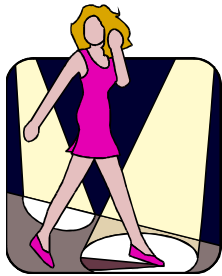
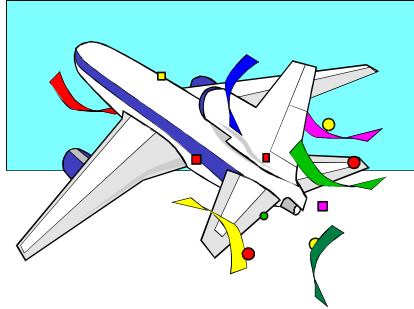
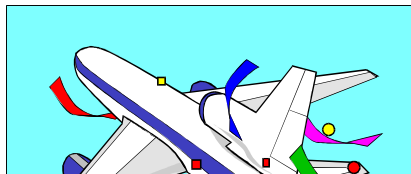
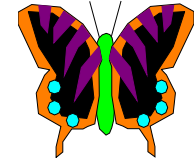
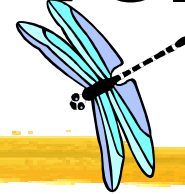


# Principi e tecnica del volo



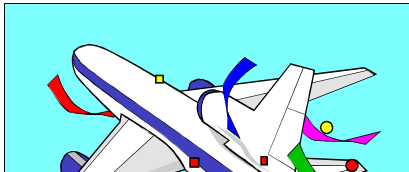
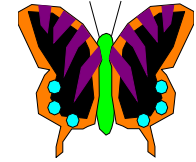
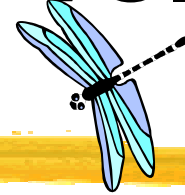
- ⌘ un Boeing 747 ha una superficie alare di 510 mq e può sostenere 360.000 kg in aria, una capacità di trasporto di 700 kg/mq
- ⌘ un uomo in piedi scarica i suoi 70 kg attraverso 200 cmq di superficie dei piedi, pari a 3500 kg/mq
- ⌘ una donna con i tacchi a spillo raggiunge i 90.000 kg/mq
- ⌘ un Boeing 747 consuma 12.000 litri di kerosene per ora
- ⌘ un colibrì consuma il 4% del suo peso ogni ora
- ⌘ il Boeing pesa 300.000 e consuma in media 10.000 kg per ora, pari al 3% del suo peso
- ⌘ il colibrì comunque non è fatto per trasportare persone
- ⌘ facciamo il confronto tra il 747 ed un'automobile
- ⌘ alla velocità di 900 km/h il 747 percorre 75 metri con un litro
- ⌘ un'automobile può percorrere 15 km con un litro, ma il 747 può trasportare 400 persone
- ⌘ il 747 consuma 0.033 litri per pax-km, mentre un'auto 0.016 litri per pax-km
- ⌘ il 747 è dunque 10 volte più veloce con consumi confrontabili
- ⌘ volare è dunque un modo economico di viaggiare

# Principi e tecnica del volo

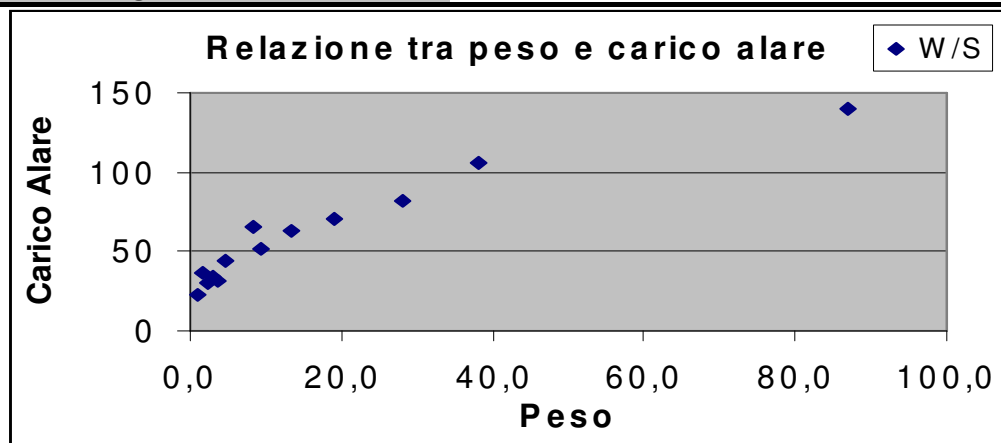


- ⌘ il modo in cui volano gli uccelli e gli aerei è identico
- ⌘ la capacità di trasporto  $W$  dipende da
  - ⊠ dimensioni delle alii  $S$
  - ⊠ velocità dell'aria  $V$
  - ⊠ densità dell'aria  $d$
  - ⊠ incidenza delle ali rispetto alla direzione del volo
- ⌘  $W=0.3dV^2S$  è una relazione mediamente sempre valida
- ⌘ un 747 con una superficie alare di 510 mq e vola ad una velocità di 250 m/s a 12000 m di quota (dove  $d=0.3125$  kg/mc), può portare un carico di 290000 N, che è in effetti il peso di un 747 a metà strada di un volo intercontinentale.(al decollo è 400 t)
- ⌘ un passero pesa circa 0.3 N, vola vicino al suolo ( $d=1.25$ ) ad una velocità di 10 m/s, dalla relazione troviamo che necessità di una superficie alare di circa 100 cmq
- ⌘ la stessa relazione potrebbe essere usata per progettare un deltaplano
- ⌘ se vogliamo che un uomo col deltaplano voli alla velocità del passero abbiamo bisogno di 33 mq di superficie alare
- ⌘ di rilevante importanza è il rapporto  $W/S$  o carico alare
- ⌘ essendo  $W/S=0.38V^2$ , maggiore è il carico alare, più veloci bisogna volare

# Principi e tecnica del volo

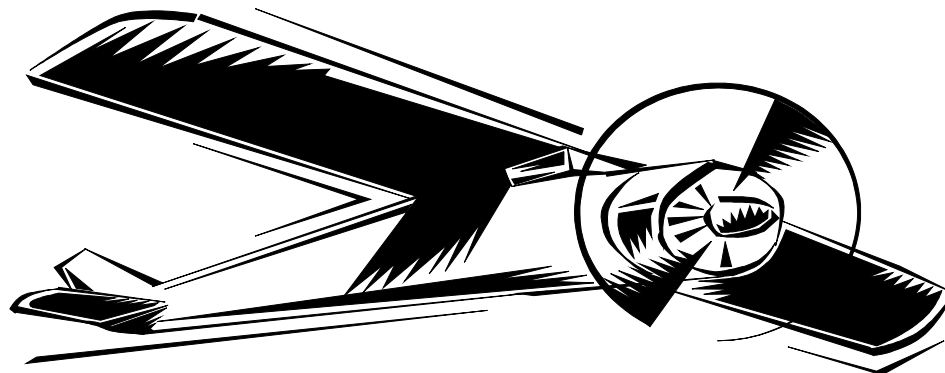


	W [N]	S [mq]	W/S	V [m/s]
Rondine comune	1,2	0,050	23	7,8
Colomba	1,7	0,046	37	9,9
Gabbiano dalla testa nera	2,3	0,075	31	9,0
Rincope Nero	3,0	0,089	34	9,4
Gabbiano comune	3,7	0,115	32	9,2
Rondine reale	4,7	0,108	44	10,7
Procellaria	8,2	0,124	66	13,2
Gabbiano d'aringa	9,4	0,181	52	11,7
Stercorario	13,5	0,214	63	12,9
Grande gabbiano nero	19,2	0,272	71	13,6
Albatross macchiato	28,0	0,340	82	14,7
Albatross dalle sopracciglia nere	38,0	0,360	106	16,7
Albatross navigatore	87,0	0,620	140	19,2

