



# **CORSO DI ISTITUZIONI DI INGEGNERIA AEROSPAZIALE**

## **Strutture dei Velivoli e Principi del volo**

**Fabrizio Nicolosi**



**MATERIALE WEB UTILE :**

**MOTI irrotazionali piani**

<http://www.diam.unige.it/~irro/>

**PAGINA CON SITI SULL'AERONAUTICA**

<http://www.mh-aerotools.de/airfoils/otherInk.htm>

**NASA GLENN LEARNING TECH PROJECT**

<http://www.lerc.nasa.gov/WWW/K-12/TRC/Aeronautics/AeronauticActivitiesHome2.htm>

**SITO di John Brandon Aviation Basics per piloti**

<http://www.auf.asn.au/groundschool/contents.html>

**SITO Selkirk College Per Piloti**

<http://142.26.194.131/> o anche <http://142.26.194.131/aerodynamics1/>

**AEROTECNICA - FAUSER**

<http://dida.fausser.edu/aero/homepage/princip.htm>

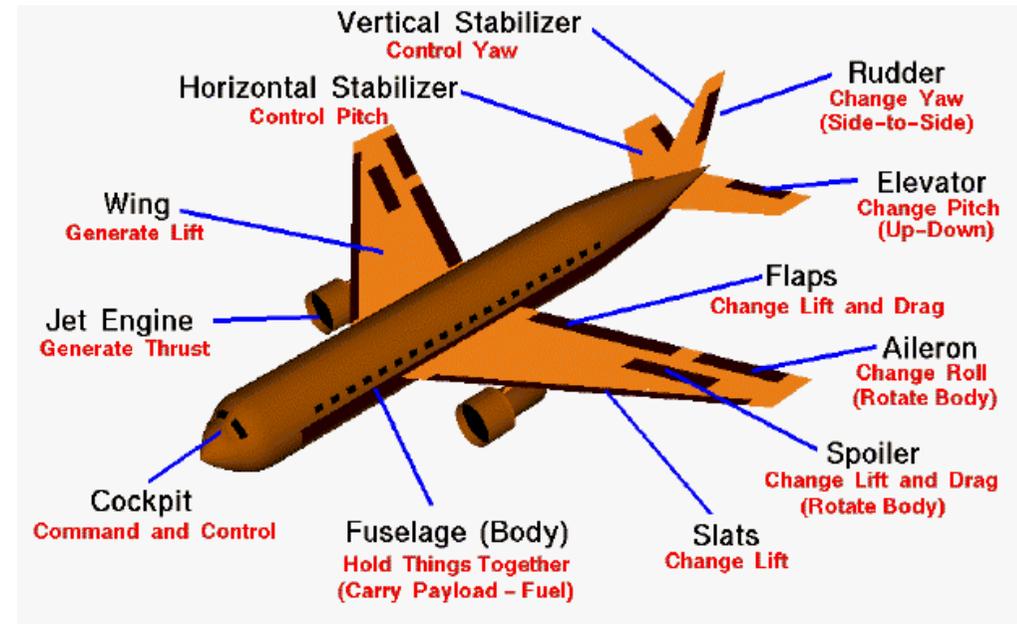
**DESKTOP AERO – Programmi di aerodinamica**

<http://www.desktopaero.com/appliedaero/preface/welcome.html>



## Parti di un velivolo

- Cabina (*cockpit*).
- Fusoliera (*fuselage*),
- Ipersostentatori del bordo d'entrata (*slats*),
- Diruttore (*spoiler*),
- Alettoni (*ailerons*),
- Ipersostentatori del bordo d'uscita (*flaps*),
- Timone di profondità o equilibratore (*elevator*),
- Timone di direzione (*rudder*),
- Piano fisso verticale o deriva (*vertical stabilizer*),
- Piano fis. orizz. o stabilizzatore (*horizontal stabilizer*), se tutto mobile stabilizzatore (*stabilator*)
- Ala (*wing*),
- Motore a getto (*jet engine*).

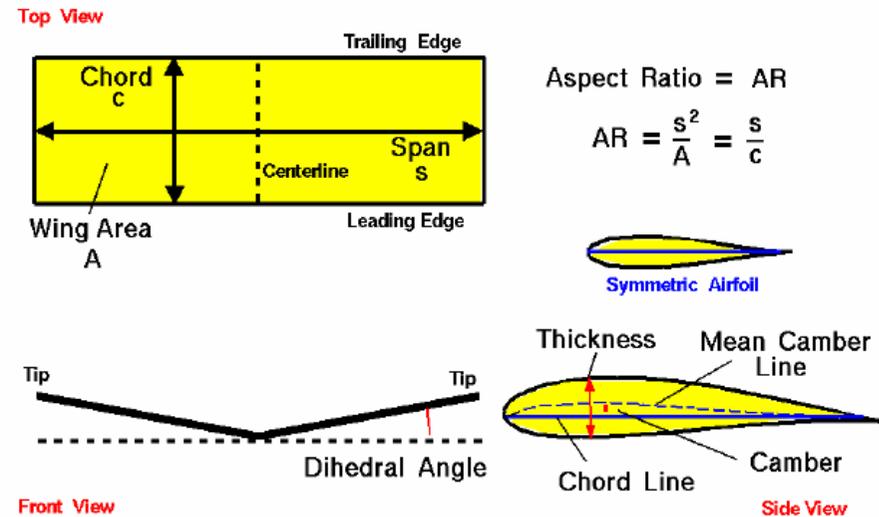




## L'ala

In figura viene indicata :  
 l'apertura alare, in inglese *span*,  
 la corda, (*chord*)  
 corda di radice  $c_R$  (*root chord*)  
 corda di estremità  $c_t$  (*tip chord*)  
 la mezzeria dell'ala, posta all'altezza  
 della mezzeria del velivolo (*centerline*)  
 i bordi d'attacco (*leading edge*) e  
 di uscita (*trailing edge*)  
 e l'area della superficie alare (*wing area*)  $S$

b  
c

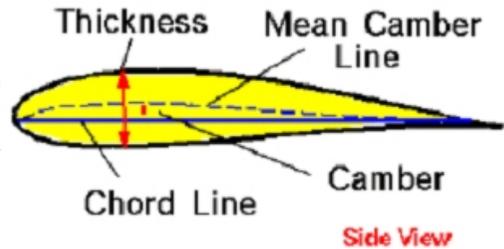


Sono indicate anche le estremità alari (*tips*)  
 l'angolo diedro (*dihedral angle*) solitamente indicato con  $\Gamma$   
 E' anche data le espressione dell'allungamento alare AR  
 (*Aspect Ratio*)

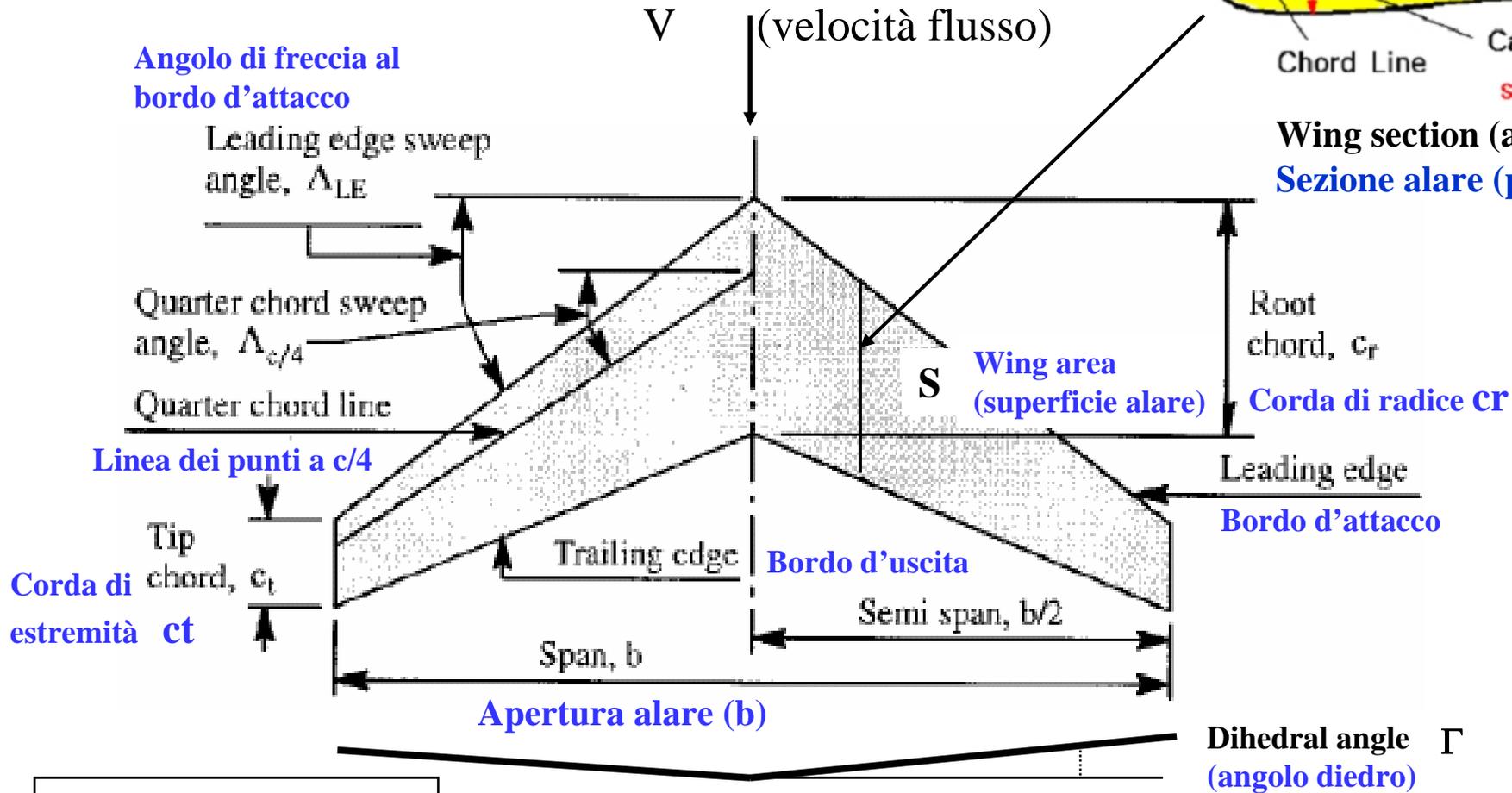
Sono mostrate inoltre due tipiche sezioni alari, la  
 simmetrica e la curva. La sezione alare è fatta a forma di  
 profilo (*airfoil* in inglese). Sono indicate la corda (*chord*  
*line*), la linea media (*mean camber line*) e lo spessore  
 (*thickness*)

**Aspect Ratio (AR):**

$$AR = \frac{b^2}{S}$$



Wing section (airfoil)  
Sezione alare (profilo)



**AR Aspect ratio (allungamento alare)**

$$AR = \frac{b^2}{S}$$

Sono parametri adimensionali

$\lambda = c_t/c_r$  taper ratio (0-1) (rapporto di rastremazione)

Le ali dei velivoli da trasporto sono caratterizzate da ali  
➤ Rastremate  
➤ a freccia

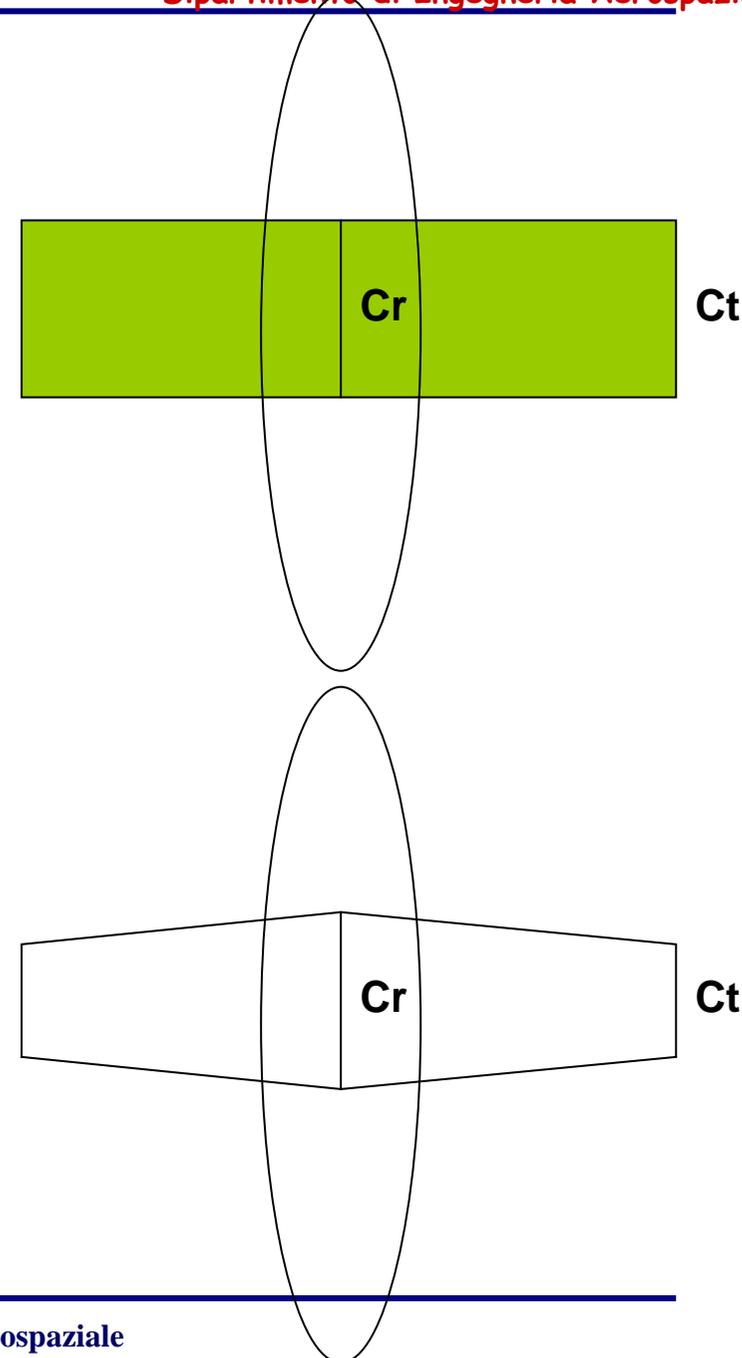


## L'ala – forma in pianta

L'ala può essere rettangolare (profilo costante) oppure essere rastremata (*TAPERED*), cioè con corda di estremità più piccola rispetto a quella di radice.

Il rapporto tra la corda di estremità ( $c_t$ ) e la corda di radice  $c_R$  viene detto rapporto di rastremazione (*taper ratio*) ed indicato con

$$\lambda = c_t/c_R < 1 \quad (\text{tipico da } 0.3 \text{ a } 0.7)$$



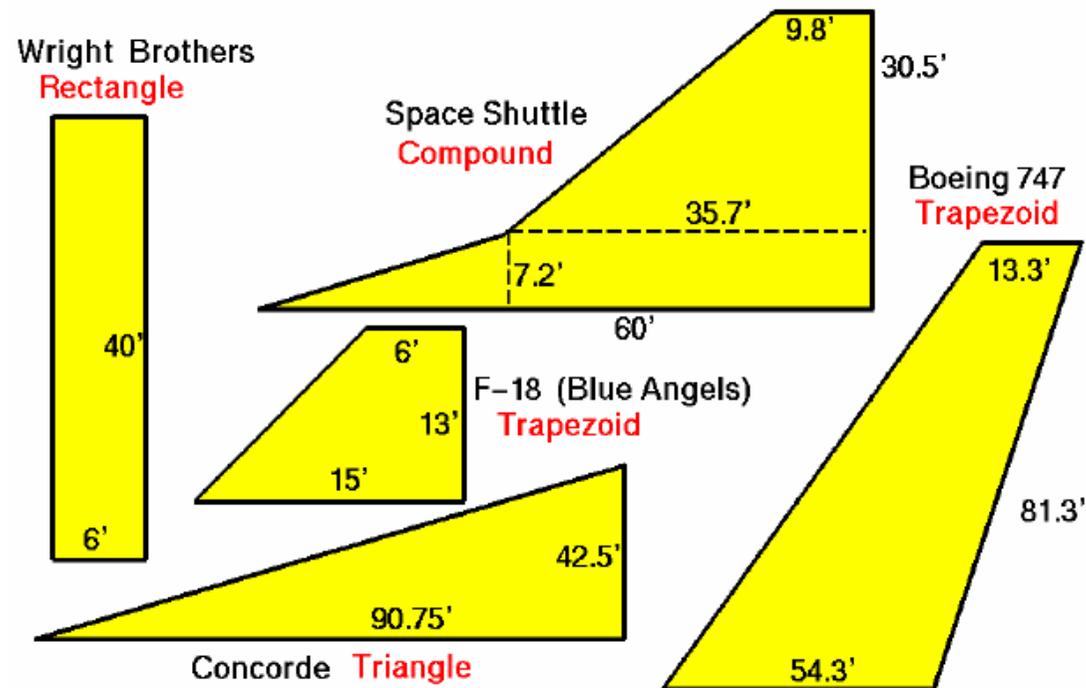


## Geometria dell'ala

L'ala rastremata (*tapered wing*) viene adottata principalmente perché sposta il carico di portanza verso la radice (corde maggiori forniscono forze di portanza maggiori). Ovviamente bisogna ragionare a parità di superficie alare necessaria a fornire la portanza che equilibra il peso del velivolo. Rastremando l'ala si riduce la sollecitazione flettente in corrispondenza dell'attacco ala-fusoliera.

⇒ Si riesce a ridurre il peso strutturale dell'ala

Si vede come vari aeroplani adottano ali con AR e rapporto di rastremazione differenti.





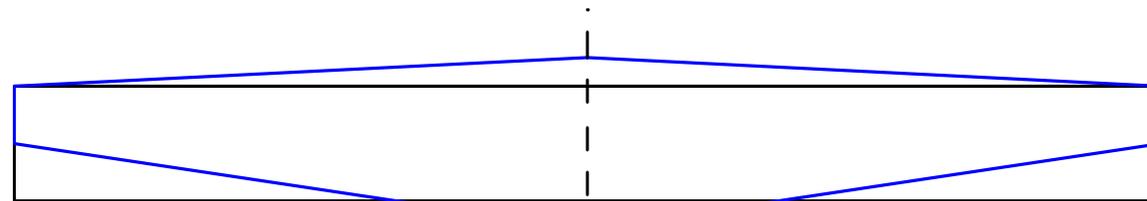
## Effetto della rastremazione

Le due ali hanno la stessa :  
Apertura  $b$   
Superficie  $S$   
Aspect Ratio  $AR=10$

$AR=10$

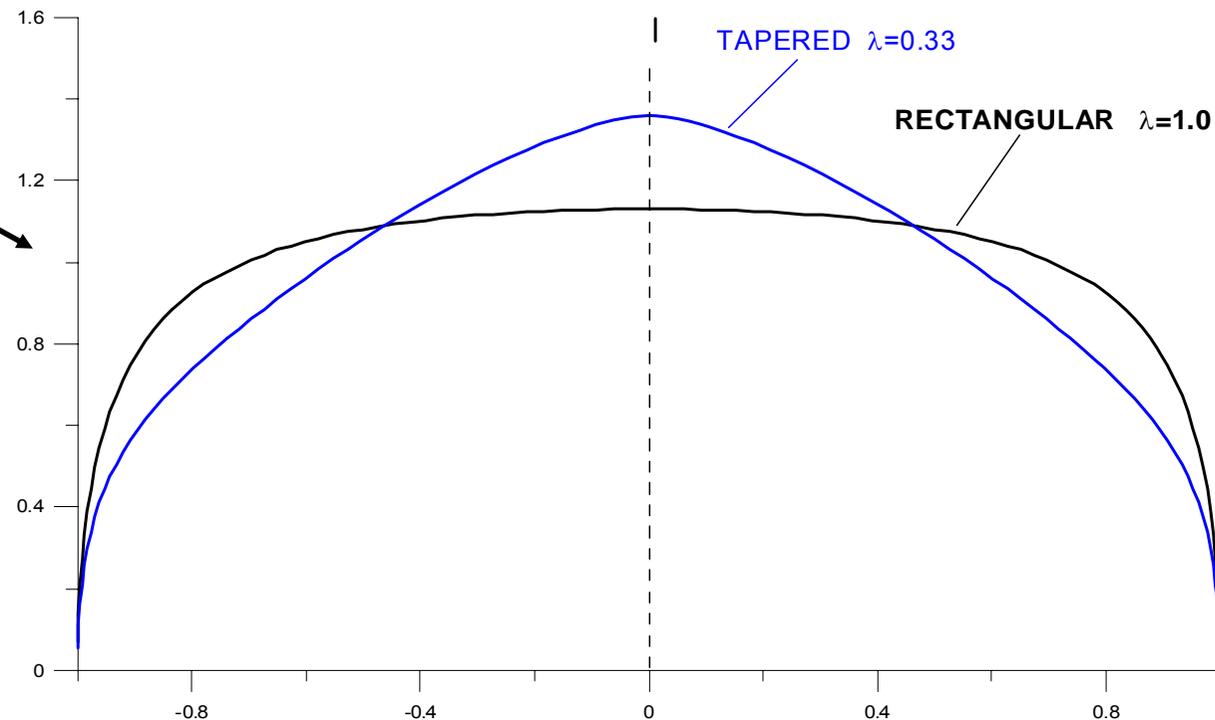
Rectangular wing  $\lambda=1$

Tapered wing  $\lambda=0.33$



Distribuzione di carico Aerodinamico

L'area sottesa dalle due curve (che rappresenta la portanza totale) è uguale per le due ali.





Viene definita la

### CORDA MEDIA AERODINAMICA

(*mean aerodynamic chord*)

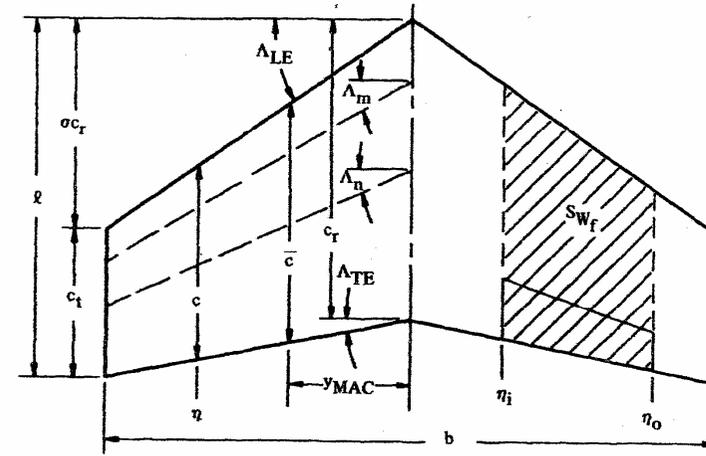
MAC

$$\bar{c} = \frac{2}{S} \int_0^{b/2} c(y)^2 dy$$

Si può anche introdurre una corda media come :

$$C_{av} = S/b$$

Solitamente ci si riferisce sempre alla corda media aerodinamica definita come sopra



Definitions

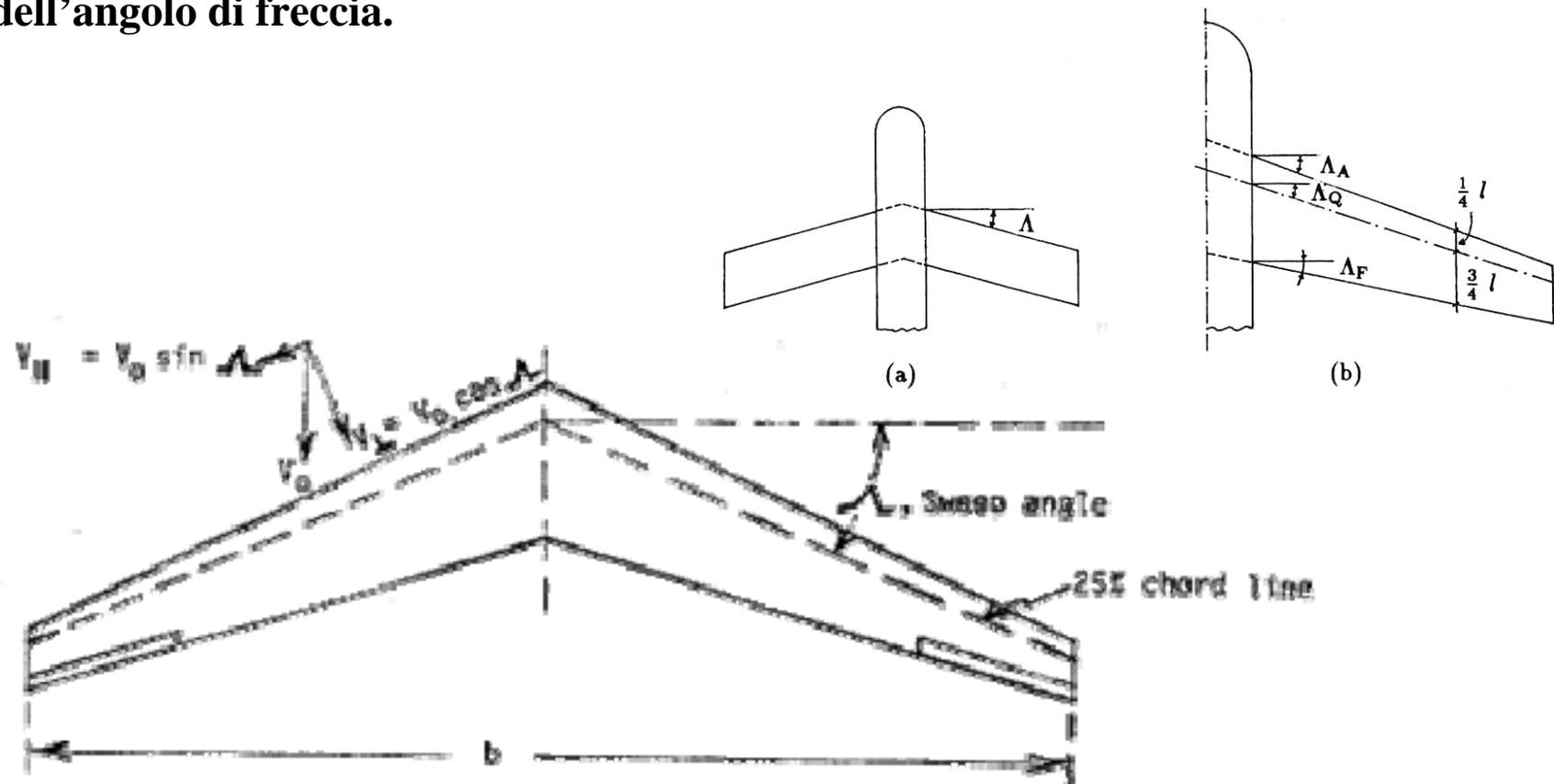
- b. wing span    *Apertura alare*
- c. chord of wing (parallel to axis of symmetry) at any given span station y  
*Corda alare parallela all'asse di simmetria a ciascuna stazione y lungo l'apertura*





I velivoli che operano a velocità elevate (transonico e alto transonico) (cioè numero di Mach tra 0.6 e 0.9) , devono adottare un certo angolo di freccia (*sweep angle*).

L'angolo di freccia riduce la componente di velocità della corrente (cioè del Mach) perpendicolare al bordo d'attacco. A riduzione è legata proprio al coseno dell'angolo di freccia.



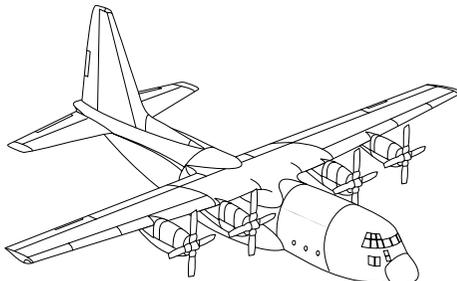


*Aspect Ratio (AR):*

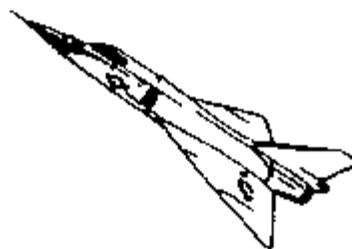
$$AR = \frac{b^2}{S}$$

*Note:  $AR = b/c$  for rectangular wings.*

*High AR*



*Low AR*



*Typical Values*

*Fighters: 2-5*

*Transports: 6-10*

*Gliders: 10-15*



*Aspect Ratio (AR):*

$$AR = \frac{b^2}{S}$$

*Valori tipici:*

*1 Lockheed Electra AR=7.5*

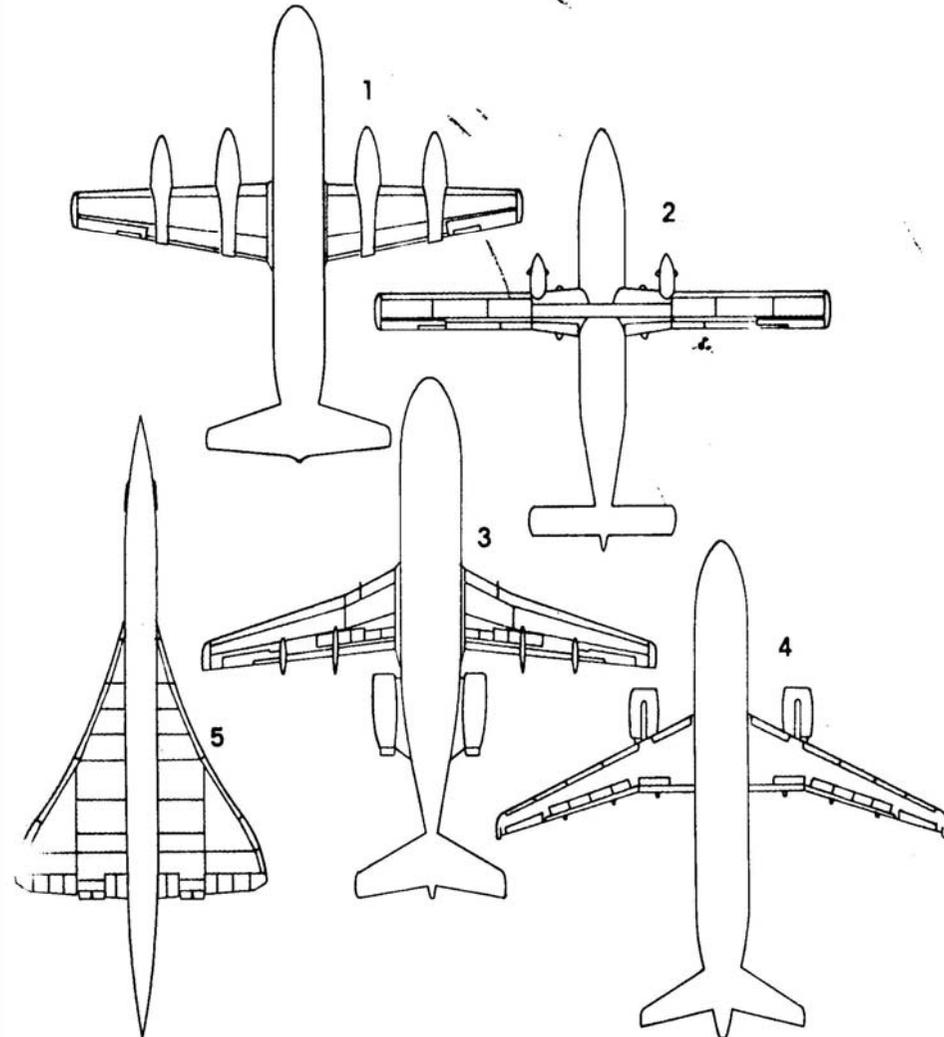
*2 Shorts 360 AR=12.4*

*3 Fokker F28 AR=8*

*4 Airbus A320 AR=9.4*

*5 Concorde AR=2*

Allungamenti alari a confronto



27

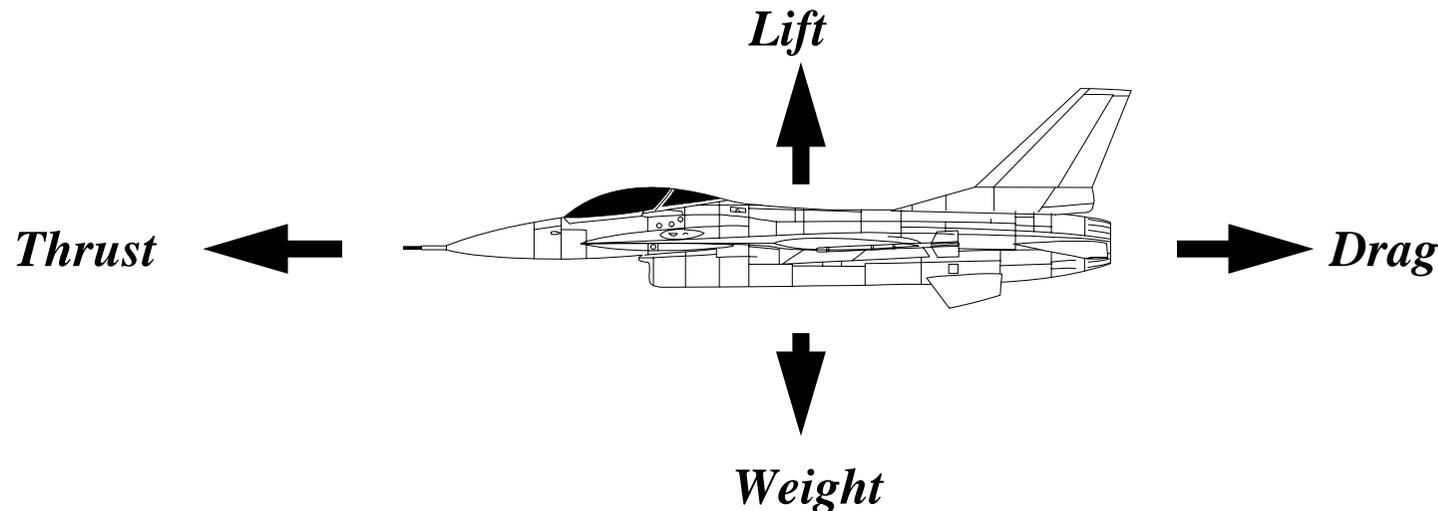


## PRINCIPI DEL VOLO

### Velivolo in volo rettilineo livellato non accelerato

- La portanza  $L$  (*Lift*) equilibra il peso  $W$  (*Weight*)
- La spinta  $T$  (*Thrust*) è in equilibrio con la resistenza aerodinamica  $D$  (*drag*)

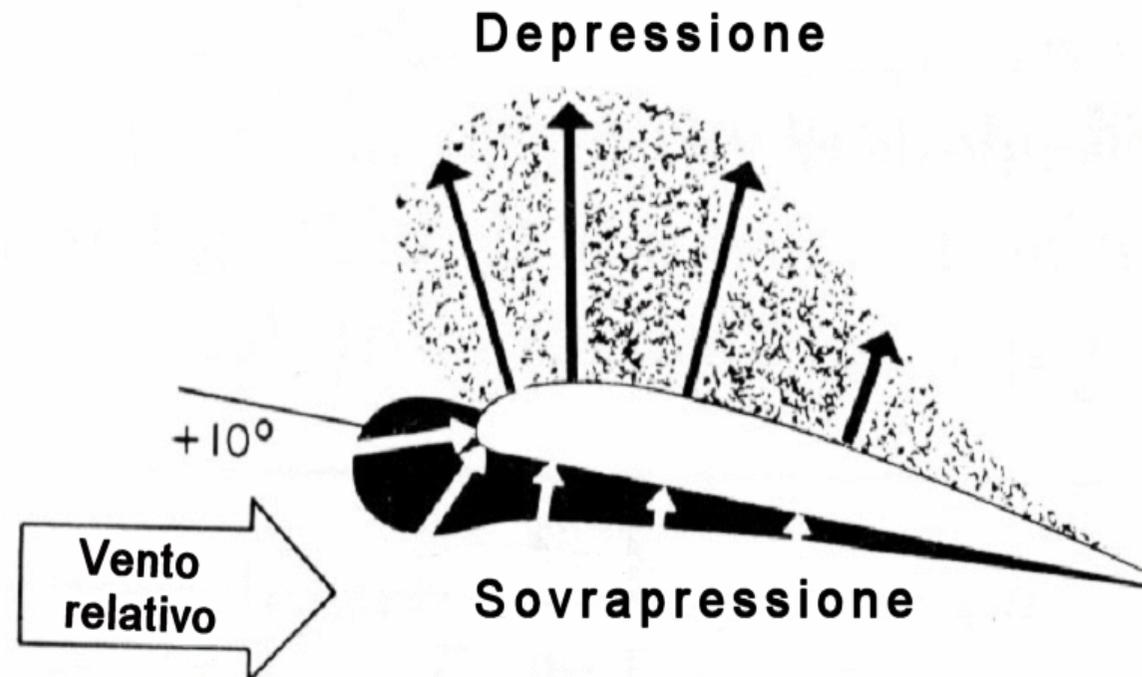
La portanza è generata grazie al movimento dell'aereo rispetto al fluido (aria).





## PRINCIPI DEL VOLO

La portanza viene generata grazie ad una differenza di pressione tra la zona dorsale (dorso) e la zona ventrale (ventre). In particolare la velocità relativa tra ala ed aria determina una forte riduzione di pressione per l'aria che scorre sul dorso dell'ala. Il bilancio tra pressione bassa sul dorso e leggera sovrappressione sul ventre determina una forza netta di portanza diretta verso l'alto. In pratica è come se l'ala fosse risucchiata verso l'alto per effetto del moto.





## PRINCIPI DEL VOLO

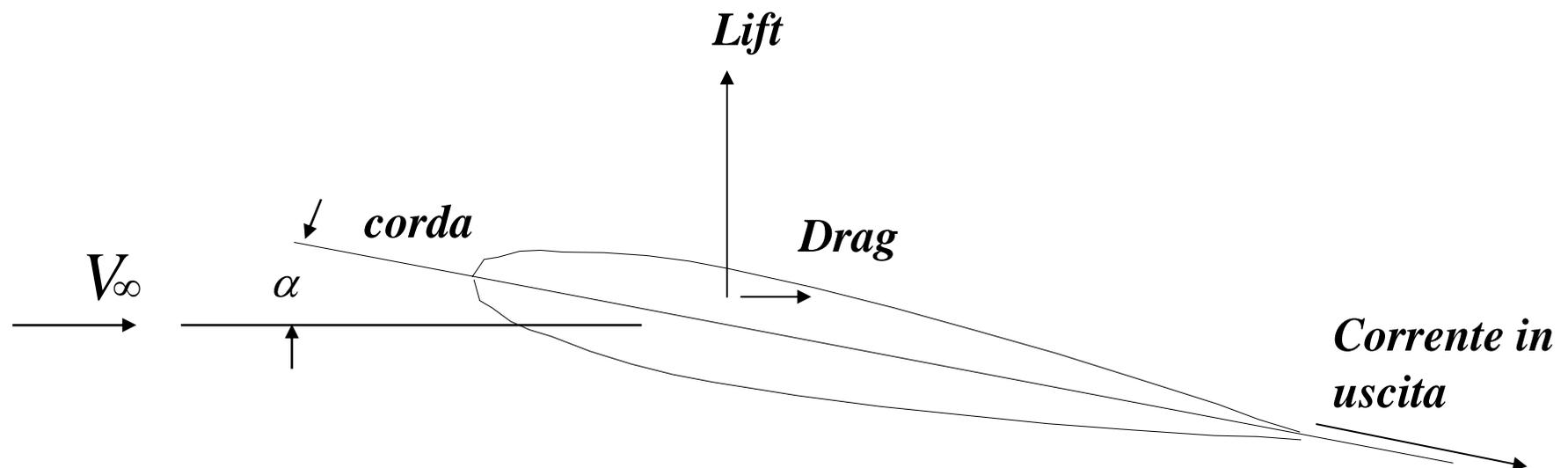
La spiegazione più corretta della portanza è però quella connessa alla terza legge di Newton (Principio di azione e reazione).

L'ala devia verso il basso il flusso d'aria che la attraversa e la interessa.

La deviazione è connessa all'angolo d'attacco, chiamato  $\alpha$ .

Si può comprendere quindi abbastanza facilmente che la portanza dipenderà :

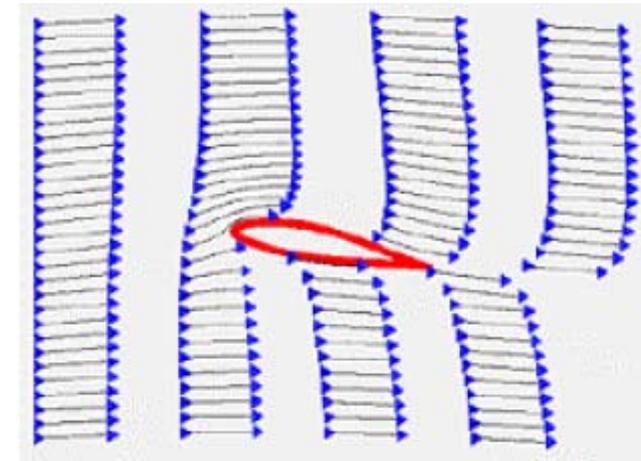
- dalla superficie dell'ala (collegata alla quantità d'aria "trattata")
- dalla densità dell'aria (alla quale è legata la massa d'aria "trattata")
- dalla deviazione, collegata all'angolo d'attacco  $\alpha$



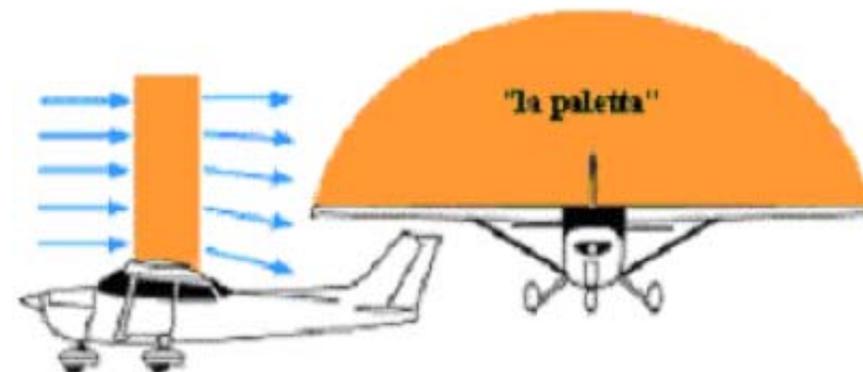


## PRINCIPI DEL VOLO

Si può vedere dalle figure che l'aria subisce una deviazione verso l'alto in prossimità del bordo d'attacco e poi una verso il basso quando abbandona il profilo alare al bordo d'uscita.



In definitiva è come se l'ala agisse come una "paletta", deflettendo una certa quantità d'aria verso il basso





*Aspect Ratio (AR):*

$$AR = \frac{b^2}{S}$$

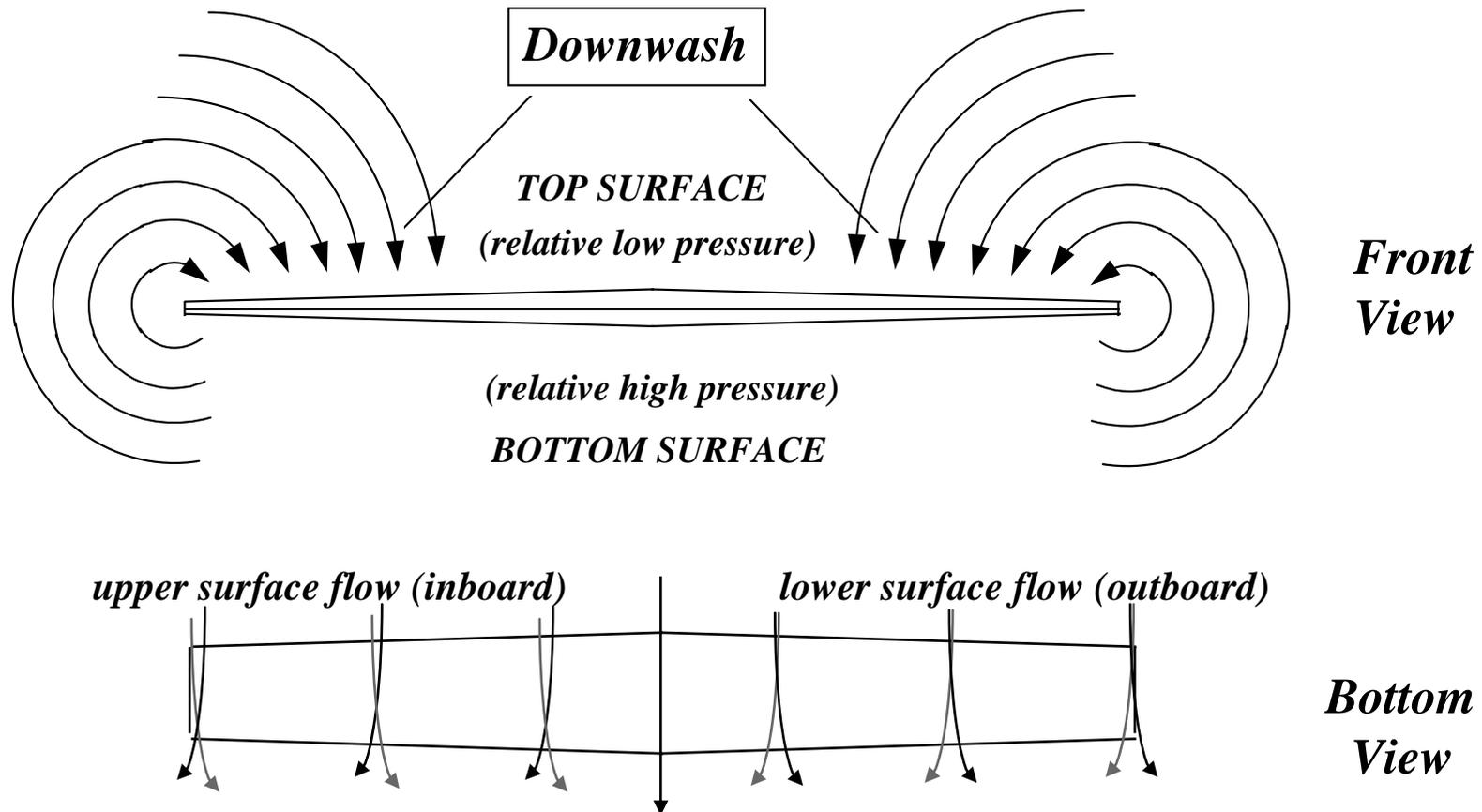
*AR elevato è sempre positivo da un punto di vista aerodinamico (migliore portanza e minore resistenza indotta).*

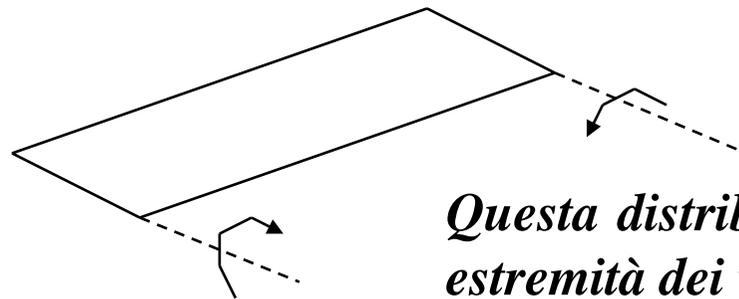
*E' evidente che valori troppo elevati di AR comportano però un aumento della sollecitazione strutturale flettente alla radice dell'ala ( a parità di peso e quindi di portanza da generare per il volo). E' quindi altresì chiaro che un'ala con AR maggiore avrà anche maggiore peso strutturale. Non dimentichiamo che il progettista di velivoli tende sempre ad ottimizzare il rapporto tra il peso strutturale del velivolo ed il peso del cosiddetto "carico UTILE", cioè carico pagante(passeggeri o merci) e carico di combustibile.*



## Flusso su di un'ala – Vortici di estremità e downwash

Alle estremità alari il flusso sul ventre ad alta pressione va verso il dorso dove l'aria è a pressione inferiore.

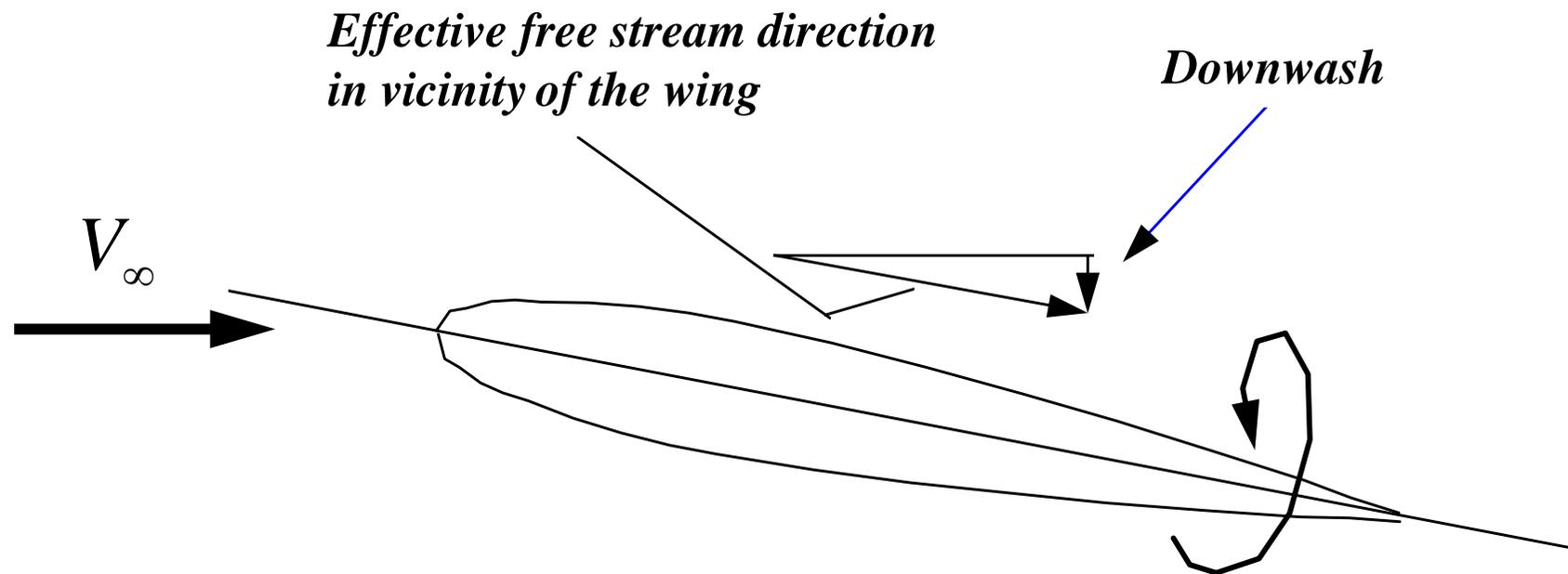




## Wingtip Vortices

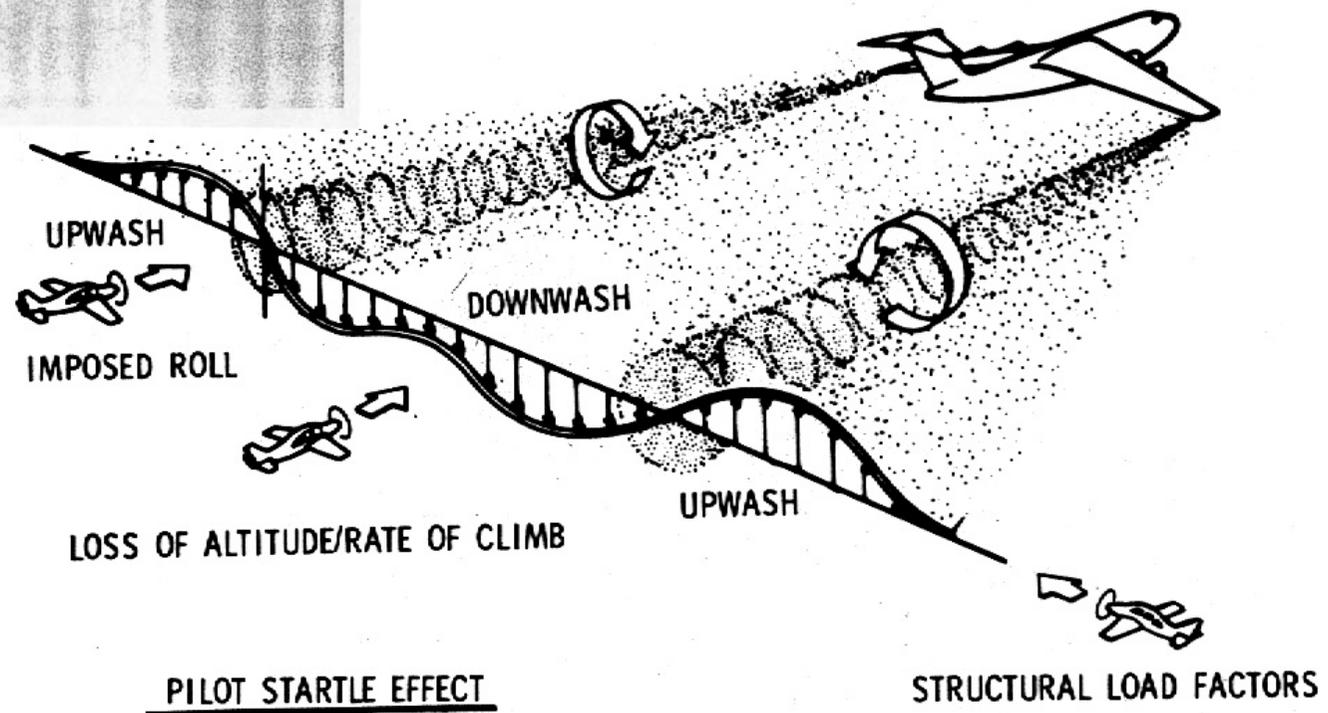
*Questa distribuzione di pressione e flusso produce alle due estremità dei vortici che si estendono a valle.*

*Tali vortici vanno però a modificare anche la direzione della corrente che investe l'ala. Tale deflessione della corrente viene detta "downwash".*





## Wingtip Vortices

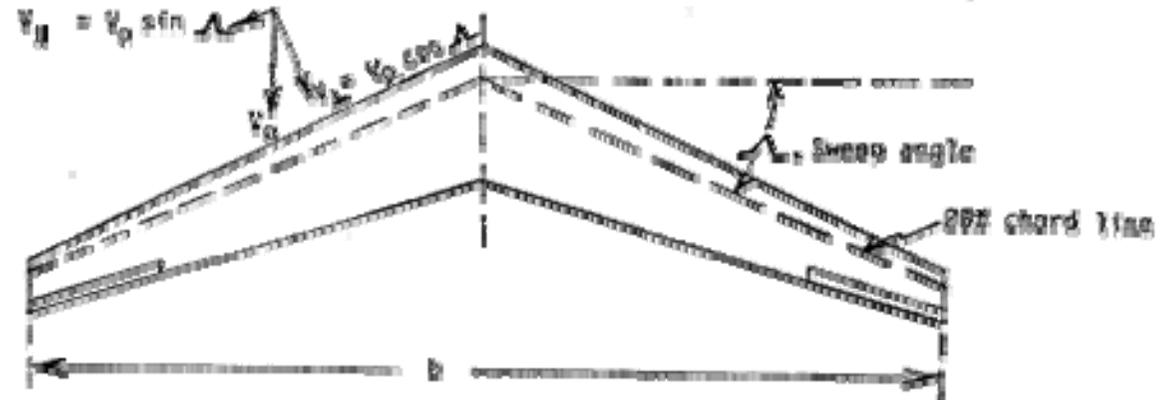




## L'ala – caratteristiche geometriche

L'angolo di freccia riduce la componente di velocità della corrente (cioè del Mach) perpendicolare al bordo d'attacco.

⇒ Mach Critico più alto



L'angolo di freccia (sweep angle)  $\Lambda$  riduce però la capacità portante dell'ala alle basse velocità. Per i velivoli da trasporto (che devono avere anche buone prestazioni di decollo ed atterraggio) esso è perciò limitato a 25-30°.



