15 -16

progettazione della schiera

- Deflessione imposta alla corrente abbastanza limitata (qualche decina di gradi);
- Profili sottili e poco incurvati.

- Perdite di “anello” (annulus losses)
- Perdite di profilo (profile losses)
- Perdite per “flussi secondari” (secondary losses)

progettazione della schiera

- Perdite di “anello” (annulus losses)

$$C_{Da} = 0{,}02 \cdot \frac{s}{H}$$

s è il passo palare; H è lo sviluppo radiale della pala

- Perdite per “flussi secondari” (secondary losses)

$$C_{Ds} = 0{,}018 \cdot C_L^2$$

$$C_{Dtot} = C_D + C_{Da} + C_{Ds} = C_D + 0{,}02 \cdot \frac{s}{H} + 0{,}018 \cdot C_L^2$$

progettazione della schiera

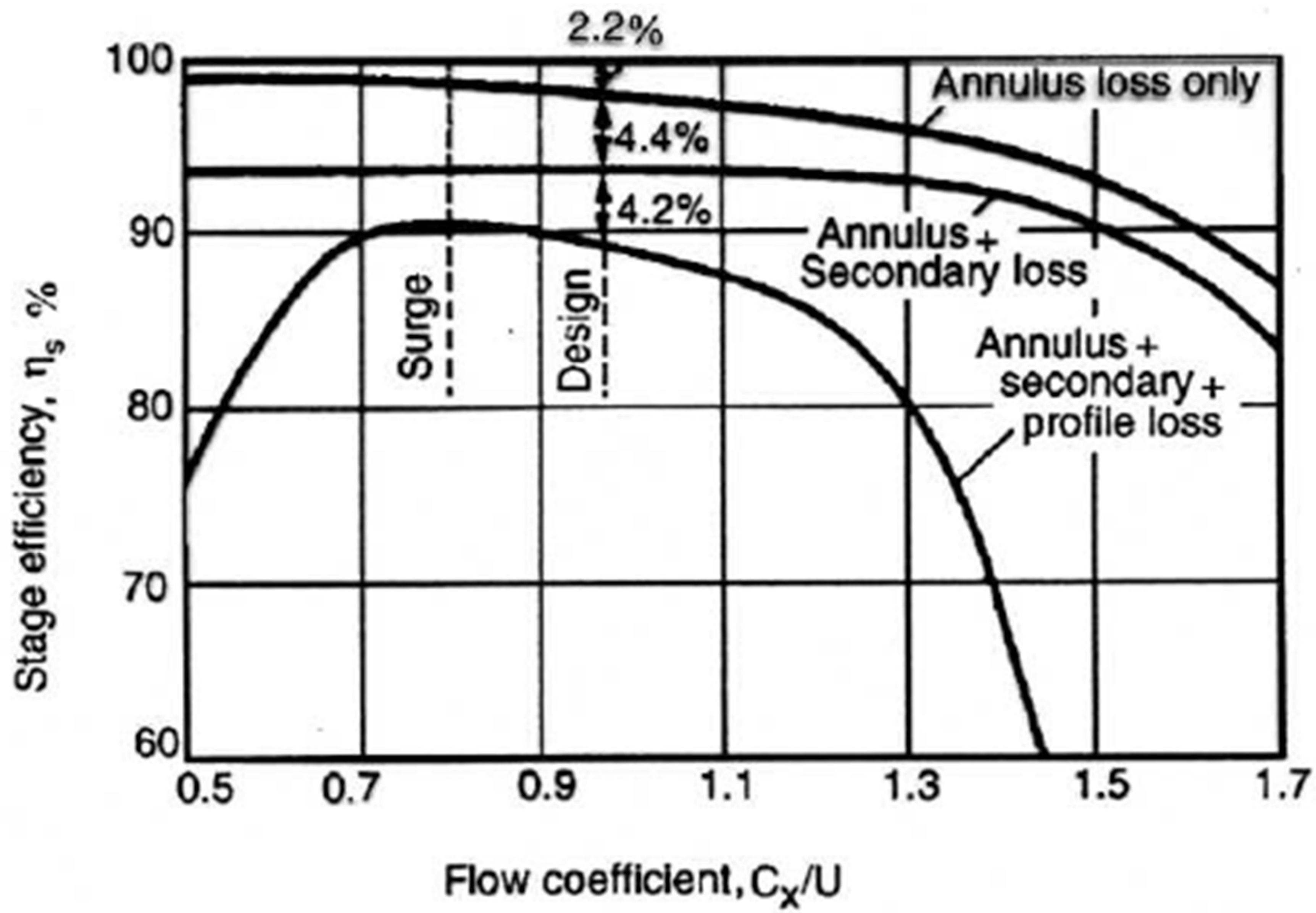


FIG. 3.13. Losses in a compressor stage (Howell 1945). (Courtesy of the Institution of Mechanical Engineers).

