
COSTRUZIONI AERONAUTICHE L

Capitolo 1 – Aircraft structures

AA 2008-2009

NOTE

Il presente materiale non copre tutte le problematiche relative alle costruzioni aeronautiche.

Riferimenti bibliografici

- M.C.Y. Niu, *“Airframe structural design. Practical design information and data on aircraft structures”*, Conmilit Press Ltd. 1988
- J. Roskam, *“Airplane Design”*, part 3
Roskam Aviation and Engineering Corp., Ottawa (KS), 1985
- D. P. Raymer, *“Aircraft Design: a conceptual approach”*
AIAA Education Series, New York (NY), 1999
- E.F. Bruhn, *“Analysis and design of flight vehicle structures”*

Struttura

Parti strutturali del velivolo

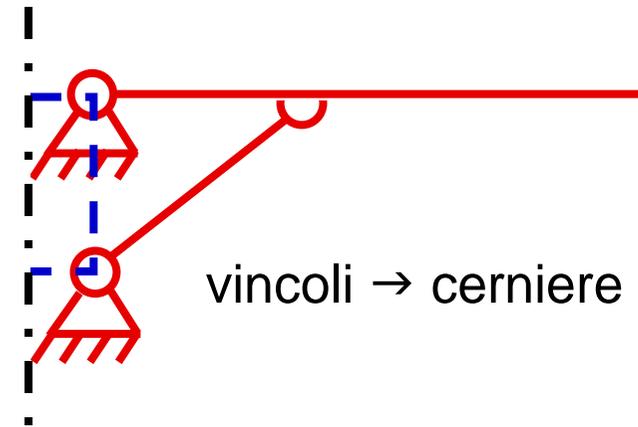
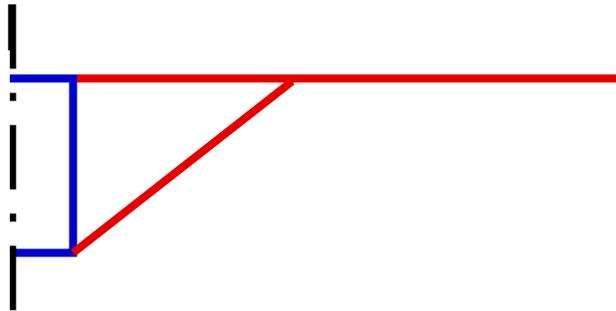
- ala (*wing*)
 - parte fissa
 - superfici mobili (flaps, alettoni, spoilers)
 - elementi “accessori” (serbatoi d’estremità, carichi esterni, ...)
- fusoliera (*fuselage*)
- piani di coda (*empennage*)
 - piano orizzontale (*horizontal tail*)
 - stabilizzatore (*stabilizer*)
 - equilibratore (*elevator*)
 - piano verticale (*vertical tail*)
 - deriva (*fin*)
 - timone di coda (*rudder*)
- installazione del motore (*engine mount*)
- carrello (*landing gear*)

Ala – Struttura

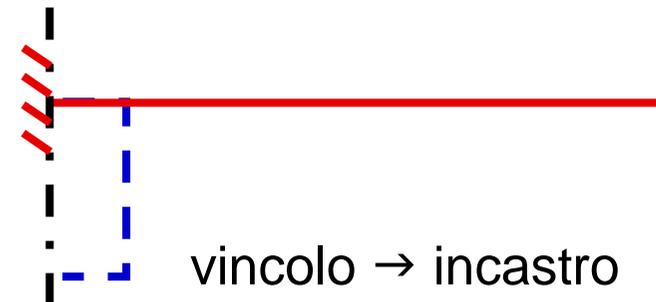
Tipologia di ala*

* si fa riferimento a strutture alari in metallo

- ala controventata (*strut braced wing*)



- ala a sbalzo (*cantilever wing*)



Ala – Struttura

Elementi strutturali

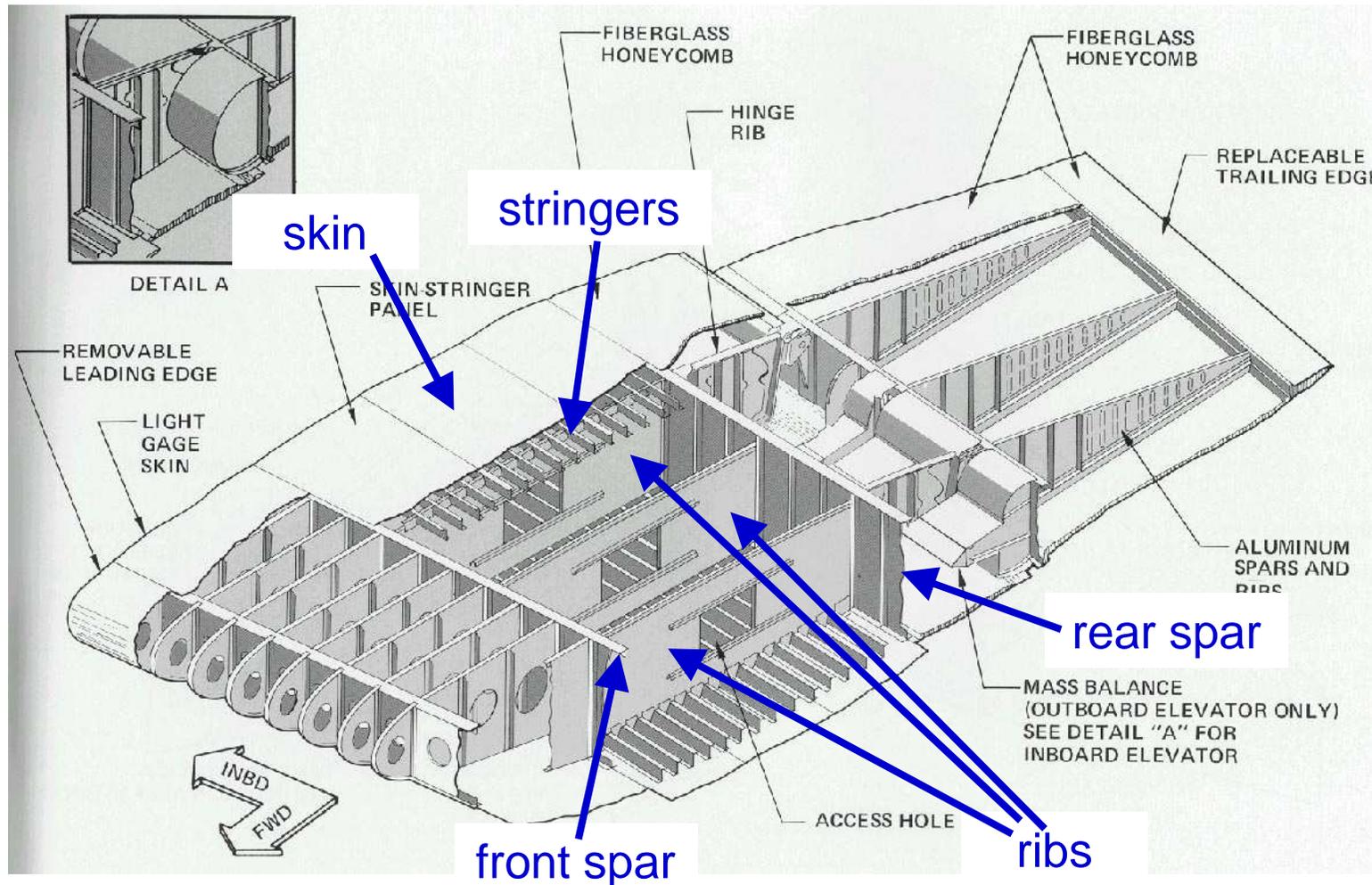
- rivestimento (*skin*)
- longheroni (*spars*)
- correnti (*stringers*)
- centine (*ribs*)

Particolari strutturali

- attacco ala-fusoliera
- aperture
- serbatoi
- superfici mobili

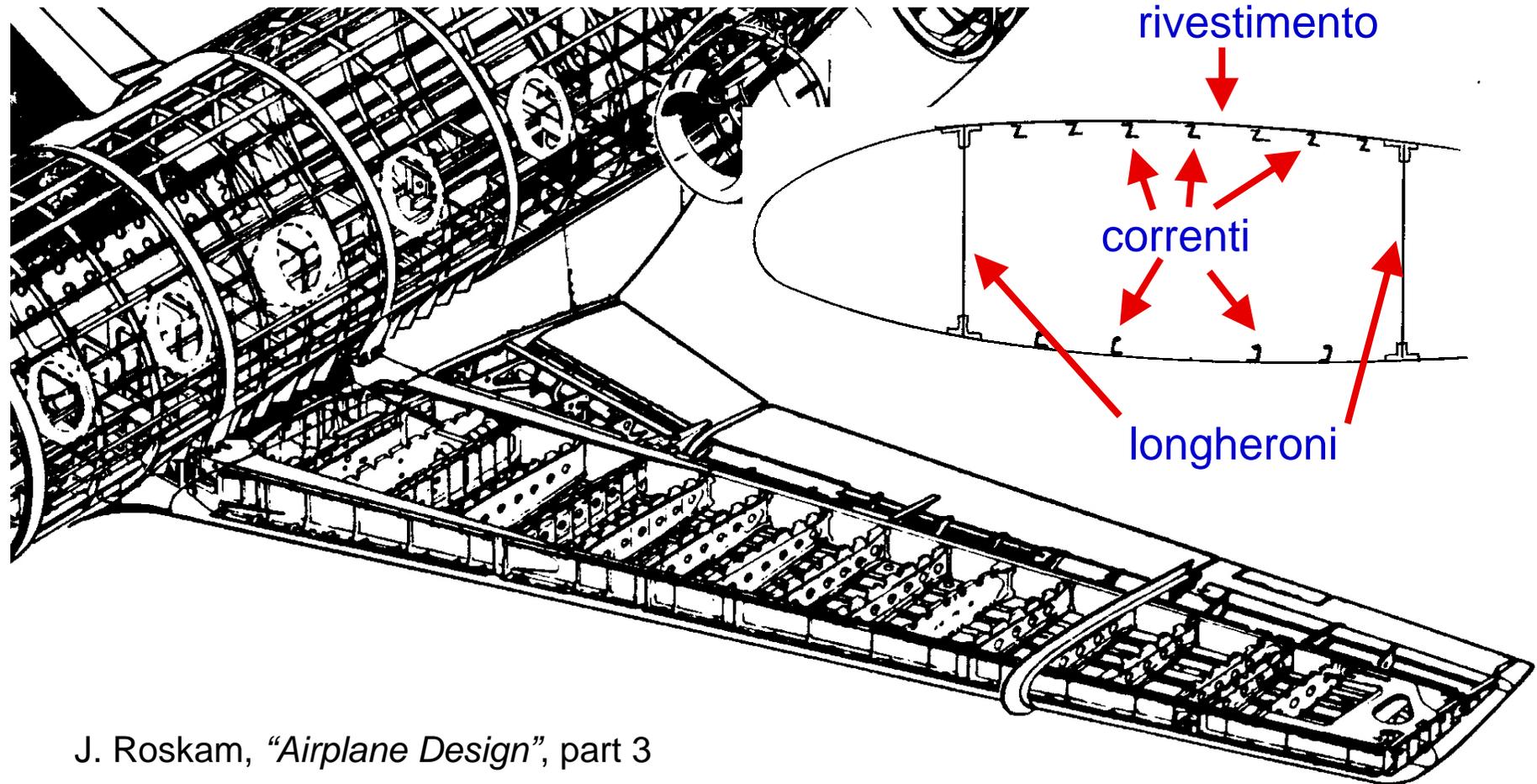
Ala - Struttura

Elementi strutturali



Ala – Struttura

Elementi strutturali

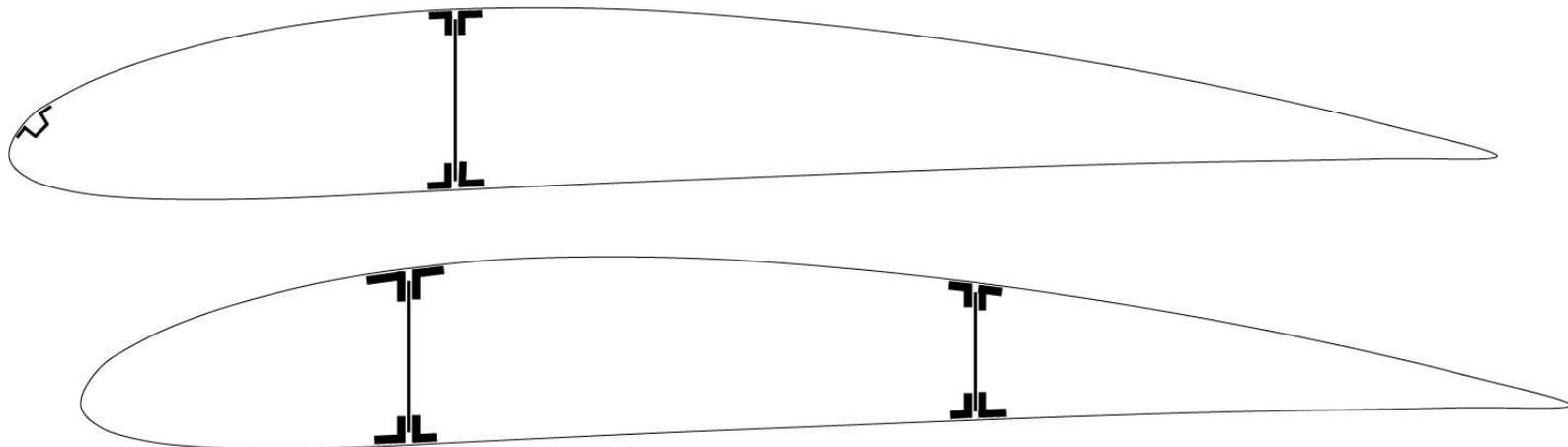


J. Roskam, "Airplane Design", part 3

Ala – Struttura

Velivoli subsonici a basse velocità

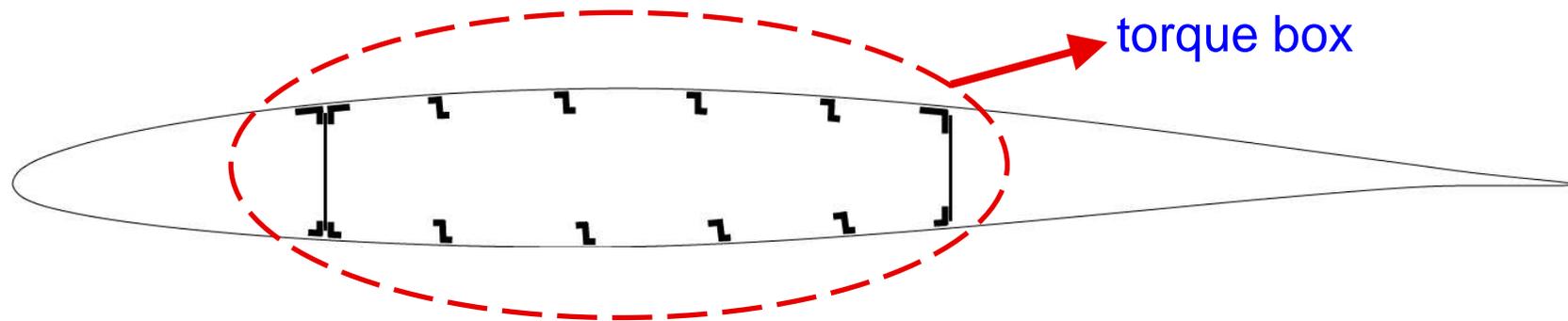
- spessore del profilo alare non piccolo:
 - ex: velivoli monomotore a elica: $t/c = 12 \div 16 \%$
- rivestimento → spessori sottili: 0.020 ÷ 0.90 in
- strutture generalmente con uno o due longheroni
- presenza di molte centine
- *bending material* → concentrato nelle solette (*spar caps*) dei longheroni



Ala – Struttura

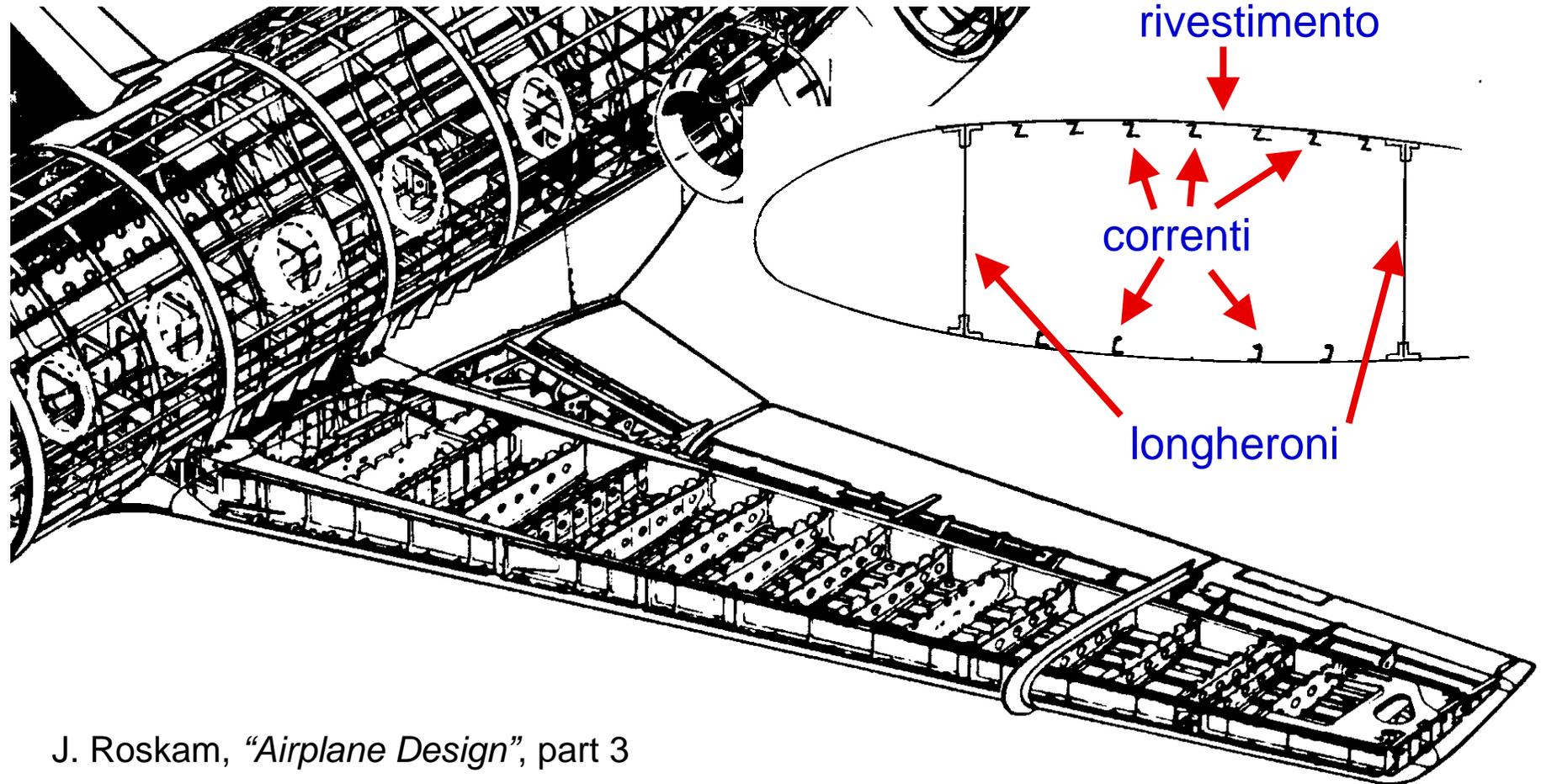
Velivoli subsonici ad alte velocità

- spessore del profilo alare:
 - velivoli bimotore a elica: $t/c = 12 \div 16 \%$
 - jet da trasporto commerciale → $t/c = 10 \div 12 \%$
 -
- rivestimento → spessori sottili
- strutture generalmente a due o tre longheroni
- presenza dei correnti di irrigidimento
- presenza di molte centine
- *bending material* → distribuito sulla periferia del profilo, ripartito tra le solette dei longheroni e i correnti



Ala – Struttura

Torque box

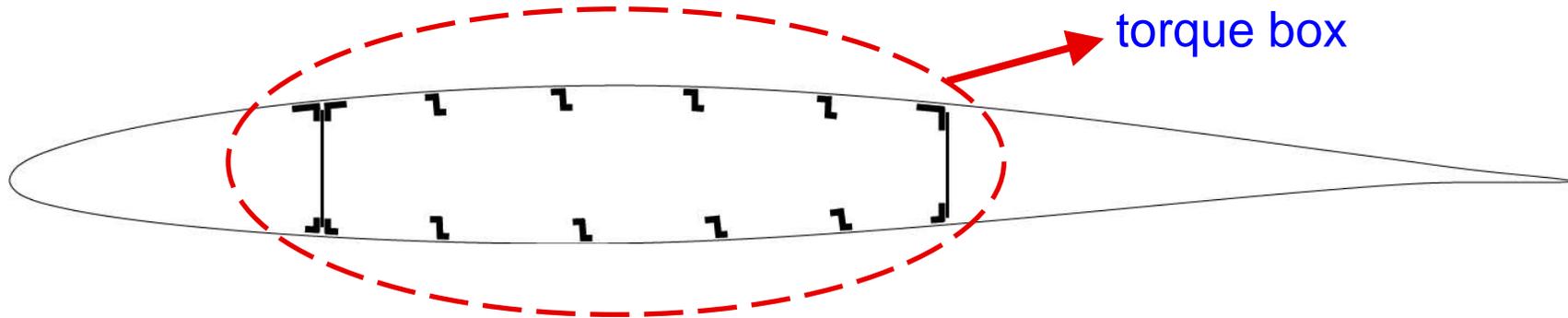


J. Roskam, "Airplane Design", part 3

Ala – Struttura

Velivoli subsonici ad alte velocità con torque box

- Il torque box è generalmente “chiuso” tra un longherone anteriore e uno posteriore ed è posizionato in corda in modo da sfruttare la parte di profilo con spessore maggiore



Ala – Struttura

Velivoli subsonici ad alte velocità con torque box

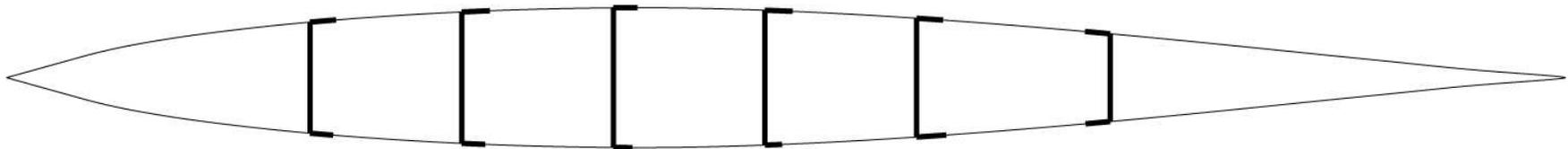
- posizione tipica dei longheroni
 - Roskam
 - longherone anteriore: 15 % ÷ 30 % della corda
 - longherone posteriore: 55 % ÷ 60 % della corda
 - NIU (rif. prevalente: jet per trasporto passeggeri)
 - longherone anteriore: 12 % ÷ 17 % della corda (con il suggerimento di mantenere costante lungo l'apertura la posizione in percentuale di corda)
 - longherone posteriore: (55 % ÷) 60 % della corda (installazione tipica: longherone posteriore al 60 % della corda con alettone di corda pari al 30 % di quella del profilo)

