

LEZIONE 21-22

progettazione della schiera

- Angolo di curvatura geometrica piccolo;
- 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

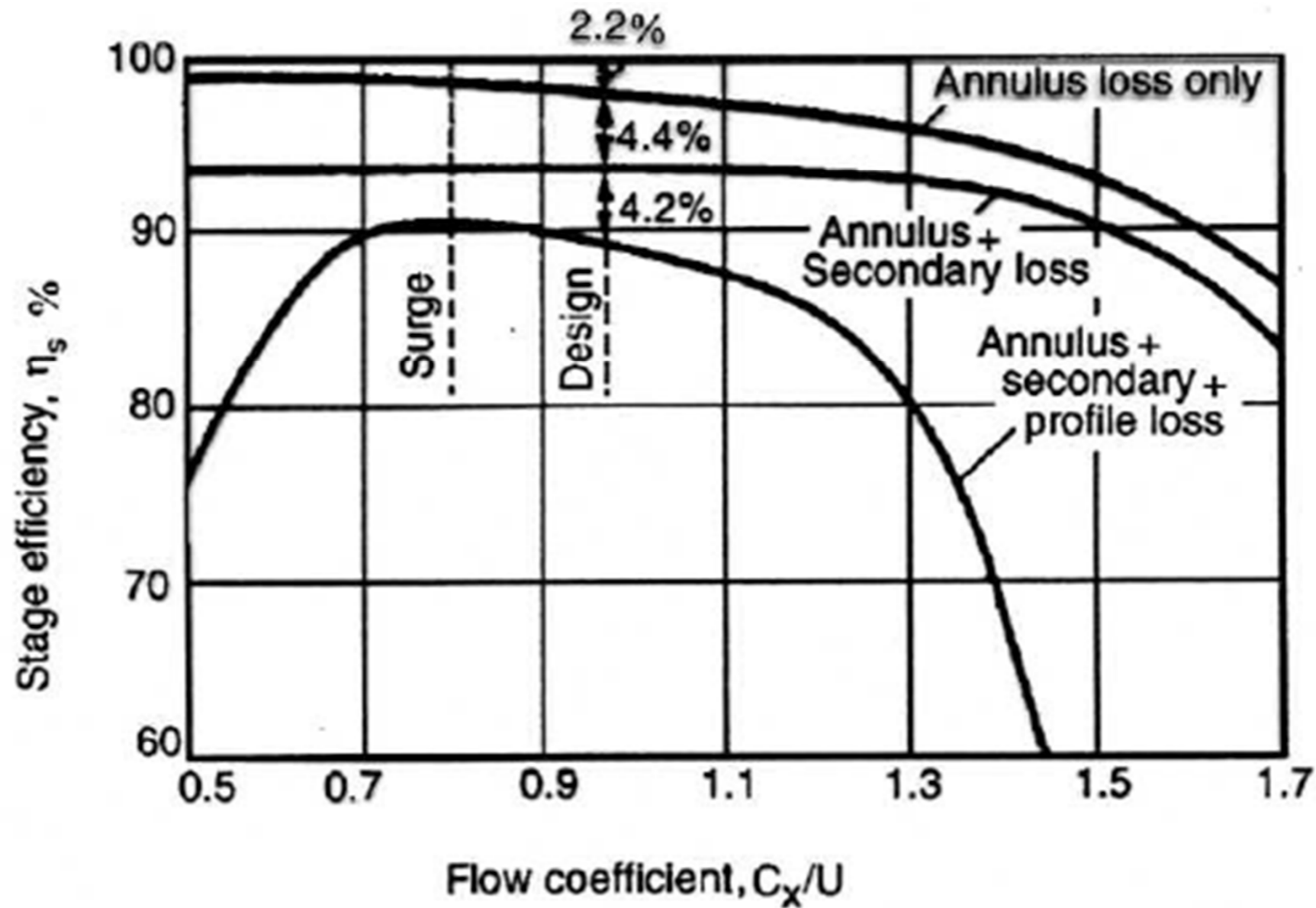


FIG. 3.13. Losses in a compressor stage (Howell 1945). (Courtesy of the Institution of Mechanical Engineers).

