

PROGETTO DELL'ALA

Parte III

I sistemi di Ipersostentazione (High-Lift Devices)

Perché i dispositivi di ipersostentazione

Consentono all'ala di soddisfare sia i requisiti di alta che di bassa velocità

Forniscono all'ala una sorta di *capacità di adattamento*

Requisiti di crociera (velocità e bassa resistenza):

- Piccola superficie dell'ala (alto carico alare)
- Profili a piccola curvatura
- Bassa resistenza
- Portanza generata con bassi valori del coefficiente di portanza (a causa dell'alta velocità)

Requisiti di decollo e atterraggio (C_{Lmax}):

- Alto coefficiente di portanza e superficie alare richiesti a causa della bassa velocità
- Velocità di stallo più bassa possibile
- Bassa resistenza (decollo) / Alta resistenza (atterraggio)
- Problemi di visibilità del pilota durante l'approccio

Si noti che per i velivoli da combattimento, i requisiti di manovrabilità richiedono alti valori di C_{Lmax}

Classificazione dei sistemi di ipersostentazione

Sistemi di incremento passivo della portanza:

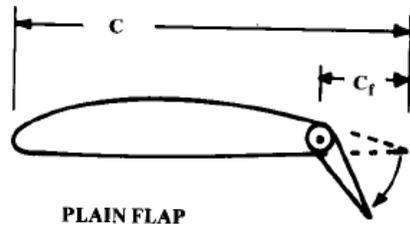
- Dispositivi del bordo di uscita per incrementare la curvatura (e la superficie alare)
- Dispositivi del bordo di attacco per prevenire la separazione del flusso e lo stallo

Sistemi attivi di incremento della portanza (requisiti per velivoli STOL e VTOL):

Uso di flussi provenienti dal motore a getto o ad elica per energizzare il flusso e prevenire la separazione (flap soffiati internamente ed esternamente, soffiamento sul dorso e spinta orientabile)

In linea di massima, i dispositivi del bordo di uscita sono usati per raggiungere il C_{Lmax} richiesto, mentre i dispositivi del bordo di attacco sono usati per fornire un margine rispetto allo stallo.

Dispositivi di ipersostentazione del bordo di uscita



Semplice. Le prestazioni sono sensibili alla permeabilità (tenuta) della cerniera. (Analogo ad alettoni e spoilers)



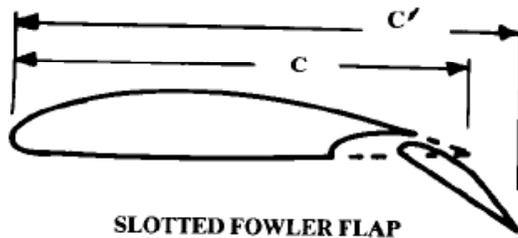
Semplice come il plain flap. Non sensibile alla tenuta della cerniera. Alta resistenza (non più usato)



Uso dello slot per energizzare lo strato limite sulla superficie del dorso.

Il progetto ottimale dello slot è fondamentale per l'efficienza (coefficiente di portanza aumentato e resistenza ridotta) del dispositivo di alta portanza

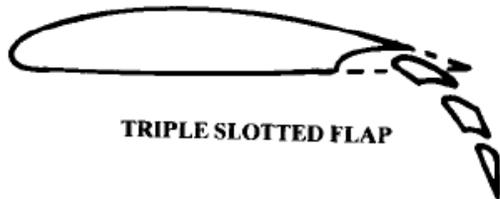
Dispositivi di ipersostentazione del bordo di uscita



I flap sono prima estratti e poi ruotati (aumenta la superficie alare e la curvatura) Complesso ma efficiente. La possibilità di estendere il flap senza ruotarlo è usata normalmente in decollo, dove è importante una bassa resistenza.



Variazioni di crescente efficienza e complessità del Fowler e del flap a singolo slot.



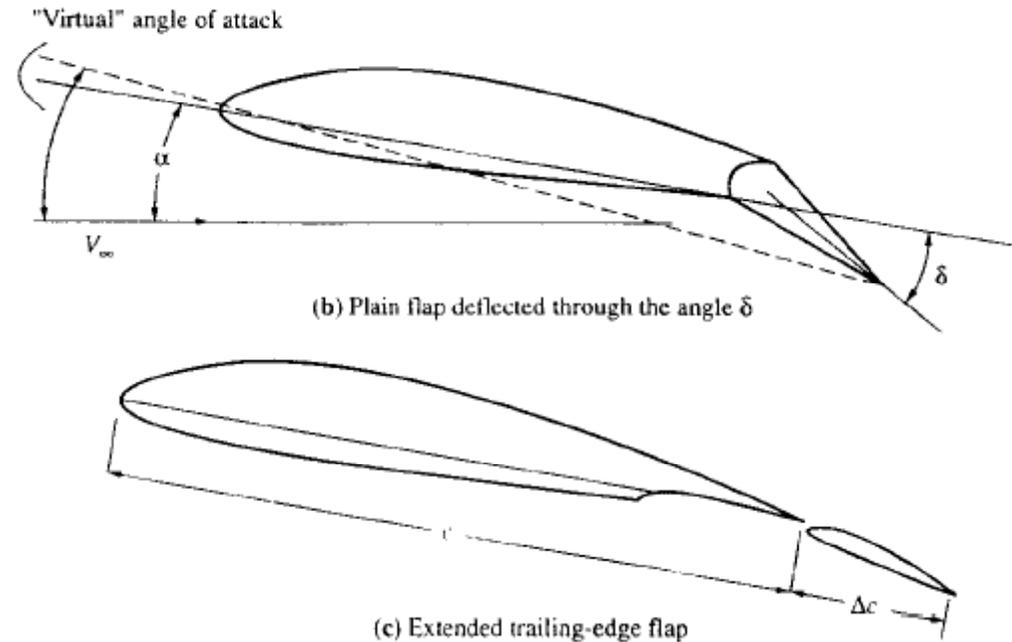
Il flap a triplo slot non è più usato a causa della sua complessità e del suo peso.

Tutti i flap sono tipicamente impiegati con differenti angoli di deflessione durante il decollo e l'atterraggio. Durante il decollo i flap non sono in genere deflessi completamente, mentre sono impiegati alla massima deflessione in atterraggio quando l'eccesso di resistenza generata non è un problema.

Valori tipici della lunghezza del corda del flap sono intorno al 30% della corda della sezione.

Il C_{Lmax} al decollo è circa l'80% del C_{Lmax} all'atterraggio.