progettazione della schiera

Correlazione di Howell $\varepsilon^* = 0{,}8 \cdot \varepsilon_s$

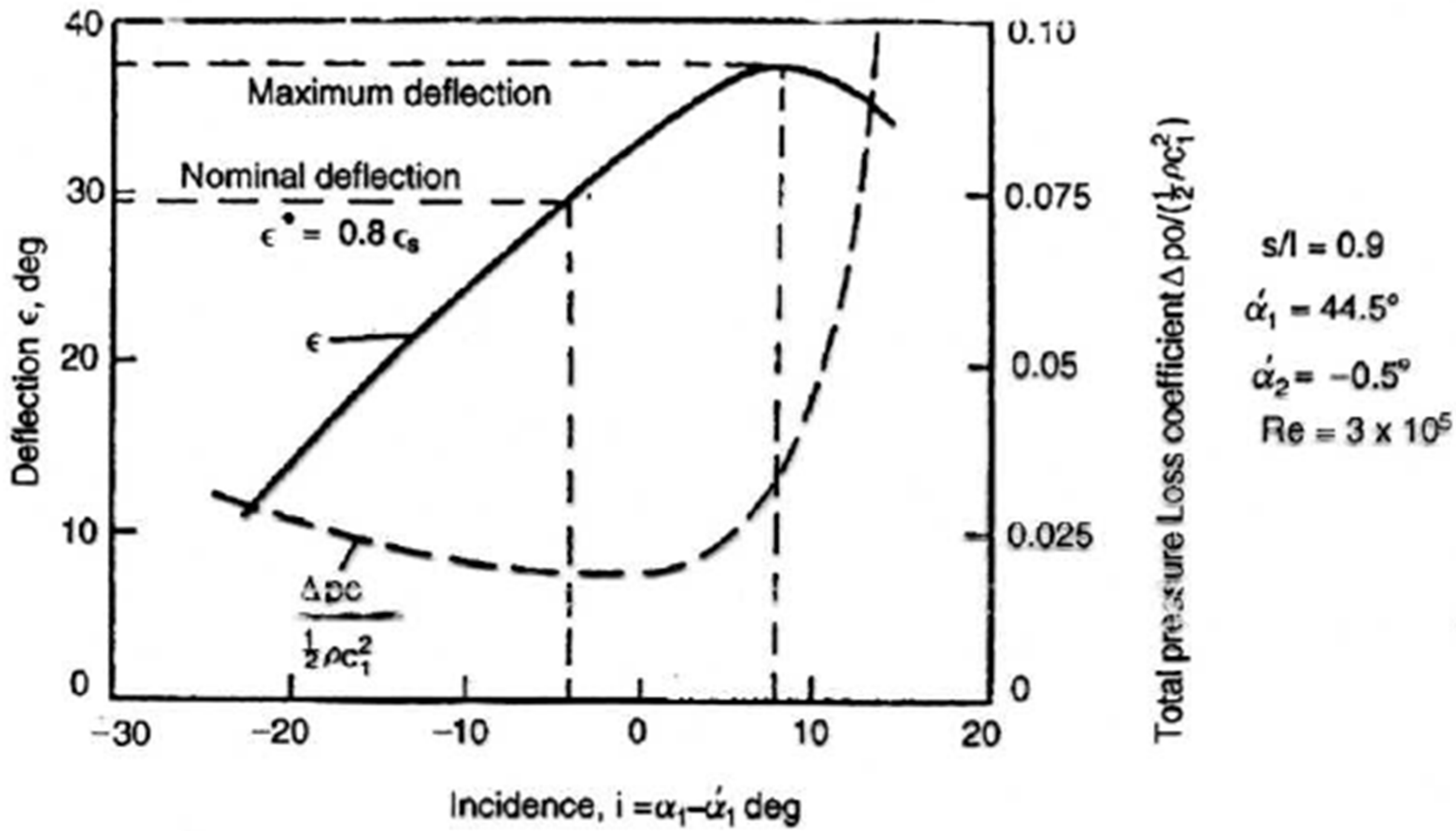
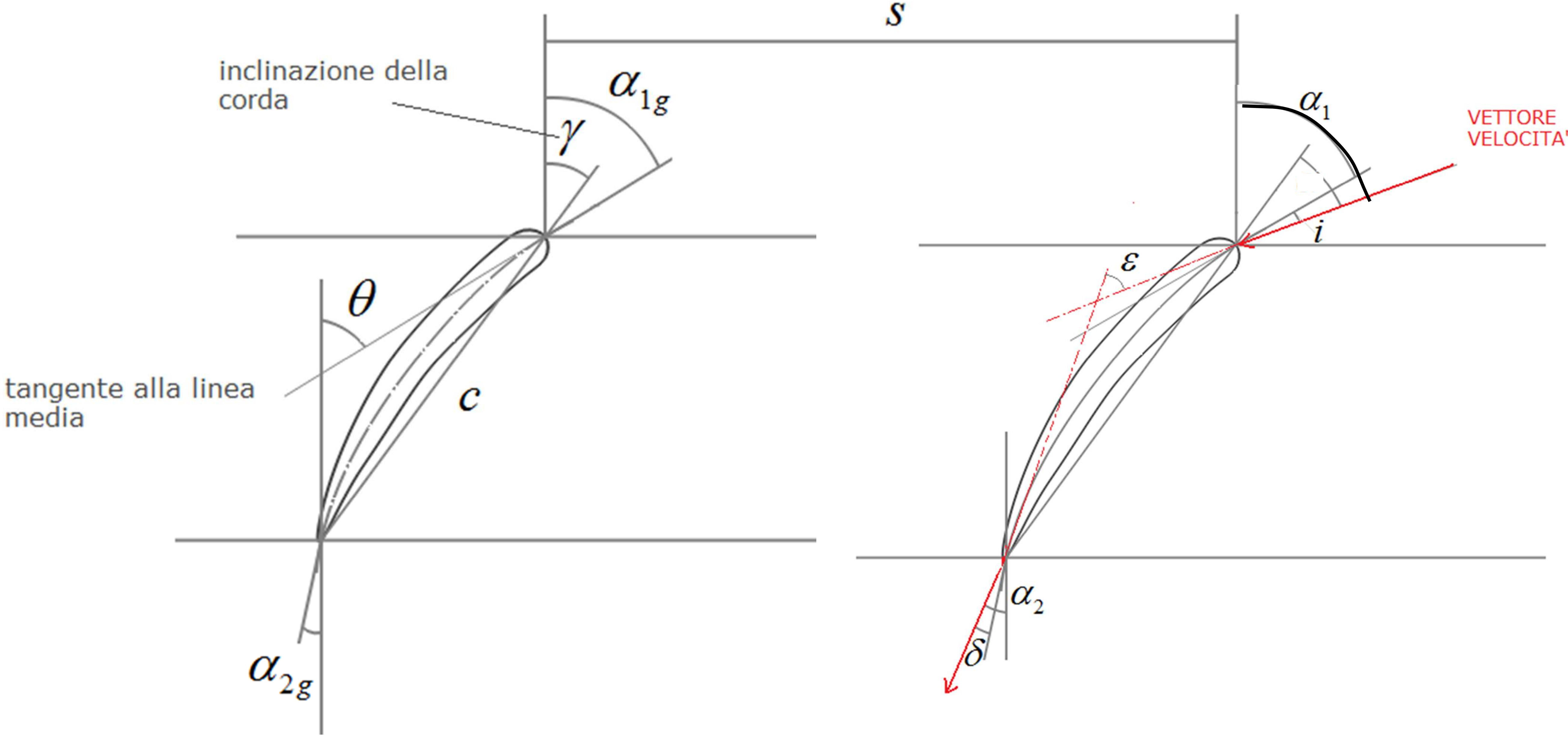


FIG. 3.12. Compressor cascade characteristics (Howell 1942). (By courtesy of the Controller of H.M.S.O., Crown copyright reserved).



s
inclinazione della corda
α_{1g}
γ
θ
tangente alla linea media
c
α_{2g}
α_1
VETTORE VELOCITA'
i
ε
α_2
δ

progettazione della schiera

La correlazione di Howell consiste una serie di correlazioni:

- "prima" correlazione di Howell : permette di calcolare gli angoli del flusso attesi da una schiera di data solidità ($\varepsilon = \varepsilon^*$)

- "seconda" correlazione di Howell : permette di trovare, noti gli angoli di flusso, i corrispondenti valori degli angoli geometrici della schiera ($\varepsilon = \varepsilon^*$)

- "terza" correlazione di Howell : permette di calcolare le prestazioni in off-design (quando $\varepsilon \neq \varepsilon^*$)