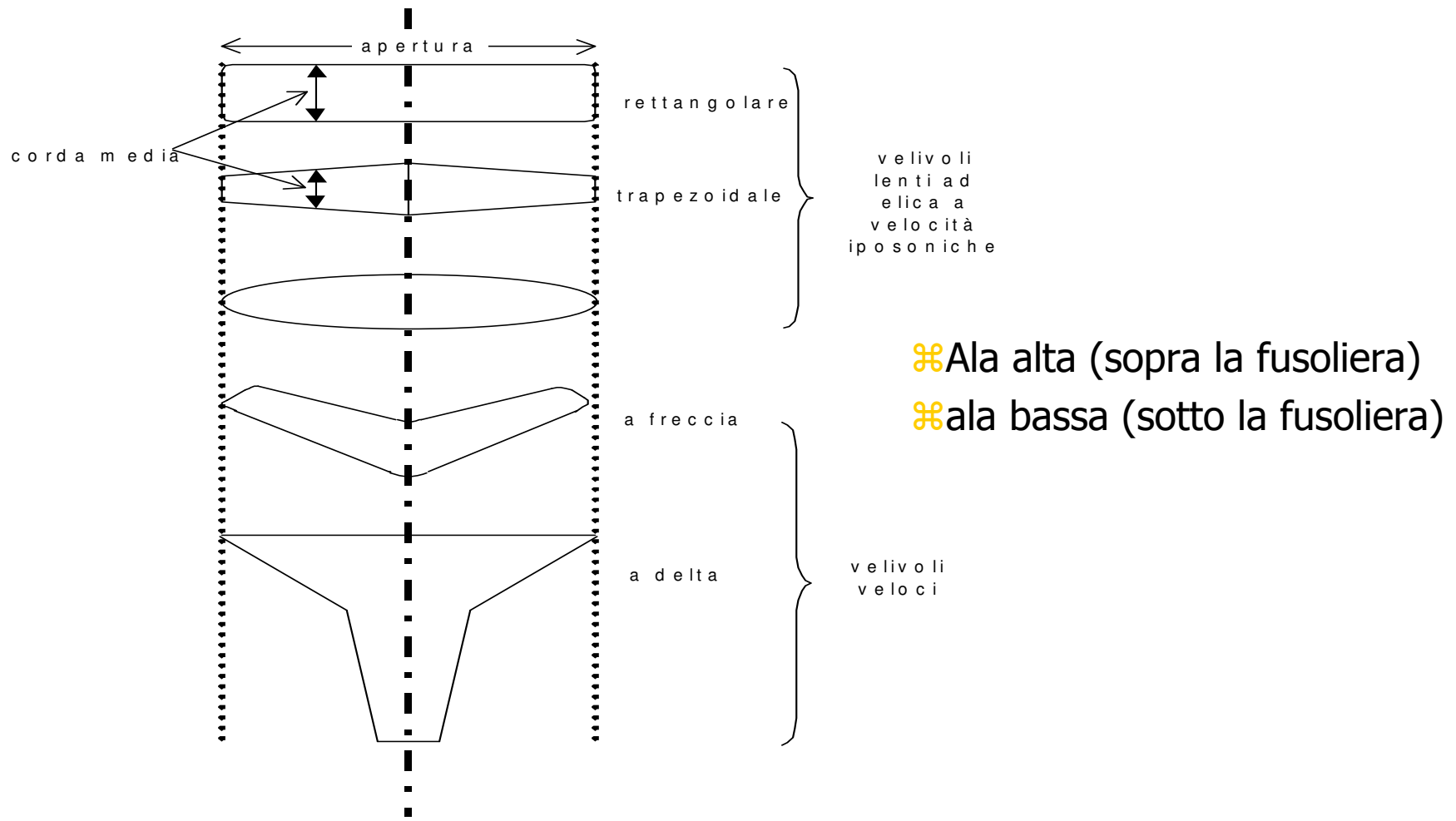


# Principi e tecnica del volo

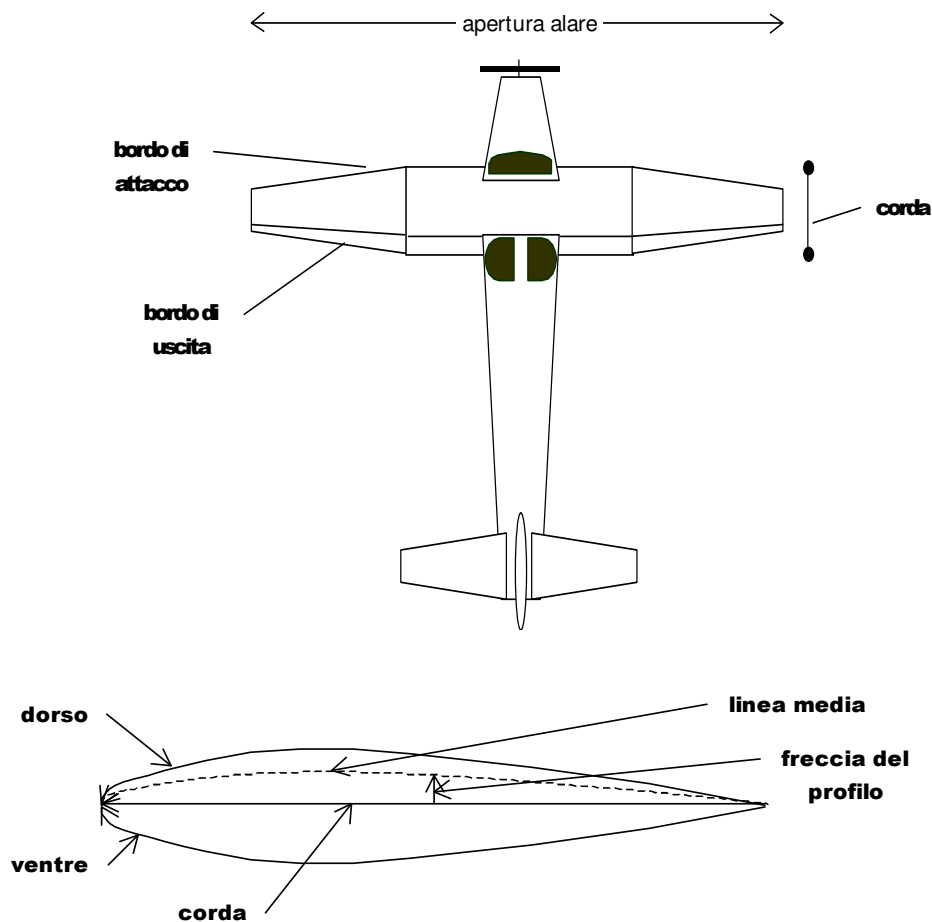
- ⌘ **Nei veicoli terrestri la ruota ha funzione di sustentazione e di trazione**
- ⌘ **negli aeroplani la sustentazione è affidata alle ali e la trazione all'elica o alla spinta a getto**
- ⌘ **le superfici portanti dell'aereo sono**
  - ⊞ le ali *velatura principale*
  - ⊞ i piani di coda *velatura secondaria*
  - ⊞ altre parti del corpo (secondo l'assetto di volo)



# La forma dell'ala e i profili alari



# La forma dell'ala e i profili alari



⌘  $L$  apertura alare

⌘  $l_m$  corda media (sup.alare/ $L$ )