progettazione della schiera

Correlazione di Howell

$$\epsilon^* = 0,8 \cdot \epsilon_s$$

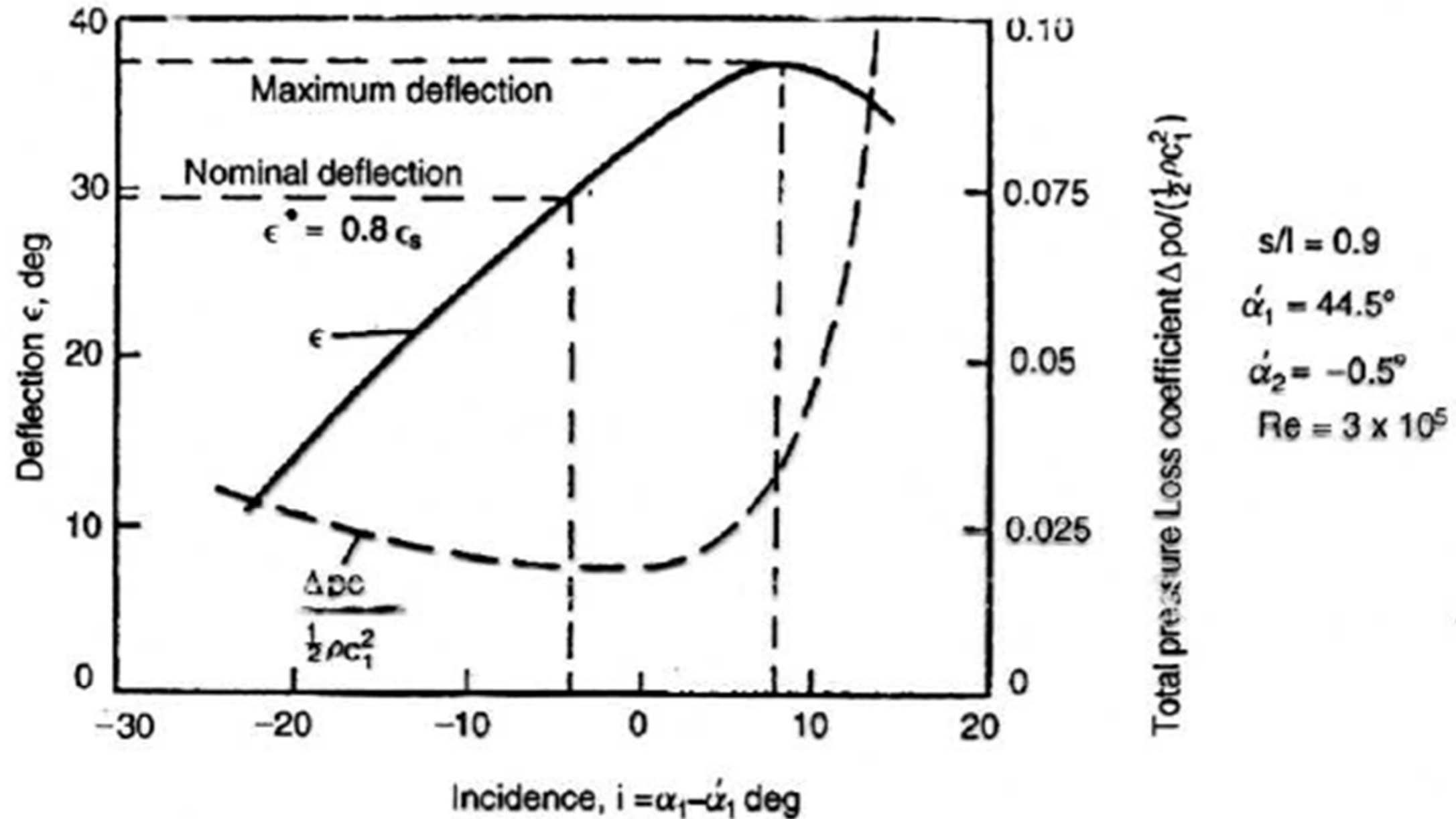
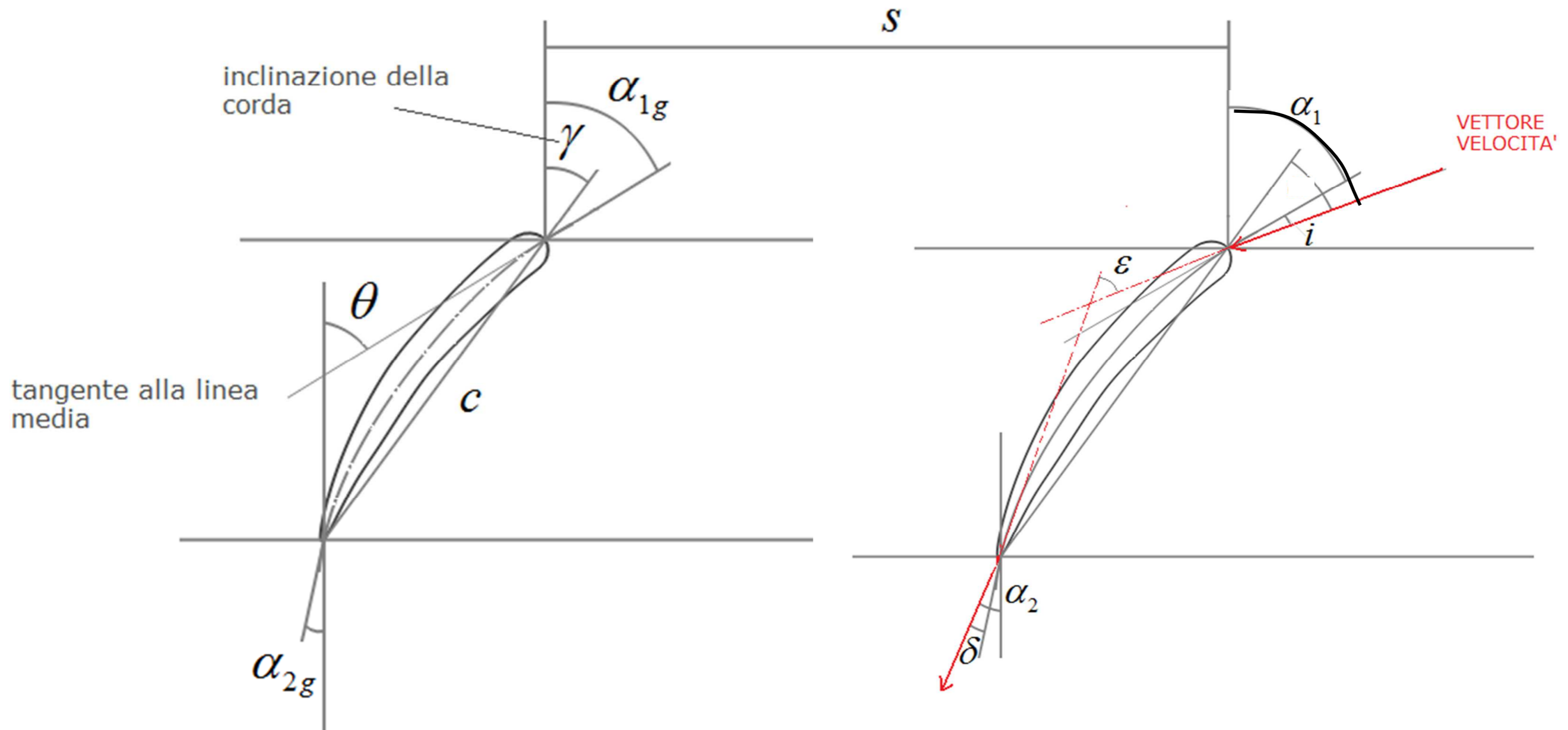