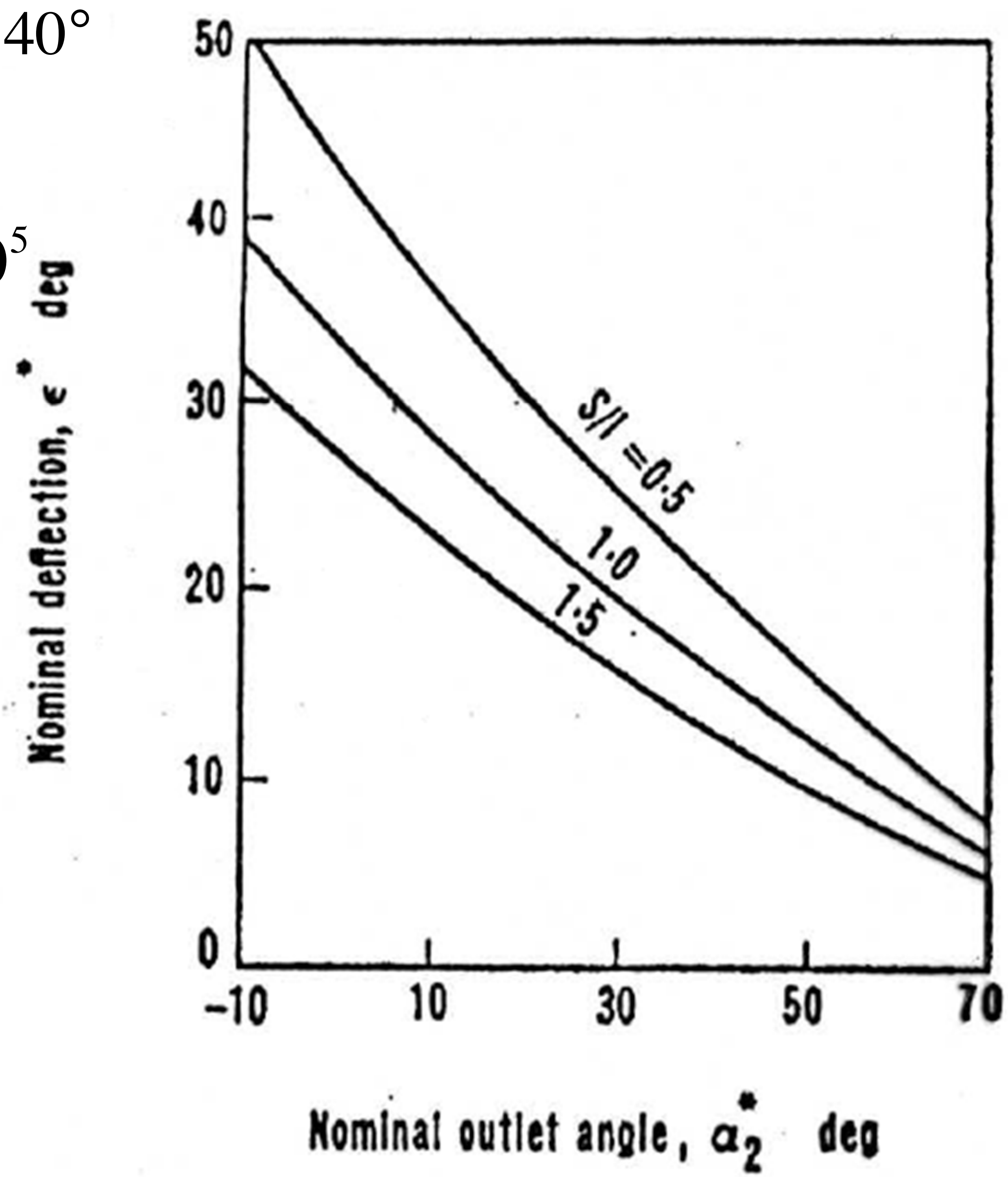
progettazione della schiera
1. Correlazione di Howell

$$\varepsilon^* = f\left(\frac{s}{\ell}, \alpha_2^*, \mathrm{Re}\right) \qquad 20° < \theta < 40°$$

$$\boxed{\varepsilon^* = f\left(\frac{s}{\ell}, \alpha_2^*\right)} \qquad \mathrm{Re} > 3\cdot 10^5$$

$$\varepsilon^* = \alpha_1^* - \alpha_2^*$$

$$tg\alpha_1^* - tg\alpha_2^* = \frac{1{,}55}{1 + 1{,}5\dfrac{s}{\ell}}$$



progettazione della schiera
2. Correlazione di Howell

$$\delta = f\left(\theta,\ \text{forma della pala}, \frac{s}{\ell}, \gamma\right)$$

δ deviazione

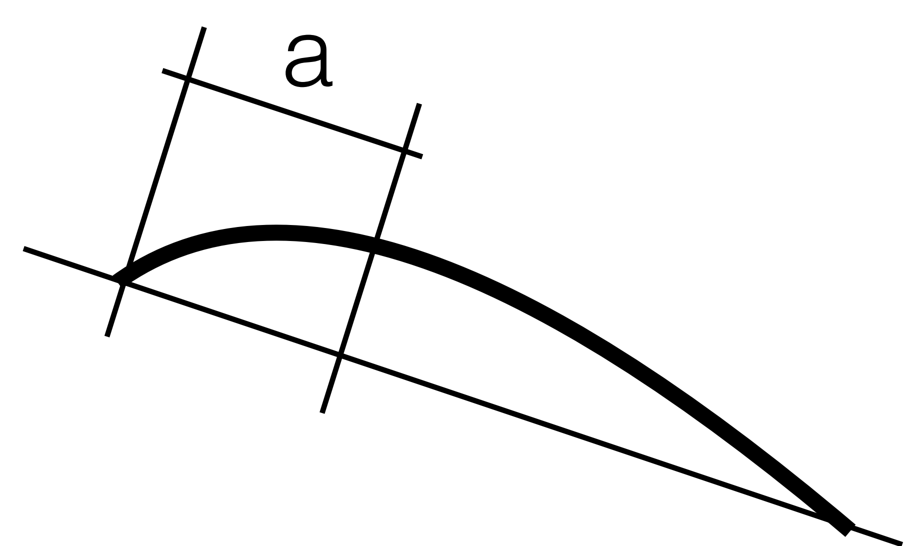
γ angolo di calettamento

$$\boxed{\delta^* = m\theta\left(\frac{s}{\ell}\right)^n}$$

$n = \frac{1}{2}$ per schiere di compressore

$n = 1$ per schiere di IGV (di espansione)

$$\boxed{m = 0,23\cdot\left(2\cdot\frac{a}{\ell}\right)^2 + \frac{\alpha_2^*}{500}}$$