⌘  $\lambda = L / l_m$ , rapporto di allungamento

⌘ **dorso**, superficie superiore

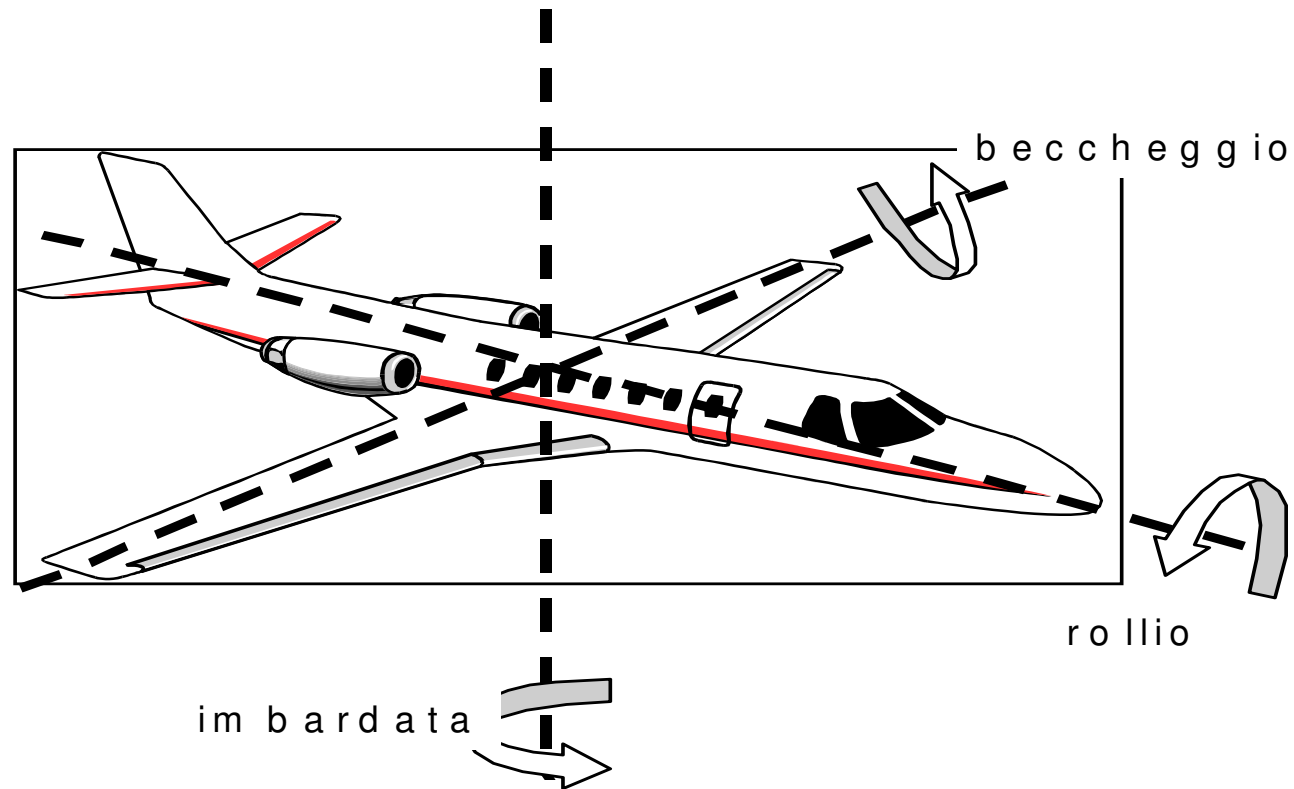
⌘ **ventre**, superficie inferiore

⌘ **bordo di attacco**, linea anteriore che separa dorso da ventre

⌘ **bordo di uscita**, linea posteriore che separa dorso da ventre

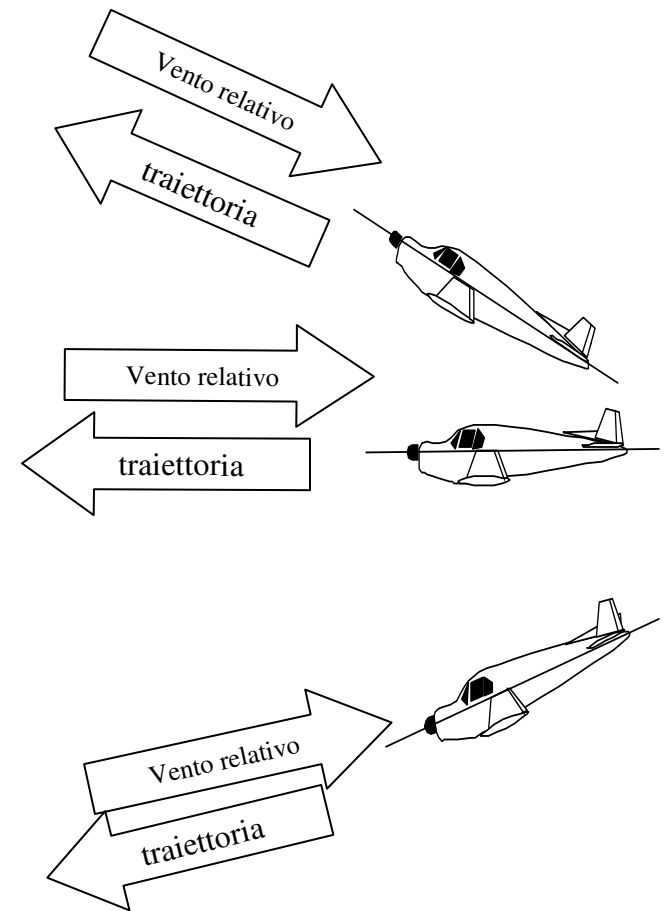
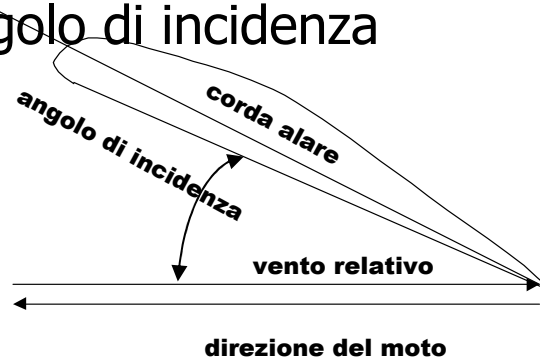
⌘ **corda alare**, unisce bordo di attacco con bordo di uscita