## Fusoliera

Parametri geometrici di particolare interesse sono :

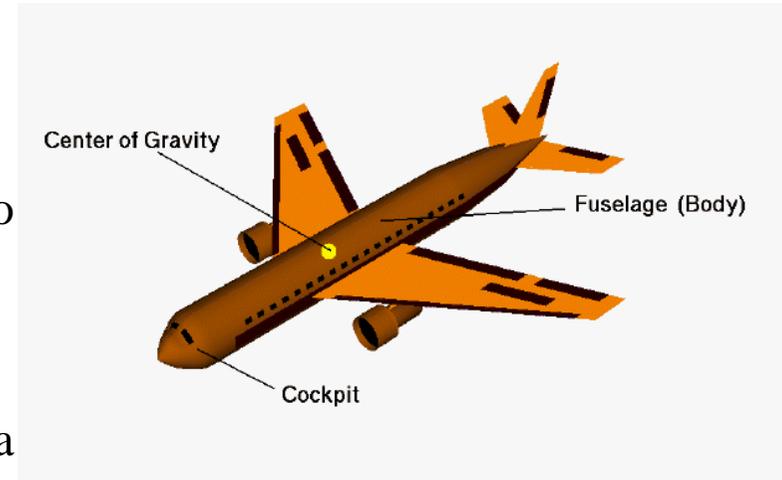
=> **Il rapporto di snellezza (fineness ratio) L/D**

(dove L è la lunghezza della fusoliera e D il diametro della sezione massima)

**L/D varia tra 5 e 6**

=> **L'area bagnata Swet**

che rapportata alla sup. alare ( $S_{rif}$ ) è, in media, pari a circa 2 volte



TIPO	L/D	$S_{RIF}$ (ft <sup>2</sup> )	$S_{WET}$ (ft <sup>2</sup> )	$S_{WET}/S_{RIF}$
Beech Baron	5.69	199.2	362	1.82
Beech Bonanza	4.98	181	323	1.78
Beech Duke	5.59	212.9	586	2.28
Beech King Air	6.06	294	652	2.22
Beech Sierra	5.22	146	332	2.27
Cessna 185	5.15	176	292	1.68
Cessna 207	5.69	174	425	2.44
Cessna 210	5.02	175	319	1.82
Cessna 310	5.40	179	306	1.71
Cessna 414	5.52	195.7	488	2.49
Gates Learjet	8.80	232	502	2.16
Piper Navajo	5.97	229	502	2.19

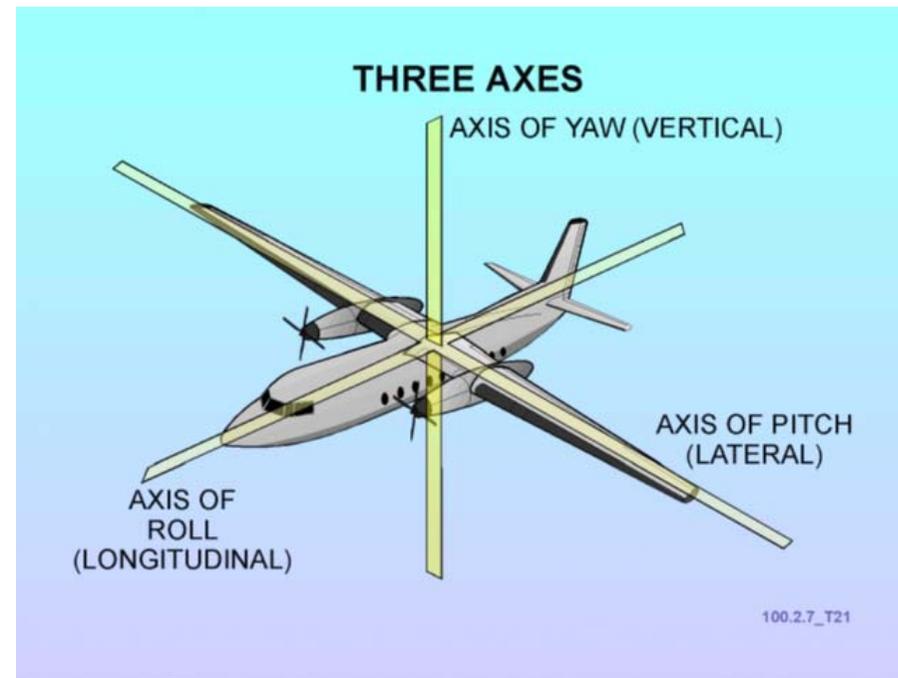
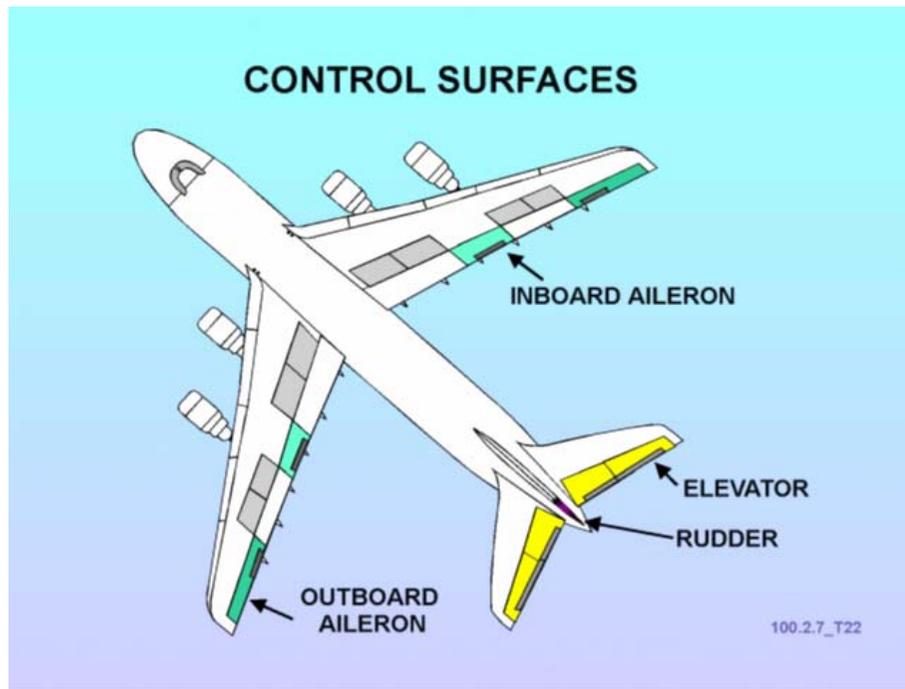


## Comandi di volo

### Comandi primari

Vengono usati dal pilota (attraverso la cloche e la pedaliera) per controllare l'assetto del velivolo.

- Equilibratore (**elevator**) controlla il moto di rotazione di pitch (rot asse y)
- Alettoni (**aileron**) controllano il rollio (roll) (rot asse x)
- Timone (**rudder**) controlla la rotazione di yaw (rot asse z)





## Piano di coda orizzontale ed equilibratore

**Stabilizzatore (tutto il piano, garantisce la stabilità)**

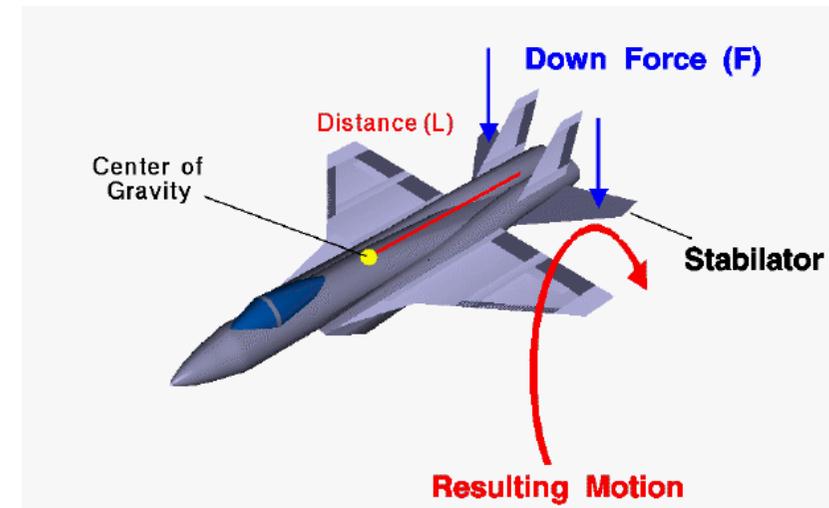
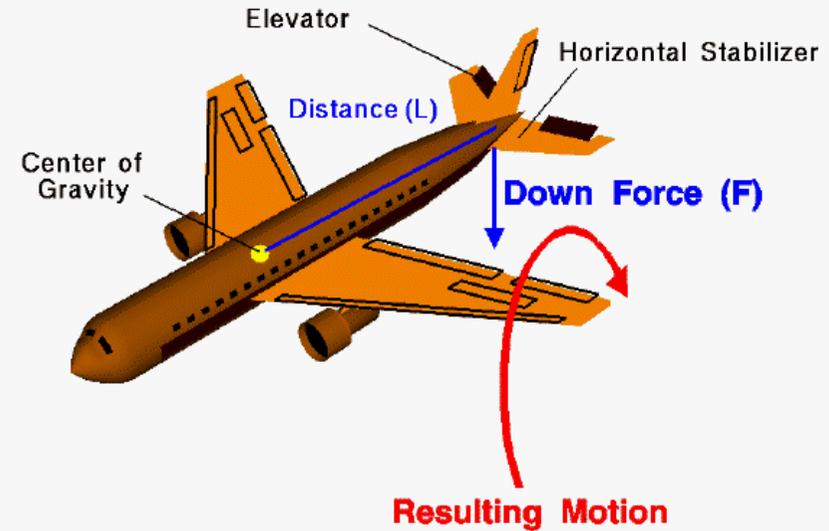
**Equilibratore (*elevator*) (parte mobile, garantisce l'equilibrio a varie velocità e la manovrabilità)**

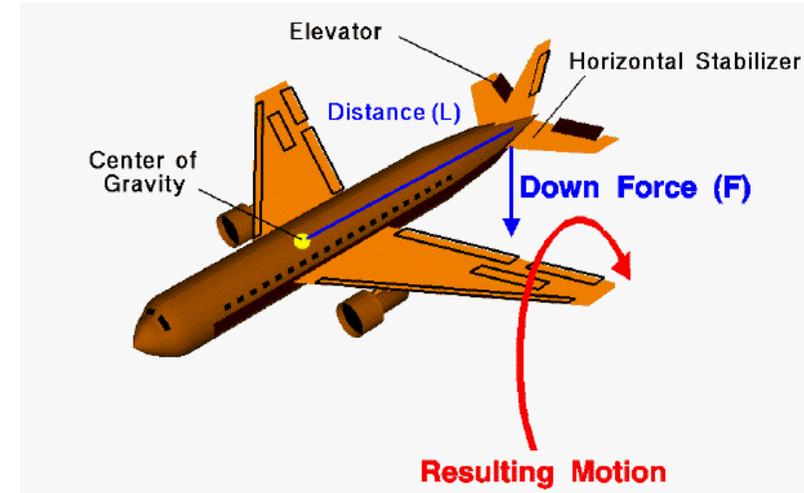
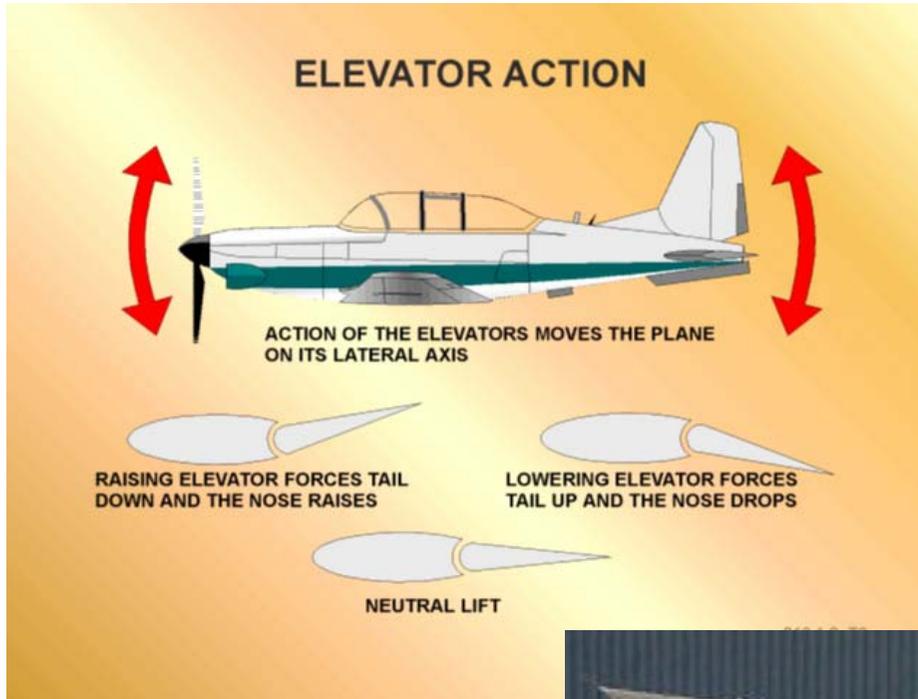
**L'equilibratore, attraverso variazioni di portanza aerodinamica sullo stabilizzatore, determina rotazioni e variazioni dell'assetto del velivolo.**

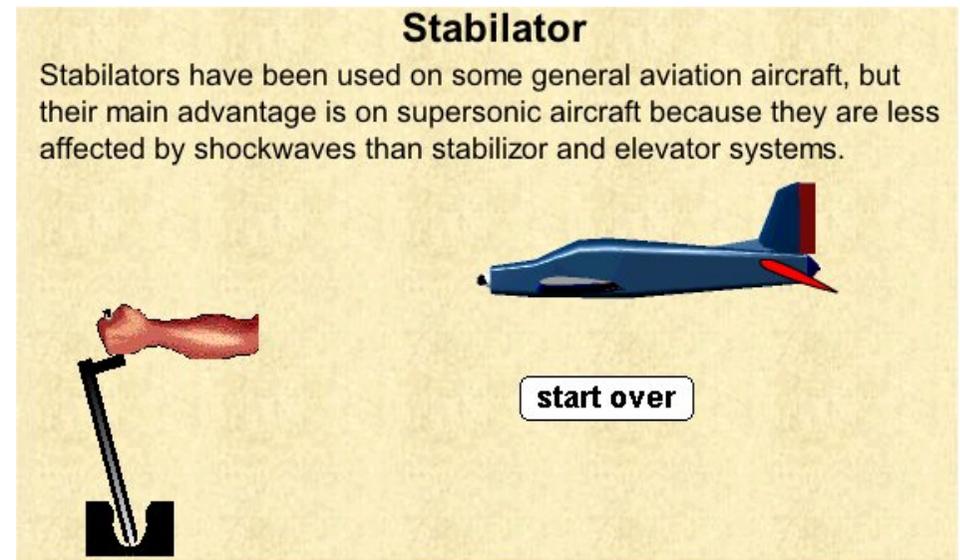
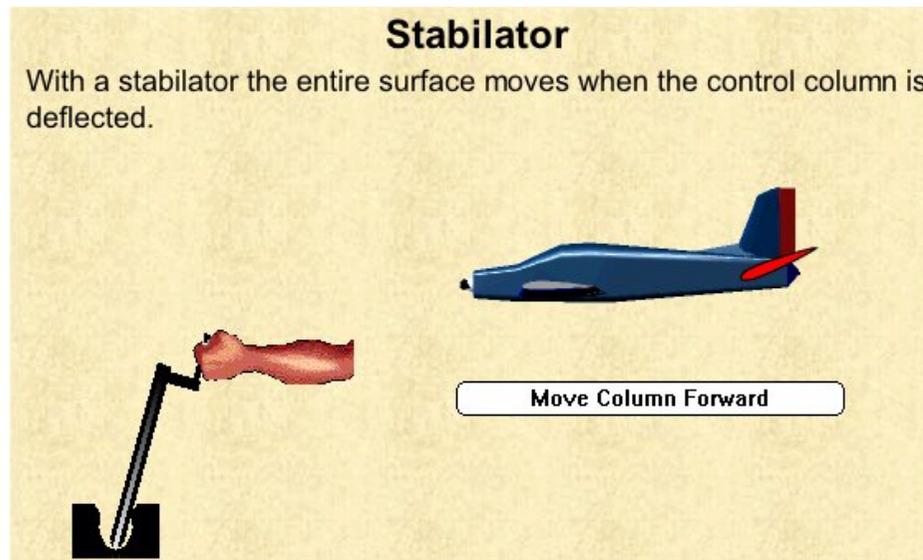
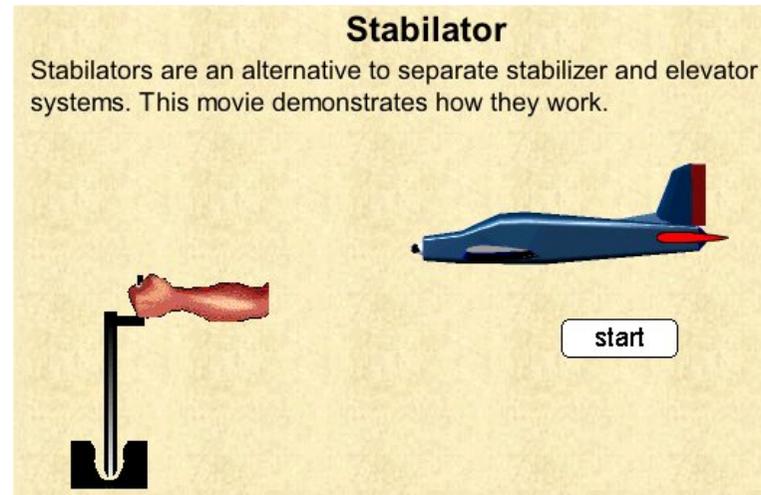
**Il piano di coda tutto mobile è detto STABILITORE (*stabilator*). E' usato solo su velivoli leggeri o velivoli militari. Ha maggiore efficacia, ma è soggetto a forti sollecitazioni all'attacco. Può quindi essere usato :**

⇒ **Se la velocità di volo è bassa (basse forze aerodinamiche)**

⇒ **Se si utilizzano soluzioni strutturali (ad esempio materiali come il titanio) complesse e costose, non convenienti per velivoli da trasporto.**





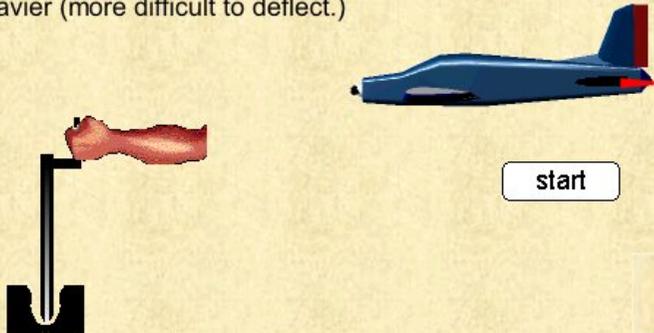




## Tab (rientrano tra le superfici di controllo secondarie)

### Servo and Anti-Servo Tabs

The force required to deflect the controls is a very important factor in good aircraft design. Servo tabs are used to make the controls lighter (easier to deflect) anti-servo tabs are used to make the controls heavier (more difficult to deflect.)



Il tab è collegato meccanicamente all'equilibratore.

Il servo-tab si deflette in direzione opposta all'equilibratore.

In tal modo "aiuta" il pilota a muovere la superficie di controllo, riducendo lo sforzo.

### SERVO-TAB

The servo is mechanically linked to the elevator in such a way that it deflects opposite to the elevator. As a result it "helps" the pilot move the control. In other words the control will feel lighter to the pilot due to the servo tab.





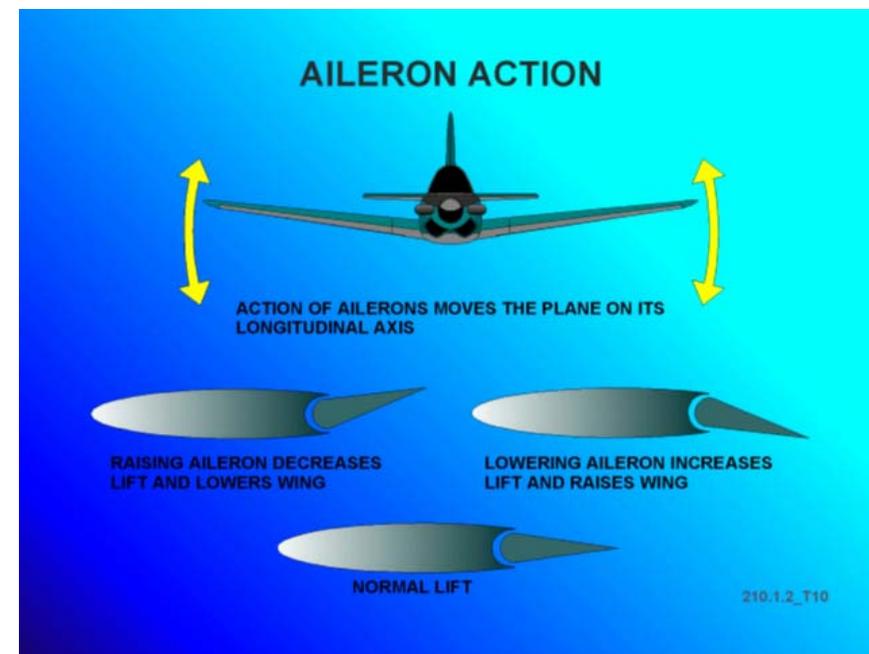
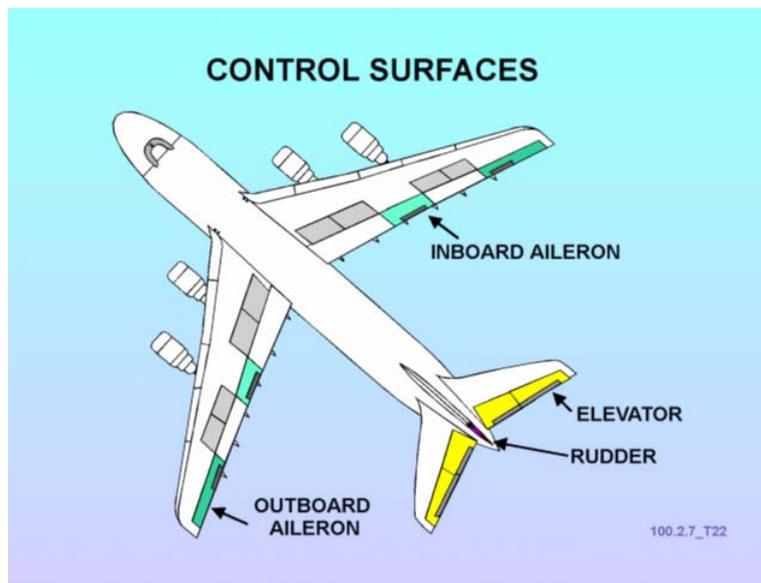
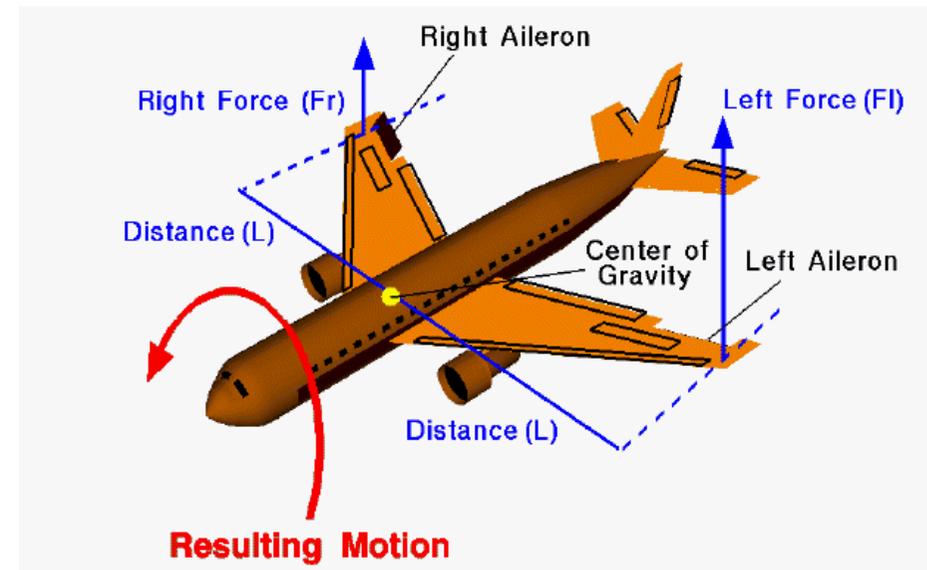
## Alettoni

Sono superfici aerodinamiche di controllo poste al bordo di uscita dell'ala nelle due zone esterne.

Deflettendosi in modo asimmetrico provocano una riduzione di portanza su di una semiala ed un incremento sull'altra.

⇒ Moto di rollio

**VENGONO USATI PER EFFETTUARE MODIFICHE DI DIREZIONE ATTRAVERSO LA MANOVRA DI VIRATA.**





## Alettoni

Sui velivoli da trasporto a getto di grosse dimensioni sono presenti :

- alettoni esterni (OUTBOARD) o anche alettoni di bassa velocità  
vengono usati alle basse velocità

- alettoni interni (INBOARD) o alettoni di alta velocità

vengono usati alle velocità elevate per ridurre le sollecitazioni di flessione e torsione che deriverebbero dall'azionamento di quelli esterni.





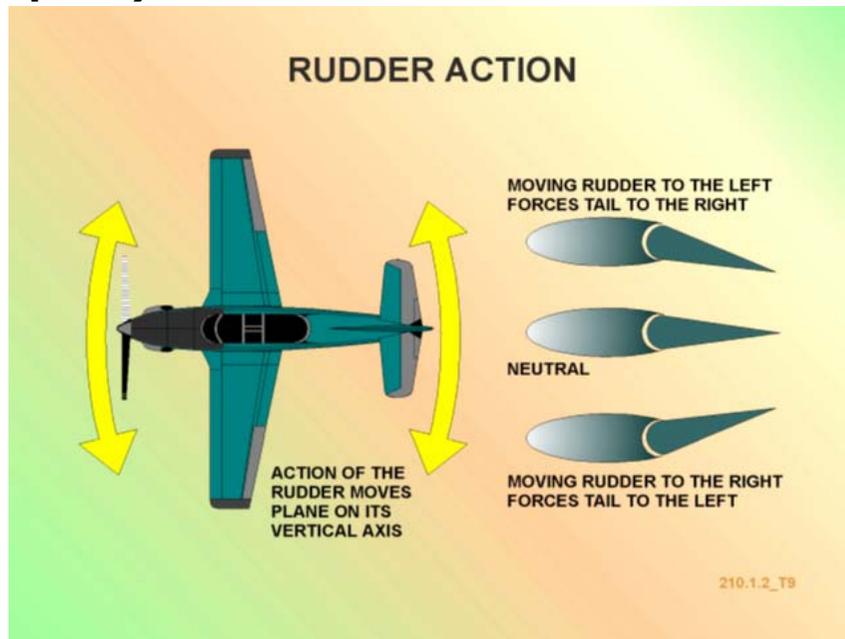
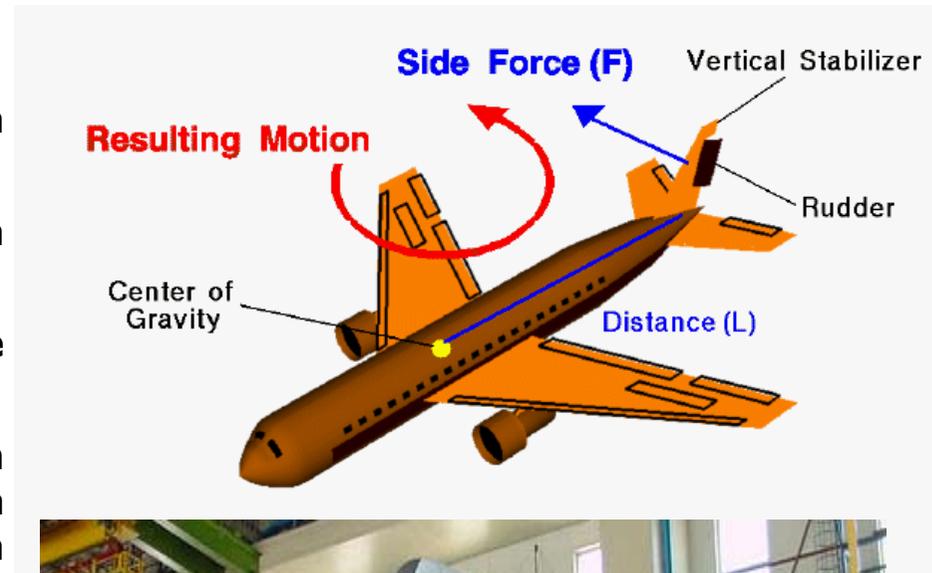
## Piano di coda verticale

**Deriva** (*vertical stabilizer*) garantisce la stabilità direzionale del velivolo.

**Timone** (*rudder*) fornisce la manovrabilità ed il controllo dell'assetto direzionale.

Il timone viene azionato dal pilota tramite la pedaliera.

Il timone ad esempio deve essere usato in atterraggio quando il velivolo incontra vento al traverso (cioè perpendicolare alla pista).





## Configurazioni particolari

Ci sono velivoli nei quali il comando dell'equilibratore e del timone sono fusi.

La superficie di controllo viene definita

### **RUDDERVATOR**

Viene usato a volte nei velivoli militari

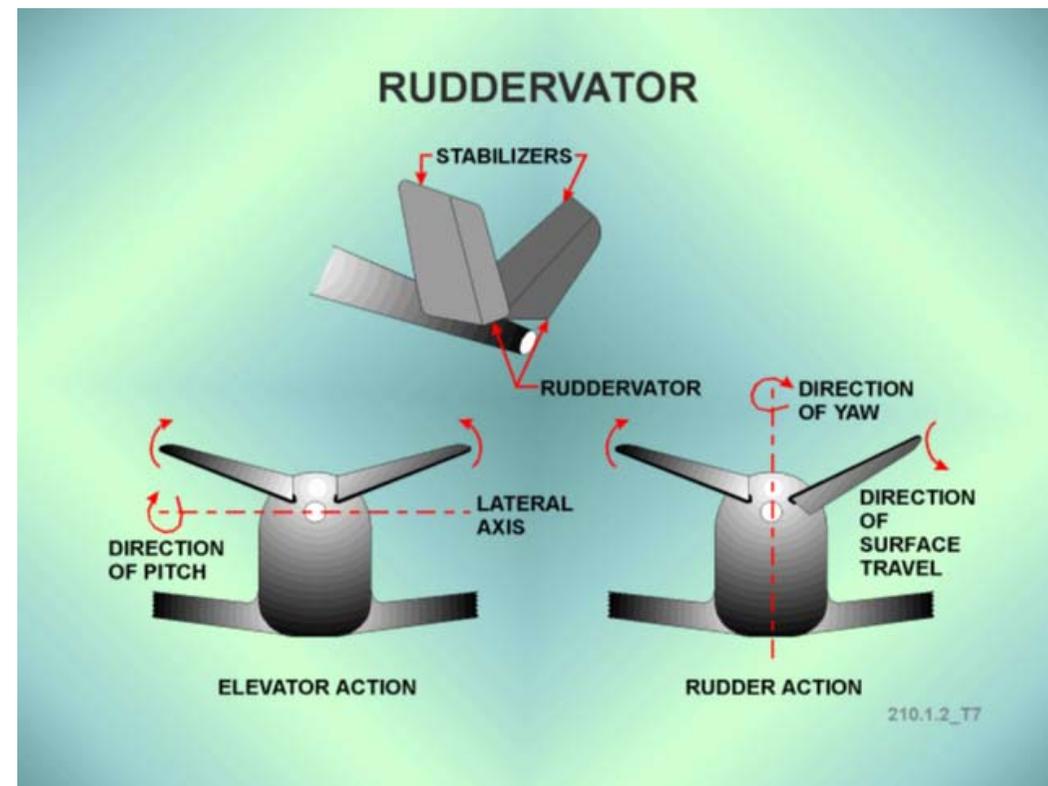


#### Vantaggi:

- 2 superfici anziché 3
- minore resistenza di interferenza

#### Svantaggi

- I comandi risultano complessi





## Configurazioni particolari

### TAILLESS AIRCRAFT – Velivoli senza coda

Sono molto rari.

Spesso hanno una configurazione di ala a

Ad es. :

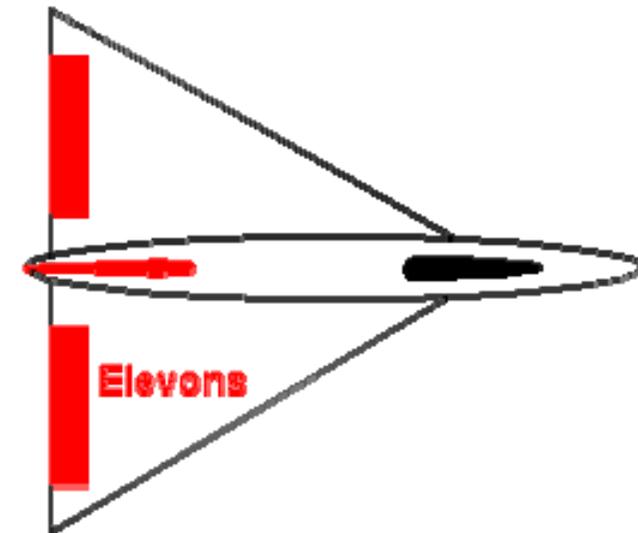
- Caccia militari
- Velivoli supersonici (Concorde)



In tal caso il comando dell'equilibratore (per far cabrare-picchiare il velivolo) è combinato con quello degli alettoni.

**ELEVONS (detti in Italiano ELEVONI)**

- Quando il pilota tira il volantino le due superfici si deflettono in modo concorde
- Quando il pilota gira il volantino (roll) le due superfici si deflettono in modo discorde





## Configurazioni particolari

### VELIVOLI CANARD

Lo stabilizzatore ed il comando si trovano a prua.  
La superficie è detta **CANARD**

Il canard ha il vantaggio rispetto allo stabilizzatore-equilibratore di coda di essere quasi sempre portante.

⇒ Aumenta l'efficienza globale del velivolo

Nei velivoli da trasporto non si adotta perché  
È complesso, costoso e pesante.  
Infatti è necessario prevedere una opportuna **STRUTTURA** di collegamento del canard nella zona di prua, in prossimità della cabina.





## Configurazioni particolari

### VELIVOLI A 3 SUPERFICI

**Il canard viene usata come superficie fissa per ridurre i carichi di equilibrio sulla coda. Aumenta l'efficienza globale del velivolo.**



**PIAGGIO P180**



## Superfici di controllo secondarie

**Sistemi di ipersostentazione:**

- Flap (al bordo di uscita)
- Slat (al bordo d'attacco)

Altre superfici sono :

- **TAB**

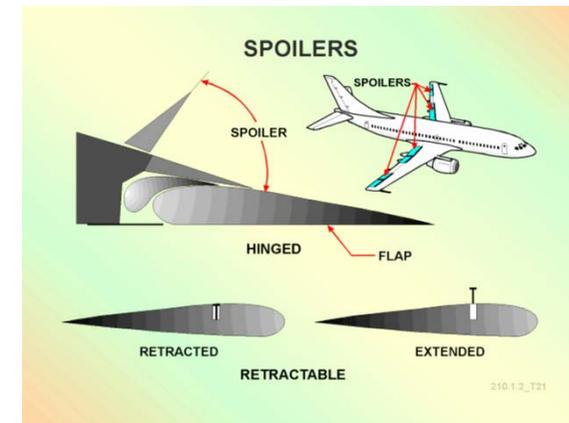
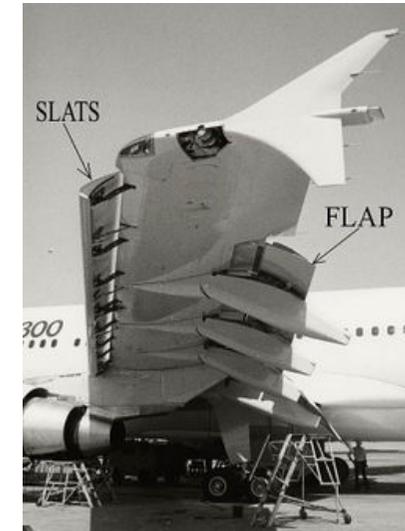
Assistono il pilota nel controllo delle superfici primarie (equilibratore, alettoni e timone) ad esempio alleviandone lo sforzo

- **SPOILER**

Detti anche diruttori di portanza provocano una perdita di capacità portante all'ala riducendo così l'efficienza aerodinamica del velivolo. Vengono usati in fase di discesa prima dell'atterraggio oppure una volta a terra, per schiacciare il velivolo sulla pista ed aumentare l'efficacia dei freni.

- **AEROFRENI**

Servono per frenare il velivolo (aumentano la resistenza). Un tipo di aerofreno è ad esempio il paracadute che viene aperto in atterraggio per lo Space Shuttle.

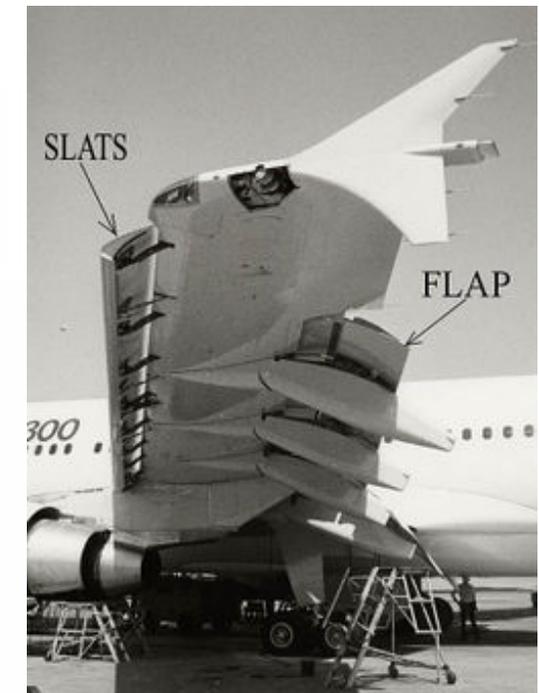
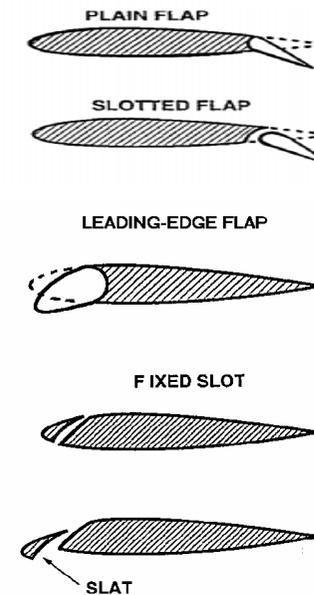
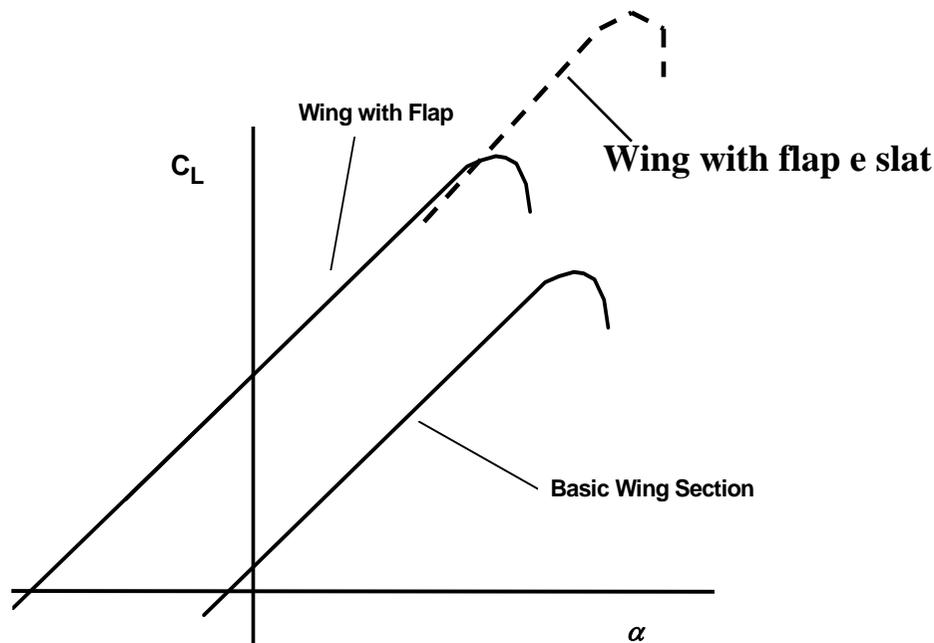
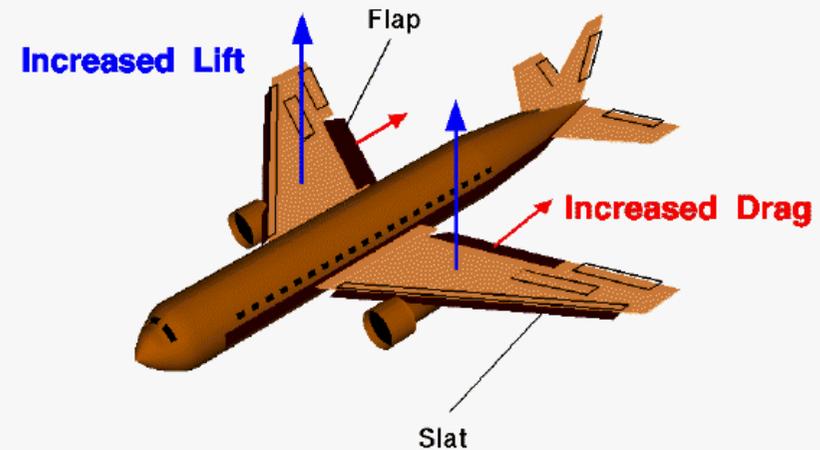




## Ipersostentatori – Flap / Slat

I sistemi di ipersostentazione al bordo di uscita (flaps) e al bordo di attacco (slats) permettono di incrementare la capacità portante dell'ala e quindi il valore del  $C_{Lmax}$  del velivolo nelle fasi di decollo e atterraggio

- Flap : modifica la curvatura del profilo e quindi fornisce incremento di portanza
- Slat : permette al profilo di avere lo stallo ad angoli d'attacco più alti energizzando il flusso sul dorso.

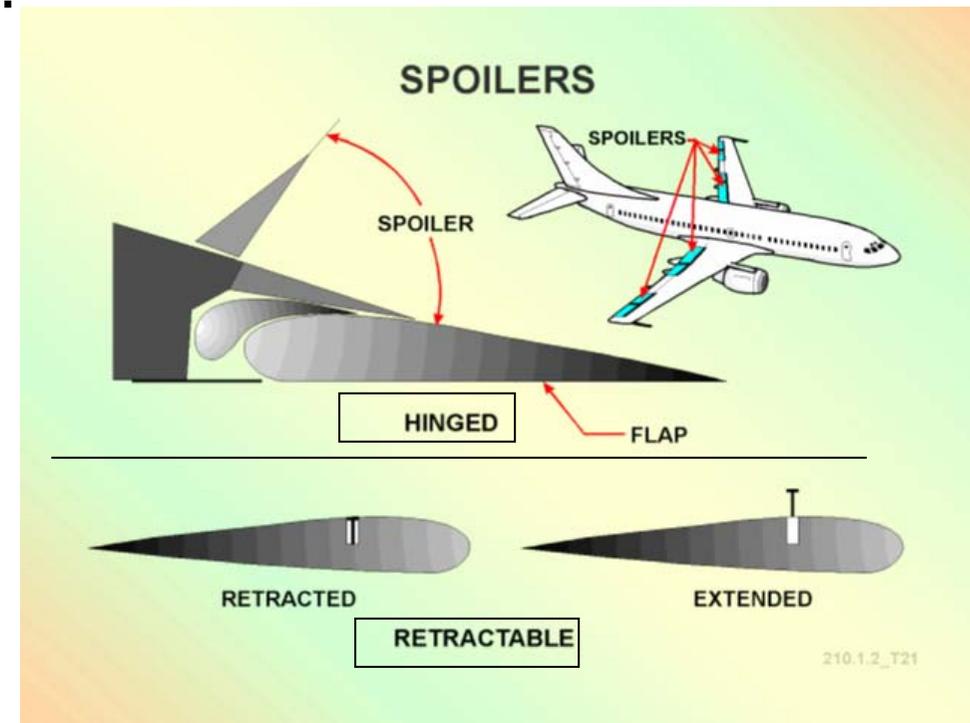
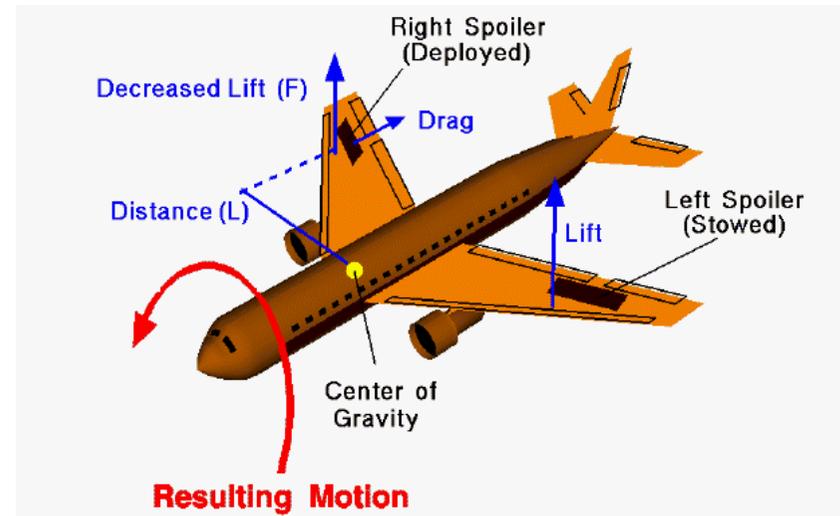




## Flight Spoiler (Diruttori di portanza)

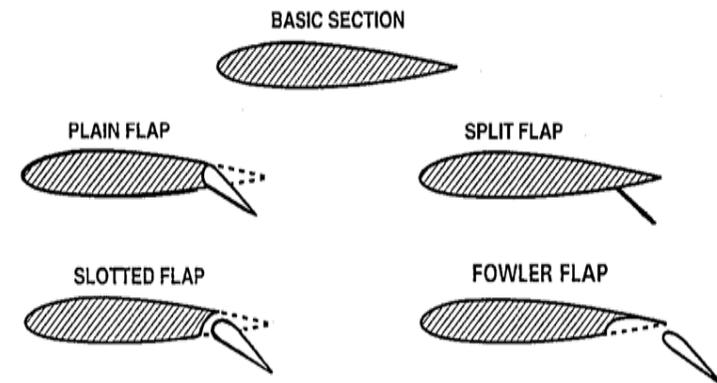
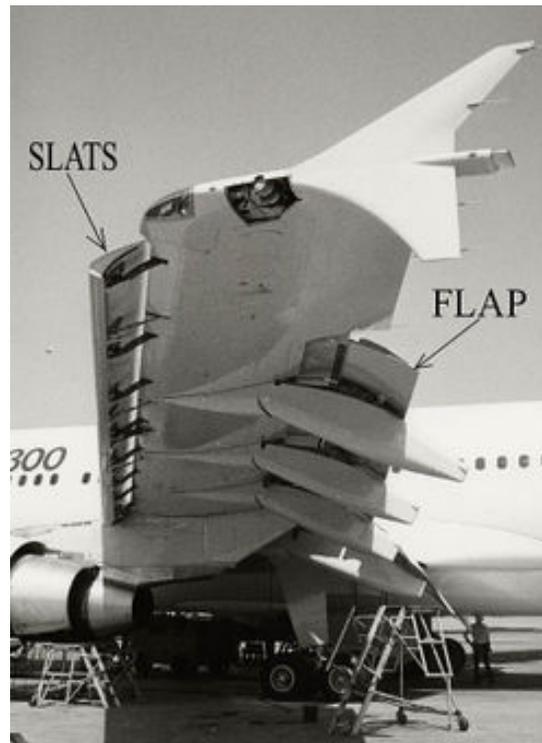
Sono pannelli incernierati (Hinged) o bordini retrattili (Retractable) posti sul dorso dell'ala.

- Riducono la portanza al fine di effettuare discese controllate senza ridurre la potenza o aumentare la velocità (se sono azionati simultaneamente lungo l'ala).
- Assistono il controllo trasversale quando vengono azionati l'uno indipendentemente dall'altro e congiuntamente agli alettoni.



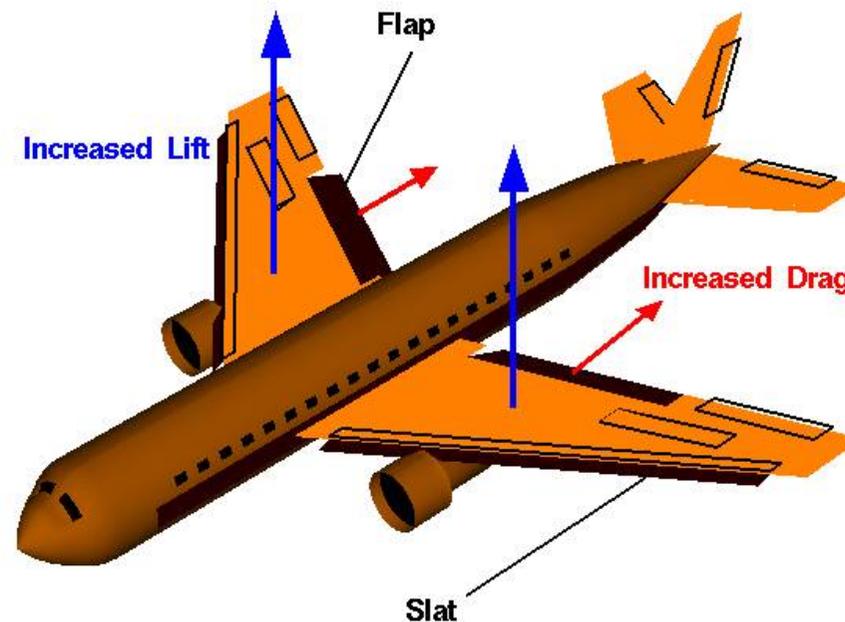
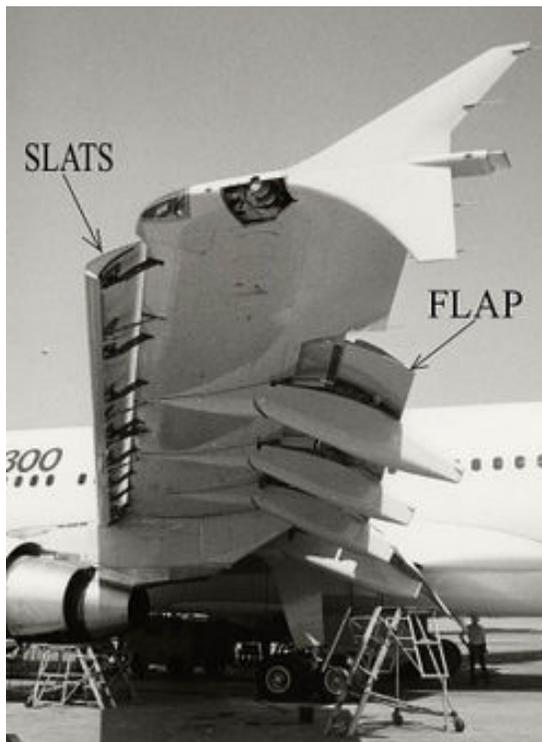


# *IPERSOSTENTATORI (FLAPS/SLATS)*





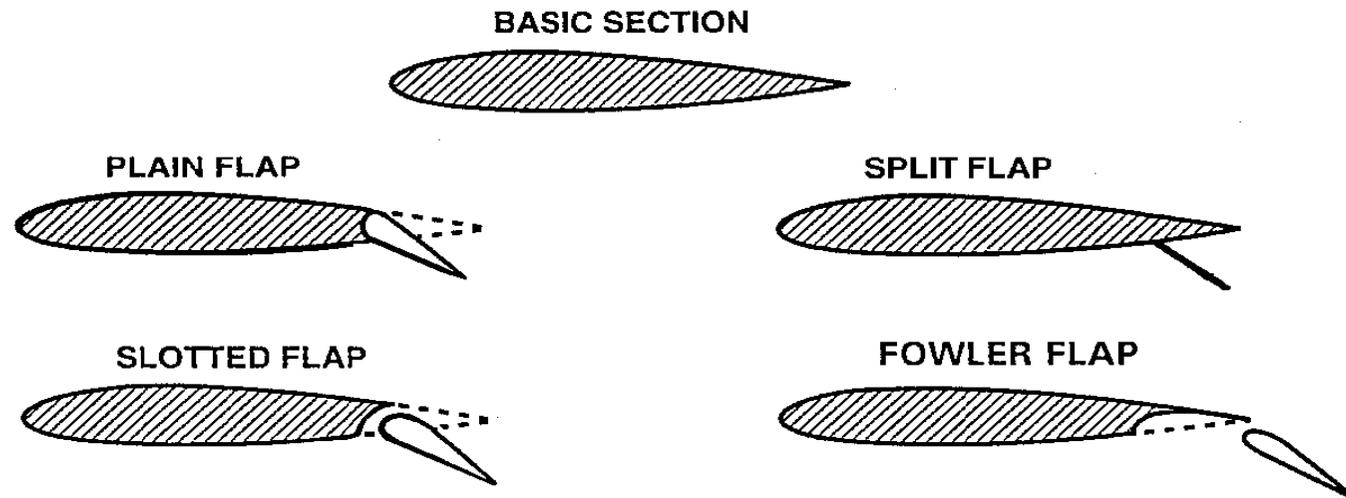
- I profili a bassa curvatura sono buoni per le alte velocità
- Il velivolo deve però operare anche a bassa velocità, soprattutto in decollo e atterraggio
- I sistemi di ipersostentazione al bordo di uscita (flaps) e al bordo di attacco (slats) permettono di incrementare la capacità portante dell'ala e quindi il valore del  $C_{L \max}$  del velivolo nelle fasi di decollo e atterraggio  $C_{L \max}$





## VARI TIPI DI FLAP:

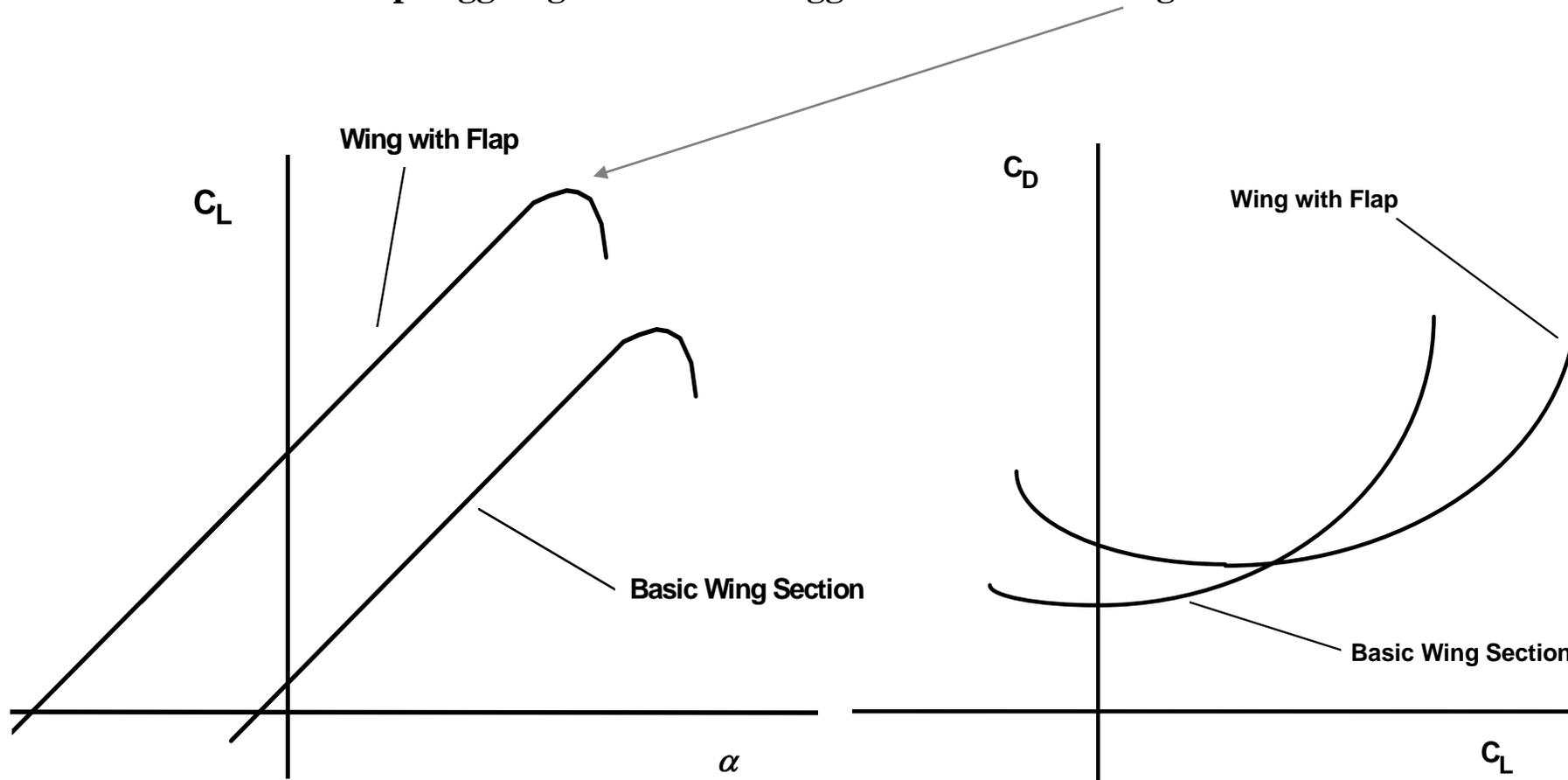
- **Plain flap** : modifica la curvatura del profilo
- **Split flap** : come il plain, ma causa un forte aumento della resistenza di scia
- **Slotted flap** : rispetto al plain flap lo slot(fessura) permette un "soffiamento" che migliora la capacità portante riducendo la separazione del flusso
- **Fowler flap** : oltre agli effetti precedenti il fowler flap comporta anche un aumento della superficie alare (la corda aumenta nella zona flappata)





# Effetto su portanza e resistenza del flap

Nota: L'ala con flap raggiunge un  $C_{lmax}$  maggiore ma stalla ad angolo d'attacco minore

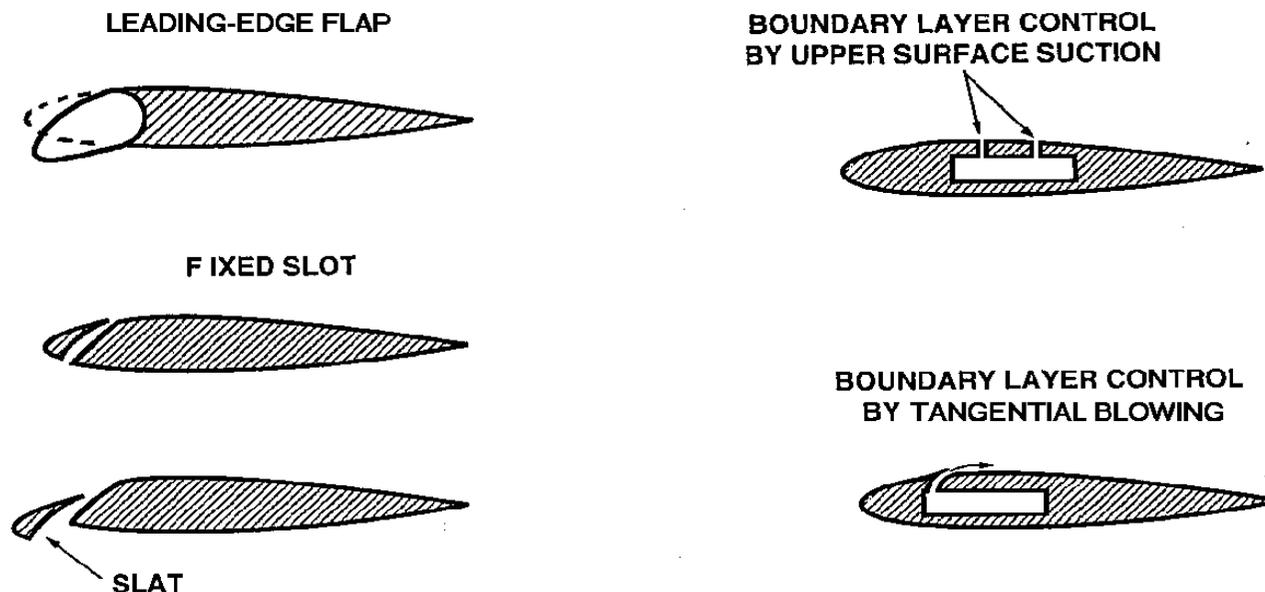




## SISTEMI DI IPERSOSTENTAZIONE AL BORDO D'ATTACCO

Sistemi come il "leading edge flap" agiscono come il flap con l'aumento della curvatura del profilo.

