

STIMA DEL DOWNWASH

Approccio semplificato (proposto su McCormick).

Downwash Angle

The estimation of a representative angle at the tail that allows for the downwash from the wing is a difficult task. The vortex system shed from the wing is unstable and rolls up into two trailing vortices, so the model for the trailing vortex system is not well defined. Even if one could circumvent this problem, the downwash in the region of the horizontal tail will not be uniform over the tail. Thus, to use a simple correction to the tail angle of attack leaves something to be desired.

With these reservations in mind, the simple model illustrated in Figure 8.5 is proposed to calculate ϵ_a . The wing is replaced by a single bound vortex with a vortex trailing from each tip. As the vortex sheet rolls up, the edge moves in toward the centerline, so that the span between the two trailing vortices, b' , is less than the wingspan. For an elliptic wing, it can be shown that

$$\frac{b'}{b} = \frac{\pi}{4} \quad (8.18)$$

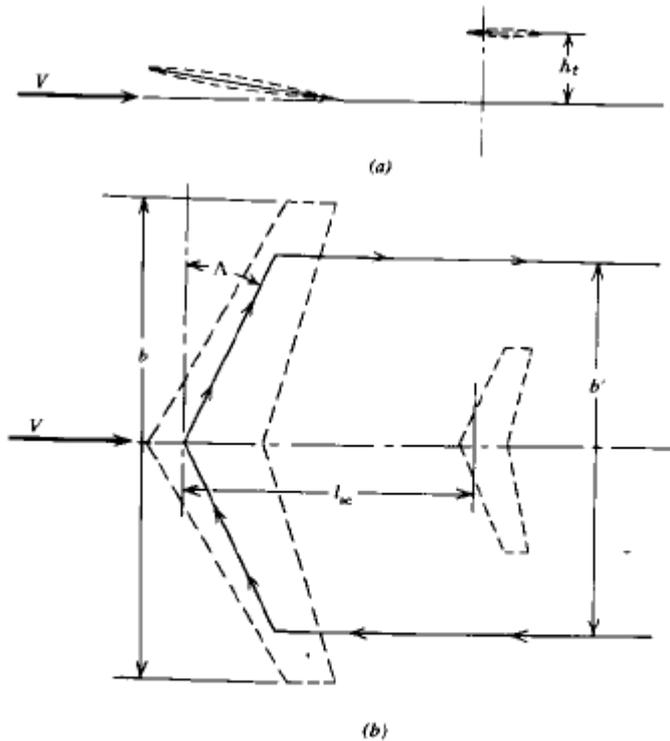


Figure 8.5 Equivalent vortex system for calculating downwash at tail. (a) Side view. (b) Planform view.

Using the model shown in Figure 8.5 and the Biot-Savart law (Equation 2.64), the graphs of Figure 8.6a and 8.6b were prepared. To obtain ϵ_α from these graphs, one first determines the distance, l_{ac} , from the quarter-chord of the tail to the quarter-chord of the wing. b' is calculated from Equation 8.18 to give l_{ac}/b' . Figure 8.6a is then entered interpolating for h_t/b' . Note that h_t is the height of the tail above the plane containing the wing and parallel to V . The value of ϵ_α obtained from Figure 8.6a is then multiplied by the factor presented in Figure 8.6b to correct for sweepback.

With the use of these graphs, an estimate of ϵ_α can now be made for the light plane of Figure 3.62. In this case,

$$l_{ac} = 159 \text{ in.}$$

$$b = 360 \text{ in.}$$

$$S = 160 \text{ ft}^2$$

Because of the dihedral and at an angle of attack, h_t is approximately zero. Using Equation 3.74 and a value for a_0 of 6.07/rad leads to a value for a of 4.19/rad. From Figure 8.6a,