# Gli assi e i movimenti del velivolo

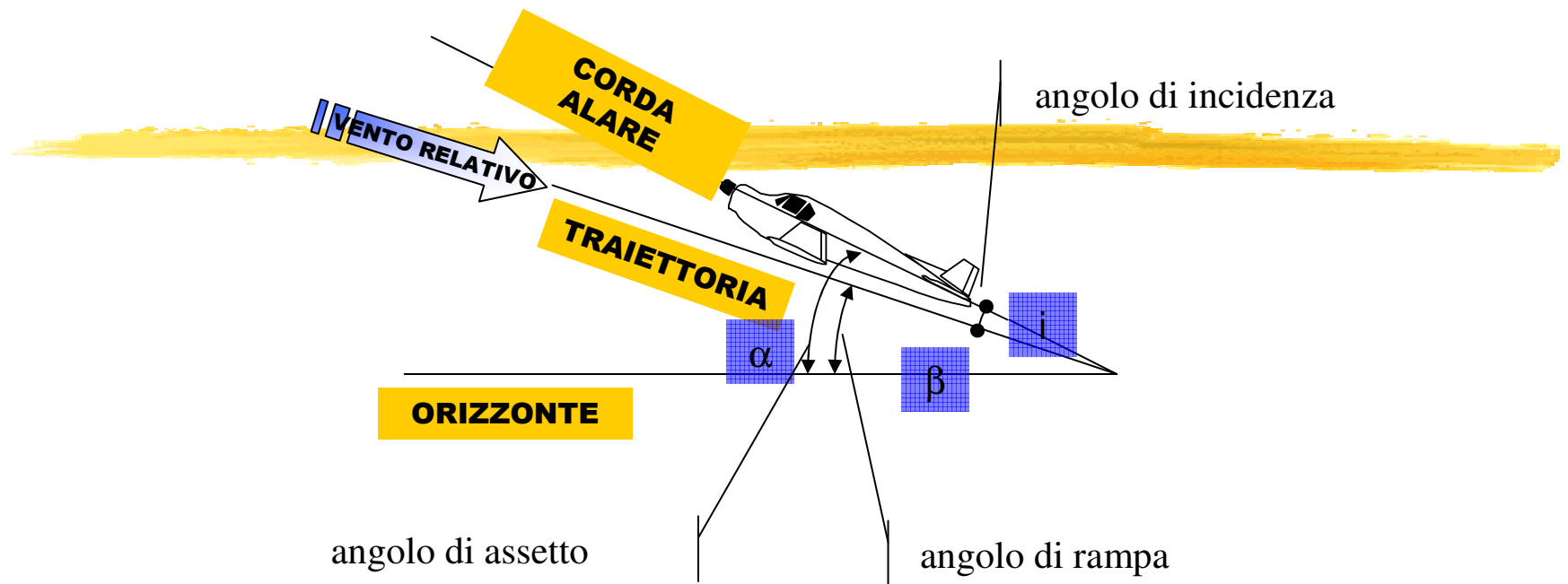


# Gli angoli caratteristici

- ⌘ durante il moto l'ala viene investita da un flusso d'aria con velocità uguale al moto
- ⌘ durante ogni fase del volo, il vento relativo ha sempre intensità uguale e direzione contraria al moto
- ⌘ il vento relativo forma con la corda alare l'angolo di incidenza



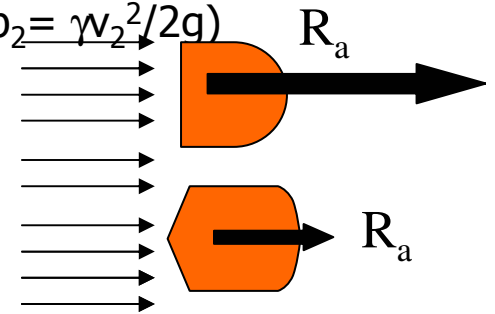
# Gli angoli caratteristici



- ⌘ **l'angolo di incidenza** può variare continuamente in funzione della posizione dell'ala rispetto al vento relativo
- ⌘ non bisogna confondere l'angolo di incidenza con l'angolo formato tra corda alare e orizzonte (coincidono solo nel volo orizzontale)
- ⌘ **l'angolo di rampa** è quello formato tra la traiettoria e l'orizzonte
- ⌘ **l'angolo di assetto** è la somma dell'angolo di rampa e di quello di incidenza
- ⌘ **l'angolo di calettamento** è quello tra la corda alare e l'asse longitudinale dell'aereo (è fisso)

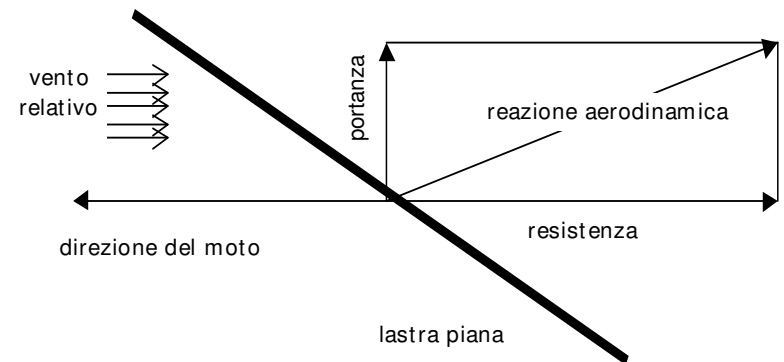
# La reazione aerodinamica

- ⌘ un corpo in moto relativo rispetto a un fluido è soggetto a una forza  $R_a$  risultante da infinite forze infinitesime sulla sua superficie
- ⌘ da Bernoulli  $H_1 + p_1/\gamma + v_1^2/2g = H_2 + p_2/\gamma + v_2^2/2g$  ( $H_1 = H_2$ ,  $v_2 = 0$ ,  $v = v_1$ ,  $p_2 = \gamma v_1^2/2g$ )
- ⌘  $R_a = 1/2 \rho V^2 S C_f$
- ⌘  $C_f$  rappresenta l'influenza della forma sulla intensità della reazione aerodinamica
- ⌘ la forma può influenzare anche la direzione della  $R_a$ , cioè può avere una componente verso l'alto

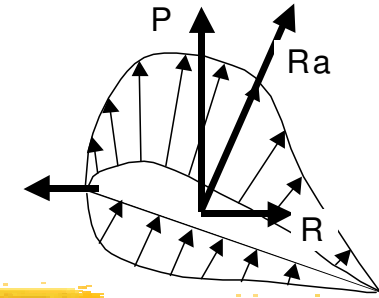


- ⌘ la pressione esercitata dal flusso d'aria sotto il ventre di una lastra genera la reazione aerodinamica  $R_a$ , composta da

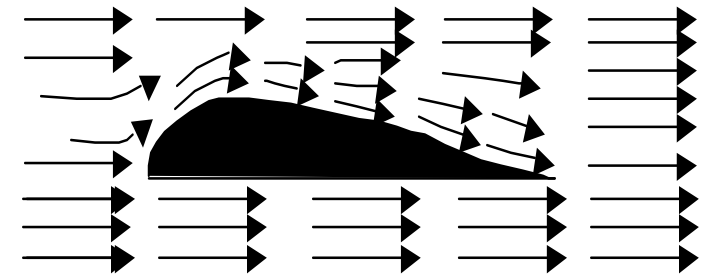
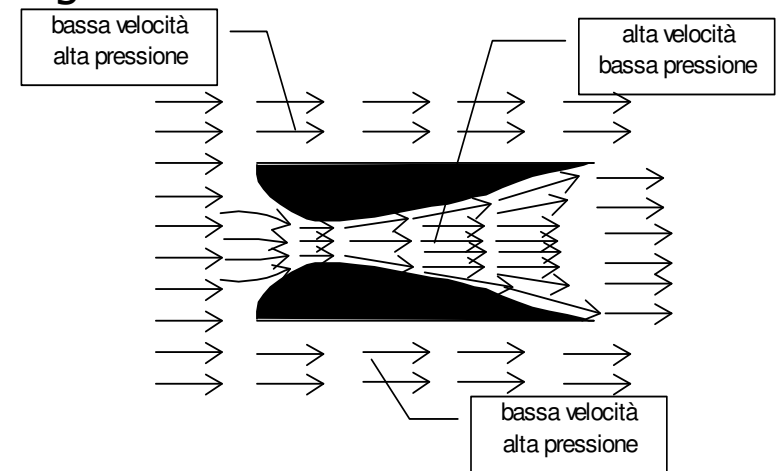
- ⊠ una resistenza  $R$
- ⊠ una portanza  $P$