Principi di funzionamento dei dispositivi di ipersostentazione del bordo di uscita



1. L'angolo di attacco virtuale è leggermente aumentato
2. La curvatura totale dell'ala è aumentata
3. La superficie dell'ala è aumentata (in caso di elementi estendibili)

Effetto dei dispositivi di ipersostentazione del bordo di uscita sulla curva di portanza

I dispositivi di ipersostentazione del bordo di uscita

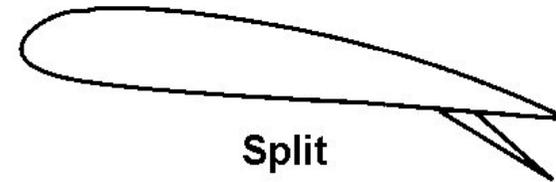
1. aumentano la portanza ad un dato angolo di attacco
2. non aumentano l'angolo di stallo, anzi spesso lo riducono
3. aumentano il C_{Lmax}



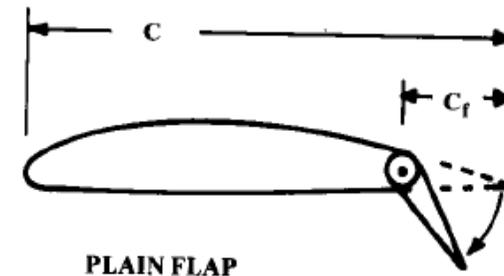
Dispositivi di ipersostentazione del bordo di uscita (*Trailing Edge (TE) devices*)



split flap



Dispositivi di ipersostentazione del bordo di uscita



plain flap

Tipicamente è usato su piccoli velivoli o su velivoli con ala sottile dove non c'è spazio per alloggiare un complesso meccanismo di retrazione.

Gli angoli di deflessione del plain flap sono tipicamente intorno a 20° durante il decollo e fino a 60° per l'atterraggio.

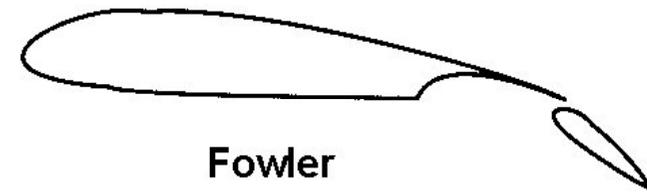
Dispositivi di ipersostentazione del bordo di uscita



Single slotted flaps

Deflessioni tipiche: 20° decollo, 40° atterraggio

Dispositivi di ipersostentazione del bordo di uscita



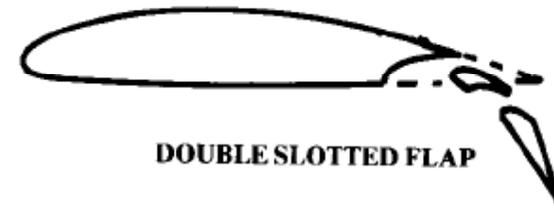
Single slotted Fowler flaps

Airbus A310 (outboard), A320, A300-600, A300, A340

Boeing 767 (outboard), Boeing 777 (outboard)

Deflessioni tipiche: 15° in decollo, 40° in atterraggio

Dispositivi di ipersostentazione del bordo di uscita

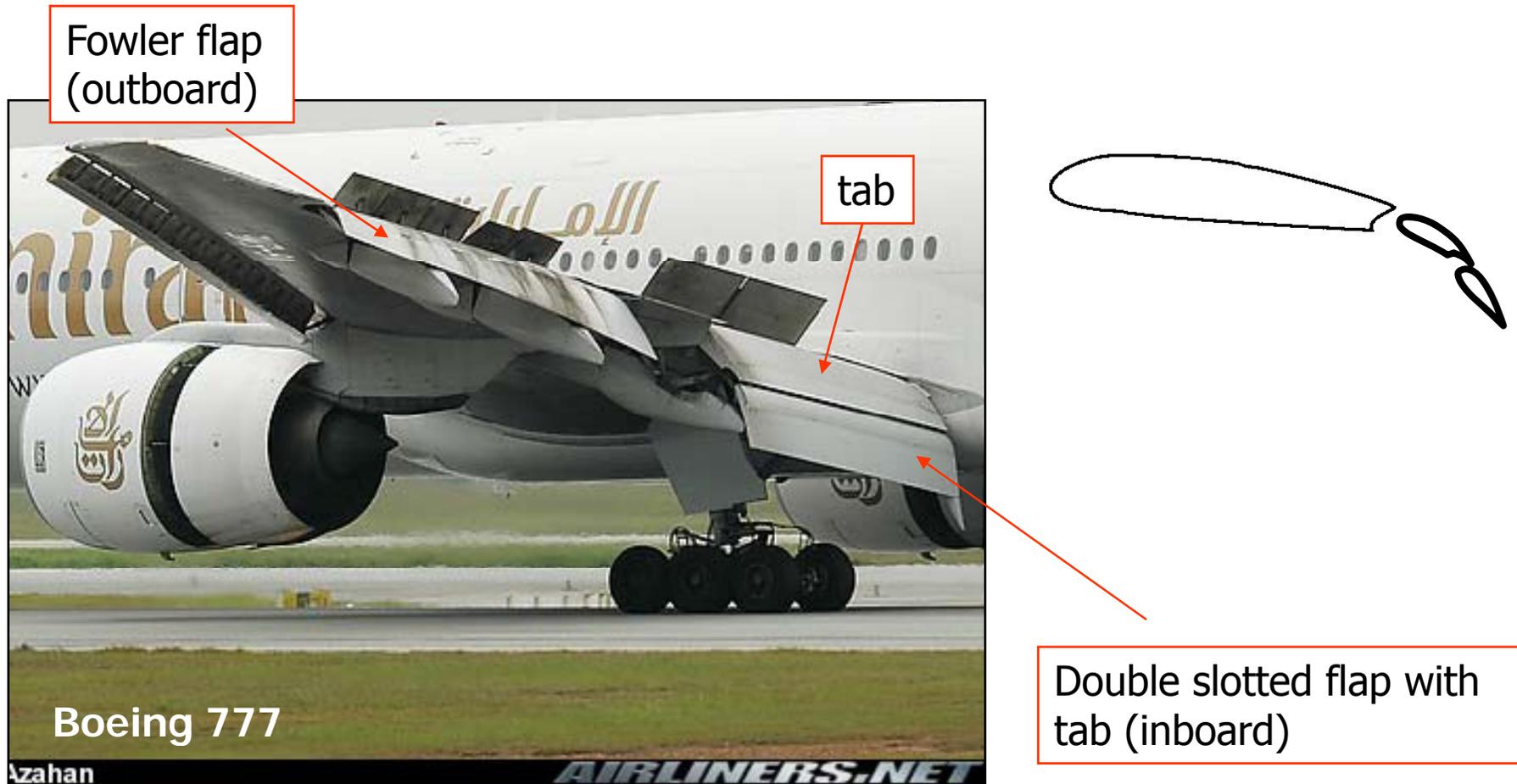


Double slotted flap with vane

A310 (inboard), MD-80, MD-11

Deflessioni tipiche: 20° in decollo, 50° in atterraggio (con slat sul bordo di attacco deflessa della stessa quantità)

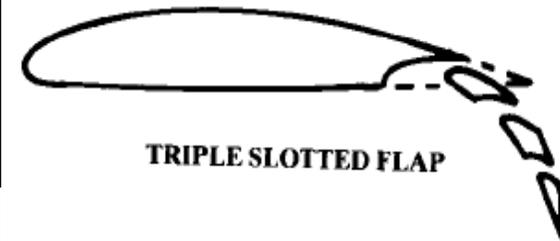
Dispositivi di ipersostentazione del bordo di uscita



A321, B757, B767 (inboard), B777 (inboard)

Deflessioni tipiche: 20° in decollo, 50° in atterraggio (con slat sul bordo di attacco deflessa della stessa quantità)

Dispositivi di ipersostentazione del bordo di uscita



Triple slotted flap

B727, B737, B747.