FIG. 3.12. Compressor cascade characteristics (Howell 1942). (By courtesy of the Controller of H.M.S.O., Crown copyright reserved).



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

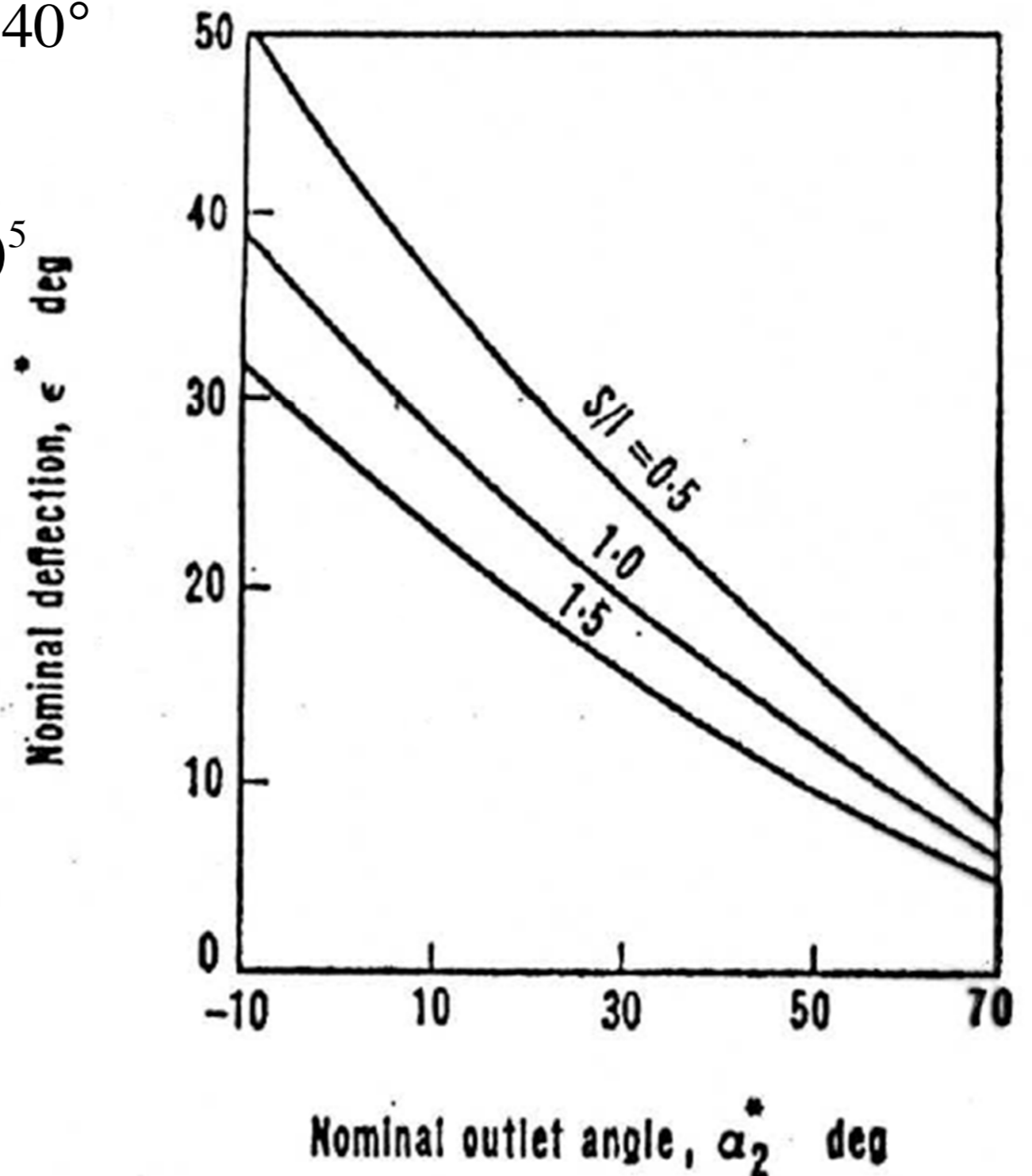
1. Correlazione di Howell

$$\varepsilon^* = f\left(\frac{s}{l}, \alpha_2^*, \text{Re}\right) \quad 20^\circ < \theta < 40^\circ$$

$$\varepsilon^* = f\left(\frac{s}{l}, \alpha_2^*\right) \quad \text{Re} > 3 \cdot 10^5$$

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

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



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

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

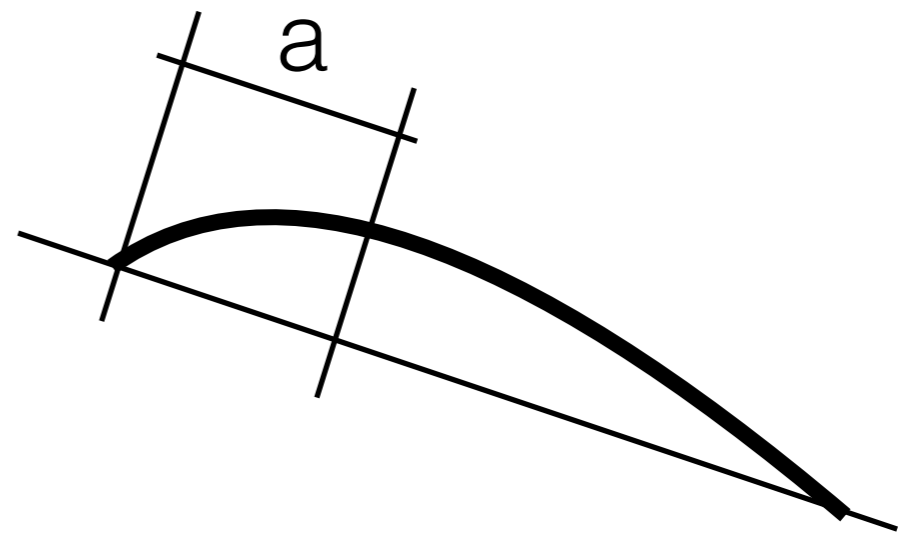
$n = \frac{1}{2}$ per schiere di compressore