# La reazione aerodinamica

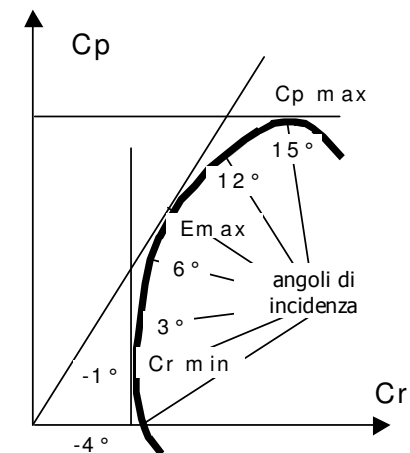
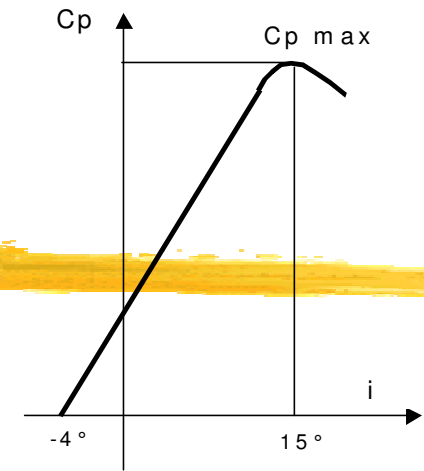


- ⌘ per avere una portanza sufficiente per il volo bisogna dare all'ala una forma opportuna
- ⌘ per il principio di Bernoulli, dove, in un flusso d'aria, aumenta la velocità, diminuisce la pressione
- ⌘ il profilo alare, con la sua curvatura, costringe l'aria a lambire il dorso con maggior velocità, e quindi a creare una diminuzione di pressione
- ⌘ la differenza di pressione determina una componente verticale della reazione aerodinamica che è la portanza
- ⌘  $R = 1/2 \rho V^2 S C_r$
- ⌘  $P = 1/2 \rho V^2 S C_p$
- ⌘ R e P possono essere variati, modificando V oppure  $C_r$  e  $C_p$ , questi ultimi sono determinati nella galleria del vento



# La portanza e le curve caratteristiche del profilo

- ⌘ la portanza è sempre perpendicolare alla direzione del moto e all'asse trasversale del velivolo
- ⌘ ponendo un'ala nella galleria del vento possono misurarsi i valori di  $C_p$  al variare dell'angolo di incidenza
- ⌘ per annullare la portanza bisogna dare un'incidenza negativa
- ⌘ al crescere dell'incidenza  $C_p$  aumenta proporzionalmente sino a  $15^\circ$ , quindi decresce bruscamente, per poi annullarsi
- ⌘ per mantenere una quota costante durante il volo
- ⌘  $Q=P= 1/2\rho V^2 S C_p$
- ⌘ essendo  $1/2\rho=K$ , se aumenta  $C_p$  deve diminuire  $V$  e viceversa
- ⌘ quando  $C_p$  è massimo, la velocità è al suo valore minimo (**velocità di stallo** o di minimo sostentamento)
- ⌘ al di sotto di tale valore il velivolo diventa un grave che cade verso il suolo
- ⌘ ovviamente al crescere della quota, diminuisce la densità dell'aria e aumenta la velocità di stallo



$$V_s = \sqrt{\frac{2Q}{\rho S C_{p \max}}}$$

# La polare dell'ala

⌘ l'efficienza dell'ala è il rapporto tra portanza e resistenza

⌘  $E = P/R = C_p/C_r$

⌘ varia con l'angolo di incidenza e rappresenta il "rendimento" dell'ala

⌘ l'ala ideale dovrebbe avere valori di E alti

⌘ in realtà al crescere dell'incidenza crescono sia  $C_p$  sia  $C_r$

⌘ la **polare dell'ala** si costruisce per trovare la migliore soluzione di compromesso, cioè **l'incidenza di massima efficienza**

⌘ inoltre fornisce per ogni incidenza di volo:

☒  $C_p$

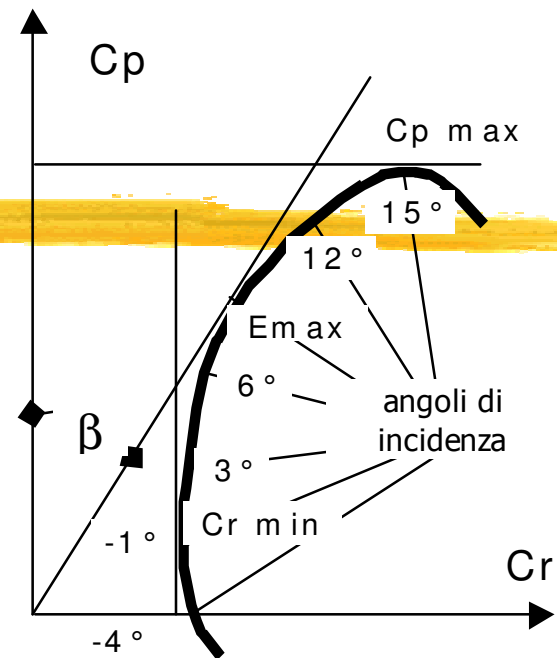
☒  $C_r$

☒ l'efficienza

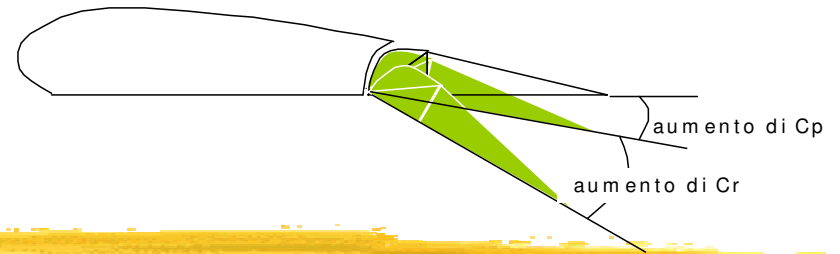
☒ l'angolo di rampa che l'aereo manterrebbe in volo librato, cioè a motore spento (se l'efficienza è alta  $\beta$  è piccolo)

⌘ considerando il velivolo nel suo complesso, bisogna notare che  $C_p$  dell'aereo coincide quasi con  $C_p$  dell'ala, mentre  $C_r$  dell'aereo è decisamente maggiore.

⌘ la polare dell'aereo si costruisce a partire da quella dell'ala, considerando le resistenze aggiuntive



# L'ipersostentazione



- ⌘ gli ipersostentatori servono ad aumentare  $C_{pmax}$ , in modo da abbassare la  $V$  di stallo e aumentare il campo operativo dell'aereo
- ⌘ servono soprattutto per i grossi jet commerciali che hanno
  - ☒ pesi al decollo elevati
  - ☒ ali sottili e di ridotta superficie
  
- ⌘ servono anche per aumentare il  $C_r$  in modo da consentire discese più ripide e diminuire gli spazi di rullaggio, i tempi di occupazione della pista e la lunghezza della stessa
  
- ⌘ i diversi ipersostentatori aumentano il coefficiente di portanza dell'ala mediante
  - ☒ l'aumento della superficie alare, flap del bordo di uscita o di attacco
  - ☒ l'aumento della curvatura (maggiore depressione), plain flap
  - ☒ l'aumento dell'energia dello strato limite (ritardo del distacco del flusso dorsale), slotted flap
- ⌘ non bisogna confondere i flap con gli alettoni, superfici inclinabili poste verso l'estremità dell'ala, che producono la virata modificando la portanza di un'ala rispetto all'altra.