$$\frac{A\epsilon_\alpha}{a} = 0.6$$

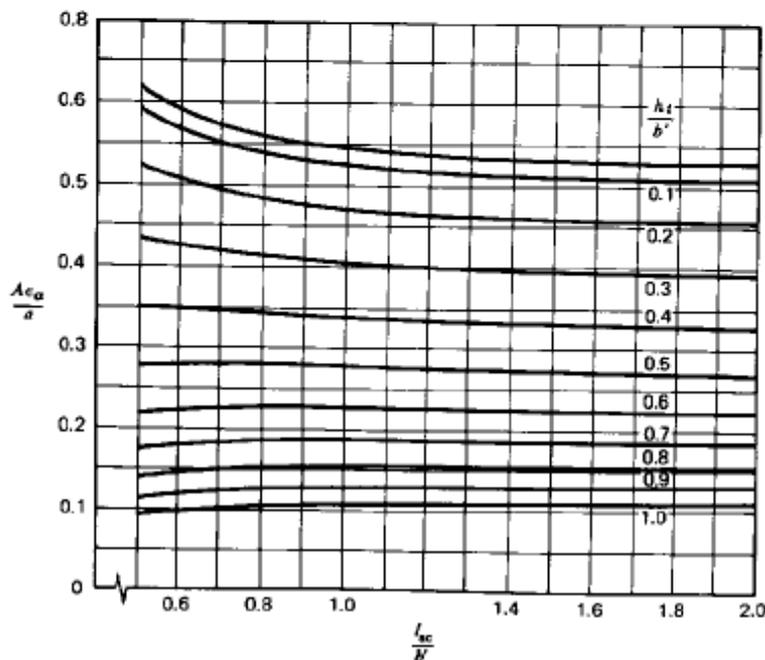


Figure 8.6a Downwash angle for $\Lambda = 0$.

Nel grafico 8.6a :

l_{ac} è la distanza tra il centro aerodinamico del piano di coda (oppure il punto dove vogliamo stimare il downwah)

b' è l'apertura alare corretta (apertura efficace) approssimabile a $b \cdot (\pi/4)$, vedi pag precedente

Sull'asse y è riportato un termine che è il prodotto di ϵ_α ($= (d\epsilon)/(d\alpha)$) per l'allungamento alare A (sarebbe AR) diviso a (pendenza della retta di portanza dell'ala.

$a (=C_{L\alpha})$ è ottenibile attraverso varie equazioni. Per ali a freccia ad esempio usare :

$$a = C_{L\alpha} = \frac{2 \cdot \pi \cdot AR}{2 + \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot AR^2 \cdot (1 - M^2)^2}{\bar{C}_{l\alpha}^2 \cdot (1 - M^2)^2} \cdot \left(1 + \frac{\tan^2 \Lambda_{\frac{c}{2}}}{(1 - M^2)^2}\right) + 4}}$$

Se il gradiente di portanza del profilo medio è espresso in [1/°] il risultato sarà in [1/°].
 Convertirlo in [1/rad] (*57.3).

Quindi letto sul diagramma il valore di $\frac{AR \cdot \epsilon_\alpha}{a}$ (attenzione che a deve essere espresso in [1/rad]

,ad esempio ha un valore intorno a 4.0, 4.5) si può quindi ricavare ϵ_α , cioè il downwash = $d\epsilon/d\alpha$.

Il valore del downwash precedentemente ricavato è relativo ad angolo di freccia nullo.
 può essere poi corretto per angolo di freccia con il grafico qui riportato.