per schiere IGV di espansione

$$m = 0,19$$

progettazione della schiera
2. Correlazione di Howell

$$\delta^* = \alpha_2^* - \alpha_{2g}$$

$$\alpha_2^* = \frac{\alpha_{2g} + 0,23\left(\frac{2a}{\ell}\right)^2 \theta \cdot \sqrt{\frac{s}{\ell}}}{1 - \frac{\theta}{500} \cdot \sqrt{\frac{s}{\ell}}}$$

progettazione della schiera
2. Correlazione di Howell

$$y, \alpha_2 = f\left(\alpha_1, \mathrm{Re}, M_1, forma\right)$$

(y coeff. di perdita)

se Re è elevato, M1<0,3, il profilo è sottile e siamo nelle condizioni nominali:

$$\alpha_2^* = f\left(\frac{1}{\sigma}, \alpha_1^*\right)$$

$$\boxed{\alpha_1^* = f'\left(\frac{1}{\sigma}, \alpha_2^*\right)} \quad \rightarrow \quad \varepsilon^* = f\left(\frac{s}{\ell}, \alpha_2^*\right)$$

$$\boxed{\varepsilon^* = f''\left(\frac{1}{\sigma}, \alpha_2^*\right)} \quad \rightarrow \quad tg\alpha_1^* - tg\alpha_2^* = \frac{1{,}55}{1 + 1{,}5\frac{s}{\ell}}$$