**Deflessioni tipiche: 20° in decollo, 40° in atterraggio
(con slat sul bordo di attacco deflessa della stessa quantità)**

Principi di funzionamento dei dispositivi di ipersostentazione del bordo di attacco

I dispositivi del bordo di attacco hanno lo scopo di evitare la separazione del flusso sul bordo di attacco, agendo in due modi:

1. muovendo il bordo di attacco dell'ala verso il flusso (e quindi spostando verso l'alto il punto di ristagno)
2. energizzando lo strato limite sulla superficie del dorso dell'ala



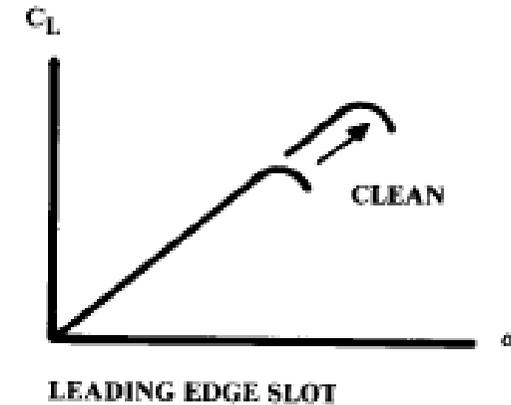
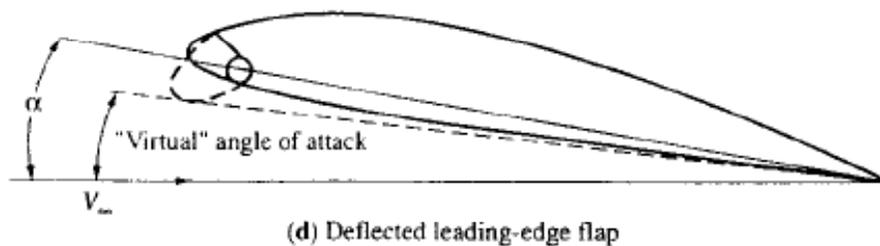
Le slat (o slotted leading edge flap) contribuiscono ad aumentare sia la curvatura che la superficie dell'ala

Si noti che le slat aumentano la pendenza della curva CL-alpha, perché estendendosi in avanti aumentano la superficie alare. Tale aumento di pendenza è proporzionale al rapporto tra la superficie alare di base e la superficie estesa.

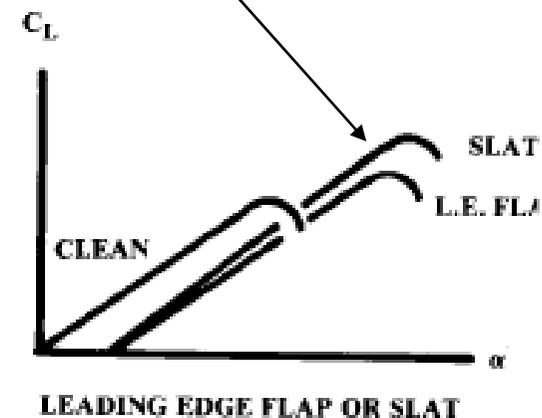
Effetto dei dispositivi di ipersostentazione del bordo di attacco sulla curva di portanza dell'ala

I dispositivi del bordo di attacco con elementi mobili:

1. Estendono la parte lineare della curva di portanza verso valori maggiori del C_{Lmax} e degli angoli di attacco
2. Spostano leggermente l'intera curva di portanza verso angoli di attacco maggiori (sebbene la curvatura del profilo cresca, l'effetto di diminuire l'angolo d'attacco è maggiore)
3. In caso di elementi estendibili (Slat) aumentano la pendenza della curva di portanza



L'effetto della estensione della superficie alare da parte della slat è quello di aumentare la pendenza della curva di portanza.



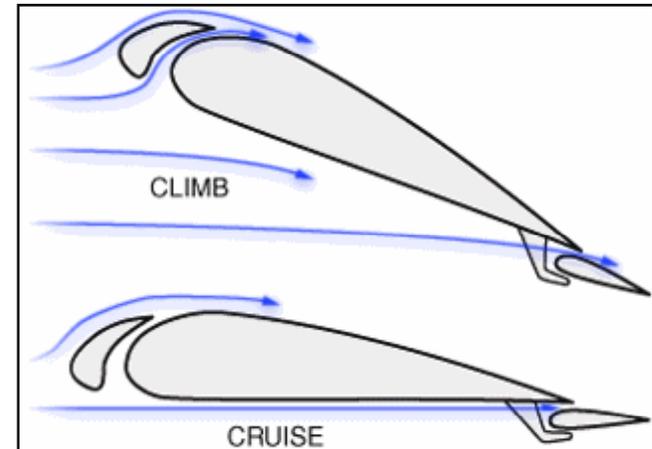
Dispositivi di ipersostentazione del bordo di attacco (*Leading Edge (LE) devices*)



Leading edge fixed slot



LEADING EDGE SLOT



Tipicamente usato nei velivoli STOL

A volte gli slots sono chiusi durante la crociera per ridurre la resistenza.

Dispositivi di ipersostentazione del bordo di attacco



A300

Slats



Questo è il dispositivo di ipersostentazione del bordo di attacco più efficace. Contribuisce ad aumentare CL_{max} e a fornire un incremento dell'angolo di stallo.