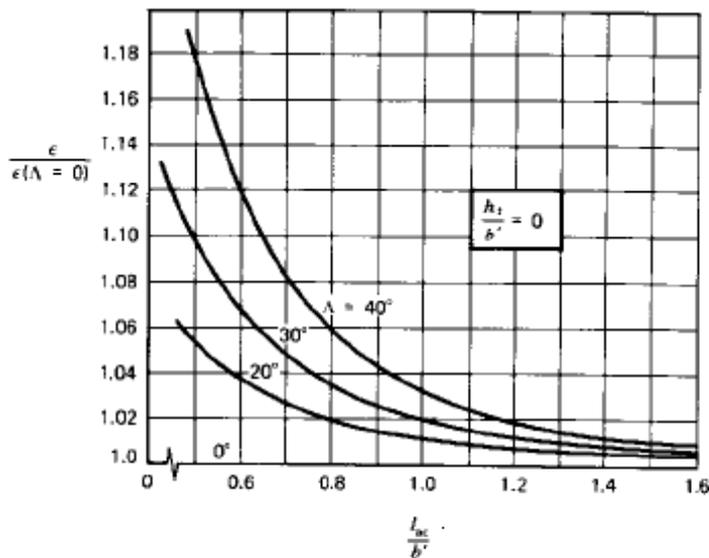


Figure 8.6b Correction to downwash angle for sweepback.

Thus,

$$\epsilon_\alpha = 0.447$$

Un approccio leggermente più accurato è quello proposto in Roskam:

Stima del downwash sul piano di coda

- Data la posizione del piano di coda rispetto all'ala, calcolare i valori di "m" ed "r" (distanze dei punti a c/4 radice ala e piano di coda adimensionalizzati rispetto alla semiapertura alare).