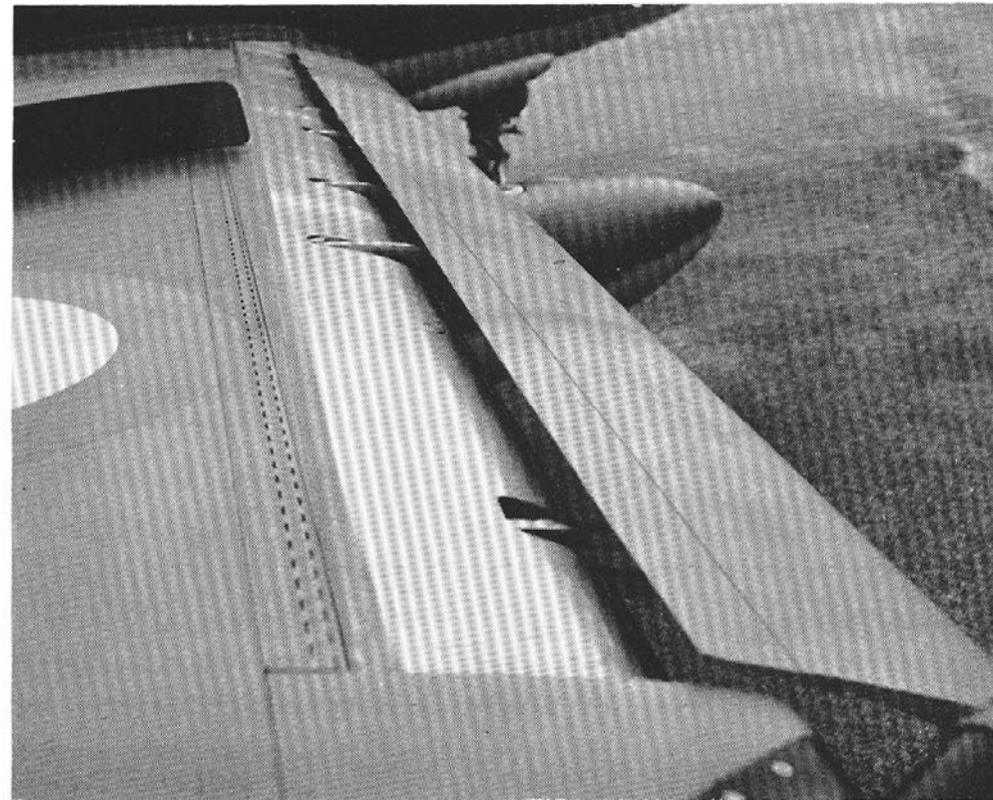
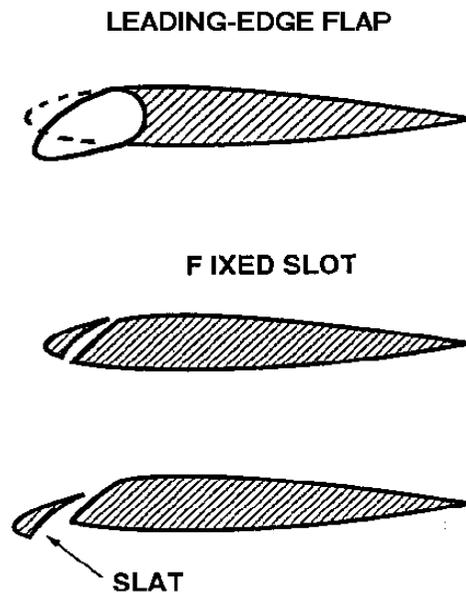
Ma i sistemi di ipersostentazione al bordo d'attacco sono usualmente il fixed slot o lo slat. Tali sistemi agiscono sul controllo dello strato limite. Infatti introducono un "soffiamento" che ritarda la separazione sul dorso dell'ala agli alti angoli di attacco, comportando così un notevole incremento della portanza.





## SISTEMI DI IPERSOSTENTAZIONE AL BORDO D'ATTACCO

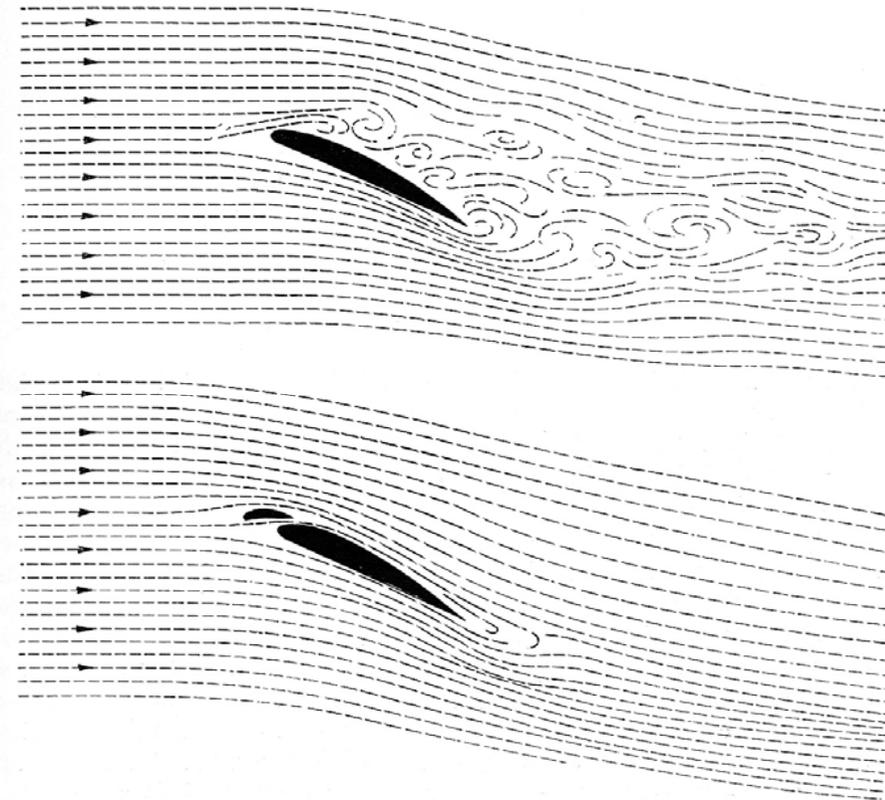
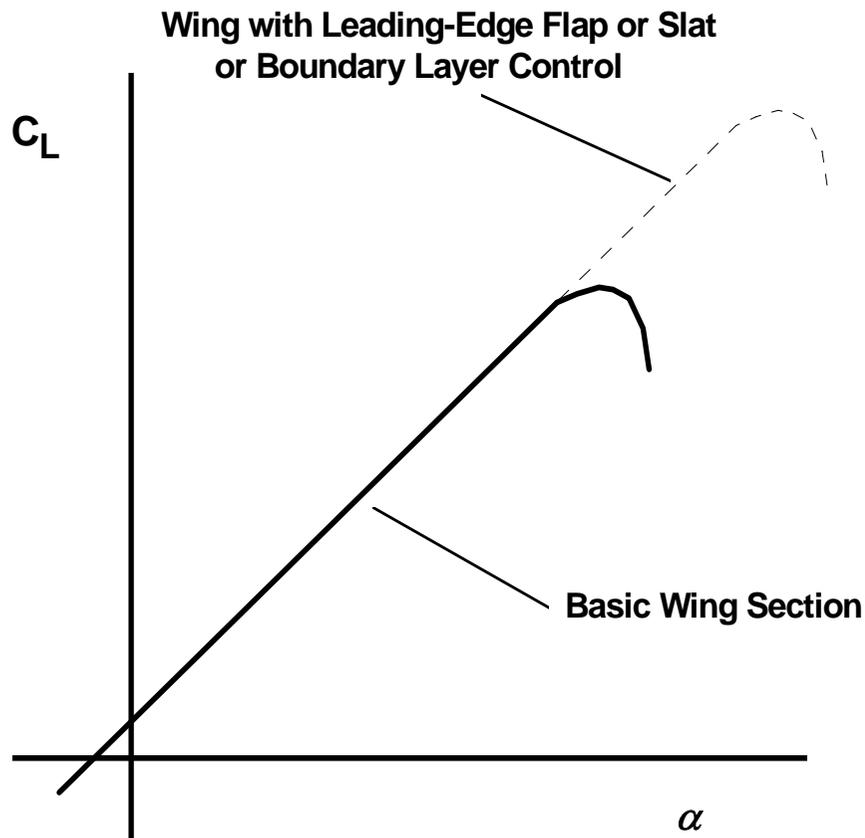
### LEADING EDGE SLAT





## EFFETTO DI SLOT e SLAT SULLA PORTANZA

Tali sistemi agiscono sul controllo dello strato limite. Infatti introducono un “soffiamento” che energizza lo strato limite e ritarda la separazione sul dorso dell’ala agli alti angoli di attacco, comportando così un notevole incremento della portanza.



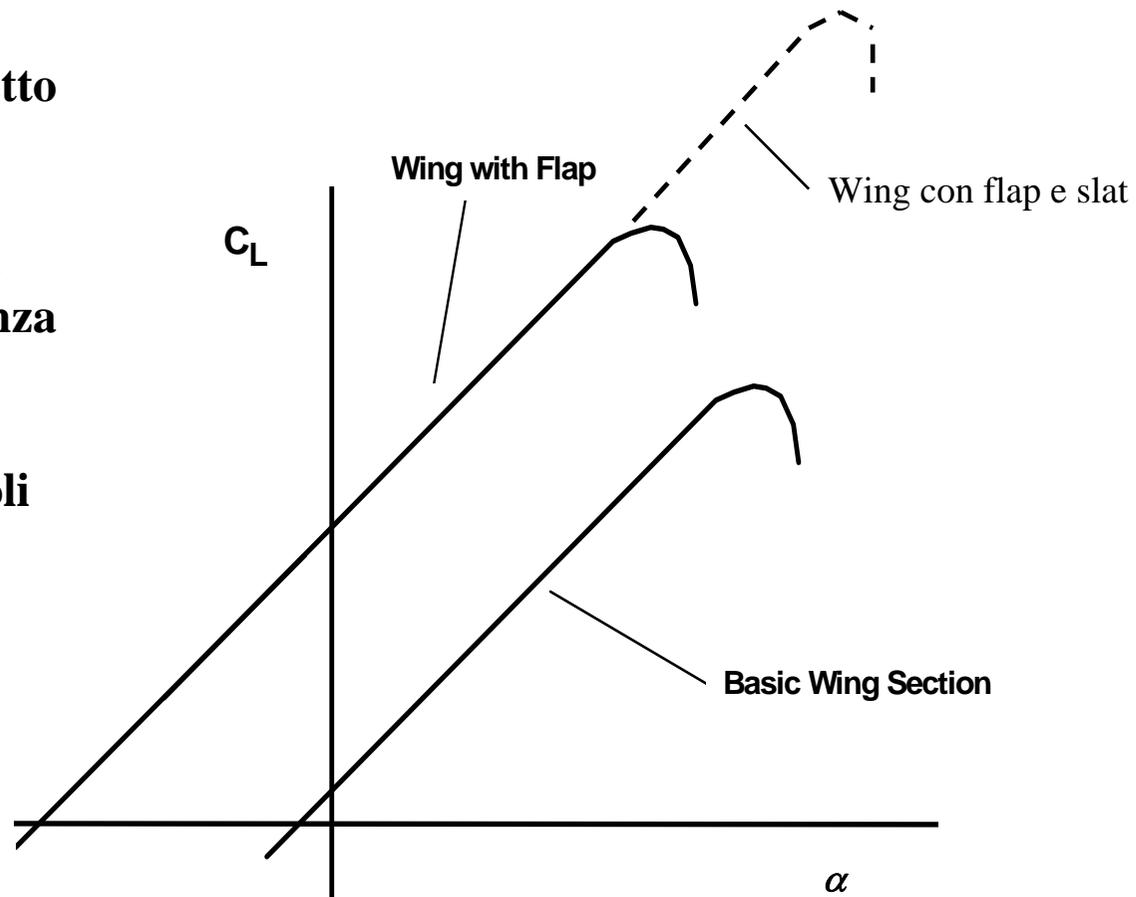


## EFFETTO COMBINATO DI FLAP E SLAT

Attraverso l'uso combinato di flap e slat si riesce a raggiungere un coefficiente di portanza massimo dell'ala pari a circa 3.0. Il  $CL_{max}$  dell'ala in condizioni di crociera è circa 1.5.

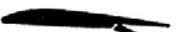
Si evidenzia il diverso effetto di flap e slat.

- Il flap al bordo d'uscita modifica la curvatura e fa traslare la curva di portanza verso l'alto.
- Lo slat ha l'effetto di ritardare lo stallo ad angoli d'attacco più alti.





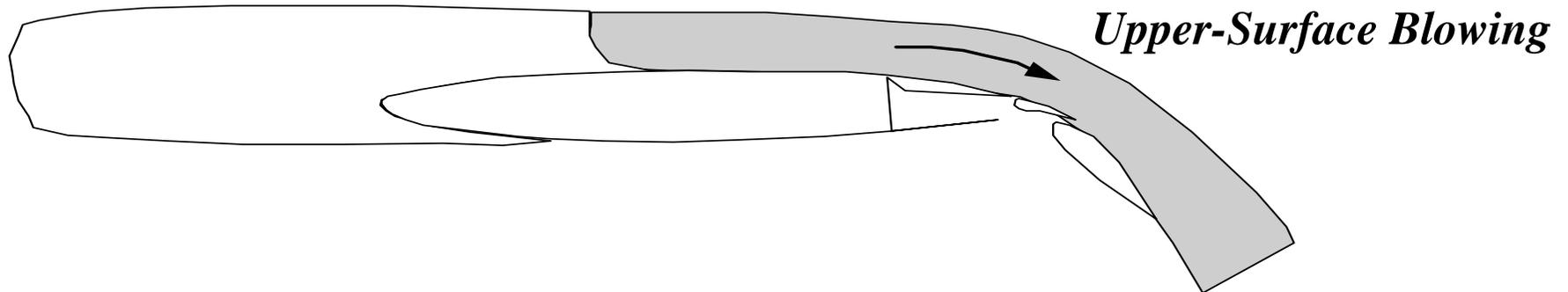
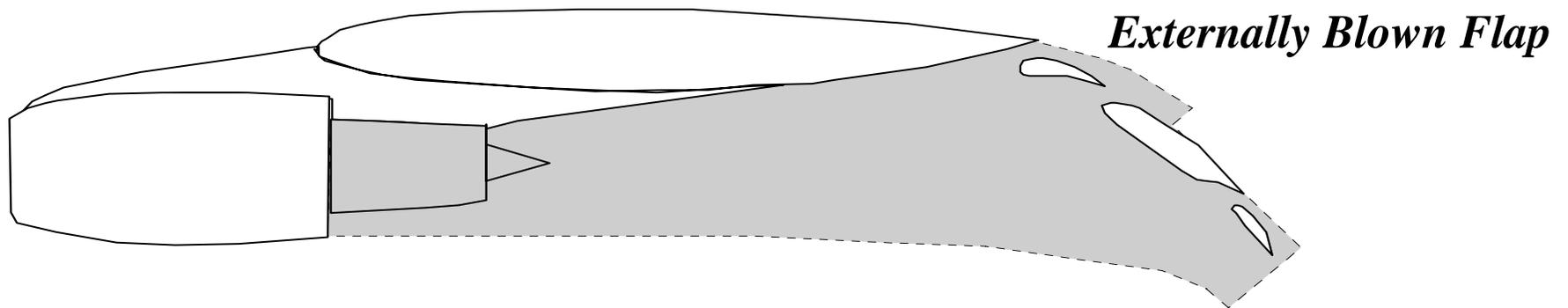
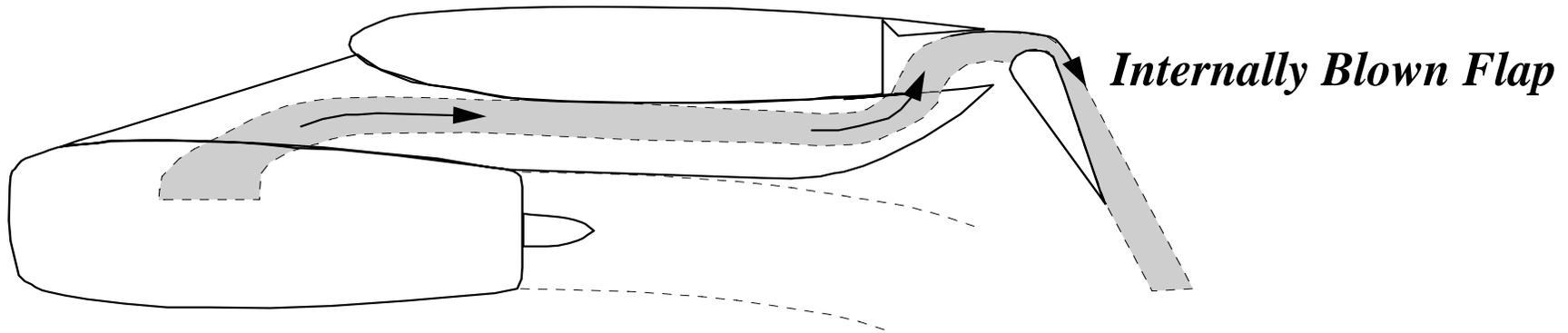
### Tabella vari tipi di sistemi di ipersostentazione

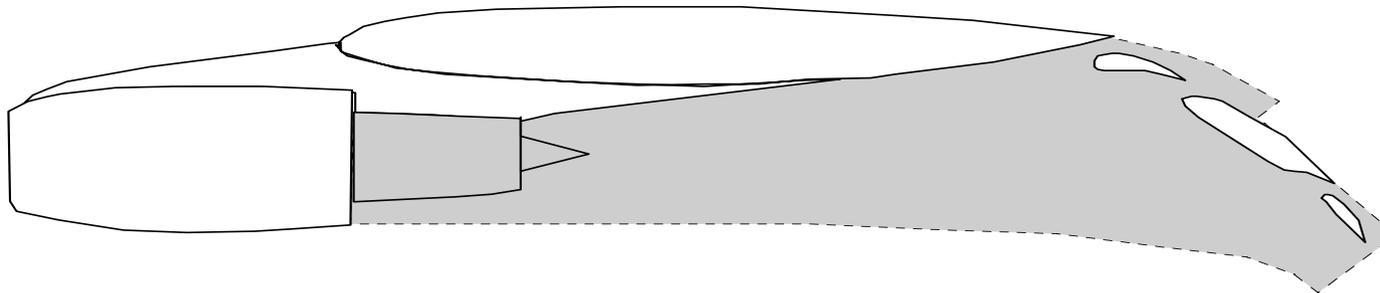
High-lift devices	Increase of maximum lift	Angle of basic aerofoil at max. lift	Remarks
 Basic aerofoil	—	15°	Effects of all high-lift devices depend on shape of basic aerofoil.
 Plain or camber flap	50%	12°	Increase camber. Much drag when fully lowered. Nose-down pitching moment.
 Split flap	60%	14°	Increase camber. Even more drag than plain flap. Nose-down pitching moment.
 Zap flap	90%	13°	Increase camber and wing area. Much drag. Nose-down pitching moment.
 Slotted flap	65%	16°	Control of boundary layer. Increase camber. Stalling delayed. Not so much drag.
 Double-slotted flap	70%	18°	Same as single-slotted flap only more so. Treble slots sometimes used.
 Fowler flap	90%	15°	Increase camber and wing area. Best flaps for lift. Complicated mechanism. Nose-down pitching moment.

High-lift devices	Increase of maximum lift	Angle of basic aerofoil at max. lift	Remarks
 Double-slotted Fowler flap	100%	20°	Same as Fowler flap only more so. Treble slots sometimes used.
 Krueger flap	50%	25°	Nose-flap hinging about leading edge. Reduces lift at small deflections. Nose-up pitching moment.
 Slotted wing	40%	20°	Controls boundary layer. Slight extra drag at high speeds.
 Fixed slat	50%	20°	Controls boundary layer. Extra drag at high speeds. Nose-up pitching moment.
 Movable slat	60%	22°	Controls boundary layer. Increases camber and area. Greater angles of attack. Nose-up pitching moment.
 Slat and slotted flap	75%	25°	More control of boundary layer. Increased camber and area. Pitching moment can be neutralized.
 Slat and double-slotted Fowler flap	120%	28°	Complicated mechanisms. The best combination for lift; treble slots may be used. Pitching moment can be neutralized.
 Blown flap	80%	16°	Effect depends very much on details of arrangement.
 Jet flap	60%	?	Depends even more on angle and velocity of jet.



## Uso del propulsore per incrementare la portanza





*Externally Blown Flap*





## ELEMENTI DI PROPULSIONE

### Principio di funzionamento generale di un elemento propulsivo



$$T = \dot{m} (V_e - V_0) + \dot{m}_f V_e + A_e (p_e - p_0)$$

**In generale c'è una variazione di quantità di moto**

**Il primo termine è quello preponderante.**

**Si tratta quindi di far variare la velocità di una certa portata di massa d'aria. Sia l'elica che il turbogetto producono quindi un'accelerazione su di una certa massa d'aria.**



## Motore a pistoni con elica

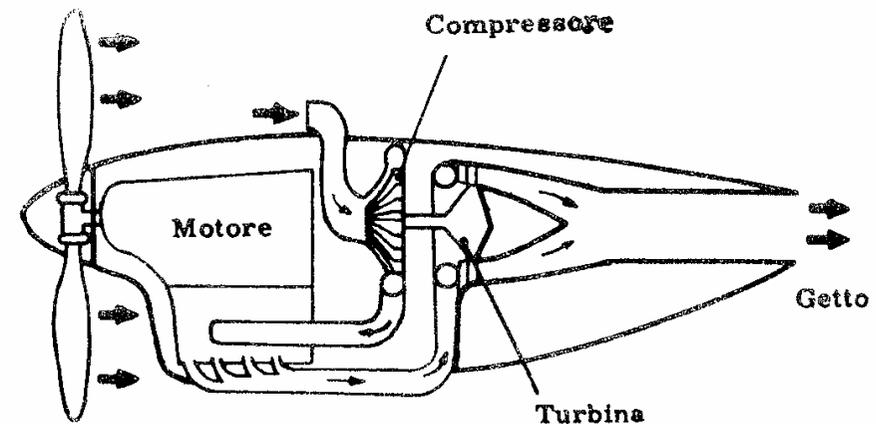
Un motore a pistoni utilizza il ciclo (aspirazione-compressione-scoppio-scarico) per produrre potenza all'albero (coppia x velocità angolare).

L'albero motore è collegato attraverso un riduttore (il motore gira tra 1500 e 6000 rpm e l'elica tra 500 e 2700 rpm) all'elica.

Si può avere un incremento di potenza all'albero (trasferita all'elica) tramite un turbocompressore (vedi figura).

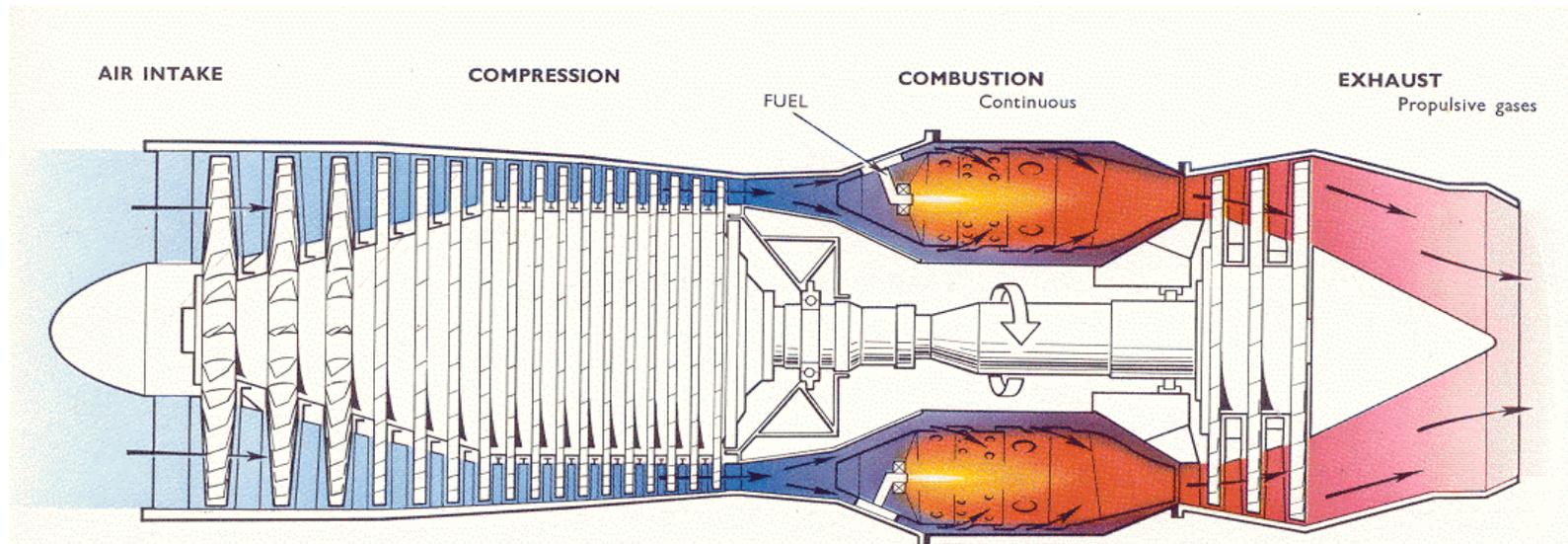
L'elica è un'ala rotante e produce spinta attraverso un'azione di forza aerodinamica generata da tutti i profili delle pale.

In generale il principio è sempre quello della variazione di quantità di moto.

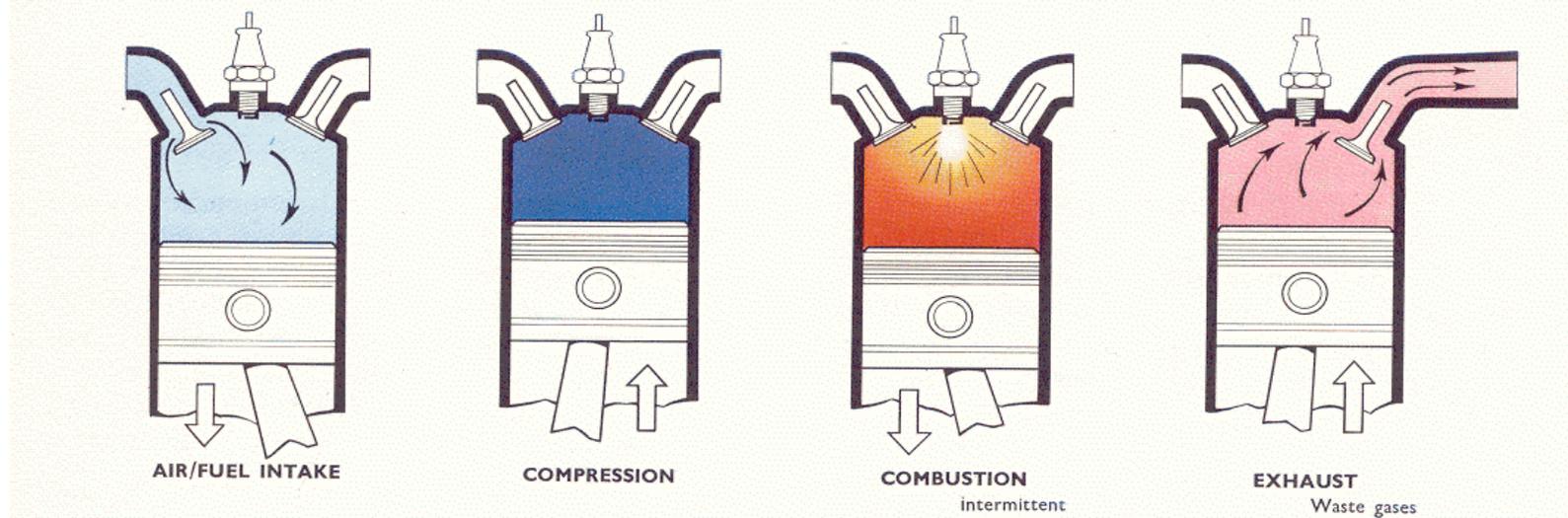




# Motore turbogetto

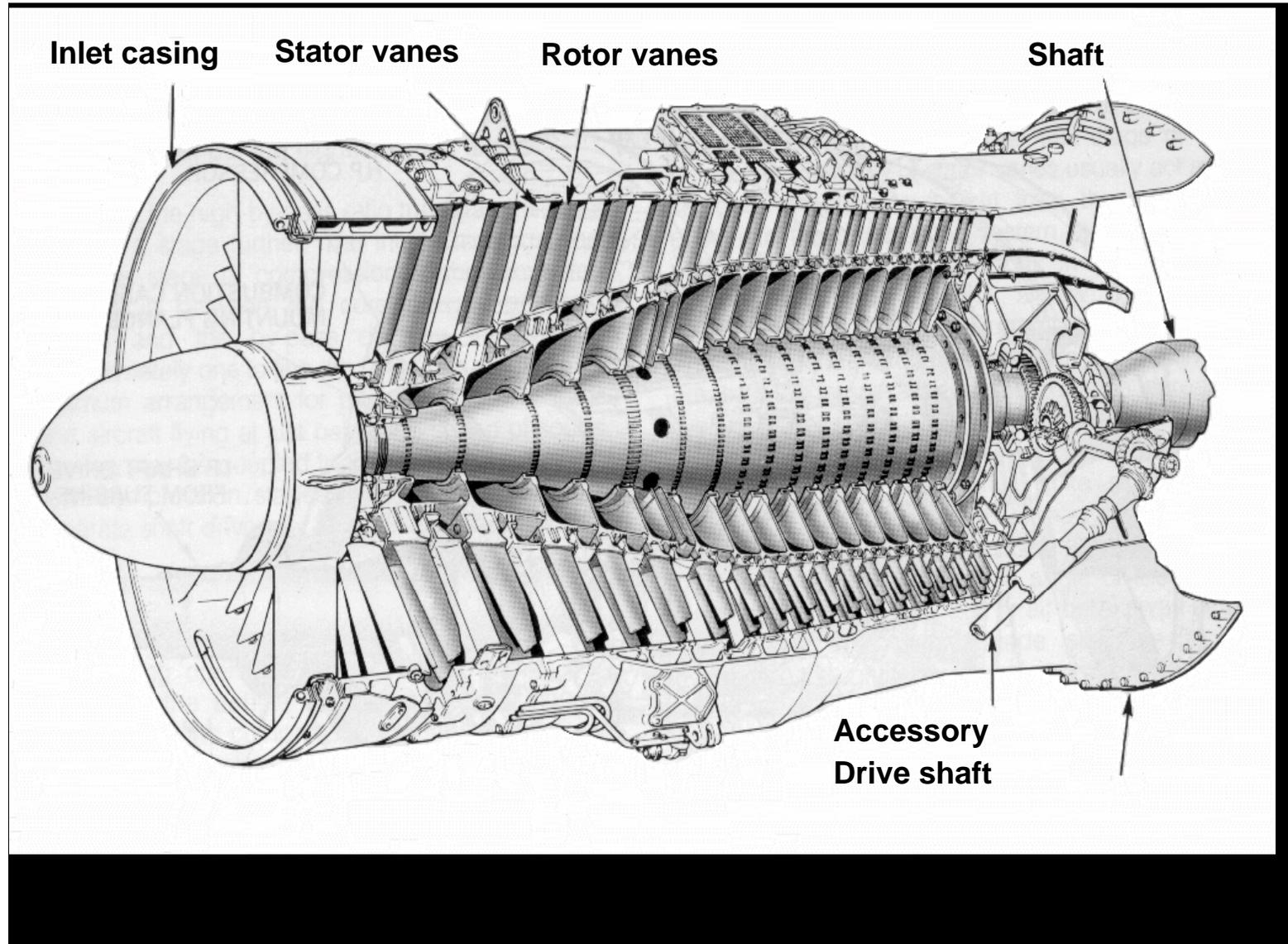


## Analogia con il ciclo di un motore a pistoni





# Motore turbogetto – il compressore assiale



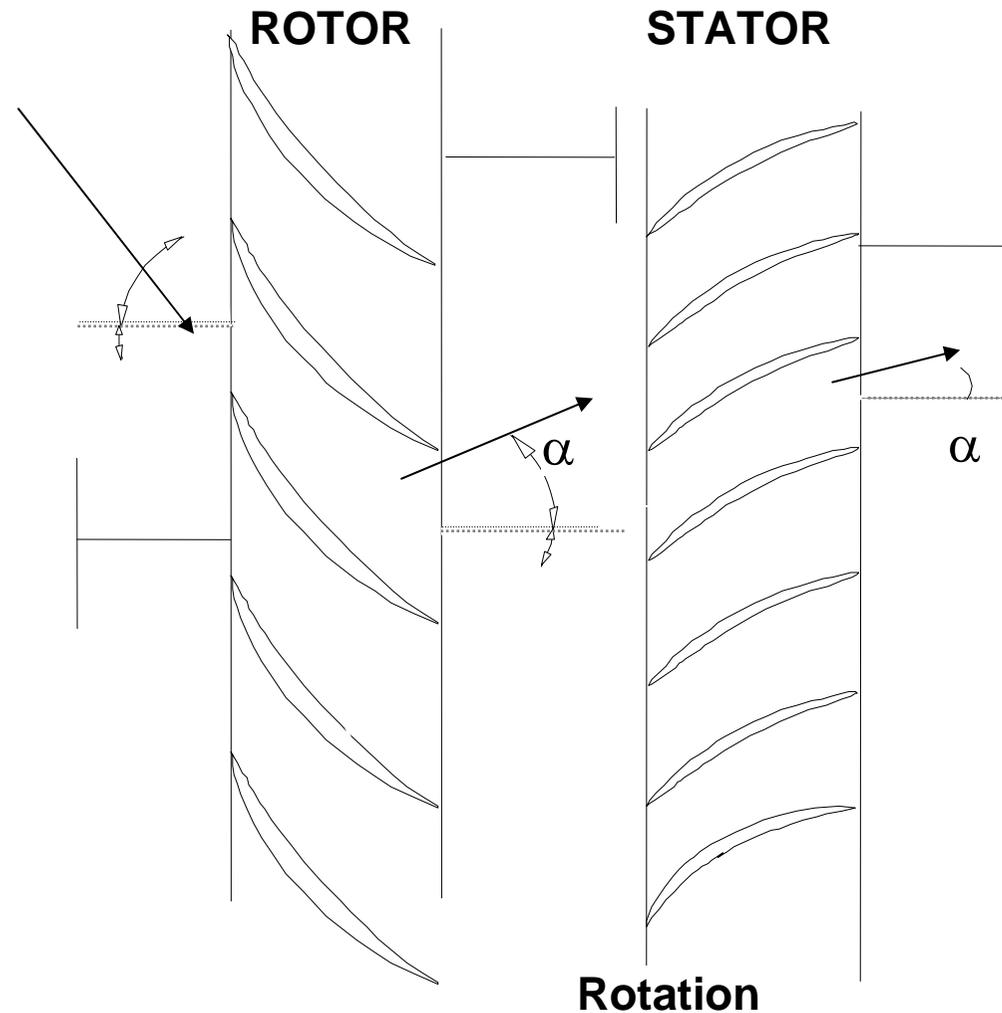


## Motore turbogetto – il compressore assiale

**Come funziona il compressore assiale:**

**Uno stadio è costituito da un disco rotante di palette (rotore) ed uno fisso (statore).**

**Il flusso entra ed attraversando il rotore e poi lo statore viene ad essere notevolmente compresso.**





## Motore turbogetto

L'aria entra dalla presa d'aria attraverso la quale subisce un leggero aumento di pressione e riduzione di velocità.

L'aria poi attraversa un compressore (tipicamente assiale a più stadi come quello delle due figure in basso). Le palette rotanti del compressore fanno aumentare notevolmente la pressione (e quindi la temperatura) dell'aria.

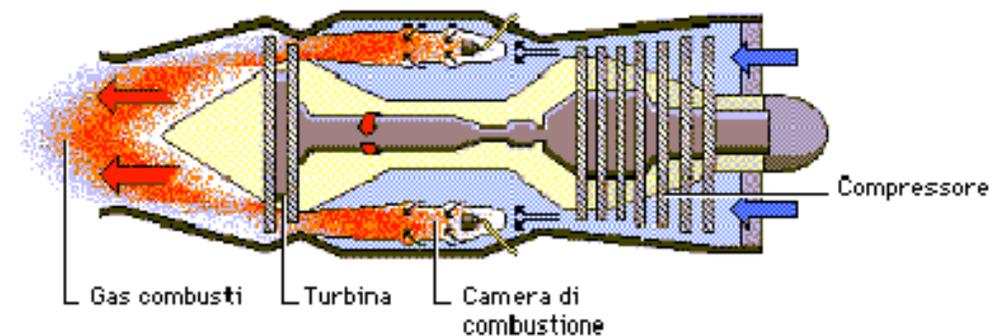
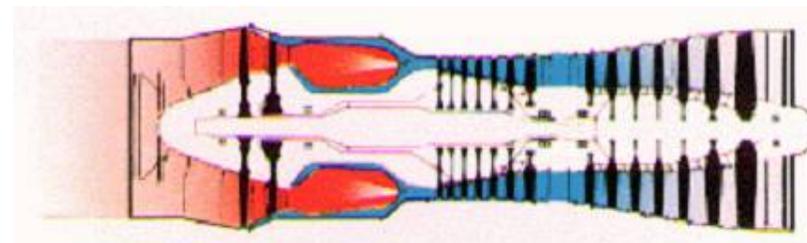
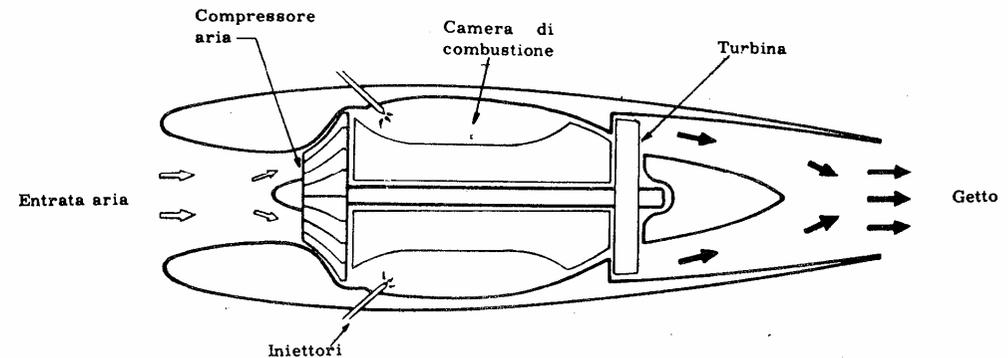
Il compressore è solitamente costituito da più "stadi" di compressione a pressione via via più alta.

Dal compressore poi passa alla camera di combustione dove viene unita al combustibile spruzzato dagli iniettori ed innescata la combustione.

La combustione produce aria ad altissima pressione e temperatura. L'aria poi attraversa la turbina cedendo energia ed azionando così la turbina stessa.

La turbina è collegata meccanicamente con il compressore che è quindi mosso grazie alla turbina.

Il getto d'aria poi va nell'ugello dove viene espulso a grossa velocità ( $V_e > V_i$ )





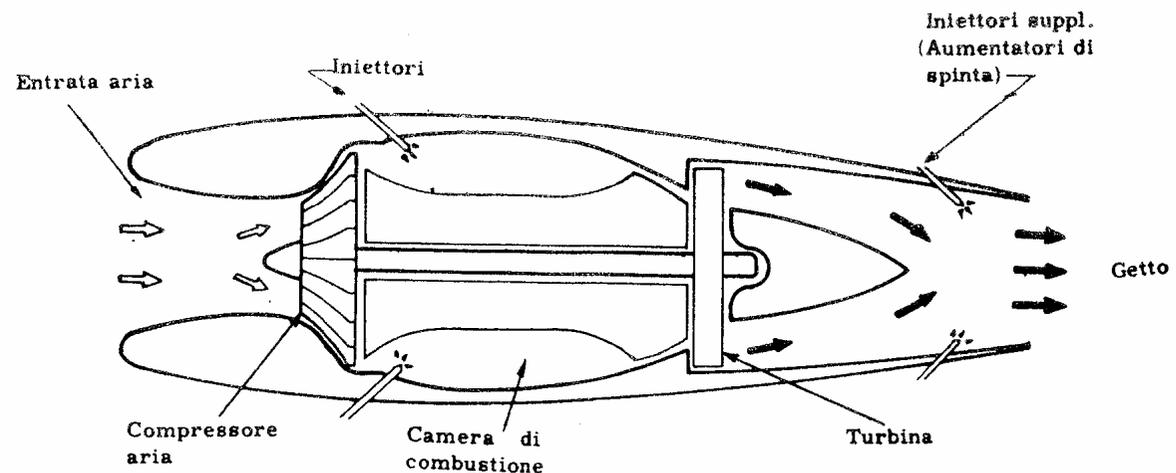
## Motore turbogetto con post-bruciatore

Nel caso di velivolo militari si può utilizzare un turbogetto con post-bruciatore.

Si produce , attraverso una seconda serie di iniettori, una seconda combustione a valle della turbina.

Si produce una spinta molto più elevata.

Il post-bruciatore (after-burner) può essere però attivato solo per tempi limitati (il riscaldamento della parte terminale diventa notevole).





## Motore turbofan (turboventola)

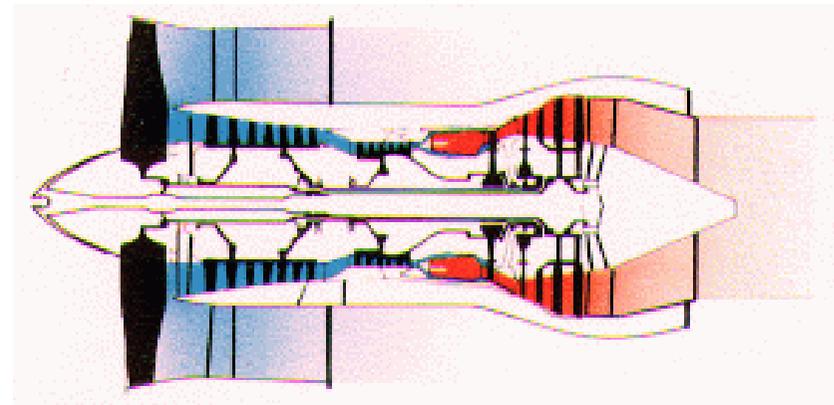
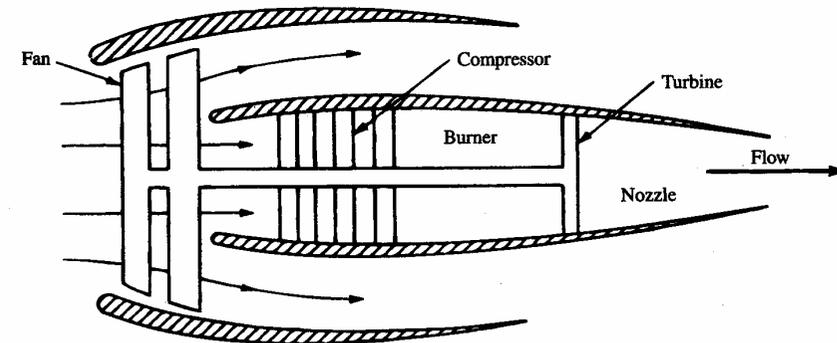
L'elica intubata (fan) permette di ridurre i consumi del motore (avvicinando il motore ad un propulsore ad elica).

La spinta si ottiene per mezzo dell'effetto combinato del getto in uscita dall'ugello di scarico e tramite la spinta prodotta dalla ventola.

### BPR (By-Pass-Ratio)

O anche rapporto di By-pass o rapporto di diluizione.

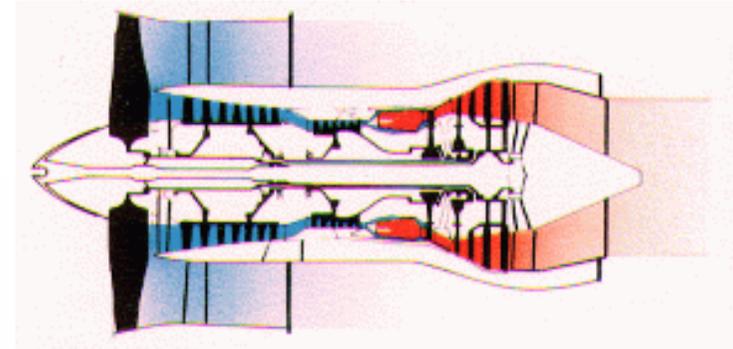
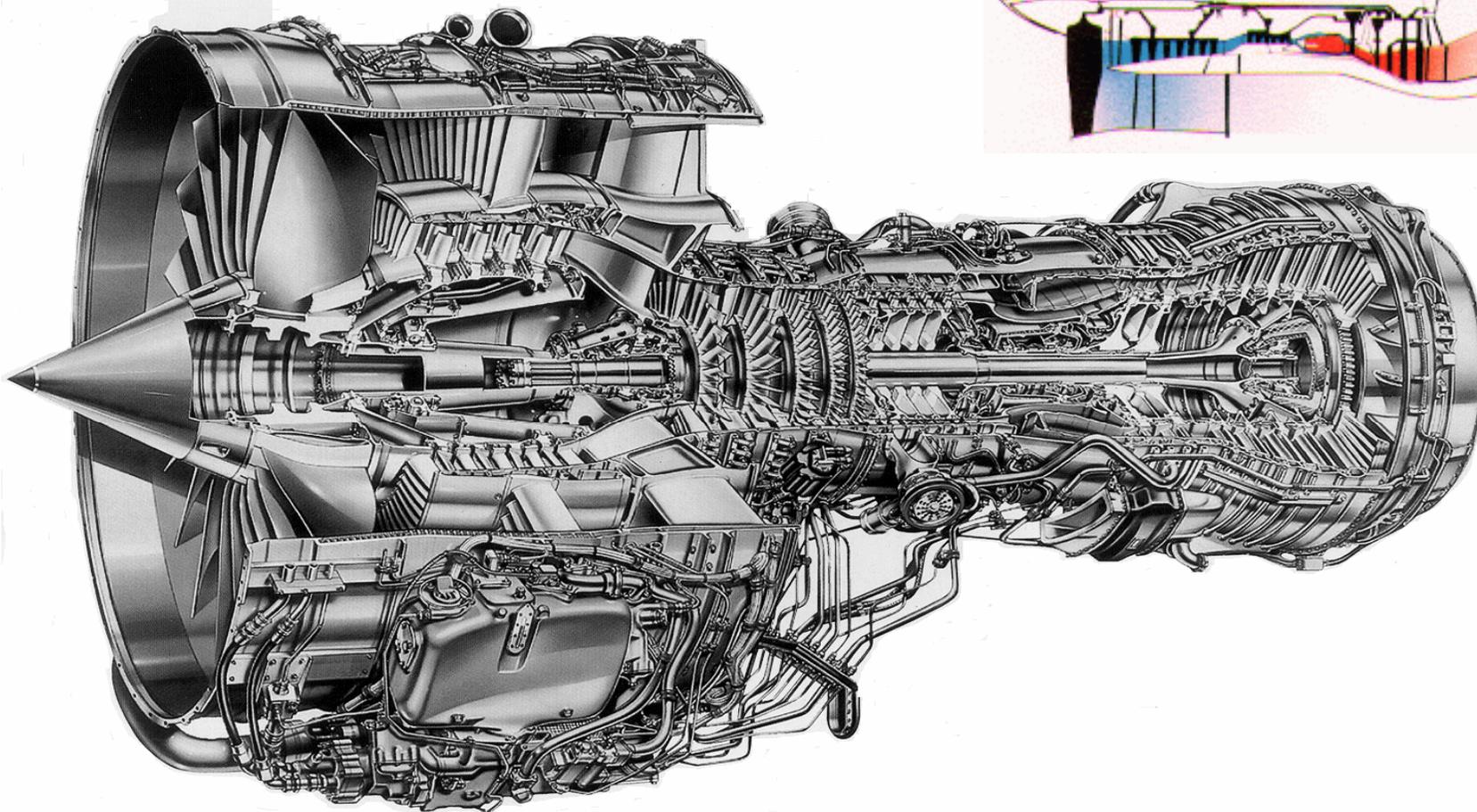
Rapporto tra l'area del disco relativo all'elica intubata rispetto all'area della parte calda (cioè del motore a getto)



Motore turbofan ad alto rapporto di diluizione (BPR=circa 5)



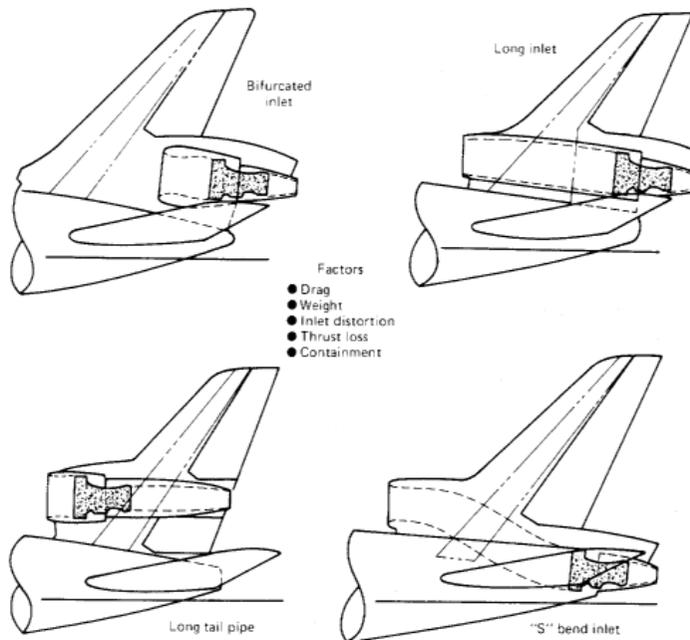
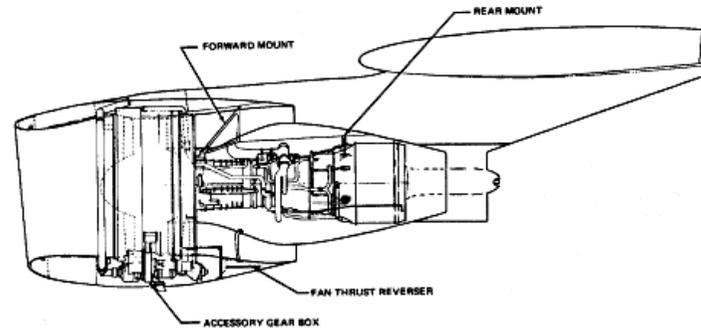
# Motore turbofan (turboventola)





# Motore turbofan (turboventola)

## Installazione sub-alare

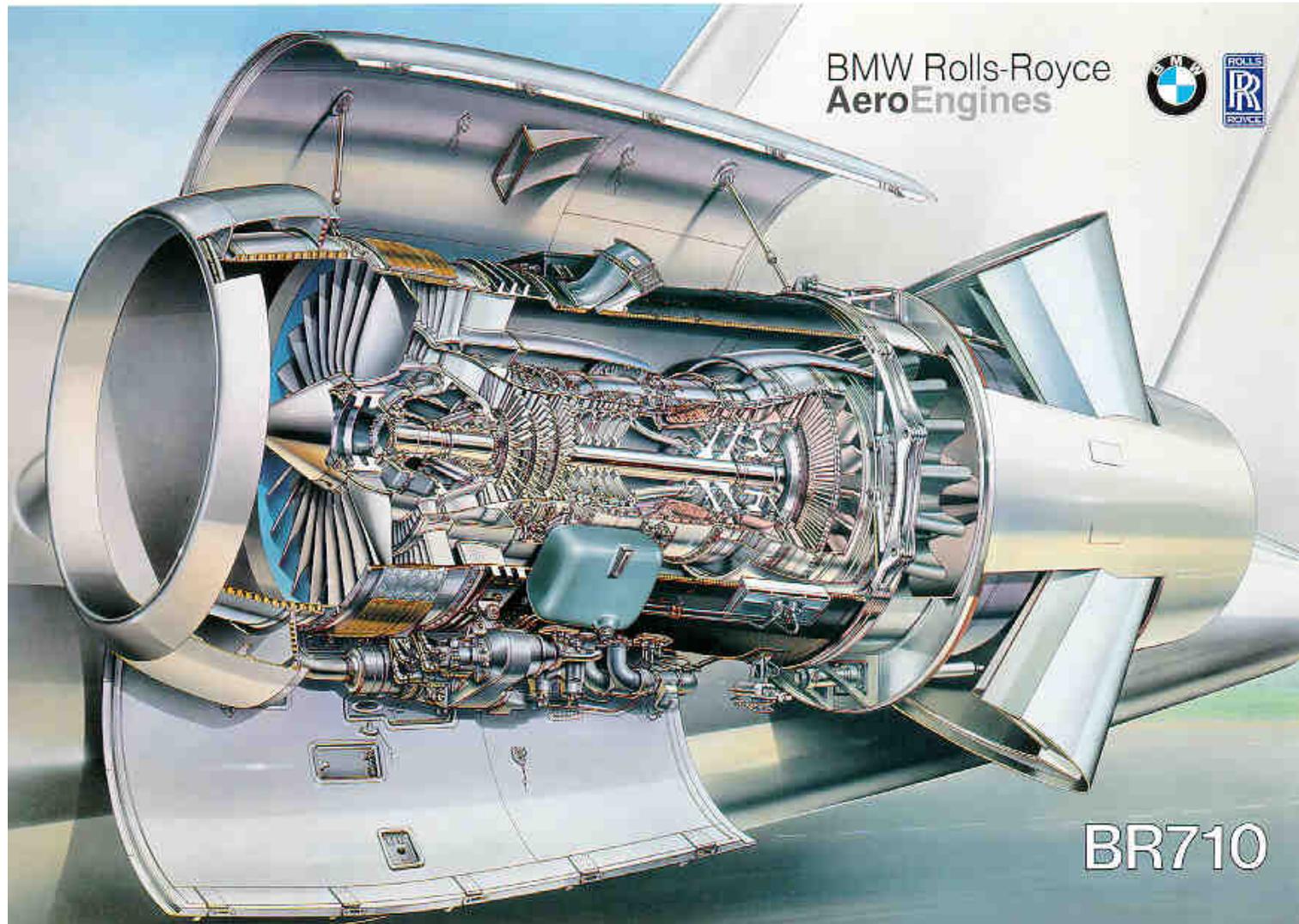


**Installazione terzo motore in coda (velivoli DC10 oppure MD 11)**

**Possibili soluzioni**



## Motore turbofan (turboventola)



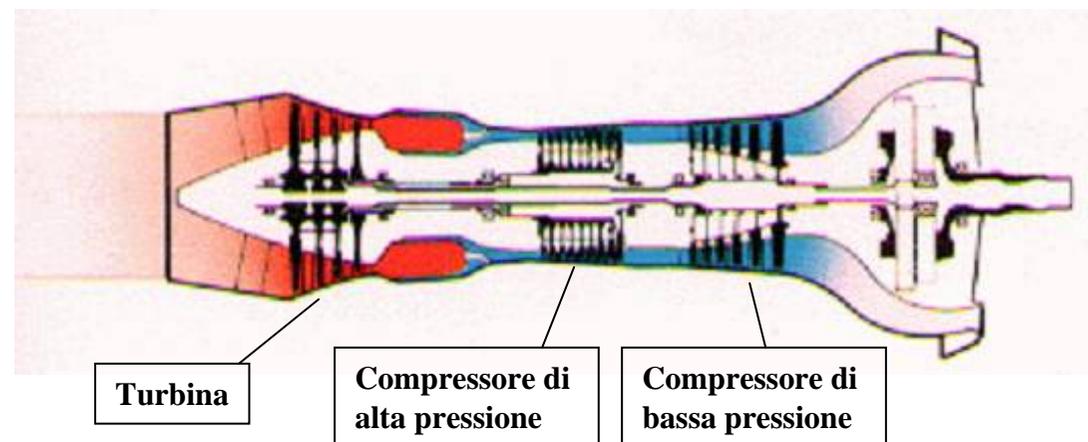
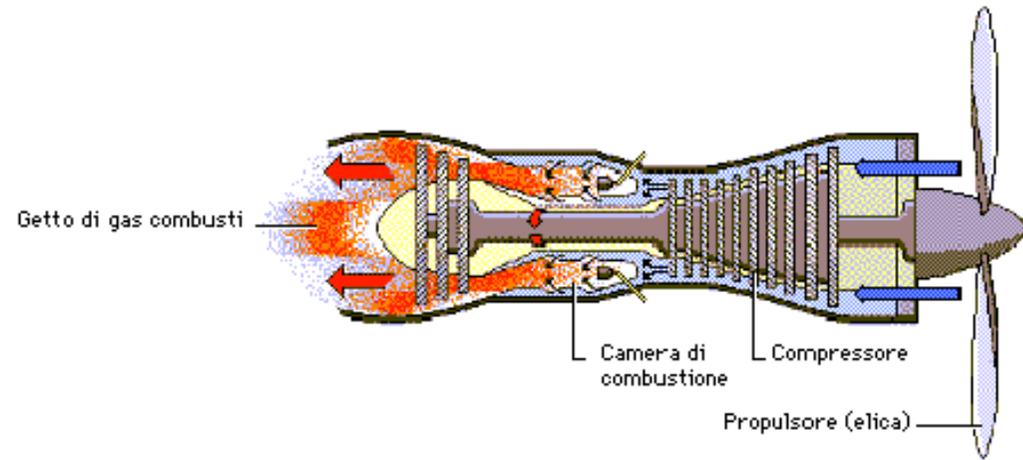


## Motore turboelica

La turbina di bassa pressione viene collegata ad un'elica.

Il 90% della spinta si ottiene quindi per l'effetto propulsivo dell'elica.

E' necessario un riduttore perché l'elica deve girare a 2000-3000 rpm mentre la turbina ed il compressore girano a velocità maggiori.





## Motore turboelica

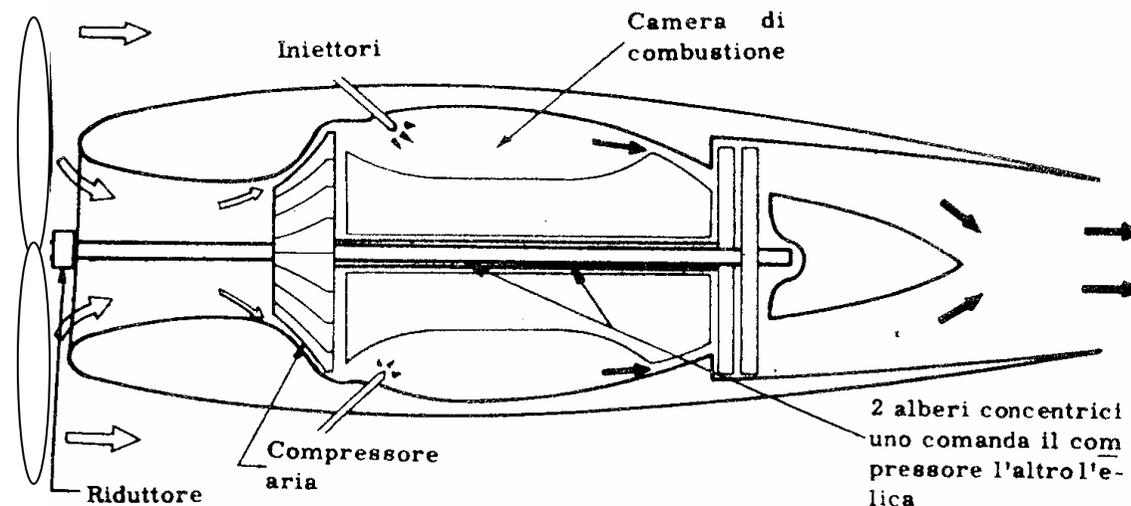
Tipicamente ci sono due stadi di turbine.