Ala – Struttura

Velivoli supersonici

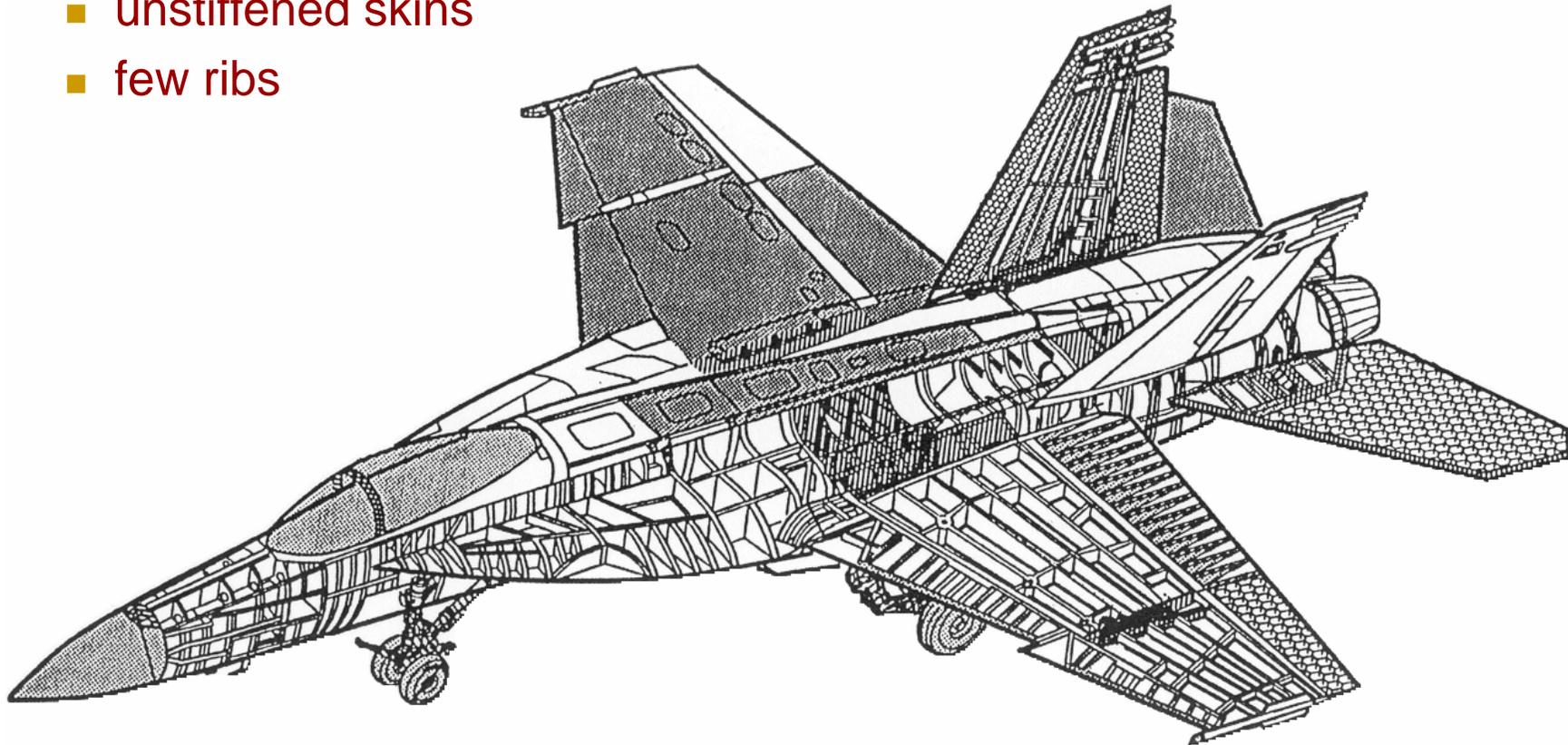
ex: velivoli a crociera supersonica, caccia e trainers

- spessore del profilo alare: molto sottile
- rivestimento → spessori maggiori: 0.5 ÷ 1 in
- strutture *multispar*
- poche centine
- *bending material* → costituito prevalentemente dal rivestimento



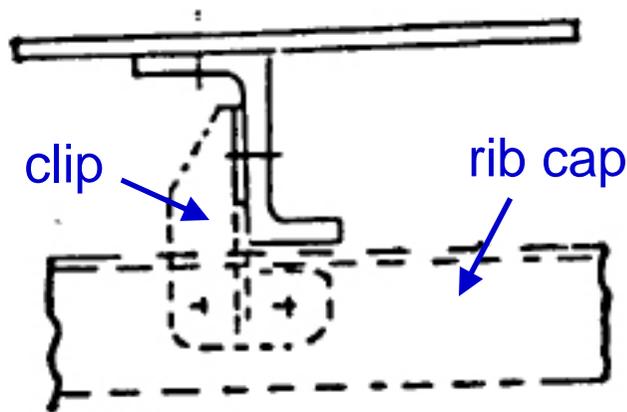
Ala – Struttura

- multispar wing
- unstiffened skins
- few ribs

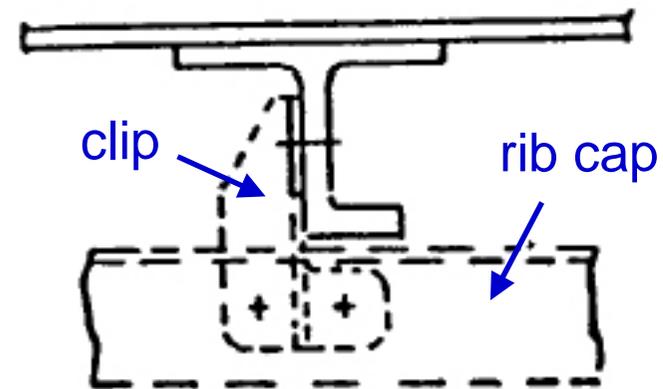


Ala – Rivestimento e Correnti

Pannelli irrigiditi con correnti con collegamento realizzato per rivettatura



correnti a Z



correnti a J

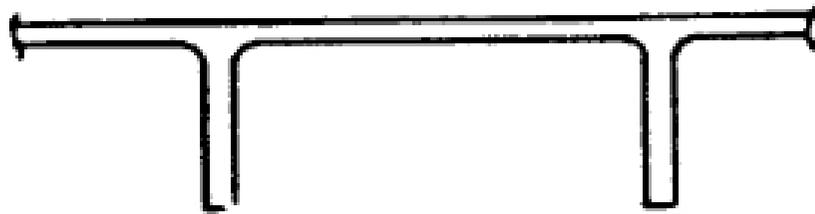
correnti a J utilizzati per realizzare una giunzione di testa tra due pannelli



M.C.Y. Niu, "Airframe structural design. Practical design information and data on aircraft structures"

Ala – Rivestimento e Correnti

Pannelli irrigiditi integrali – Integrally stiffened panels



integral blade section



integral Z - section

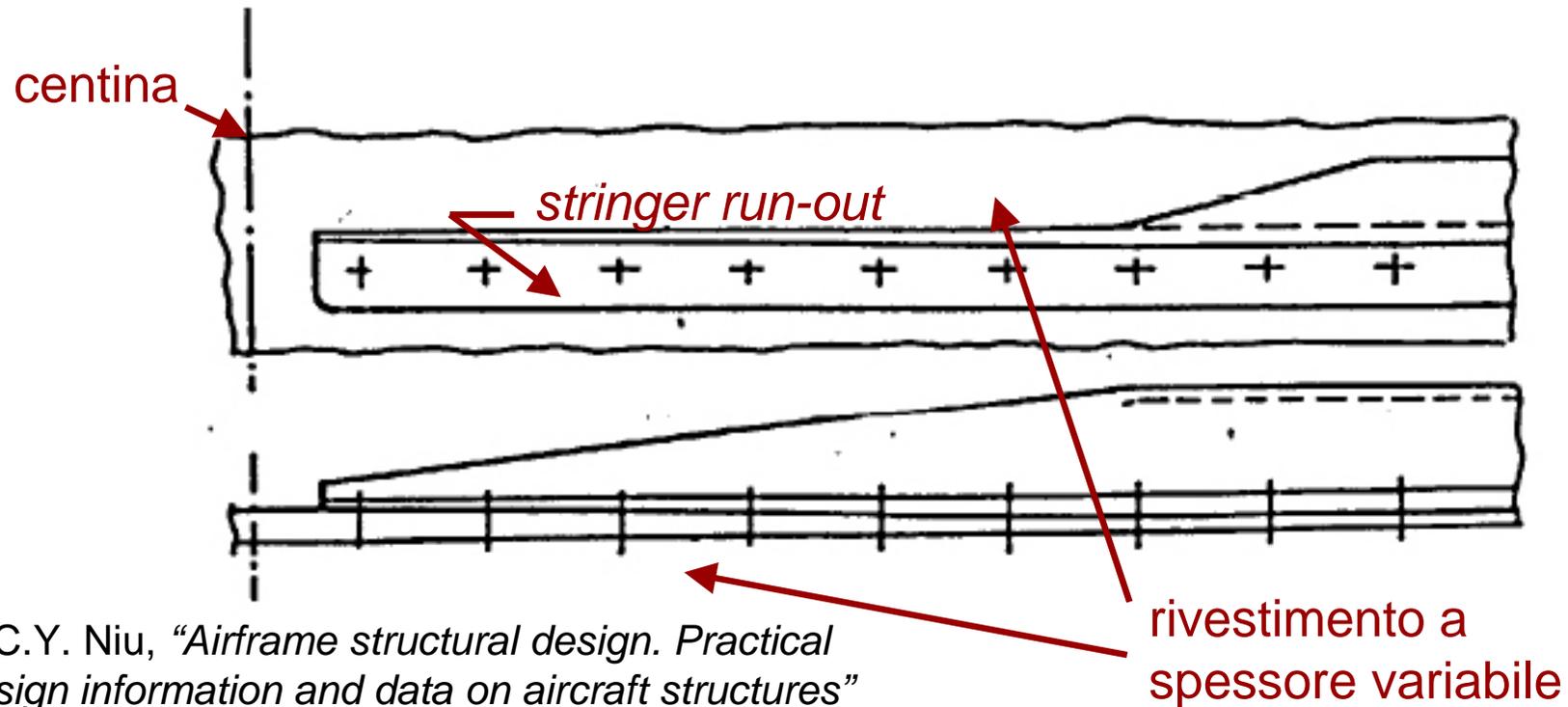


M.C.Y. Niu, *“Airframe structural design. Practical design information and data on aircraft structures”*

Ala – Rivestimento e Correnti

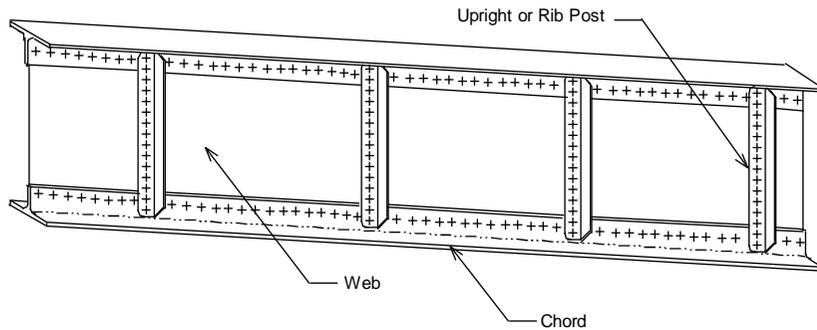
Pannelli irrigiditi – Problemi costruttivi

- Giunzione tra pannelli (*splices*)
- Aperture nei pannelli (*cut-outs*)
- Interruzione dei correnti (*stringer run-out*)



M.C.Y. Niu, "Airframe structural design. Practical design information and data on aircraft structures"

Ala – Longheroni

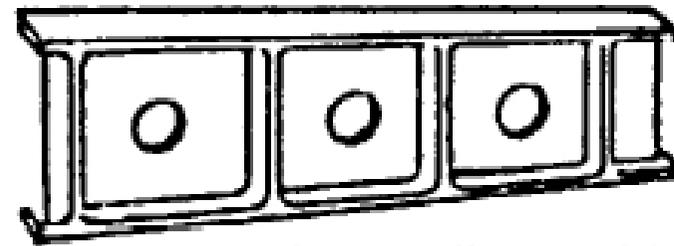


built-up web

shear web type

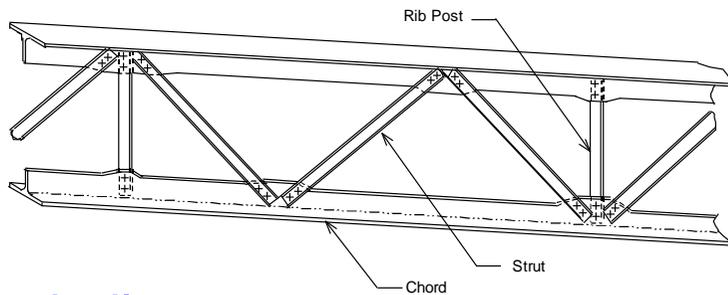


sine-wave web

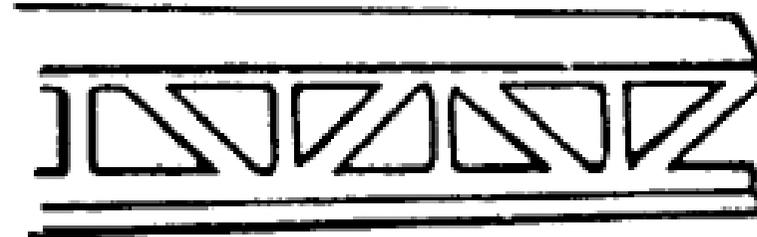


integrally machined web

truss type



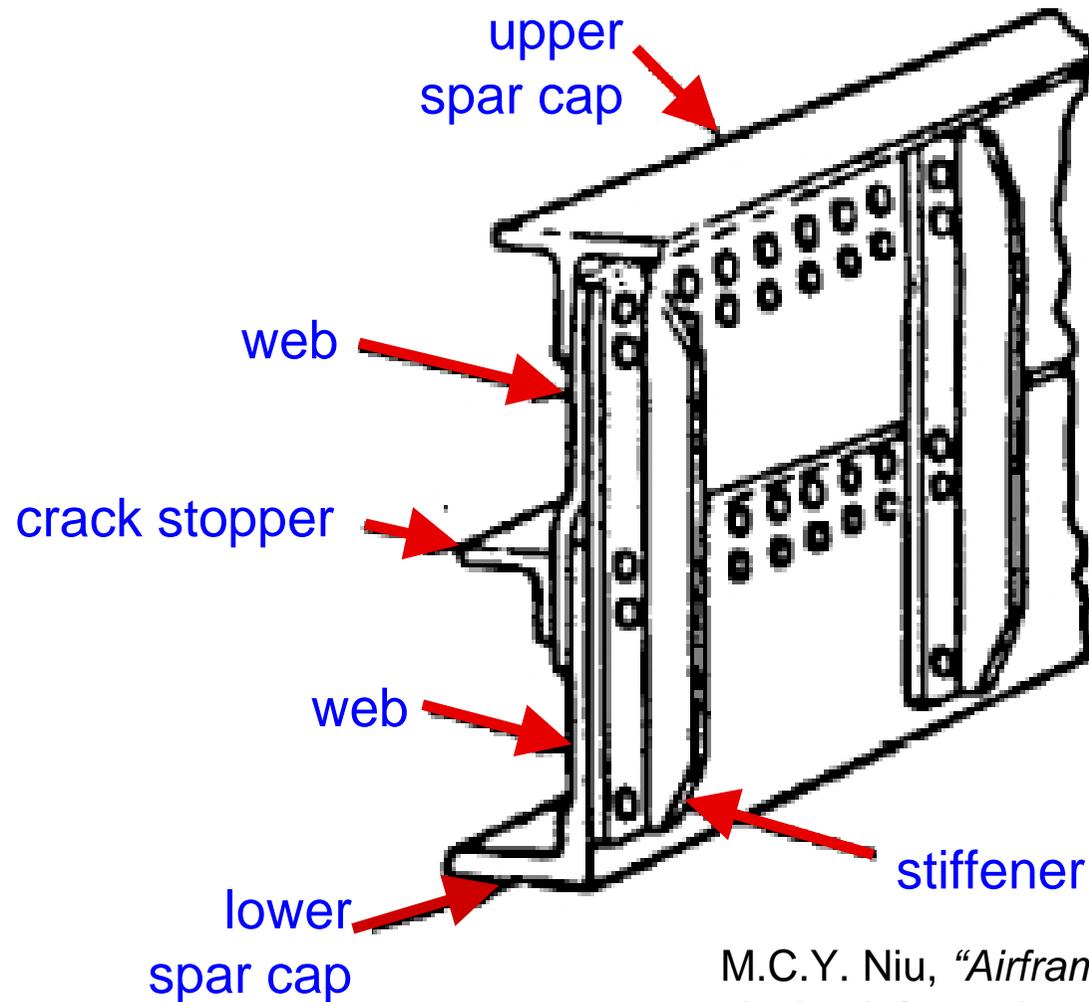
built-up truss



integrally machined truss

Ala – Longheroni

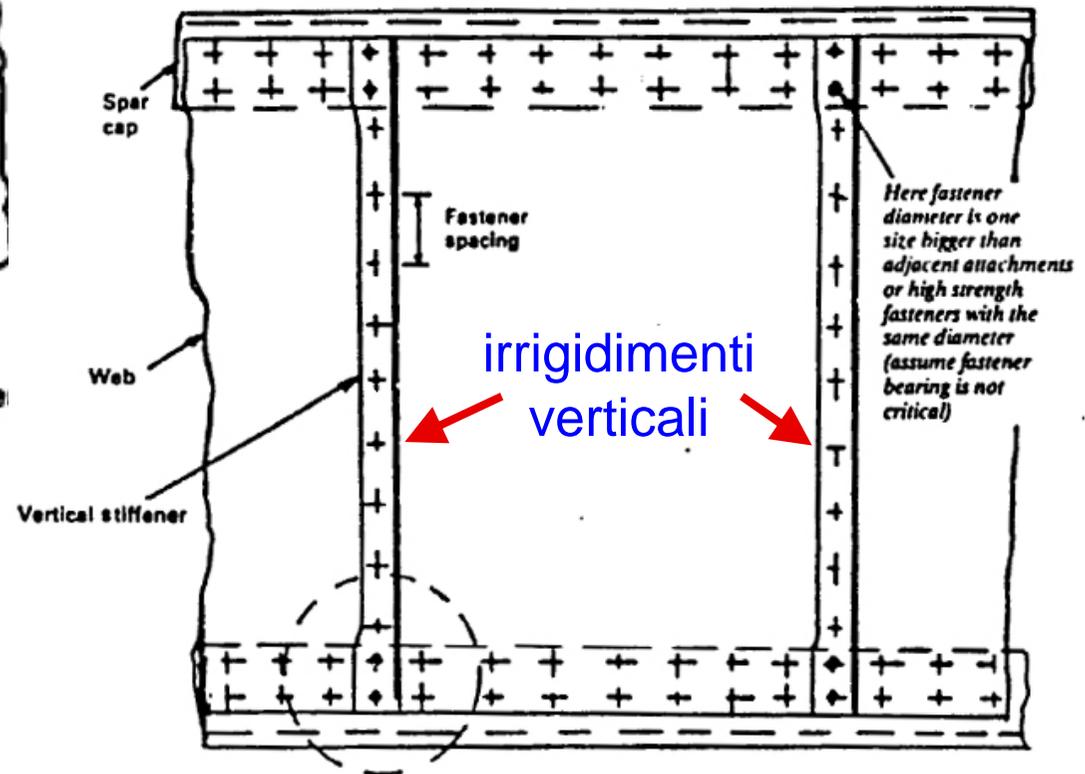
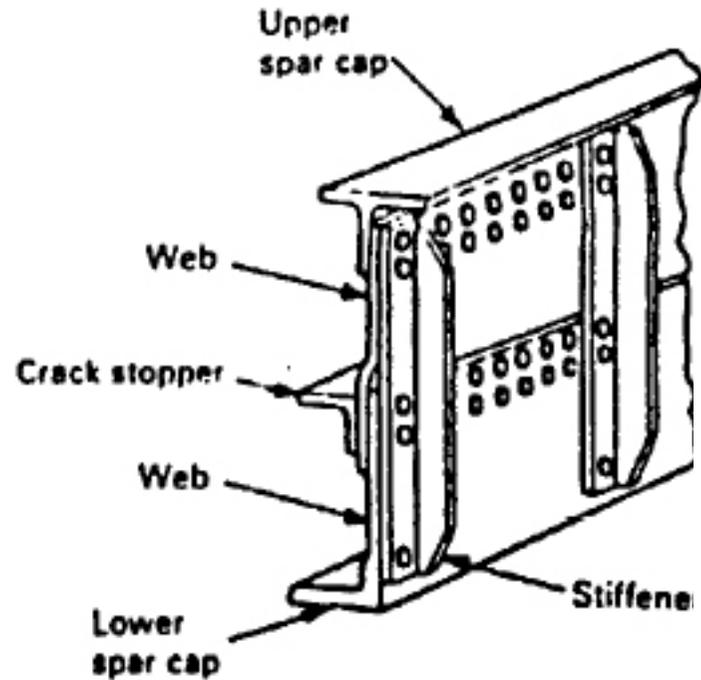
Longheroni – Built-up web



M.C.Y. Niu, "Airframe structural design. Practical design information and data on aircraft structures"

Ala – Longheroni

Longheroni – Built-up web

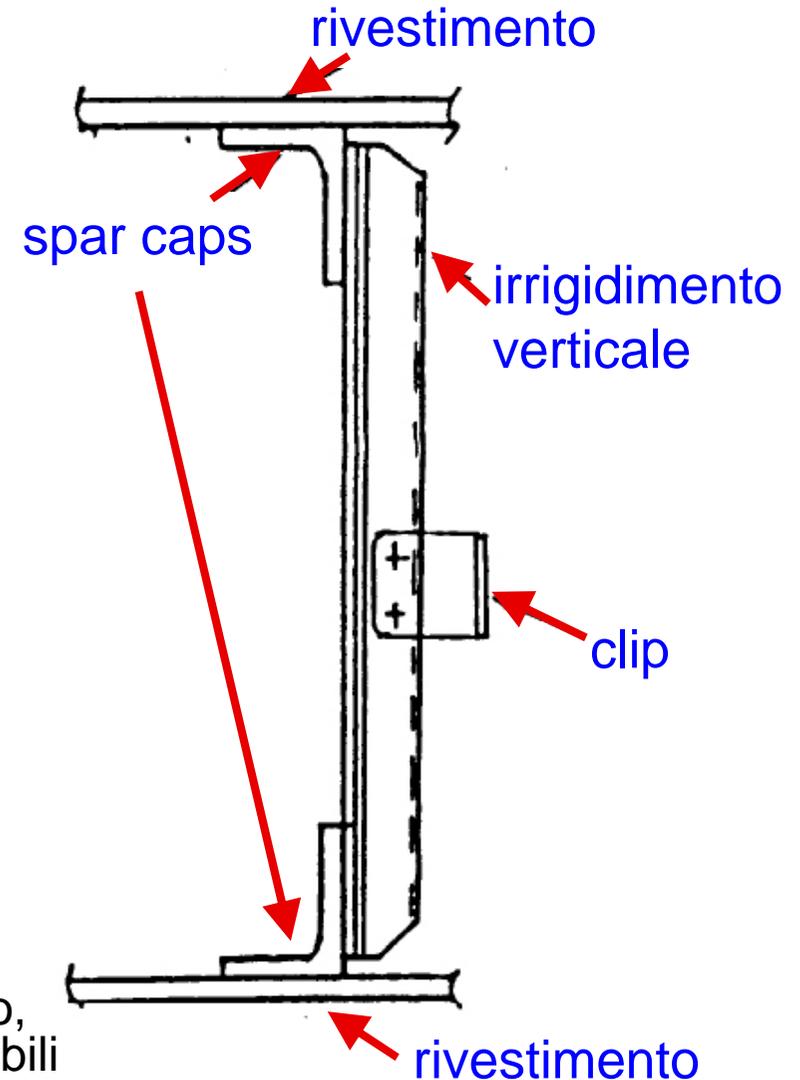
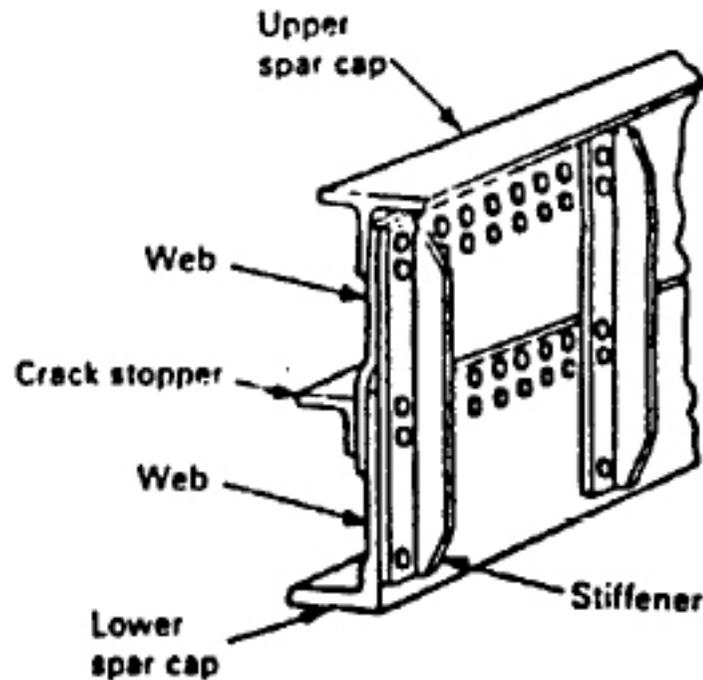


M.C.Y. Niu, "Airframe structural design. Practical design information and data on aircraft structures"

Ala – Longheroni

Longheroni – Built-up web

M.C.Y. Niu, "Airframe structural design. Practical design information and data on aircraft structures"