Dispositivi di ipersostentazione del bordo di attacco



**Slotted Leading
edge flap (SLAT)**



Mirage 2000

Dispositivi di ipersostentazione del bordo di attacco



Kruger flaps



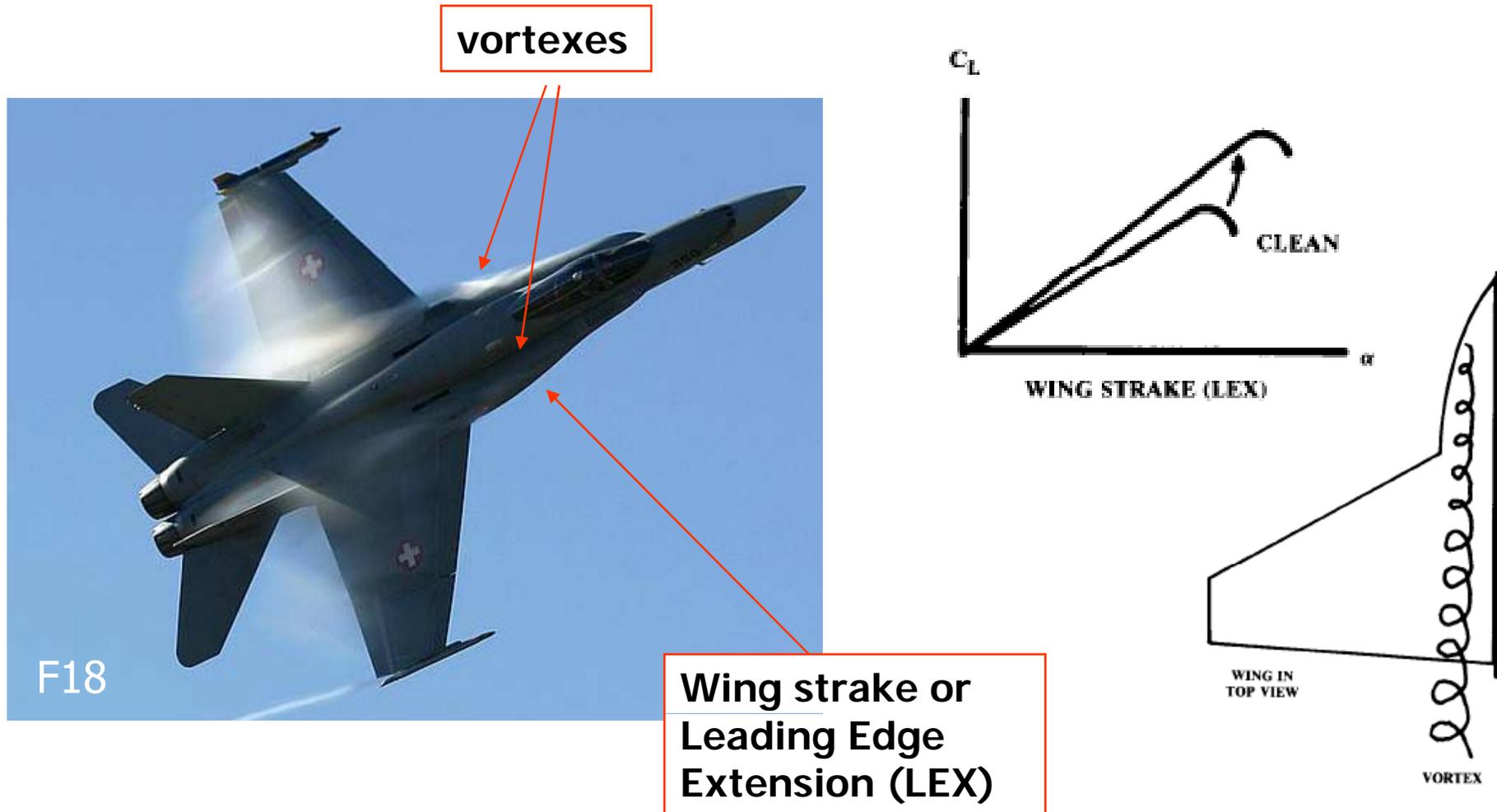
E' il più comune dispositivo del bordo di attacco a causa della sua architettura relativamente semplice

Dispositivi di ipersostentazione del bordo di attacco



Leading edge flap
(droop nose)

Dispositivi di ipersostentazione del bordo di attacco



L'efficienza di questi dispositivi si riscontra ad alti angoli di attacco (maggiori di 20°), e quindi ad angoli ben al di sopra di quelli tipici di decollo e atterraggio

Posizionamento dei dispositivi di ipersostentazione per la gestione dello stallo

Bordi di attacco non flappati in prossimità della fusoliera



Bordi di uscita flappati fino all'intersezione con la fusoliera

Si noti come i dispositivi di ipersostentazione del bordo di attacco non sono applicati in prossimità dell'intersezione ala-fusoliera, al contrario di quelli del bordo di uscita. Questo è un modo di far stallare l'ala alla radice piuttosto che all'estremità.

Valutazione della curva CL- α per ala flappata

Step 1: determinare la variazione di α_{0L} dovuta ai *TE devices*

Per **plane flaps**

$$\Delta\alpha_{0L} = -\frac{dC_l}{d\delta_f} \frac{K' \delta_f}{C_{l\alpha}}$$

da figura 9.3 Corke, $f(c_f/c, \delta_f)$

Angolo di deflessione

Caratteristiche della sezione

da figura 9.4 Corke, $f(c_f/c, t/c)$

Per **slotted e Fowler flaps**

$$\Delta\alpha_{0L} = -\frac{d\alpha}{d\delta_f} \delta_f$$

Angolo di deflessione

da figura 9.5 Corke, $f(c_f/c, \delta_f)$



Valori diversi della deflessione per il decollo e l'atterraggio



N.B. C_f è la corda media del flap. Normalmente si assume che i flap abbiano la stessa rastremazione dell'ala

Valutazione dell'incremento di C_{Lmax} dovuto agli ipersostentatori

L'effetto dell'ipersostentatore sulla curva di portanza del profilo deve essere valutato preliminarmente.

Rapporto tra superficie flappata di riferimento e superficie di riferimento dell'ala.

$$\Delta C_{Lmax} = \Delta C_{lmax} \frac{S_{wf}}{S} K_{\Delta}$$



*

$$K_{\Delta} = \left[1 - 0.08 \cos^2 \Lambda_{c/4} \right] \cos^{3/4} \Lambda_{c/4}$$

Correzione empirica per tenere conto della freccia

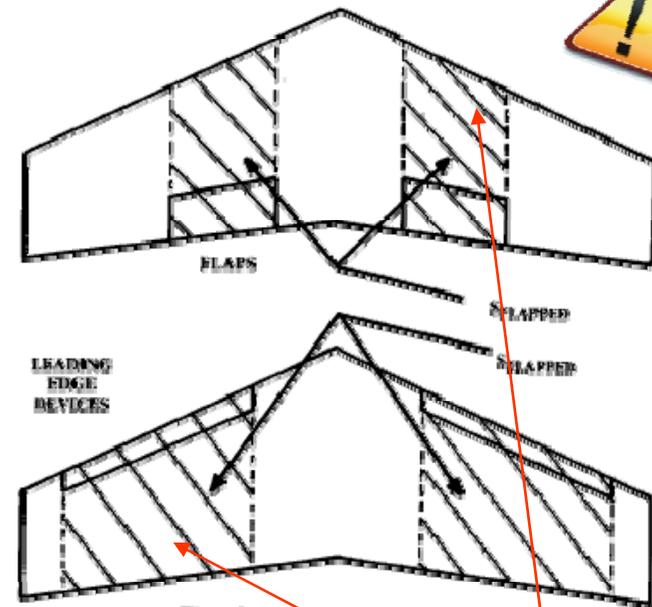


Fig. 12.19 "Stopped" wing area.