La turbina di alta pressione (la prima) comanda il compressore centrifugo.

La seconda turbina comanda l'elica (con la presenza di riduttore prima dell'attacco elica). Ci sono quindi due alberi coassiali (vedi figura)

Il turboelica ha spinte non elevate ma consumi ridotti.

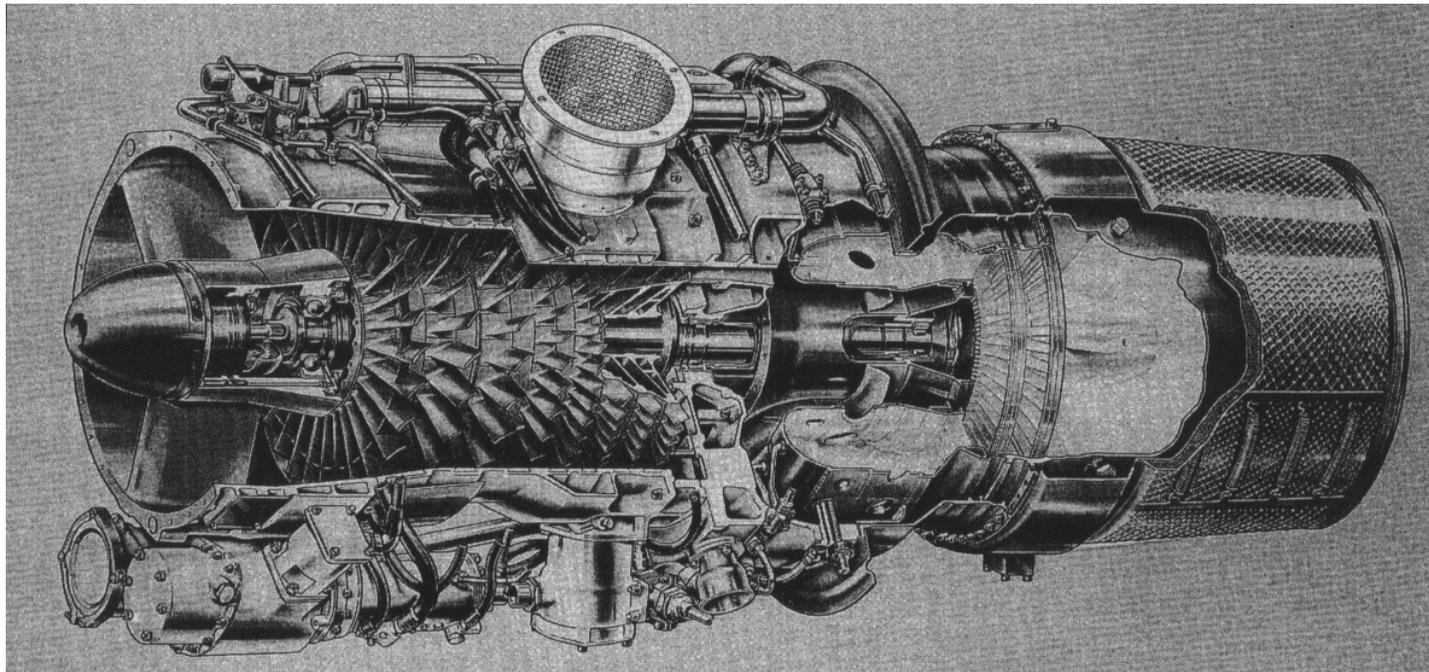
Chiaramente, per la presenza dell'elica, non può essere adottato su velivoli che superano  $Mach=0.55$ , difatti sull'estremità delle pale si raggiungerebbero condizioni soniche.





# Foto motori- Turbogetto

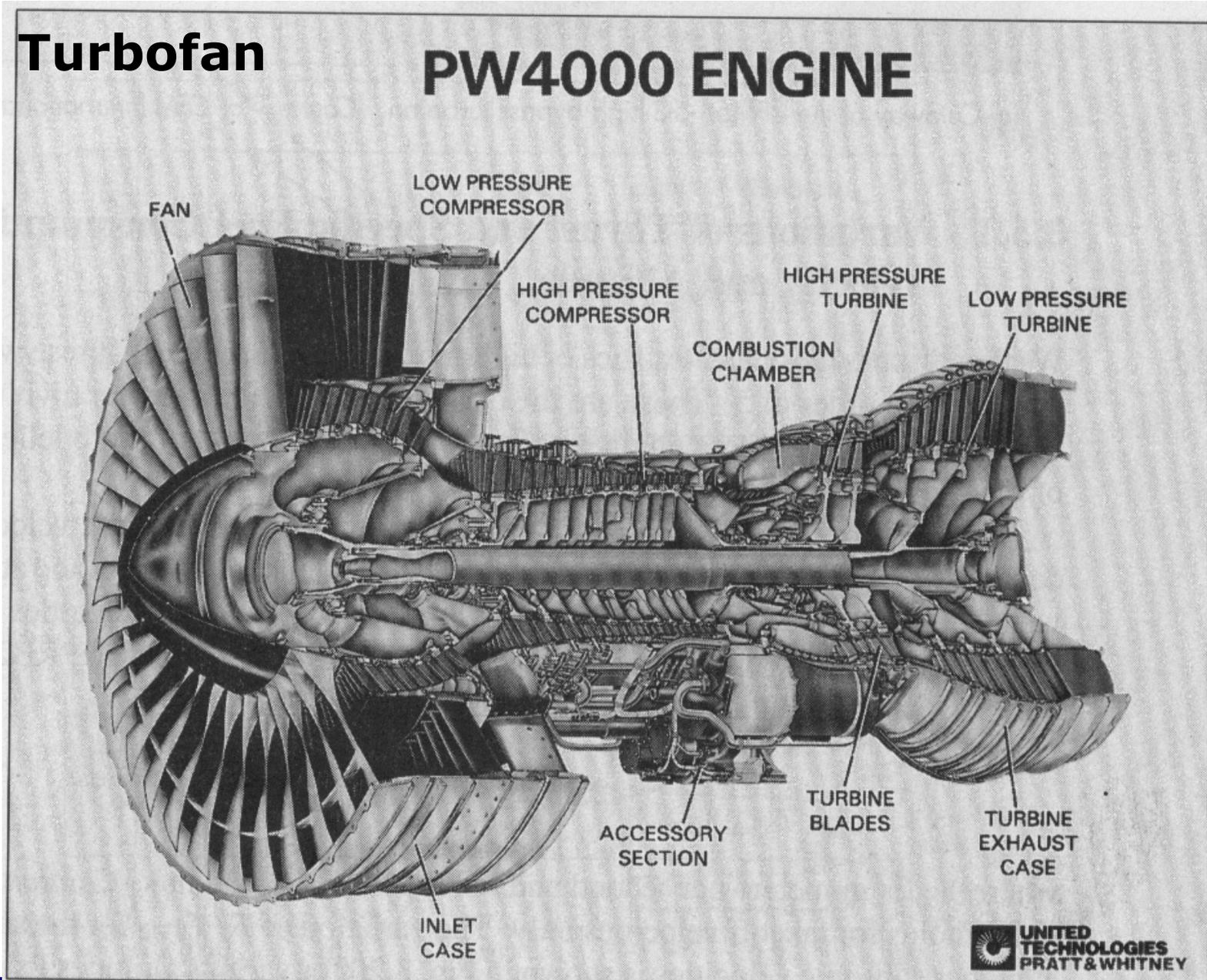
## Turbogetto Rolls-Royce Viper 632





# Turbofan

## PW4000 ENGINE





## Schema confronto motori

### TURBOJET - Turbogetto puro

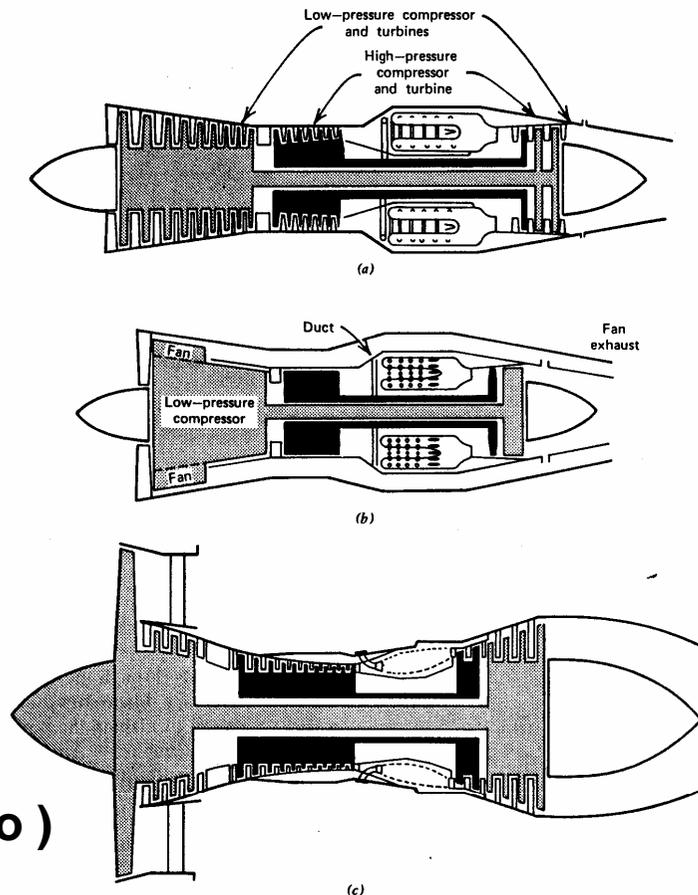
- Spinta elevatissima
- Consumi fortissimi
- (Usato ad esempio nel Concorde)

### TURBOFAN A BASSO bpr (By-Pass-Ratio) (circa 1.5, tipico di motori di caccia militari)

- Forte spinta
- Alto consumo

### TURBOFAN AD ALTO bpr (By-Pass-Ratio) (circa 5, tipico di motori di velivoli da trasporto )

- Spinta non elevatissima
- Consumo ridotto rispetto al turbogetto



**Figure 6.26** Variations on the gas turbine. (a) Dual axial-flow compressor turbojet. (b) Dual axial-flow compressor, forward fan engine with long ducts. (c) High bypass ratio turbofan with short ducts. (d) Single axial-flow compressor, direct propeller drive turboprop. (e) Single axial-flow compressor, free turbine propeller drive turboprop. (f) Dual axial-flow compressor, turbojet with afterburner. (g) Dual axial-flow compressor, industrial turboshaft engine.



## Sviluppo storico motori

Motore	Anno	Cilindri	Potenza (shp)	Peso (lbs)	Peso/Potenza (lbs/hp)
Fratelli Wright	1909	4	12	200	16.6
Wright J5-C Lindbergh Flight	1927	9 - radiali	220	500	2.27
Rolls Royce Merlin	1940	12 a V	1130 at 3000rpm	1430	1.26
Lycoming O-360-A	circa 1980	4	180 at 2700 rpm	180	1.58
<b>TURBOPROP</b>					
Pratt&Whitney PT6A-27			680	300	0.50
<b>TURBOFAN</b>			<b>SPINTA(lbs)</b>		<b>Peso/Spinta</b>
Pratt&Whitney JT9D-7A		HBPR Turbofan	39650 (sea level)	8850	0.22



# Configurazioni di velivoli VELIVOLI LEGGERI



**ALA ALTA a sbalzo**



**ALA ALTA controventata**



**ALA ALTA – conf spingente**



**ALA BASSA**



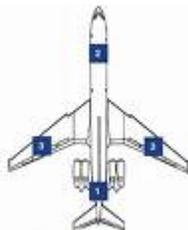
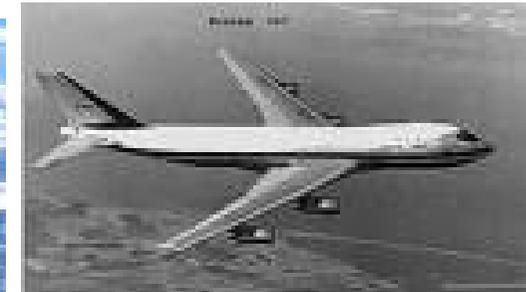
## Configurazioni di velivoli Trasporto Jet – Posizione dei motori

### Motori sub-alari:

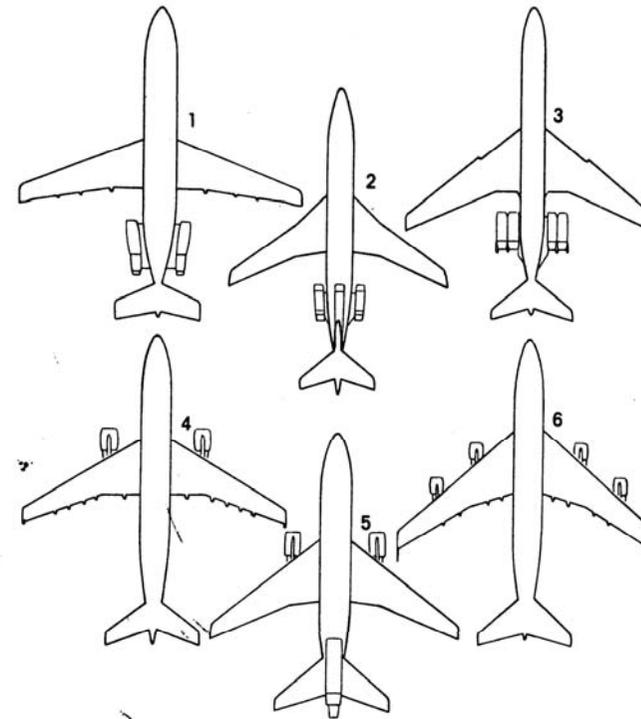
+ riduzione momento flettente strutturale sull'ala => ala più leggera

### Motori in coda:

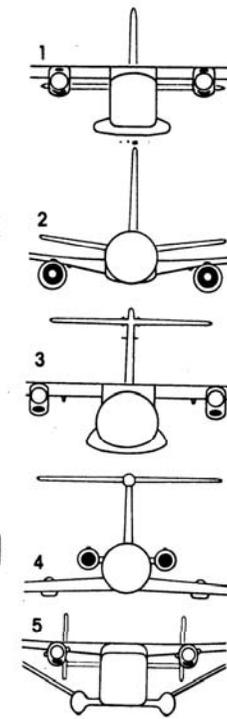
+ ala aerodinamicamente più pulita  
+ ridotto momento di imbardata in caso di avaria di un motore (quindi piano di coda verticale più piccolo)



Posizionamento dei motori



Piani di coda a confronto





## Velivoli Trasporto Jet

	Wto (tonn)	Pass.	Autonomia (nm) 1nm =1,852 Km	S (m2)	Wto/S [kg/m <sup>2</sup> ]	b (m)	AR	c/4
Long Range								
<b>A330</b>	204	330	5000	325	627	58	10.3	30°
<b>A340</b>	246	380	7200	325	756	58	10.3	30°
<b>B747-300</b>	363	500	5650 (11000 Km)	511	710	59.6	7	37°
<b>MD11</b>	273	405	5000	341	800	51.7	7.8	35°
<b>A300</b>	170	370	4380	260	653	44.8	7.7	28°
<b>A310</b>	150	280	3730	219	684	43.9	8.8	28°
<b>B767</b>	128	255	6210	283	452	47	7.8	31°
Short/Medium								
<b>A320</b>	66	150	2640	122	540	33.9	9.5	25°
<b>B707</b>	151	189	5000	283	533	44.4	7	35°
<b>B727</b>	86	189	2400	158	544	32.9	6.9	32°
<b>B737-300</b>	61	150	2350	102	598	28.3	7.8	25°
<b>MD80</b>	63	170	1563	118	534	32.9	9.2	24.5°
<b>BAe 146</b>	42	96	1176	77.3	543	26	8.7	15°
<b>Fokker 100</b>	41.5	119	1200	94.3	436	28	8.3	17°



## Configurazioni di velivoli Trasporto Jet – Valori dell'allungamento alare AR

*Valori tipici:*

*1 Lockheed Electra AR=7.5*

*2 Shorts 360 AR=12.4*

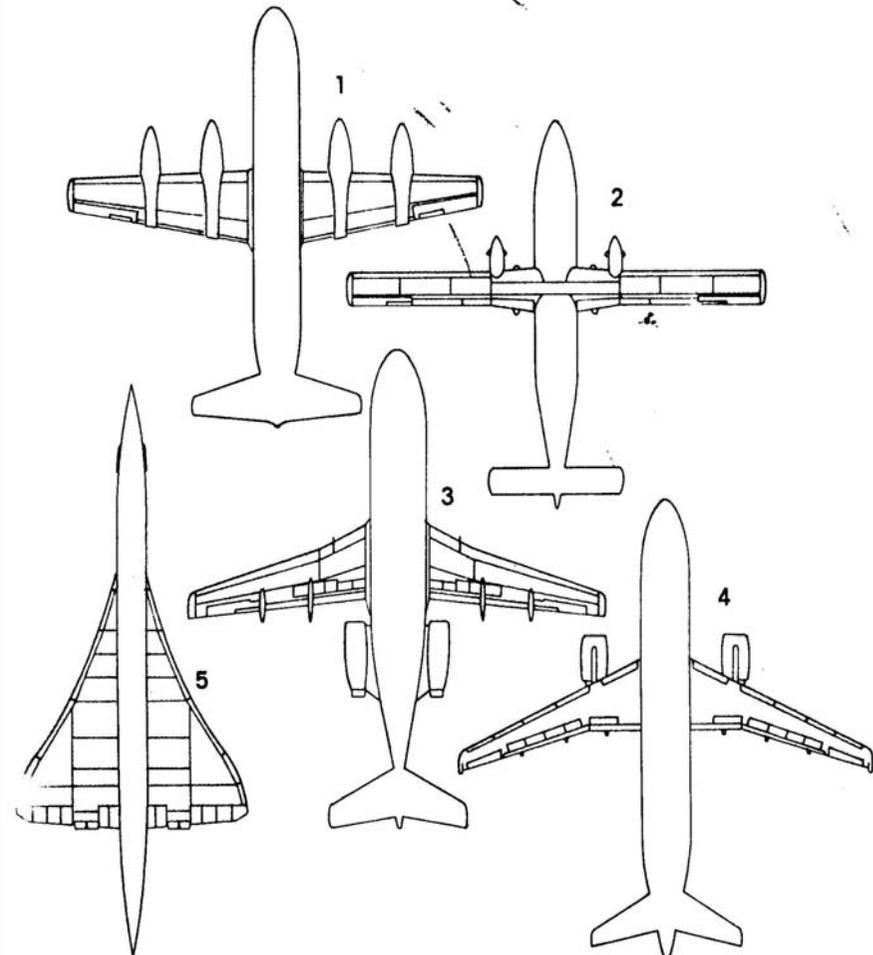
*3 Fokker F28 AR=8*

*4 Airbus A320 AR=9.4*

*5 Concorde AR=2*

**AR più elevato riduce la resistenza indotta, ma produce maggiore sollecitazione flettente (a parità di portanza) e quindi conduce ad ali con più elevato peso strutturale.**

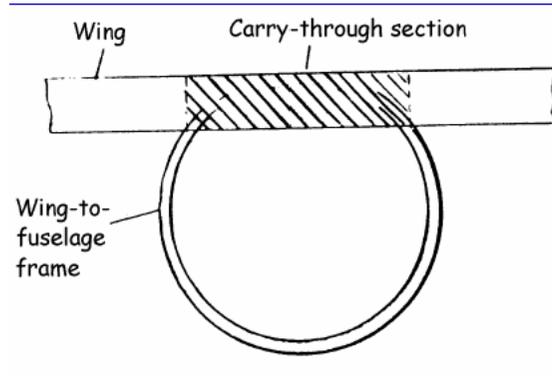
Allungamenti alari a confronto



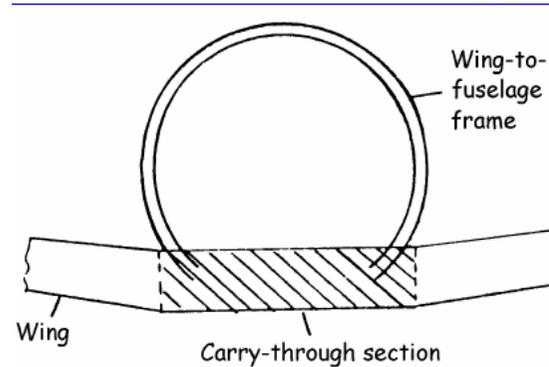
27



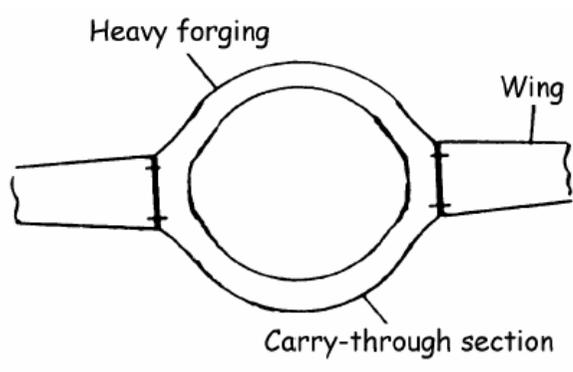
## Posizione dell'ala e collegamento con la fusoliera



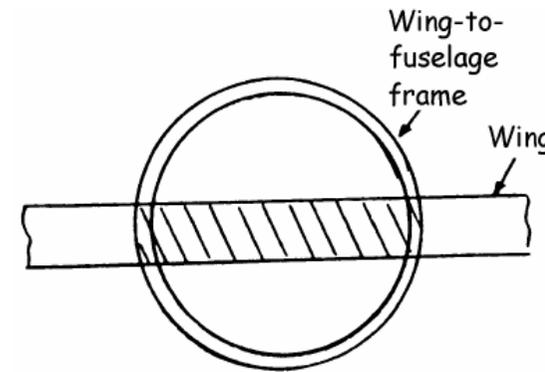
**Ala Alta – High Wing**



**Ala Bassa – Low Wing**

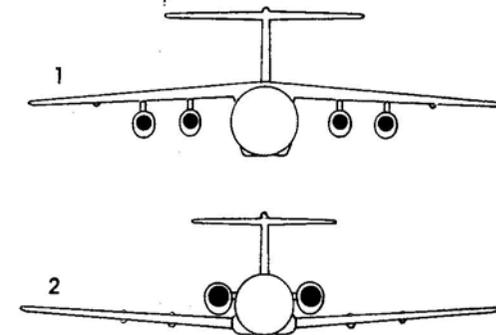


**Ala Media – Mid Wing**



**Ala Media – Mid Wing**

Posizione dell'ala

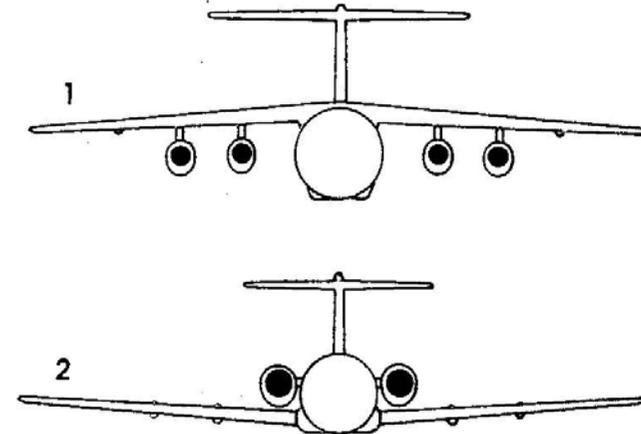




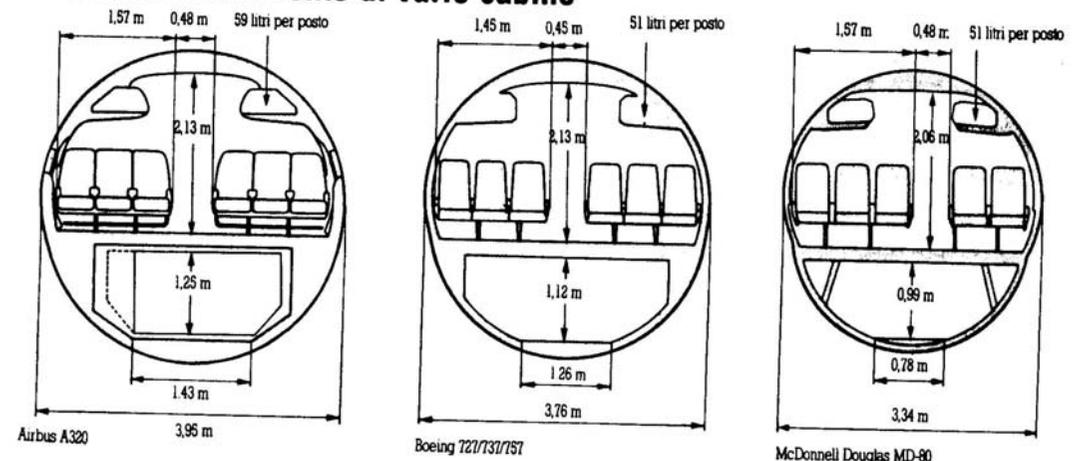
## Sezioni di fusoliera

Si preferisce la soluzione ad ala bassa.  
Il "Carry-through" non interferisce con la cabina passeggeri.  
Nel caso di ala alta bisogna prevedere  
Un aumento di sezione della fusoliera  
(come nell'ATR42) per evitare  
Che l'elemento strutturale  
limiti lo spazio in altezza in cabina

## Posizione dell'ala



## Dimensioni a confronto di varie cabine





## Configurazione non convenzionale (3 superfici portanti)

### PIAGGIO P180 Avanti

La fusoliera ha una forma di bassa resistenza aerodinamica.  
La sezione non costante fa aumentare notevolmente il costo di fabbricazione della fusoliera.



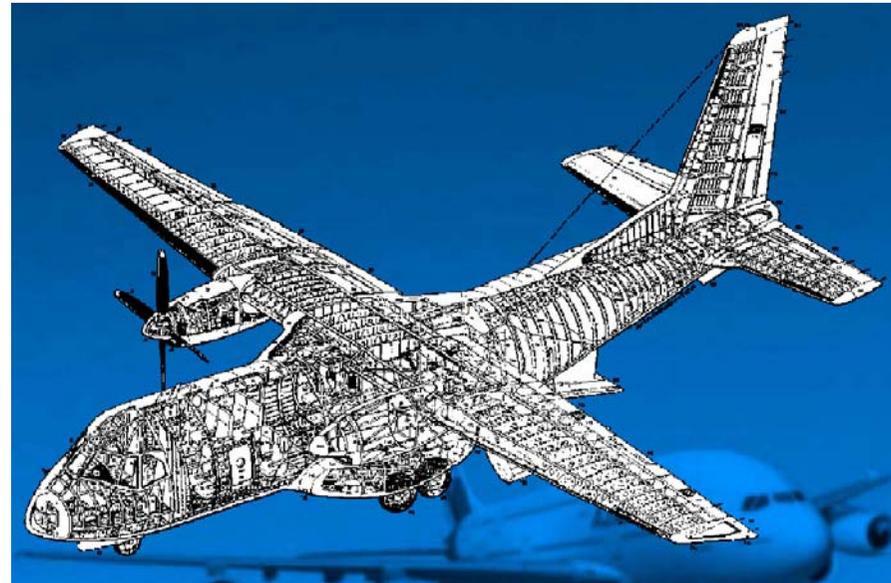
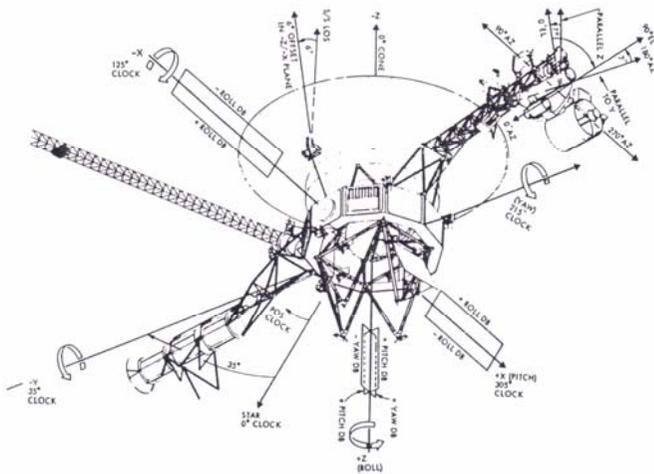


747 STRUCTURE CUTAWAY



## Esempi di Strutture Aerospaziali

- Proprieta'
- Caratteristiche
- Modi di Lavorare
- Durata nel Tempo





## I Compiti delle Strutture

Una struttura deve essere in grado di resistere ai carichi operativi senza manifestare alcun cedimento, per il periodo di tempo richiesto

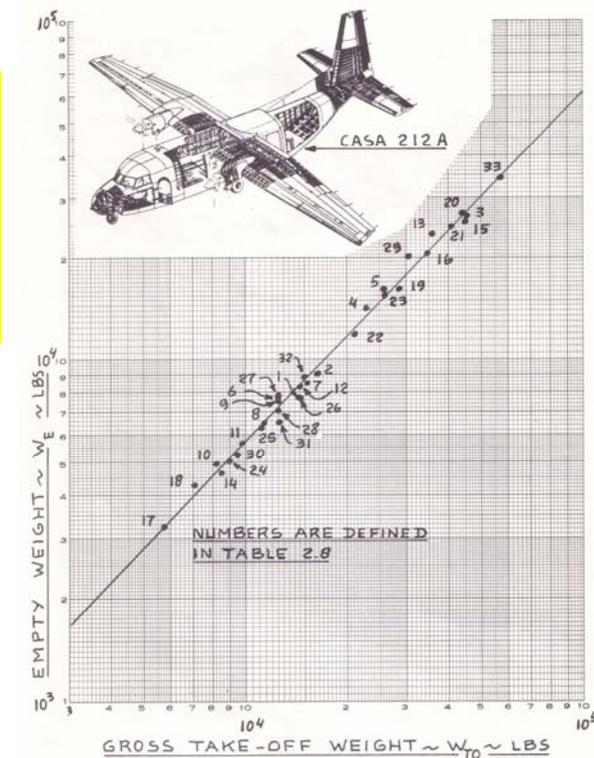
Una struttura aerospaziale deve riuscire ad assolvere il suo compito con il **MINIMO PESO**

I Carichi presenti su una struttura aerospaziale possono essere:

Statici - Dinamici - Aeroelastici  
Aerothermici - Pirotecnici - da Impatto

Essi determinano una distribuzione di sollecitazione sui vari elementi che compongono la struttura.

Tali componenti vanno opportunamente dimensionati, nel rispetto **dei requisiti di progetto** e delle **norme di aeronavigabilità**'.





## Esempi di Componenti Strutturali

In una struttura piu' o meno complessa sono presenti:

Parti strutturali, Elementi, componenti piu' o meno complessi

Uno o piu' materiali

Differenti tecniche di collegamento delle parti strutturali



**Bicicletta**

Tubi e collegamenti

Acciaio

Varie Tecniche di Saldatura



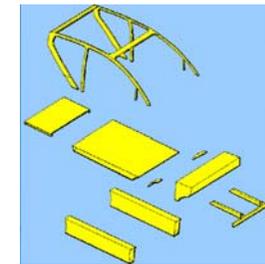
**Automobile**

Travi e Pannelli

Acciaio – Alluminio - Compositi

Saldatura a Punto (Spot Welding)

Incollaggi



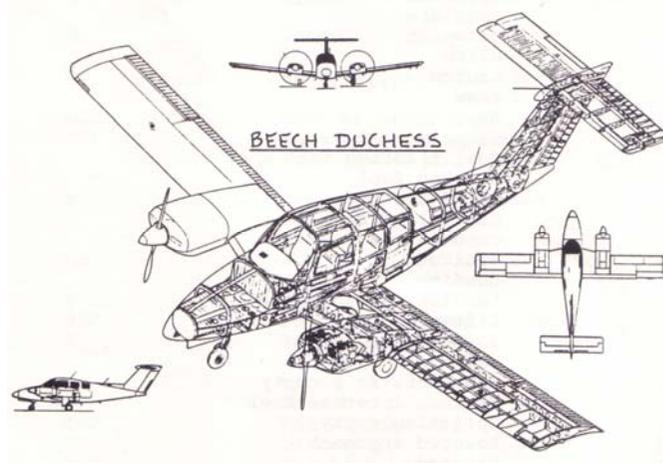
**SMART Concept**

Strutture Leggere

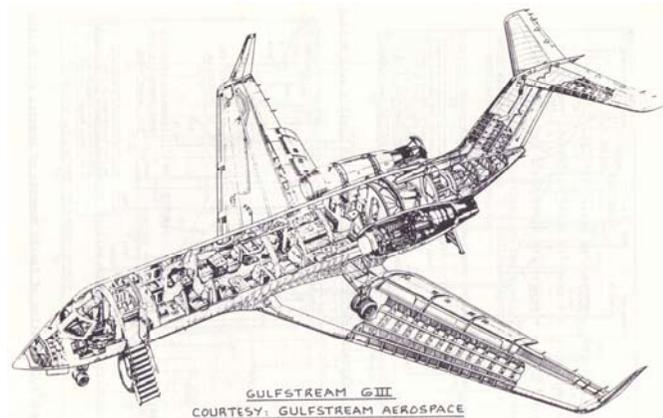
Bio Plastiche



## Esempi di Componenti Strutturali



**Aeroplano**



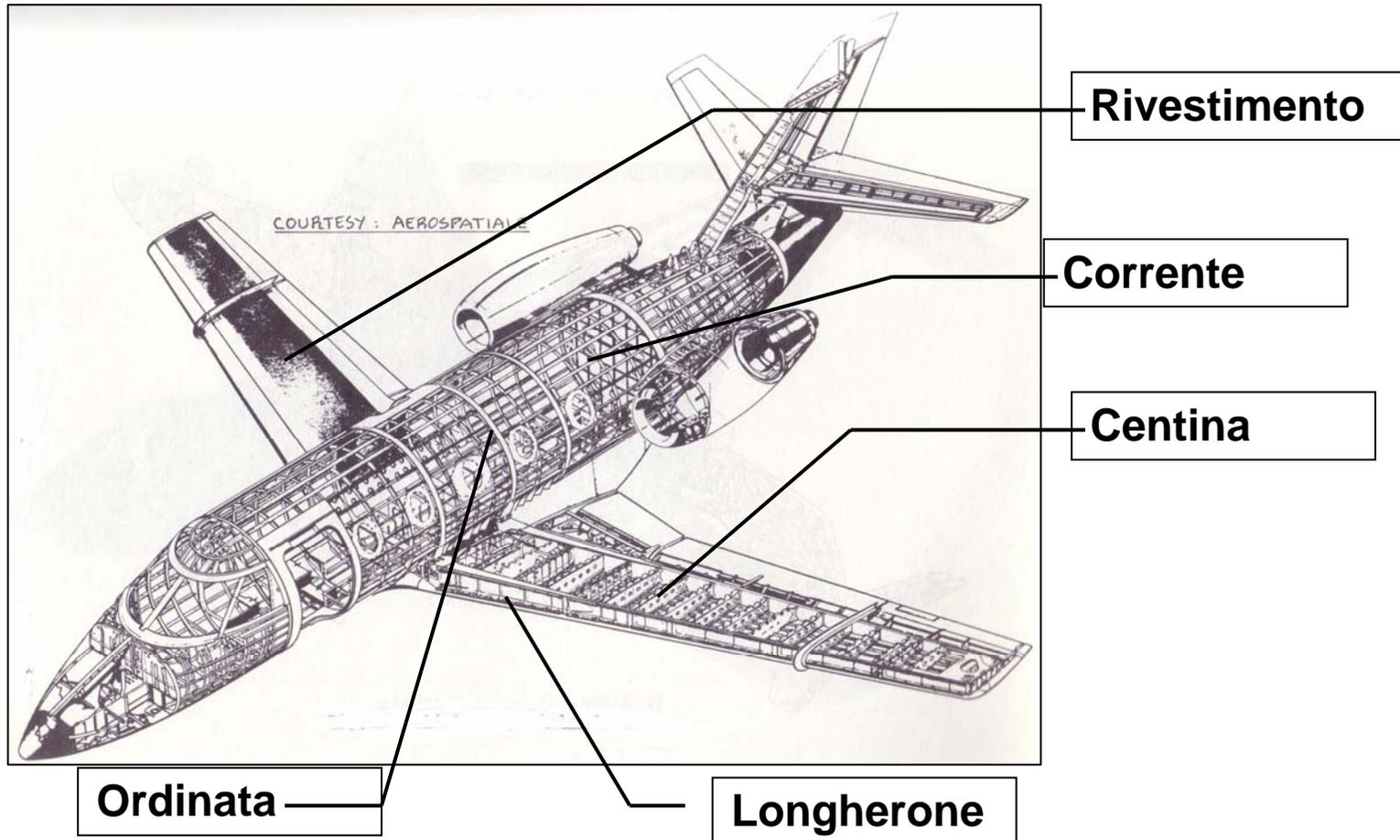
**Pannelli (Sheet, Panel, Membrane, ...)**  
**Correnti (Stringers)**  
**Centine (Ribs)**  
**Ordinate (Frames)**  
**Longheroni (Spars)**

**Leghe di Alluminio**  
**Compositi**

**Rivettatura (Riveting)**  
**Incollaggi (Bonding)**

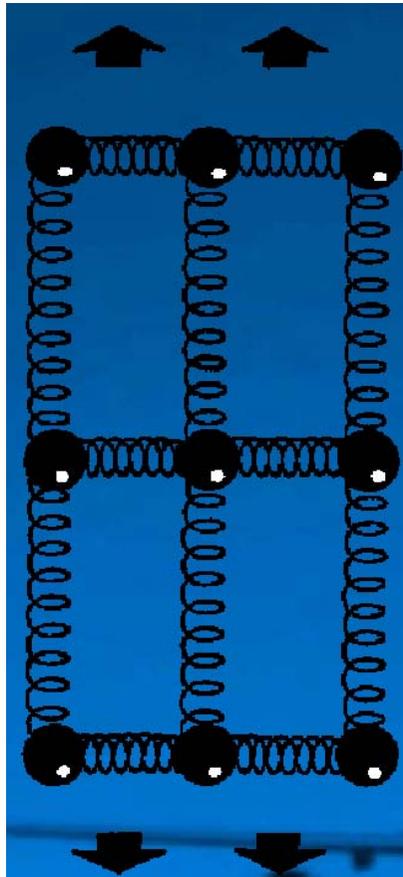


## Esempi di Componenti Strutturali (cont.)





## Il Comportamento di una Struttura Caricata



Qualsiasi Struttura, Sotto Carico, si deforma  
(anche un pavimento in cemento armato)

Le Forze che agiscono **SULLA** Struttura

Sono in EQUILIBRIO

Con le Forze che reagiscono **NELLA** Struttura

All'esterno noi vediamo gli **SPOSTAMENTI**

All'interno della struttura le molle (immaginarie)  
sono tese/comprese  $\boxtimes$  **DEFORMAZIONE**



## Il Comportamento di una Struttura Caricata (cont.)

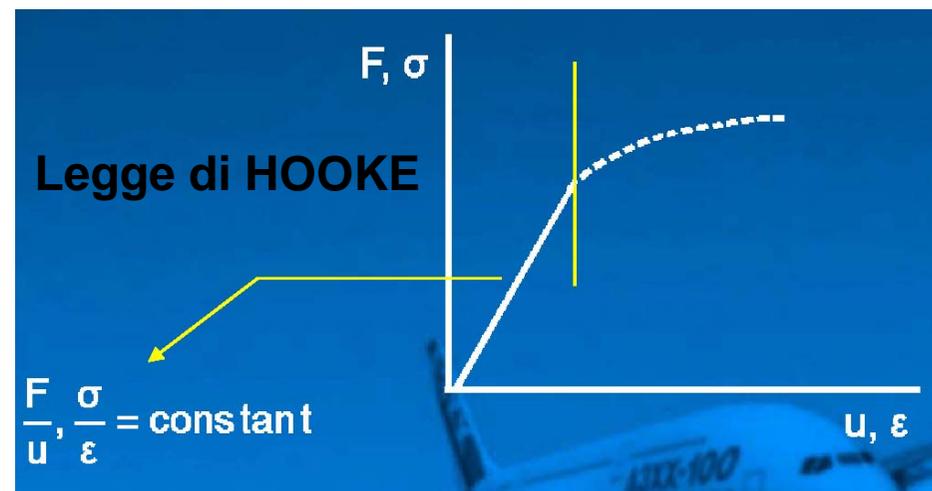
Per effetto di questa deformazione cambiano le forze di coesione interne e di conseguenza nasce la SOLLECITAZIONE (Stress)

### ALL'ESTERNO

Le FORZE e gli SPOSTAMENTI sono PROPORZIONALI

### ALL'INTERNO

Le SOLLECITAZIONI e le DEFORMAZIONI sono PROPORZIONALI



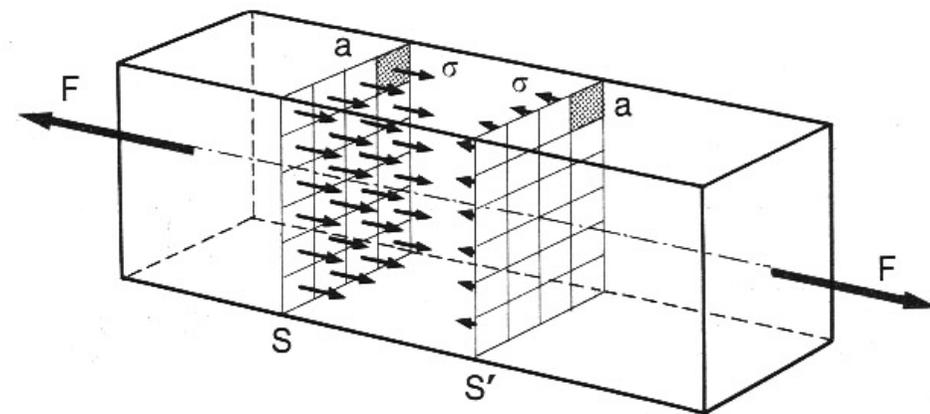
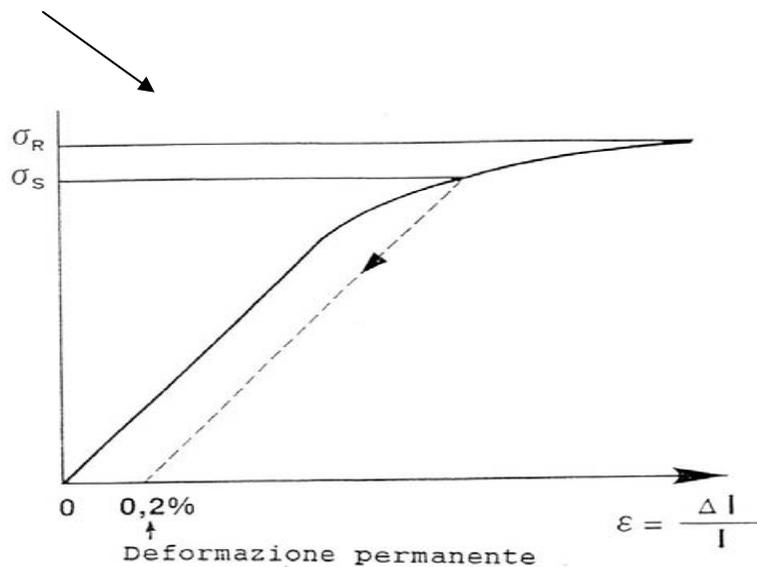
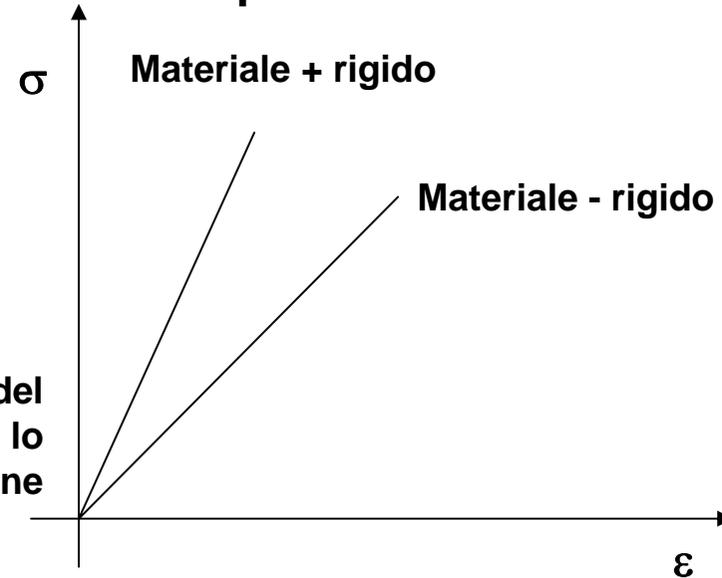


**Forza F**  
**S Superficie della sezione**  
**L Lunghezza del provino**

**Sollecitazione o Tensione  $\sigma = F/S$**   
**Deformazione  $\varepsilon = \Delta l/l$**

Quando la tensione supera il valore limite del materiale il comportamento non è più lineare, si ha lo snervamento e scaricando si ha deformazione permanente

### Comportamento lineare

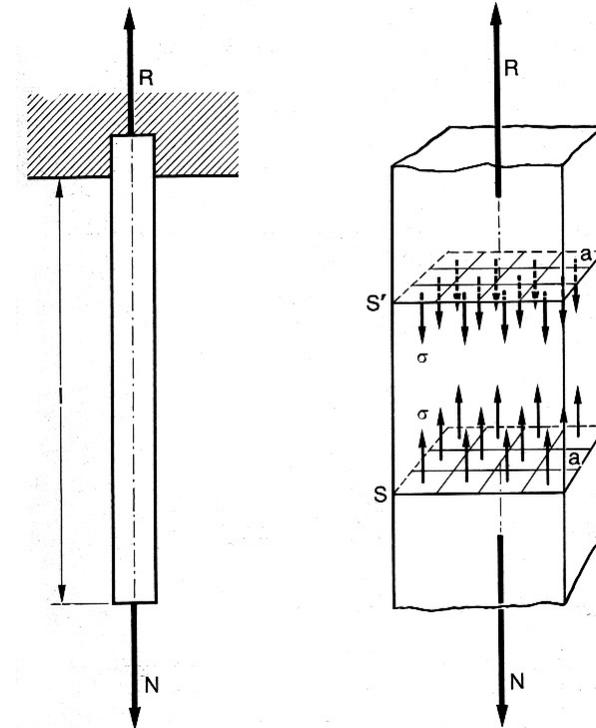




## Tipologia di lavoro di una struttura

Nel caso di Trazione/Compressione l'intensità delle tensioni è costante in tutta la sezione  $\sigma = N/S$ . Nel caso di compressione, cambia solo il segno delle tensioni.

### TRAZIONE / COMPRESSIONE





## Tipologia di lavoro di una struttura

Una struttura (trave) può essere soggetta a flessione semplice. Le fibre superiori risultano compresse, quelle inferiori tese. Di conseguenza esiste una zona (asse neutro) dove le fibre non sono né tese né compresse.

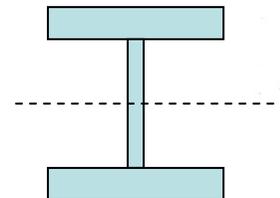
Ne risulta un diagramma di tensioni perpendicolari al piano di ogni sezione indicato sempre in figura.

L'intensità massima della tensione della fibra più distante dall'asse neutro è:

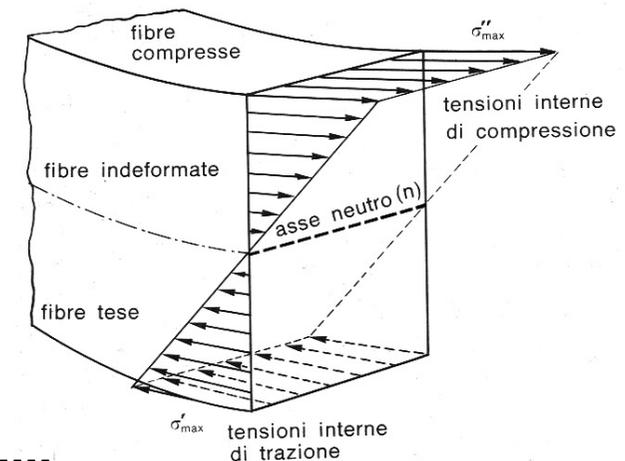
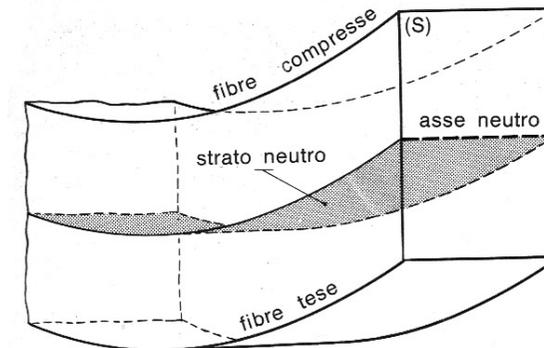
$$\sigma_{\max} = \frac{M_f * y_{\max}}{J}$$

Dove  $J$  è il momento di inerzia della sezione calcolato rispetto all'asse neutro.

=> Per assorbire bene la flessione c'è bisogno di alto  $J$ , cioè aree centrifugate.



## FLESSIONE





## Tipologia di lavoro di una struttura

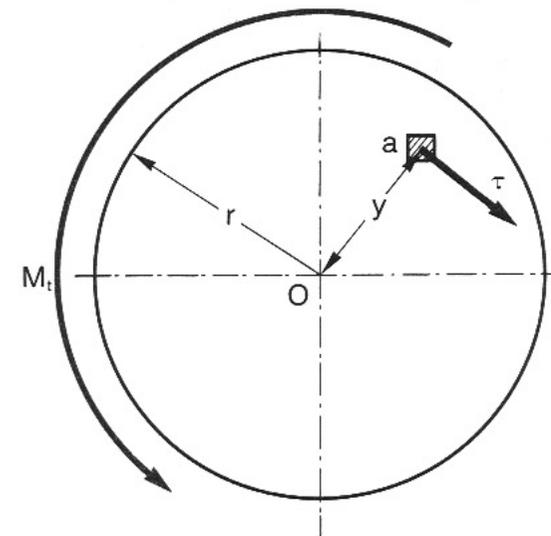
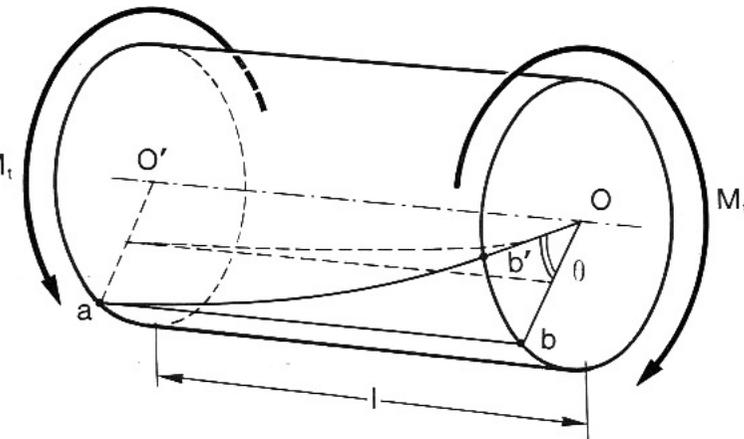
La trave in figura è soggetta al momento torcente  $M_t$ .

La torsione avviene attorno all'asse della trave.

La tensione questa volta è tangenziale alla sezione e viene definita come

$\tau = T/S$  sforzo tangenziale

### TORSIONE





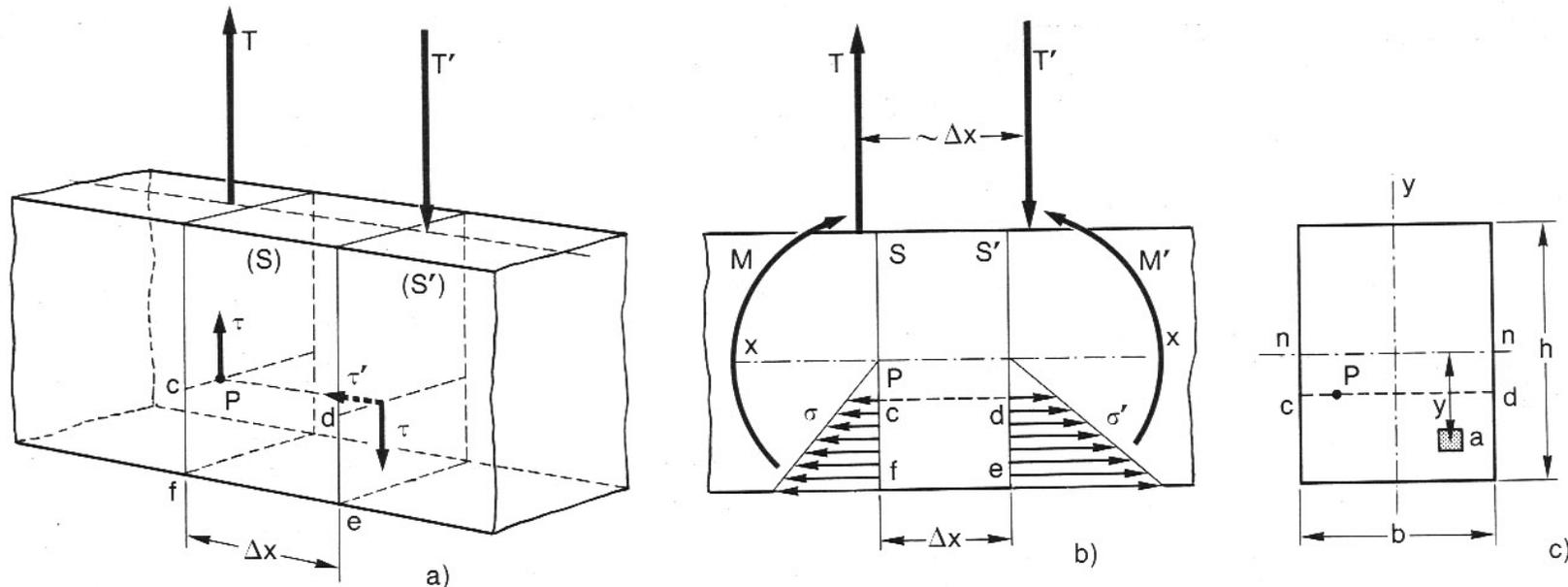
## Tipologia di lavoro di una struttura

In presenza di taglio due sezioni contigue tendono a slittare una rispetto all'altra. Esiste un complesso sistema di tensioni interne tangenziali atte a contrastare lo slittamento.

La distribuzione delle tensioni è piuttosto complessa per una trave a sezione rettangolare come in figura.

$$\tau = T/S \text{ sforzo tangenziale}$$

### TAGLIO



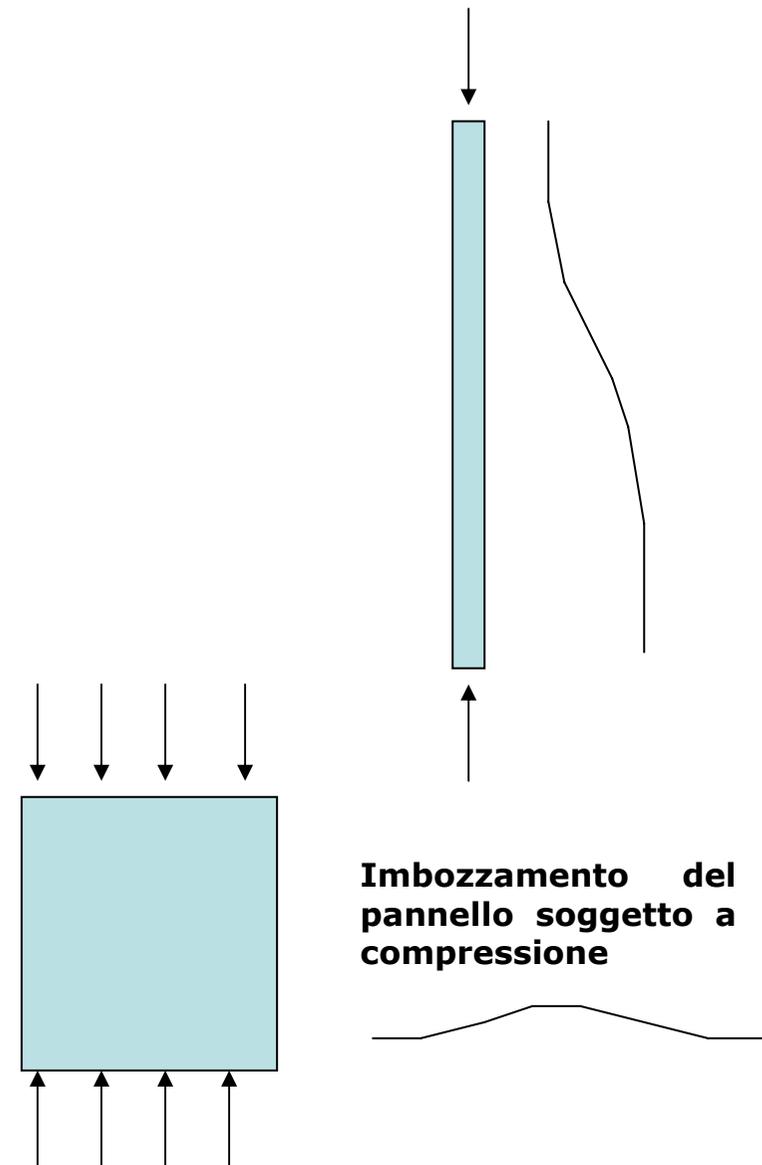


## Tipologia di lavoro di una struttura

### FENOMENO DELL'INSTABILITA'

Le strutture snelle (elementi trave, asta o pannello) se soggette a compressione vanno in crisi di instabilità molto prima che la tensione supera la tensione massima sopportabile dal materiale.

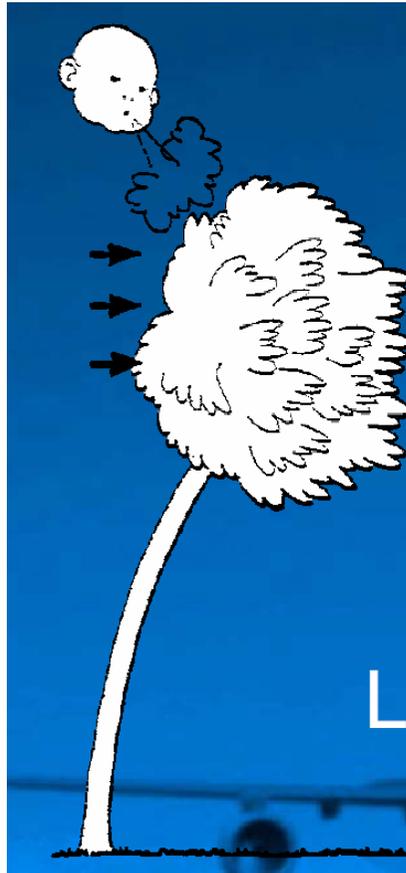
L'instabilità si manifesta con deformazioni molto evidenti.