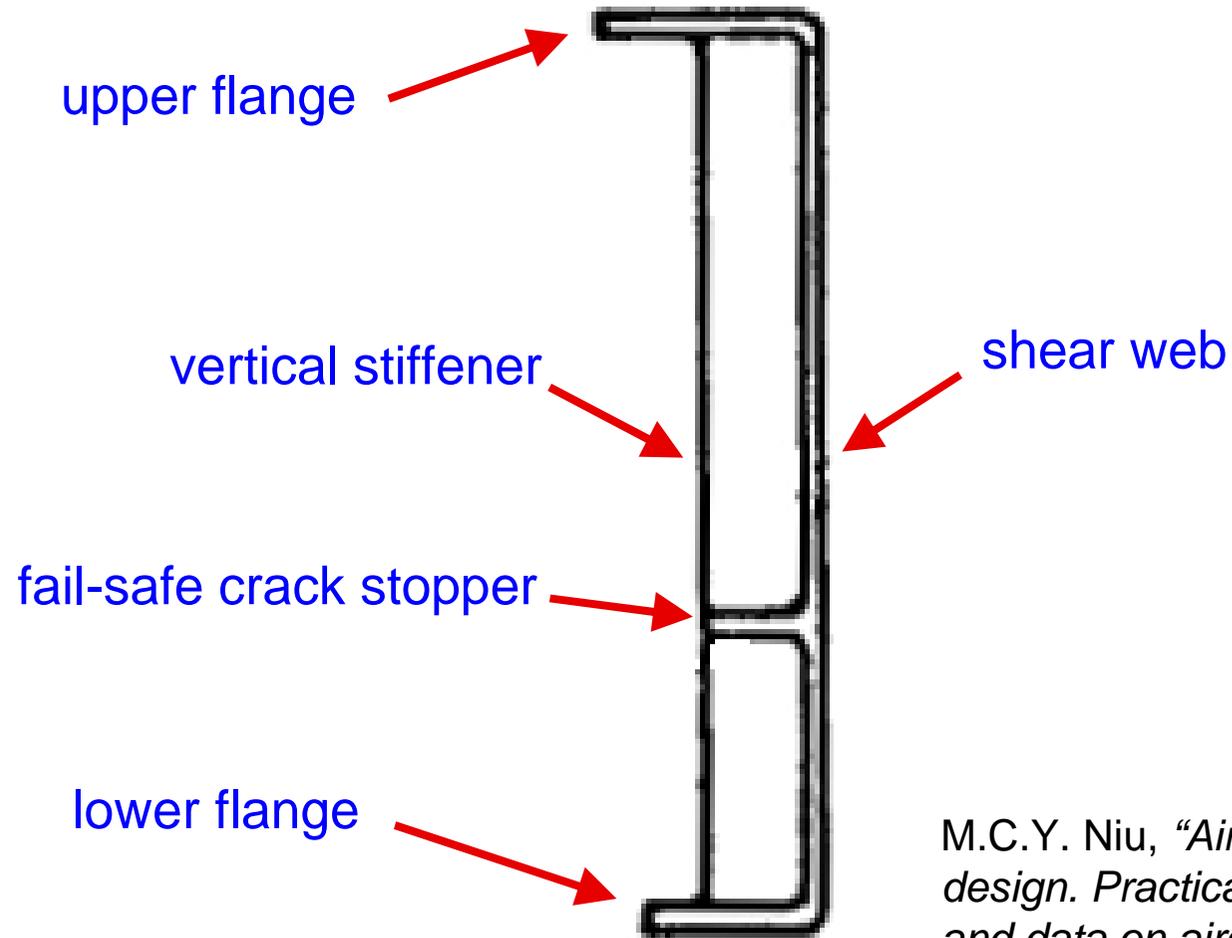


CLIPS:

- supporto per fili, condotti dell'impianto idraulico, aste del sistema di controllo delle superfici mobili
- devono essere vincolate solo agli irrigidimenti verticali

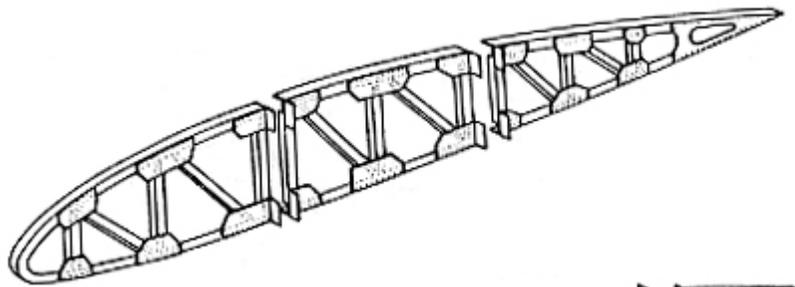
Ala – Longheroni

Longheroni – Integrally machined

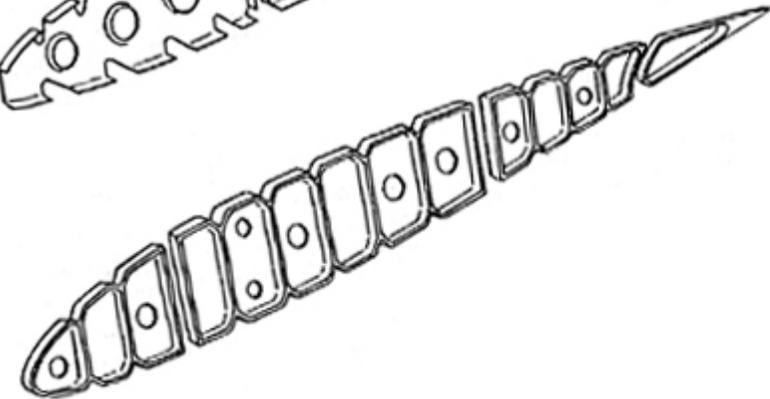
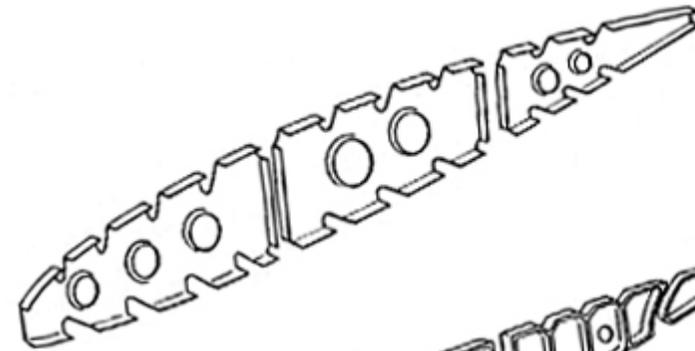
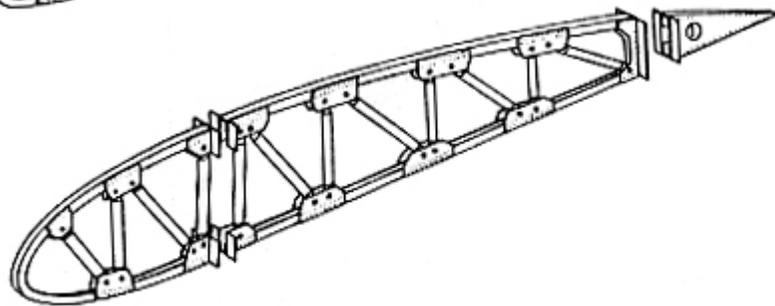


M.C.Y. Niu, "Airframe structural design. Practical design information and data on aircraft structures"

Ala – Centine



strutture a traliccio

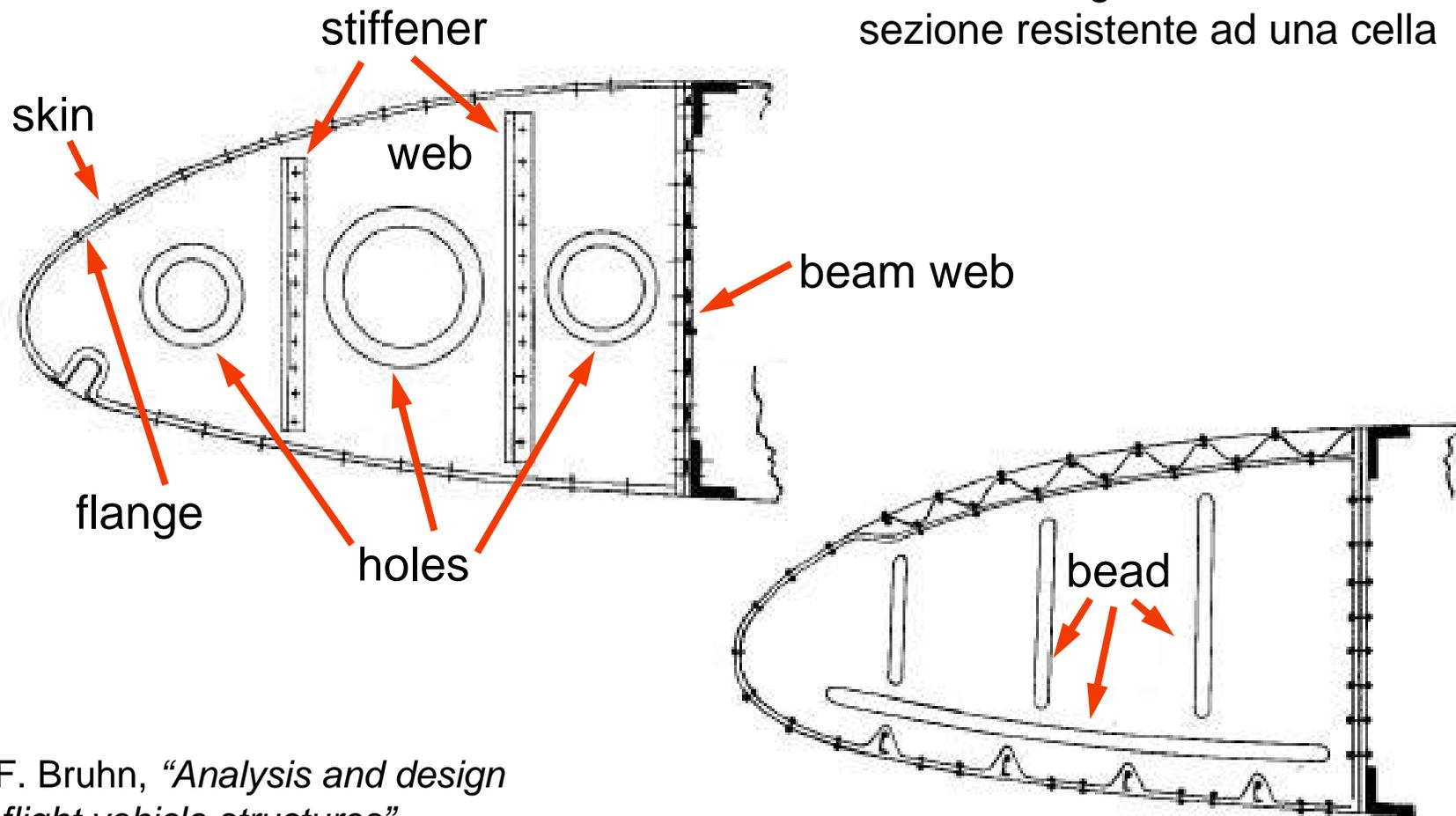


shear web type

- built-up web
- realizzate per stampaggio
- integrally machined

Ala - Centine

ala monolongherone con
sezione resistente ad una cella



E.F. Bruhn, *“Analysis and design of flight vehicle structures”*

Ala – Centine

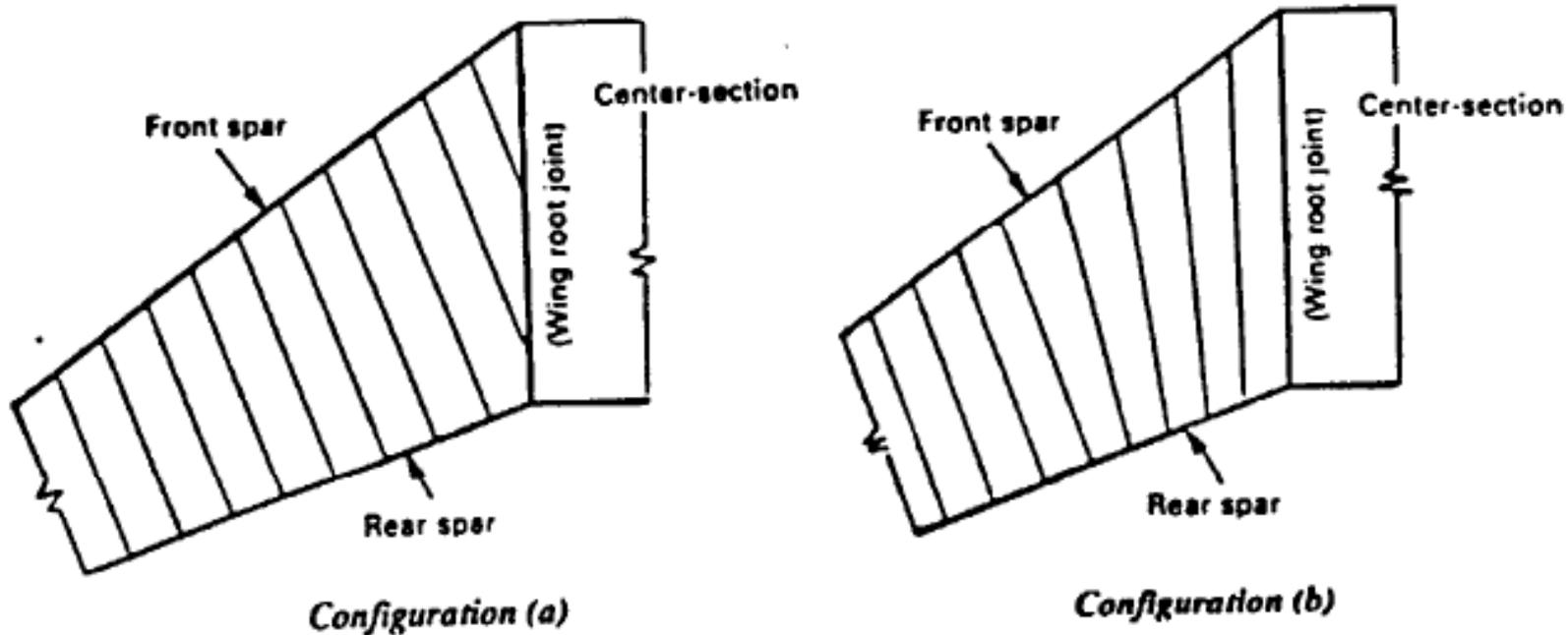
Disposizione delle centine

(valori tipici, rif.: J. Roskam, “Airplane Design”, part 3)

	distanza tra le centine [in]
piccoli velivoli commerciali	36
velivoli da trasporto	24
caccia e addestratori	non ci sono dati standard: la struttura alare è in genere di tipo <i>multispar</i> con poche centine

Ala – Centine

- Disposizione delle centine lungo l'apertura



M.C.Y. Niu, "Airframe structural design. Practical design information and data on aircraft structures"

Ala – Attacco ala-fusoliera

Attacco ala-fusoliera (*wing root joint*)

- Attacco fisso
 - *spliced plates*
 - *tension bolts*
 - *lug (shear type)*
 - *combination of spliced plates and tension bolts*

- Attacchi che consentono rotazione relativa:
 - ali a freccia variabile (ex: Tornado, F 14)
 - ali ripiegabili (velivoli imbarcati sulle portaerei)

Ala – Attacco ala-fusoliera

Attacco ala-fusoliera: attacco fisso

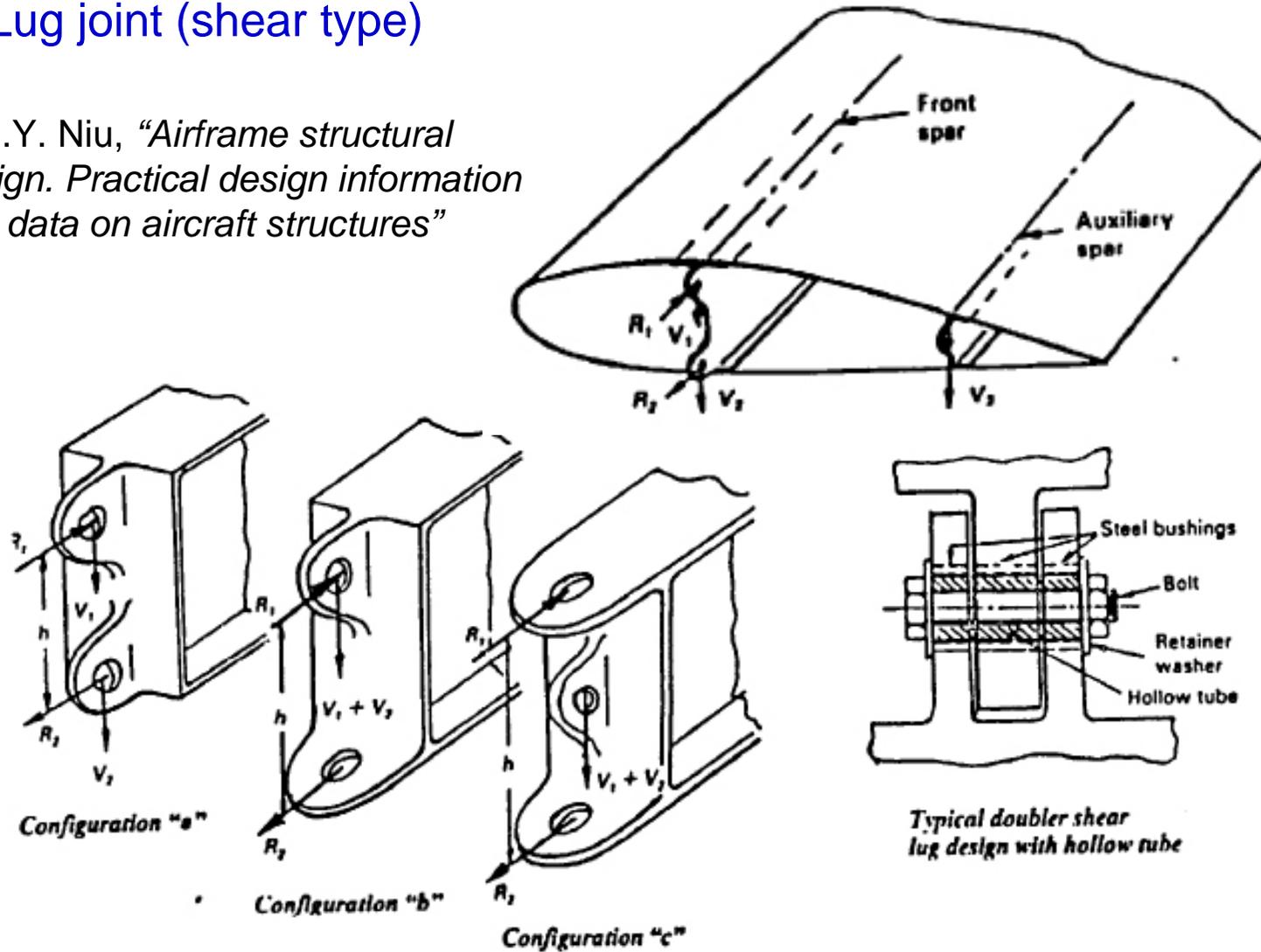
Joint	Advantages	Disadvantages
Spliced plates	Widely used due to its light weight and more reliable and inherent fail-safe feature.	Slightly higher cost, manufactural fitness
Tension bolts	Less manufactural fitness required, easy to assemble or remove. More economic for military fighter with thin airfoil.	Heavy weight penalty
Lug (shear type)	(Same as above)	(Same as above)
Combination of spliced plates and tension bolts	Reliable and inherent fail-safe feature, and less manufactural fitness required.	Heavy weight penalty

ref. M.C.Y. Niu, "Airframe structural design. Practical design information and data on aircraft structures", Conmilit Press Ltd. 1988

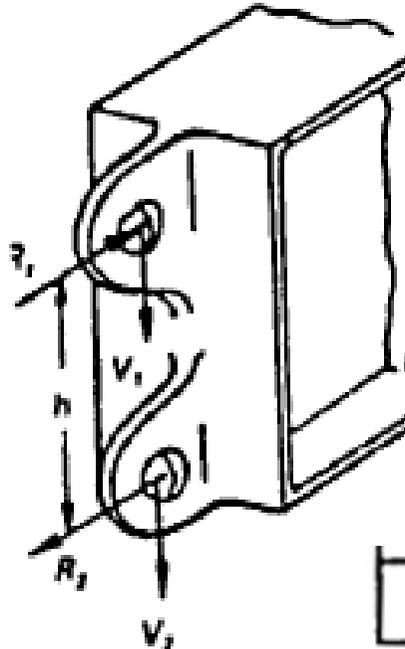
Ala – Attacco ala-fusoliera

Lug joint (shear type)

M.C.Y. Niu, "Airframe structural design. Practical design information and data on aircraft structures"



Ala – Attacco ala-fusoliera



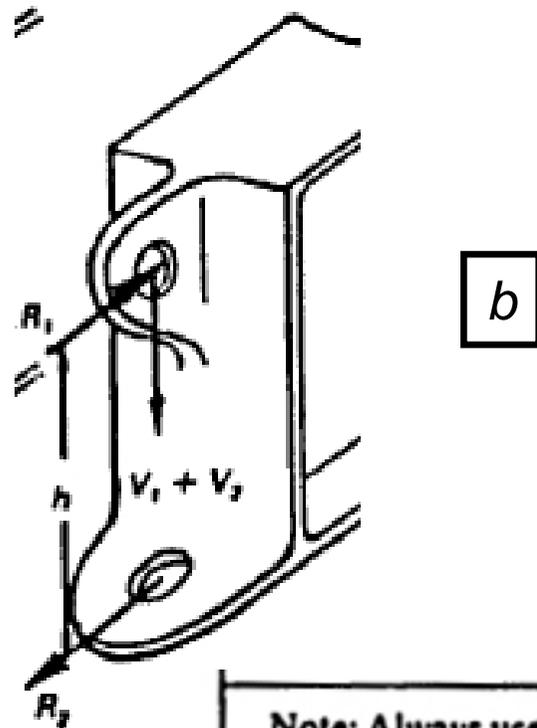
a

M.C.Y. Niu, "Airframe structural design. Practical design information and data on aircraft structures"

Note: Always use double shear design with steel bushings to ensure fatigue life.

Configuration	Advantages	Disadvantages
"a" Upper and lower lugs take axial load and vertical load shared by these two lugs	Stronger fittings Less machining cost	Smallest moment arm (h) and produce the highest lug axial loads Difficult to install due to its close tolerance holes requirement Vertical load distribution is difficult to predict

Ala – Attacco ala-fusoliera

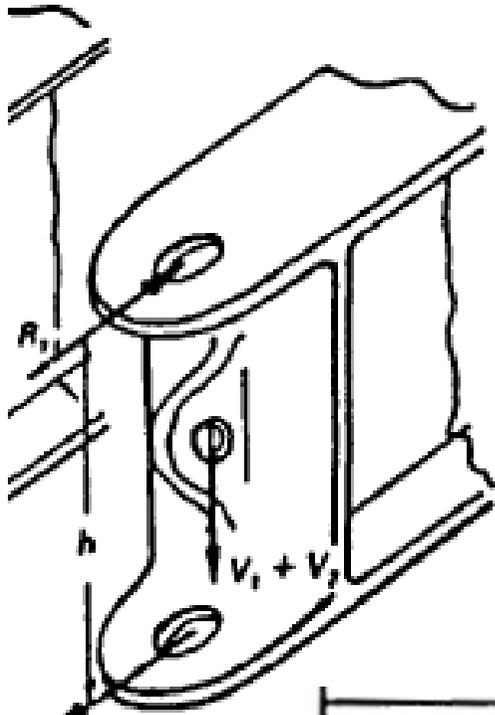


M.C.Y. Niu, "Airframe structural design. Practical design information and data on aircraft structures"

Note: Always use double shear design with steel bushings to ensure fatigue life.

<p>"b" Upper and lower lugs take axial load and vertical load taken by upper lug only</p>	<p>Easy to install Load distribution is clear Longer moment arm (h) and then produce moderate lug load</p>	<p>Not enough space to install lower lug, if beam depth is too shallow</p>
---	---	--

Ala – Attacco ala-fusoliera



c

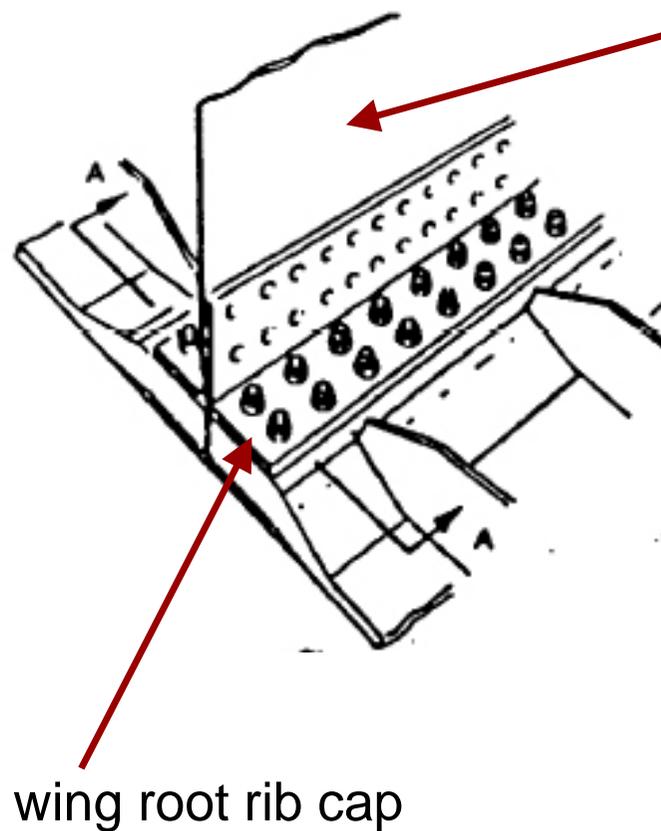
M.C.Y. Niu, "Airframe structural design. Practical design information and data on aircraft structures"

Note: Always use double shear design with steel bushings to ensure fatigue life.