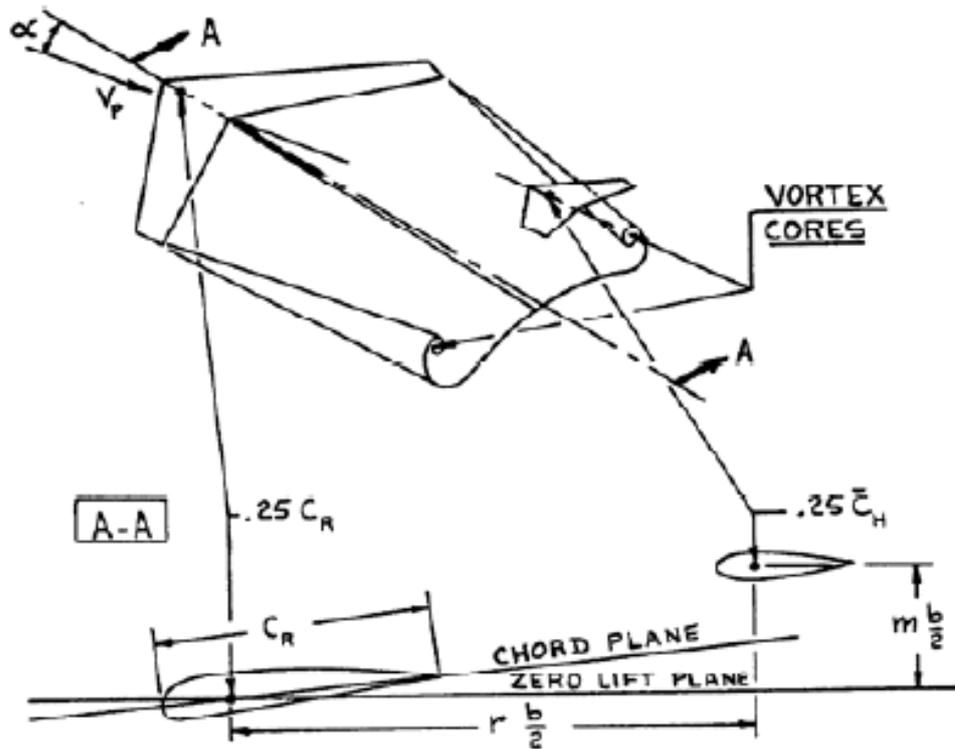
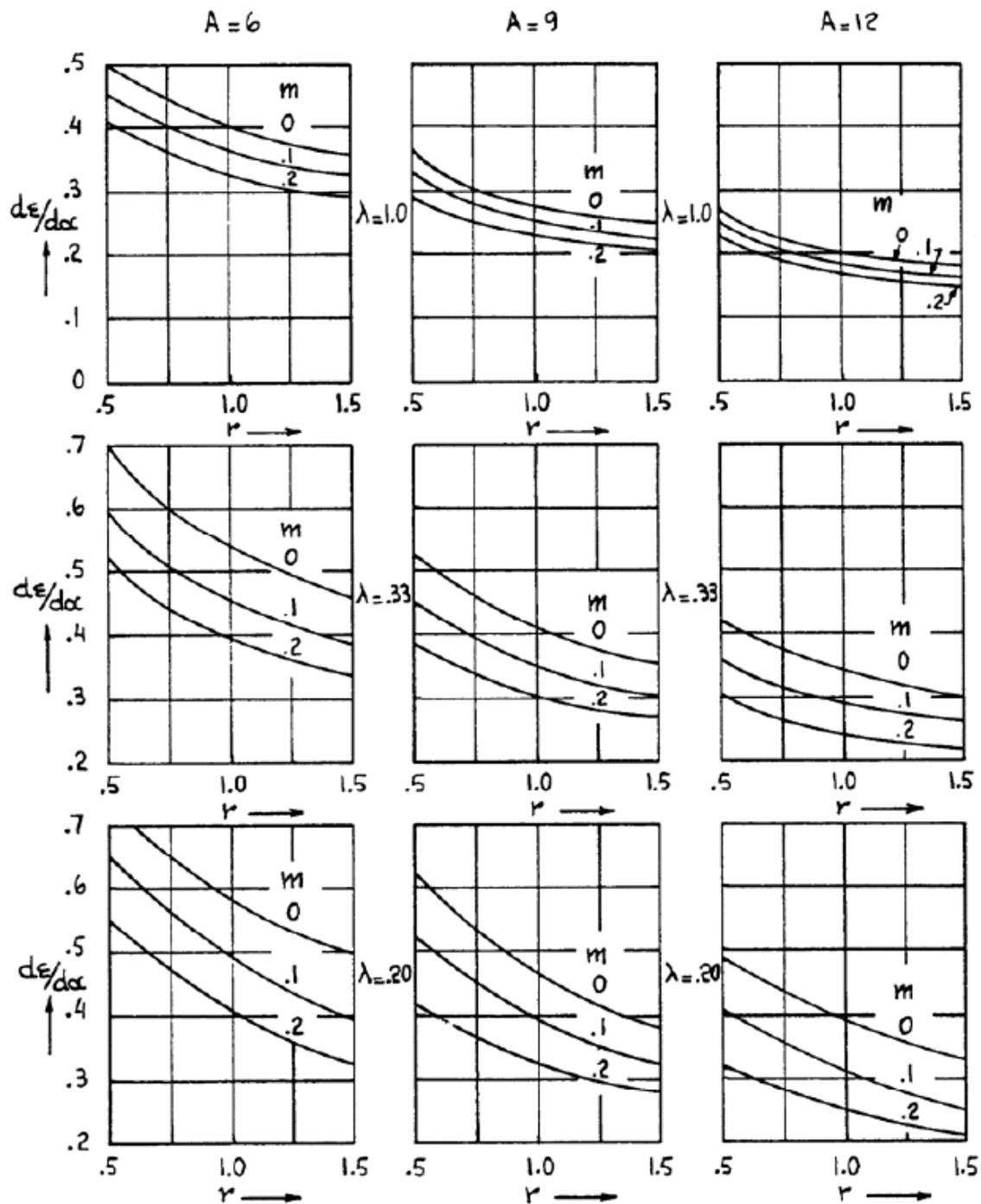


Figure 3.23 Geometry for Downwash Calculation

- Stimare il valore del downwash per ala non a freccia $\left(\frac{d\varepsilon}{d\alpha}\right)_{\Delta=0}$ (unswept) dai diagrammi della pagina seguente (fig. 1) interpolando per il valore di A (=AR allungamento alare), del rapporto di rastremazione dell'ala λ e dei valori di "m" ed "r", vedi fig. 1.