# La stabilità

⌘ la **stabilità** è la qualità che consente all'aereo di recuperare l'assetto di equilibrio, dopo che una causa perturbatrice è intervenuta

⌘ la **manovrabilità** è invece l'attitudine a modificare l'assetto, cioè la sua posizione rispetto ai tre assi

⌘ si tratta ovviamente di due proprietà contrastanti

⌘ gli aerei di trasporto sono più stabili, gli aerei militari più manovrabili

⌘ la stabilità intorno all'asse trasversale si ottiene con il piano orizzontale di coda

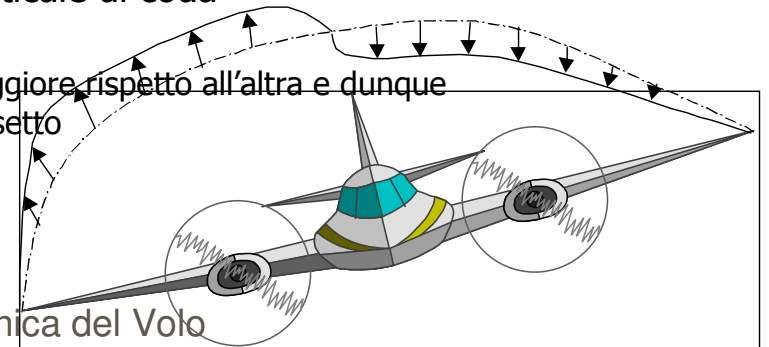
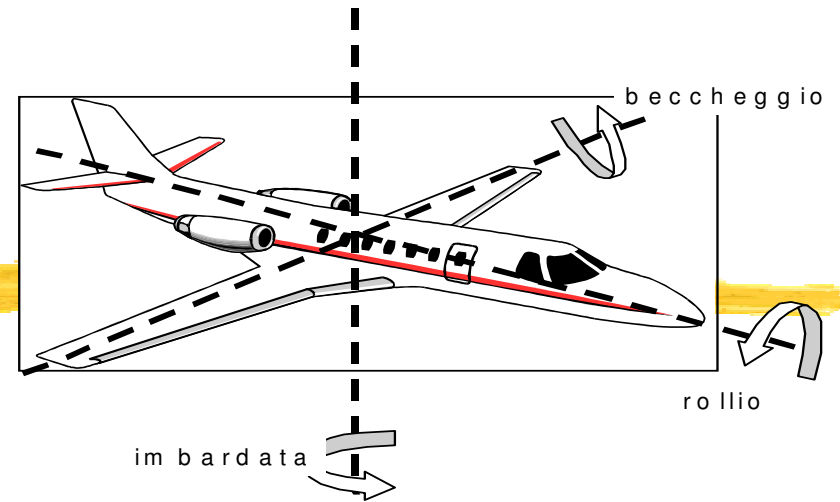
- ⊠ se una raffica di vento fa alzare il muso dell'aereo, questo inizia a salire per il temporaneo aumento di portanza dovuto all'aumento di incidenza
- ⊠ mentre sale però diminuisce la velocità e dunque la portanza
- ⊠ quindi comincia a scendere, aumentando la velocità e riacquistando portanza
- ⊠ dopo alcune oscillazioni di ampiezza decrescente l'aereo riprende il suo assetto originario

⌘ la stabilità intorno all'asse verticale si ottiene con il piano verticale di coda

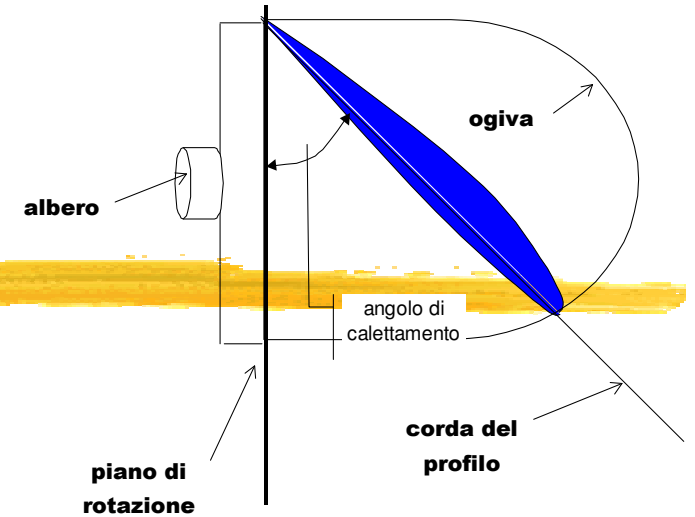
- ⊠ le ali a freccia favoriscono la stabilità rispetto all'imbardata
- ⊠ la semiala che avanza durante una imbardata offre una sup. maggiore rispetto all'altra e dunque incontra una maggiore resistenza che produce il ripristino dell'assetto

⌘ la stabilità intorno all'asse longitudinale si ottiene

- ⊠ con la posizione del baricentro per gli aerei ad ala alta
- ⊠ con un diedro positivo per gli aerei ad ala bassa