progettazione della schiera
2. Correlazione di Howell
schema di calcolo

Scelgo θ σ

dalla 2 correlazione trovo $\delta *$

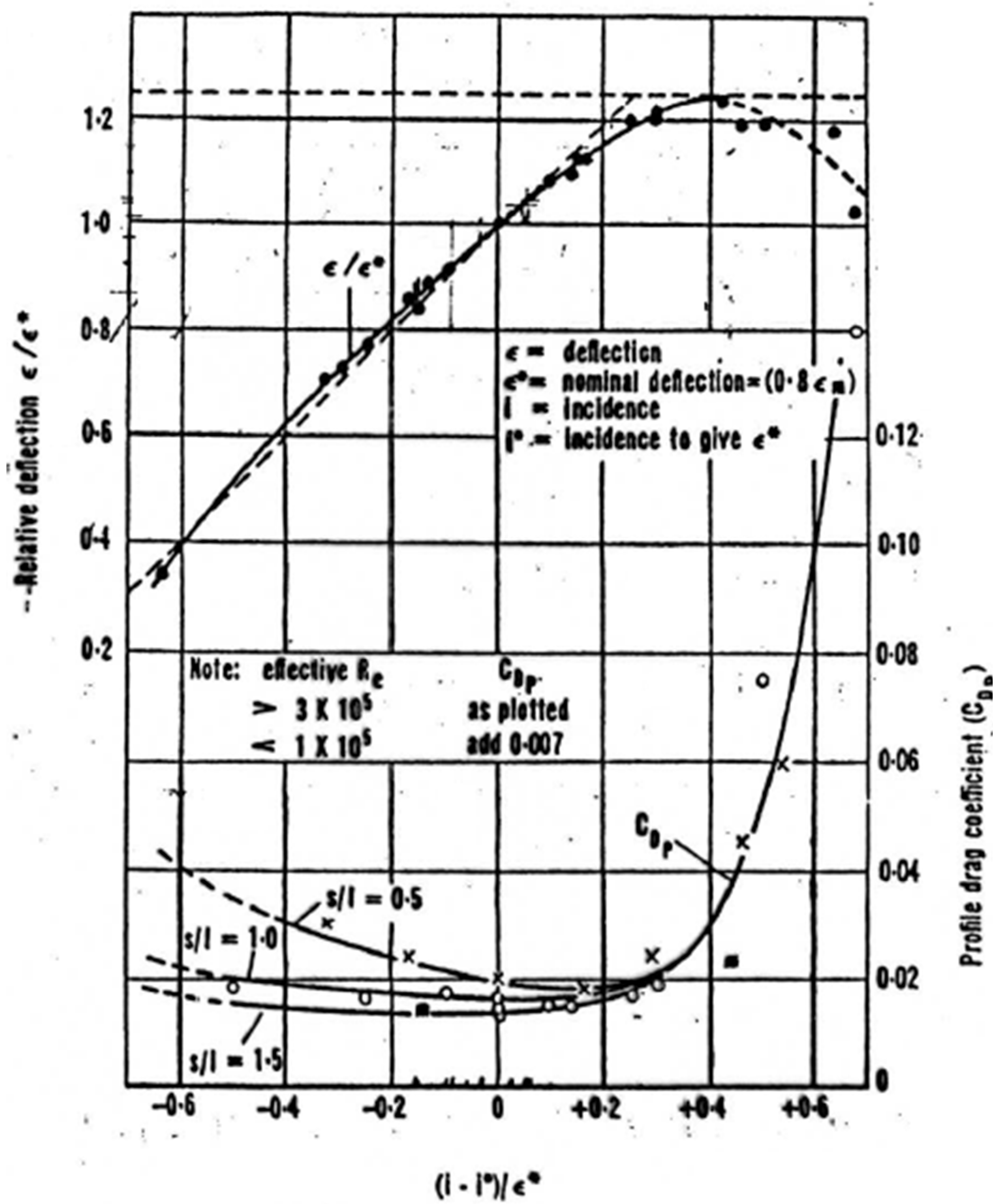
dalla curva di ε trovo $\varepsilon *$

$$i^* = \varepsilon^* - \theta + \delta^*$$

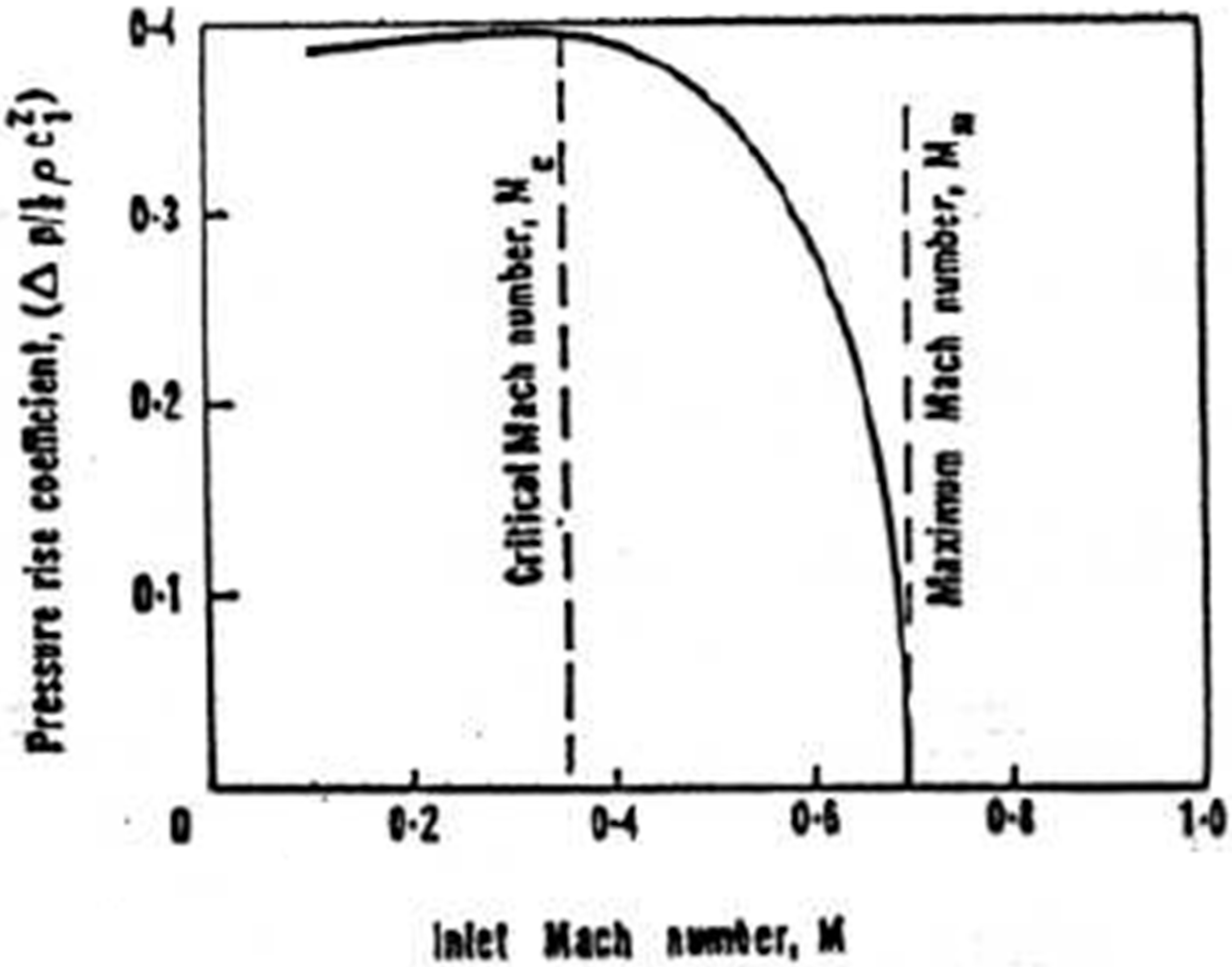
$$\alpha_{1g} = \alpha_1^* - i^*$$