<p>"c"</p> <p>Upper and lower lugs take axial load and vertical load taken by center lug only</p>	<p>Easy to install</p> <p>Load distribution is clear</p> <p>Longest moment arm (h) and then produce small lug load</p>	<p>Heavy weight because of the third lug</p> <p>Highest machining cost</p> <p>Not enough space for the center lug, if beam depth is too shallow</p>
---	---	---

Ala – Attacco ala-fusoliera

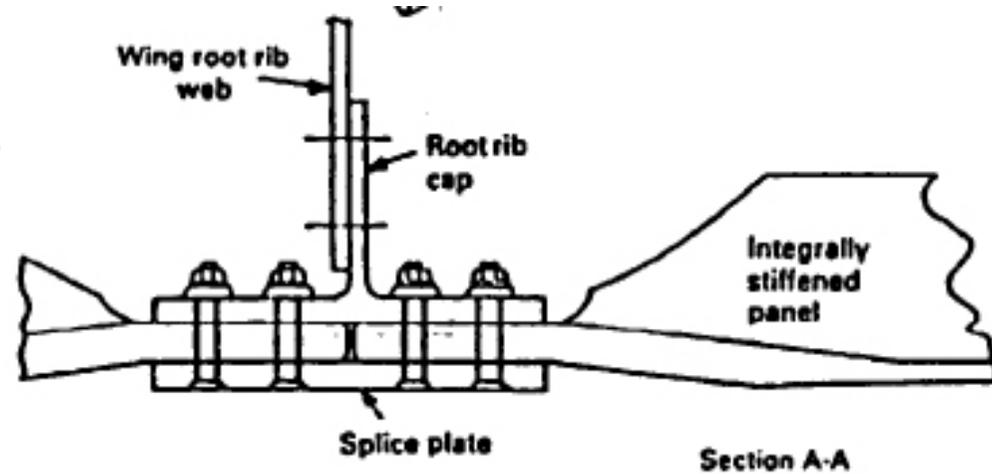
Spliced plates



wing root rib web

wing root rib cap

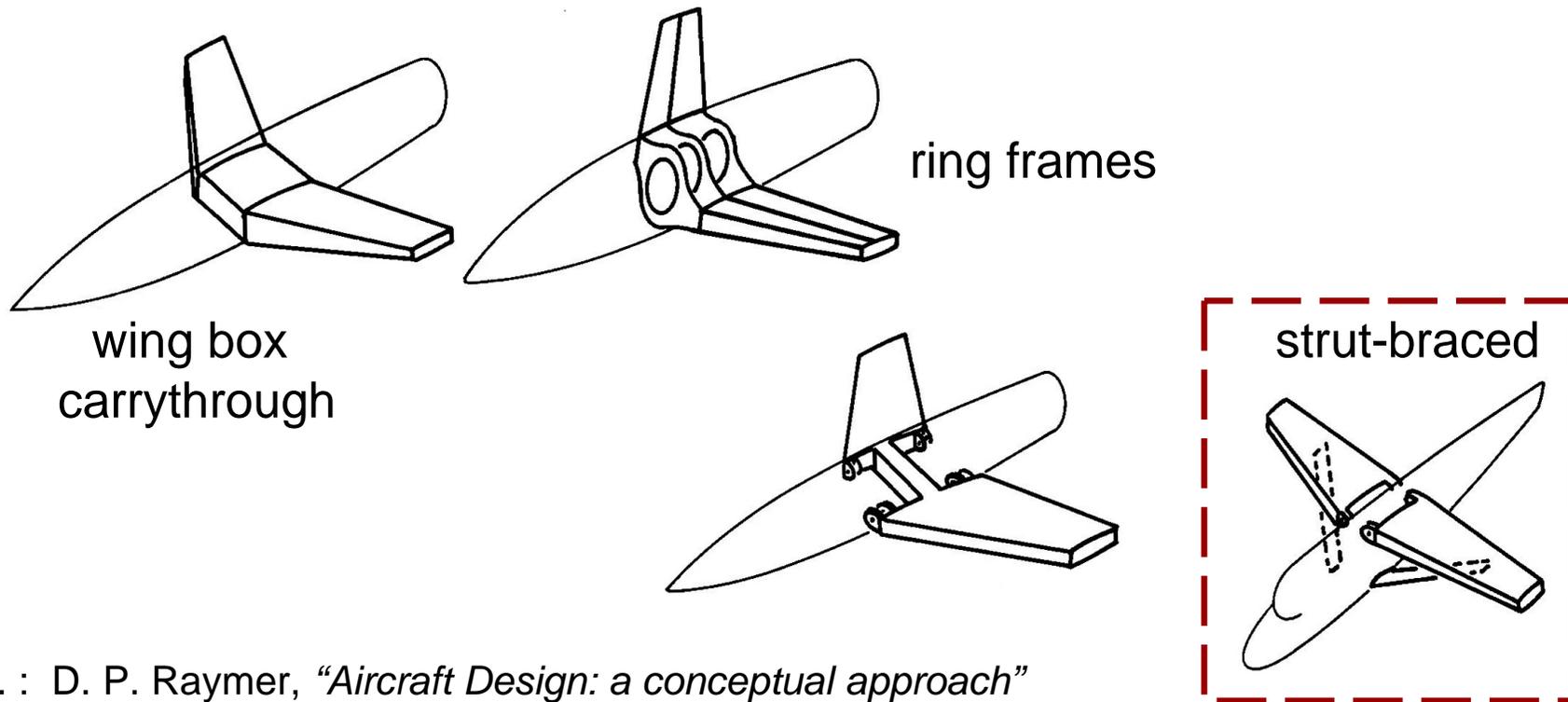
M.C.Y. Niu, "Airframe structural design. Practical design information and data on aircraft structures"



Ala – Carrythrough structure

Carrythrough structure

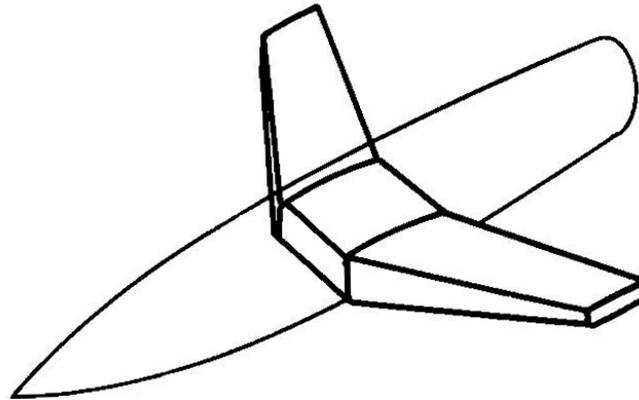
- parte strutturale che serve per trasferire attraverso la fusoliera il momento flettente generato dalla portanza sull'ala



rif. : D. P. Raymer, "Aircraft Design: a conceptual approach"

Ala – Carrythrough structure

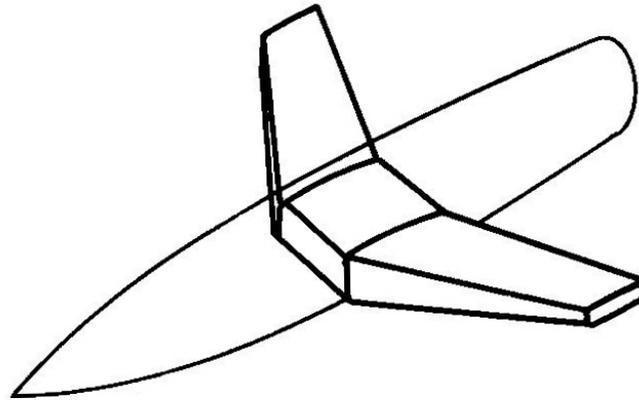
Carrythrough structure – Wing carrythrough box



- standard per jet commerciali per trasporto passeggeri e per businnes jets
- consiste nel prolungare attraverso la fusoliera il box strutturale dell'ala
- il momento flettente dell'ala non si scarica su alcun elemento strutturale della fusoliera \Rightarrow minimizzazione del peso strutturale della fusoliera

Ala – Carrythrough structure

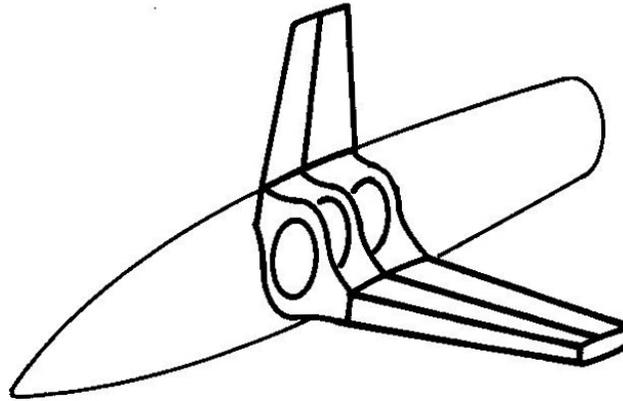
Carrythrough structure – Wing carrythrough box



- occupa una porzione notevole della sezione di fusoliera e interferisce con il meccanismo di trasferimento dei carichi di fusoliera basato sui longheroni di fusoliera
- non consente di ridurre la sezione di fusoliera nella zona di attacco alare \Rightarrow non permette di adottare una “*supersonic area rule*” che consenta di ridurre la resistenza d’onda aerodinamica

Ala – Carrythrough structure

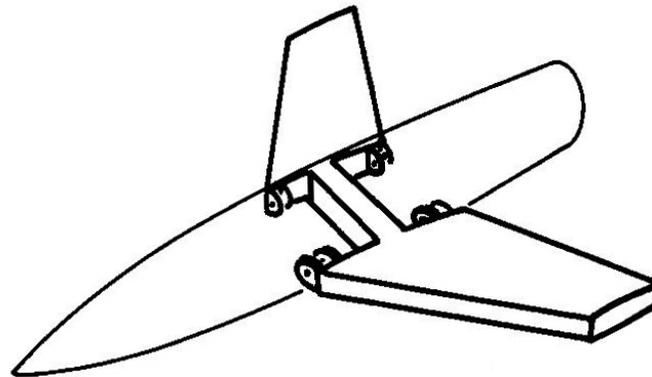
Carrythrough structure – Ordinate di forza



- Il momento flettente alare è trasmesso attraverso la fusoliera per mezzo di ordinate di forza a cui sono vincolati i pannelli alari
- maggiore peso strutturale, minore resistenza aerodinamica ⇒ soluzione prevalentemente adottata sui caccia moderni

Ala – Carrythrough structure

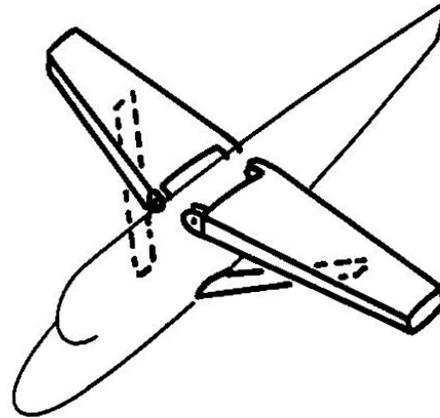
Carrythrough structure – Bending beam



- compromesso tra il *wing carrythrough box* e le ordinate di forza
- pannelli alari vincolati ai lati della fusoliera per trasferire la portanza
- momento flettente alare trasferito lungo uno dei longheroni alari che non viene interrotto attraverso la fusoliera
- questa soluzione strutturale occupa una porzione minore della sezione di fusoliera

Ala – Carrythrough structure

Carrythrough structure – Ala controventata



- utilizzato prevalentemente su velivoli da turismo monomotore
- **il momento non viene trasferito attraverso la fusoliera**
- il momento flettente è reagito per mezzo della controventatura \Rightarrow si scarica nei punti di attacco sulla fusoliera tramite reazioni concentrate
- soluzione strutturale più leggera in assoluto
- soluzione non adottabile a velocità medio-alte a causa dell'elevato contributo di resistenza aerodinamica legato al montante alare

Fusoliera – Struttura

Elementi strutturali

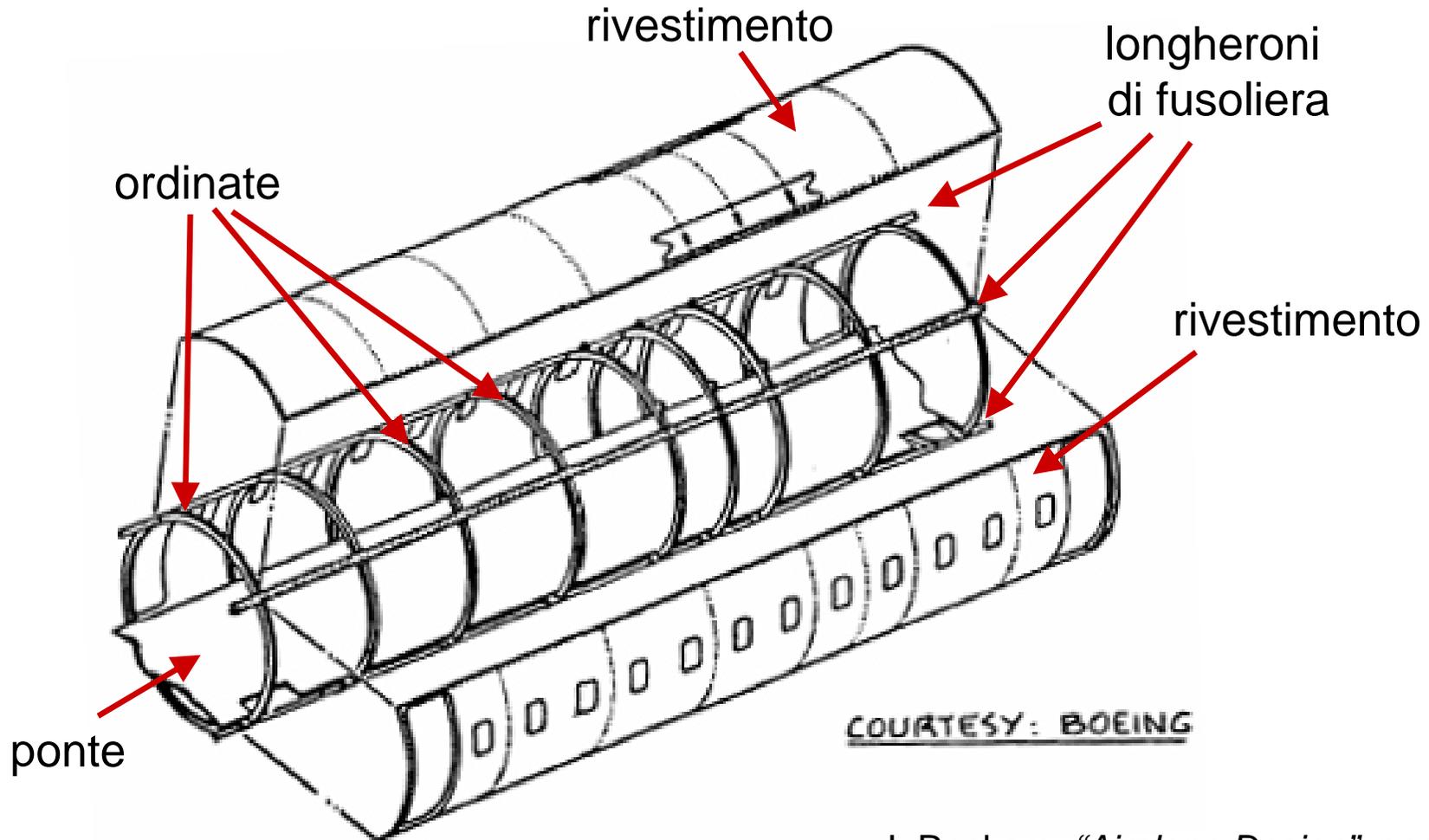
- rivestimento (*skin*)
- correnti (*stringers / longerons*)
- ordinate (*frames / bulkheads*)

Particolari strutturali

- aperture (*cut-outs*)
- ponte (*floor*)
- cockpit

Fusoliera – Struttura

Schematizzazione fusoliera



J. Roskam, "Airplane Design", part 3

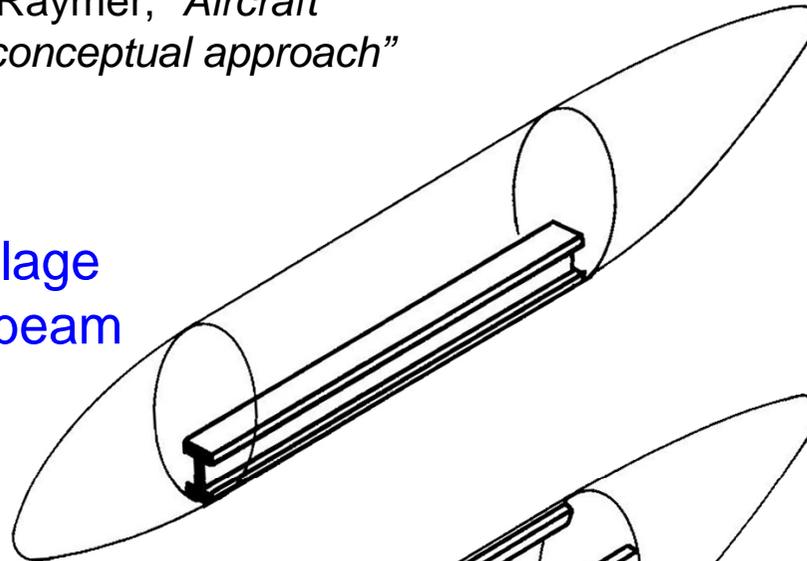
Fusoliera – Elementi longitudinali

Elementi strutturali longitudinali

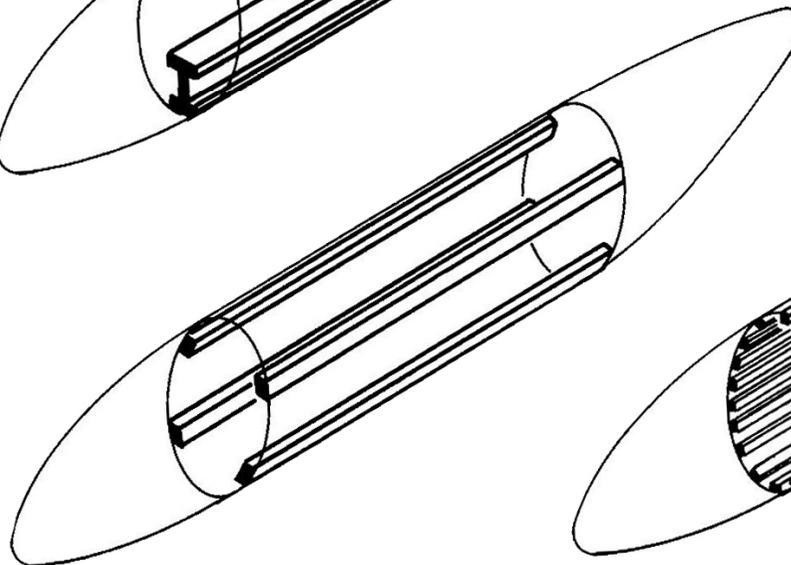
rif. : D. P. Raymer, "Aircraft
Design: a conceptual approach"

devono reagire il
carico flettente

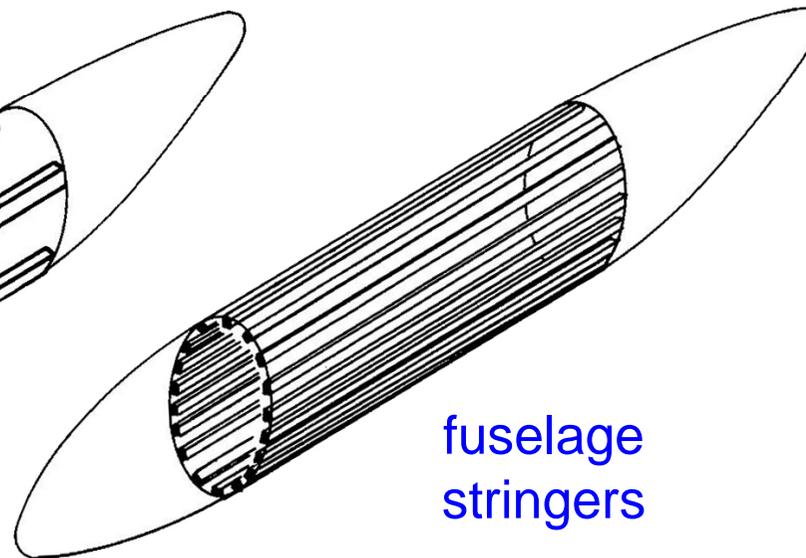
fuselage
keel beam



fuselage
longerons



fuselage
stringers

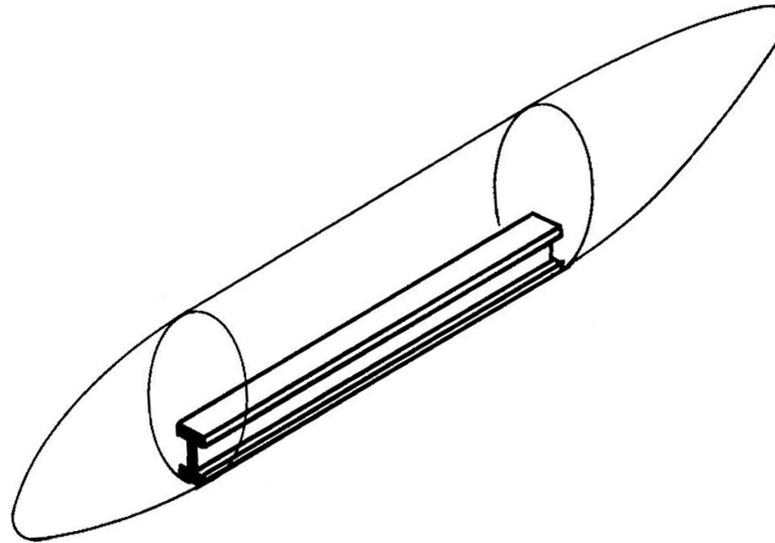


Fusoliera – Elementi longitudinali

Elementi strutturali longitudinali

rif. : D. P. Raymer, *“Aircraft Design: a conceptual approach”*

fuselage
keel beam

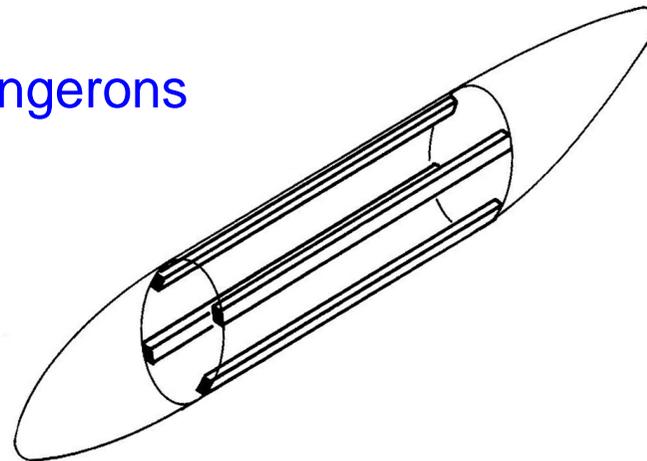


utilizzata frequentemente per reagire il carico flettente in corrispondenza della porzione di fusoliera interessata da aperture nella parte inferiore

Fusoliera – Elementi longitudinali

Elementi strutturali longitudinali

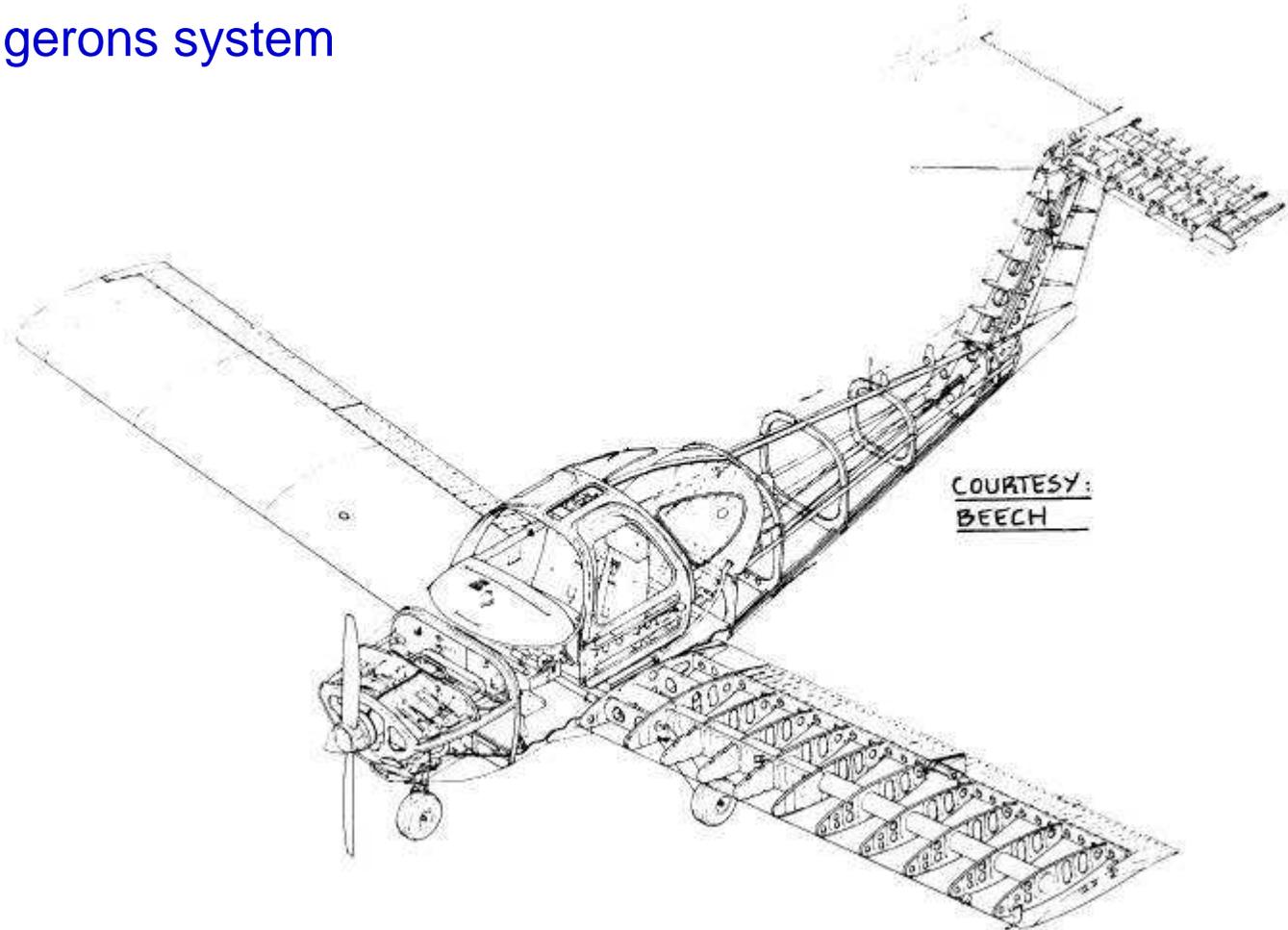
fuselage longerons



- Questa soluzione strutturale si può ritrovare sia nei velivoli che presentano elevati carichi concentrati (caccia e trainers), sia nei piccoli velivoli monomotore da turismo.
- Il peso dei longheroni di fusoliera, di per sé piuttosto elevato, è minore se tali componenti sono rettilinei.