$m = \frac{\text{Vertical Distance of Horizontal Tail A.C. to the Zero Lift Line}}{\text{Semispan}}$
 $r = \frac{\text{Distance from Root Quarter Chord of Wing to Horizontal Tail A.C.}}{\text{Semispan}}$

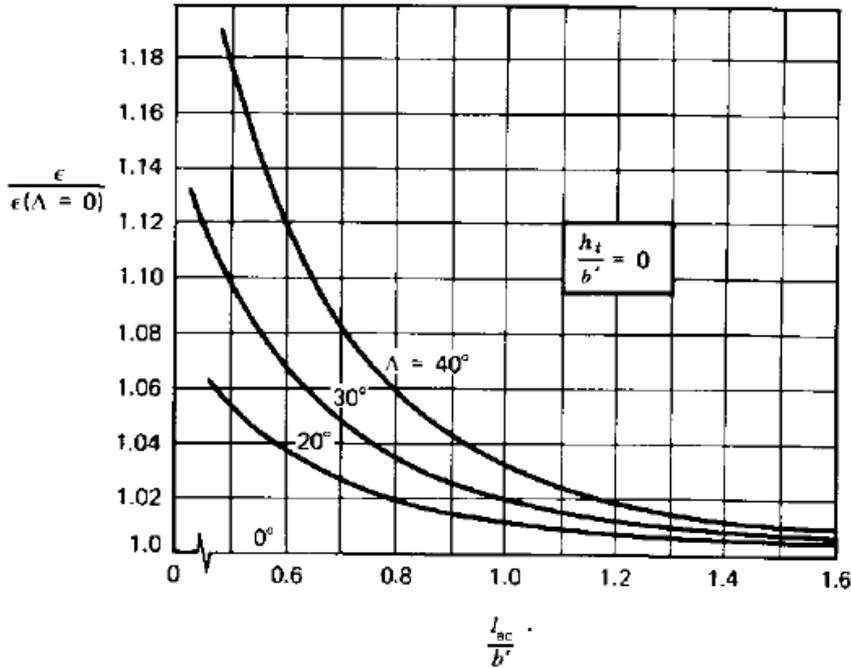
Notes:

1. Valid only for straight tapered, unswept wings at $M=0$
2. For other aspect ratios and taper ratios interpolate or extrapolate
3. See Reference 3.19 for a more general method

Figure 3.25 Charts for Estimating $d\epsilon/d\alpha$ at the Horizontal Tail Center Line (Data Derived from Reference 3.14)

Figura downwash n. 1

Infine, anche per questo metodo correggere per angolo di freccia con il diagramma seguente.



Il downwash così stimato è valido in regime subsonico. Per Mach elevati (>0.3), quindi per tutti i velivoli da trasporto a getto, usare la seguente correzione per stimare il downwash a Mach di crociera.

$$\left. \frac{d\epsilon}{d\alpha} \right|_M = \left. \frac{d\epsilon}{d\alpha} \right|_{M=0} \frac{C_{L\alpha}|_M}{C_{L\alpha}|_{M=0}}$$

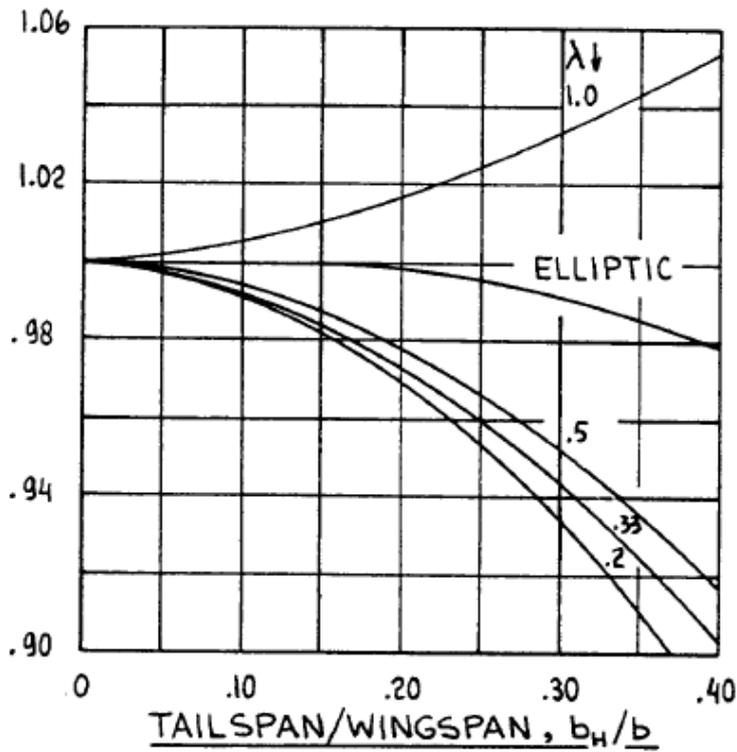
I due gradienti della retta di portanza dell'ala si possono stimare (a $M=0$ ed a $M=es. 0.82$), attraverso l'equazione proposta alla pagina 3.