L'area flappata sul bordo di attacco non è in generale la stessa dell'area flappata sul bordo di usicta



Valutazione dell'incremento di C_{lmax} dovuto agli ipersostentatori

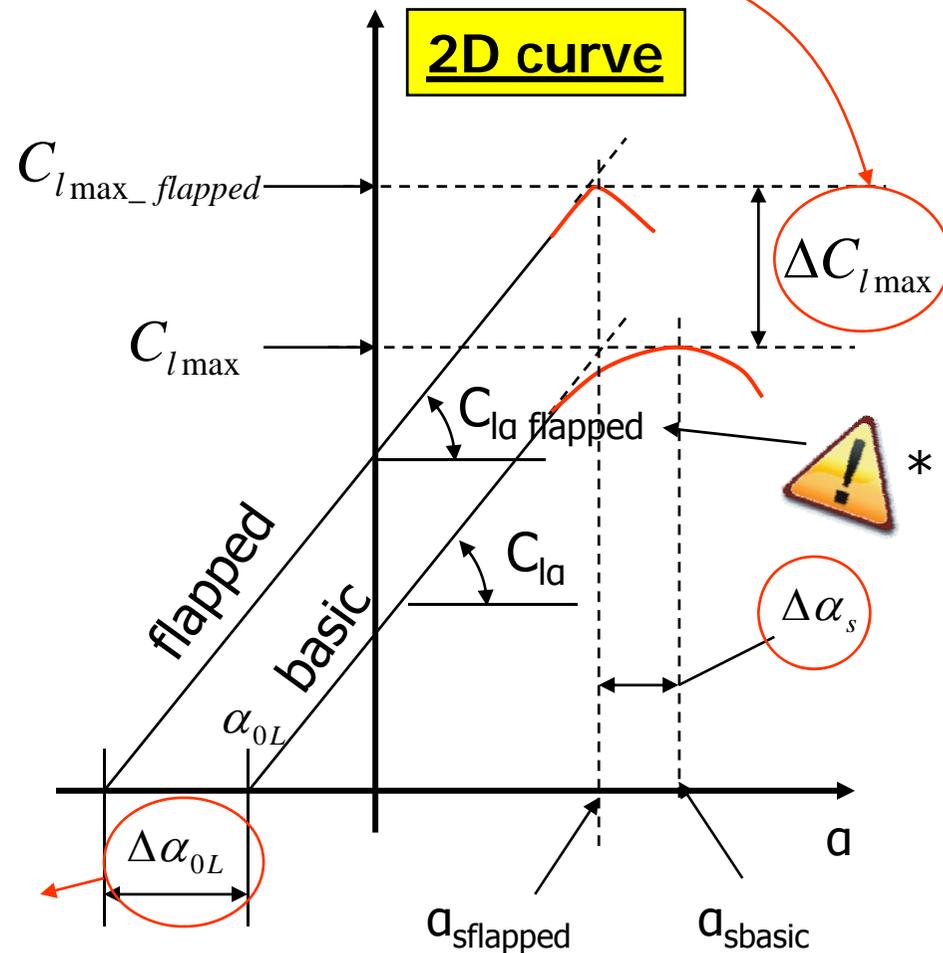
$$\Delta C_{Lmax} = \Delta C_{lmax} \frac{S_{wf}}{S} K_{\Delta}$$

Calcolato graficamente usando la curva di portanza 2D e la stima dell'angolo di stallo per la curva 2D flappata, come calcolato in seguito

$$\alpha_{s_{flapped}} = \alpha_{s_{basic}} + \Delta \alpha_s$$

da figura 9.18 Corke, $f(\delta_f)$

Calcolato prima

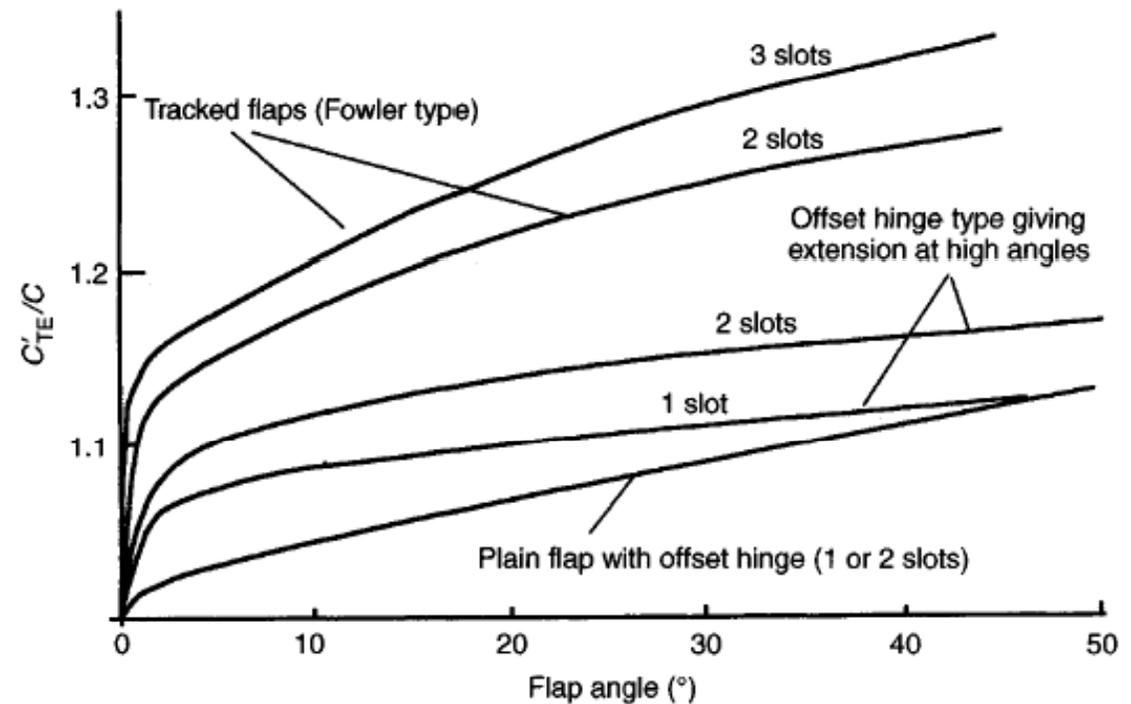


Valutazione dell'incremento di $C_{L_{max}}$ dovuto agli ipersostentatori al TE

Table 8.3

Leading edge device	$\Delta C_{L_{max}}$
Double-slotted flap	1.6
Triple-slotted flap	1.9
Single-slotted Fowler flap	$1.3 c'/c$
Double-slotted Fowler flap	$1.6 c'/c$
Triple-slotted Fowler flap	$1.9 c'/c$

Valori 2D FULL FLAP (Landing)



p. 8.11 Typical values of effective chord for trailing-edge flaps (fully extended).