Fusoliera – Elementi longitudinali

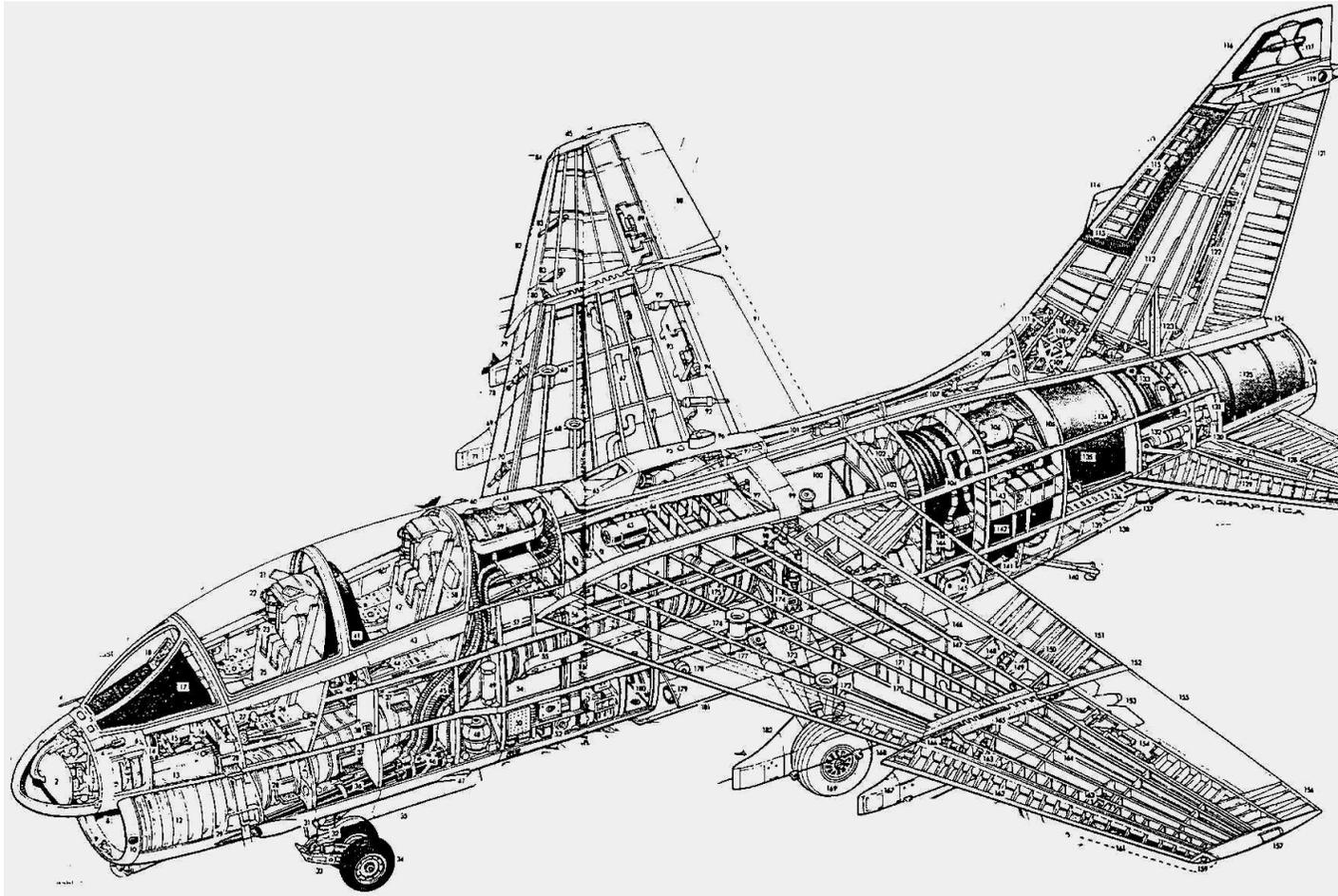
Longerons system



J. Roskam, "Airplane Design", part 3

Fusoliera – Elementi longitudinali

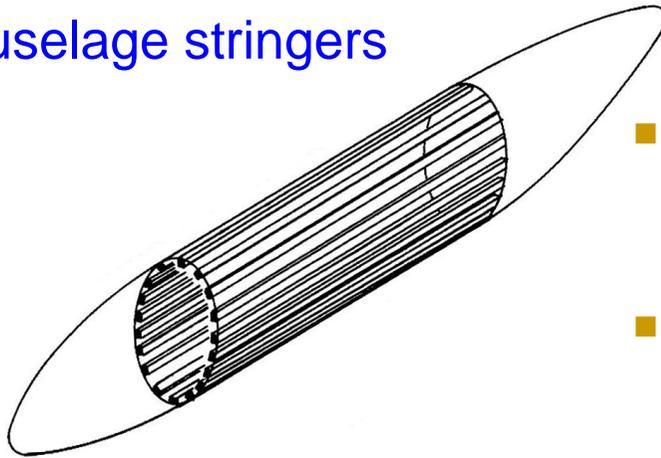
Longerons system



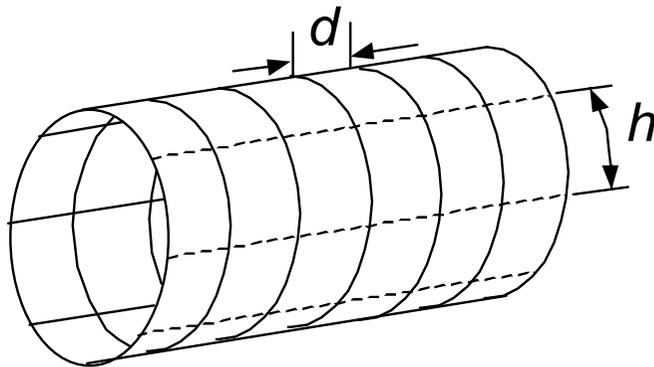
Fusoliera – Elementi longitudinali

Elementi strutturali longitudinali

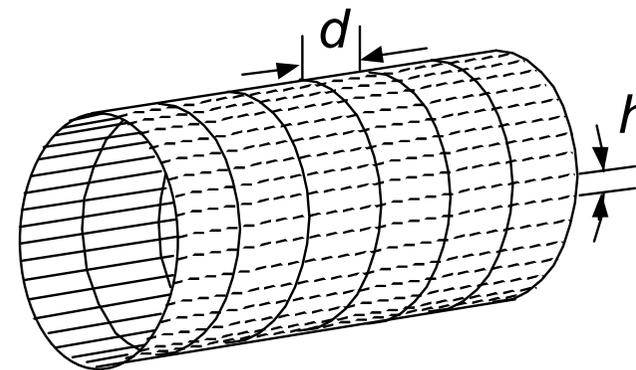
fuselage stringers



- Soluzione adottata per i velivoli commerciali da trasporto che presentano poche aperture nel rivestimento e pochi carichi concentrati.
- Il peso strutturale risulta minore se i correnti di fusoliera sono realizzati in modo da non presentare interruzioni e se sono rettilinei.



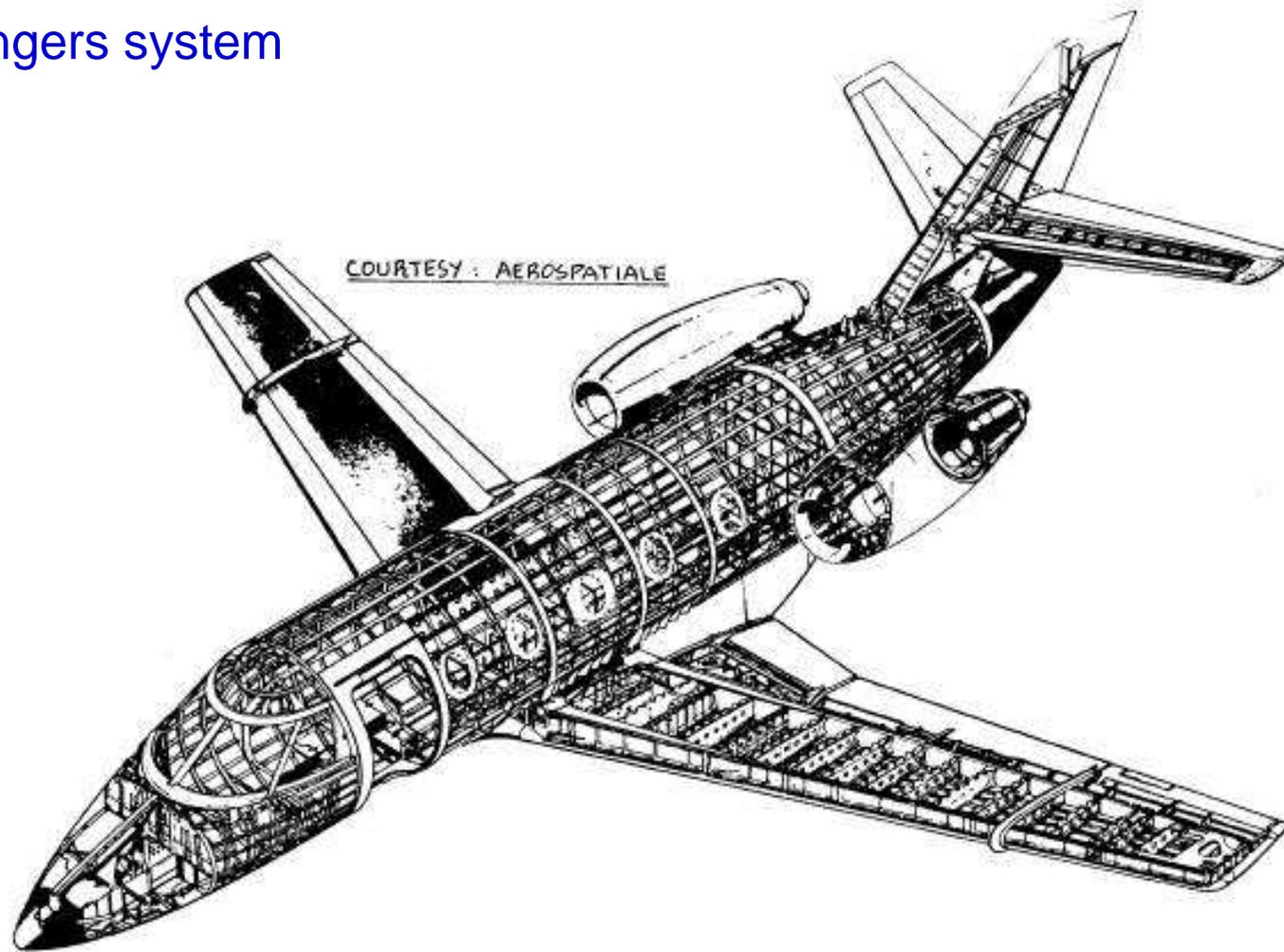
Longeron system: $d < h$



Stringer system: $h < d$

Fusoliera – Elementi longitudinali

Stringers system

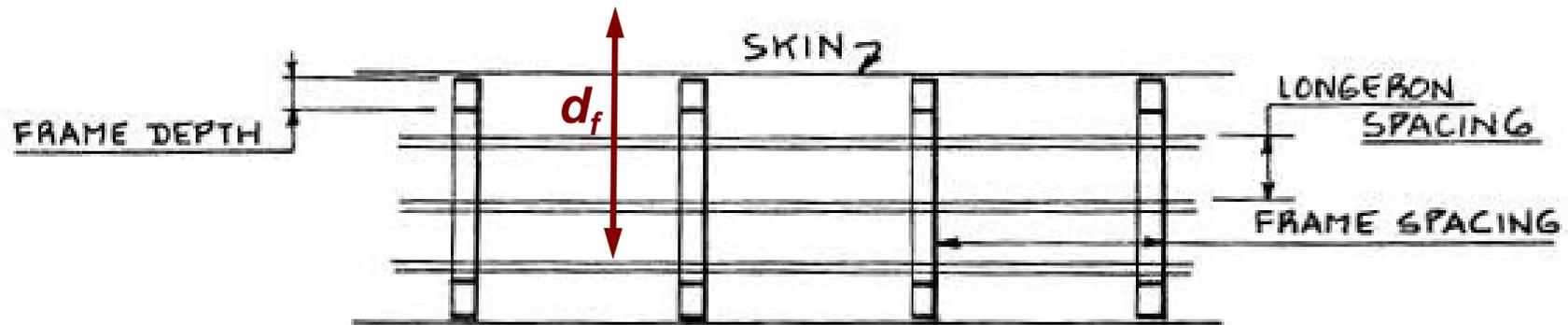


J. Roskam, *"Airplane Design"*, part 3

Fusoliera – Elementi longitudinali

Disposizione dei correnti/longheroni

(valori tipici, rif.: J. Roskam, "Airplane Design", part 3)



	distanza tra i correnti [in]
piccoli velivoli commerciali	10 ÷ 15
velivoli da trasporto	6 ÷ 12
caccia e addestratori	8 ÷ 12

Fusoliera – Ordinate

Disposizione delle ordinate

(valori tipici, rif.: J. Roskam, "Airplane Design", part 3)

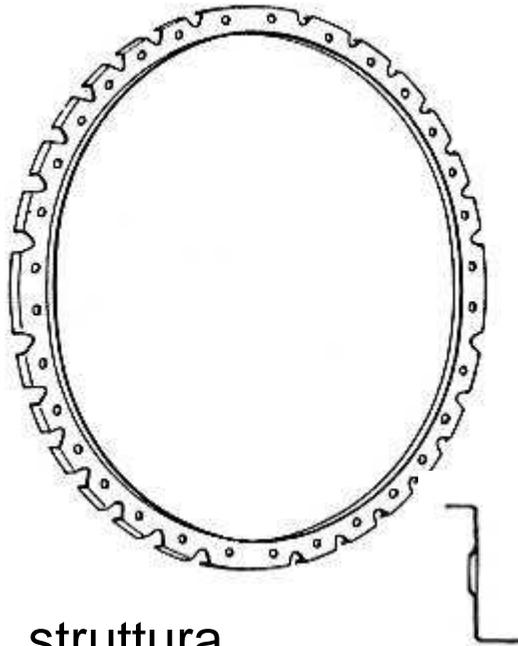


	altezza del bordo [in]	distanza tra le ordinate [in]	distanza tra i longheroni [in]
piccoli velivoli commerciali	1.5	24 ÷ 30	10 ÷ 15
velivoli da trasporto	$0.02 \cdot d_f + 1.0$	18 ÷ 22	6 ÷ 12
caccia e addestratori	2.0	15 ÷ 20	8 ÷ 12

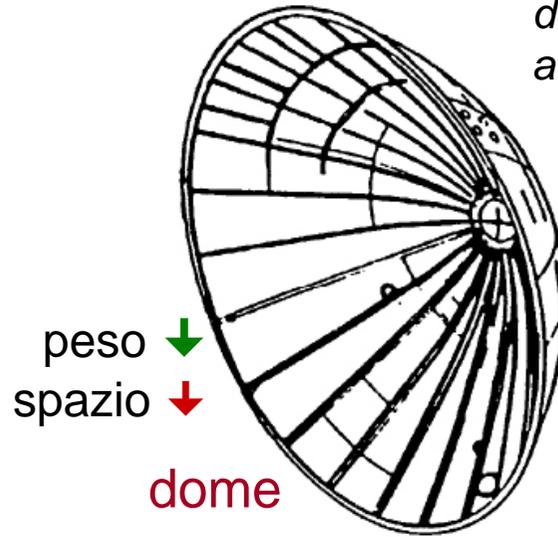
Fusoliera – Ordinate

M.C.Y. Niu, "Airframe structural design. Practical design information and data on aircraft structures"

ordinata di forma



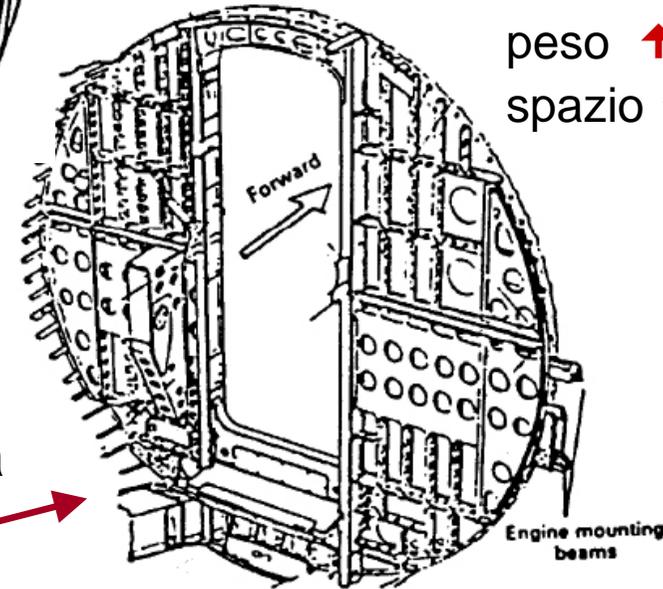
struttura ad anello



peso ↓
spazio ↓

dome

ordinate di forza

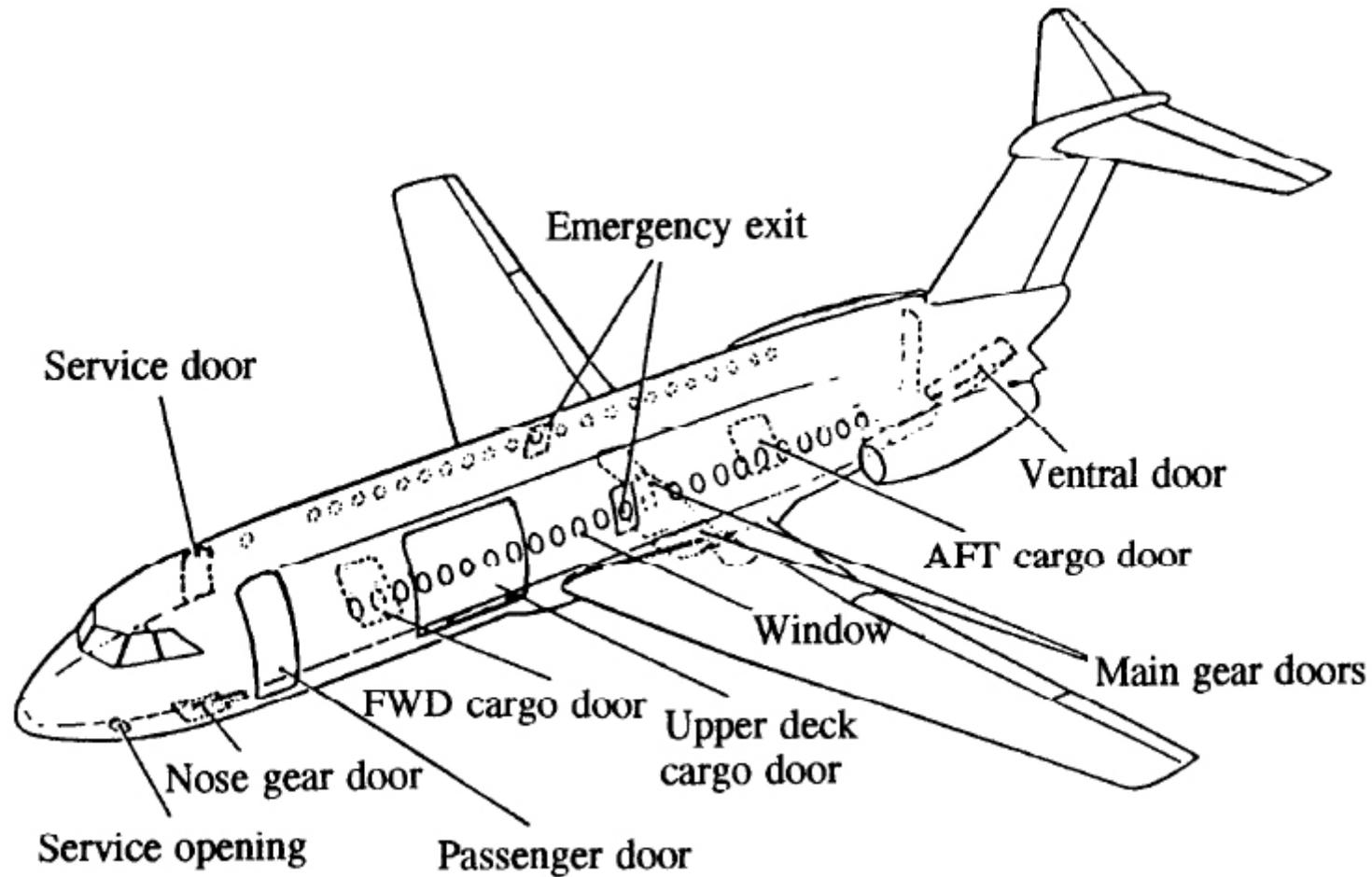


peso ↑
spazio ↑

flat bulkhead

ex: ordinate utilizzate per delimitare la zona pressurizzata

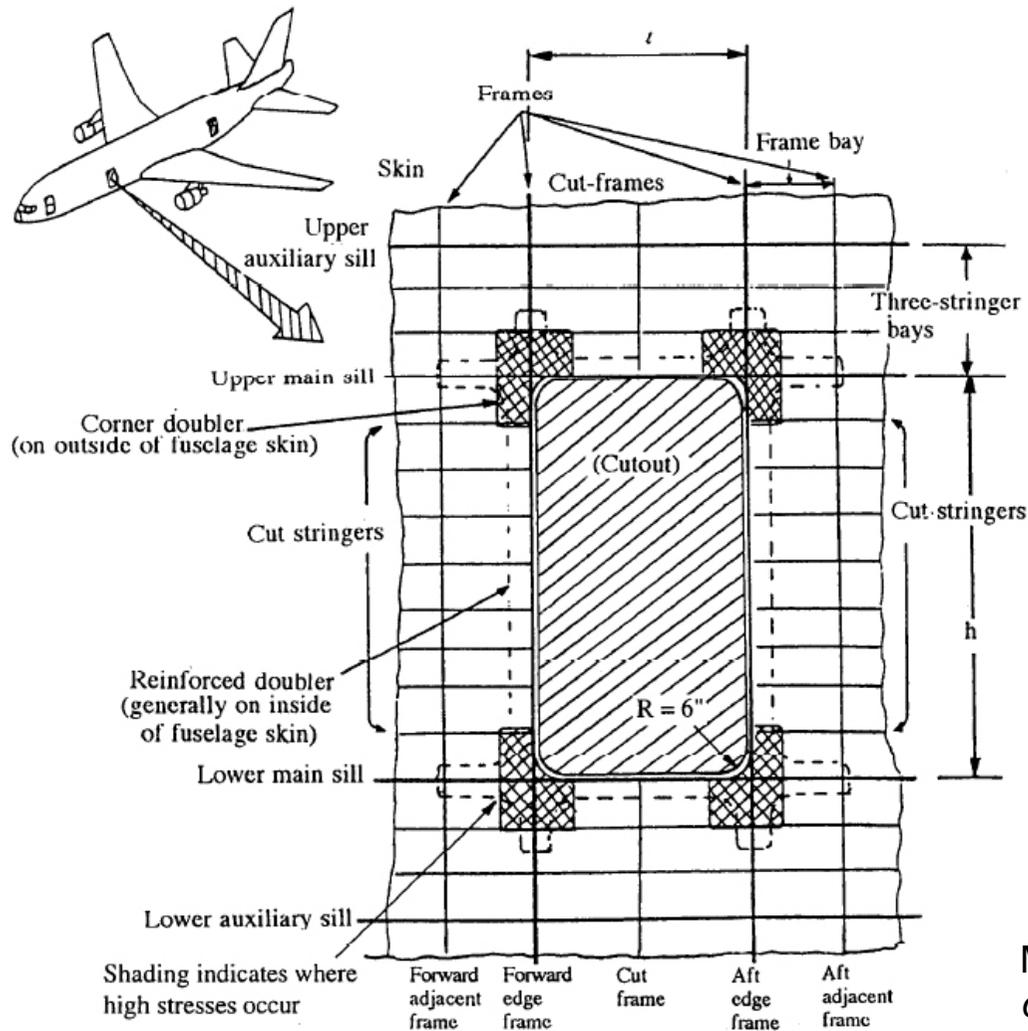
Fusoliera – Aperture



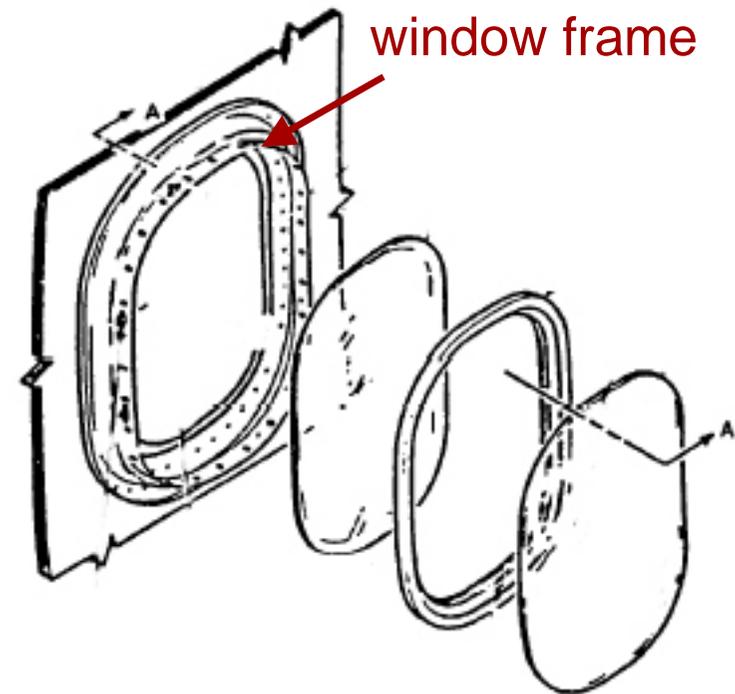
M.C.Y. Niu, "Airframe structural design. Practical design information and data on aircraft structures"