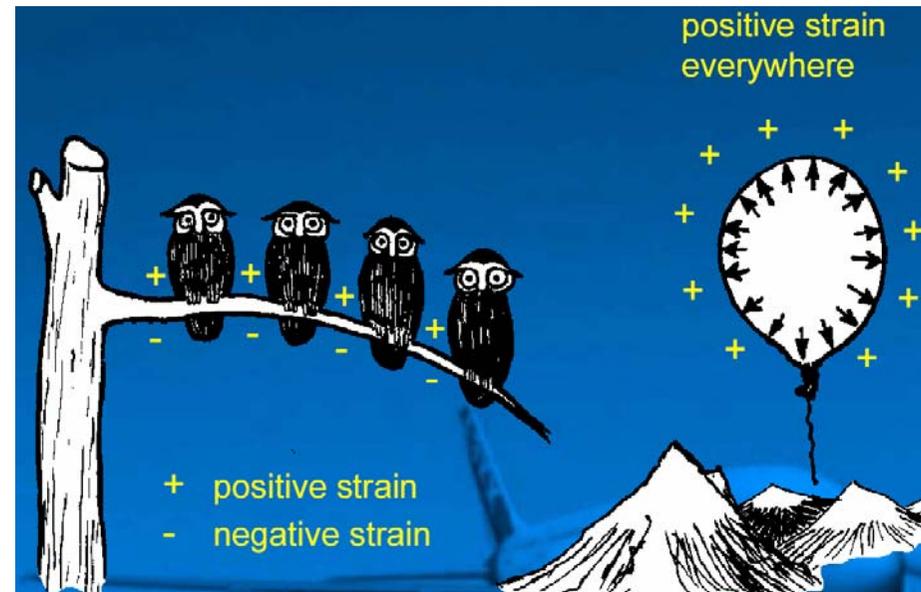


## Il Comportamento di una Struttura Caricata

Carico Esterno = Vento



Distribuzione della Sollecitazione



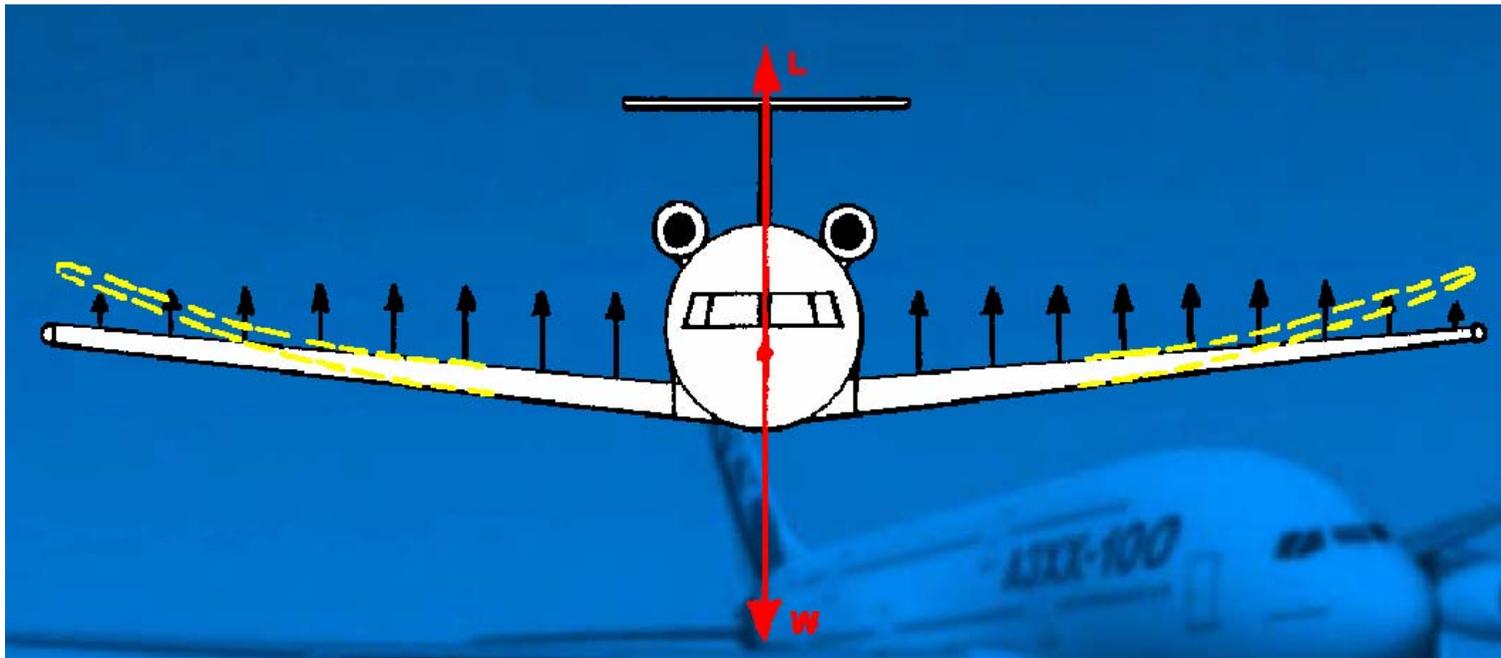
Risultato = Flessione



## Il Carico su un Aeroplano

Carico Esterno = Portanza

Risultato = Flessione





## A I R F R A M E

**Airframe: Velivolo senza gli allestimenti e gli equipaggiamenti interni**  
**E' l'insieme delle componenti strutturali che resistono alle forze che nascono durante le varie fasi del volo (crociera, manovre. Decollo, atterraggio, etc.)**

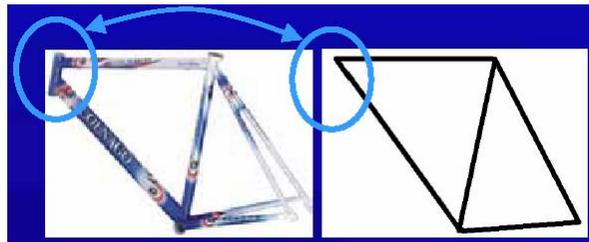
L'airframe e' composto dallo Skin e dai correnti, longheroni, ordinate, centine

In un moderno velivolo lo Skin e' relativamente sottile, ma e' fondamentale nel supportare i carichi di volo.

Storicamente il rivestimento si e' sviluppato a partire dalle strutture a traliccio (*Truss Structures*) che sono venute a modificarsi nel tempo per ragioni aerodinamiche e per lo sviluppo delle leghe leggere (*Stressed Skin*)

Le Strutture a Traliccio sono una tipica realizzazione Ingegneristica

Telaio di Bicicletta



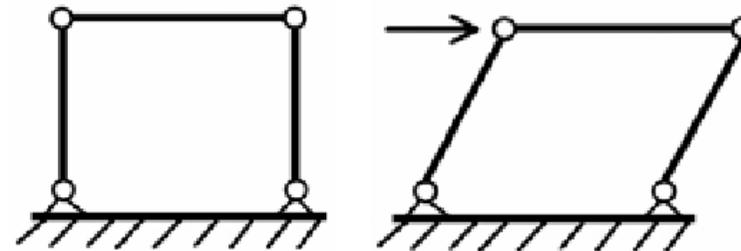
Torre Eiffel



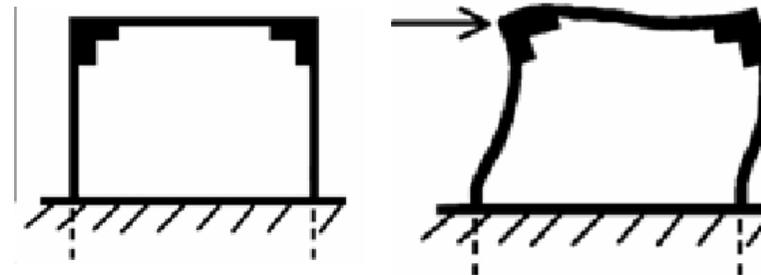
## Semplici Strutture a Traliccio

Sono fatte di Aste o Tubi incernierati tra loro.

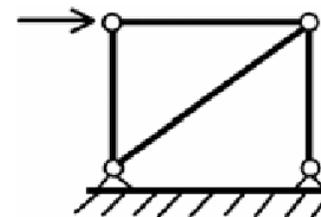
Allorche' caricate su un angolo, la struttura si piega (struttura *instabile*)



In presenza di giunzioni rigide aumenta la stabilita' della struttura, ma si produce una flessione degli elementi che la compongono.

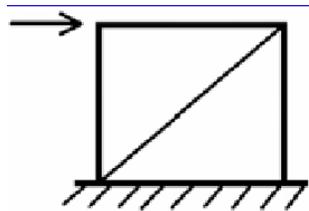


L'aumento di stabilita' della struttura si ottiene anche con l'inserimento di un elemento diagonale.

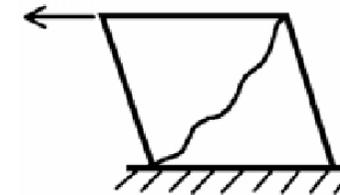




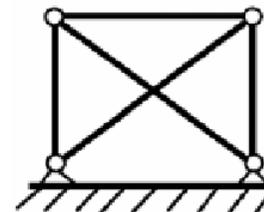
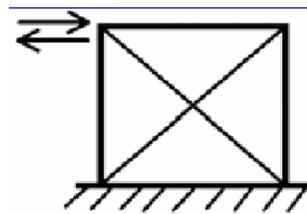
## Semplici Strutture a Traliccio (cont.)



L'elemento diagonale aggiunto potrebbe essere anche un cavo. I cavi, pero', non possono essere caricati a compressione



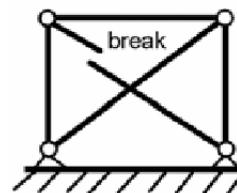
**SOLUZIONE: Due Cavi / Aste**



**Nota: Nessuna cerniera all'incrocio tra le due aste**

### Svantaggi

Piu' difficile da assemblare  
Piu' difficile da calcolare  
Piu' pesante?



### Vantaggi

Doppia possibilita' di resistere al carico. Se un elemento diagonale cede, l'altro ancora stabilizza la struttura



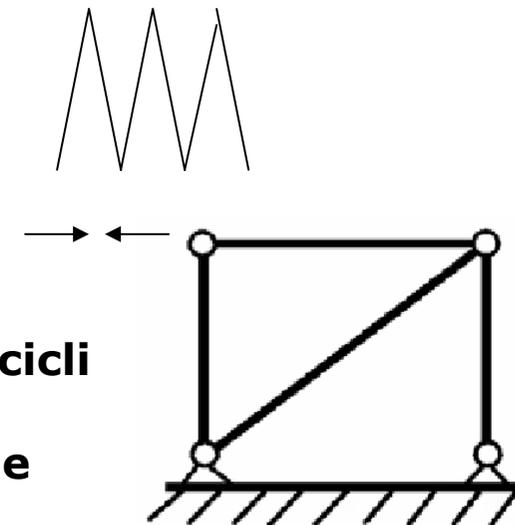
## ROTTURA PER FATICA

In presenza di un carico ciclico, anche se di entità inferiore a quello di rottura, un elemento strutturale arriva alla crisi dopo un certo numero di cicli. Nel caso dei velivoli il carico ciclico è ad esempio quello relativo alla portanza sulle ali (raffiche e manovre) oppure quello di pressurizzazione della fusoliera.

La struttura della fusoliera ogni volta che il velivolo sale fino alle quote di crociera (quindi ad ogni volo) e poi scende per l'atterraggio subisce un carico ciclico di pressurizzazione. Difatti la pressione interna in cabina viene mantenuta più o meno pari a quella che c'è a basse quote (circa 1 bar), mentre quella esterna a 10000 m è circa pari a 0.3 bar.

In generale dopo  $N$  cicli di carico (per le strutture del velivolo si parla di Migliaia di cicli) la struttura inizia a presentare delle cricche che portano ad una rottura Improvvisa.

Si tratta quindi di calcolare bene questo numero di cicli. Quando si progettano le varie parti del velivolo e **SOSTITUIRE** tali elementi con un opportuno margine di sicurezza prima che manifestino problemi.



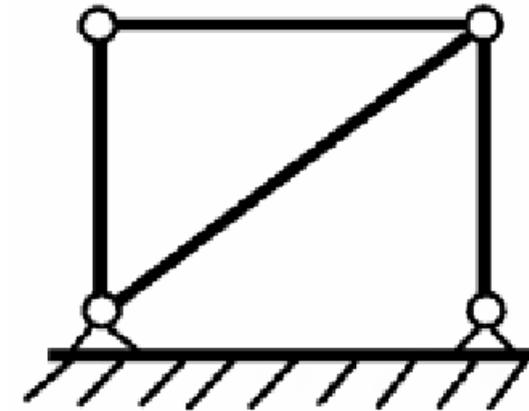


## Due Principi Importanti

Nel principio di progetto **Safe Life** le parti principali del velivolo vengono progettate con un calcolo della vita a fatica. I vari pezzi andranno sostituiti (con un ragionevole margine di sicurezza) prima che sopraggiunga la rottura per fatica.

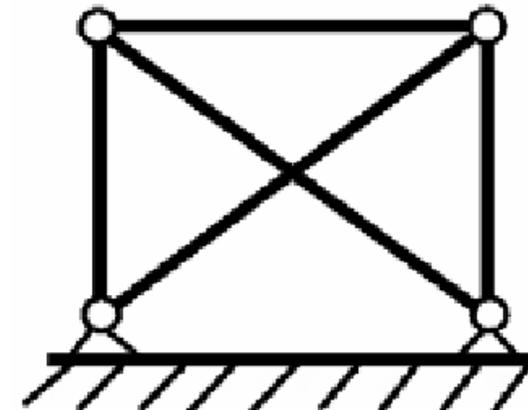
Nella filosofia **Fail safe**, si prevede invece che un certo elemento strutturale possa rompersi (per cause accidentali). Si inserisce però un ulteriore elemento che impedisce alla struttura completa di andare in crisi.

I velivoli vengono progettati tenendo presenti le due filosofie. In particolare la manutenzione viene programmata attraverso il calcolo preliminare della vita a fatica. Alcuni elementi critici possono poi essere ulteriormente protetti con criteri **Fail Safe**.



**Safe Life**

*Vita Sicura*



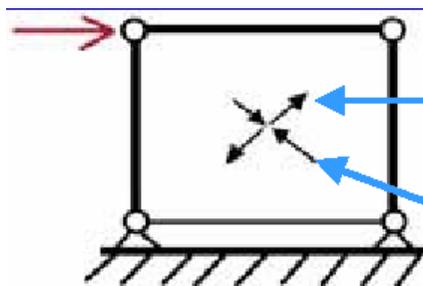
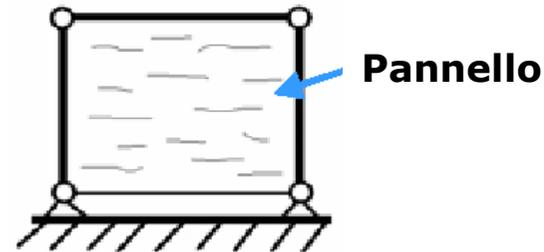
**Fail Safe**

*Rottura Sicura*



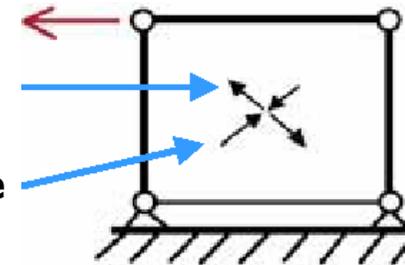
## Progresso della Struttura a Traliccio

### Sostituzione degli elementi diagonali con un pannello



Direzione in Tensione

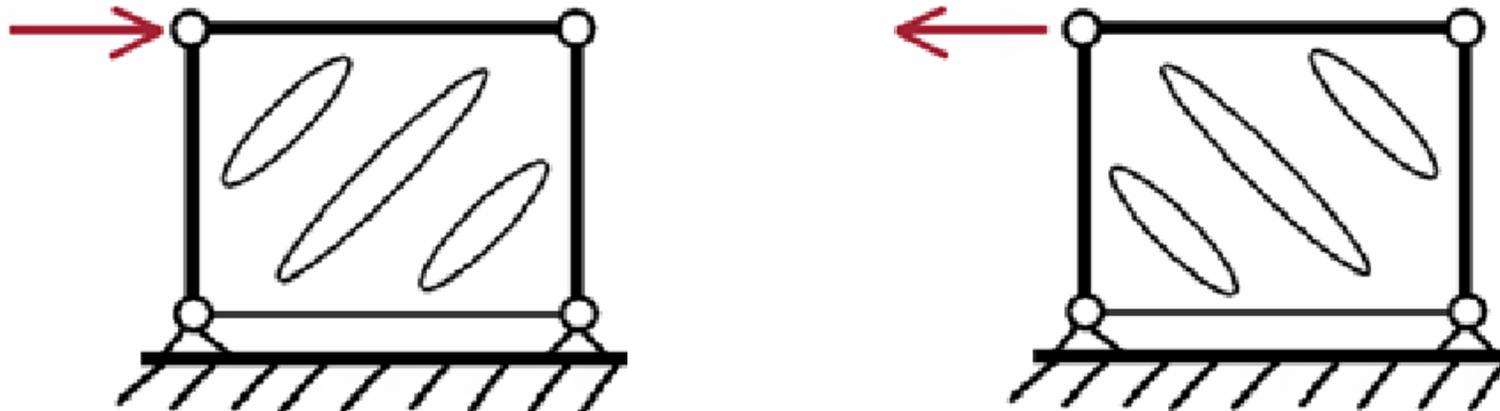
Direzione in Compressione





## Instabilità Elastica - Buckling

All'aumentare del carico applicato le forze in compressione nel pannello provocano la formazione di imbozzamenti (instabilità locale del pannello).



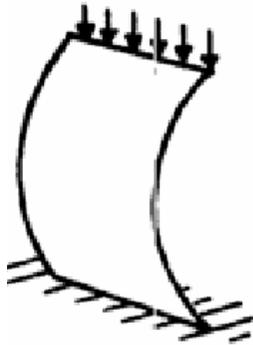
Non c'è Rottura ☒ Struttura Fail-Safe

Alla riduzione del valore del carico la struttura ritorna al suo stato precedente (instabilità elastica)

**I fenomeni di Instabilità a compressione sono estremamente importanti nelle strutture aerospaziali**

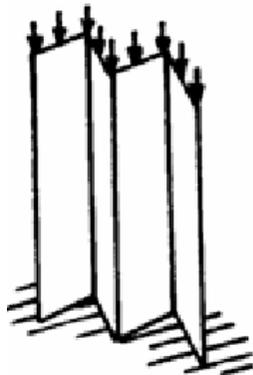


## Irrigidire i Pannelli



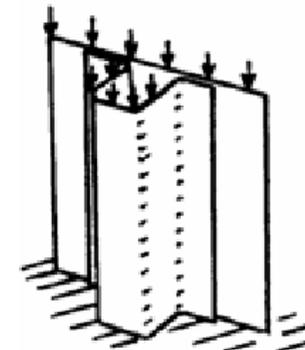
Un pannello soggetto ad un carico di compressione si imbozza.  
Panel Buckling.  
Lo stesso carico a trazione non avrebbe creato alcun problema.

Si pone quindi il problema di irrigidire il pannello mantenendo il concetto di Lightweight Structure.



Piegare un pannello ha un sensibile effetto di irrigidimento

Supportare il pannello con un corrente di irrigidimento  
(tipica soluzione nelle costruzioni aerospaziali)



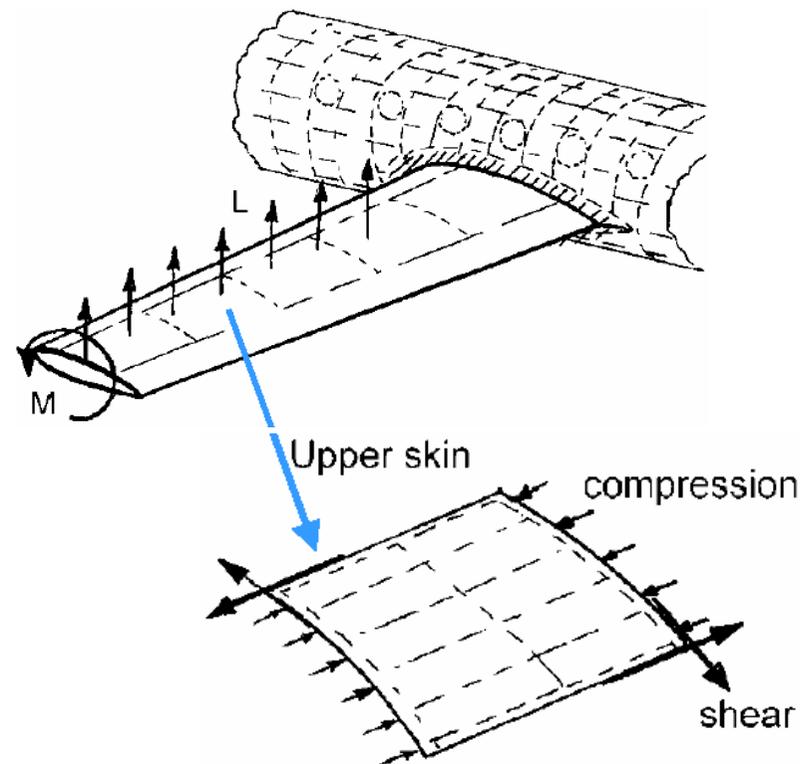


## Rivestimento Irrigidito nei Velivoli

Struttura Alare

Carichi Esterni

Lift & Moment



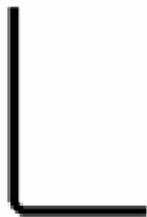
Rivestimento irrigidito con correnti e centine



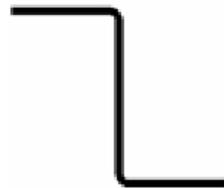
## Geometrie di Correnti di Irrigidimento

Funzione del tipo di Carico, della tecnica di giunzione, ...

Del Processo di Produzione

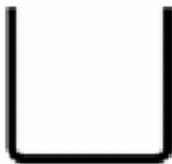
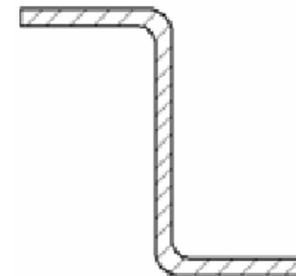


L



Z

Piegatura

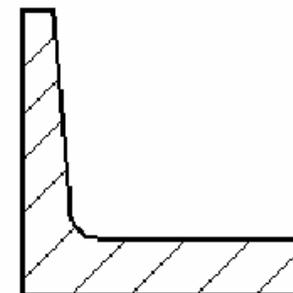


U



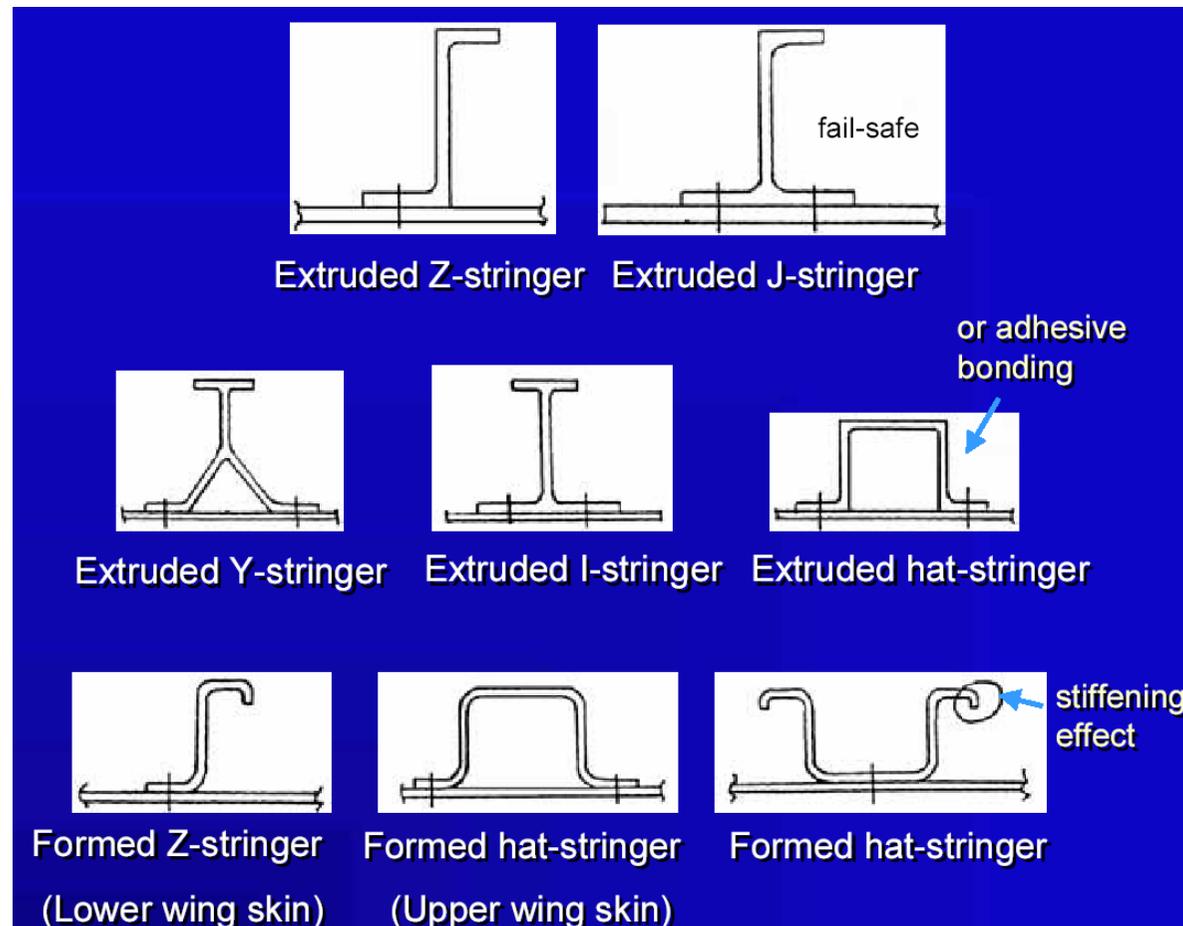
Hat

Estrusione





## Geometrie di Correnti di Irrigidimento (cont.)





## Esempi di Irrigidimento di Strutture Alari

Type Aircraft	Skin	Type structure	Material	Shape	
F100	upper	stringer	7075-T6		
	lower	stringer	2024-T3		
MD-90	upper	stringer	7075-T6		
	lower	stringer	2024-T3		
B 747	upper	stringer	7075-T6		
	lower	stringer	2024-T3		
A-300	upper	stringer	7075-T6		
	lower	stringer	2024-T3		
C-5A	upper	integral	7075-T6		
	lower	integral	7075-T6		



## Altri Concetti di Irrigidimento Strutturale

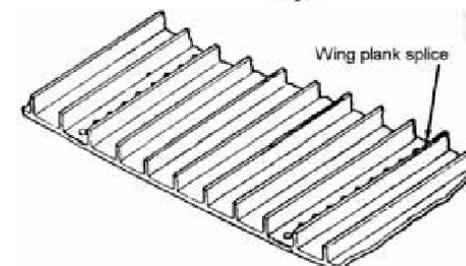
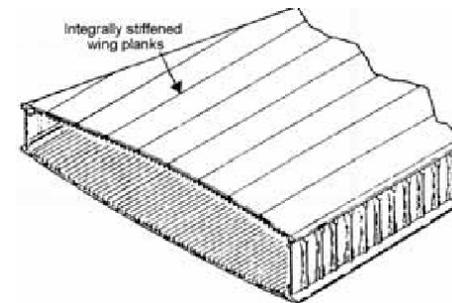
### Struttura Integrale



Basso numero di Parti  
Spessore adattabile con continuita'  
Semplice geometria di irrigidimento



Notevole sfrido (~90%)  
Crescita rapida della cricca  
Difficolta' di riparazione  
Spessore elevato ⇒ Grossi velivoli



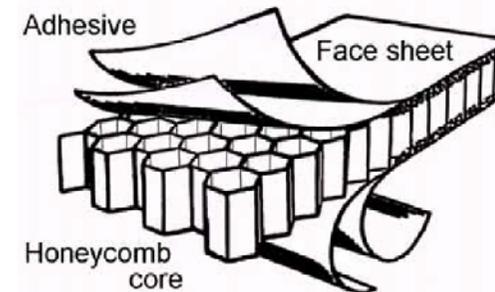
### Sandwich



Non sono necessari correnti di irrigidimento  
Ottima resistenza a compressione



Dettagli complessi e costosi  
Problemi di corrosione

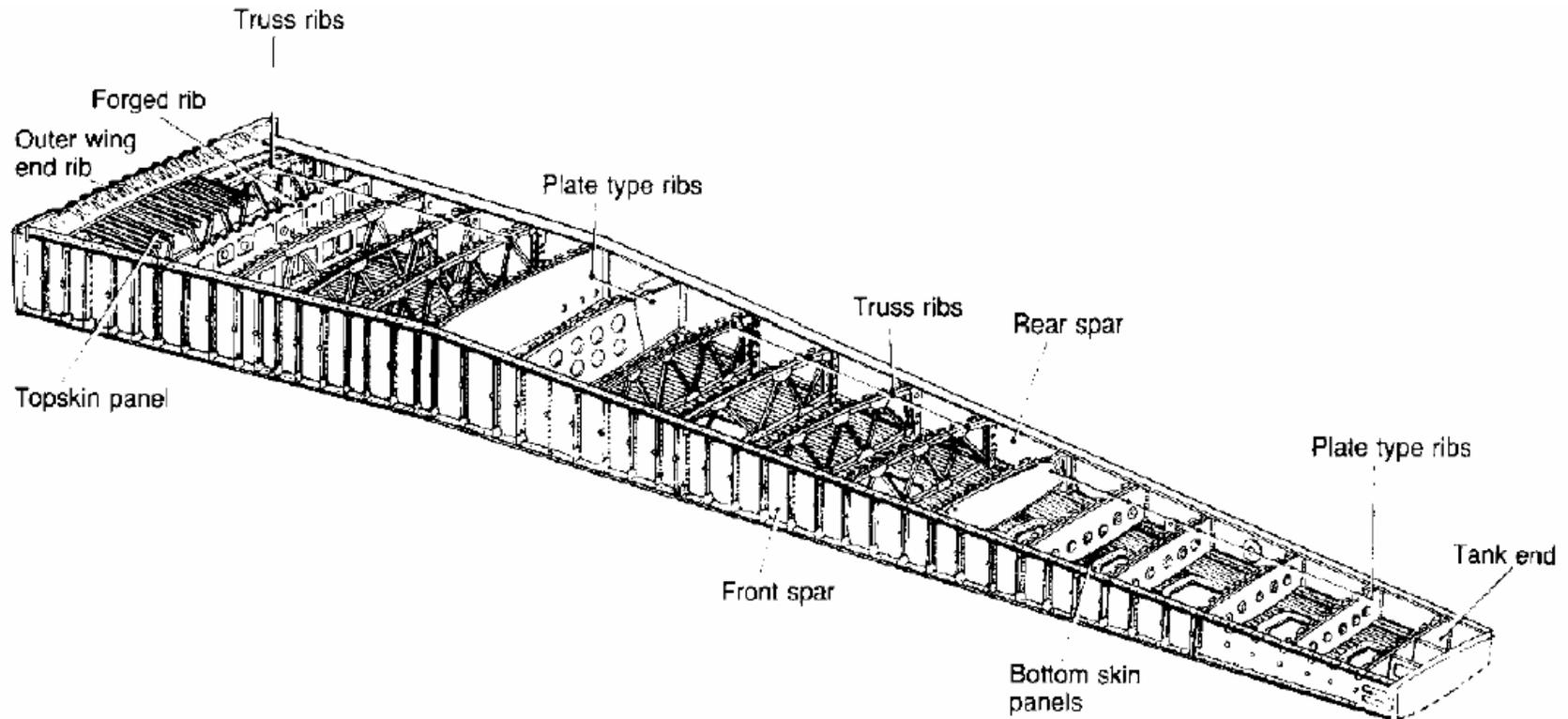




## Configurazione strutturale dell'ala

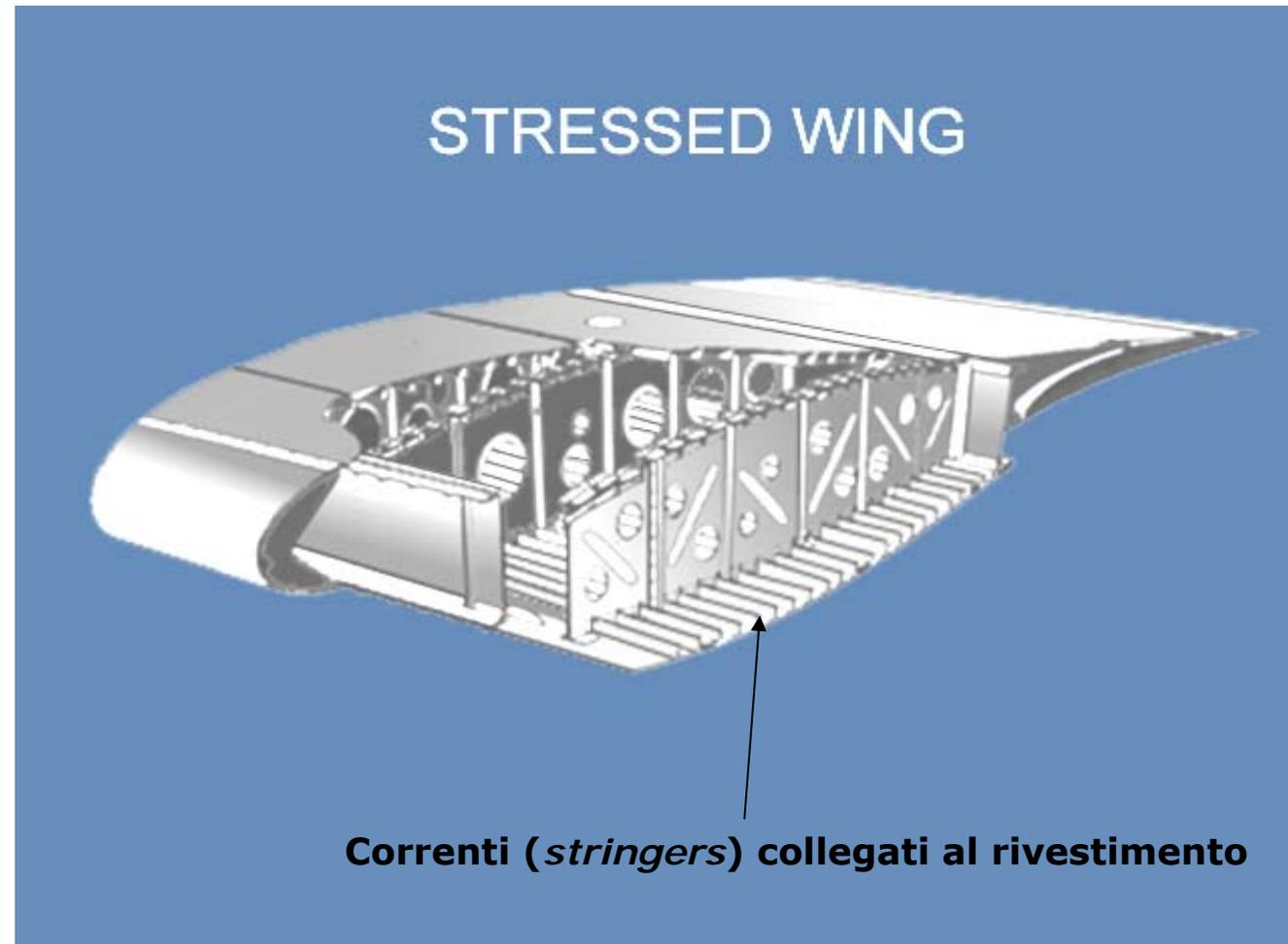
### Elementi strutturali primari:

- Longheroni
- Centine
- Rivestimento



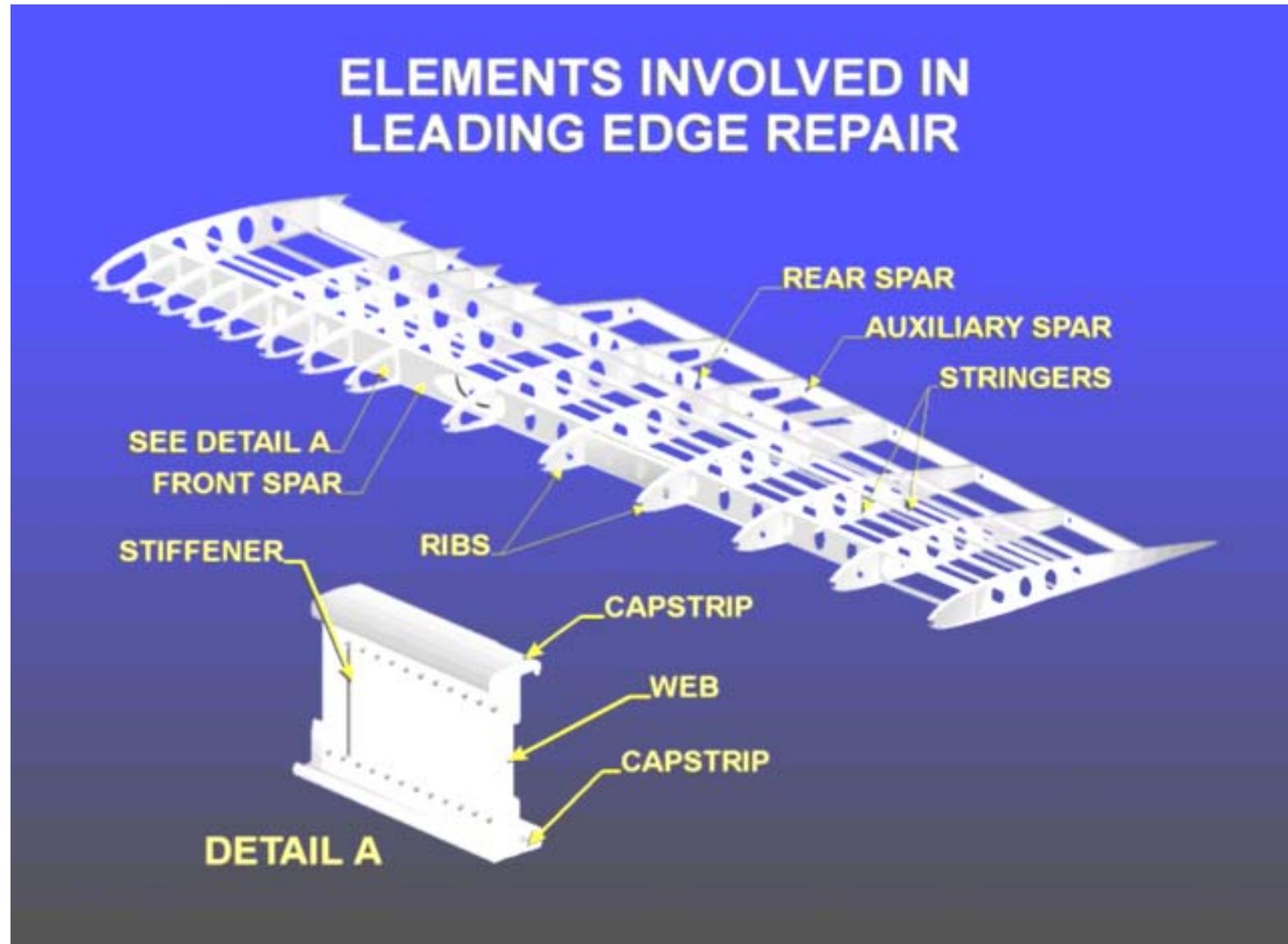


## Configurazione strutturale dell'ala





## Configurazione strutturale dell'ala





## Configurazione strutturale dell'ala

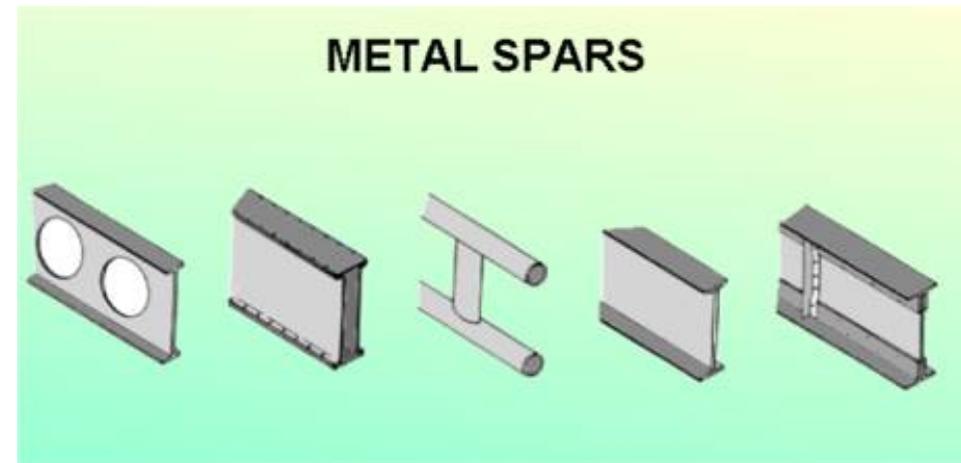
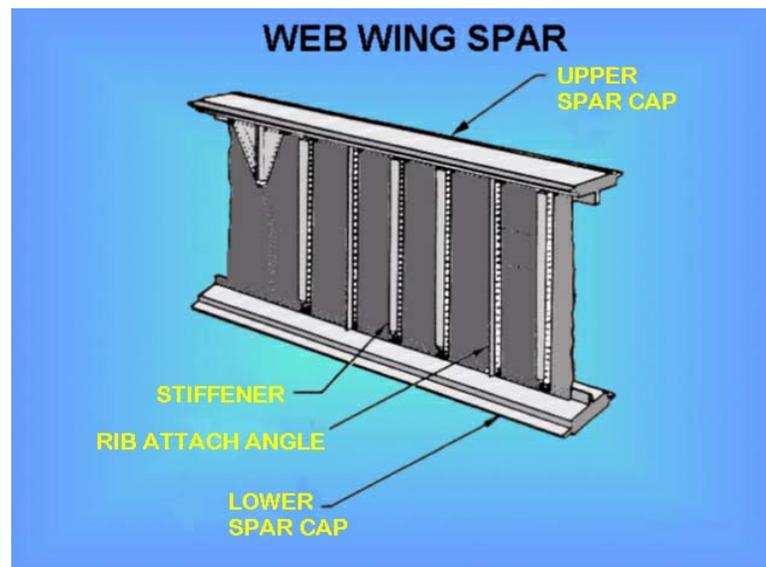
### Longheroni

I longheroni (*spar*), in numero vario da uno a più, costituiscono la "spina dorsale" dell'ala. Staticamente sono come delle tarvi a mensola incastrate nella fusoliera (alle ordinate di forza).

Il longherone è costituito da un'anima (*web spar*) e da due solette (*cap spar*).

Hanno come funzione:

- resistere alla flessione dell'ala
- resistere al taglio dell'ala, tramite le anime
- contribuire ,con le anime e con il rivestimento, a formare una sezione chiusa, detta cassone alare, che assolve il compito di resistere alla torsione.
- formare un supporto per collegare le centine.



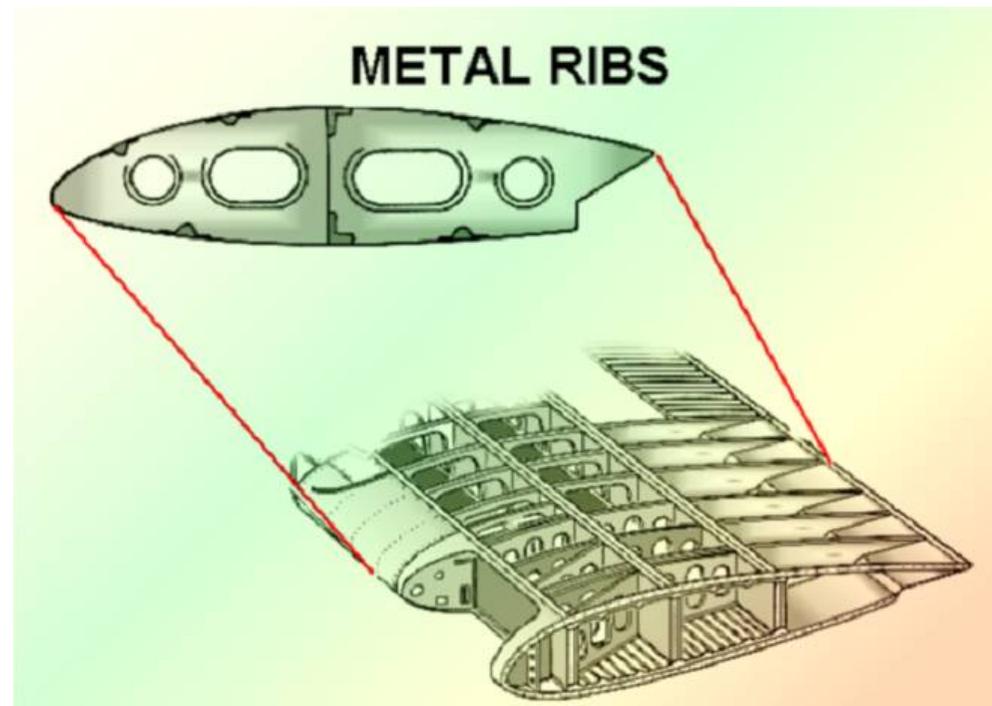


## Configurazione strutturale dell'ala

### Centine (*Ribs*)

Le centine (*ribs*) :

- mantengono il corretto profilo dell'ala
- trasmettono gli sforzi dal rivestimento ai longheroni
- sostengono il rivestimento quando esso assolve compiti statici
- contribuiscono a quadrare i pannelli (riducendo così la loro lunghezza e riducendo i fenomeni di instabilità).





## Configurazione strutturale dell'ala

### Rivestimento

**Il rivestimento ha sempre un compito di forma e spesso anche un compito statico.**

- **compito di forma: esercita la funzione di raccogliere la spinta aerodinamica, trasmettendola ai longheroni attraverso le centine**
- **compito statico: ha il compito di resistere a torsione e, nelle strutture a sforzi diluiti, di contribuire alla resistenza a flessione**

**Nelle strutture alari a sforzi diluiti è possibile trovare anche degli elementi allungati, chiamati correntini (*stringers*) che corrono parallelamente all'apertura alare e sono collegati al rivestimento.**

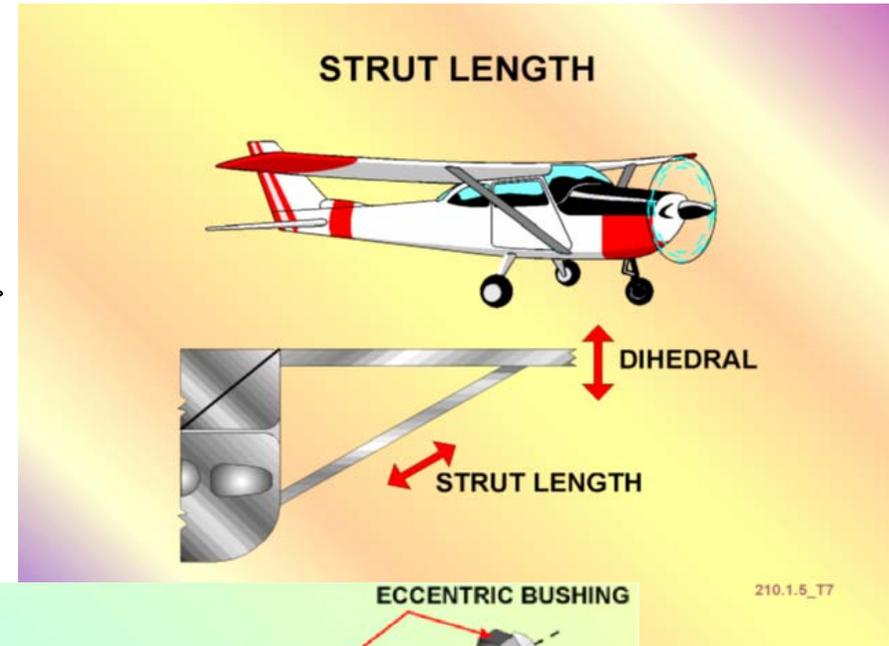
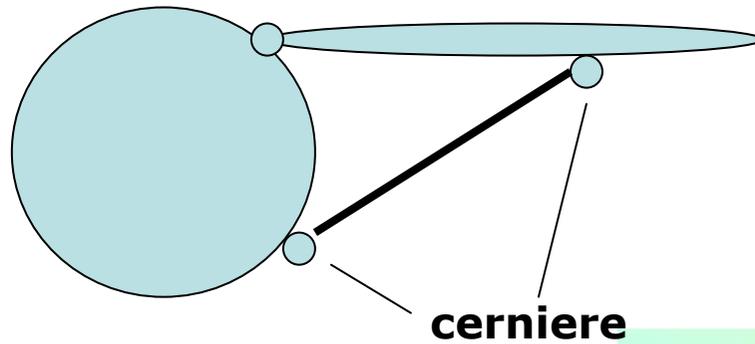
**Hanno il compito:**

- **di contribuire alla resistenza a flessione**
- **di "riquadrare", insieme alle centine, il rivestimento che viene così suddiviso in pannelli aumentando la resistenza del rivestimento alle sollecitazioni di torsione e compressione. Queste infatti possono causare l'ingobbamento del rivestimento tanto più facilmente quanto più grandi sono i pannelli.**

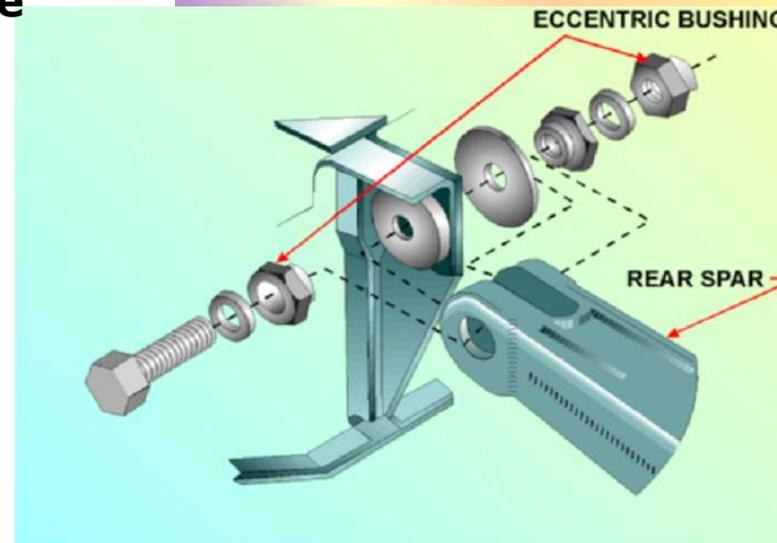


## Configurazione strutturale dell'ala

### Ala controventata



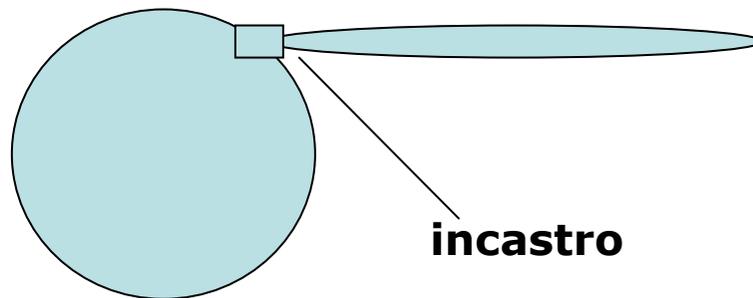
### Schema dell'attacco alla radice alare



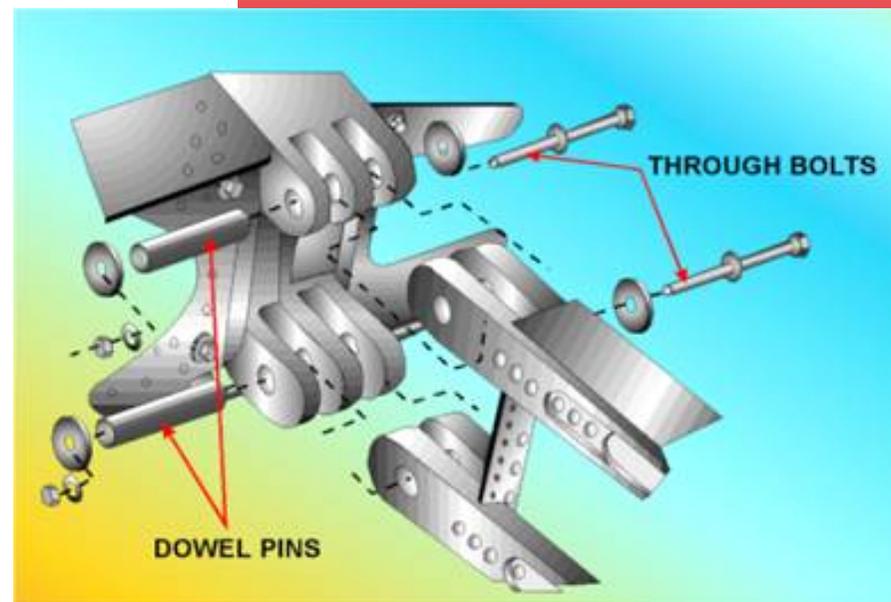


## Configurazione strutturale dell'ala

### Ala controventata



### Schema dell'attacco alla radice alare

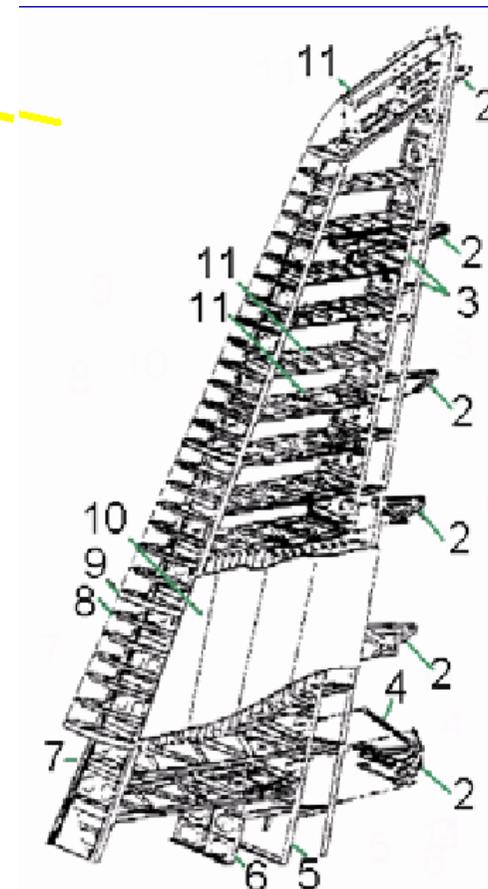




## Dettaglio di Componenti Strutturali



1. Struttura d'estremita'
2. Supporti per il timone
3. Struttura del Bordo d'Uscita
4. Struttura per la Spinta
5. Longherone Posteriore
6. Trave
7. Longherone Anteriore
8. Centina di forma per bordo d'attacco
9. Centina di Bordo d'Attacco
10. Pannelli di Rivestimento
11. Centine





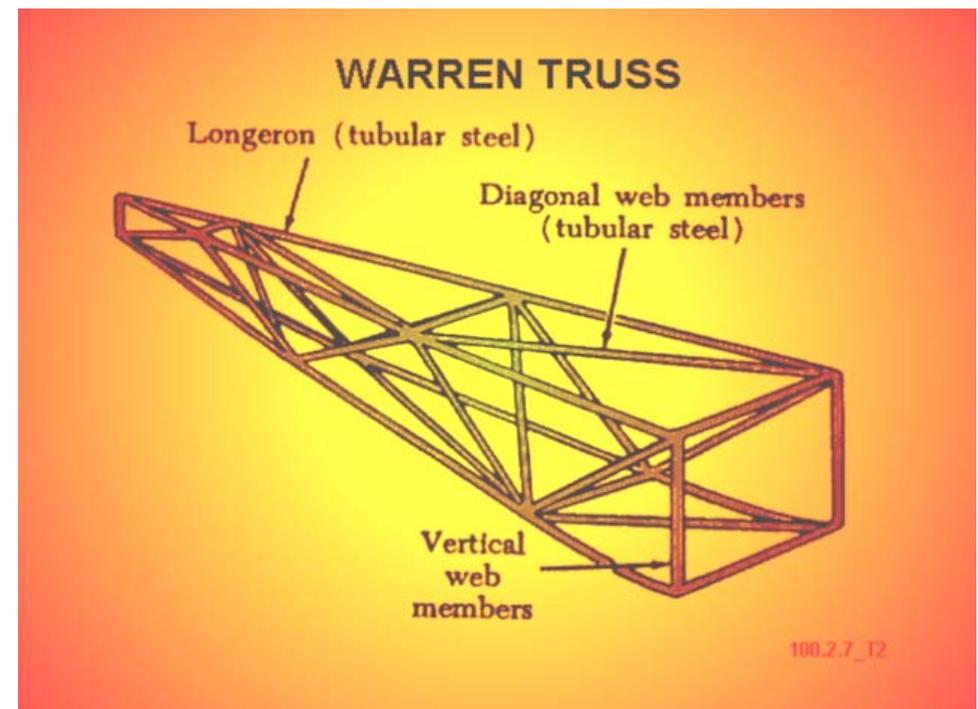
## Fusoliera

Le fusoliere costruttivamente si dividono in due tipi:

- reticolari
- a semiguscio (semimonocoque)

Nelle prime, usate nei velivoli piccoli non pressurizzati e di basso costo, una struttura reticolare esercita le necessarie funzioni statiche ed il rivestimento ha solamente compito di forma.