$$\alpha_{2g} = \alpha_2^* - \delta^*$$

Condizioni fuori progetto



Condizioni fuori progetto

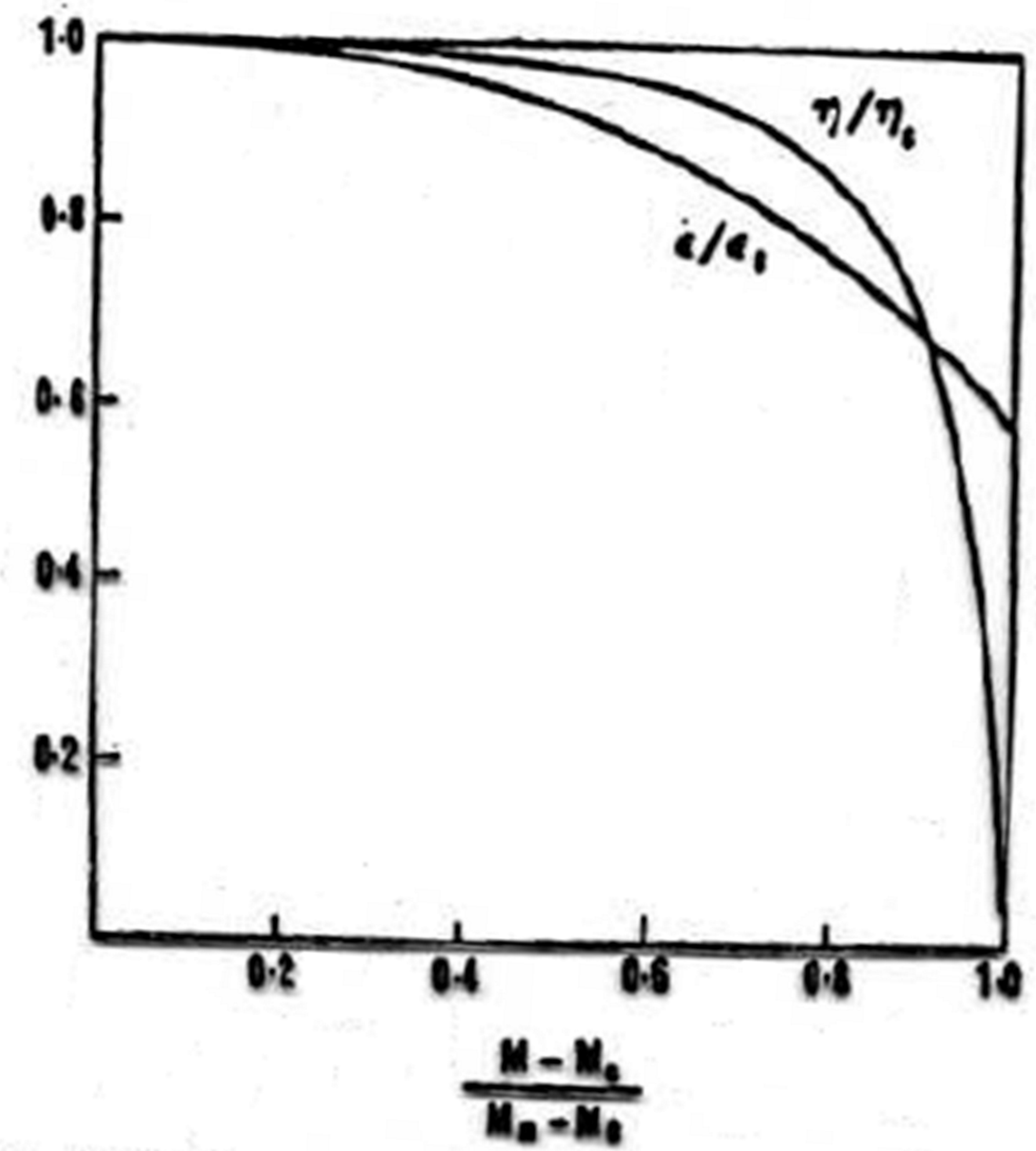


$s/l = 0{\cdot}9$ $\quad \xi = 22°$

$\alpha'_1 = 44{\cdot}5°$ $\quad \alpha_2^* = 10{\cdot}6°$

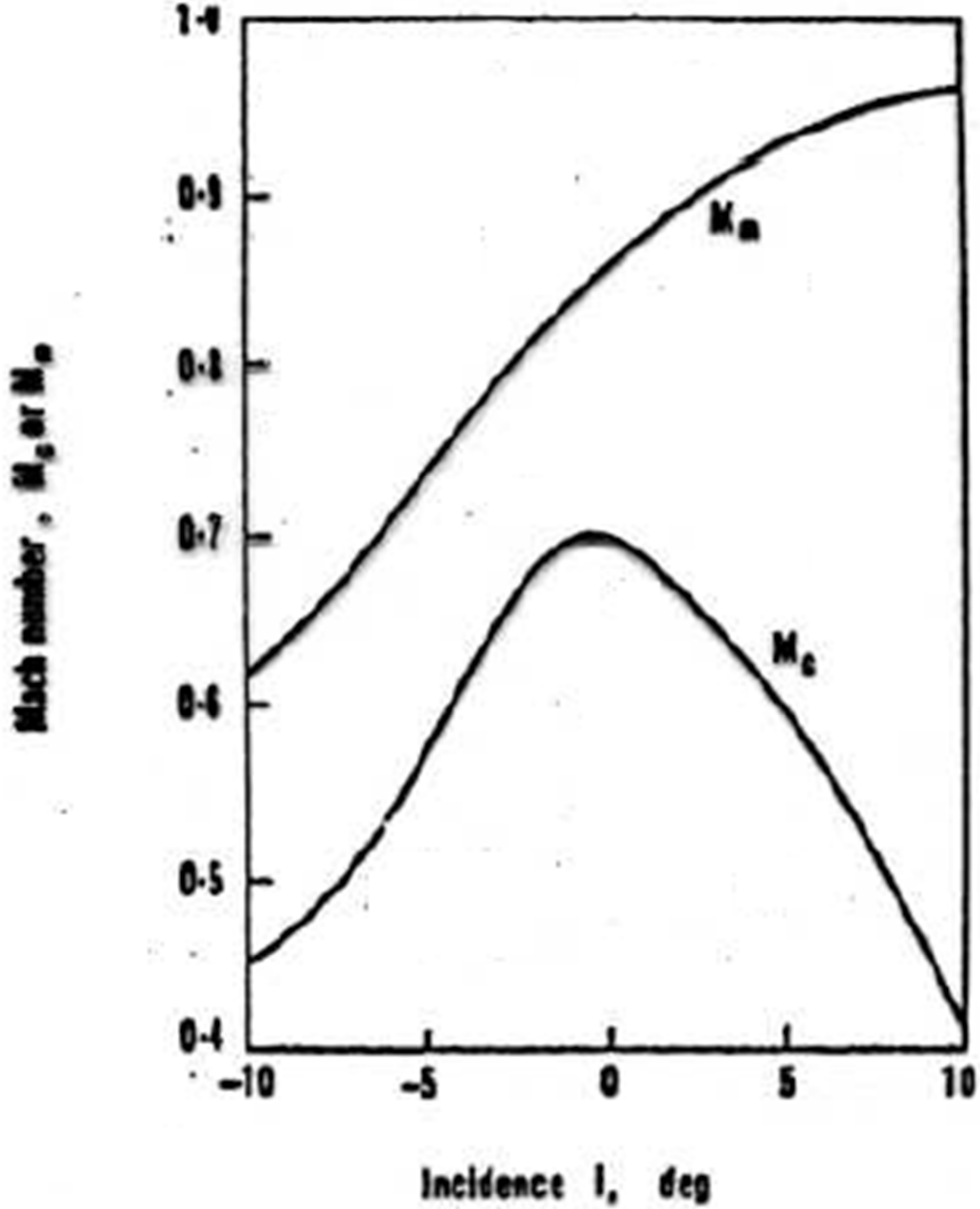
$\alpha'_2 = -0{\cdot}5°$ $\quad R_e = 3 \times 10^5$