Fusoliera – Aperture

Apertura per il portellone d'accesso

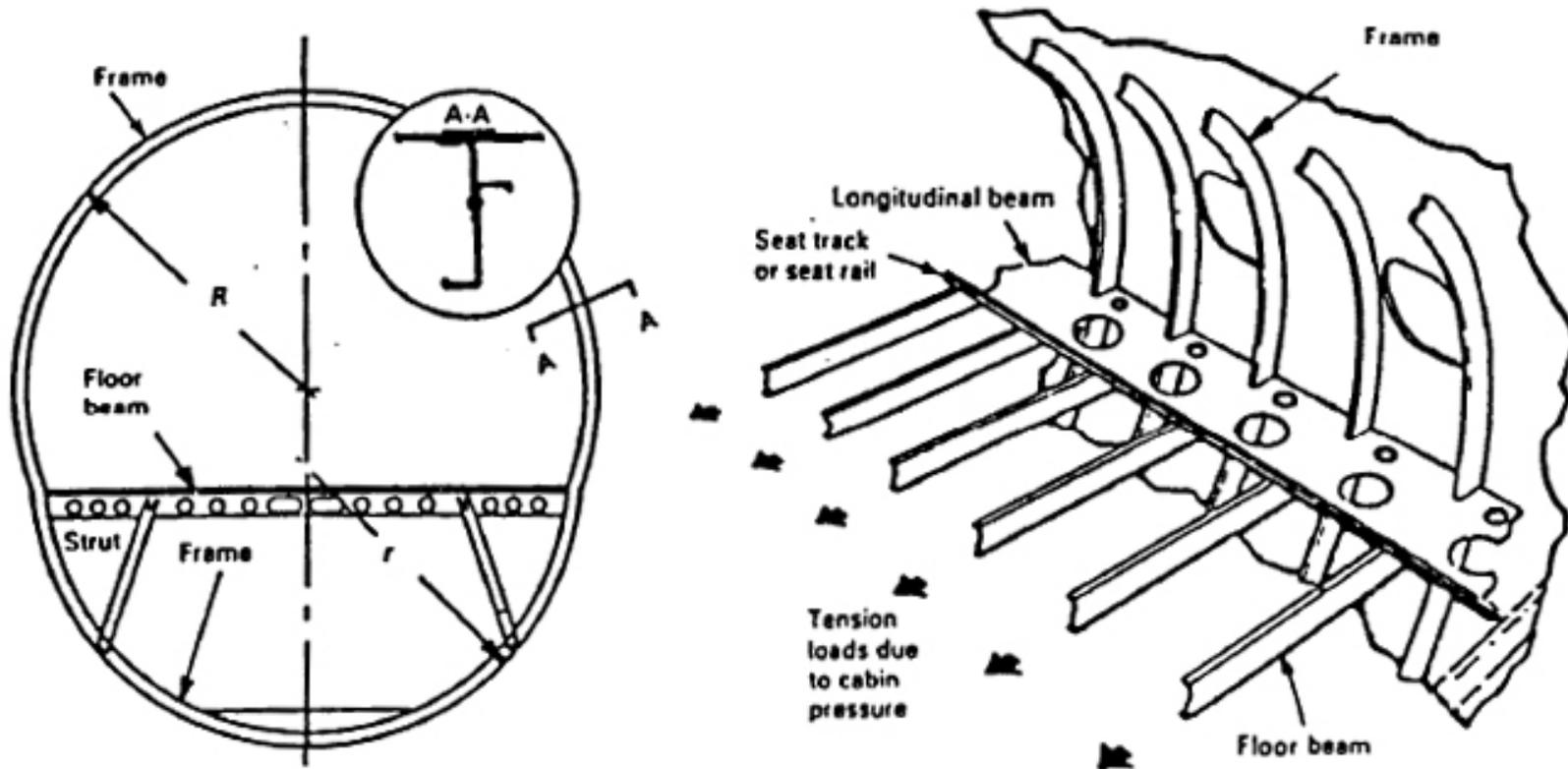


Installazione di un finestrino



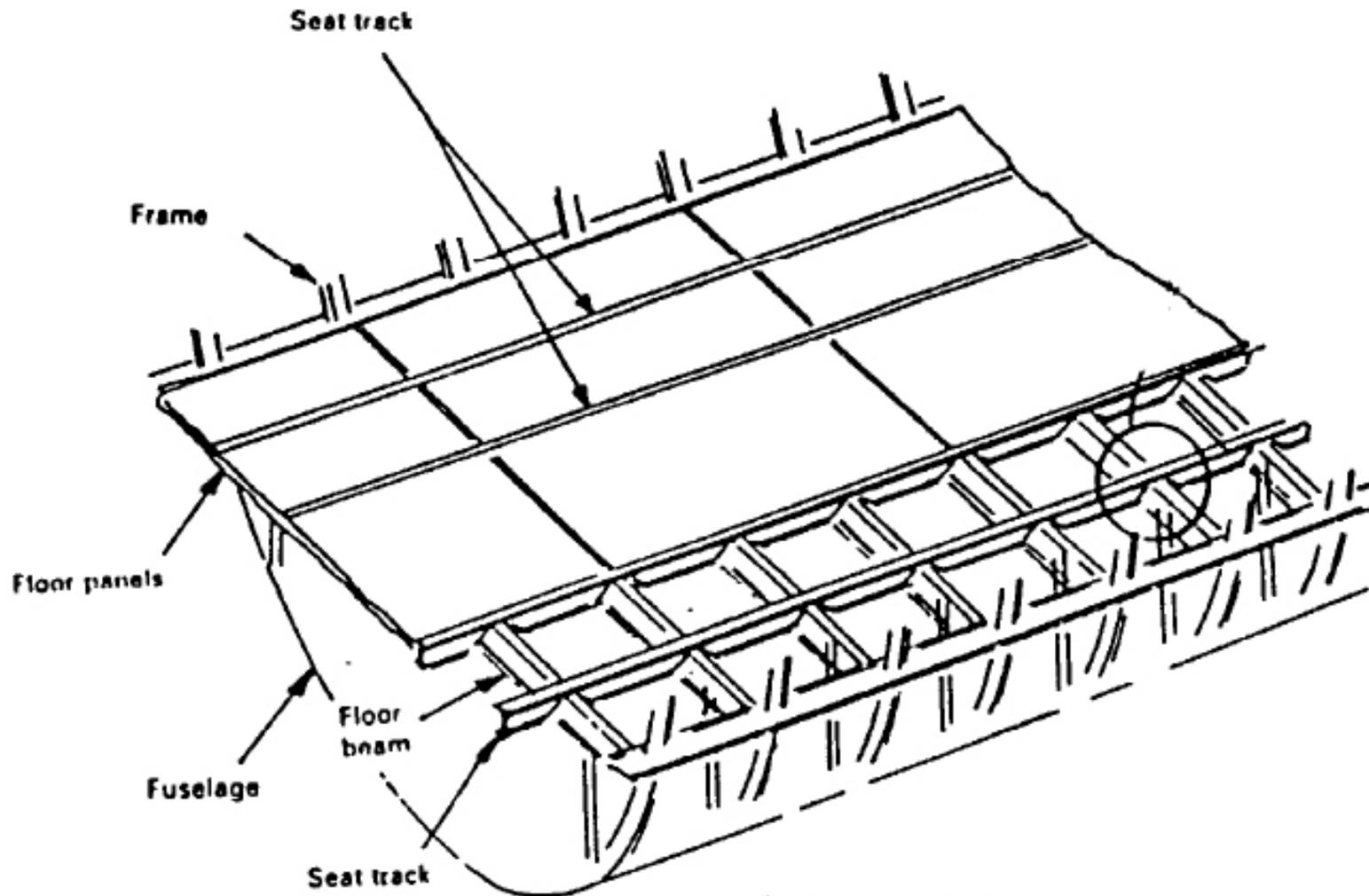
M.C.Y. Niu, "Airframe structural design. Practical design information and data on aircraft structures"

Fusoliera – Ponte



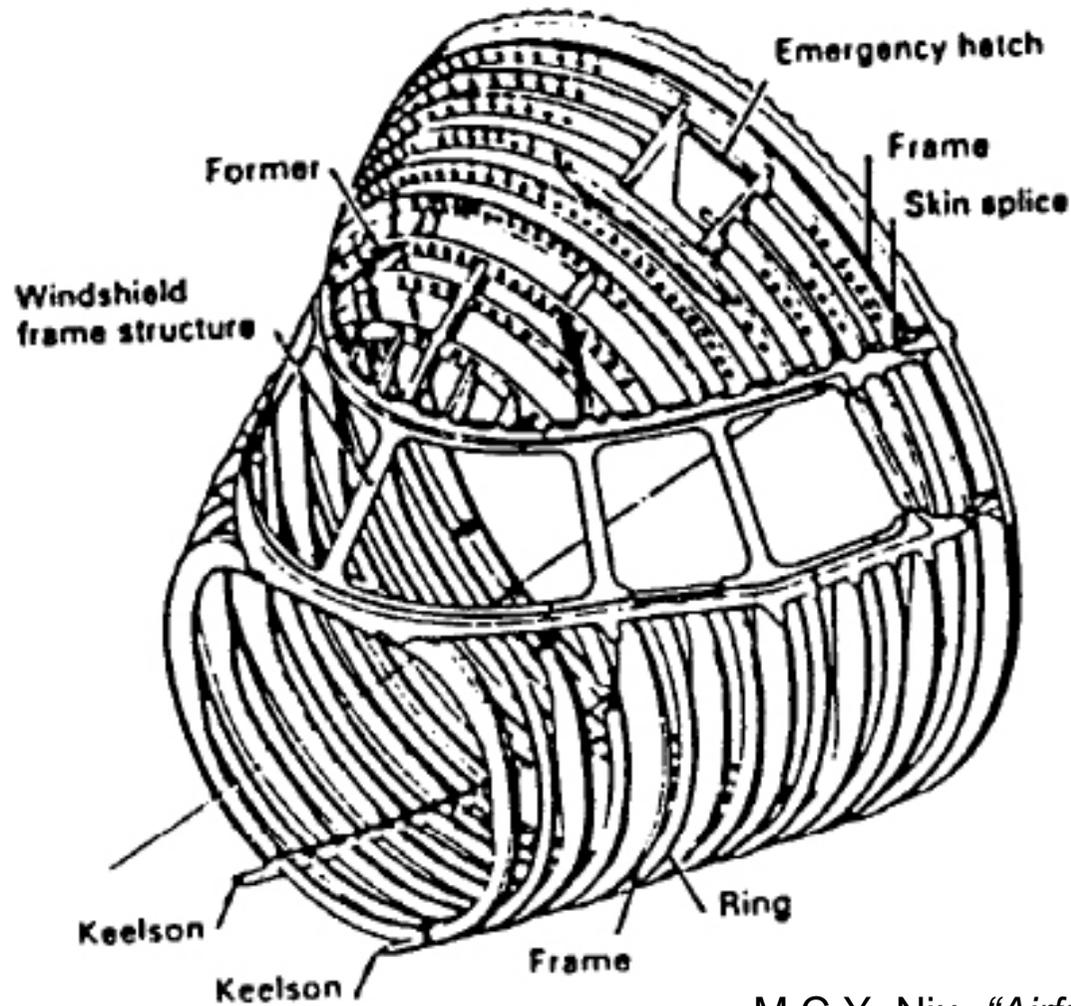
M.C.Y. Niu, "Airframe structural design. Practical design information and data on aircraft structures"

Fusoliera – Ponte



M.C.Y. Niu, "Airframe structural design. Practical design information and data on aircraft structures"

Fusoliera – Cockpit



M.C.Y. Niu, "Airframe structural design. Practical design information and data on aircraft structures"

Impennaggi – Struttura

Elementi strutturali

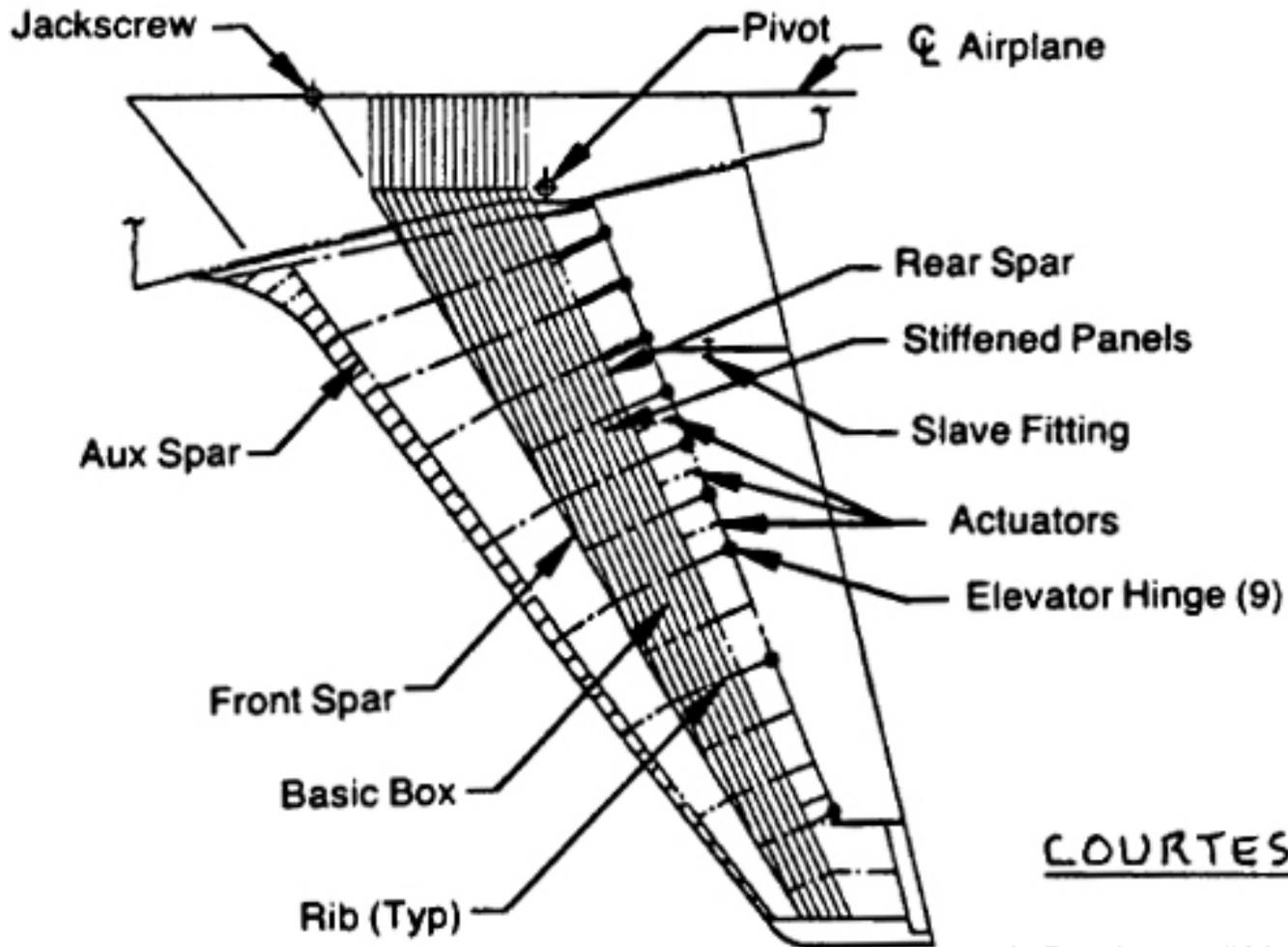
- rivestimento (*skin*)
- longheroni (*spars*)
- correnti (*stringers*)
- centine (*ribs*)

Particolari strutturali

- attacco impennaggi-fusoliera
- attacco parte fissa – parte mobile

Impennaggi – Struttura

Piano orizzontale di coda

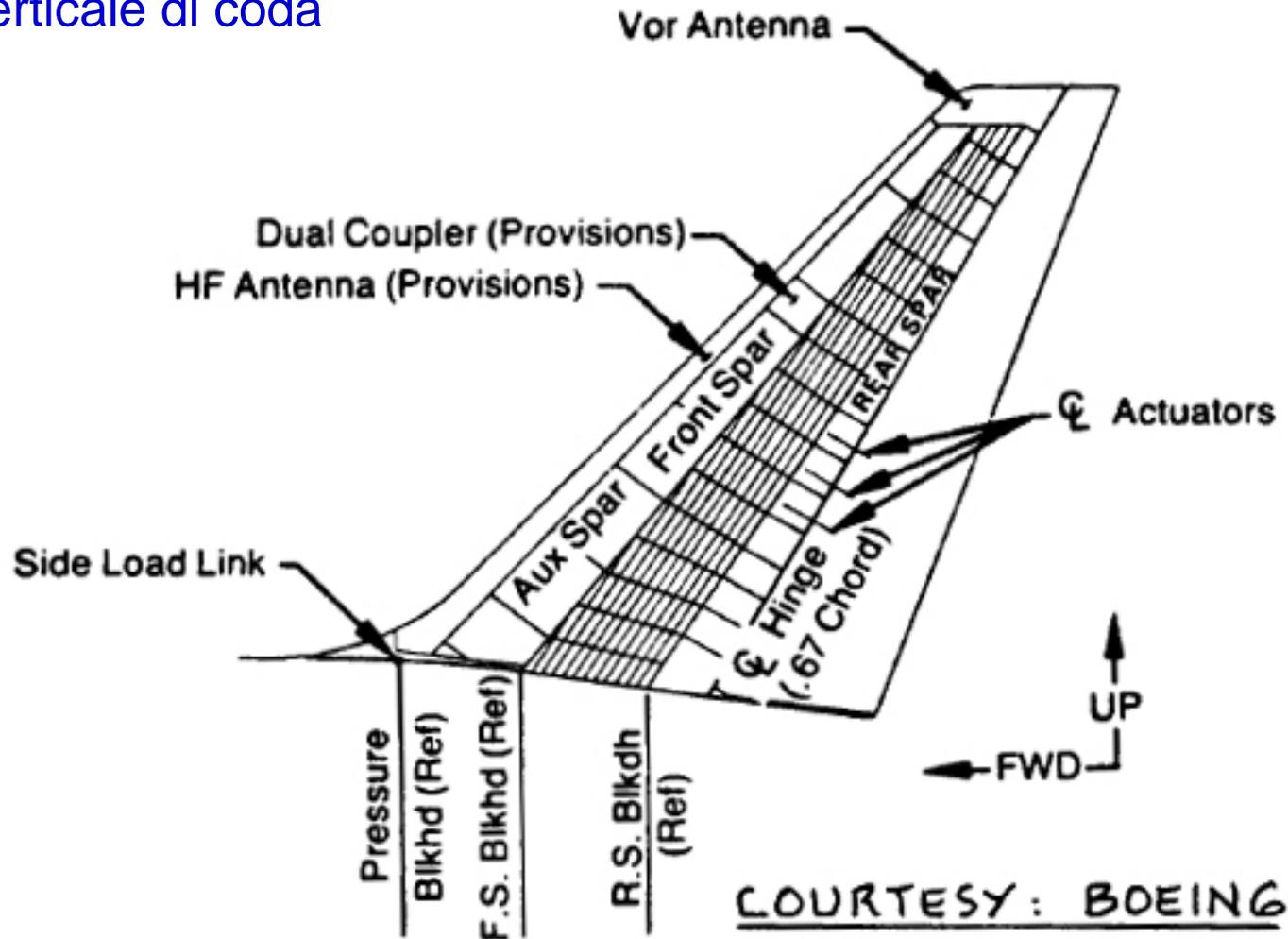


COURTESY: BOEING

J. Roskam, "Airplane Design", part 3

Impennaggi – Struttura

Piano verticale di coda

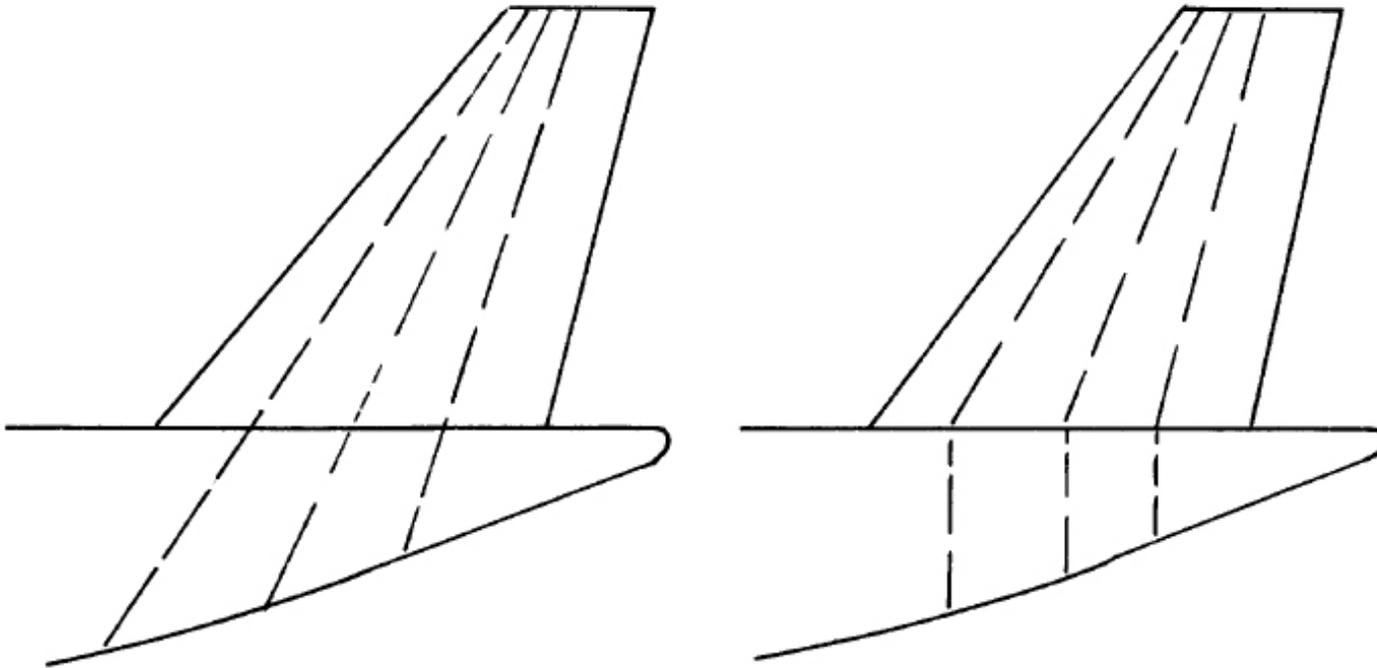


J. Roskam, "Airplane Design", part 3

Impennaggi – Struttura

Piano verticale di coda

Esempio di due diverse metodologie per realizzare l'attacco tra il piano verticale di coda e la fusoliera.