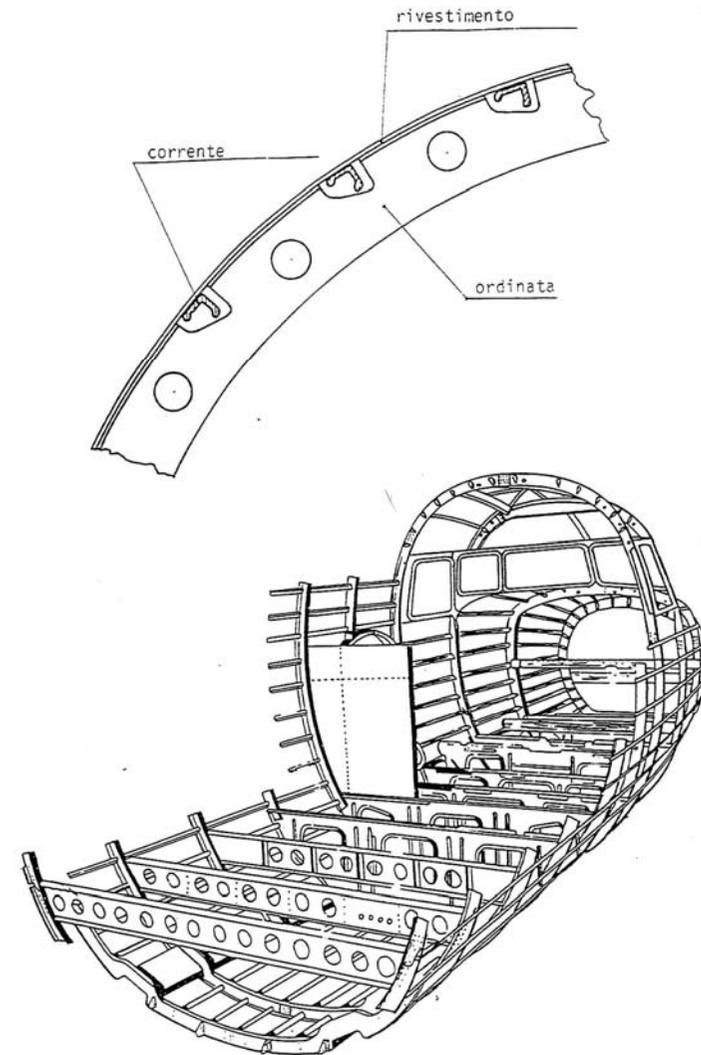
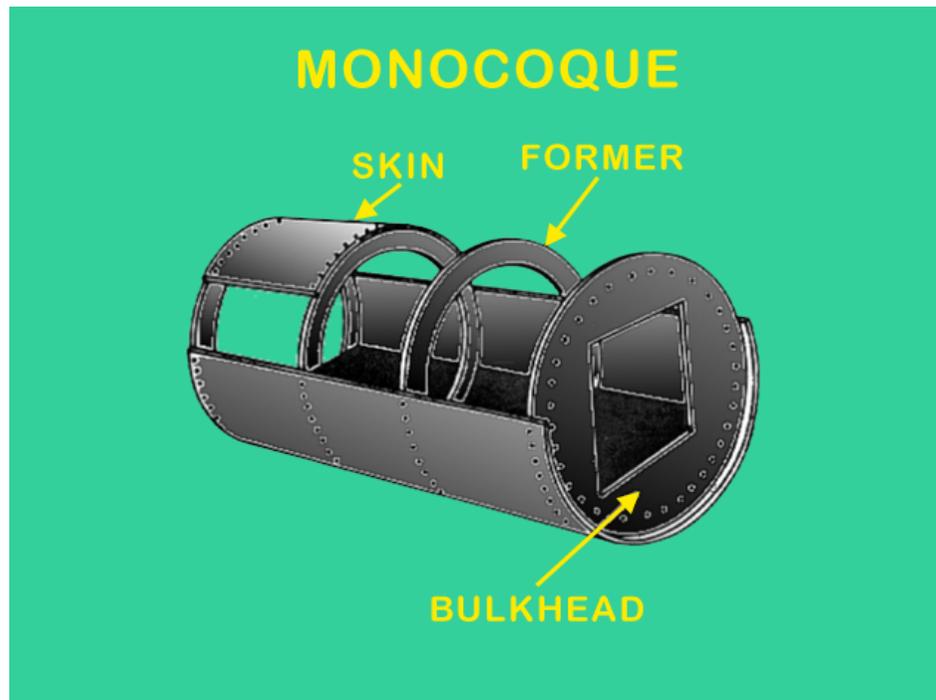
Le fusoliere a semiguscio sono divenute obbligatorie nelle cabine pressurizzate. In esse il rivestimento ha funzioni di forma e statiche.





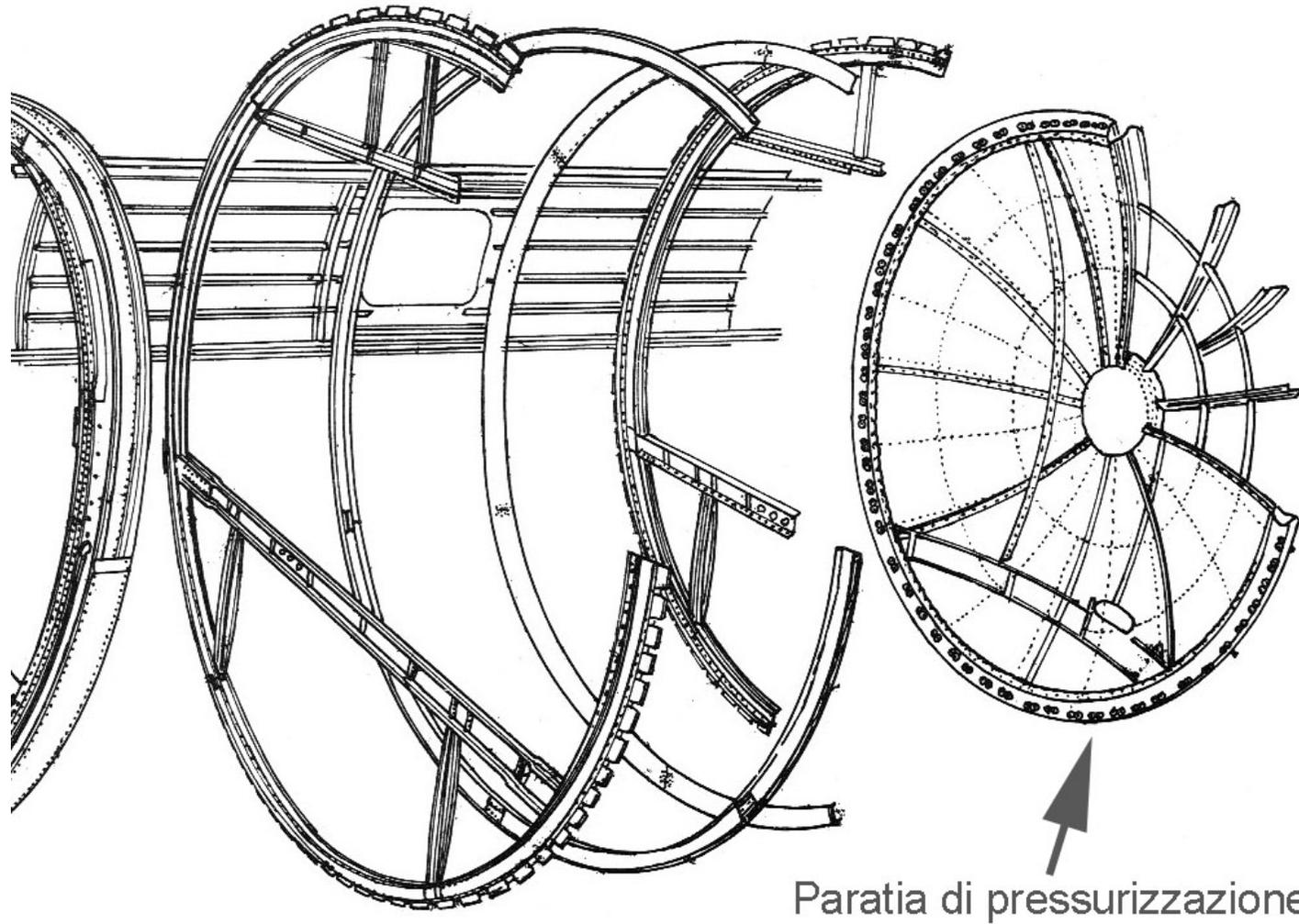
## Fusoliera

Costruttivamente le fusoliere a semiguscio sono realizzate da un certo numero di ordinate trasversali su cui poggiano numerosi correnti longitudinali, il tutto fasciato dal rivestimento. Il rivestimento, irrigidito dai correnti, contribuisce alla resistenza a torsione, a flessione ed a taglio. Le ordinate, al pari delle centine per l'ala, svolgono funzione di forma e di riquadratura.





## Fusoliera

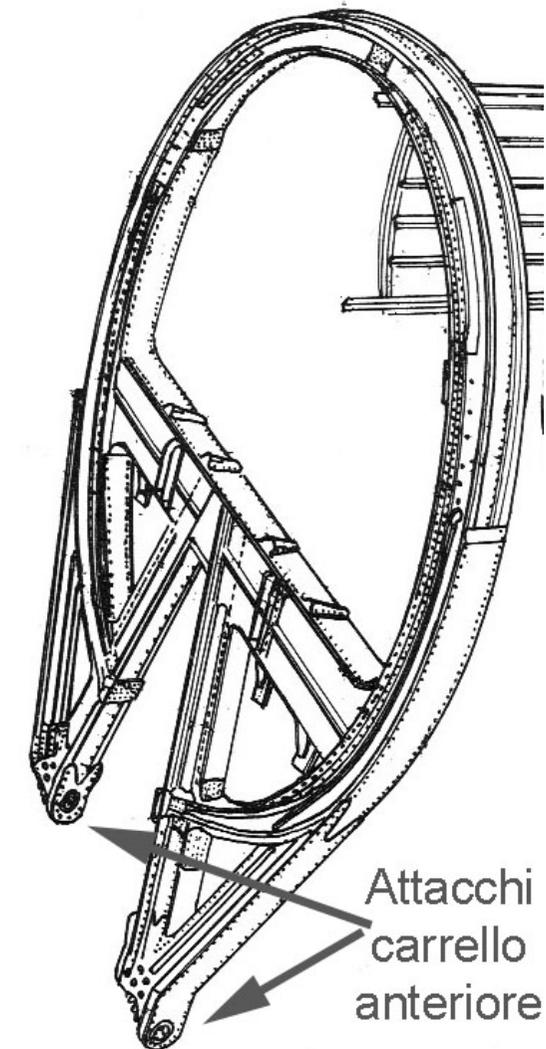




## Fusoliera

Alcune ordinate hanno anche un fondamentale compito statico, cioè quello di collegare l'ala o il carrello con la fusoliera.

Tali ordinate sono delle vere e proprie travi curve e sono denominate ordinate di forza.





## Tipologie e Configurazioni di Velivoli

### Identificazione di Alcune Tipologie di Velivoli

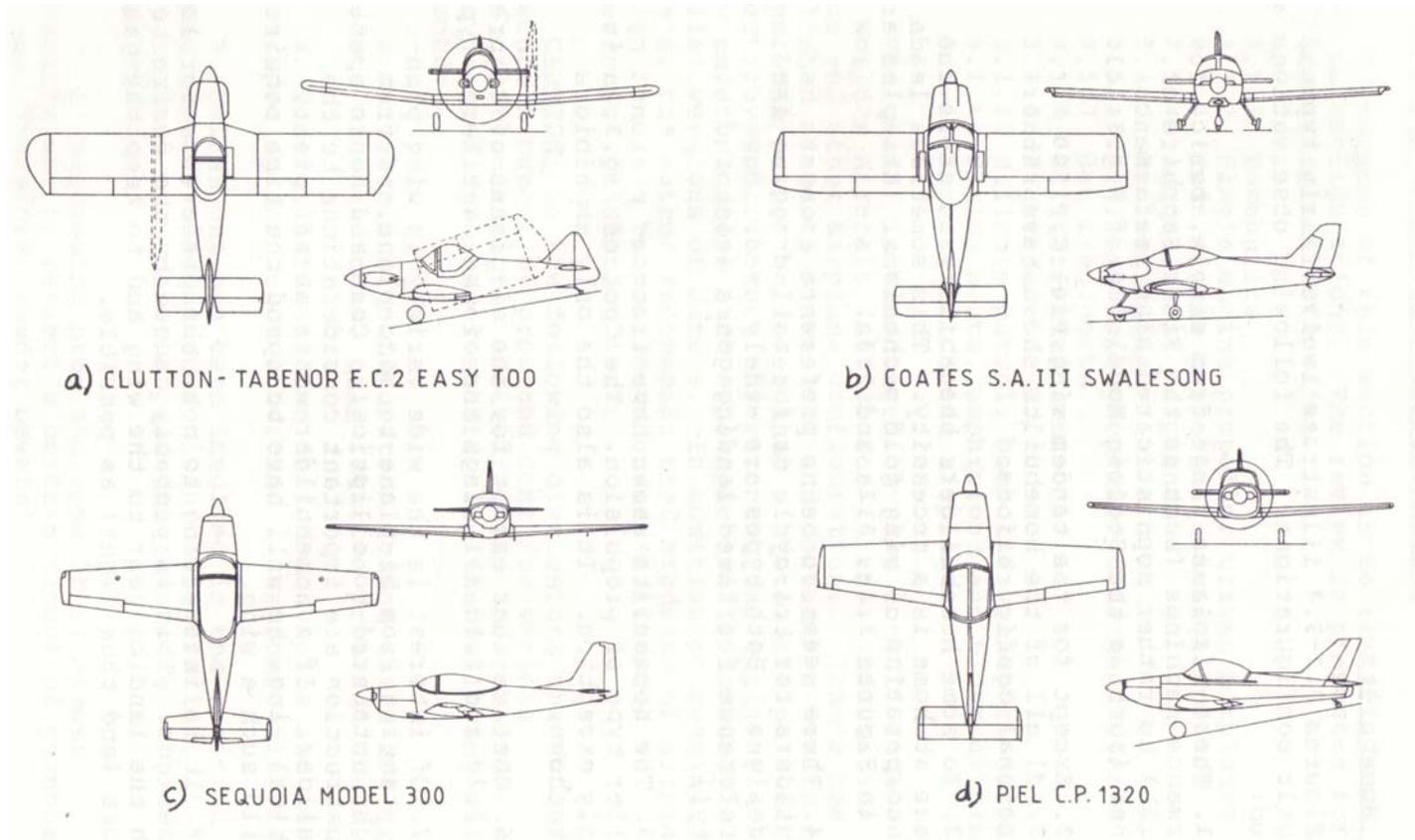
1. Autocostruiti (Homebuilts)
2. Monomotori ad Elica
3. Bi-Motori ad Elica
4. Velivoli Agricoli
5. Jet d'Affari
6. Trasporto Regionale (Commuter)
7. Trasporto a Getto
8. Addestratori Militari
9. Caccia Militari
10. Pattugliamento, Bombardieri e Trasporto Militare
11. Anfibi ed Idrovolanti
12. Velivoli a Crociera Supersonica

E' estremamente interessante osservare soluzioni strutturali, aerodinamiche, propulsive ed arguire sui PRO e sui CONTRO di differenti configurazioni, ma ricordando sempre:

- a) In qualsiasi configurazione non vi sono mai pro e contro ASSOLUTI, ma solo pro e contro RELATIVI
- b) Le motivazioni di una specifica scelta sono, quasi sempre, il frutto di studi di trade-off e di compromessi nel tentativo di ottimizzare conflicting requirements
- c) A meno che uno non sia stato direttamente coinvolto nella scelta di una soluzione, e' molto difficile determinare il perche' di un compromesso
- d) Nel discutere di pro e contro e' difficile non introdurre considerazioni personalistiche. Attenzione quindi !

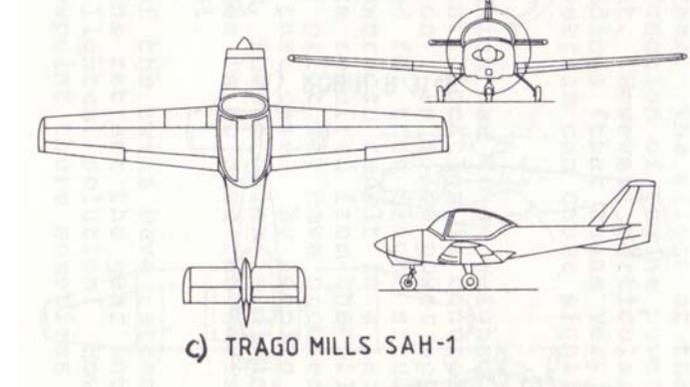
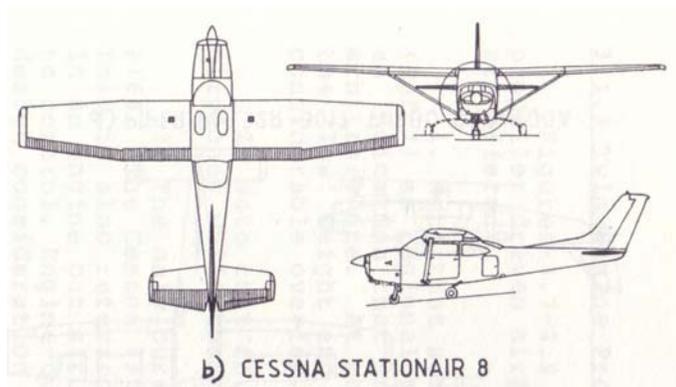
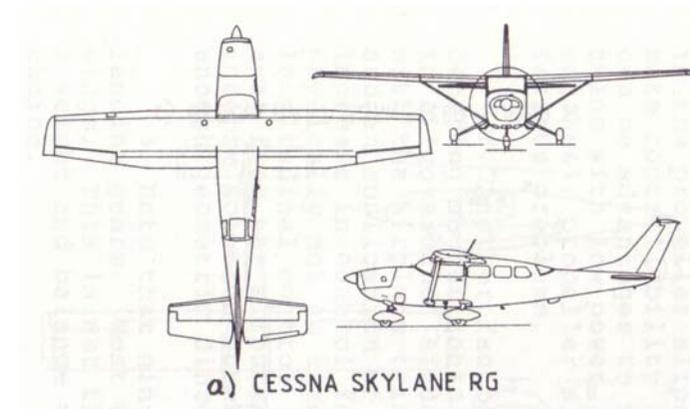
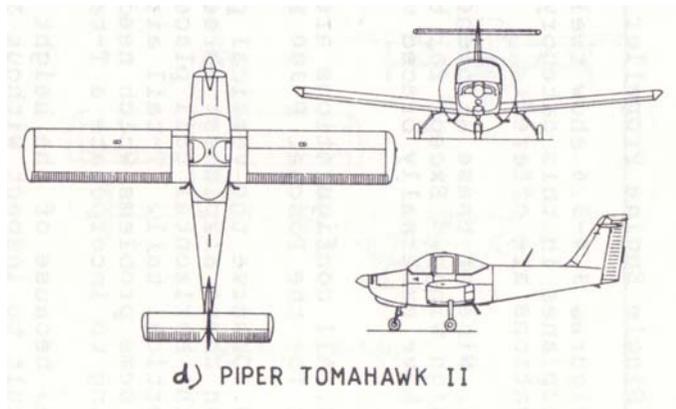


## Tipologie di Velivoli Autocostruiti (Homebuilts)



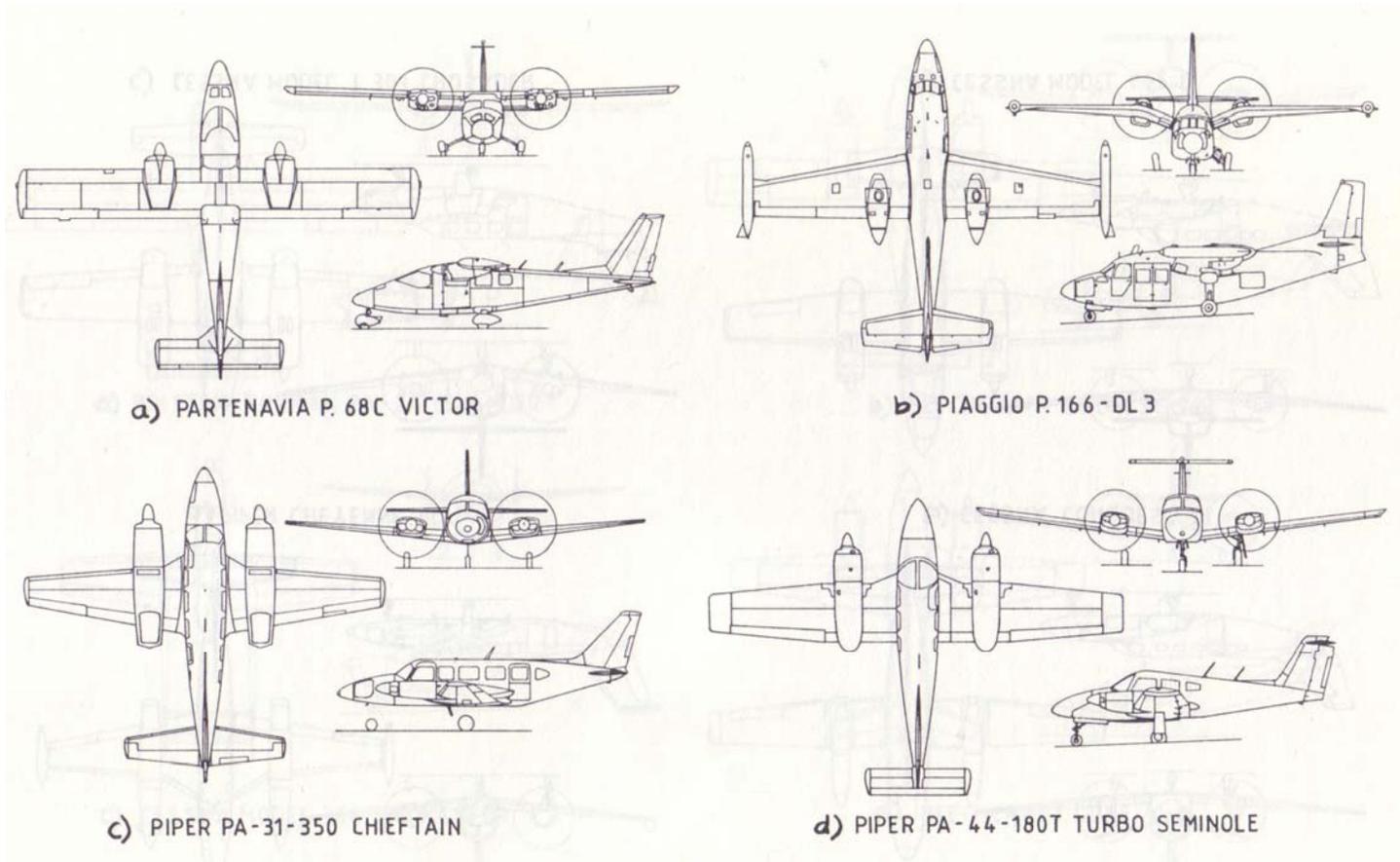


## Tipologie di Velivoli Monomotori ad Elica



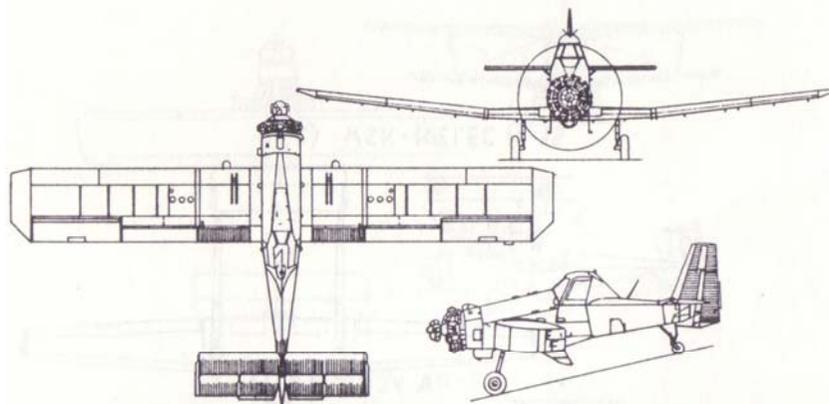


## Tipologie di Velivoli Bi-Motori ad Elica

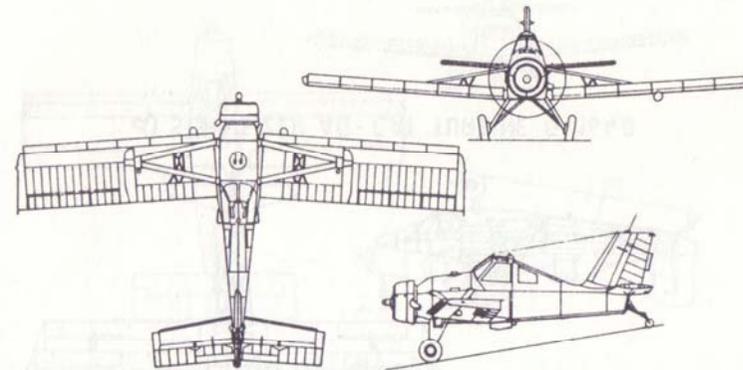




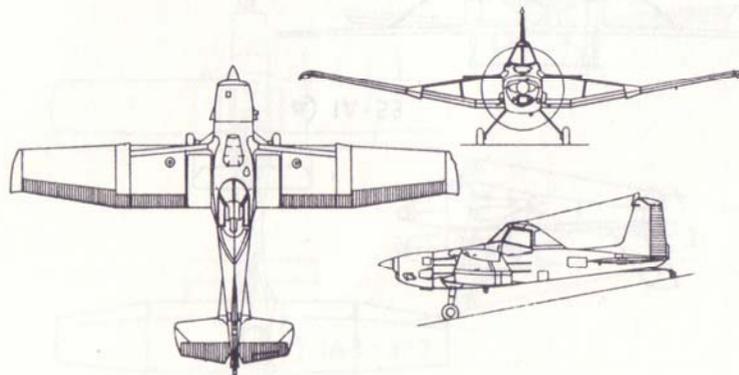
## Tipologie di Velivoli per Uso Agricolo



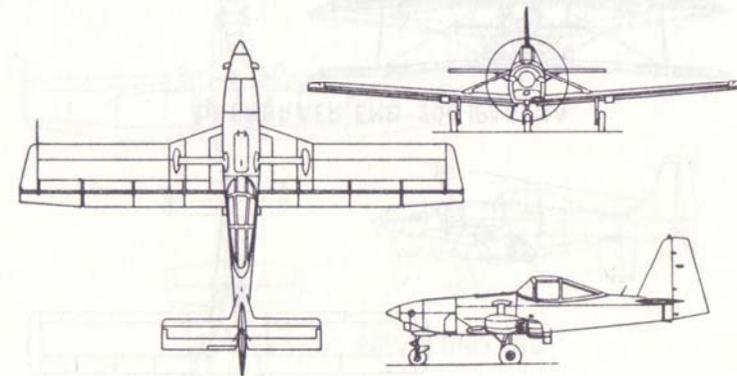
a) PZL - MIELEC M-18A DROMADER (DROMEDARY)



b) PZL-106A KRUK



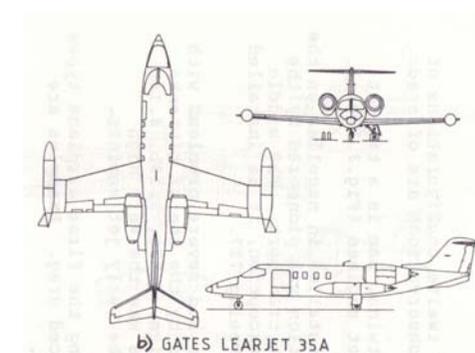
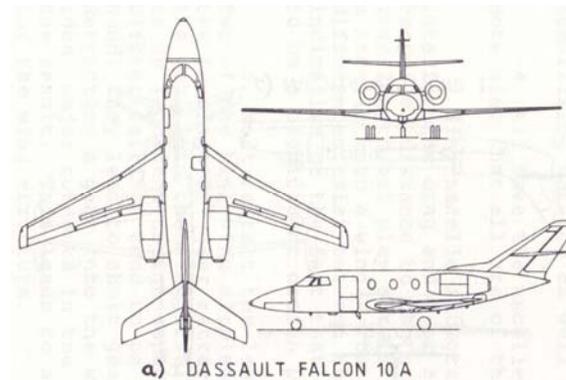
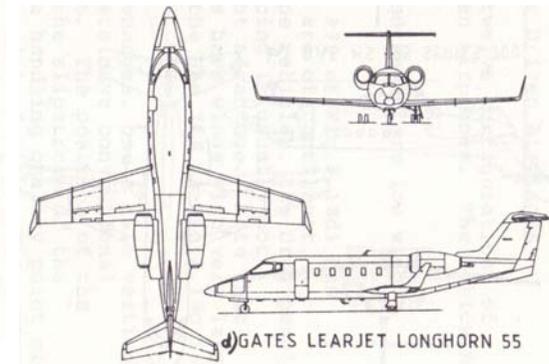
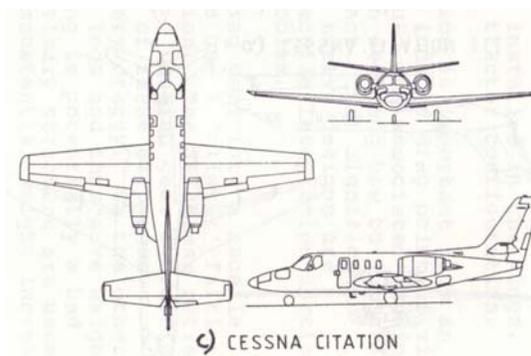
c) CESSNA AG HUSKY



d) NDN 6 FIELDMASTER



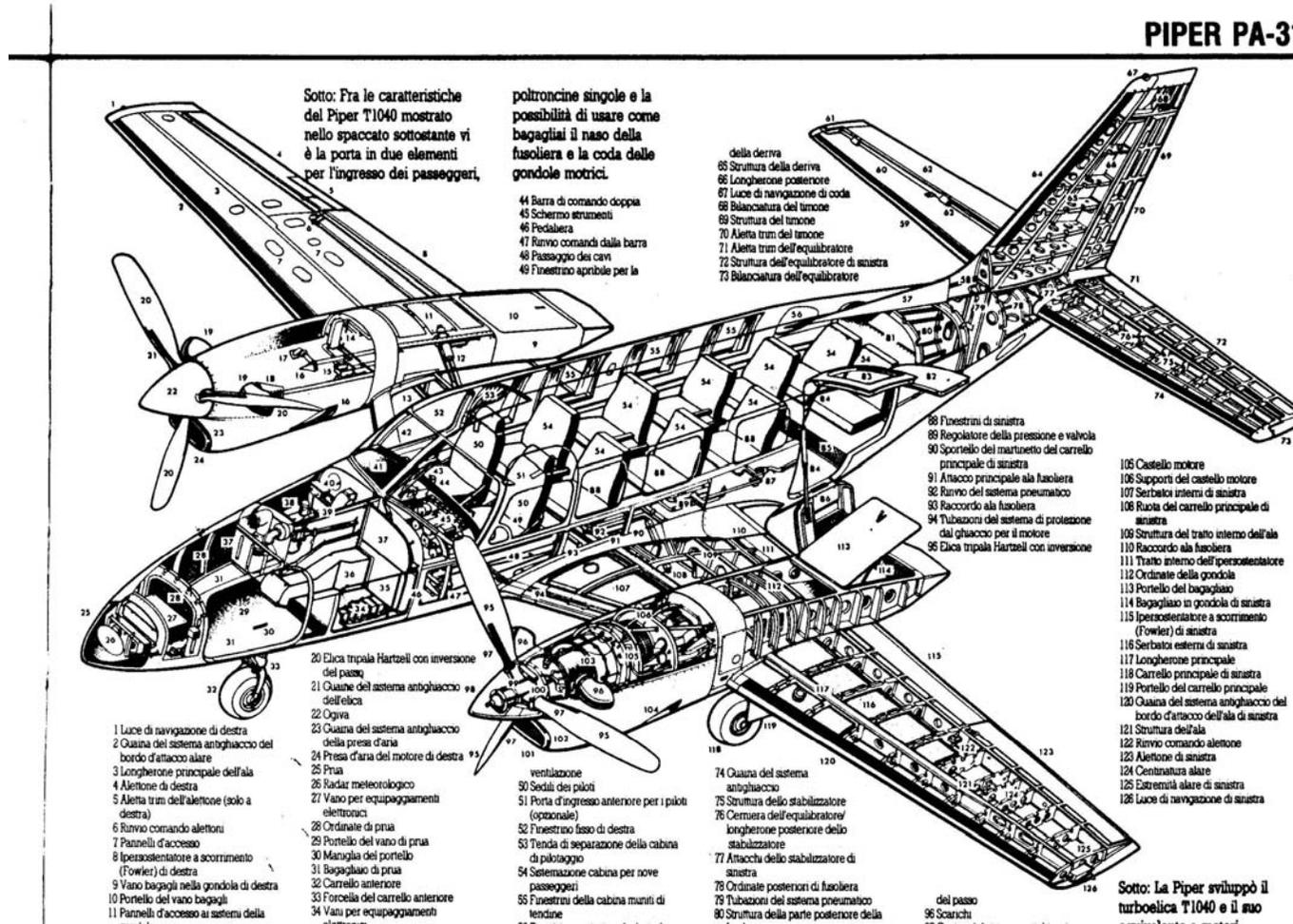
## Tipologie di Velivoli Business Jet





# Tipologie di Velivoli

**PIPER PA-31**





# Tipologie di Velivoli

ilmente. esso lo-erifica-cità dei spetto a vellivolo irts 330 onali, è go o a 'impie- I Trans-teriore futali e l' decol-mer-rrampa lo rapi-o.

lannica Appro- r 26 il stesso a Time

riste i la volo al

## CARATTERISTICHE (Shorts 330-200)

Impianto propulsivo: due motori turboelica Pratt Whitney Canada PT6A-45R ciascuno da 1188 hp (883 kW) sull'albero al decollo, con eliche a cinque pale Hartzell a giri costanti, con inversione del passo e messa in bandiera. Capacità dei serbatoi nella sezione centrale alare e nella carenatura superiore della fusoliera, 2546 l.

**Prestazioni:** velocità massima operativa, 195 kts (361 Km/h) IAS, velocità massima di crociera, 190 kts (352 Km/h) a 10000 ft (3050 m); velocità di crociera di massima autonomia, 159 kts (294 Km/h) a 10000 ft (3050 m); velocità di salita al livello del mare, 1180 ft/min (6 m/s); lunghezza di decollo (FAR.25), 1040 m; lunghezza d'atterraggio (FAR), 1030 m; autonomia con il massimo carico pagante, senza riserve, 473 naut mi (876 Km); autonomia con il massimo carico di combustibile, senza riserve, 915 naut mi (1695 Km) con 1869 Kg di carico pagante.

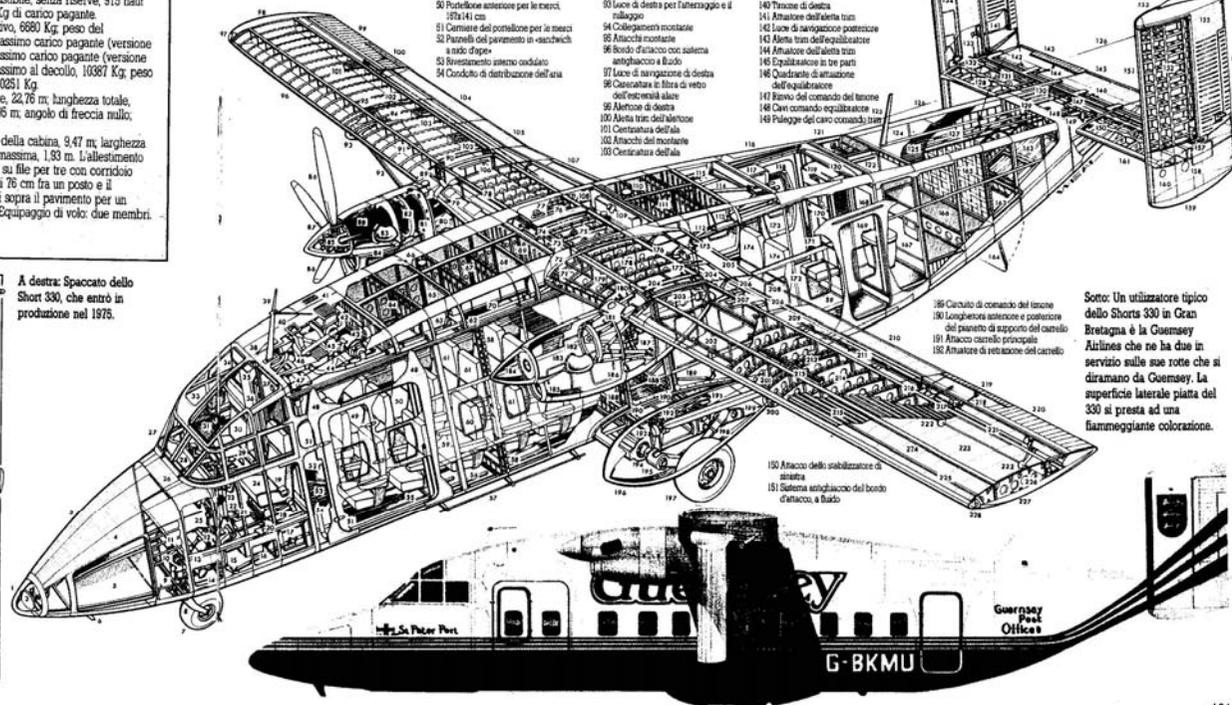
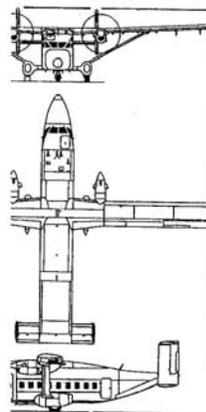
**Pesi:** peso a vuoto operativo, 6880 Kg; peso del combustibile, 2032 Kg; massimo carico pagante (versione passeggeri), 2653 Kg; massimo carico pagante (versione cargo), 3400 Kg; peso massimo al decollo, 10387 Kg; peso massimo all'atterraggio, 10251 Kg.

**Dimensioni:** apertura alare, 22,76 m; lunghezza totale, 17,69 m; altezza totale, 4,95 m; angolo di freccia medio, superficie alare, 42,1 m<sup>2</sup>.

**Alloggiamenti:** lunghezza della cabina, 9,47 m; larghezza massima, 1,93 m; altezza massima, 1,93 m. L'allestimento di serie prevede 30 posti su file per tre con corridoio intermedio e con passo di 76 cm fra un posto e il successivo. Due bagagliai sopra il pavimento per un volume totale di 4,11 m<sup>3</sup>. Equipaggio di volo: due membri.

Sopra: La Thai Airways, una compagnia governativa responsabile per le rotte interne thailandesi, aveva in servizio nel 1987 quanto di questi Shorts 330 Serie 200, con un paio di Shorts 360 (paragrafo seguente). Alla fine del 1986 circa 24 aviolinee impiegavano gli Shorts 330; di queste la maggior parte (12) sono nel Nord e nel Sud America e altre nove in Gran Bretagna e in Europa.

A destra: Spaccato dello Short 330, che entrò in produzione nel 1975.



- 27 Parallela
- 28 Investimento del pannello strumenti
- 29 Consolle centrale di comando
- 30 Sedile del copilo
- 31 Pannello superiore (alternativa di comando A/C/O)
- 32 Serbatoi combustibile
- 33 Portello d'uscita d'emergenza per l'equipaggio
- 34 Porta scorrevole di separazione
- 35 Rinvio del comando alatore
- 36 Passaggi dei cavi di comando (tram del timone e dell'equilibratore)
- 37 Sistema di condizionamento
- 38 Pressa d'aria embente
- 39 Assieme combustibile dei VOWLS
- 40 Pressa d'aria a compao
- 41 Cinghia di presa d'aria della turbina
- 42 Scambiatore di calore
- 43 Installazione del sistema per il riciclo dell'aria
- 44 Traliccio dell'aria spaltata da motori
- 45 Preraffreddatore
- 46 Pressa d'aria del preraffreddatore
- 47 Raffreddamento dell'aria condizionale/becca in cabina
- 48 Risorsa della cornice dello aspie della parte
- 49 Uscite d'emergenza della cabina
- 50 Purificatore antiosso per le merci, 375x141 cm
- 51 Carrello del pavimento in sandwich a nido d'ape
- 52 Rivestimento interno occluso
- 53 Condotta di distribuzione dell'aria

- 54 Racordo alla fusoliera
- 55 Passaggio dei cavi di comando elica
- 56 Calza
- 57 Accumulatore idraulico
- 58 Tratto centrale dell'ala
- 59 Investimento della sezione centrale
- 60 Innesco chimicamente
- 61 Luce lampogliaio dorsale anticollesione
- 62 Tratto centrale del longherone anteriore
- 63 Pannelli di attacco al bordo d'attacco
- 64 Raduttore dell'olio
- 65 Paratia paraflamma
- 66 Castello motore
- 67 Condotti di scanco
- 68 Condotta presa d'aria (con separatore di particelle)
- 69 Sistema di variazione del passo dell'elica
- 70 Elca pentapala a giri costata
- 71 Casser del sistema antighiaccio dell'elica
- 72 Motore turboelica Pratt & Whitney Canada PT6A-45
- 73 Trappo del attacco dell'ole motore
- 74 Attacchi alla escravatura
- 75 Tratto esterno del longherone anteriore
- 76 Montante di sostegno ala esterna
- 77 Luce di destra per l'atterraggio e il rullaggio
- 78 Collezionatori montate
- 79 Attacchi montate
- 80 Bordo d'attacco con sistema antighiaccio a fluido
- 81 Luce di navigazione di destra
- 82 Casserata in fibra di vetro coll'entrambi alare
- 83 Alatore di destra
- 84 Alata tras dell'aleone
- 85 Centratra dell'ala
- 86 Attacchi del montante
- 87 Centratra dell'ala

- 88 Armamento per prodotti di retro
- 89 Modanatura dell'armadimento di cabina
- 90 Armadio per i cappotti
- 91 Toilette
- 92 Antenna VHF
- 93 Antenna HF
- 94 Rivestimento del pannello esterno
- 95 Rivestimento interno in materiale occluso
- 96 Antenna HF
- 97 Circuiti di comando del timone e dell'equilibratore
- 98 Antenna del trasmettitore di posizione d'emergenza
- 99 Ordinee posteriori a sezione rettangolare
- 100 Rivestimento della zona dell'attacco principale dello stabilizzatore
- 101 Struttura dello stabilizzatore
- 102 Arve del comando del timone
- 103 Attatore dell'ala tras del timone
- 104 Tubolare del fudo antighiaccio per il bordo d'attacco
- 105 Rivestimento della deriva
- 106 Bilanciatra aerodinamica del timone
- 107 Licitazione della carenatura d'antennali del timone
- 108 Dispersioni dell'energia elettrostatica
- 109 Alata tras del timone
- 110 Timone di destra
- 111 Attatore dell'ala tras
- 112 Luce di navigazione posteriore
- 113 Alata tras dell'equilibratore
- 114 Attatore dell'ala tras
- 115 Equilibratore ai tre parti
- 116 Quadrante di ammissione dell'equilibratore
- 117 Rinvio del comando del timone
- 118 Cavo comando equilibratore
- 119 Pulegno dei cavi comando, timone
- 120 Carvato di comando del timone
- 121 Lunghera anteriore e posteriore del pannello di supporto del carrello
- 122 Attacco carrello principale
- 123 Attatore di retrazione del carrello

- 124 Sedile a scomparsa dell'assistente di cabina
- 125 Corone interna del finestrino
- 126 Sistemazione posteriore dei sedili
- 127 Rinvio del circuito comando timone
- 128 Scalette
- 129 Attatore d'ipersonaturatore
- 130 Certificazione della zona centrale occluso
- 131 Lunghera anteriore della zona centrale
- 132 Paratia paraflamma
- 133 Castello motore
- 134 Anodo di sostegno del motore
- 135 Condotti di scanco
- 136 Orgna
- 137 Bordo d'ingresso della presa d'aria con sistema antighiaccio elettrico
- 138 Pressa d'aria del radiatore olio
- 139 Serbatoio dell'olio
- 140 Ordinee principali di fusoliera (coltelleri gli attacchi dell'ala e del carrello principale)
- 141 Rivestimento della deriva
- 142 Bilanciatra aerodinamica del timone
- 143 Licitazione della carenatura d'antennali del timone
- 144 Dispersioni dell'energia elettrostatica
- 145 Alata tras del timone
- 146 Timone di destra
- 147 Attatore dell'ala tras
- 148 Luce di navigazione posteriore
- 149 Alata tras dell'equilibratore
- 150 Attatore dell'ala tras
- 151 Equilibratore ai tre parti
- 152 Quadrante di ammissione dell'equilibratore
- 153 Rinvio del comando del timone
- 154 Cavo comando equilibratore
- 155 Pulegno dei cavi comando, timone
- 156 Carvato di comando del timone
- 157 Lunghera anteriore e posteriore del pannello di supporto del carrello
- 158 Attacco carrello principale
- 159 Attatore di retrazione del carrello

- 160 Tratto centrale dell'ipersonaturatore
- 161 Pannelli di accensione alle centare
- 162 Tratto esterno dell'ipersonaturatore
- 163 Rinvio comando alatore
- 164 Cassone alare
- 165 Cassone di diffusione
- 166 Pannelli di rivestimento interno occluso
- 167 Attatore dell'aleone
- 168 Cavo di comando dell'ala tras
- 169 Attatore dell'ala tras
- 170 Alata tras dell'aleone
- 171 Alatore di sinistra
- 172 Lunghera posteriore del tratto interno
- 173 Masse di bilanciatra dell'aleone
- 174 Rivestimento esterno dell'ala
- 175 Longhera anteriore del tratto esterno
- 176 Longherone del bordo d'attacco del tratto esterno
- 177 Centra d'essenziale/attacco dell'entrambi alare
- 178 Casserata in fibra di vetro dell'entrambi alare di sinistra
- 179 Luce di navigazione

Sotto: Un utilizzatore tipico dello Shorts 330 in Gran Bretagna è la Gosemsey Airlines che ne ha due in servizio sulle sue rotte che si diramano da Gosemsey. La superficie laterale pianta del 330 si presta ad una fiammeggiante colorazione.



# Tipologie di Velivoli

## ATR 42 FRANCIA/ITALIA

## AVIONS DE TRANSPORT RÉGIONAL ATR 42

- 1 Radone
- 2 Radar meteorologico
- 3 Meccanismo di scansione del radar meteorologico
- 4 Antenna dell'angolo di inclinazione del sensore di quota ES
- 5 Pannello di pressurizzazione anteriore
- 6 Sedile di Pilot
- 7 Carrello anteriore con ruote binarie
- 8 Pannello della gamma del carrello anteriore
- 9 Luci per il rullaggio
- 10 Vaso carrello anteriore
- 11 Peralina
- 12 Pese statiche
- 13 Pannello portaripetenti
- 14 Termocristalli
- 15 Rivestimento crucato
- 16 Palanatura
- 17 Pannello superiore degli interruttori degli impianti
- 18 Posto del copilota
- 19 Ripetitore dell'equipaggiamento di emergenza
- 20 Placata centrale
- 21 Vaso della terra di comando
- 22 Vaso laterale
- 23 Livello del pannello cabina comando
- 24 Collegamenti dei comandi di volo
- 25 Spazio della cabina dei documenti di volo del comandante
- 26 Bombola dell'ossigeno
- 27 Trasmettitore dell'angolo di incidenza
- 28 Posto del comandante
- 29 Armadietti dell'equipaggiamento avionico
- 30 Sedile dell'osservatore
- 31 Armadietti dell'equipaggiamento elettrico
- 32 Roccoporto per l'uscita di emergenza dal cielo della cabina
- 33 Accesso alla cabina comando
- 34 Antenna VHF
- 35 Cavi dei comandi di volo
- 36 Rete per il contenimento dei bagagli
- 37 Accesso principale alla cabina
- 38 Compartimento anteriore per il bagaglio e le merci
- 39 Pano di carico del bagaglio
- 40 Connezzione per la fornitura di potenza esterna
- 41 Porta delle merci e del bagaglio
- 42 Chiusura della porta
- 43 Luci di spegnimento dell'ala
- 44 Setto di direzione della cabina
- 45 Sedili per passeggeri
- 46 Fiancinate con bloccaggio per l'uscita di emergenza
- 47 Ventole per la ricircolazione dell'aria
- 48 Struttura delle travi del pavimento
- 49 Condotto di distribuzione dell'aria condizionata sotto il pavimento
- 50 Rivestimento del bacame della fusoliera a triangolare degli spessori di elica
- 51 Struttura di urtoordata e dei correnti

- 52 Rivestimento interno delle pareti
- 53 Antenna a seleno dell'ADF
- 54 Rivestimento della fusoliera
- 55 Rivestimento acustico delle pareti della cabina
- 56 Pannello sul soffitto per l'alimentazione della cabina
- 57 Armadietti posati per i bagagli
- 58 Servizi per i passeggeri
- 59 Condotto di distribuzione dell'aria in cabina
- 60 Munitore per la distribuzione dell'aria condizionata
- 61 Condotto che porta l'aria spallata all'aspetto di condizionamento
- 62 Ordinate di forza della fusoliera per l'attacco dei longheroni alari
- 63 Orani d'attacco dei longheroni
- 64 Struttura di una centrale delle sezioni centrale dell'ala
- 65 Beca sicura della sezione centrale
- 66 Cavi di comando del motore

- 67 Ordinate del raccordo del bordo d'attacco dell'ala
- 68 Pannello in rado d'ape del raccordo del bordo d'attacco
- 69 Pompe del combustibile
- 70 Serbatoio integrale del combustibile dell'ala destra
- 71 Pannello in rado d'ape rimovibile del bordo d'attacco
- 72 Condotto dell'aria spallata dal motore
- 73 Uspello di scarico ventrale
- 74 Condola del motore destro
- 75 Motore turboelica Pratt & Whitney Canada PW120
- 76 Scatola appoggi degli accessori motore
- 77 Controllore digitale del motore
- 78 Condotto del separatore di particelle della presa d'aria
- 79 Radiatore ventrale dell'olio

- 80 Scatole di per dell'elica
- 81 Elica Hamilton Standard quadripala
- 82 Opera dell'elica
- 83 Meccanismo di variazione del passo nel mozzo dell'elica
- 84 Pannello rimovibile della capottatura motore
- 85 Orani d'attacco a pi bulloni dell'ala esterna
- 86 Serbatoio integrale del combustibile esterno
- 87 Tubo del impianto combustibile
- 88 Connezzione per il rifornimento in pressione
- 89 Tappo del bocchettone per il rifornimento a gravità
- 90 Sportelli di spegnimento sul dorso dell'ala
- 91 Connezzione del comando dell'elivite
- 92 Cernie dell'ala esterna
- 93 Osatura dello sgabuzzone pneumatico del bordo d'attacco
- 94 Luci di navigazione destra (trava) e lampoccezione (bianco)
- 95 Becco di bilanciamento dell'elivite

- 96 Scatole di elettricità statica
- 97 Alette cuneo
- 98 Alette comando alivite
- 99 Rivestimento dell'elivite in fibra di carbonio
- 100 Duttore destro, esterno
- 101 Iperostentatore esterno a doppia lesura, esteso
- 102 Attore idraulico
- 103 Carenatura delle cerniere ventrali degli iperostentatori
- 104 Pannello di chiusura delle lesure degli iperostentatori
- 105 Segnoletto esterno
- 106 Iperostentatore a doppia lesura, posizione estesa
- 107 Martinetto dell'iperostentatore
- 108 Raccordo del bordo d'attacco della radice dell'ala
- 109 Struttura del rado d'ape del raccordo
- 110 Connezzione centrale del comando dell'elivite
- 111 Elettroli a servizio dei motori
- 112 Armadietti posati per i bagagli
- 113 Pann a sedere della cabina posteriore
- 114 Dispone
- 115 Parata posteriore della cabina passeggeri
- 116 Aletta di comando dell'equilibratore
- 117 Struttura in rado d'ape dell'equilibratore sinistro
- 118 Pannello di controllo dell'assetto

- 119 Inerzio
- 120 Sedile dell'assetto di cabina
- 121 Porta del compartimento servizi
- 122 Compartimento bagagli/merci
- 123 Pannello pressurizzato posteriore
- 124 Raccordo in fibra di vetro della base della deriva
- 125 Pannello della base della deriva con coda estesa in rado d'ape di Kevlar
- 126 Orani d'attacco dei longheroni della deriva
- 127 Aste dei comandi dell'equilibratore
- 128 Struttura della deriva a tre longheroni
- 129 Antenna VOR
- 130 Bordo d'attacco della deriva
- 131 Orani d'attacco dello stabilizzatore
- 132 Stabilizzatore destro
- 133 Osatura dello sgabuzzone pneumatico del bordo d'attacco dello stabilizzatore
- 134 Equilibratore destro
- 135 Becco di bilanciamento del timone
- 136 Faro anticollisione
- 137 Scanzoloni di elettricità statica posteriore
- 138 Timone di direzione
- 139 Comando della cerniera dell'equilibratore
- 140 Aletta di comando dell'equilibratore
- 141 Struttura in rado d'ape dell'equilibratore sinistro
- 142 Becco di bilanciamento dell'equilibratore
- 143 Struttura dello stabilizzatore sinistro

- 144 Centrale del naso del bordo d'attacco
- 145 Struttura in rado d'ape del timone
- 146 Aletta di comando del timone
- 147 Trasparente all'esterno del coro di coda
- 148 Luci di navigazione di coda e lampoccezioni (bianche)
- 149 Struttura in composito del coro di coda
- 150 Comando della cerniera del timone
- 151 Ventilazione del coro di coda
- 152 Controllore dell'autopila
- 153 Parata posteriore del coro di coda
- 154 Ordinate di forza per l'attacco dei longheroni della deriva
- 155 Roccoporto d'accesso ventrale
- 156 Regolatori di dati e di volo della cabina comando a grave d'urto
- 157 Valvole di pressurizzazione
- 158 Toilette
- 159 Serbatoio dell'acqua
- 160 Lavabo
- 161 Corrimano ripiegabile
- 162 Mella di contrasto
- 163 Porta d'ingresso posteriore
- 164 Ventilabio
- 165 Struttura di urtoordata e dei correnti della fusoliera posteriore

- 166 Fiancinate della cabina
- 167 Iperostentatore a doppia lesura
- 168 Carenatura superiore in rado d'ape degli iperostentatori
- 169 Martinetto d'attuazione dell'elivite
- 170 Becco di bilanciamento dell'elivite
- 171 Luci di navigazione (trava) e dell'elivite
- 172 Scanzoloni di elettricità statica
- 173 Becco di bilanciamento dell'elivite
- 174 Attore idraulico del duratore
- 175 Aletta a molla dell'elivite
- 176 Struttura di una cerniera dell'elivite sinistro
- 177 Aletta di compressione
- 178 Scanzoloni di elettricità statica
- 179 Becco di bilanciamento dell'elivite
- 180 Luci di navigazione (trava) e dell'elivite
- 181 Struttura di una centrale dell'ala
- 182 Osatura dello sgabuzzone pneumatico del bordo d'attacco
- 183 Centrala terminale del serbatoio combustibile
- 184 Tappo del bocchettone di carico del combustibile
- 185 Serbatoio integrale del combustibile nell'ala sinistra
- 186 Valvole dell'impianto pneumatico di sgabuzzamento
- 187 Struttura di una centrale dell'ala
- 188 Longherone posteriore
- 189 Orani imbuto dell'ala esterna
- 190 Longherone anteriore
- 191 Uspello di scarico ventrale del motore
- 192 Condola del motore sinistro
- 193 Pressa pendolare
- 194 Filtro e serbatoio dell'olio idraulico
- 195 Aste di appoggio dell'ordata d'attacco del motore
- 196 Ordinate d'attacco del motore
- 197 Carrello principale a due ruote, retenzione verso l'altimo
- 198 Anelle della sospensione a leva
- 199 Pannello del carrello principale
- 200 Ammortizzatore
- 201 Supporti del perno del carrello
- 202 Martinetto di retenzione
- 203 Cuscinetto motore e appoggio del riduttore
- 204 Generatore dell'aria condizionata
- 205 Press d'aria del radiatore dell'olio
- 206 Press d'aria del motore
- 207 Press d'aria dinamica del sistema di condizionamento
- 208 Faro d'atterraggio sinistro
- 209 Carenatura del ngonamento...

A destra: Spaccato dell'ATR 42. Esso rappresenta sia la serie 300 che la 300 che differiscono nei pesi operativi.

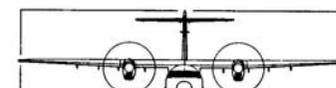
Sotto: Tritico che rappresenta l'ATR 42. L'ATR 72, che apparirà nel 1986, avrà una fusoliera più lunga ed una superficie alare maggiore.

Sotto: Un ATR 42 con i colori della Command Airways, il primo operatore statunitense di questo velivolo, a partire dal gennaio 1986. In questa fotografia, prima della

consegna, l'aereo è visto con le marche francesi, portate durante i voli di accettazione a Tolosa.

Sotto: L'interno di un ATR 42, con una sola classe di posti, con file da quattro e armadietti guardaroba lungo tutta la fusoliera.

Sotto: La Simmons Airlines, negli USA, utilizza l'ATR 42 per operare servizi in connessione con la rete





# Tipologie di Velivoli



oriz-  
: an-  
lines  
on i  
e un  
gria-  
sere  
stru-  
con  
iferi-  
  
osto  
obre  
glio  
ines,  
peso  
on i  
del-  
ven-  
con  
rizio  
rdi-  
glio

Sopra: Grazie alla disponibilità di nuovi materiali, la Douglas ha ridisegnato nel 1982 l'interno dell'MD80, aumentando la capacità dei bagagliai penali e semplificando la linea del soffitto per dare l'aspetto di una fusoliera più larga.