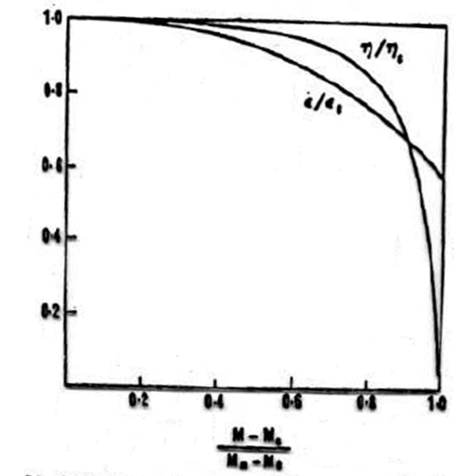
Condizioni fuori progetto



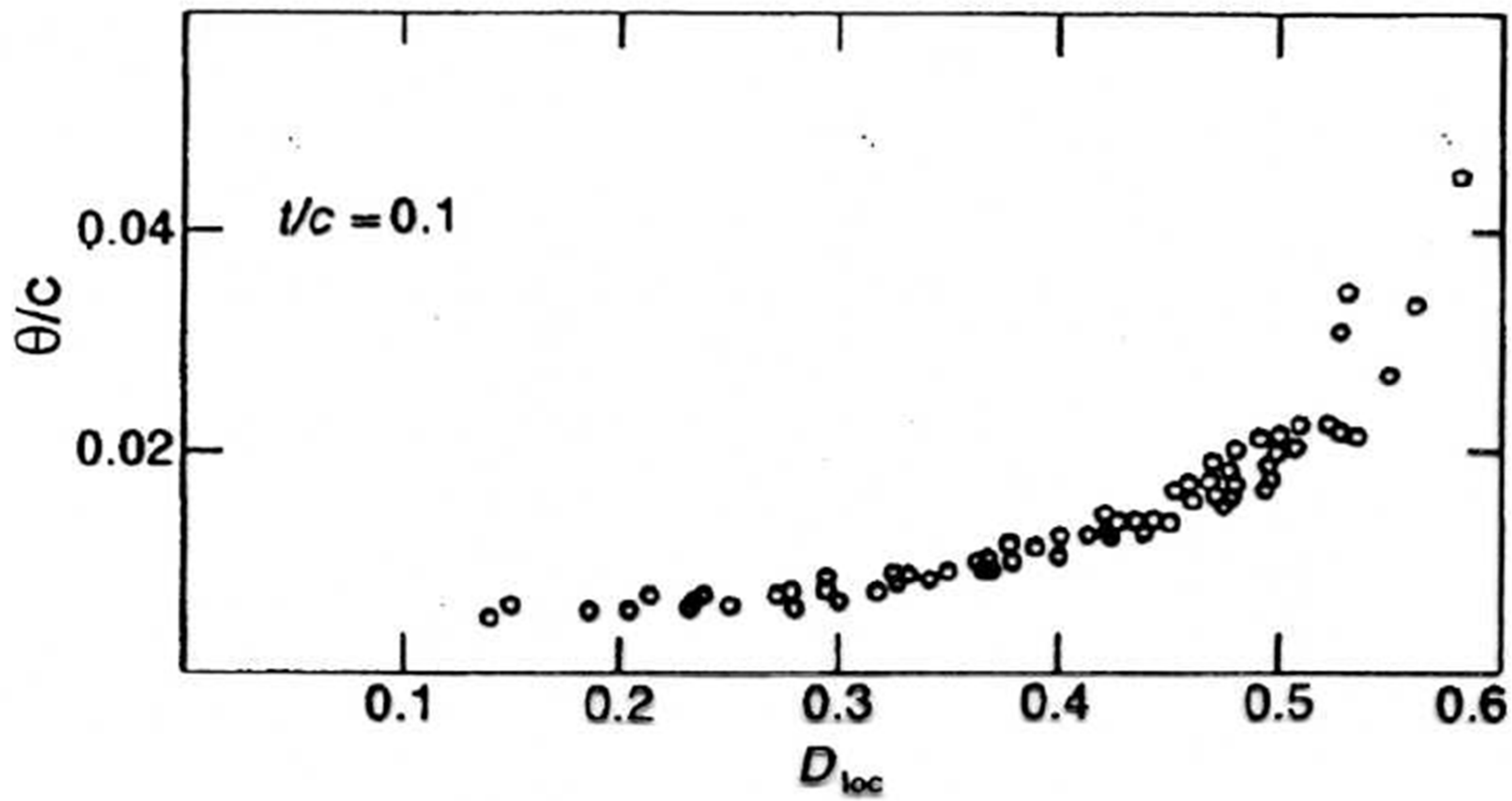
$$\frac{M - M_c}{M_{\max} - M_c}$$

Condizioni fuori progetto





Criterio di carico



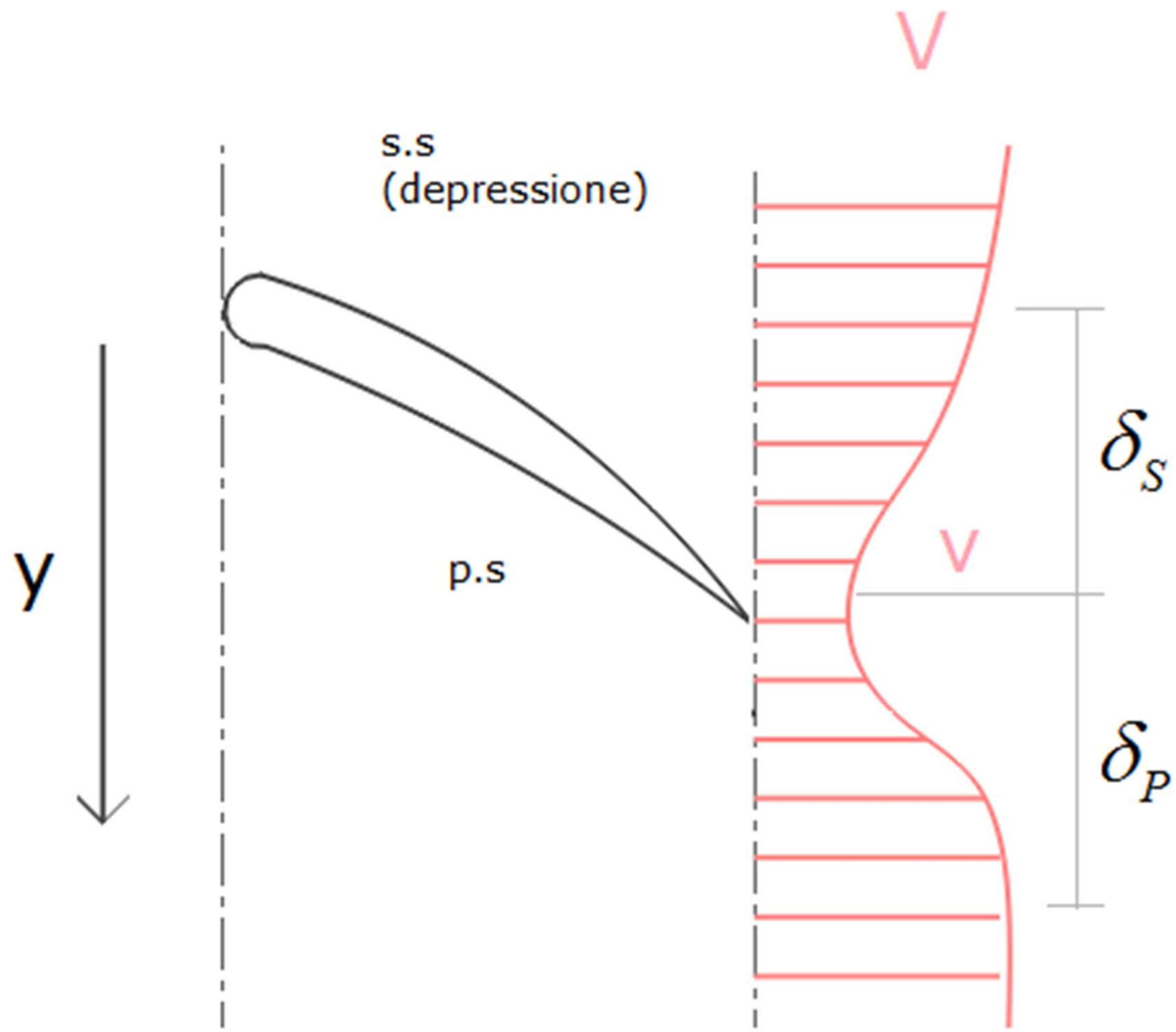
fattore di diffusione locale:

$$D_{loc} = \frac{V_{max} - V_2}{V_{max}}$$

riduzione di quantità di moto:

$$\theta = \int_{\delta_P}^{\delta_S} \frac{v}{V}\left(1 - \frac{v}{V}\right) dy$$