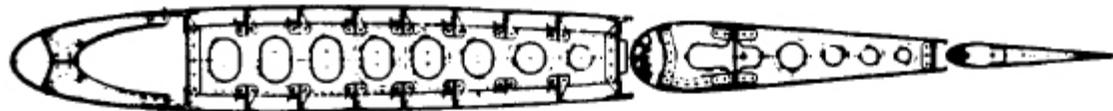


J. Roskam, *"Airplane Design"*, part 3

Impennaggi – Struttura

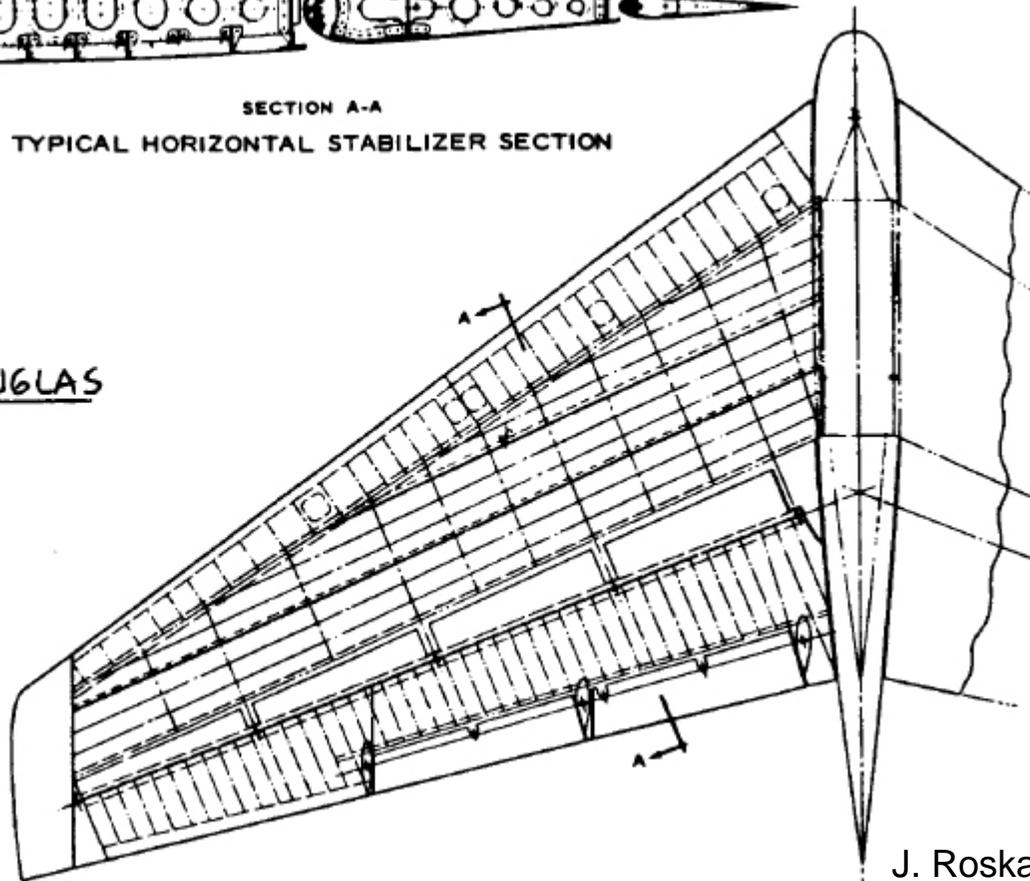
Dettagli costruttivi

piano orizzontale di coda del
McDonnell Douglas DC9-30



SECTION A-A
TYPICAL HORIZONTAL STABILIZER SECTION

COURTESY:
MCDONNELL DOUGLAS

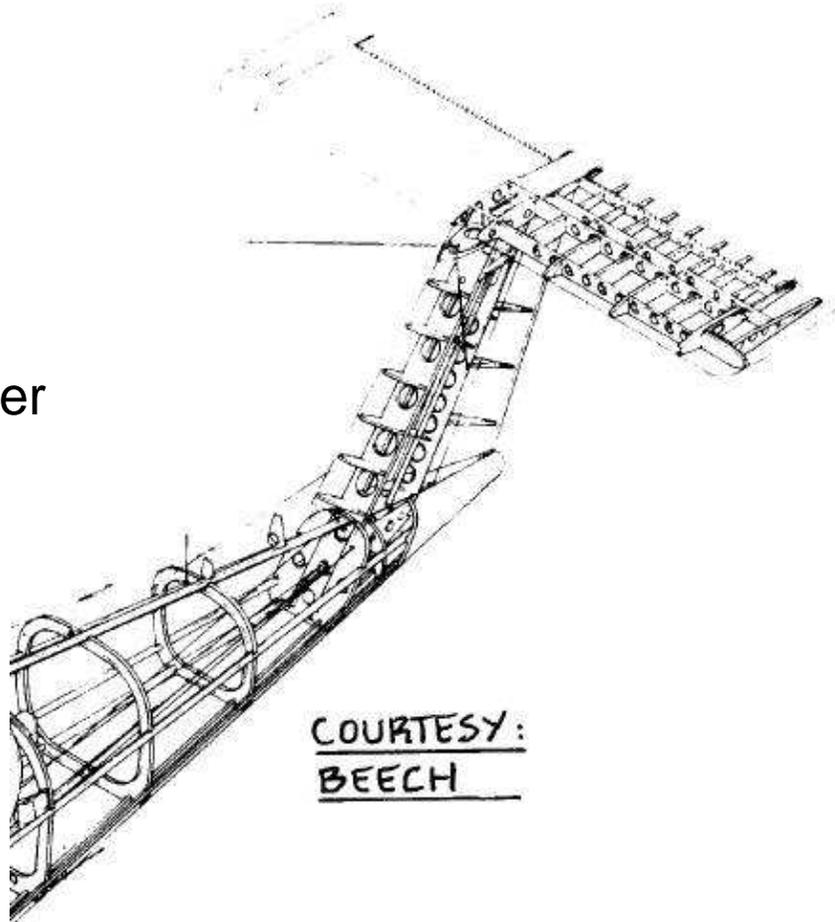


J. Roskam, "Airplane Design", part 3

Impennaggi – Struttura

Dettagli costruttivi

Beech 77 Skipper



J. Roskam, *"Airplane Design"*, part 3

Impennaggi – Longheroni e correnti

Longheroni

	disposizione tipica dei longheroni
piccoli velivoli commerciali e velivoli da trasporto	torque box: longherone anteriore: 15 ÷ 25 % corda longherone posteriore: 70 ÷ 75 % corda
caccia e addestratori	struttura tipo <i>multispar</i>

(valori tipici, rif.: J. Roskam, “Airplane Design”, part 3)

Correnti

Il numero, la disposizione e la tipologia dei correnti varia notevolmente a seconda del velivolo considerato.

Impennaggi – Centine

Disposizione delle centine

(valori tipici, rif.: J. Roskam, “*Airplane Design*”, part 3)

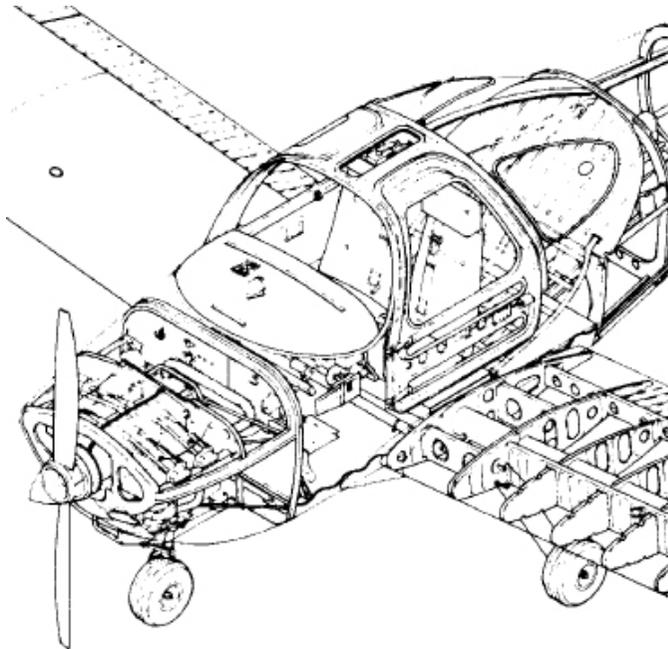
	distanza tra le centine [in]
piccoli velivoli commerciali	15 ÷ 30
velivoli da trasporto	24
caccia e addestratori	non ci sono valori standard

Funzioni delle centine

- stabilizzano il torque box
- introducono i carichi concentrati:
 - ❑ supporto per i punti di attacco delle cerniere
 - ❑ attacco con la fusoliera
 - ❑ intersezione con altre superfici

Installazione del motore

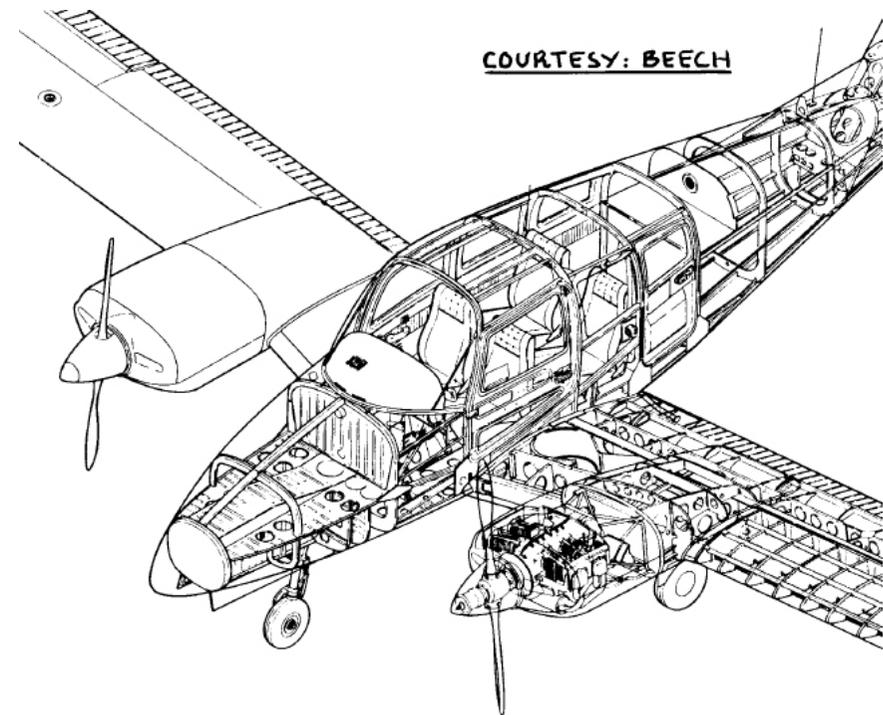
Motori a elica



installazione in fusoliera
(velivolo monomotore)

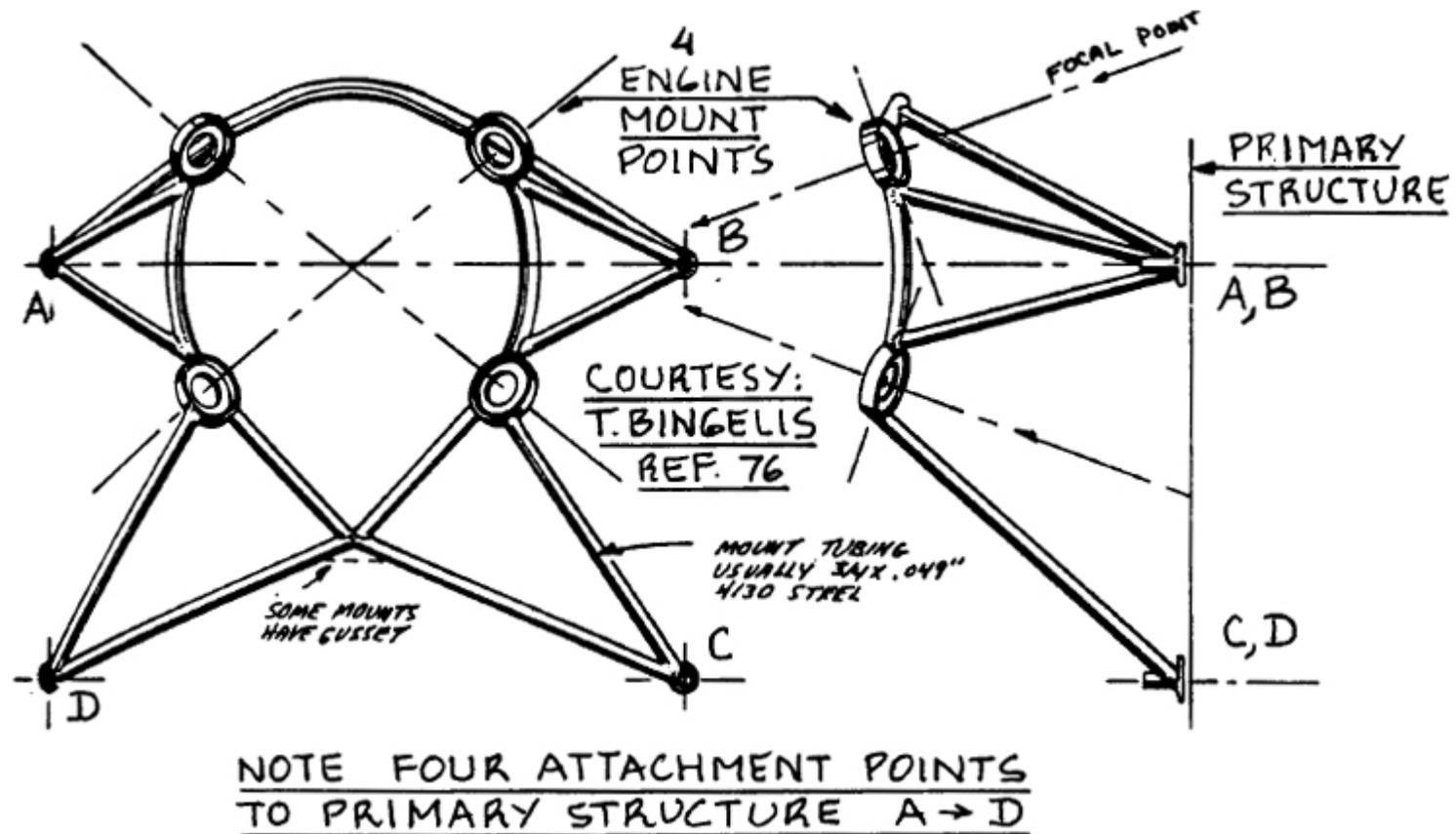
J. Roskam, "Airplane Design", part 3

installazione sulle ali
(velivolo bimotore)



Installazione del motore

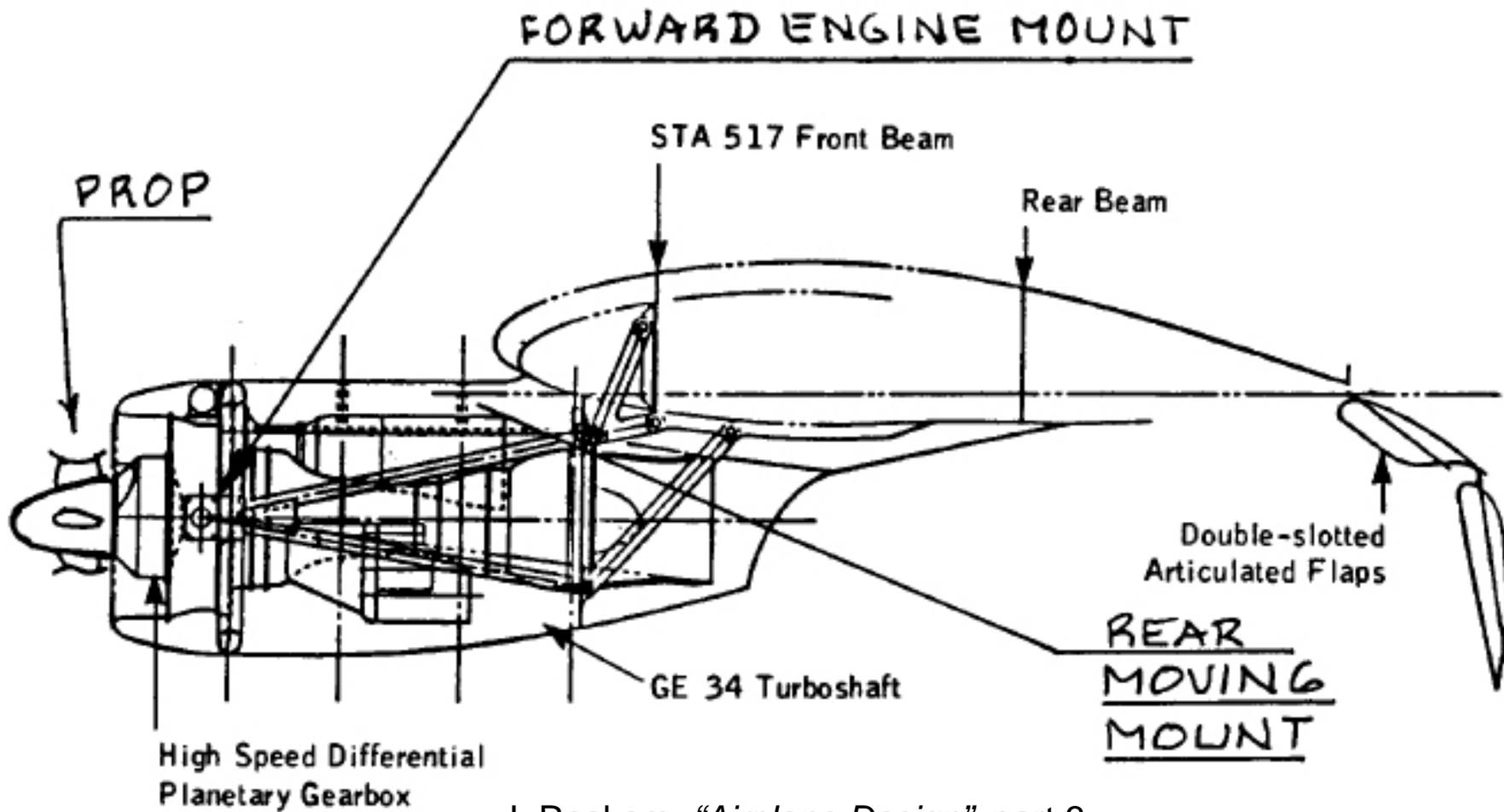
Castello motore – Velivolo monomotore a elica



J. Roskam, "Airplane Design", part 3

Installazione del motore

Castello motore – Velivolo bimotore a elica

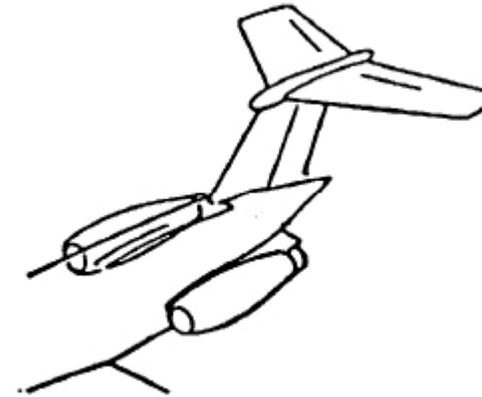
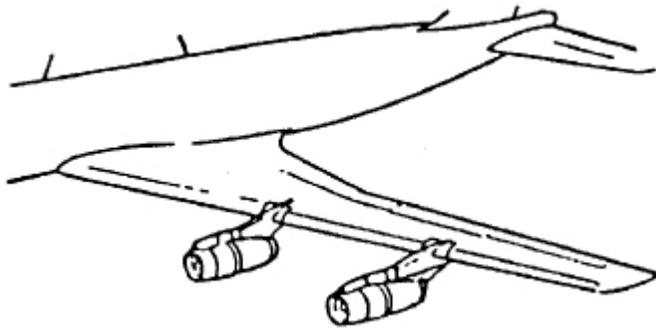


J. Roskam, "Airplane Design", part 3

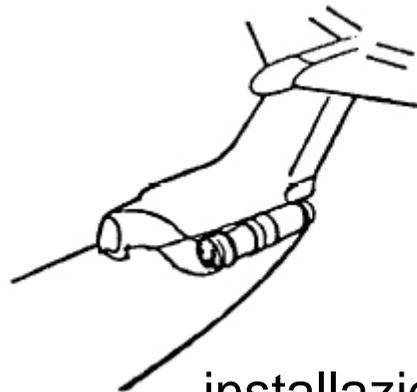
Installazione del motore

Motori a getto – Velivoli subsonici/transonici

installazione sull'ala – *wing pod mount*



installazione in fusoliera –
rear fuselage mount



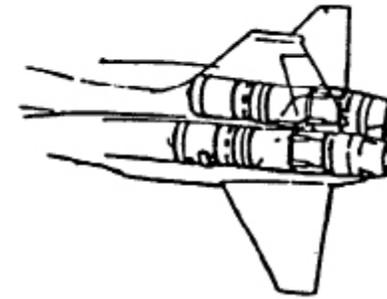
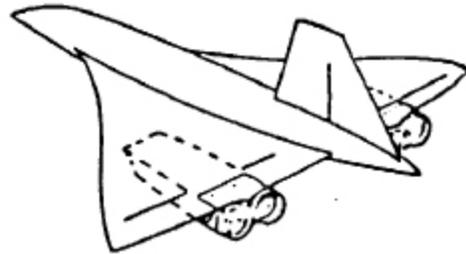
installazione in coda – *tail mount*

M.C.Y. Niu, "Airframe structural design. Practical design information and data on aircraft structures"

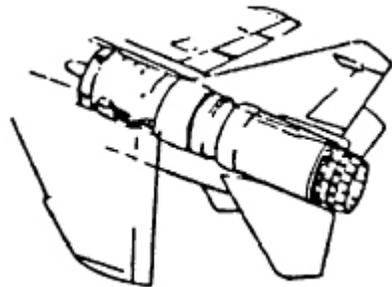
Installazione del motore

Motori a getto – Velivoli supersonici

installazione sull'ala – *wing mount*



installazione in fusoliera (bimotore)
fuselage mount (twin engine)

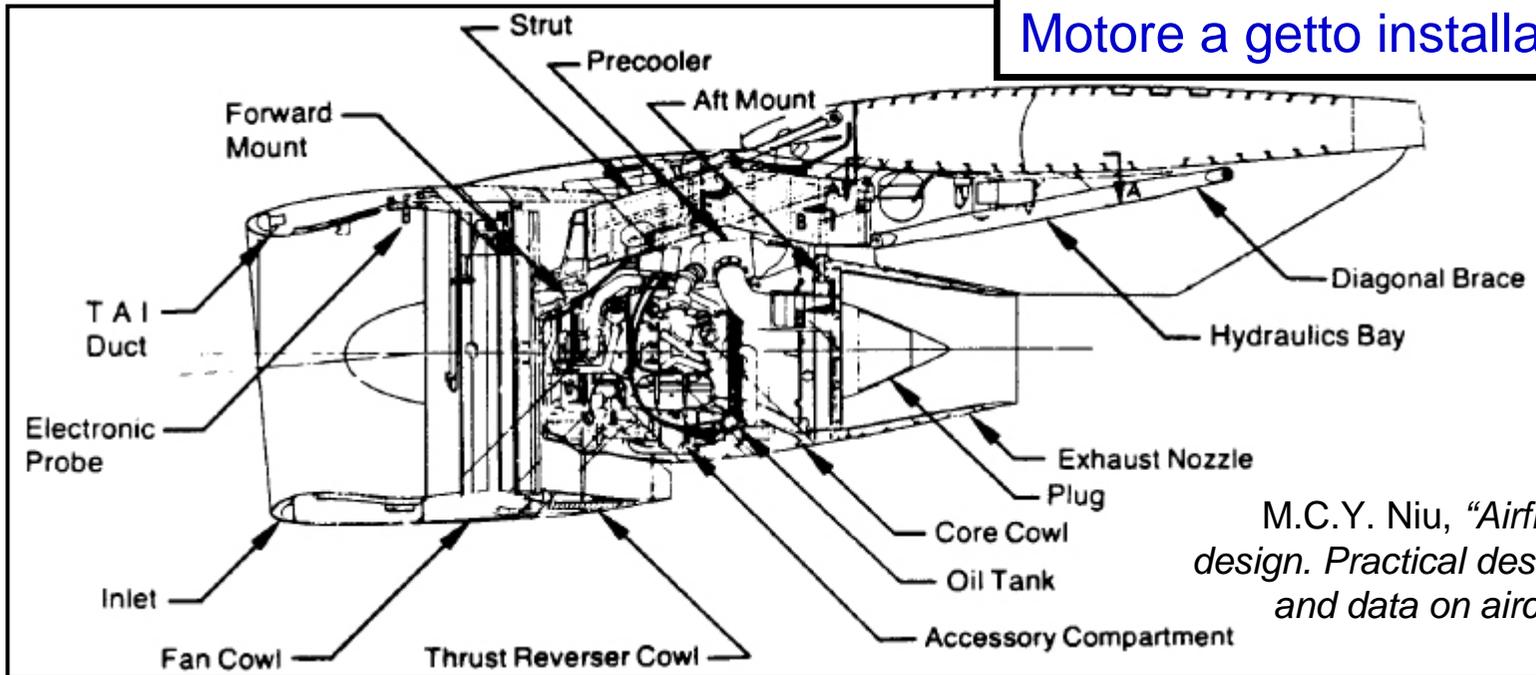


installazione in fusoliera
fueselage mount (single engine)