- 1 Radome
- 2 Radar meteorologico a scansione
- 3 Paratia frontale a pressione
- 4 Tubo di Pitot
- 5 Vano degli equipaggiamenti radio ed elettronici
- 6 Vano del carrello anteriore
- 7 Carrello anteriore

- 8 Pedaliera
- 9 Pannello strumenti
- 10 Rivestimento del pannello strumenti
- 11 Termocristalli
- 12 Parabrezza
- 13 Finestrini superiori
- 14 Sedile del copilota
- 15 Pannello interruttori superiore
- 16 Sedile del comandante
- 17 Comando di sterzo del carrello anteriore
- 18 Vano sotto il pavimento per equipaggiamenti elettronici ed elettrici
- 19 Aletta direttrice sulla prua
- 20 Scaletta retrattile
- 21 Scrolo d'emergenza
- 22 Porta passeggeri anteriore, aperta
- 23 Vano d'accesso
- 24 Porta di servizio di destra
- 25 Dispetta anteriore
- 26 Toilette
- 27 Lavabo
- 28 Compartimento di prima classe per 12 passeggeri su file per quattro
- 29 Antenna DF
- 30 Antenna VHF
- 31 Tenda di separazione in cabina
- 32 Finestrata a della cabina
- 33 Valvole di pressurizzazione
- 34 Ordinate del lobo inferiore di fusoliera
- 35 Guardaroba
- 36 Sistemazione dei posti in classe turistica per 125 passeggeri su file per cinque
- 37 Armadietti penali
- 38 Ordinate del soffitto della cabina
- 39 Tubazioni dell'aria condizionata
- 40 Rivestimento interno del soffitto della cabina
- 41 Struttura di sostegno del pavimento
- 42 Bagagliaio anteriore della capacità di 24 m<sup>3</sup>
- 43 Portello posteriore del bagagliaio anteriore
- 44 Armadietti penali del lato sinistro
- 45 Correnti e ordinate di fusoliera
- 46 Attuatore idraulico centrale



- 47 Mezzina del collegamento tra le due sezioni
- 48 Struttura di sostegno del pavimento
- 49 Parte centrale della fusoliera
- 50 Cavo di comando dell'ipercostatore di bordo d'attacco
- 51 Serbatoio combustibile integrale nell'ala di destra, Capacità dell'intero sistema, 21876 l
- 52 Tubazioni del sistema di alimentazione
- 53 Aletta direttrice ventrale sull'ala
- 54 Collegamenti dell'impianto di

- 60 Dispersion dell'energia elettrostatica
- 61 Alettoni di destra
- 62 Alette dell'aletrone
- 63 Ipercostatore esterno di destra a doppia fessura in posizione di flessa
- 64 Attuatore idraulico dell'ipercostatore
- 65 Cerniere dell'ipercostatore
- 66 Duratori esterni
- 67 Ipercostatore interno a doppia fessura in posizione deflessa
- 68 Duratore interno
- 69 Finestrini di uscita d'emergenza di destra
- 70 Pannello pressurizzato sopra il vano delle ruote del carrello principale
- 71 Finestrini di uscita d'emergenza di sinistra
- 72 Accumulatore idraulico di riserva
- 73 Vano ruote del carrello principale
- 74 Sedili della classe turistica della parte posteriore della cabina
- 75 Sedile a scomparto dell'assistente di cabina
- 76 Porta di servizio/uscita d'emergenza posteriore
- 77 Portello bagagliaio posteriore sotto il

- 85 Ordinate posteriore a pressione
- 86 Porta d'ingresso posteriore
- 87 Inverore di sprita in posizione aperta
- 88 Prua
- 89 Press d'aria del sistema di condizionamento
- 90 Struttura della deriva
- 91 Antenna VOR
- 92 Sensore di pressione del sistema di sensibilità del timone
- 93 Attuatore dello stabilizzatore
- 94 Stabilizzatore di destra
- 95 Becco di compensazione dell'equilibratore
- 96 Equilibratore di destra
- 97 Alette dell'equilibratore
- 98 Caudaera posteriore dell'interazione tra i piani di coda
- 99 Ramo comando equilibratore
- 100 Perno di rotazione dello stabilizzatore
- 101 Equilibratore di sinistra
- 102 Struttura dello stabilizzatore
- 103 Struttura del timone
- 104 Aletta del timone
- 105 Dispersion dell'energia elettrostatica
- 106 Cono di coda estraibile per

- antighiaccio dello stabilizzatore
- 110 Tunnel della scaletta d'accesso posteriore
- 111 Impianto di condizionamento dell'aria
- 112 Pistone del motore
- 113 Sportelli, chiusa, dell'inverore di sprita del motore di sinistra
- 114 Separatore del motore
- 115 Aletta direttrice sulla gondola
- 116 Tubazioni dell'aria spinta
- 117 Motore turbolen Pratt & Whitney JT8D-209
- 118 Accessori motore
- 119 Press d'aria del motore di sinistra
- 120 Bagagliaio posteriore sotto il pavimento della capacità di 12,6 m<sup>3</sup>
- 121 Racordo ala fusoliera
- 122 Ipercostatore interno di sinistra a doppia fessura
- 123 Centinatura dell'ipercostatore
- 124 Aletta dell'ipercostatore
- 125 Sistema d'attacco del carrello

- 135 Luce di navigazione posteriore e luce lampeggiante
- 136 Luce d'atterraggio retrattile
- 137 Luce di navigazione di sinistra
- 138 Ipercostatore di bordo d'attacco in posizione completamente deflessa
- 139 Guide dell'ipercostatore di bordo d'attacco
- 140 Longherone anteriore
- 141 Centinatura alare
- 142 Serbatoio combustibile integrale dell'ala di sinistra
- 143 Longherone posteriore
- 144 Cerniere alari
- 145 Aletta direttrice ventrale sull'ala
- 146 Rivestimento alare
- 147 Carrello principale
- 148 Condotto dell'aria del sistema antighiaccio dell'ipercostatore di bordo d'attacco
- 149 Condotto dell'aria
- 150 Racordo alataccia
- 151 Luce di rullaggio

Sopra: Il vettore di bandiera italiano, l'Alitalia, è uno dei maggiori utenti del DC9 e dell'MD80, con una quarantina in servizio ed altri ancora in ordinativo. Quello raffigurato è uno dei velivoli MD82 dell'Alitalia.

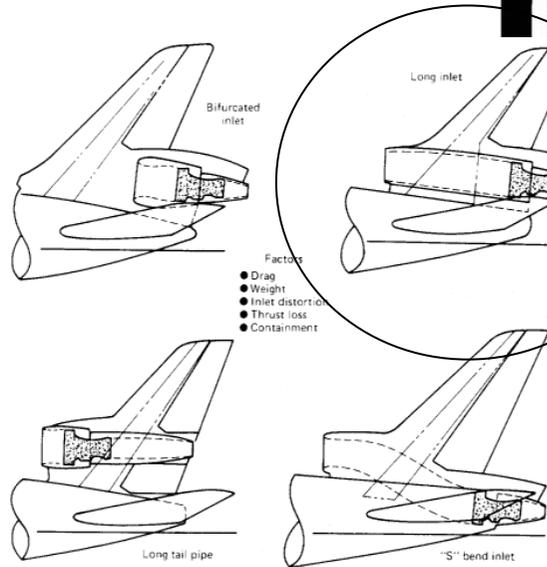
A sinistra: Spaccato dell'MD80 nella versione iniziale di produzione, l'MD81. L'MD82 e l'MD83 sono molto simili, ma hanno differenti capacità dei serbatoi di combustibile e differenti potenze motori. L'MD88, con le stesse dimensioni generali, introduce in cabina di pilotaggio la strumentazione integrata su schermi.

Sotto: La Swissair fu una delle tre compagnie i cui ordini effettuati nell'ottobre 1977 portarono la McDonnell Douglas a lanciare la produzione dell'MD80 (allora noto come DC9 Super 80). L'aviolesna svizzera comprò la versione MD81, come mostrato qui, per aggiungerla ai suoi più piccoli DC9 Serie 32 e Serie 51.



# Tipologie di Velivoli

## Velivolo DC-10 Trimotore



**CARATTERISTICHE**  
(DC10 Serie 30)

Impugnata propulsore: tre motori turbofan General Electric CF680A ciascuno da 2226 Kg di spinta al decollo, o CF680C1 o CF680C2 da 2314 Kg di spinta, o CF680C2 da 2494 Kg di spinta. Nei quattro serbatoi integrali montati ai e del ala nella zona centrale, 136294 l. più serbatoi esterni montati nel compartimento posteriore 900 o 306 l.

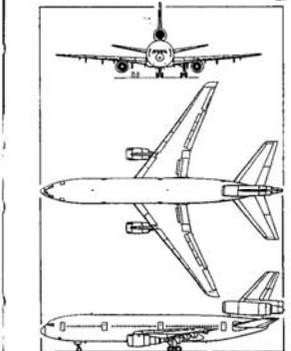
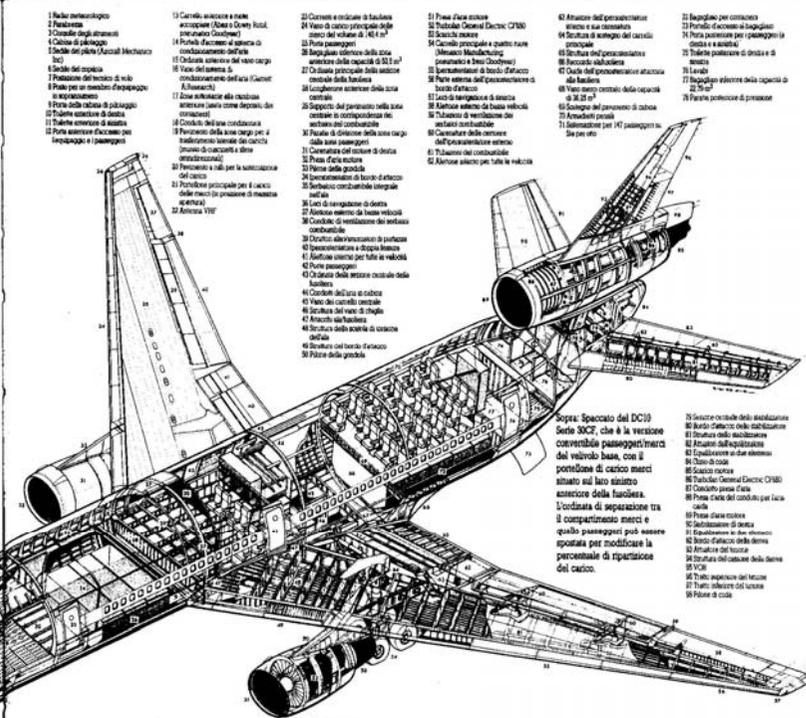
velocità massima operativa, 356 kn (659 km/h) o Mach=0,82; velocità massima di crociera, 348 Kn/h a 30000 ft (9145 m); velocità di autonomia caratteristica, 475 kn (880 Km/h) a 34500 mt; velocità di salita al livello del mare, 14 (14,7 mt/s) quota di tangenza pratica, 39000 ft (11889 m); quota di decollo, lunghezza d'atterraggio, 1650 mt; autonomia con il carico pagante a la riserva, 4080 naut mt (7413 nautica con il massimo carico di combustibile, 1 mila (12055 Km)

o a volo operativo, 121188 Kg; peso standard normale, 111667 Kg; peso massimo del bobo, 121467 Kg; massimo carico pagante, 46330 massimo di decollo, 20940 Kg; peso massimo al pagante, 26395 Kg; peso massimo a secco, 169822

ml; apertura alare, 50,4 m; lunghezza totale, 55,5 a totale, 17,7 m; angolo di freccia, 35 gradi; il arto della corda, superficie alare, 367,7 m<sup>2</sup>

ment; lunghezza della cabina, 41,45 m; larghezza 5,72 m; altezza massima, 2,41 m. Allestimento r 265-270 passeggeri in classe main, o fino a un di 360, su fila per 10 con due corridoi e con un posto e il sedile in 61 cm. Tre bagagliai ariente per un volume totale di 104,66 m<sup>3</sup> po di volo: tre membri.

971 ed n Airli- 81 per era 30 7segne mpiare air e il appulle- erie 40 conse- primi ila TIA aperte conse- 86. La l'unico KC10A



A sinistra: Il disegno a tre vista mostra la versione Serie 30 del DC10, che si è imposta come la versione maggiormente prodotta fra i 442 esemplari del DC10 venduti fino all'inizio del 1987. La Serie 30CF e la Serie 40 erano estremamente simili.

A destra: La cabina di pilotaggio del DC10 che era stata studiata inizialmente per un equipaggio di tre membri, con il sedile di volo rivolto verso la parte destra, dietro il primo ufficiale. Gli strumenti di volo di base per i due piloti erano del tipo meccanico convenzionale sistemati in modo ortodosso. Per l'MD11, derivato dal DC10, è stata studiata una strumentazione ridotta nel panelatura per entrambi i piloti.





# Tipologie di Velivoli



essere la più ide del sec-oltavia, c'era di maggior ti A320-100 se unica con econda delle e fu la prima A320, in en- bus fosse in n il necessa- 84, era stata a sola fusio- eri, ma con capacità di sigle 100 e ovo, la cui adottati per materiali più recenti inno- equipaggia- del tipo fly- controllo del alizzato seme dell'A320 Airbus Indu- 310, con la roro), che è er cento) per e Airbus (35 osteriore, la oliera poste- (2 per cento)

A destra: Uno spaccato dei primi A320-200, con le due opzioni possibili dei motori.

mente motori V2500, sono previste in modo da consentire l'ingresso in servizio nel marzo 1988, con Air France come primo operatore seguito da BCal e Air Inter. I primi ordini fermi per l'A320 sono stati posti da Air France, Air Inter, BCal, Inex Adria, Cyprus Airways, Pan American, Italianair, Aeroflot, TWA

- 1 Radome
- 2 Radar meteorologico
- 3 Meccanismo di accensione del radar meteorologico
- 4 Antenna del localizzatore VOR
- 5 Paratia pressurizzata anteriore
- 6 Antenna del carburante di riserva ILS
- 7 Vano anteriore sotto il pavimento dell'equipaggiamento elettrico
- 8 Pedaliera
- 9 Sistema elettronico degli strumenti di volo (EFIS) Thomson-CSF
- 10 Rovescimento del cruscotto
- 11 Terogocristallo
- 12 Parabrezza
- 13 Pannello superiore degli interruttori dei sistemi
- 14 Posto del primo ufficiale
- 15 Panca centrale
- 16 Pannello dei fusibili
- 17 Sedile ripiegabile dell'osservatore
- 18 Posto del comandante
- 19 Pannello inferiore degli interruttori
- 20 Controllore dei treni di comando (comandi di volo fly-by-wire)
- 21 Sistema di sensori per le anomalie anticicloniche
- 22 Quadrante dell'equipaggio
- 23 Vano del controllo anteriore
- 24 Puntelli del carrello anteriore
- 25 Ruote basale del carrello anteriore
- 26 Altimetro statico dello sterzo
- 27 Pannello della guida del carrello anteriore Messier
- 28 Supporti di vincolo del perno della guida del carrello anteriore
- 29 Compartimento anteriore servizi
- 30 Porta d'accesso alla cabina comando
- 31 Dispensa
- 32 Porta di servizio a destra
- 33 Vestibolo
- 34 Sedile dell'assistente di cabina
- 35 Chiusura della porta
- 36 Porta di ingresso anteriore
- 37 Scivolo di fuga montato sulla porta
- 38 Ripostiglio-opzionale per la scacchia
- 39 Armadietti sotto il pavimento dell'innociva

- 40 Struttura altonio alla porta
- 41 Vano di carico anteriore di 13,67 m<sup>3</sup>
- 42 Ponte di movimentazione meccanizzata del carico
- 43 Ponte del vano di carico anteriore
- 44 Posti a sedere di prima classe a file di quattro
- 45 Attinenza per le comunicazioni VHF
- 46 Armadietti penali
- 47 Divanetto a tenda della cabina
- 48 Rovescimento delle pareti cabina
- 49 Posti a sedere di classe economica a file di due
- 50 Condotti superiori di distribuzione dell'aria condizionata
- 51 Finestrata della cabina
- 52 Ordinate delle pareti della cabina
- 53 Struttura delle ordinarie e dei correnti del lobo anteriore
- 54 Raccordo del bordo d'attacco della radice dell'ala

- 55 Containere per bagagli e merci tipo L23-46 (3 anteriori 4 posteriori)
- 56 Sedili equipaggi dell'albero di moio delle alette
- 57 Condotta di distribuzione dell'aria condizionata
- 58 Cassone centrale pesante dei longheroni alari
- 59 Struttura della chiglia delle fusoliera
- 60 Centrale ventola dell'aria condizionata sinistra e destra
- 61 Boccaporti per lancia di emergenza sopra l'ala sinistra di 51 a 102 cm
- 62 Serbatoio del combustibile nel cassone centrale opponale di 8.053 m<sup>3</sup>
- 63 Ordinate di Brta d'attacco del longherone alare anteriore
- 64 Travi del pavimento della sezione centrale
- 65 Boccaporti di uscita d'emergenza destra
- 66 Struttura dell'ordina e dei correnti della fusoliera centrale
- 67 Serbatoio integrale del combustibile (senza capacità massima di 15.500)
- 68 Segno interno delle alette del bordo d'attacco
- 69 Portello a petali dell'invenore di apriti (Ride Inductus)
- 70 Crodella destra
- 71 Crodella sinistra
- 72 Piane di sostegno della gondola
- 73 Soggetti esterni delle alette del bordo d'attacco
- 74 Bracci di guida delle alette
- 75 Alberi di movimento ed attuatori rotatori delle alette
- 76 Corone per il rifornimento in pressione

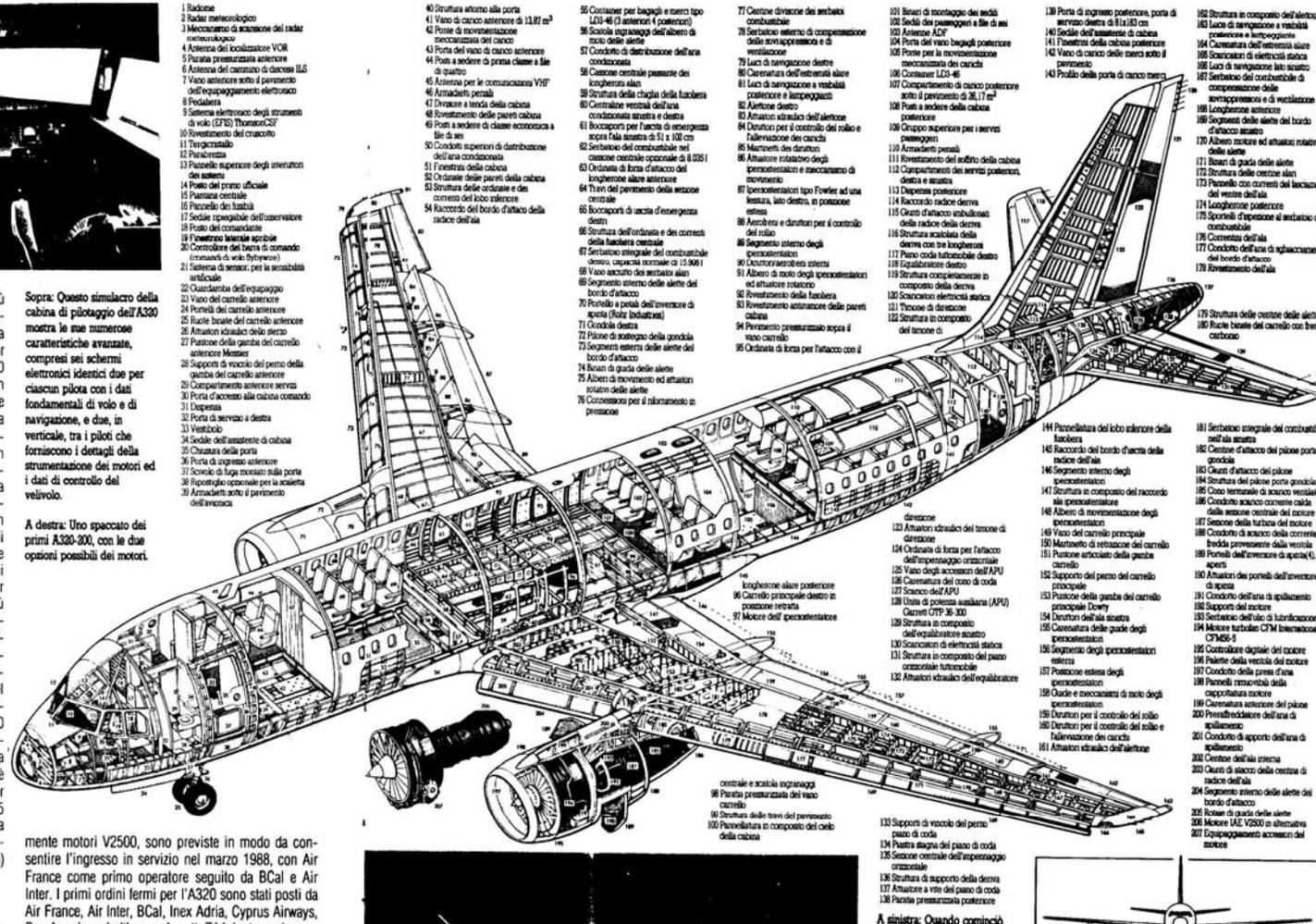
- 77 Centrale divatore dei serbatoi combustibile
- 78 Invenore esterno di compressione delle avvolgenti e di ventilazione
- 79 Lati di navigazione destra
- 80 Carovantaggio dell'esternità alare
- 81 Lati di navigazione a ventrali posteriori e lampeggiati
- 82 Alterne destro
- 83 Attuatori idraulici dell'altone
- 84 Deruttori per il controllo del rollio e l'allevazione dei carichi
- 85 Martineti dei deruttori
- 86 Attuatore rotativo degli iperostentatori e meccanismo di movimento
- 87 Iperostentatori tipo Fowler ad una kassa, lato destro, in posizione estesa
- 88 Aerobrera e deruttori per il controllo del rollio
- 89 Segno interno degli iperostentatori
- 90 Derutturavolante esteri
- 91 Albero di moio degli iperostentatori ed attuatore rotazionale
- 92 Rivestimento delle fusoliera
- 93 Rivestimento antirumore delle pareti cabina
- 94 Pannello pressurizzato sopra il vano carrello
- 95 Ordinate di lora per l'attacco con il

- 101 Bracci di montaggio dei sedili
- 102 Sedili dei passeggeri e file di sei
- 103 Antenna ADP
- 104 Porta del vano bagagli posteriore
- 105 Ponte per la movimentazione dei carichi
- 106 Containere L23-46
- 107 Compartimento di carico posteriore sotto il pavimento di 28, 17 m<sup>3</sup>
- 108 Posti a sedere della cabina posteriore
- 109 Gruppo superiore per i servizi passeggeri
- 110 Armadietti penali
- 111 Rovescimento del soffitto della cabina
- 112 Compartimenti dei servizi posteriori, destra e sinistra
- 113 Dispensa posteriore
- 114 Raccordo radice deriva
- 115 Orati d'attacco stabilizzatori della radice della deriva
- 116 Struttura scatola della deriva con tre longheroni
- 117 Perno coda tubolare destro
- 118 Equilibratore destro
- 119 Struttura completamente in composito della deriva
- 120 Scanzonatori elettrici statici
- 121 Timone di direzione
- 122 Struttura in composito del timone di

- 123 Altimetro statico dello sterzo
- 124 Puntelli del carrello posteriore
- 125 Ruote basali del carrello posteriore
- 126 Pannello dei fusibili
- 127 Longherone posteriore
- 128 Sportelli d'apertone al serbatoio del combustibile
- 129 Cornestata dell'ala
- 130 Condotta dell'aria di inghiaccioamento del bordo d'attacco
- 131 Rovescimento dell'ala

- 132 Struttura in composito dell'altone
- 133 Lati di navigazione e installati posteriore e iperostentatore
- 134 Cornestata dell'esternità alare
- 135 Scanzonatori di elettricità statica
- 136 Lati di navigazione lato sinistro
- 137 Serbatoio del combustibile di compressione delle avvolgenti e di ventilazione
- 138 Longherone anteriore
- 139 Segno delle alette del bordo d'attacco
- 140 Albero motore ed attuatore rotatori delle alette
- 141 Bracci di guida delle alette
- 142 Struttura delle ordinarie alari
- 143 Pannello con correnti del fascione del motore dell'ala
- 144 Longherone posteriore
- 145 Sportelli d'apertone al serbatoio del combustibile
- 146 Cornestata dell'ala
- 147 Condotta dell'aria di inghiaccioamento del bordo d'attacco
- 148 Rovescimento dell'ala

## AIRBUS A320



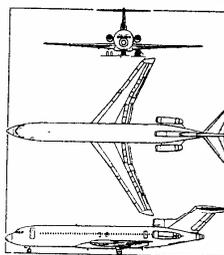
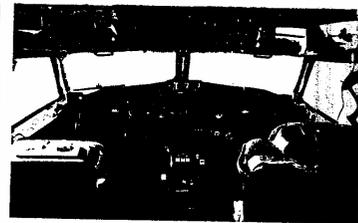
A sinistra: Quando cominciò



# Tipologie di Velivoli

## BOEING 727-200 USA

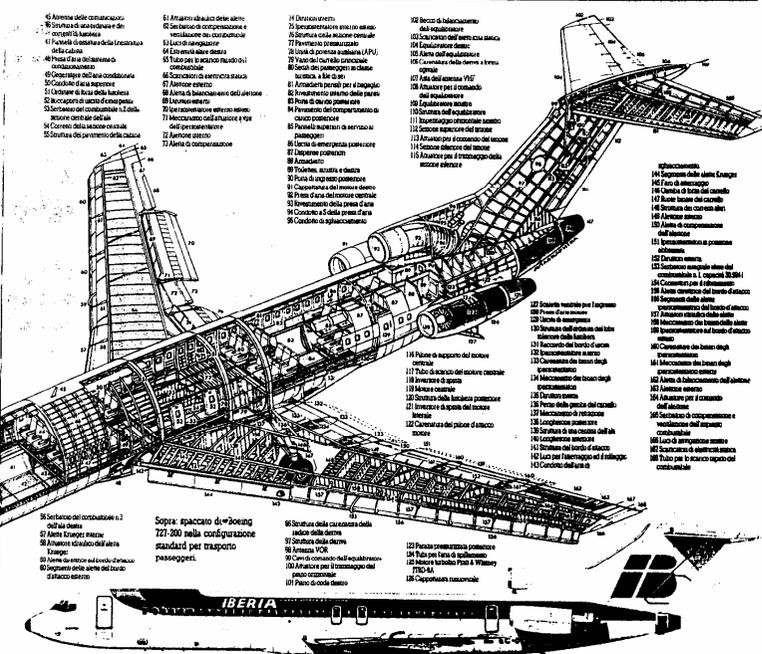
**CARATTERISTICHE**  
 Impianto propulsivo Tre motori turbofan Pratt & Whitney JT8D ciascuno da (8A) 14.500 lb (6.577 kgp) o (11) 13.000 lb (5.894 kgp) o (13) 15.500 lb (7.031 kgp) o (17) 16.000 lb (7.258 kgp) o (17) 16.600 lb (7.439 kgp) più 1.000 lb (454 kgp) attraverso una riserva idraulica di pressione. Capacità dei serbatoi, 30.823 l, più fino a 5.301 l in serbatoi supplementari.  
 Prestazioni: Velocità operativa massima, 350 kt (645 km/h) 150 o Mach = 0,86; velocità massima di crociera, 370 kt (683 km/h) a 35.000 ft (10.668 m); velocità di lunga crociera, 467 kt (866 km/h) a 33.000 ft (10.060 m); quota normale di crociera, 35.000 ft (10.668 m); distanza di decollo FARL, peso massimo, 3.035 m; distanza di atterraggio (FARL), 1.455 m; autonomia con carico pagante massimo, 2.140 naut mil (3.967 km); autonomia con combustibile massimo e 2.520 lb (1.141 kg) di carico pagante, 2.400 naut mil (4.449 km).  
 Fuel: Tipico peso operativo a vuoto, 46.164 kg; peso massimo del combustibile, 27.102 kg; carico pagante massimo, 18.586 kg; peso massimo al decollo, basico, 83.520 kg; peso massimo al decollo, operativo, 85.405 kg o 85.021 kg; peso massimo all'atterraggio (prima di peso al decollo), 70.081 kg o (peso massimo opzionale al decollo), 73.109 kg; massimo peso a secco per i tre pesi al decollo usuali, 62.566 kg, 63.520 kg, 65.315 kg.  
 Dimensione: Apertura alare, 32,50 m; lunghezza totale, 46,28 m; altezza totale, 15,35 m; angolo di freccia, 39 gradi ad un quarto della corda; superficie alare, 157,9 m<sup>2</sup>.  
 Alloggiamento: lunghezza della cabina, 28,24 m; larghezza massima, 3,55 m; altezza massima, 2,11 m. La sistemazione base prevede 14 passeggeri in prima classe (a file di quattro) e 131 in classe turistica (a file di sei); numero massimo di posti in classe usata, 186 passeggeri a file di sei. Equipaggio di tre membri.



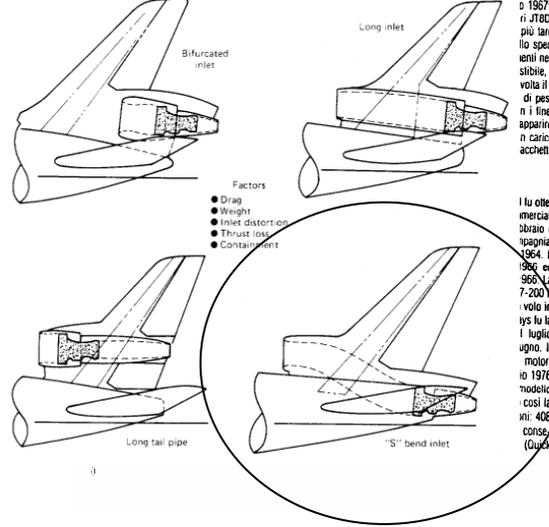
**Sopra:** Concepita solo alcuni anni dopo quella del Boeing 707, la cabina di pilotaggio del 727 appare solo un po' più moderna (a meno che non si stia ulteriormente migliorata dopo la consegna). Come mostra la foto, è stata mantenuta la disposizione a tre persone.

**A sinistra:** Tronco del Boeing 727-200. La maggior parte dei 1828 Boeing 727 furono prodotti con questa configurazione complessiva, la serie 100 aveva una fusoliera più corta e gli ultimi 15 della serie 200 non avevano i finestrini.

- 1 Inibitore
- 2 Antenna radio
- 3 Spazio per il motore a getto
- 4 Pannello di controllo
- 5 Pannello di controllo
- 6 Pannello di controllo
- 7 Pannello di controllo
- 8 Pannello di controllo
- 9 Pannello di controllo
- 10 Pannello di controllo
- 11 Pannello di controllo
- 12 Pannello di controllo
- 13 Pannello di controllo
- 14 Pannello di controllo
- 15 Pannello di controllo
- 16 Pannello di controllo
- 17 Pannello di controllo
- 18 Pannello di controllo
- 19 Pannello di controllo
- 20 Pannello di controllo
- 21 Pannello di controllo
- 22 Pannello di controllo
- 23 Pannello di controllo
- 24 Pannello di controllo
- 25 Pannello di controllo
- 26 Pannello di controllo
- 27 Pannello di controllo
- 28 Pannello di controllo
- 29 Pannello di controllo
- 30 Pannello di controllo
- 31 Pannello di controllo
- 32 Pannello di controllo
- 33 Pannello di controllo
- 34 Pannello di controllo
- 35 Pannello di controllo
- 36 Pannello di controllo
- 37 Pannello di controllo
- 38 Pannello di controllo
- 39 Pannello di controllo
- 40 Pannello di controllo
- 41 Pannello di controllo
- 42 Pannello di controllo
- 43 Pannello di controllo
- 44 Pannello di controllo
- 45 Pannello di controllo
- 46 Pannello di controllo
- 47 Pannello di controllo
- 48 Pannello di controllo
- 49 Pannello di controllo
- 50 Pannello di controllo
- 51 Pannello di controllo
- 52 Pannello di controllo
- 53 Pannello di controllo
- 54 Pannello di controllo
- 55 Pannello di controllo
- 56 Pannello di controllo
- 57 Pannello di controllo
- 58 Pannello di controllo
- 59 Pannello di controllo
- 60 Pannello di controllo
- 61 Pannello di controllo
- 62 Pannello di controllo
- 63 Pannello di controllo
- 64 Pannello di controllo
- 65 Pannello di controllo
- 66 Pannello di controllo
- 67 Pannello di controllo
- 68 Pannello di controllo
- 69 Pannello di controllo
- 70 Pannello di controllo
- 71 Pannello di controllo
- 72 Pannello di controllo
- 73 Pannello di controllo
- 74 Pannello di controllo
- 75 Pannello di controllo
- 76 Pannello di controllo
- 77 Pannello di controllo
- 78 Pannello di controllo
- 79 Pannello di controllo
- 80 Pannello di controllo
- 81 Pannello di controllo
- 82 Pannello di controllo
- 83 Pannello di controllo
- 84 Pannello di controllo
- 85 Pannello di controllo
- 86 Pannello di controllo
- 87 Pannello di controllo
- 88 Pannello di controllo
- 89 Pannello di controllo
- 90 Pannello di controllo
- 91 Pannello di controllo
- 92 Pannello di controllo
- 93 Pannello di controllo
- 94 Pannello di controllo
- 95 Pannello di controllo
- 96 Pannello di controllo
- 97 Pannello di controllo
- 98 Pannello di controllo
- 99 Pannello di controllo
- 100 Pannello di controllo
- 101 Pannello di controllo
- 102 Pannello di controllo
- 103 Pannello di controllo
- 104 Pannello di controllo
- 105 Pannello di controllo
- 106 Pannello di controllo
- 107 Pannello di controllo
- 108 Pannello di controllo
- 109 Pannello di controllo
- 110 Pannello di controllo
- 111 Pannello di controllo
- 112 Pannello di controllo
- 113 Pannello di controllo
- 114 Pannello di controllo
- 115 Pannello di controllo
- 116 Pannello di controllo
- 117 Pannello di controllo
- 118 Pannello di controllo
- 119 Pannello di controllo
- 120 Pannello di controllo
- 121 Pannello di controllo
- 122 Pannello di controllo
- 123 Pannello di controllo
- 124 Pannello di controllo
- 125 Pannello di controllo
- 126 Pannello di controllo
- 127 Pannello di controllo
- 128 Pannello di controllo
- 129 Pannello di controllo
- 130 Pannello di controllo
- 131 Pannello di controllo
- 132 Pannello di controllo
- 133 Pannello di controllo
- 134 Pannello di controllo
- 135 Pannello di controllo
- 136 Pannello di controllo
- 137 Pannello di controllo
- 138 Pannello di controllo
- 139 Pannello di controllo
- 140 Pannello di controllo
- 141 Pannello di controllo
- 142 Pannello di controllo
- 143 Pannello di controllo
- 144 Pannello di controllo
- 145 Pannello di controllo
- 146 Pannello di controllo
- 147 Pannello di controllo
- 148 Pannello di controllo
- 149 Pannello di controllo
- 150 Pannello di controllo
- 151 Pannello di controllo
- 152 Pannello di controllo
- 153 Pannello di controllo
- 154 Pannello di controllo
- 155 Pannello di controllo
- 156 Pannello di controllo
- 157 Pannello di controllo
- 158 Pannello di controllo
- 159 Pannello di controllo
- 160 Pannello di controllo
- 161 Pannello di controllo
- 162 Pannello di controllo
- 163 Pannello di controllo
- 164 Pannello di controllo
- 165 Pannello di controllo
- 166 Pannello di controllo
- 167 Pannello di controllo
- 168 Pannello di controllo
- 169 Pannello di controllo
- 170 Pannello di controllo
- 171 Pannello di controllo
- 172 Pannello di controllo
- 173 Pannello di controllo
- 174 Pannello di controllo
- 175 Pannello di controllo
- 176 Pannello di controllo
- 177 Pannello di controllo
- 178 Pannello di controllo
- 179 Pannello di controllo
- 180 Pannello di controllo
- 181 Pannello di controllo
- 182 Pannello di controllo
- 183 Pannello di controllo
- 184 Pannello di controllo
- 185 Pannello di controllo
- 186 Pannello di controllo
- 187 Pannello di controllo
- 188 Pannello di controllo
- 189 Pannello di controllo
- 190 Pannello di controllo
- 191 Pannello di controllo
- 192 Pannello di controllo
- 193 Pannello di controllo
- 194 Pannello di controllo
- 195 Pannello di controllo
- 196 Pannello di controllo
- 197 Pannello di controllo
- 198 Pannello di controllo
- 199 Pannello di controllo
- 200 Pannello di controllo



Il modello 727 fu il secondo membro della famiglia di aerei a getto della Boeing a venire alla luce. Il lavoro su questo "junior partner" del Boeing 707/720



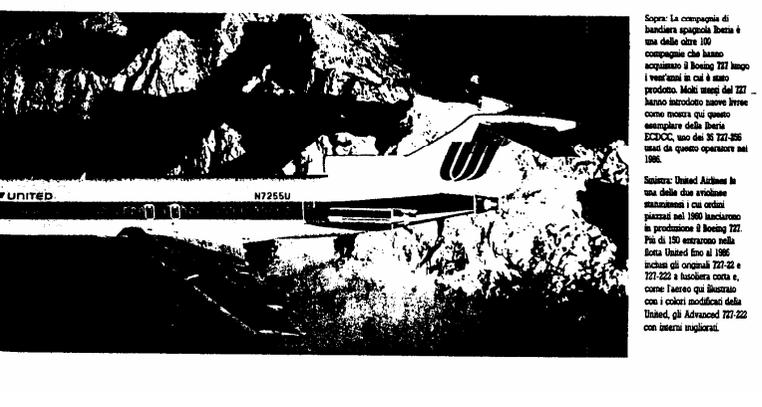
o 1967 e il JT8D7 più tardi lo specificò. Il 3 di peso n i fine-apparire, il carico acchelli.

I fu ottenuti commerciali ibrido e spagnia, 1964. ed 950. La 7-200 il volo in us fu la il luglio ugnò. Il motori lo 1978 modello così la mi: 408 conse. (Duck

Sopra: spaccato di Boeing 727-200 nella configurazione standard per trasporto passeggeri.

61 Serbatoio del combustibile a 1000 galles  
 62 Antenna radio  
 63 Antenna radio  
 64 Antenna radio  
 65 Antenna radio  
 66 Antenna radio  
 67 Antenna radio  
 68 Antenna radio  
 69 Antenna radio  
 70 Antenna radio  
 71 Antenna radio  
 72 Antenna radio  
 73 Antenna radio  
 74 Antenna radio  
 75 Antenna radio  
 76 Antenna radio  
 77 Antenna radio  
 78 Antenna radio  
 79 Antenna radio  
 80 Antenna radio  
 81 Antenna radio  
 82 Antenna radio  
 83 Antenna radio  
 84 Antenna radio  
 85 Antenna radio  
 86 Antenna radio  
 87 Antenna radio  
 88 Antenna radio  
 89 Antenna radio  
 90 Antenna radio  
 91 Antenna radio  
 92 Antenna radio  
 93 Antenna radio  
 94 Antenna radio  
 95 Antenna radio  
 96 Antenna radio  
 97 Antenna radio  
 98 Antenna radio  
 99 Antenna radio  
 100 Antenna radio  
 101 Antenna radio  
 102 Antenna radio  
 103 Antenna radio  
 104 Antenna radio  
 105 Antenna radio  
 106 Antenna radio  
 107 Antenna radio  
 108 Antenna radio  
 109 Antenna radio  
 110 Antenna radio  
 111 Antenna radio  
 112 Antenna radio  
 113 Antenna radio  
 114 Antenna radio  
 115 Antenna radio  
 116 Antenna radio  
 117 Antenna radio  
 118 Antenna radio  
 119 Antenna radio  
 120 Antenna radio  
 121 Antenna radio  
 122 Antenna radio  
 123 Antenna radio  
 124 Antenna radio  
 125 Antenna radio  
 126 Antenna radio  
 127 Antenna radio  
 128 Antenna radio  
 129 Antenna radio  
 130 Antenna radio  
 131 Antenna radio  
 132 Antenna radio  
 133 Antenna radio  
 134 Antenna radio  
 135 Antenna radio  
 136 Antenna radio  
 137 Antenna radio  
 138 Antenna radio  
 139 Antenna radio  
 140 Antenna radio  
 141 Antenna radio  
 142 Antenna radio  
 143 Antenna radio  
 144 Antenna radio  
 145 Antenna radio  
 146 Antenna radio  
 147 Antenna radio  
 148 Antenna radio  
 149 Antenna radio  
 150 Antenna radio  
 151 Antenna radio  
 152 Antenna radio  
 153 Antenna radio  
 154 Antenna radio  
 155 Antenna radio  
 156 Antenna radio  
 157 Antenna radio  
 158 Antenna radio  
 159 Antenna radio  
 160 Antenna radio  
 161 Antenna radio  
 162 Antenna radio  
 163 Antenna radio  
 164 Antenna radio  
 165 Antenna radio  
 166 Antenna radio  
 167 Antenna radio  
 168 Antenna radio  
 169 Antenna radio  
 170 Antenna radio  
 171 Antenna radio  
 172 Antenna radio  
 173 Antenna radio  
 174 Antenna radio  
 175 Antenna radio  
 176 Antenna radio  
 177 Antenna radio  
 178 Antenna radio  
 179 Antenna radio  
 180 Antenna radio  
 181 Antenna radio  
 182 Antenna radio  
 183 Antenna radio  
 184 Antenna radio  
 185 Antenna radio  
 186 Antenna radio  
 187 Antenna radio  
 188 Antenna radio  
 189 Antenna radio  
 190 Antenna radio  
 191 Antenna radio  
 192 Antenna radio  
 193 Antenna radio  
 194 Antenna radio  
 195 Antenna radio  
 196 Antenna radio  
 197 Antenna radio  
 198 Antenna radio  
 199 Antenna radio  
 200 Antenna radio

## BOEING 727-200



11 Serbatoio del combustibile a 1000 galles  
 12 Antenna radio  
 13 Antenna radio  
 14 Antenna radio  
 15 Antenna radio  
 16 Antenna radio  
 17 Antenna radio  
 18 Antenna radio  
 19 Antenna radio  
 20 Antenna radio  
 21 Antenna radio  
 22 Antenna radio  
 23 Antenna radio  
 24 Antenna radio  
 25 Antenna radio  
 26 Antenna radio  
 27 Antenna radio  
 28 Antenna radio  
 29 Antenna radio  
 30 Antenna radio  
 31 Antenna radio  
 32 Antenna radio  
 33 Antenna radio  
 34 Antenna radio  
 35 Antenna radio  
 36 Antenna radio  
 37 Antenna radio  
 38 Antenna radio  
 39 Antenna radio  
 40 Antenna radio  
 41 Antenna radio  
 42 Antenna radio  
 43 Antenna radio  
 44 Antenna radio  
 45 Antenna radio  
 46 Antenna radio  
 47 Antenna radio  
 48 Antenna radio  
 49 Antenna radio  
 50 Antenna radio  
 51 Antenna radio  
 52 Antenna radio  
 53 Antenna radio  
 54 Antenna radio  
 55 Antenna radio  
 56 Antenna radio  
 57 Antenna radio  
 58 Antenna radio  
 59 Antenna radio  
 60 Antenna radio  
 61 Antenna radio  
 62 Antenna radio  
 63 Antenna radio  
 64 Antenna radio  
 65 Antenna radio  
 66 Antenna radio  
 67 Antenna radio  
 68 Antenna radio  
 69 Antenna radio  
 70 Antenna radio  
 71 Antenna radio  
 72 Antenna radio  
 73 Antenna radio  
 74 Antenna radio  
 75 Antenna radio  
 76 Antenna radio  
 77 Antenna radio  
 78 Antenna radio  
 79 Antenna radio  
 80 Antenna radio  
 81 Antenna radio  
 82 Antenna radio  
 83 Antenna radio  
 84 Antenna radio  
 85 Antenna radio  
 86 Antenna radio  
 87 Antenna radio  
 88 Antenna radio  
 89 Antenna radio  
 90 Antenna radio  
 91 Antenna radio  
 92 Antenna radio  
 93 Antenna radio  
 94 Antenna radio  
 95 Antenna radio  
 96 Antenna radio  
 97 Antenna radio  
 98 Antenna radio  
 99 Antenna radio  
 100 Antenna radio  
 101 Antenna radio  
 102 Antenna radio  
 103 Antenna radio  
 104 Antenna radio  
 105 Antenna radio  
 106 Antenna radio  
 107 Antenna radio  
 108 Antenna radio  
 109 Antenna radio  
 110 Antenna radio  
 111 Antenna radio  
 112 Antenna radio  
 113 Antenna radio  
 114 Antenna radio  
 115 Antenna radio  
 116 Antenna radio  
 117 Antenna radio  
 118 Antenna radio  
 119 Antenna radio  
 120 Antenna radio  
 121 Antenna radio  
 122 Antenna radio  
 123 Antenna radio  
 124 Antenna radio  
 125 Antenna radio  
 126 Antenna radio  
 127 Antenna radio  
 128 Antenna radio  
 129 Antenna radio  
 130 Antenna radio  
 131 Antenna radio  
 132 Antenna radio  
 133 Antenna radio  
 134 Antenna radio  
 135 Antenna radio  
 136 Antenna radio  
 137 Antenna radio  
 138 Antenna radio  
 139 Antenna radio  
 140 Antenna radio  
 141 Antenna radio  
 142 Antenna radio  
 143 Antenna radio  
 144 Antenna radio  
 145 Antenna radio  
 146 Antenna radio  
 147 Antenna radio  
 148 Antenna radio  
 149 Antenna radio  
 150 Antenna radio  
 151 Antenna radio  
 152 Antenna radio  
 153 Antenna radio  
 154 Antenna radio  
 155 Antenna radio  
 156 Antenna radio  
 157 Antenna radio  
 158 Antenna radio  
 159 Antenna radio  
 160 Antenna radio  
 161 Antenna radio  
 162 Antenna radio  
 163 Antenna radio  
 164 Antenna radio  
 165 Antenna radio  
 166 Antenna radio  
 167 Antenna radio  
 168 Antenna radio  
 169 Antenna radio  
 170 Antenna radio  
 171 Antenna radio  
 172 Antenna radio  
 173 Antenna radio  
 174 Antenna radio  
 175 Antenna radio  
 176 Antenna radio  
 177 Antenna radio  
 178 Antenna radio  
 179 Antenna radio  
 180 Antenna radio  
 181 Antenna radio  
 182 Antenna radio  
 183 Antenna radio  
 184 Antenna radio  
 185 Antenna radio  
 186 Antenna radio  
 187 Antenna radio  
 188 Antenna radio  
 189 Antenna radio  
 190 Antenna radio  
 191 Antenna radio  
 192 Antenna radio  
 193 Antenna radio  
 194 Antenna radio  
 195 Antenna radio  
 196 Antenna radio  
 197 Antenna radio  
 198 Antenna radio  
 199 Antenna radio  
 200 Antenna radio

Sopra: La compagnia di bandiera spagnola Iberia è una delle oltre 100 compagnie che hanno acquistato il Boeing 727 lungo i vent'anni in cui è stato prodotto. Molti mesi del 727 hanno introdotto nuove linee come mostra qui questo esemplare della Iberia ECDCX, uno dei 35 727-200 usati da questo operatore nel 1985.

Sopra: United Airlines fu una delle due evoluzioni statunitensi i cui ordini piazzati nel 1980 hanno in produzione il Boeing 727. Più di 100 esemplari nella flotta United fino al 1986 inclusa gli oramai 727-20 e 727-222 a fusoliera corta e, come l'altro gli illustrati con i colori modificati della United, gli Advanced 727-222 con inserti ingegneri.



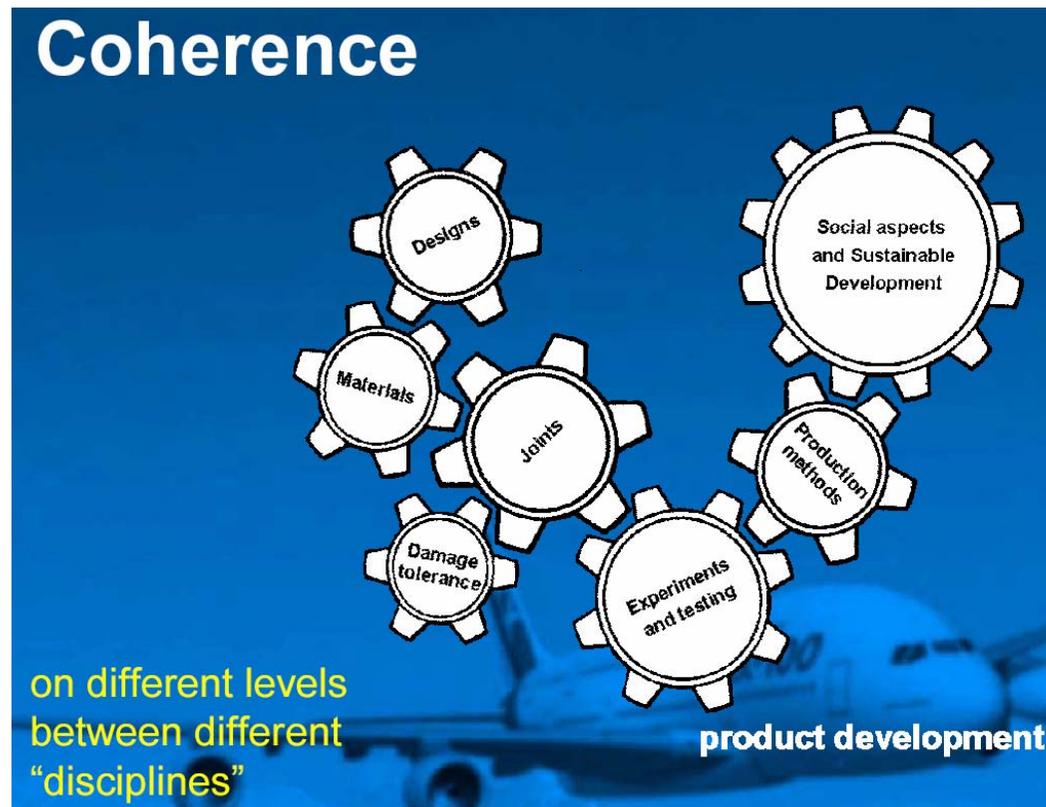
## Requisiti di Progettazione Strutturale

Fondamentale la COERENZA  
tra

Requisiti (Carichi, Basso Peso,  
Ciclo di Vita, Prestazioni, Costo, etc.)

E

Tipo di Struttura  
Materiali Utilizzati  
Processi di Fabbricazione





## Requisiti Strutturali di un Aeroplano

**Sufficientemente Resistente** (non *TROPPO* Resistente!) per sopportare i carichi piu' elevati che possono verificarsi durante la sua vita operativa

**Sufficientemente Longevo** (Long-Life)



al piu' basso possibile

**P E S O**  
" e / o "  
**C O S T O**



(e: ovvio – o: meno ovvio)





## Sviluppo Storico dell'AIRFRAME

Period	Type structure	Material
1903 - 1910	cables, lath, fabric	steel, wood, linen
1910 - 1920	truss structure, spars, ribs, fabric	steel rods, tubes
1920 - 1940	load carrying wooden wings	wood: triplex
1932 - today	stiffened shell structures	aluminum
1948 - today	pressure cabin	improved Al-alloys
1988 - today	composite primary structures	carbon fiber

Legame tra Tipologia Strutturale e Materiale Utilizzato

Nel tempo la struttura a Traliccio e' venuta a perdere di importanza (eccezione nei velivoli leggeri e ultraleggeri)



## Esempi di Criteri di Scelta di Soluzioni Strutturali

Zone con basso/moderato livello di sollecitazione

Sempre pannelli metallici  
Mai elementi forgiati e/o macchinati

Zone con alto livello di sollecitazione

Spesso elementi forgiati e/o macchinati  
Possibili anche parti in lamiera, opportunamente giuntate (rivettatura – incollaggio)

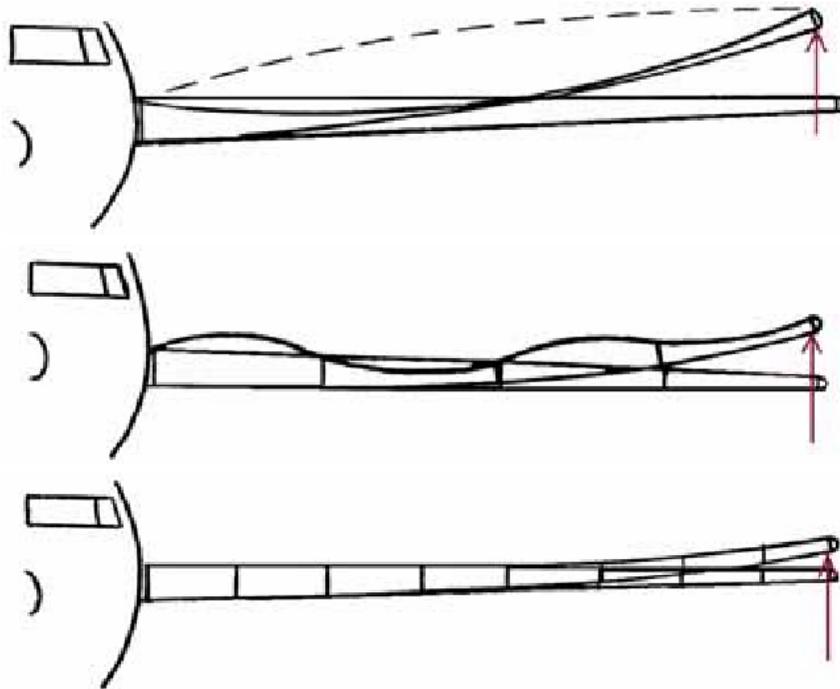
Zone con estremamente alto livello di sollecitazione

Sono possibili diverse opzioni in funzione di:  
Filosofia di progetto (damage tolerance)  
Attrezzatura ed esperienza disponibile  
Costo



## Esempi di Soluzioni Strutturali (corrente – centina)

Funzione delle Centine



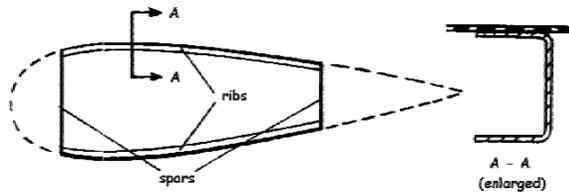
Assenza delle Centine  
Crushing della struttura

Scarso numero di Centine  
Buckling della struttura

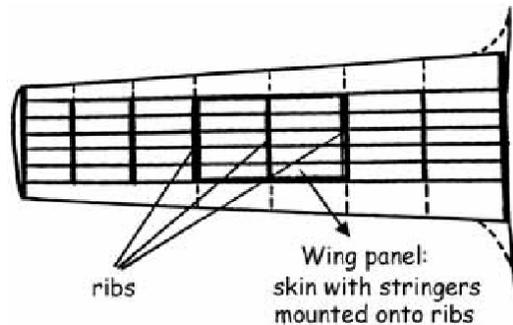
Corretto  
Dimensionamento



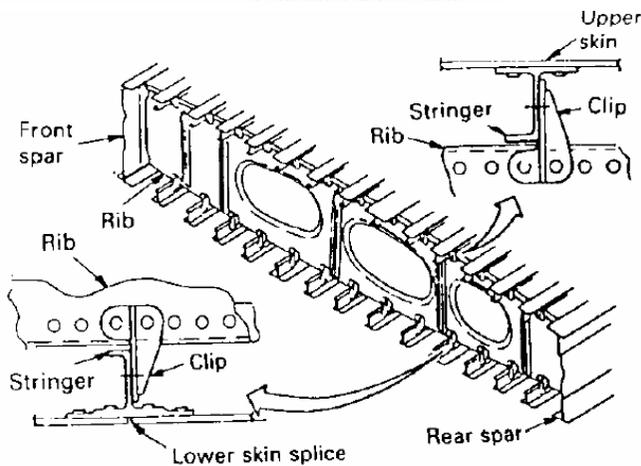
## Esempi di Soluzioni Strutturali (corrente - centina)



Esempio di Centina di Forma  
Non e' in grado di assorbire elevati  
valori della sollecitazione



Tipica Costruzione Alare  
Rib Pitch (Passo delle Centine)  
variabile tra 200 e 1000 [mm]

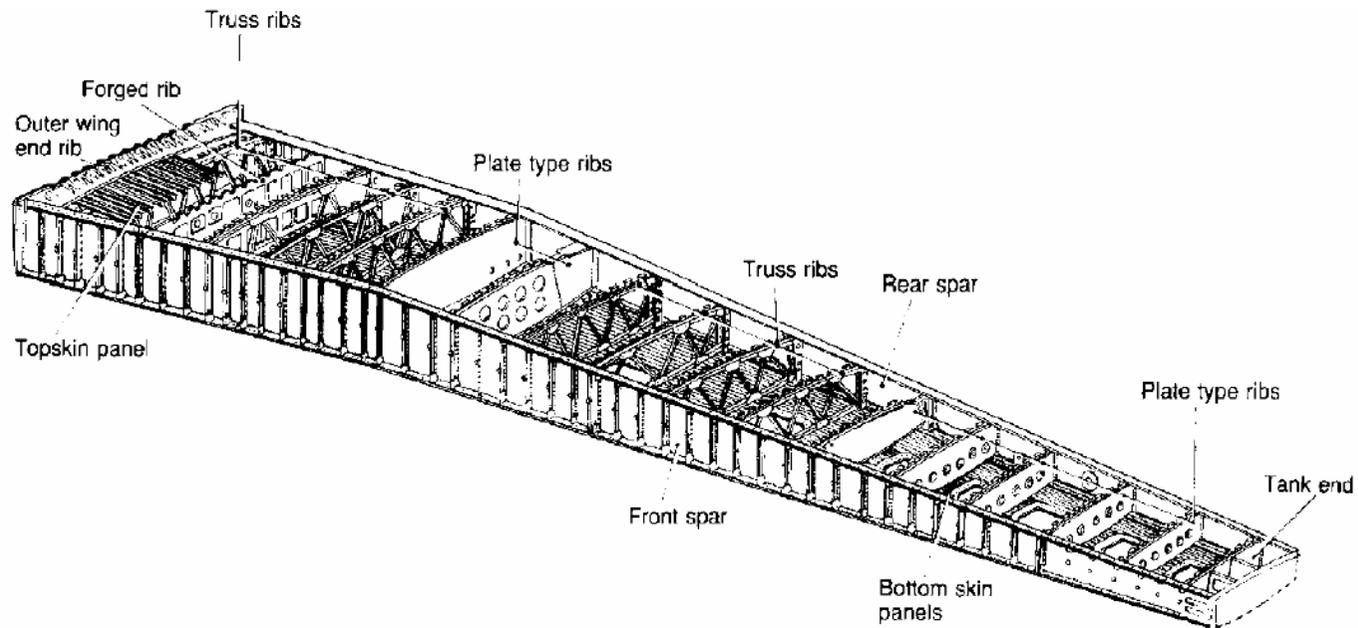


Costruzione Piuttosto Complessa  
Collegamento Corrente-Centina NON  
interrotto



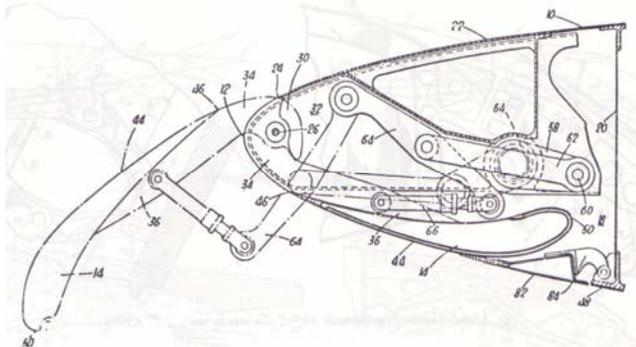
## Esempi di Soluzioni Strutturali

### FOKKER 100 – Struttura alare



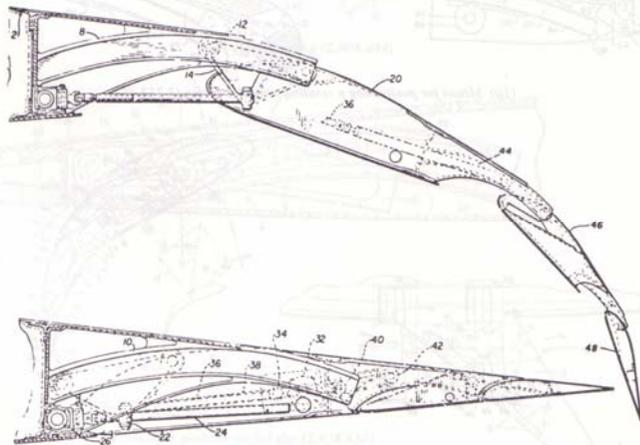


## Esempi di Dettagli Strutturali Complessi

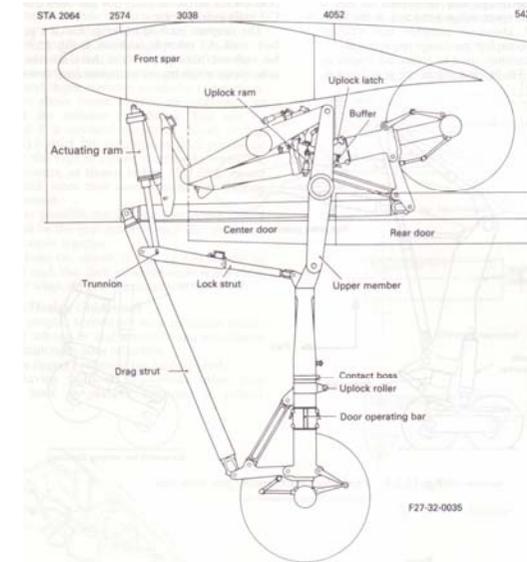


**FLAP**

Bordo  
d'Attacco



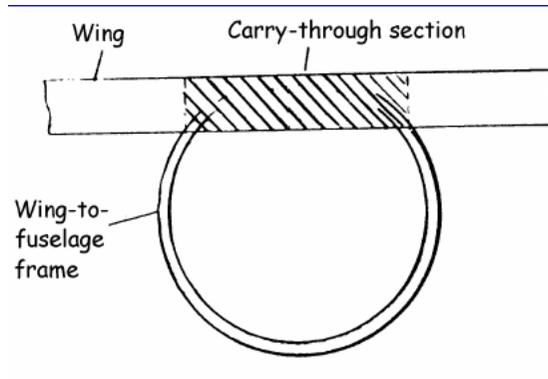
Bordo  
d'Uscita



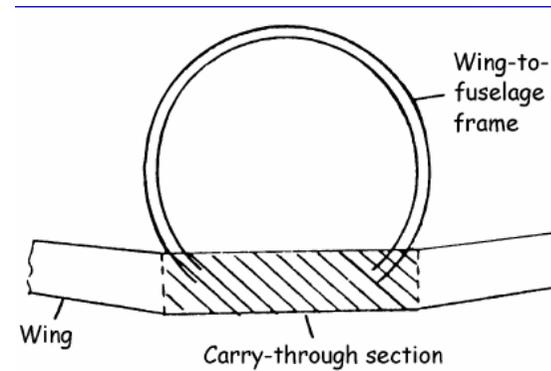
**Carrello  
Principale**



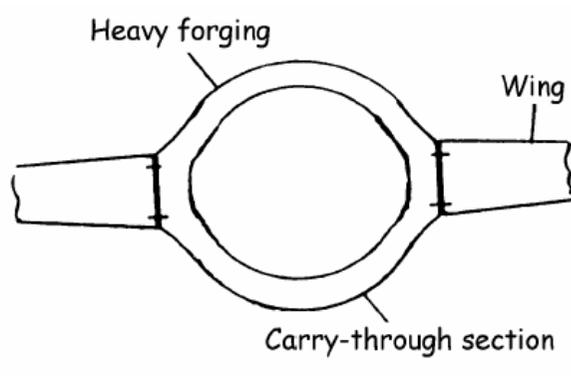
## Dettagli Strutturali Complessi – Collegamento Ala Fusoliera



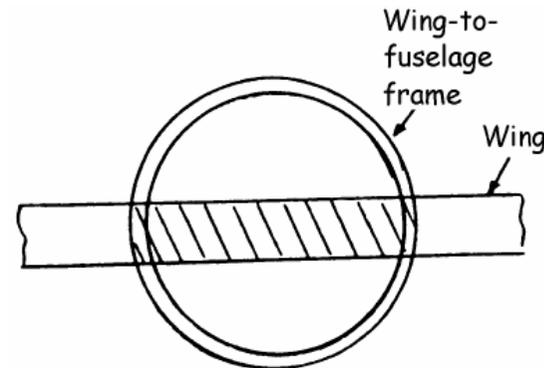
**Ala Alta – High Wing**



**Ala Bassa – Low Wing**



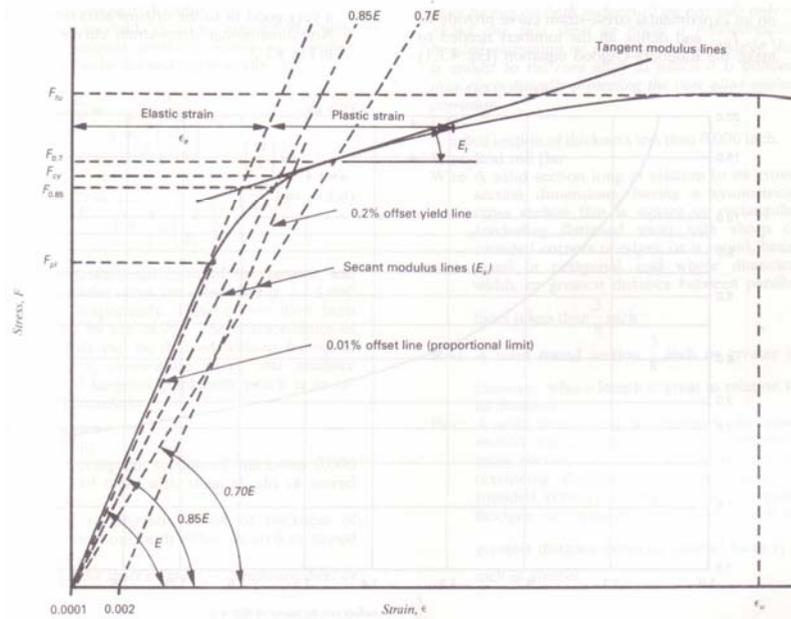
**Ala Media – Mid Wing**



**Ala Media – Mid Wing**



## Il Comportamento dei Materiali



### Alcune Definizioni

#### Modulo di Young

Pendenza della parte iniziale (tipicamente lineare) della curva ( $\sigma$ - $\epsilon$ )

#### Modulo secante

Pendenza della secante dall'origine ad un punto della curva ( $\sigma$ - $\epsilon$ )

#### Modulo tangente

Pendenza della tangente alla curva ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) in qualsiasi suo punto

#### Limite di Proporzionalità

Valore dello stress oltre il quale la curva ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) non è più lineare

#### Limite di Snervamento

Valore dello stress al 0.2% di deformazione

#### Limite Ultimo

Valore massimo dello stress

### Tipica Curva Stress Strain ( $\sigma$ - $\epsilon$ )

#### Riferimento:

*MIL-HDBK-5D, Metallic Materials and Elements for Flight Vehicle Structures*,  
US Government Printing Office, Washington, D.C.