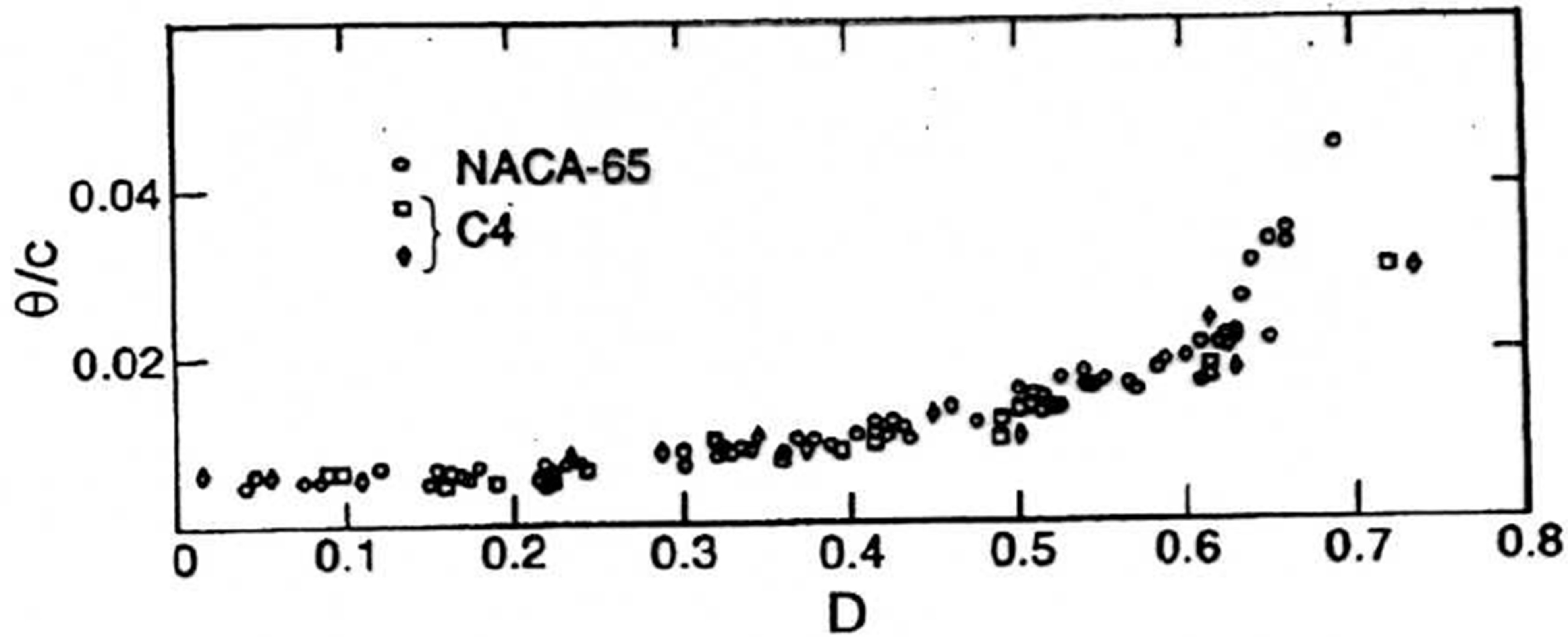
Criterio di carico



$$\theta = \int_{\delta_P}^{\delta_S} \frac{v}{V}\left(1 - \frac{v}{V}\right) dy$$

$$\frac{\theta}{c} < 0,2$$ criterio empirico

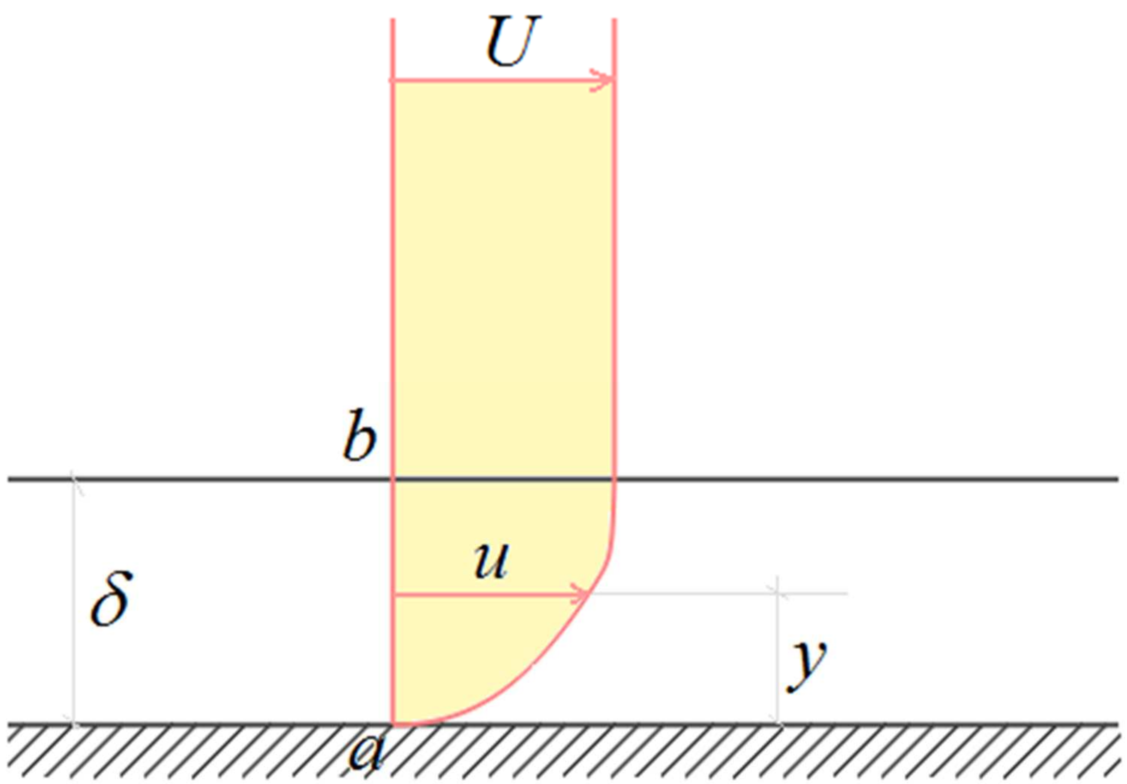
Criterio di carico



$$D = \left(\frac{V_1 - V_2}{V_1} \right) + \left(\frac{V_{t1} - V_{t2}}{2\sigma V_1} \right) = \left(1 - \frac{\cos\alpha_1}{\cos\alpha_2} \right) + \frac{\cos\alpha_1}{2\sigma} \left(tg\alpha_1 - tg\alpha_2 \right)$$

$D \leq 0{,}4 \div 0{,}5$ criterio empirico

Criterio di carico



$$\Delta M = \int_0^\delta \underbrace{\rho u dy}_{d\dot{m}} \left(U - u\right) = \rho \int_0^\delta u \left(U - u\right) dy$$

spessore della quantità di moto dello strato limite

$$\theta = \frac{\Delta M}{\rho U^2} = \int_0^\delta \frac{u}{U} \left(1 - \frac{u}{U}\right) dy$$