~esse~~

Tab 3.1 e 3.2

- veicoli stradali

- Per gli autoveicoli non si dispone di dati sperimentali copiosi come per le ferrovie;

✓ Tuttavia le espressioni sono simili a quelle delle ferrovie

- + Termine costante più
- + Termine variabile con v^2

✓ Per autoveicoli industriali e velocità < 80 km/h

$$+ r_{ord} = 16 + 0,0048 C_D \frac{S}{P} V^2 \text{ Kg/t}$$

+ C_D = coefficiente di forma per la resistenza aerodinamica determinabile ottodesso o da sperimentazioni in galleria del vento

+ S = sezione massima in m^2 ($6 \div 8$ per gli autocarri)

+ V = velocità in km/h

+ P = peso in t

✓ Per gli autobus urbani può essere usata un'espressione analoga

$$+ r_{ord} = 16 + 0,0016 V^2 \text{ Kg/t}$$

+ $P = 15$ T

+ $S = 5$ m^2

✓ Per gli autocarri pesanti

$$+ r_{ord} = 16 + 0,0020 V^2 \text{ Kg/t}$$

+ la seconda costante può essere posta pari a 0,0020

- natanti

2.2 o 1.2 dot

• in mare aperto

[in bassi fondali o nei canali è presente una resistenza aggiuntiva causata dalla vicinanza del fondale o delle pareti del canale]

e calmo

[in presenza di moto ondoso questo si combina con altri fattori di resistenza]

✓ Si può assumere la seguente espressione della resistenza totale al moto

$$+ R_T = R_D + R_V + R_0 + R_{vis} + R_{AER}$$

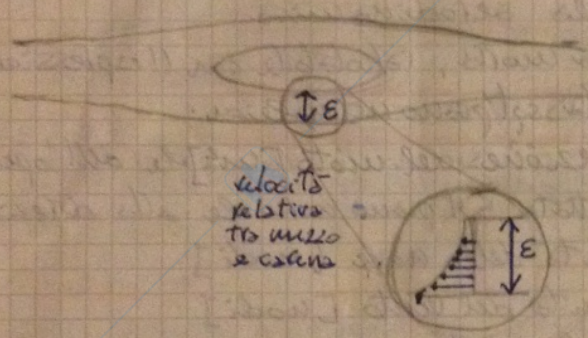
che comprende le componenti nel seguito descritte

R_a = resistenza d'attrito

causata dal trasciamento di lamina d'acqua da parte della carena fino ad una distanza limite ϵ proporzionale alla densità del fluido che rappresenta di norma più del 50% della resistenza tot.

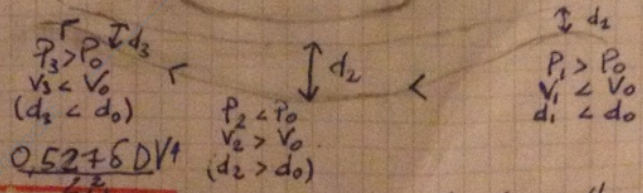
$R_a = 0,293 f S V^{1,825g}$

- +++ f = coefficiente di scabrezza (0,15 per carene metalliche dipinte e pulite)
- +++ S = superficie della carena [m^2]
- +++ V = velocità della nave [Nodi]
- +++ δ = densità dell'acqua



R_o = resistenza d'onda (l'espressione di Taylor)

causata dalla formazione delle onde a prua ed a poppa laddove la pressione dell'acqua cresce e la sua velocità si riduce che risulta pertanto crescente con la lunghezza complessiva del n. e che può ridursi con l'introduzione del bulbo di Taylor sotto la linea di galleggiamento con



$R_o = 0,5276 DV^3$

+++ ϕ = coefficiente di finezza (o di snellezza) totale, rapporto tra

+ il displacemente ed il volume del parallelepipedo equivalente nel quale risulta iscritto il volume immerso,

+++ D = displacemente [ton]

+++ V = velocità della nave [nodi]

+++ L = lunghezza della carena [m]

+ R_v = resistenza dei vortici
che si formano per depressione nella zona di poppa ($\cong R_a$)

+ R_{vis} = resistenza di viscosità
dovuta all'attrito trascinato dalle
lamine liquide viscose
da parte della carena ($\cong 0,03 R_0$)

+ R_{aer} = resistenza aerodinamica
dell'opera morta, calcolabile con l'espressione

$$++ R_{aer} = 0,003 S (V \pm V \cos \alpha)^2 \text{ con:}$$

+++ S = area della sezione trasversale dell'opera morta proiettata sul piano normale alla direzione del vento;

+++ V = velocità della nave [nodi]

+++ V = velocità del vento [nodi]