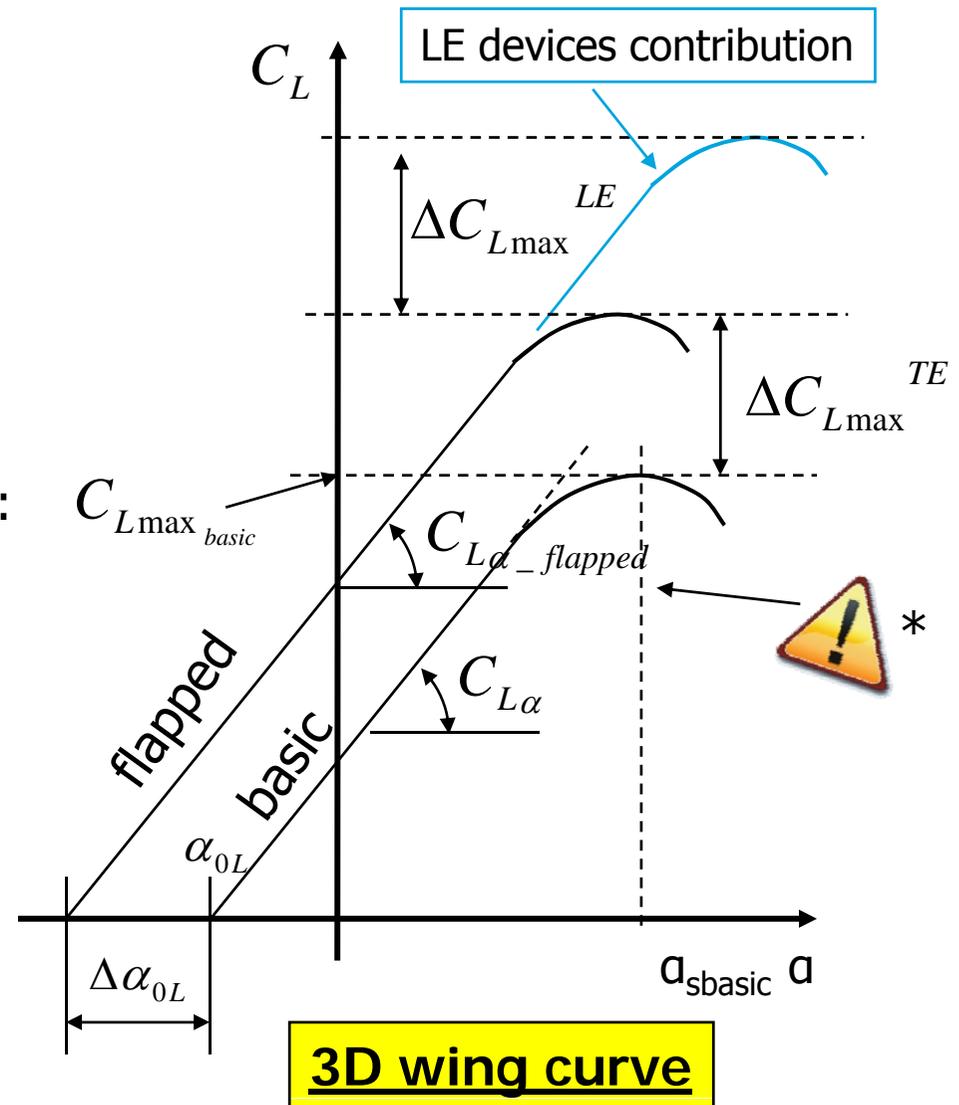
Valutazione del C_{Lmax} dovuto agli ipersostentatori al LE

Con $\Delta\alpha_{0L}$ e ΔC_{Lmax} possiamo disegnare la curva C_L - α modificata dal dispositivo di ipersostentazione del bordo di uscita

Per stimare il contributo al C_{Lmax} del dispositivo del bordo di attacco, le seguenti relazioni possono essere usate:

$$\Delta C_{Lmax} = \Delta C_{lmax} \frac{S_{wf}}{S} \cos \Lambda_{hinge_line}$$

High-lift device	ΔC_{lmax}
Leading edge devices	
Fixed slot	0.2
Leading edge flap	0.3
Kruger flap	0.3
Slat	0.4 c'/c



3D wing curve

Valutazione del C_{Lmax} dovuta agli ipersostentatori al LE

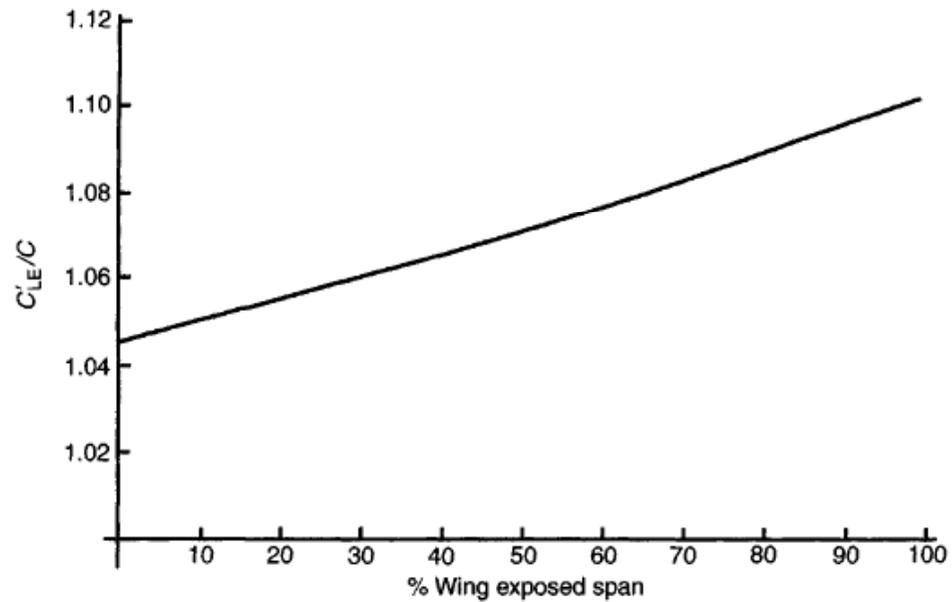
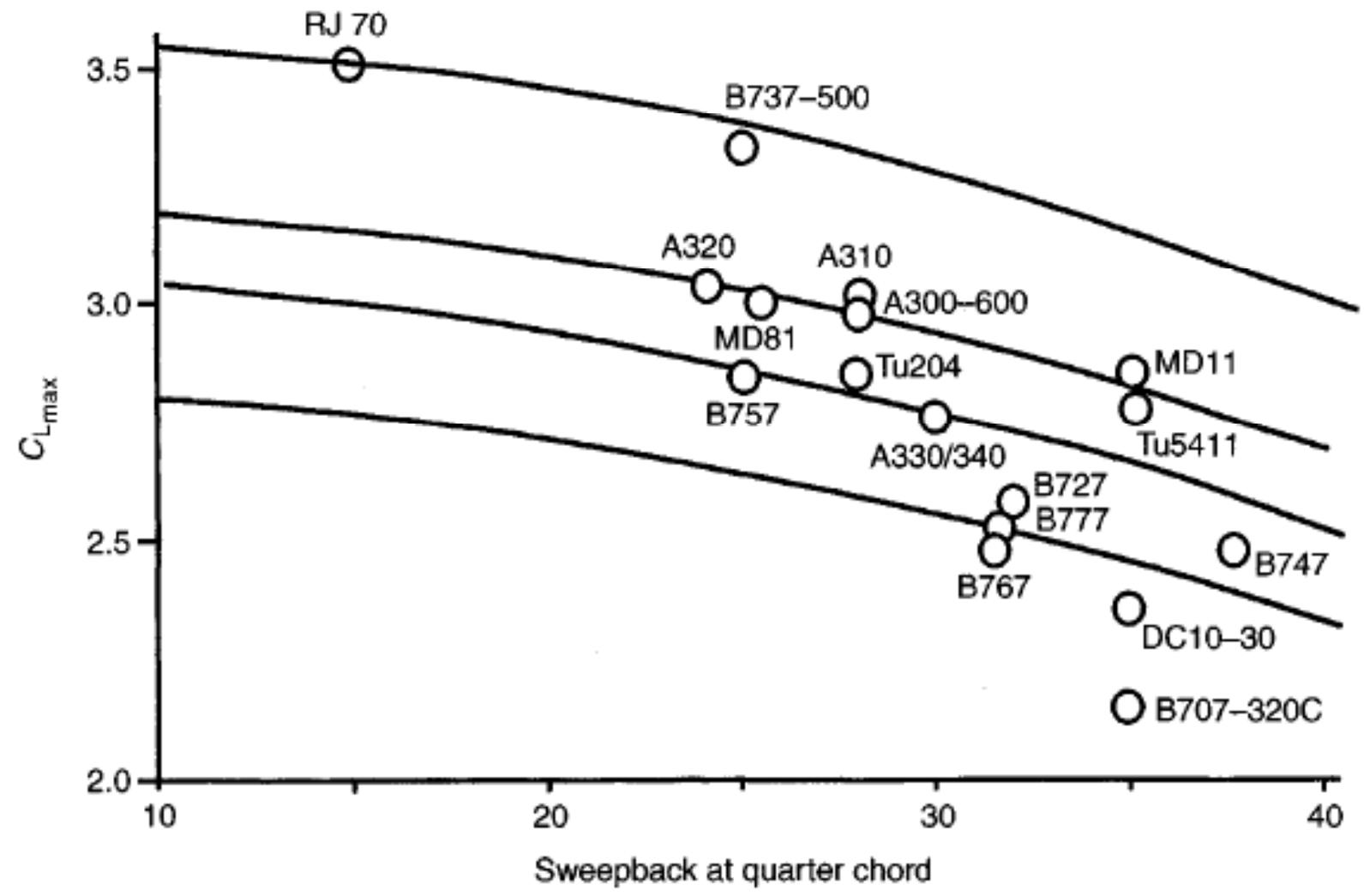