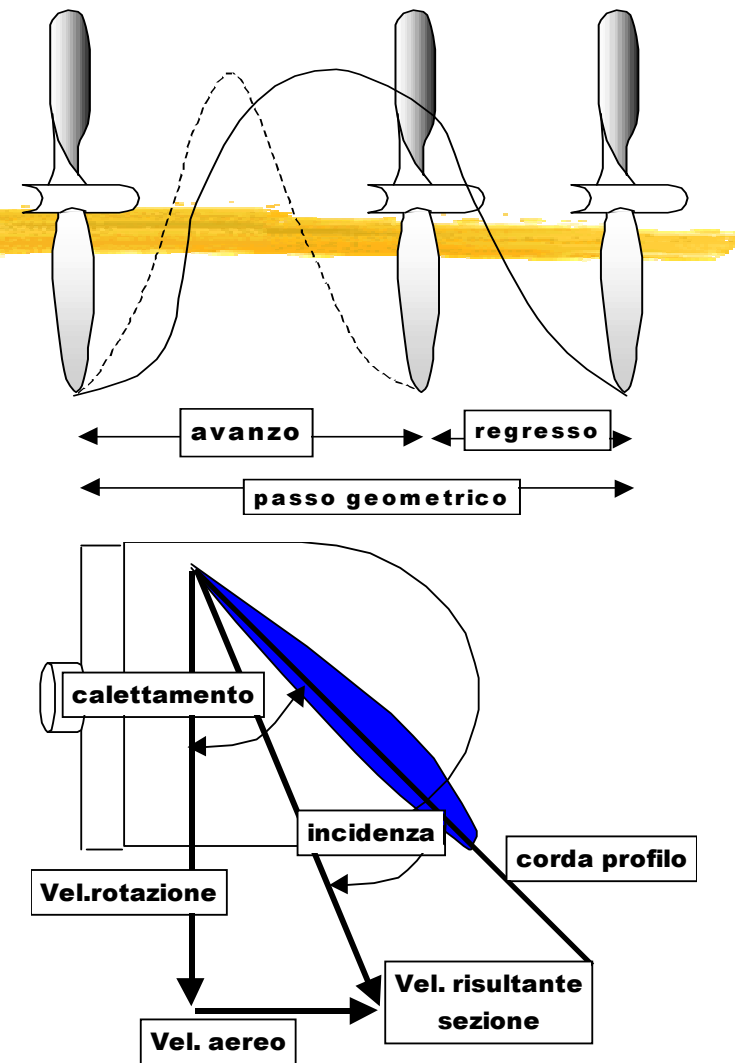
# L'elica



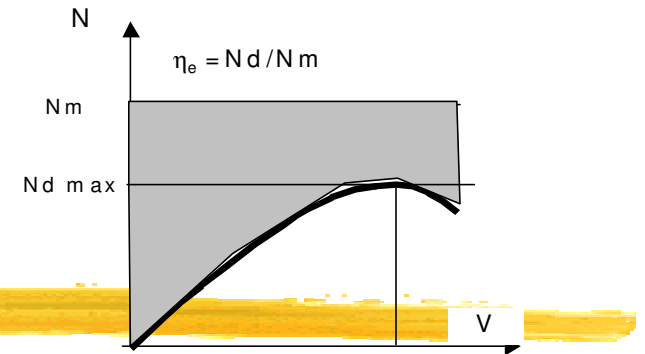
- ⌘ il fenomeno fisico per il quale l'elica genera la trazione è lo stesso per il quale l'ala genera portanza
- ⌘ l'accelerazione dell'aria avviene però nel senso opposto al moto e non verso il basso come nel caso dell'ala
- ⌘ il profilo della pala dell'elica è simile ad un profilo alare
- ⌘ la corda del profilo forma col piano di rotazione l'angolo di calettamento
- ⌘ poiché le sezioni più distanti dall'asse di rotazione hanno una velocità periferica maggiore, si provvede a svergolare la pala dell'elica, cioè a fornirgli angoli di calettamento decrescenti con la distanza dal mozzo, in modo che ogni sezione contribuisca in modo uniforme alla trazione totale
- ⌘ per ragioni strutturali inoltre le sezioni esterne sono più sottili
- ⌘ il **passo geometrico** dell'elica è la distanza di cui avanzerebbe l'elica in un giro se si avvittasse in una madrevite solida; dipende dal diametro delle pale e dall'angolo di calettamento
- ⌘ le eliche più semplici hanno il **passo fisso**, cioè non si può variare l'angolo di calettamento
- ⌘ durante il funzionamento normale, oltre a girare nel piano di rotazione, l'elica avanza con la velocità dell'aereo
- ⌘ la distanza effettivamente percorsa si chiama **avanzo** (o passo reale)
- ⌘ la differenza tra passo geometrico ed avanzo si chiama **regresso**

# Velocità di volo e trazione

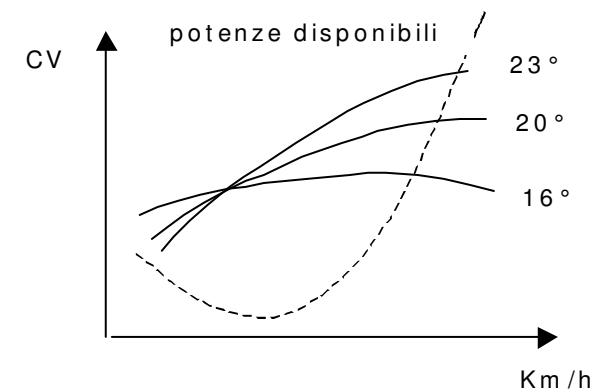
- ⌘ quando l'elica funziona a punto fisso (cioè il velivolo è fermo), l'avanzo è nullo e il regresso è uguale al passo geometrico
- ⌘ al crescere della velocità dell'aereo, l'avanzo aumenta e il regresso diminuisce, sino ad annullarsi
- ⌘ questo succede perché, a causa della velocità dell'aereo, l'angolo di incidenza è molto minore dell'angolo di calettamento
- ⌘ la pala dell'elica, cioè, invece di scendere verticalmente nella direzione del vettore "Vel. di rotazione" (come fa a punto fisso), scende obliquamente nella direzione del vettore "Vel. risultante"
- ⌘ con elica a punto fisso, avanzo zero e regresso pari al passo geometrico, l'angolo di incidenza è al valore massimo e dunque anche la trazione
- ⌘ al crescere della velocità dell'aereo, diminuiscono il regresso, l'incidenza e dunque la trazione
- ⌘ oltre un valore di velocità, il regresso e l'angolo di incidenza sono negativi, l'elica si comporta come una resistenza, girando a mulinello



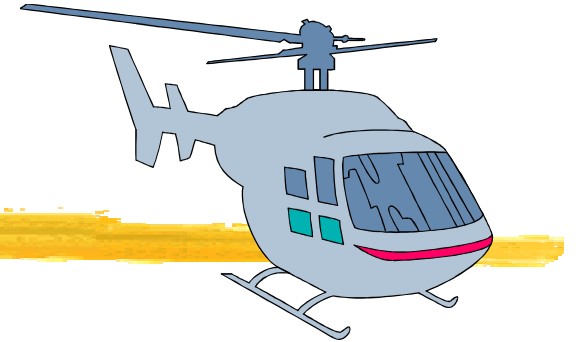
# Rendimento dell'elica



- ⌘ la potenza resa disponibile dall'elica in funzione della velocità del volo è nulla per  $V=0$  (anche se la  $T$  è max), quindi cresce con  $V$  nonostante la diminuzione di  $T$  fino ad un valore massimo, quindi scende bruscamente e si annulla quando  $T=0$
- ⌘ un elica a passo fisso consente dunque di avere una sola condizione di rendimento ottimo, mentre le diverse esigenze di volo richiederebbero passi diversi
- ⌘ si usano dunque eliche a passo variabile, in grado cioè di cambiare il proprio angolo di calettamento per mantenere l'angolo di incidenza al valore ottimale qualunque sia la velocità, in modo che l'elica possa rendere, assorbendola dal motore, la massima potenza utile
- ⌘ all'aumentare della velocità l'angolo di calettamento si fa più grande, in modo che si sposti in avanti il punto in cui la potenza disponibile ha il suo massimo
- ⌘ tutto ciò senza variare il numero di giri del motore
- ⌘ il passo variabile rimedia anche all'inconveniente che la potenza utilizzabile da un elica diminuisce con la quota
- ⌘ inoltre consente al motore di funzionare sempre al regime di massima ammissione
- ⌘ il passo viene regolato automaticamente da un dispositivo sensibile alla variazione del numero di giri

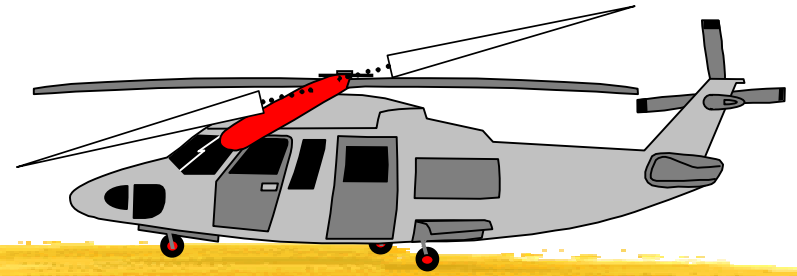


# L'elicottero

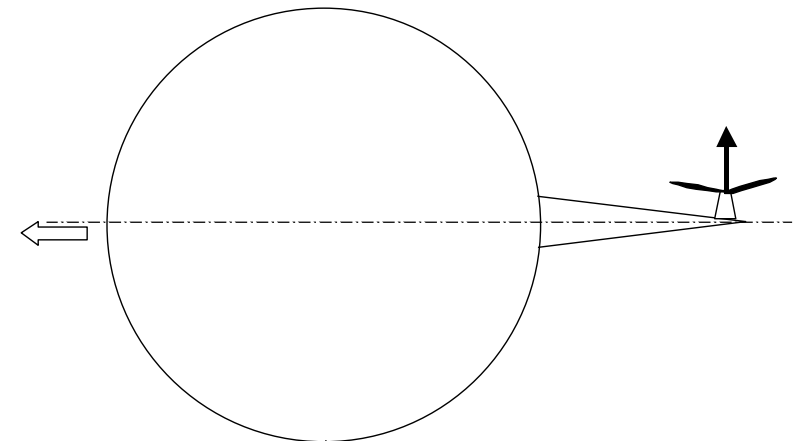
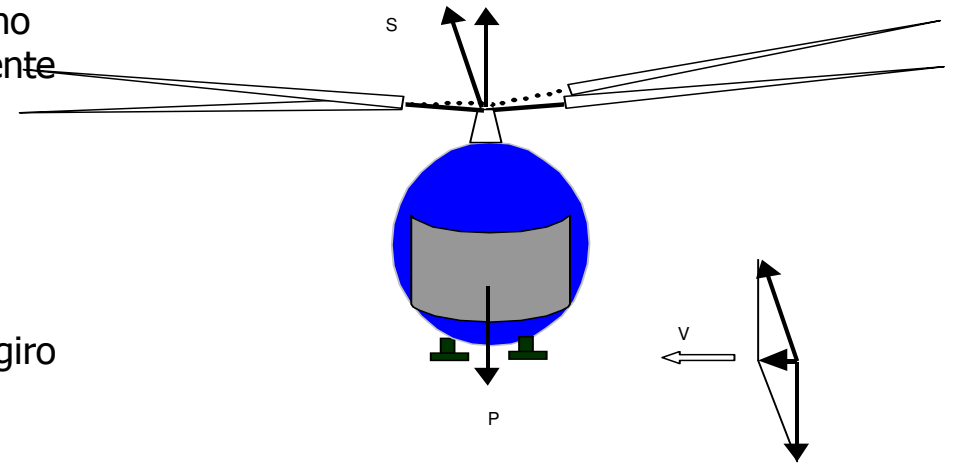