## La Scelta dei Materiali

Una struttura ottimizzata e' la piu' leggera possibile, a parita' di resistenza e di rigidezza

Il punto di partenza sono i **Carichi** a cui la struttura deve resistere.

Il progettista strutturale sviluppa una struttura che rispetta i requisiti imposti, al minor peso possibile.

Esempio di  
Carico Pagante  
per varie tipologie  
di trasporto

Type of transport	Total mass	Payload	%
Bicycle	20 kg	80 kg	400
Midsized car	1,400 kg	500 kg	35
Fokker F-28	28,000 kg	6,500 kg	23
Boeing 747-200	360,000 kg	68,000 kg	19
Concorde	148,000 kg	12,000 kg	8
Titan-Gemini	165,000 kg	7,000 kg	4.25
Saturn-Apollo	2,750,000 kg	42,400 kg (till escape)	1.5
		14,700 kg (on the moon)	0.54
		5,000 kg (back on earth)	0.18
Space shuttle	2,000,000 kg	30,000 kg	1.5
Ariane	210,000 kg	3,000 kg	1.5

Si noti che la percentuale di carico pagante diminuisce se il trasporto e' piu' *advanced*



## Il Fattore di Crescita

Immaginando di mantenere costanti

Il carico pagante

Le prestazioni (velocità, autonomia, etc.)

allora

1 Kg di massa strutturale superflua produce un aumento del peso totale pari al fattore di crescita

$$\frac{\text{total weight}}{\text{payload}} \text{ kg}$$

Fattore di crescita per il Concorde pari a 12.5

Fattore di crescita per F 100 pari a 3.5

Piu' avanzato e' il trasporto  $\boxtimes$  minore e' il carico pagante (in %)  $\boxtimes$  maggiore e' il fattore di crescita

Per ridurre il peso e' quindi necessario

Utilizzare materiali a resistenza e rigidità specifica piu' elevata  
Nuovi concetti di disegno, in particolare dei dettagli strutturali  
Affinare le tecniche ed i metodi di calcolo e di prova



## Scelta dei Materiali

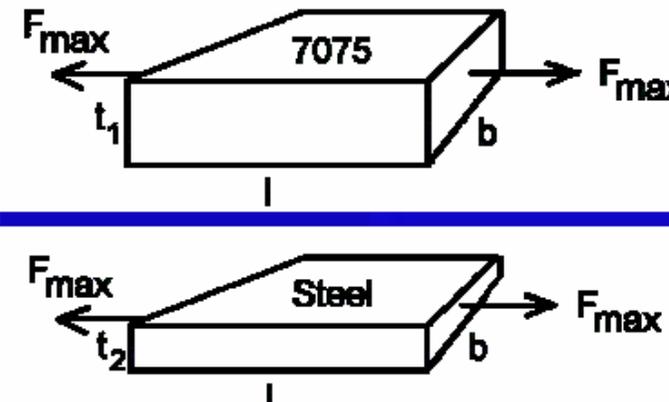
Resistenza a Trazione	Alluminio 7075-T6	550 MPa
	Acciaio ad Alta Resistenza	1500 MPa

Perche' non scegliere l'Acciaio, quindi?

D'altronde il suo comportamento a fatica e' anche migliore!

Chiediamoci, pero', quale pannello ha il peso minore quando soggetti alla stessa forza ultima:

$$\left. \begin{aligned} F_{\max} &= \sigma_{u7075} \cdot b \cdot t_1 \\ F_{\max} &= \sigma_{u\text{steel}} \cdot b \cdot t_2 \end{aligned} \right\} \frac{t_1}{t_2} = \frac{\sigma_{u\text{steel}}}{\sigma_{u7075}}$$



Peso Specifico del 7075 = 28 N/dm<sup>3</sup>

Peso Specifico dell'Acciaio = 78 N/dm<sup>3</sup>

$$\frac{W_{7075}}{W_{\text{steel}}} = \frac{b \cdot l \cdot t_1 \cdot w_{7075}}{b \cdot l \cdot t_2 \cdot w_{\text{steel}}} = \frac{(\sigma_u/w)_{\text{steel}}}{(\sigma_u/w)_{7075}}$$



## Scelta dei Materiali

Chi pesa di meno, quindi?

Si tratta di confrontare  $[\sigma_u/w]_{\text{acciaio}}$  e  $[\sigma_u/w]_{7075}$ .

Ma sono pressocche' uguali! ☒ Questo parametro NON aiuta!

E allora paragoniamoli in termini di Rigidezza:

A **Trazione**  $[E/w]_{\text{acciaio}}$  e  $[E/w]_{7075}$ .

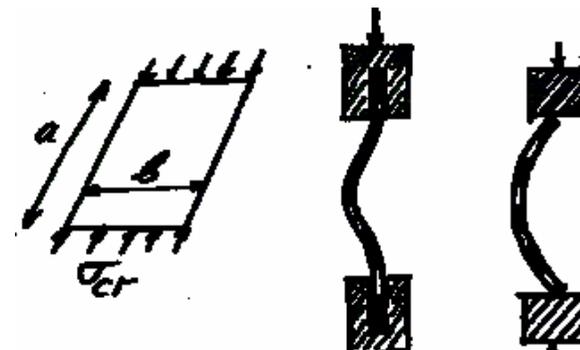
$$\left(\frac{E}{W}\right)_{Al} \approx \left(\frac{E}{W}\right)_{\text{steel}}$$

☒ Ancora NON Aiuta!

### A Compressione

In un pannello il carico critico a compressione e' esprimibile come:

$$\sigma_{cr} = \text{constant} \cdot \frac{Et^2}{ab}$$





## Scelta dei Materiali

Assumendo che la forza  $F$  a cui il pannello si instabilizza sia la stessa

$$F = \sigma_{cr_{Al}} \cdot t_1 \cdot b = \sigma_{cr_{steel}} \cdot t_2 \cdot b$$

ovvero

$$\text{constant} \cdot \frac{E_{Al} t_1^3}{a} = \text{constant} \cdot \frac{E_{steel} t_2^3}{a}$$

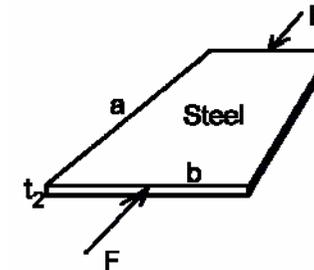
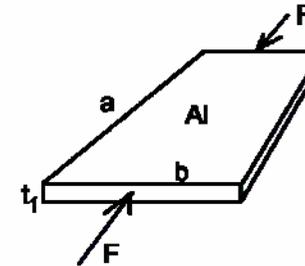
Il che produce

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{\sqrt[3]{E_{steel}}}{\sqrt[3]{E_{Al}}}$$

Ed in termini di peso diventa

$$\frac{\text{weight}_{\text{sheet1}}}{\text{weight}_{\text{sheet2}}} = \frac{a \cdot b \cdot t_1 \cdot W_{Al}}{a \cdot b \cdot t_2 \cdot W_{steel}} =$$

$$\frac{\left(\sqrt[3]{E/W}\right)_{STEEL}}{\left(\sqrt[3]{E/W}\right)_{Al}}$$





## Scelta dei Materiali

### **Il valore piu' elevato di $[E^{1/3}/W]$ VINCE!**

Ecco alcuni esempi di  $[E^{1/3}/W]$  per alcuni materiali:

Aluminum	1.472
Steel	0.762
Titanium	1.065
Isotropic Carbon fiber composite	2.456
Isotropic Aramid fiber composite	2.0

Una delle principali motivazioni per l'uso dell'alluminio nelle costruzioni aerospaziali

*Considerazione conclusiva:*

Mai giudicare un materiale in base ad una sola proprieta'. Considerare sempre anche l'interazione con l'applicazione.



## Proprieta' di Alcuni Materiali

material	E (MPa)	$\sigma_u$ (MPa)
cartilage	24	3
tendon	600	
wood (// fiber)	14 000	103
bone	21 000	
glass (window)	70 000	35 - 175
Al. Alloy	70 000	450 - 550
steel	210 000	- 1500
diamond	1 200 000	

Oltre alla  $\sigma_u$ , anche l'energia di deformazione (area sottesa dalla curva  $\sigma$ - $\epsilon$ ) e' importante perche' e' un indice della capacita' del materiale di assorbire energia.

1 Mpa = 1 mil N/mq = 1 N/ mmq circa 100 gr/mmq

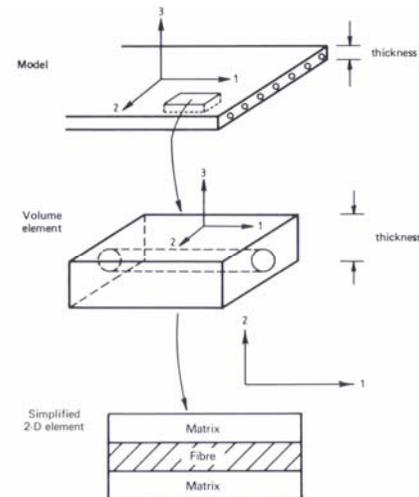
Ad esempio una lega d'alluminio ha una  $\sigma_u$  = **circa 50 Kg/mmq**



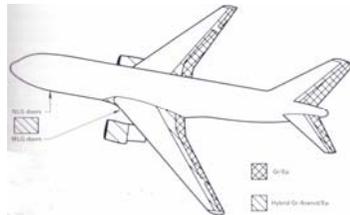
## I Materiali Compositi

I materiali compositi utilizzati nelle strutture aerospaziali appartengono alla classe nota come *fiber composites* o anche *fiber reinforced plastics*, ovvero sono costituiti da una fibra immersa in una matrice di resina o di plastica

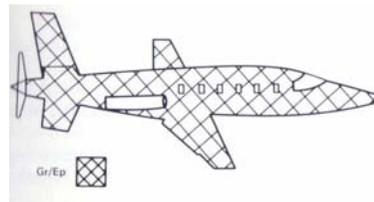
Alle fibre e' lasciato il compito di fornire le proprieta' meccaniche del materiale, mentre la resina ha, principalmente, il compito di mantenere le fibre collegate tra loro, a formare una unica entita' strutturale



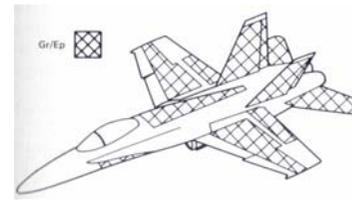
Il principale motivo per utilizzare i materiali compositi e' dato dalla possibilita' di ottenere notevoli risparmi di peso, a parita' di carico applicato, in virtu' delle migliori prestazioni del materiale stesso rispetto ai tradizionali materiali metallici



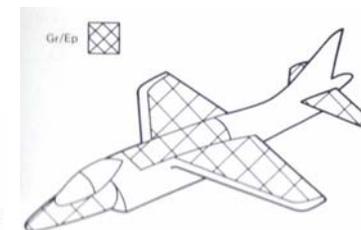
Boeing 767



Lear Fan 2100



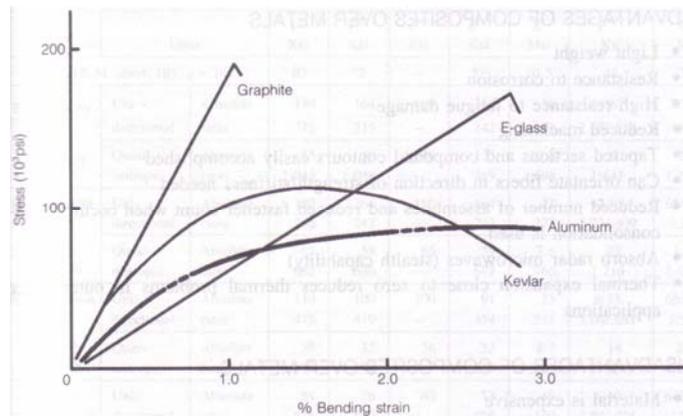
F/A-18



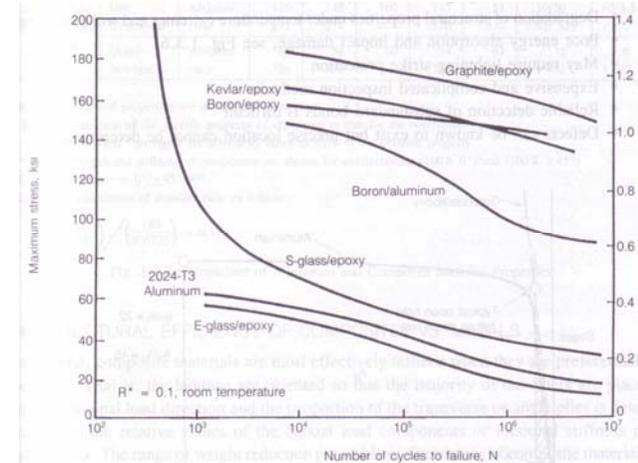
AV-8B (Harrier)



## Materiali Compositi vs. Materiali Metallici



Confronto curve  $\sigma$ - $\epsilon$



Confronto curve S-N  
(comportamento a Fatica)

### Materiali Compositi rispetto a quelli Metallici



- Leggerezza
- Resistenza alla Corrosione
- Miglior comportamento a fatica
- Riduzione dei tempi di lavorazione
- Possibilita' di produrre geometrie complesse
- Possibilita' di orientare le fibre dove necessario
- Riduzione del numero di pezzi da assemblare



- Costo
- Mancanza di una consolidata esperienza
- Difficolta' di giunzione con parti metalliche
- Suscettibilita' agli agenti atmosferici
- Scarsa capacita' di assorbire energia (impatto)
- Costose e complesse tecniche di ispezione
- Puo' richiedere protezione dai fulmini



## Materiali Compositi vs. Materiali Metallici

Material	Units		F <sup>ult</sup> Ksi	F <sup>3/4</sup> Ksi	F <sup>2/3</sup> Ksi	F <sup>3/4</sup> Ksi	E <sup>c</sup> Msi	F <sup>ult</sup> Ksi	G <sup>**</sup> Msi
7075-T6 Al. sheet, (B), ρ=.101			80	73	—	72	10.5	48	3.9
Boron/Epoxy V <sub>f</sub> = .5 ρ = .0725	Uni-directional	Absolute ratio	180 .319	164 .319	400 —	364 .142	30 .251	13/67 2.65/.514	.7/7.8 /3.59
	Quasi-isotropic	Absolute ratio	55 1.044	50 1.048	146 —	133 .389	10.8 .698	21 1.641	2.5 1.120
High strength C/EP V <sub>f</sub> = .6 ρ = .056	Uni-directional	Absolute ratio	180 .246	164 .247	180 —	164 .243	21 .277	12/65 2.22/.409	.65/5.5 /3.93
	Quasi-isotropic	Absolute ratio	65 .682	59 .686	65 —	59 .677	7.6 .766	22 1.210	1.88 1.150
High Modulus C/EP V <sub>f</sub> = .6 ρ = .058	Uni-directional	Absolute ratio	110 .418	100 .419	100 —	91 .454	25 .241	9/43 3.06/.641	.65/6.5 /3.44
	Quasi-isotropic	Absolute ratio	39 1.178	35 1.198	36 —	33 1.253	8.7 .693	14 1.969	2.1 1.066
Ultra-high Modulus C/EP V <sub>f</sub> = .6 ρ = .061	Uni-directional	Absolute ratio	84 .575	76 .580	80 —	73 .596	40 .159	6/40 4.83/.725	.6/10.1 /2.33
	Quasi-isotropic	Absolute ratio	30 1.611	27 1.633	28 1.739	25 .450	14.1 1.380	21 1.380	5.4 .436
Intermediate Modulus C/EP V <sub>f</sub> = .6 ρ = .055	Uni-directional	Absolute ratio	160 .272	145 .274	160 —	145 .270	17 .336	10/50 2.61/.523	.65/4.5 /4.72
	Quasi-isotropic	Absolute ratio	60 .726	54 .736	60 —	54 .726	63 .908	18 1.452	1.6 1.327

Notes: All material properties are in room temperature.

“Ratio” is the ratio of the specific property of aluminum to that for the composite.

\* Composite “yield” strengths are arbitrarily taken as 91% of the ultimate property.

\*\* Shear strength and stiffness of composites are shown for unidirectional (100% 0°) and (100% ±45°)

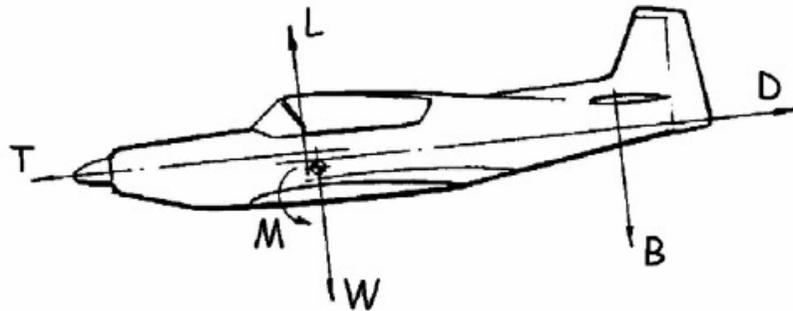
(1) Quasi-isotropic = 0°/±45°/90°

(2) Typical calculation of absolute ratio as follow:

$$\left(\frac{80}{0.101}\right) \bigg/ \left(\frac{180}{0.0725}\right) = 0.319$$



## CARICHI



I carichi agenti su un velivolo:

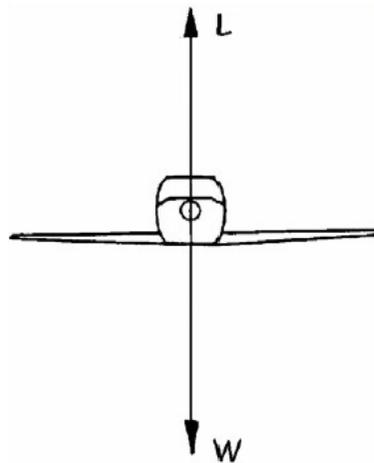
T = Spinta (Thrust)

D = Resistenza (Drag)

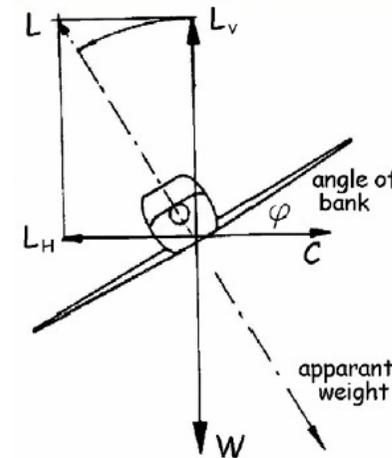
L = Portanza (Lift)

W = Peso (Weight)

M = Momento aerodinamico



Volo stazionario  $L=W$



Volo in manovra  $L > L_v (=W)$



## C A R I C H I

- di manovra
  - da raffica
  - di pressione in fusoliera
  - al suolo
  - etc.
- } Forze Concentrate e Distribuite

Essi agiscono sulla struttura e/o su sue componenti

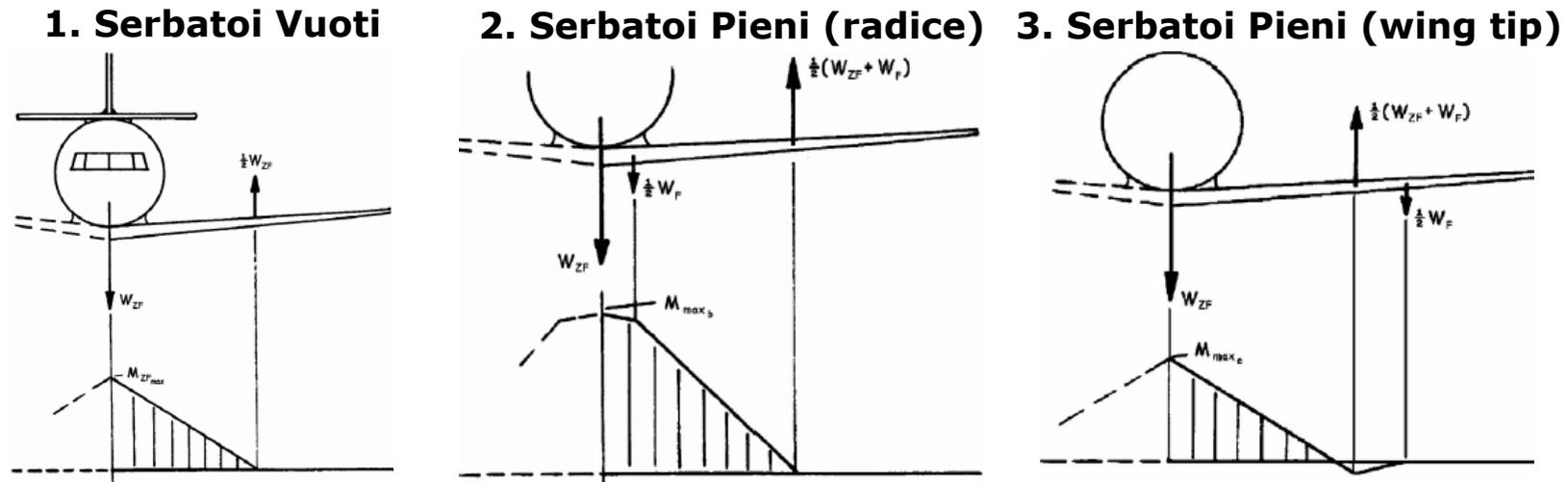
Step 1 }  
→ Quali Carichi?  
→ Quanto Elevati? } Stima Preliminare

Step 2 }  
→ Progettare la Geometria e Scegliere i Materiali  
→ Calcolare lo Stress e Verificare la Struttura  
→ Adattare Dimensioni e Materiali (se Necessario)

Le condizioni operative possono condizionare i carichi ed imporre limitazioni strutturali (Es.: sequenza di svuotamento dei serbatoi alari, oppure Maximum Zero Fuel Weight)



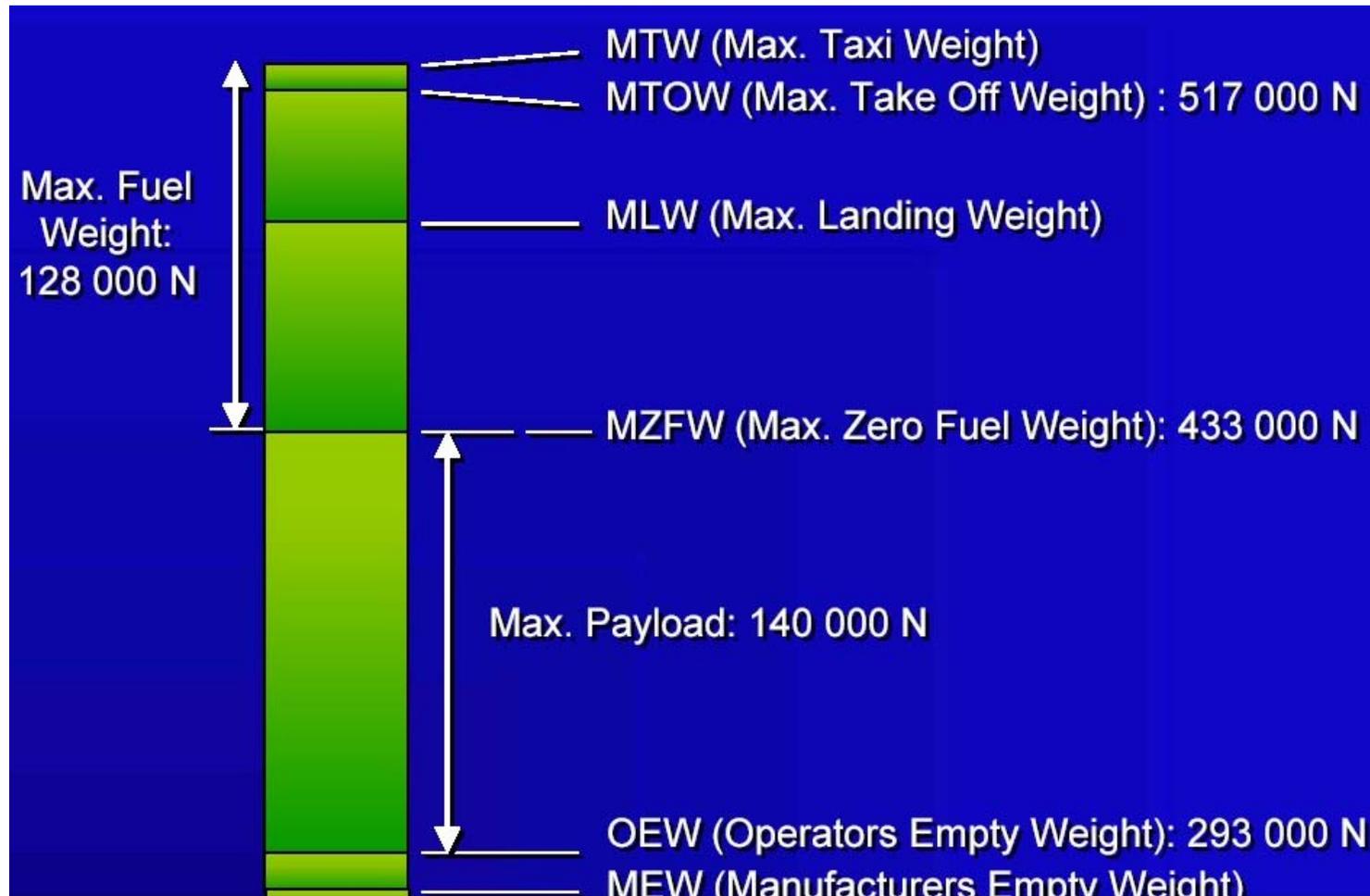
## Carico Alare in Presenza di Carburante



**Qual e' la Condizione di Carico PIU' Gravosa?**



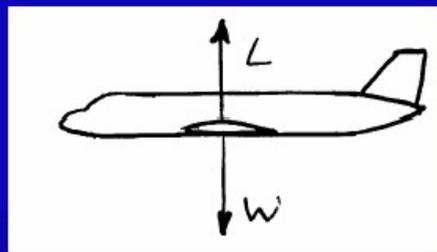
## Esempio di Definizione dei Pesì – Il DC9-33



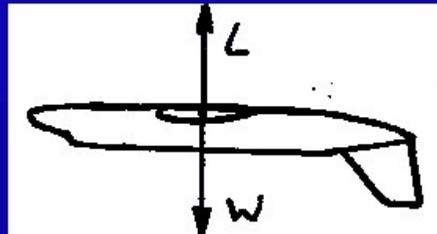


## Il Fattore di Carico - n

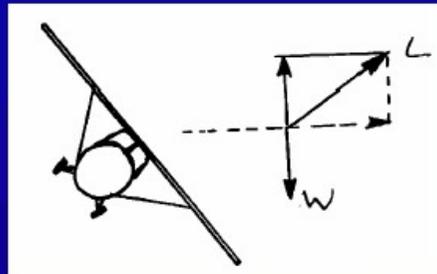
1.  $n = 1$



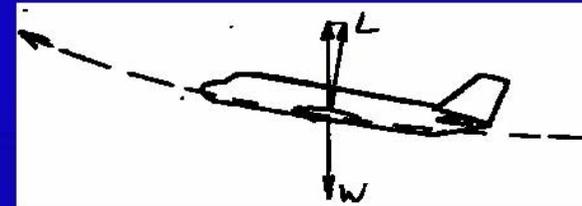
2.  $n = -1$



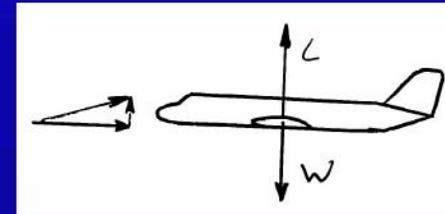
3.  $n > 1$



4.  $n > 1$



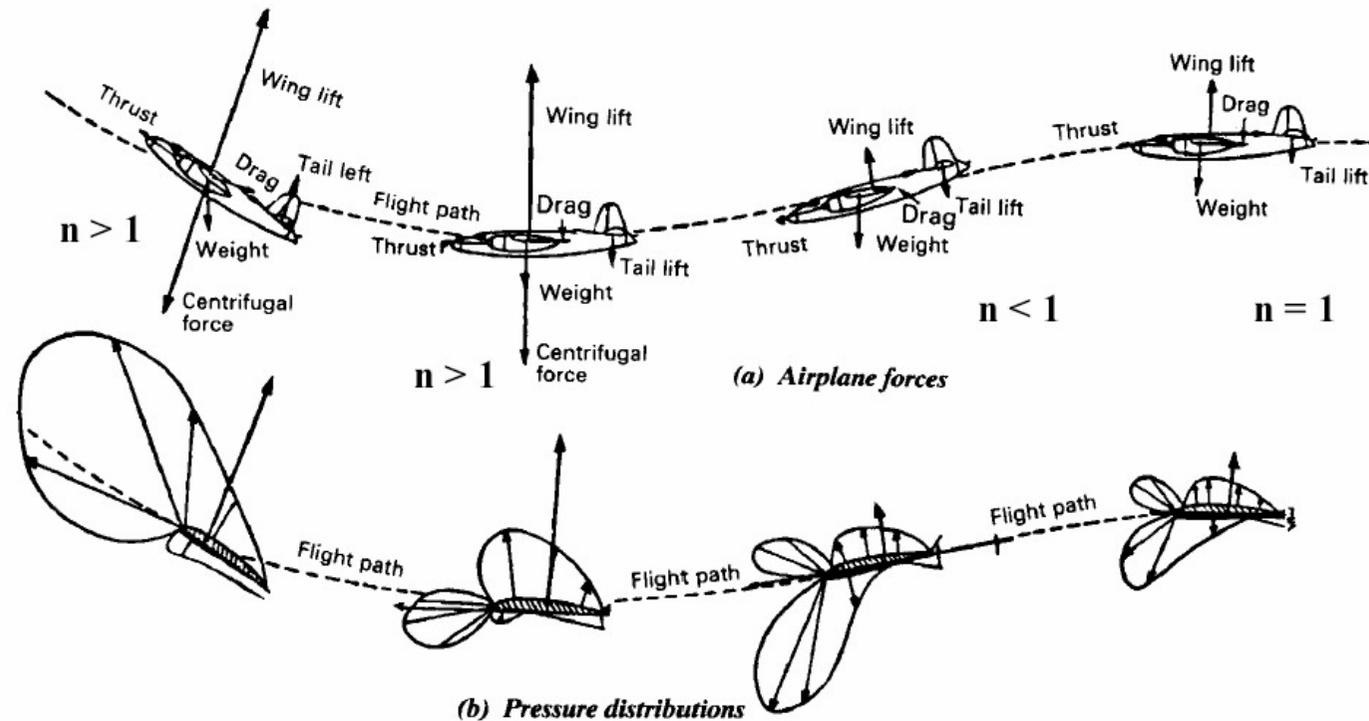
5.  $n > 1$



$$n = \frac{L}{W}$$



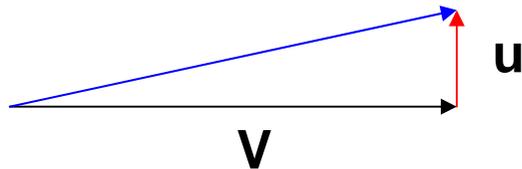
## Il Fattore di Carico – Evoluzione in Manovra





## Il Fattore di Carico – Variazione per Effetto della Raffica

$$n = 1 \pm \frac{1}{2} \frac{dC_L}{d\alpha} \frac{\rho V u}{W/S}$$



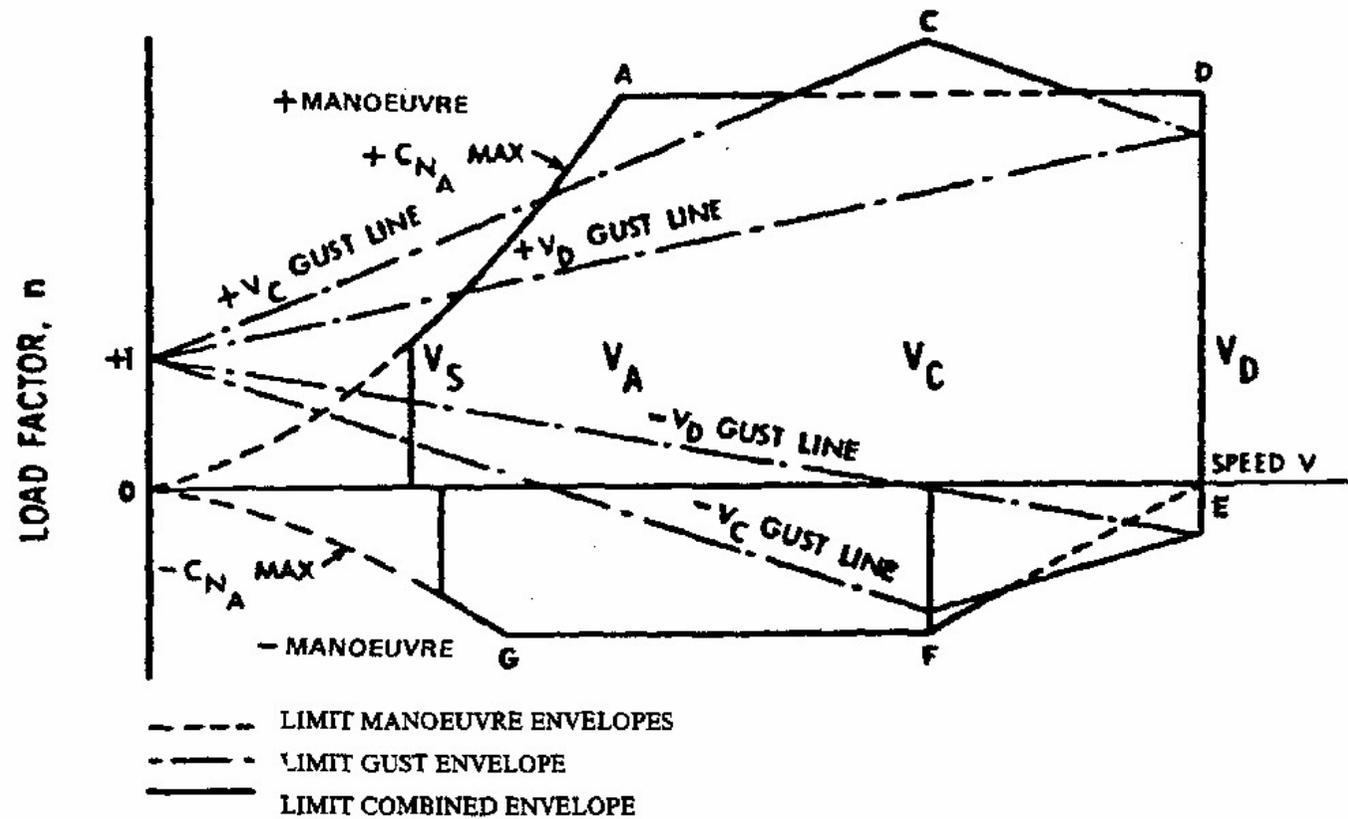
$V = 720 \text{ km/h} = 200 \text{ m/s}$   
 $u = 20 \text{ m/s (regulation)}$   
 $\frac{dC_L}{d\alpha} = 5 \text{ /rad}$   
 $W/S = 4000 \text{ N/m}^2$   
 $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$

$n = 4.06$

Per effetto della raffica verticale aumenta l'angolo d'attacco e quindi aumenta la portanza. Di conseguenza aumenta  $n=L/W$ .



## Il Diagramma di Manovra





## Il Fattore di Sicurezza

$$n_{ult} = 1.5 * n_{lim}$$

Variabilità delle proprietà dei materiali e le tolleranze  
Possibili imprecisioni di calcolo  
Eventuale presenza di tensioni residue  
Carichi particolarmente elevati

I valori limiti si possono verificare, ma sono estremamente improbabili.  
In ogni caso bisogna garantire:

- Sicuramente nessuna rottura
- Assenza di deformazione plastica

### **Proof of Strength (Means of Compliance):**

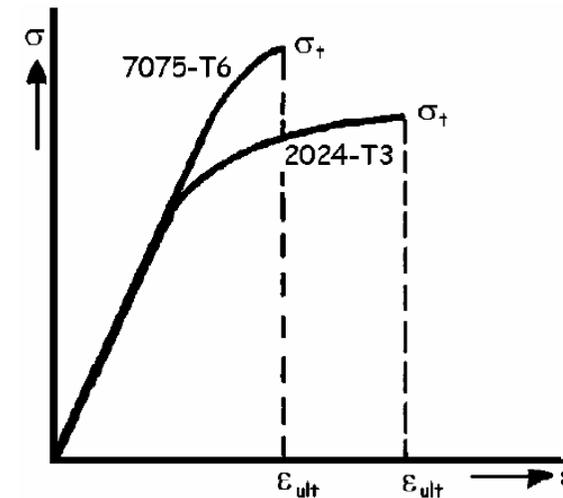
- Calcolo
- Prove Sperimentali



## Calcolo

Criterio di Rottura (Tensione, Compressione, Taglio, ...)

Quale e' piu' critico?



- 2024-T3  $\sigma_u > 1.5 \sigma_{0.2} \rightarrow$  deformation critical
- 7075-T6  $\sigma_u < 1.5 \sigma_{0.2} \rightarrow$  fracture critical



## Prove Sperimentali

### Perche'?

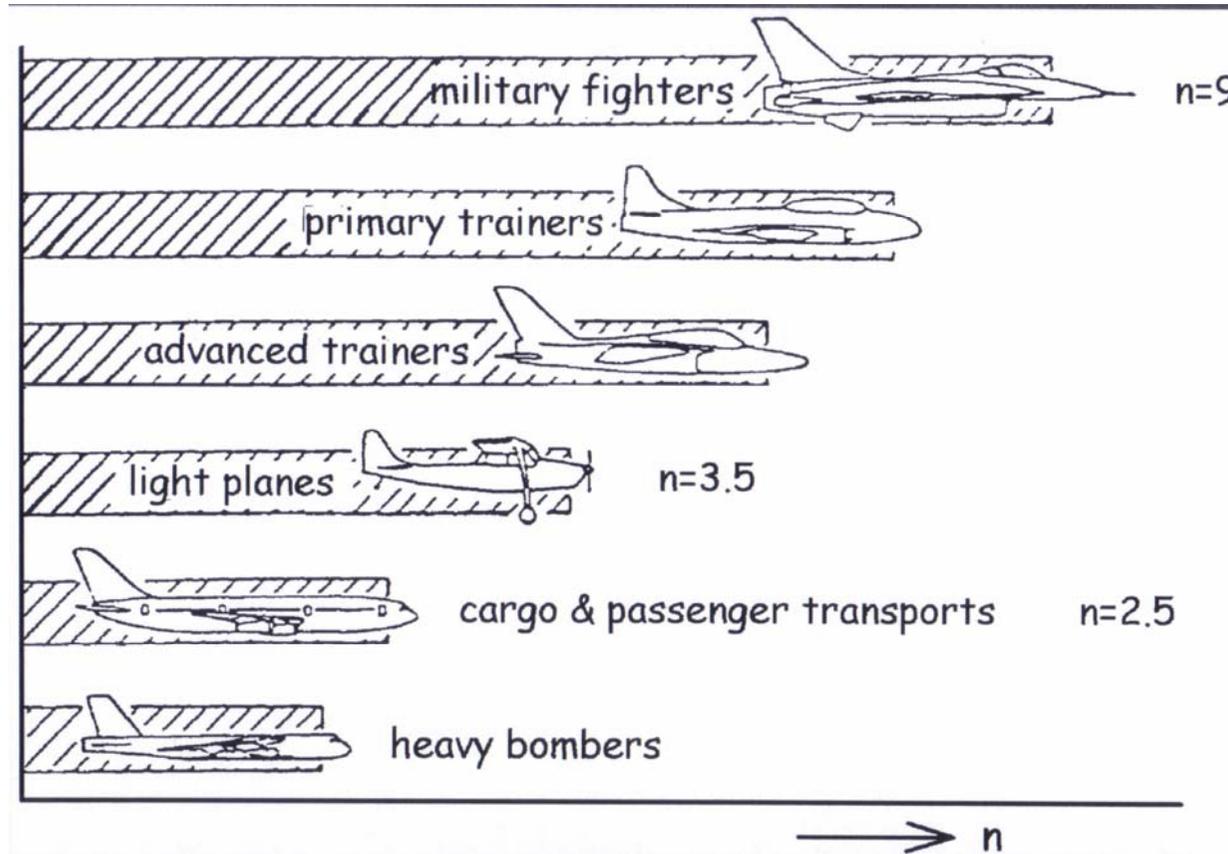
Progetto strutturale complesso e difficile da calcolare  
Interazione tra diversi componenti  
Interazione tra diverse condizioni di carico

### Quali Prove?

Prove in Scala Reale  
Prove su componenti o su dettagli strutturali  
→ Prove Statiche  
→ Prove a Fatica  
→ Prove di Vibrazioni al Suolo  
→ Prove di Volo

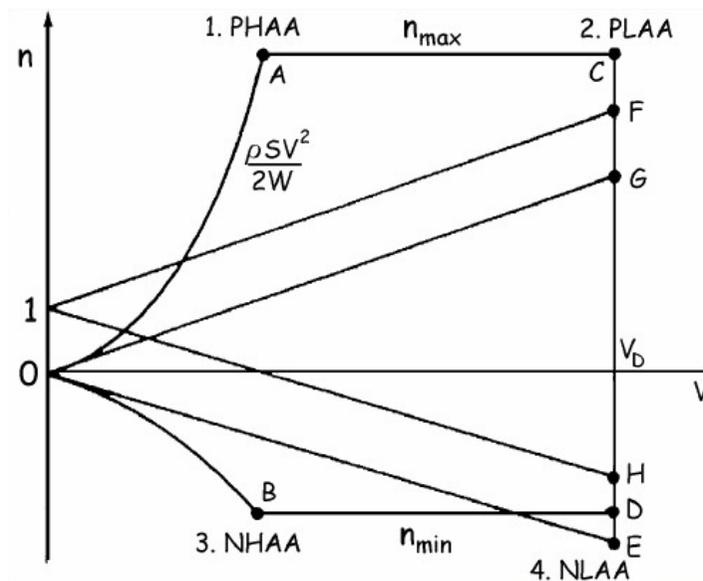


## Tipici Valori del Fattore di Carico Massimo





## Quattro Punti Critici del Diagramma di Manovra



### 1. PHAA

Positive **H**igh **A**nge of **A**ttack

### 2. PLAA

Positive **L**ow **A**nge of **A**ttack

### 3. NHAA

Negative **H**igh **A**nge of **A**ttack

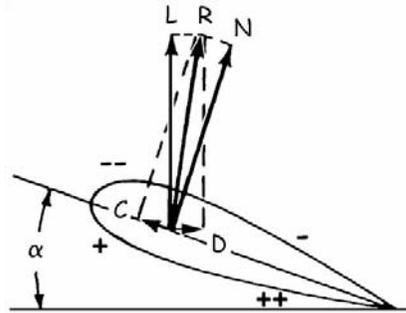
### 4. NLAA

Negative **L**ow **A**nge of **A**ttack

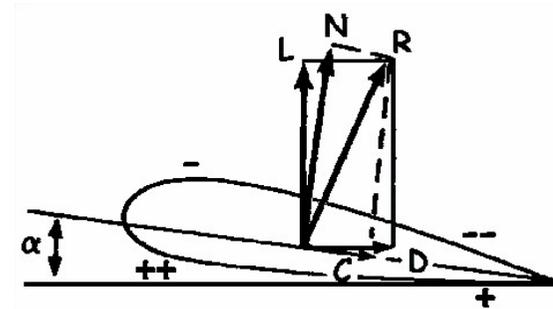


## Distribuzione del Carico ai Punti Critici

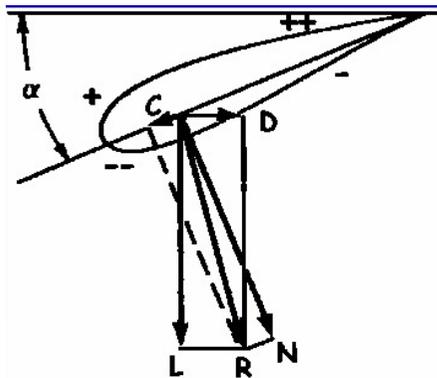
1. **PHAA** – Positive High Angle of Attack



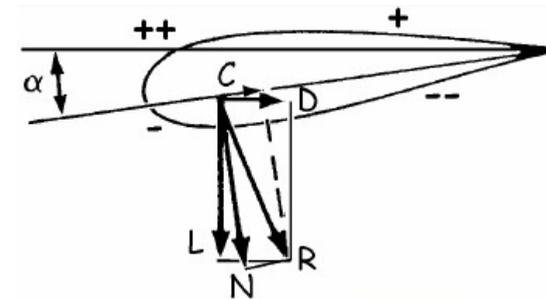
2. **PLAA** – Positive Low Angle of Attack



3. **NHAA** – Negative High Angle of Attack



4. **NLAA** – Negative Low Angle of Attack

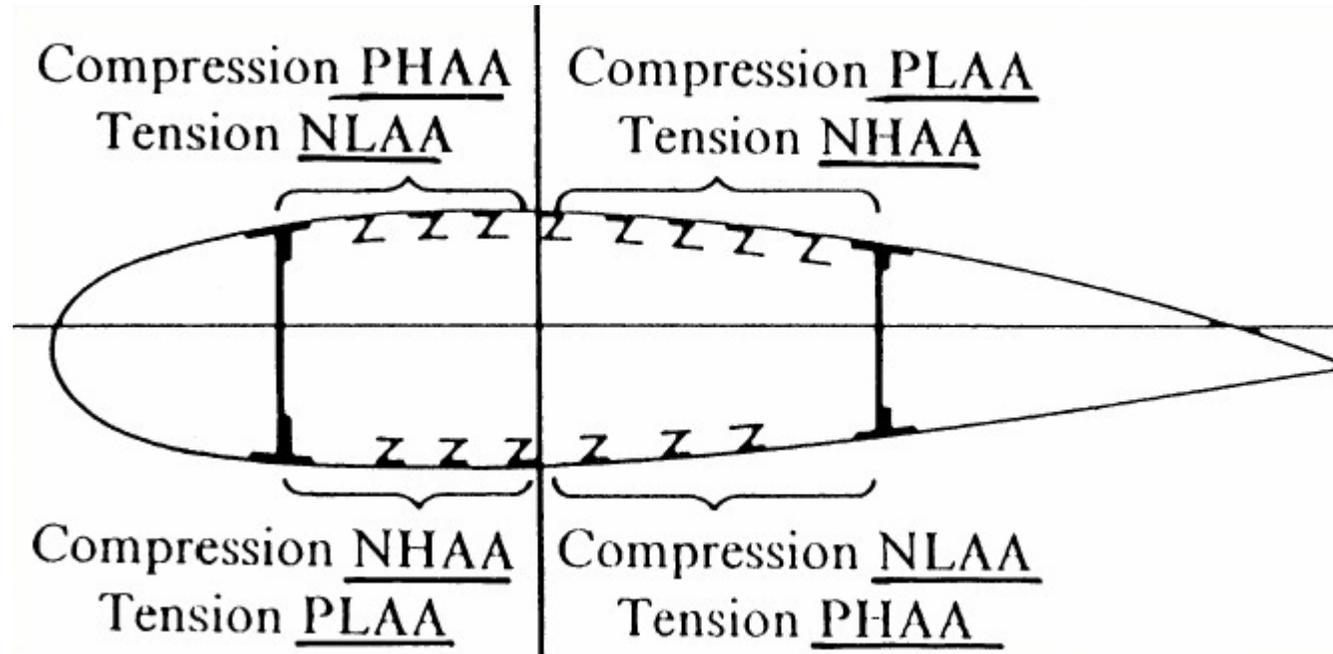


**R** = Risultante - **L** e **D** riferite alla Velocita' - **N** e **C** riferite alla corda

Si noti la simbologia + e ++, - e --



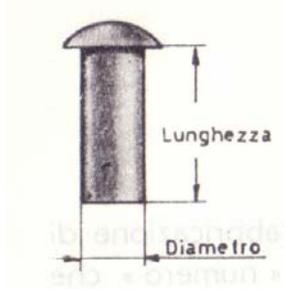
## Conseguenze della Distribuzione del Carico ai Punti Critici



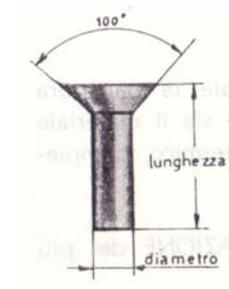
Condizioni critiche non soltanto per la struttura alare, ma anche per l'impennaggio orizzontale (carichi di bilanciamento)



## Le Giunzioni – Giunzioni rivettate

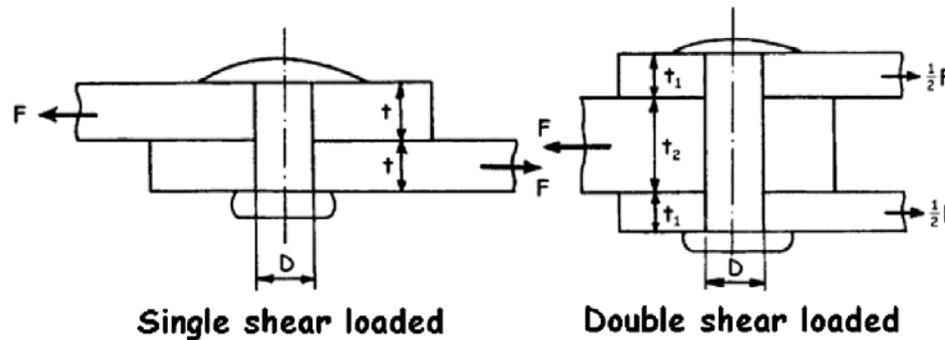


Rivetto a testa tonda



Rivetto a testa svasata

### Tipologie di Giunzioni Rivettate

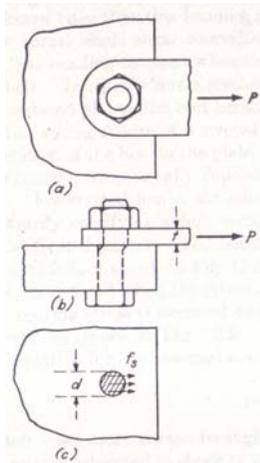


### Altri tipi di giunzioni :

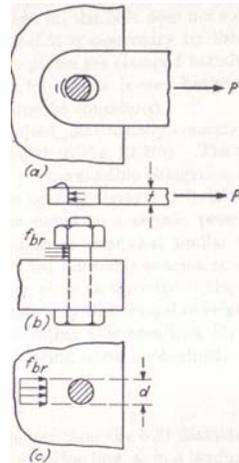
- Saldature
- Incollaggi (ad esempio nel caso di materiali compositi)



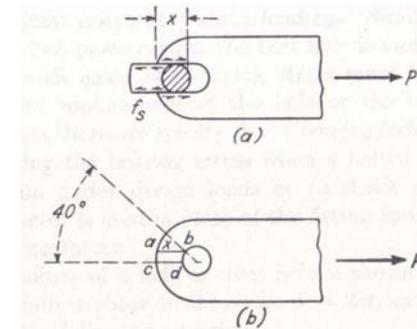
## Possibilita' di Rottura di Giunzioni Bullonate o Rivettate



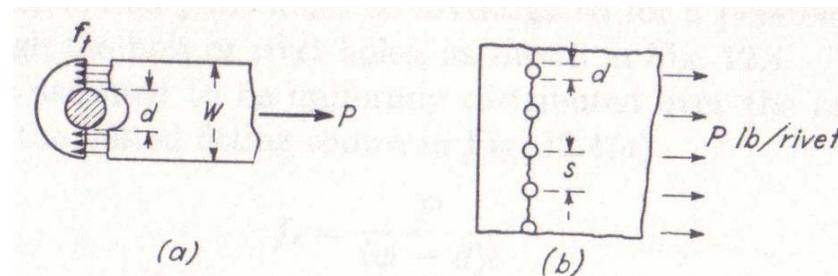
1. A taglio



2. Per ovalizzazione



3. A strappo



4. A trazione