Fig. 8.10 Typical values of effective chord for leading-edge high-lift devices.

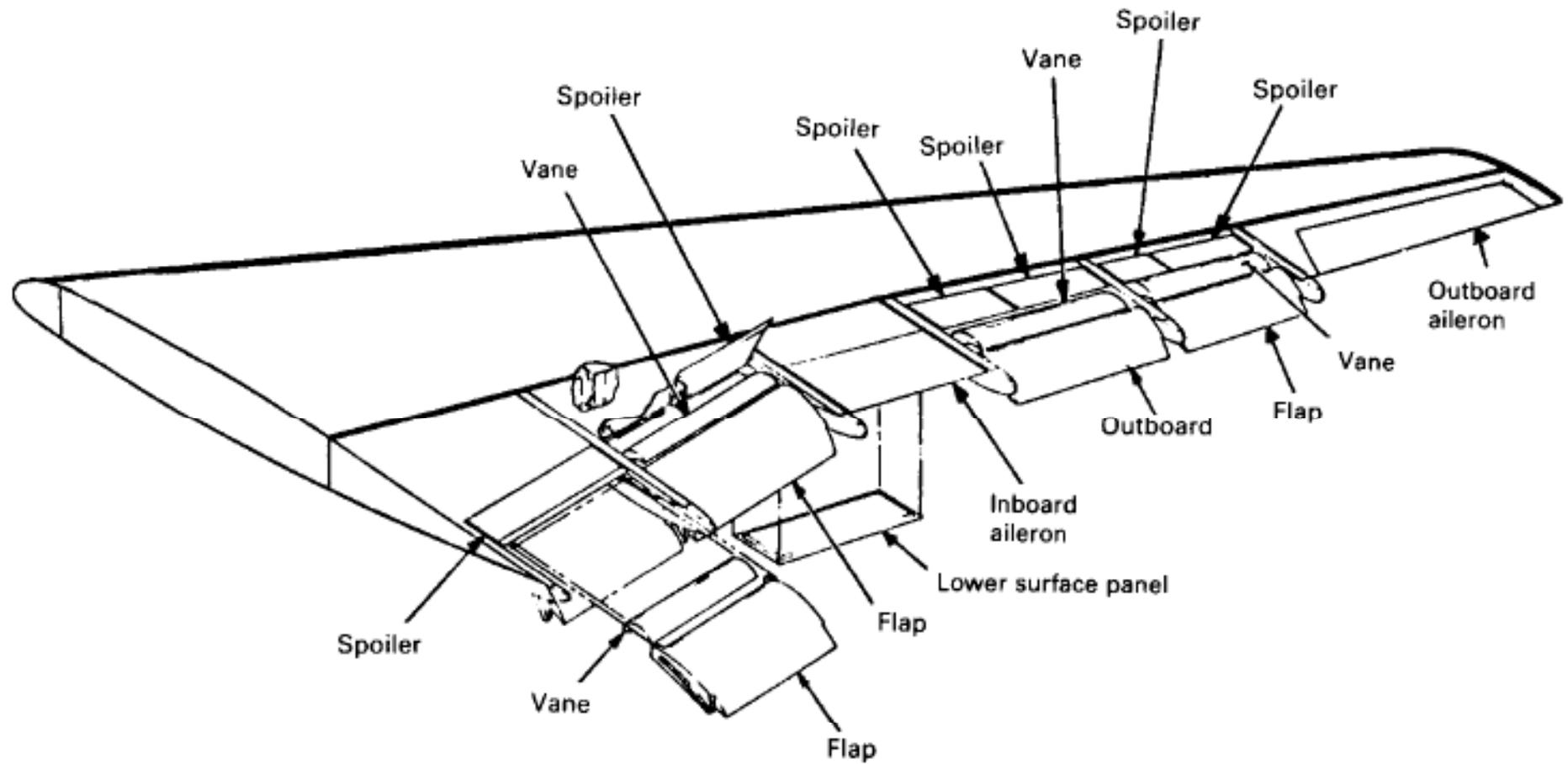
Table 8.2

Leading edge device	ΔC_{Lmax}
Krueger flap	0.3
Slat	$0.4 c'/c$

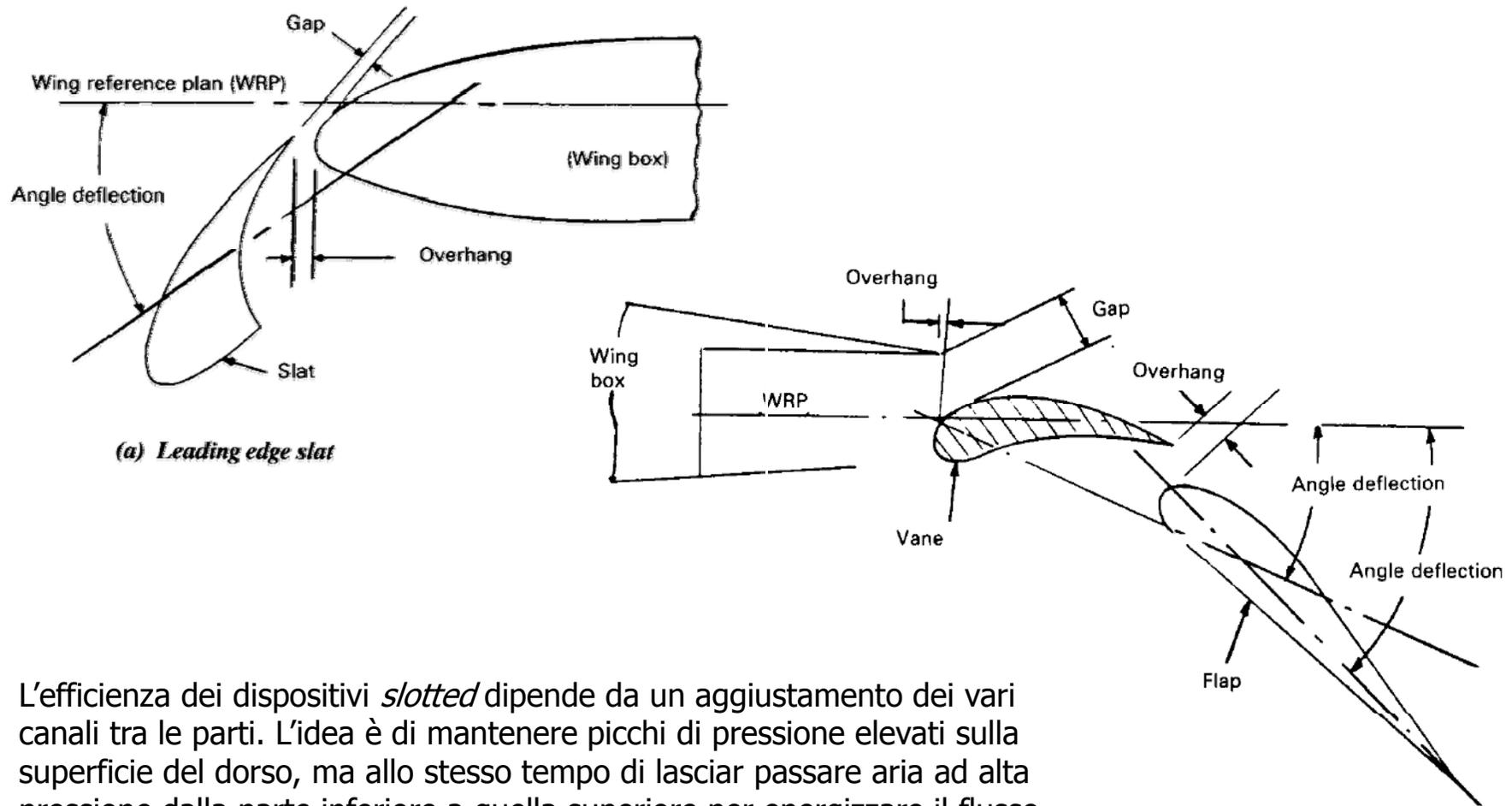
CL_max flappato



Una tipica disposizione delle parti mobili sul bordo di uscita



Progetto dei dispositivi di ipersostentazione a slot



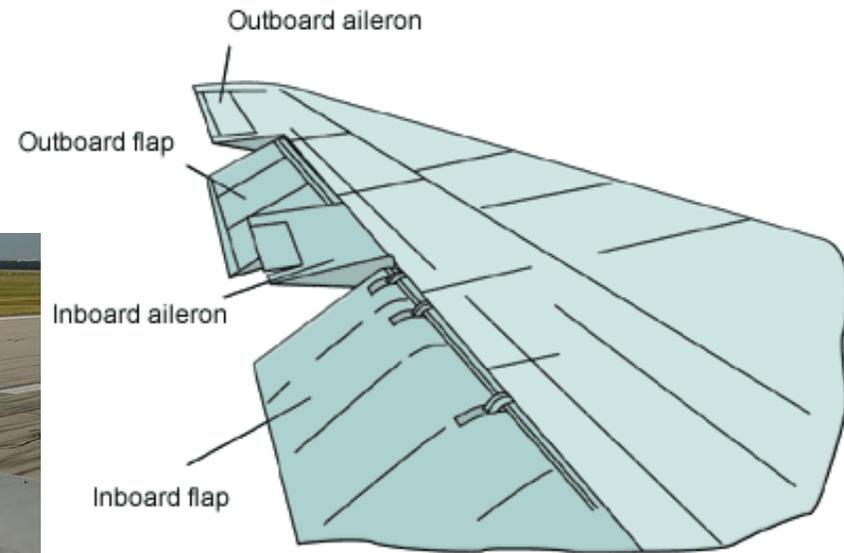
L'efficienza dei dispositivi *slotted* dipende da un aggiustamento dei vari canali tra le parti. L'idea è di mantenere picchi di pressione elevati sulla superficie del dorso, ma allo stesso tempo di lasciar passare aria ad alta pressione dalla parte inferiore a quella superiore per energizzare il flusso nello strato limite e ritardare la separazione. CFD e test sperimentali in galleria sono necessari a condurre un progetto così complesso.

Fonte Niu

Installazione di spoilers e alettoni

ailerons

spoilers



Installazione di spoilers e alettoni

Gli alettoni sono tipicamente collocati tra il 50 e il 90% dell'apertura alare.

Un alettone lavora come un plain flap. La posizione migliore per l'alettone è sicuramente vicina alla estremità a causa del grande braccio che consente un controllo efficace del rollio senza la necessità di avere grandi superfici di governo. Ma velivoli subsonici veloci hanno spesso alettoni interni di alta velocità e alettoni esterni di bassa velocità.