Attenzione, il valore del downwash così stimato si riferisce al downwash calcolato nella linea di mezzeria. In effetti bisogna invece considerare il downwash alla stazione y corrispondente alla corda media aerodinamica del piano orizzontale. La correzione dipenderà ovviamente da quanto è grande l'apertura del piano rispetto al sistema vorticoso alare (cioè l'apertura alare).

Si possono usare i diagrammi della pagina seguente per avere una ulteriore correzione.

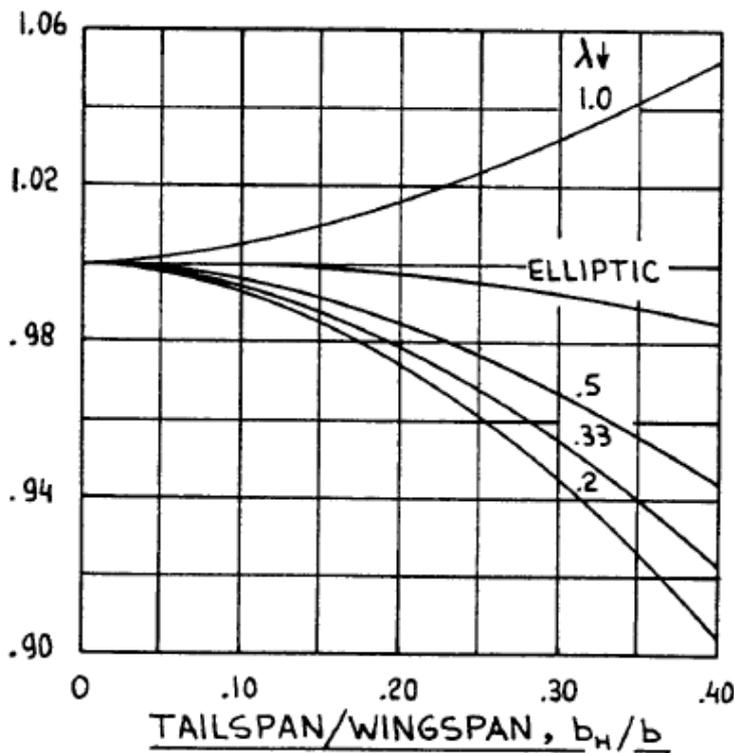
Ad esempio per $AR=9$, rastremazione dell'ala $=0.33$ e per un piano di coda con $bh/b=0.2$, il downwash corretto risulta pari a 0.98 di quello stimato sulla centerline.

AVERAGE DOWNWASH AT THE
HORIZONTAL TAIL
DOWNWASH AT THE CENTER-
LINE OF THE HORIZONTAL TAIL



$A = 6$

AVERAGE DOWNWASH AT THE
HORIZONTAL TAIL
DOWNWASH AT THE CENTER-
LINE OF THE HORIZONTAL TAIL



$A = 9$

Figure 3.26 Correction to $d\epsilon/d\alpha$ for Variations Across the Span
(Data from Reference 3.14)