+++ α = angolo fra la direzione del vento e l'asse longitudinale della nave

$$++ R_{aer} \cong 0,002 R_T \text{ in assenza di vento}$$

✓ Valori più approssimati delle resistenze

vengono determinati ricorrendo a prove sperimentali o

È possibile tuttavia dedurre dalle formule più adatte

un'espressione generale approssimata

$$+ R_T = 1,02 \left(1,06 - 0,293 f S V^{1,825} \delta + 1,03 \cdot 0,527 \Phi D \frac{V^4}{L^2} \right)$$

- Aeromobili

• La resistenza al moto di un velivolo varia al variare:

- 1 della viscosità e della densità dell'aria
- 2 della forma e dell'assetto dell'aeromobile
- 3 del carico Q , ovvero del carico alare $q = Q/S$
- 4 della velocità del vento relativo V

✓ Le espressioni generali per la portanza e la resistenza sono rispettivamente

$$+ P = C_p(\alpha) \rho S V^2$$

$$+ R = C_r(\alpha) \rho S V^2$$

+ S = superficie alare

+ α = angolo d'incidenza tra la corda dell'ala e la traiettoria

$$+ C_p = C_p' \alpha$$

++ fino al valore α_s critico corrispondente alle condizioni di stallo

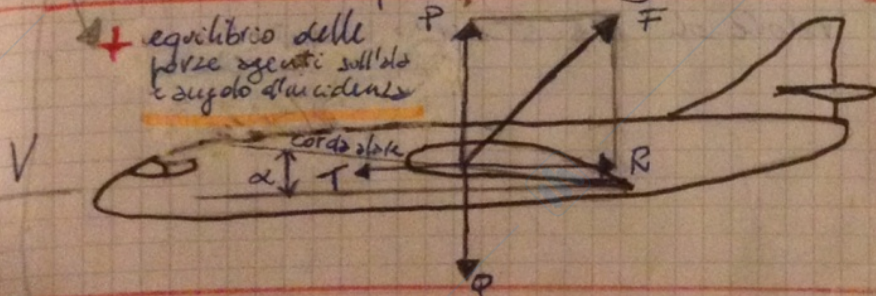
$$+ C_r = C_{r0} + i C_p^2$$

++ corrisponde all'aumento della curva polare, che caratterizza in modo univoco il profilo alare

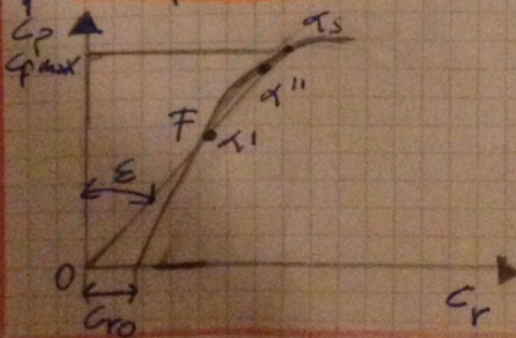
++ C_{r0} = coincide con la resistenza offerta dalla parte dell'aereo che non genera portanza (la fusoliera)

++ i = dipende dalla geometria dell'ala

+ equilibrio delle forze agenti sull'ala e angolo d'incidenza



* curva polare caratteristica del profilo alare



++ $\gamma \varepsilon = \frac{R}{P} = \frac{C_r}{C_p}$ → fornisce il fattore globale d'attito

++ $\varepsilon = \text{ctg} \gamma \varepsilon = \frac{R}{L} = \frac{C_p}{C_r}$ → fornisce il valore dell'efficienza aerodinamica

++ segmento \overline{OF} = forza aerodinamica corrispondente al dato α

+++ Tenendo conto delle scale adottate

+++ a meno del fattore $\rho S V^2$

++ data la formula usuale della portanza,

per i due diversi valori α' ed α'' , cioè

per i due diversi assetti delle ali (e quindi dell'aerodinamica) rispetto alla traiettoria (direzione del vento relativo),

si ha una forza aerodinamica ugualmente orientata (stesso valore di ε e quindi di θ).

+ $Q = P \cos \varphi \cong P$

++ il moto è orizzontale e rettilineo o

++ per piccoli valori dell'angolo di rampa φ tra la traiettoria e l'orizzontale.

++ pertanto la resistenza specifica assume il valore

$$r = \frac{R}{Q} \cong \frac{R}{P} = \frac{C_r}{C_p} = \frac{C_{r0}}{C_p} + i C_p$$

+++ annullando la derivata prima di r ,

+++ calcolando i valori corrispondenti di C_p e C_r

+++ e sostituendoli nell'espressione

si ottiene il valore di resistenza minima

$$r_{MIN} = 2\sqrt{i C_{r0}}$$