Ad alte velocità gli alettoni esterni possono essere soggetti al **fenomeno dell'inversione**, che è associato alla deformazione elastica dell'ala. In alcuni velivoli ad alte velocità questi alettoni sono addirittura bloccati.

Deflettendo l'alettone verso il basso l'incremento locale di portanza forza l'ala a ruotare con il bordo di attacco verso il basso. L'entità di tale rotazione può essere tale che le sezioni con l'alettone deflesso possono assumere un'incidenza negativa, creando quindi una portanza negativa.

Ad alte velocità gli spoilers nelle sezioni interne sono usati per il controllo del rollio. Anche a basse velocità gli spoilers sono usati insieme agli alettoni.

La funzione principale degli spoilers è in effetti di ridurre la portanza generata dall'ala. Ciò è usato per evitare che il velivolo rimbalzi dopo il contatto col suolo in atterraggio. Spesso il comando degli spoilers è azionato automaticamente all'inizio della rotazione delle ruote dei carrelli.

Approcci all'incremento attivo della portanza

Vectored thrust



Approcci all'incremento attivo della portanza

Upper surface blowing (USB) – Soffiamento sul dorso



Superfici dei flap localmente coperte con acciaio per alte temperature

Scarichi dei motori a getto



Questo tipo di architetture è implementato quando il valore del CL_{max} richiesto **supera 3.5 - 4**, che può essere considerato un limite superiore per i sistemi convenzionali di ipersostentazione

Approcci all'incremento attivo della portanza

Externally blown flaps (EBF)