- ⌘ l'ala ruotante dell'elicottero ha la doppia funzione di sustentazione e propulsione
- ⌘ a velocità di rotazione costante, variando l'incidenza di tutte le pale si varia la spinta generata dal rotore, che è diretta in senso contrario al peso
- ⌘ l'elicottero può dunque salire, scendere o mantenere la quota
- ⌘ lo stesso può realizzarsi mantenendo fissa l'incidenza delle pale e modificando il numero di giri del motore
- ⌘ il rotore è anche utilizzato per fare avanzare l'elicottero o per farlo spostare lateralmente

# L'elicottero

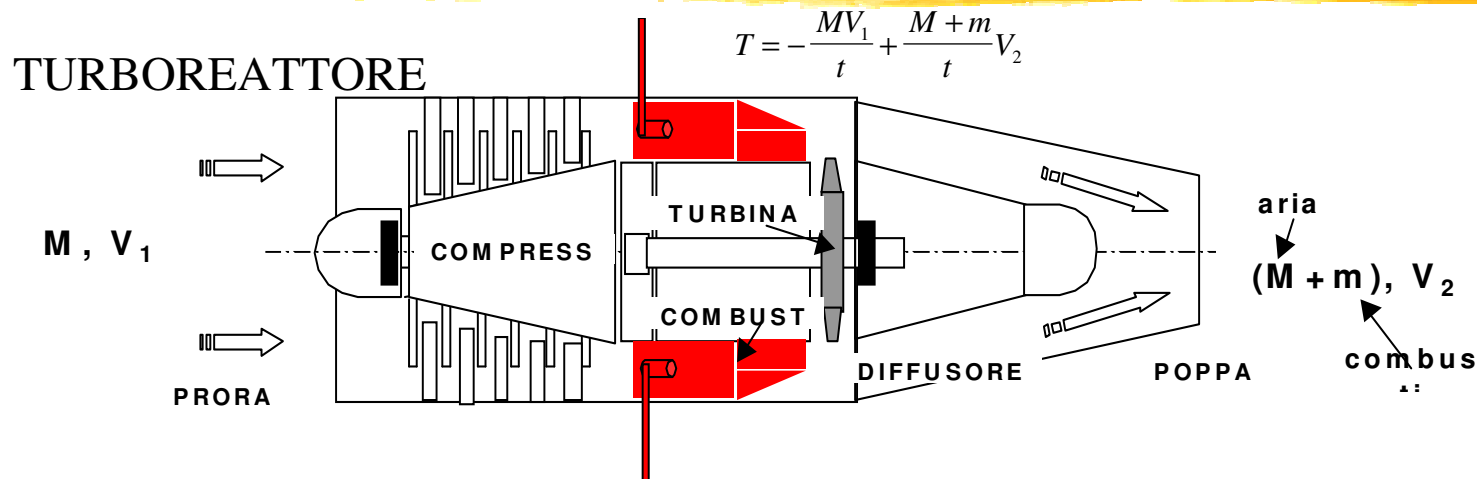


- ⌘ il principio è basato sull'idea che inclinando il piano di rotazione del rotore si determina una componente trasversale nella direzione dello spostamento desiderato
- ⌘ in realtà l'asse del rotore non è inclinabile, ma si ottiene lo stesso effetto variando ciclicamente il passo delle pale ciclicamente, due volte a giro
- ⌘ se ad esempio l'incidenza è maggiore nel mezzo giro anteriore, l'elicottero si inclina verso l'alto per l'aumento della portanza
- ⌘ operando dunque sul **passo collettivo** si comanda la salita, operando sul **passo ciclico** si comanda l'avanzamento
- ⌘ agendo su entrambi si può realizzare qualunque manovra
- ⌘ per il controllo di direzione si usa l'elica secondaria posta in coda, che comunque serve per evitare che l'elicottero giri su se stesso
- ⌘ anche per l'elica di coda si usa un passo variabile



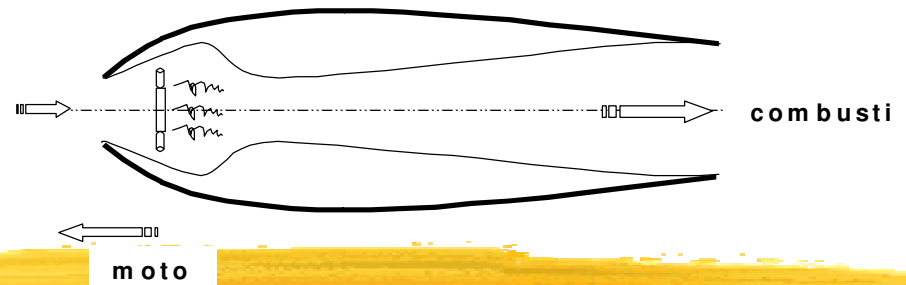


# Propulsione per reazione

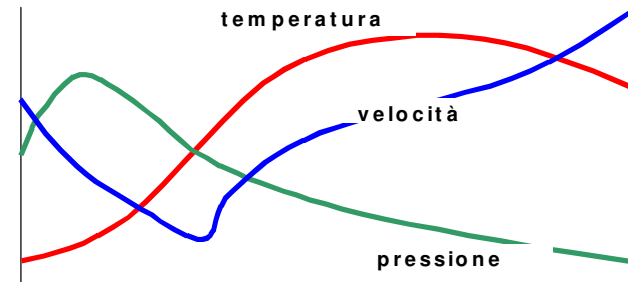


- ⌘ il compressore d'aria serve per aumentare il rendimento
- ⌘ è azionato da una turbina a gas, azionata dai gas di scarico
- ⌘ il turboreattore o turbogetto a parità di potenza rispetto a un motore alternativo
  - ☒ è più leggero (pesa 1/3)
  - ☒ condente migliori prestazioni a velocità e quote elevate
  - ☒ non ci sono vibrazioni e lubrificazione
  - ☒ è pronto al decollo dopo pochi secondi dall'accensione
  - ☒ non sono richiesti particolari controlli (tipo pressione olio, etc)
- ⌘ il turboelica funziona come un turboreattore, ma usa l'energia del fluido propellente per azionare in'elica, facilitando l'autosostentazione del motore all'avviamento

# Propulsione per reazione



## AUTOREATTORE



- ⌘ l'autoretore o statoretore è un tubo sagomato in cui l'aria
  - ⊠ entra per azione aerodinamica
  - ⊠ subisce una leggera compressione
  - ⊠ viene incendiata mediante il combustibile
  - ⊠ si riscalda, aumenta di pressione e produce l'acceleramento dei combusti che producono la spinta
- ⌘ è evidente che non è possibile avere spinta a punto fisso
- ⌘ il rendimento propulsivo è accettabile solo per velocità elevatissime
  
- ⌘ per realizzare la propulsione a razzo a bordo bisogna trasportare anche il comburente (es. ossigeno liquido)
- ⌘ il motore si chiama endoretore o endogetto

# Propulsori Termici