M.C.Y. Niu, "Airframe structural design. Practical design information and data on aircraft structures"

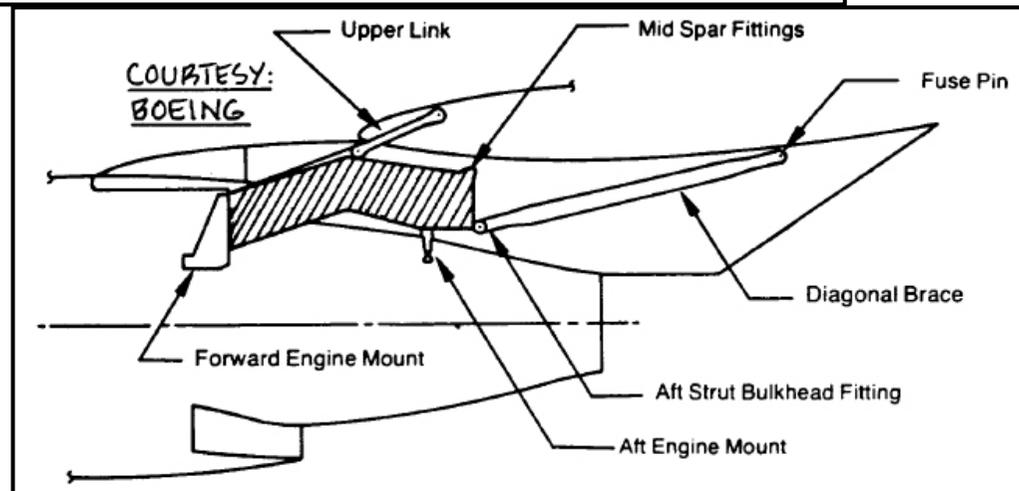
Motore a getto – Installazione sull'ala

Motore a getto installato sull'ala



M.C.Y. Niu, "Airframe structural design. Practical design information and data on aircraft structures"

schematizzazione



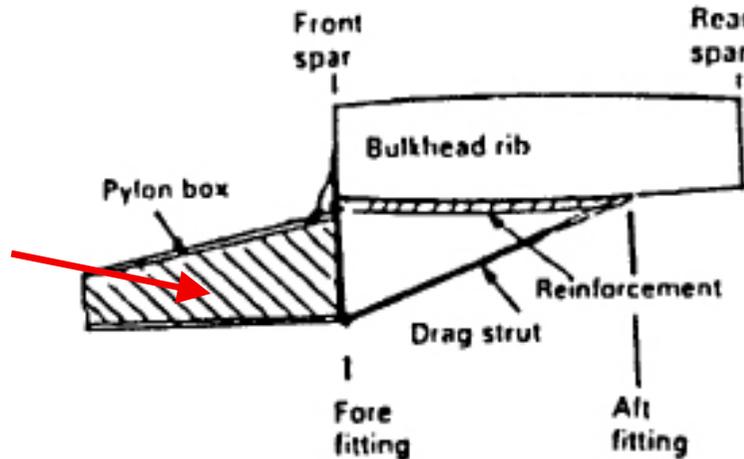
J. Roskam, "Airplane Design", part 3

Motore a getto – Installazione sull'ala

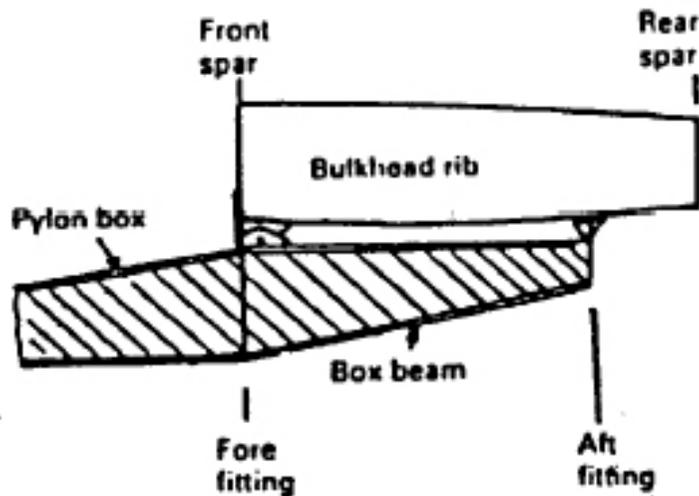
Piloni alari

M.C.Y. Niu, "Airframe structural design. Practical design information and data on aircraft structures"

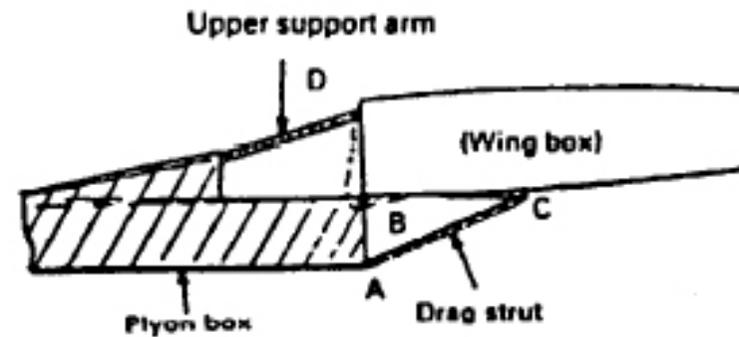
cantilever
box beam



drag strut installation



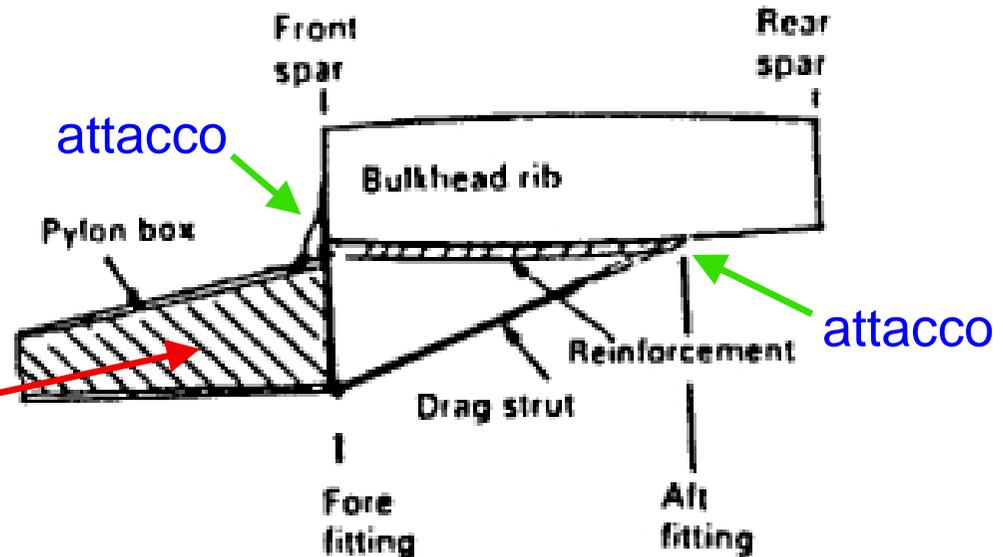
box beam installation



*wing upper support arm
(struttura ridondante)*

Motore a getto – Installazione sull'ala

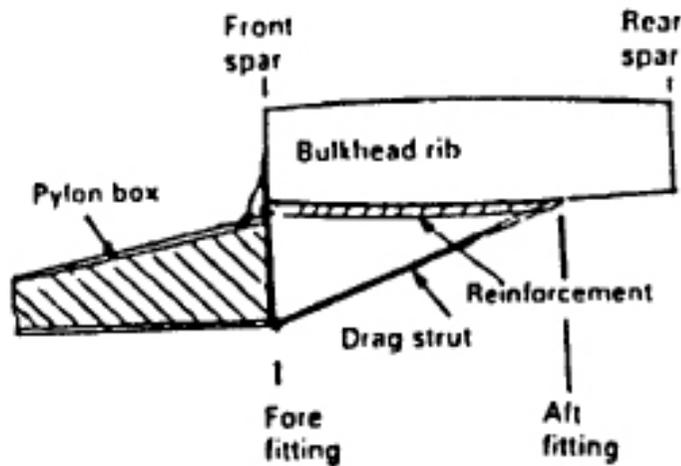
Drag strut installation



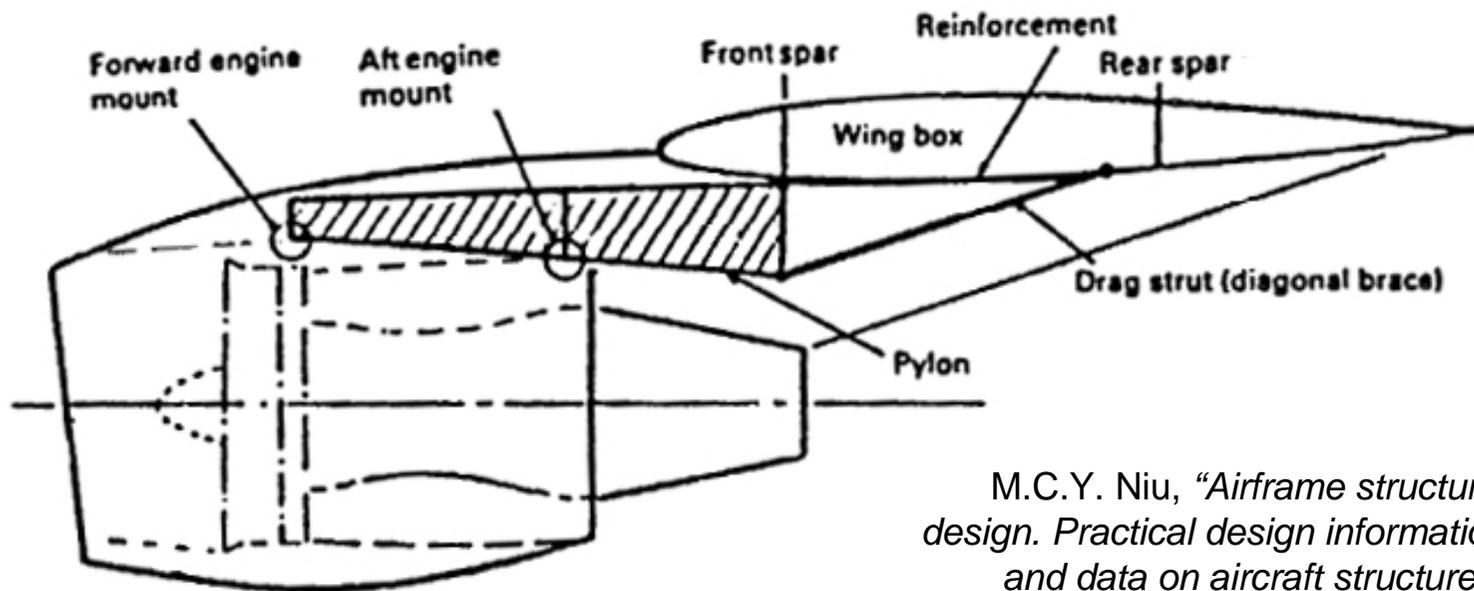
cantilever box beam:

- due longheroni superiori
- due longheroni inferiori
- due pannelli laterali → per assorbire il taglio verticale
- pannello inferiore → per assorbire il taglio laterale
→ costituisce il firewall
- diaframma anteriore e posteriore per trasferire i carichi dal motore al pilone e dal pilone al box alare
- longherone superiore vincolato al longherone anteriore dell'ala tramite un attacco concentrato
- *drag strut* → per trasferire i carichi dal longherone inferiore al punto d'attacco sul box alare, situato in posizione intermedia tra i due longheroni alari

Motore a getto – Installazione sull'ala



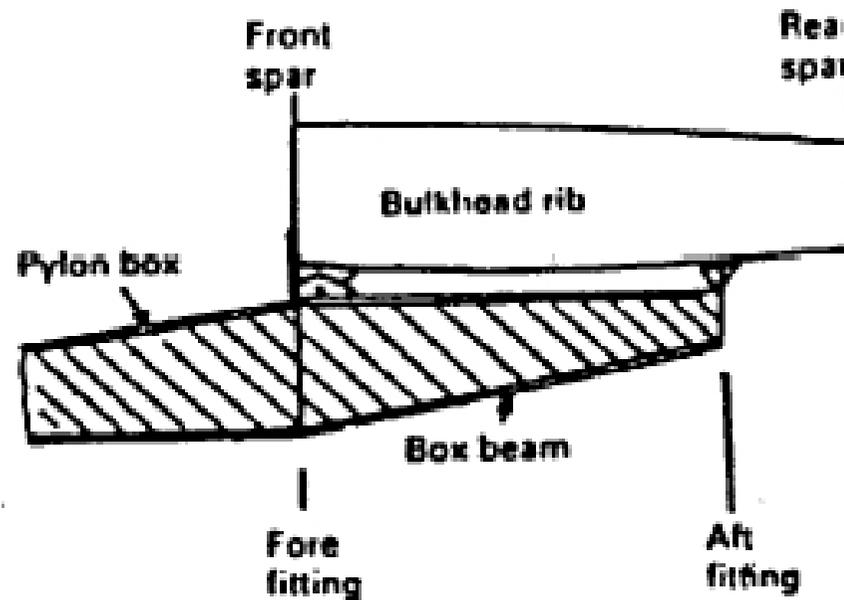
drag strut installation



M.C.Y. Niu, "Airframe structural design. Practical design information and data on aircraft structures"

Motore a getto – Installazione sull'ala

Box beam installation

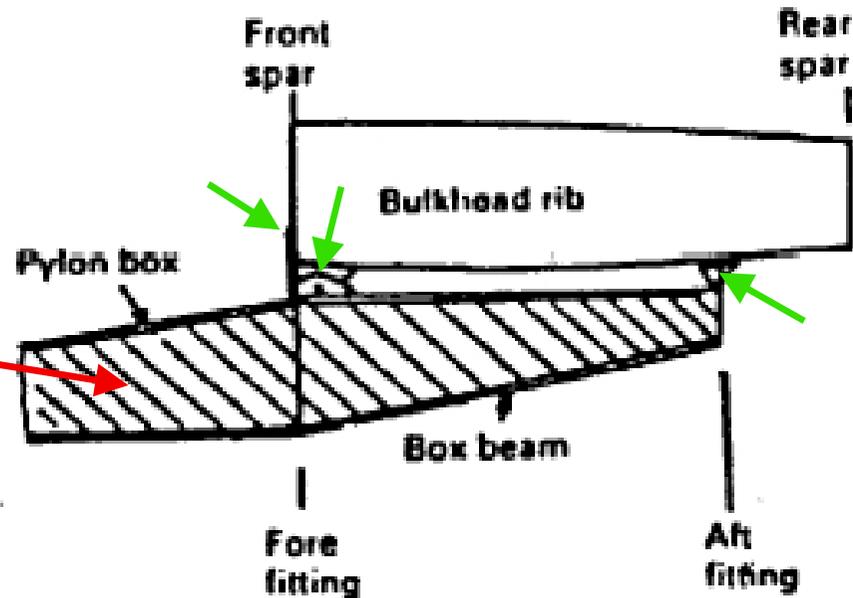


- termina in corrispondenza dell'attacco posteriore sull'ala, invece che di quello anteriore (si veda l'installazione tramite *drag strut*)
- l'attacco posteriore sull'ala si trova in un punto intermedio tra i due longheroni alari
- aumenta il peso del pilone, ma diminuisce quello del box alare e si riducono i problemi di fatica sulla parte inferiore dell'ala

Motore a getto – Installazione sull'ala

Box beam installation

cantilever box beam:

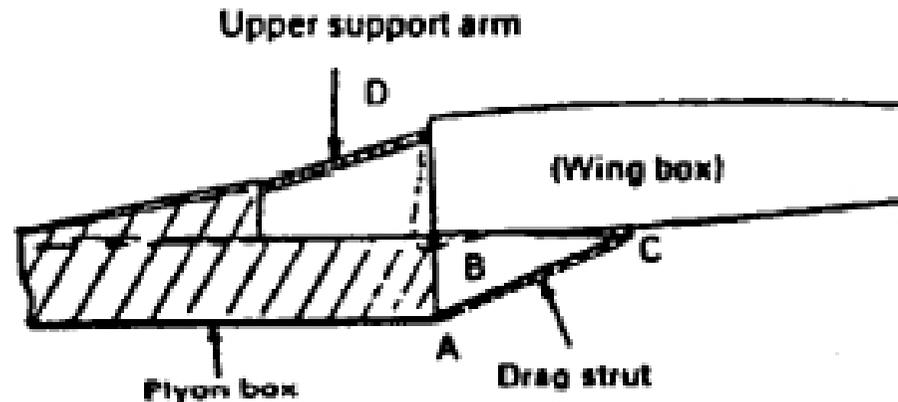


Tre punti di attacco → :

- sul longherone anteriore dell'ala → per trasferire i carichi verticali e laterali
- sulla superficie dell'ala, sotto il longherone anteriore dell'ala → per trasferire il carico di trazione del motore
- sulla superficie inferiore del box alare → per trasferire la flessione verticale laterale

Motore a getto – Installazione sull'ala

Wing upper support arm

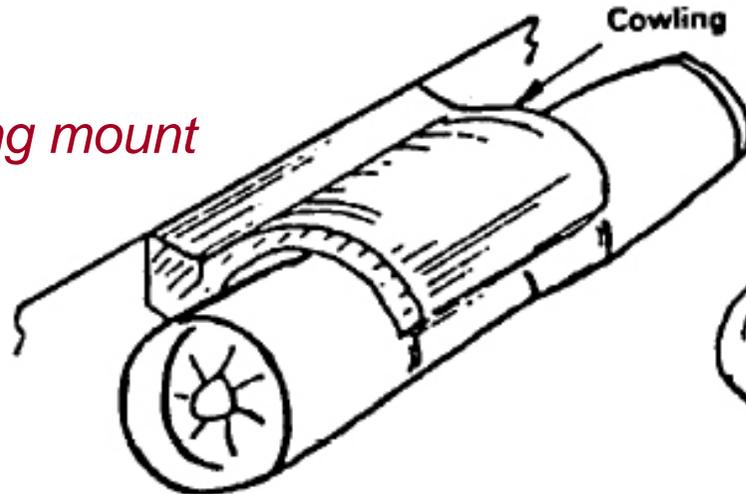


- struttura ridondante \Rightarrow intrinsecamente *fail-safe*
- momento flettente generato dai carichi del motore trasferito in modo più efficiente \Rightarrow riduzione di peso
- complessità strutturale \rightarrow progetto complicato
 - \rightarrow procedure di installazione/disinstallazione complesse
- interferenza con le parti strutturali e le parti di impianto poste nella zona del bordo d'attacco dell'ala.

Motore a getto – Installazione in coda

Piloni in fusoliera

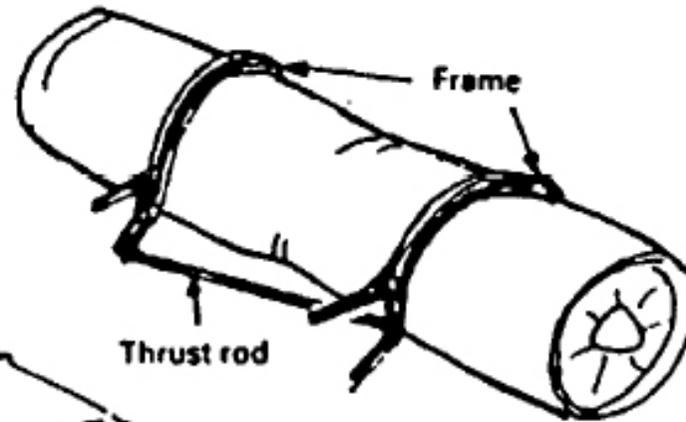
cowling mount



peso rivestimento ↑
peso castello ↓↓

M.C.Y. Niu, "Airframe structural design. Practical design information and data on aircraft structures"

support frame mount



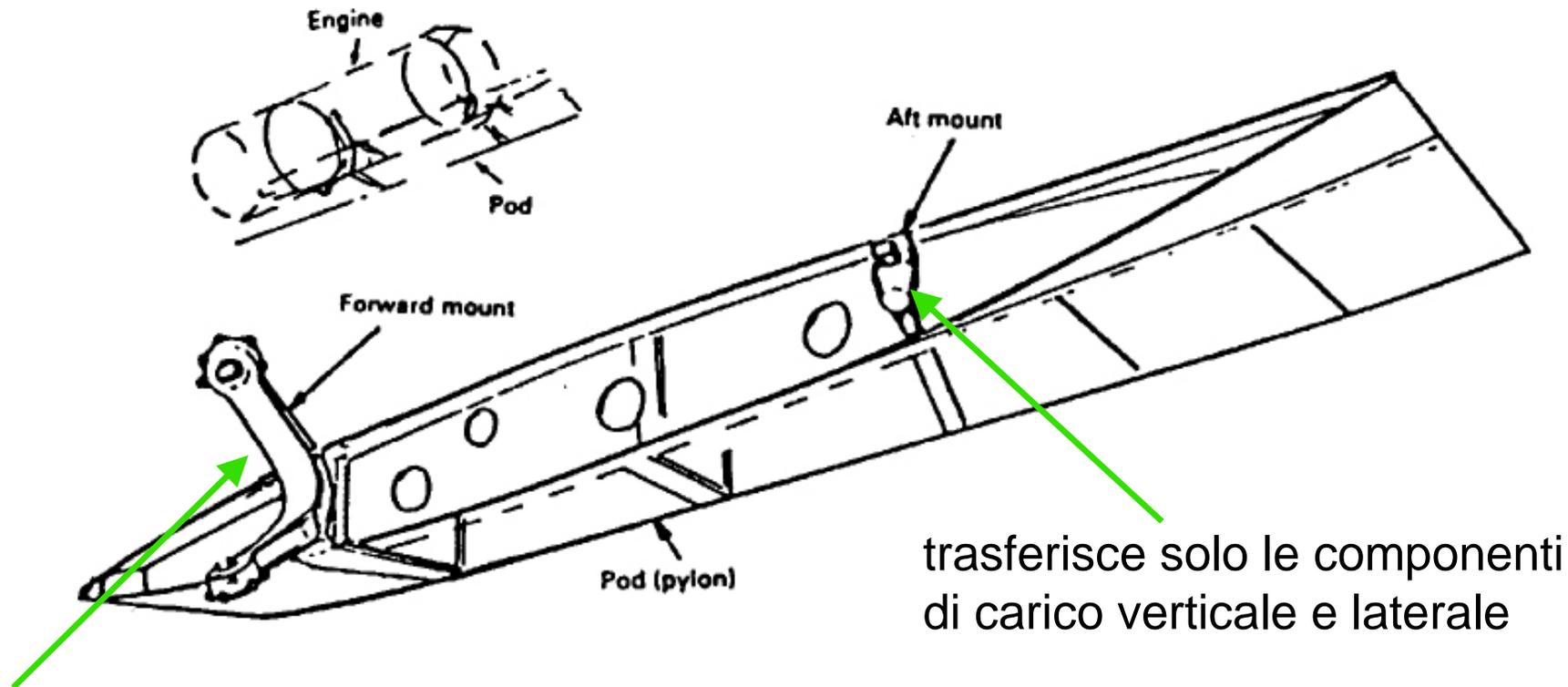
peso rivestimento ↓
peso castello ↑



side support mount

Motore a getto – Installazione in coda

Side support mount



trasferisce tutte le componenti di carico, compreso il momento

trasferisce solo le componenti di carico verticale e laterale

M.C.Y. Niu, "Airframe structural design. Practical design information and data on aircraft structures"

Carrello d'atterraggio

Componenti

- pneumatici ➔ rif. J. Roskam, *"Airplane Design"*, part 4
- gamba del carrello
- sistemi di ammortizzazione
- freni
- attuatori per la retrazione (se presente)

- interfaccia per decollo da catapulta
- gancio per procedura di atterraggio su portaerei

Carrello d'atterraggio

Sistemi di ammortizzazione

- pneumatici
- ammortizzatori
 - a molla
 - pneumatici
 - oleo dinamici
 - oleo-pneumatici
 - con inserti elastomerici