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

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

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

$$y, \alpha_2 = f(\alpha_1, \text{Re}, M_1, \text{forma}) \quad (\text{y coeff. di perdita})$$

se Re è elevato, $M_1 < 0,3$, il profilo è sottile e siamo nelle condizioni nominali:

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

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

$$\rightarrow \varepsilon^* = f\left(\frac{s}{\ell}, \alpha_2^*\right)$$

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

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

progettazione della schiera

2. Correlazione di Howell

schema di calcolo

Scelgo θ σ

dalla 2 correlazione trovo δ^*

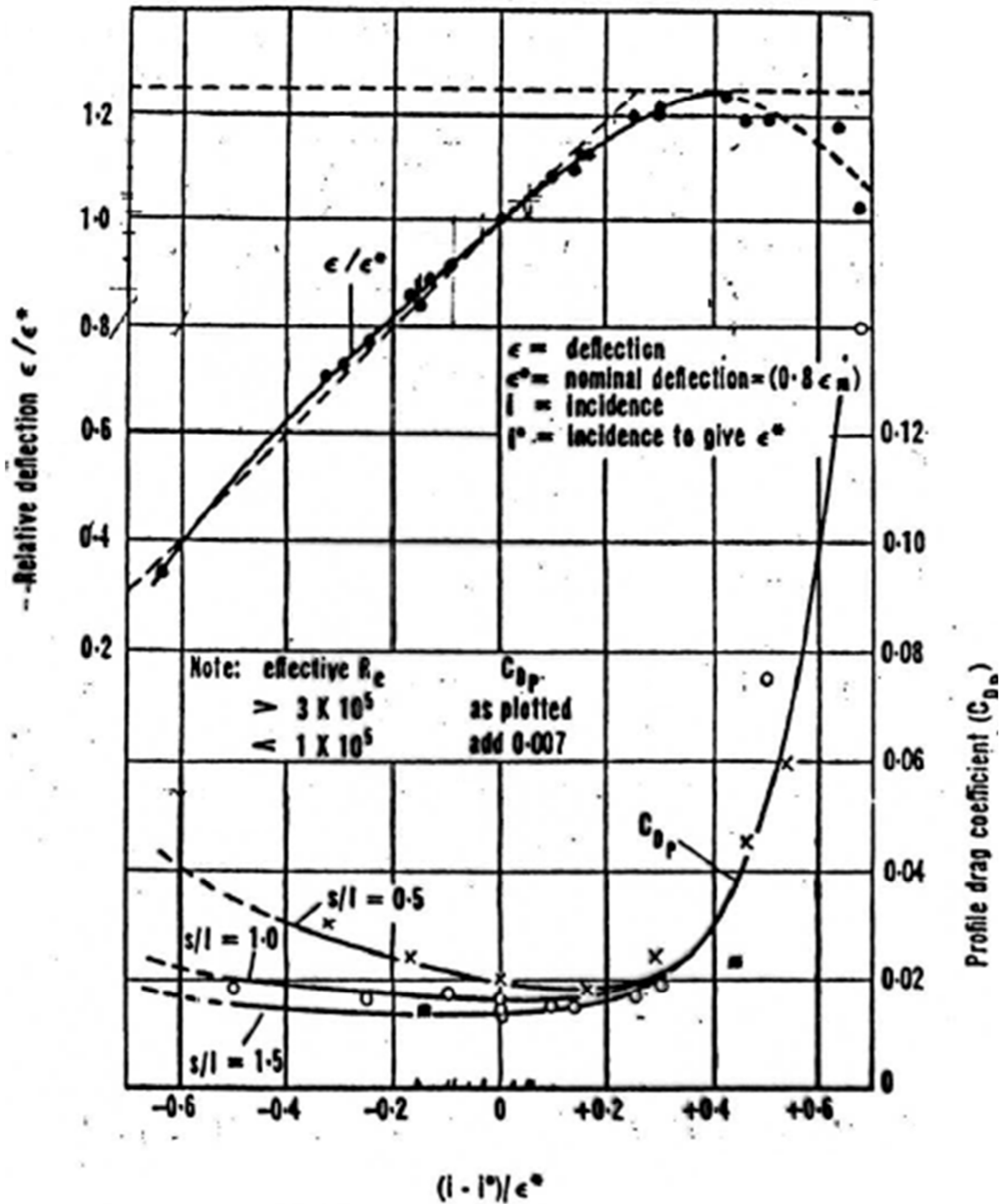
dalla curva di \mathcal{E} trovo \mathcal{E}^*

$$i^* = \mathcal{E}^* - \theta + \delta^*$$

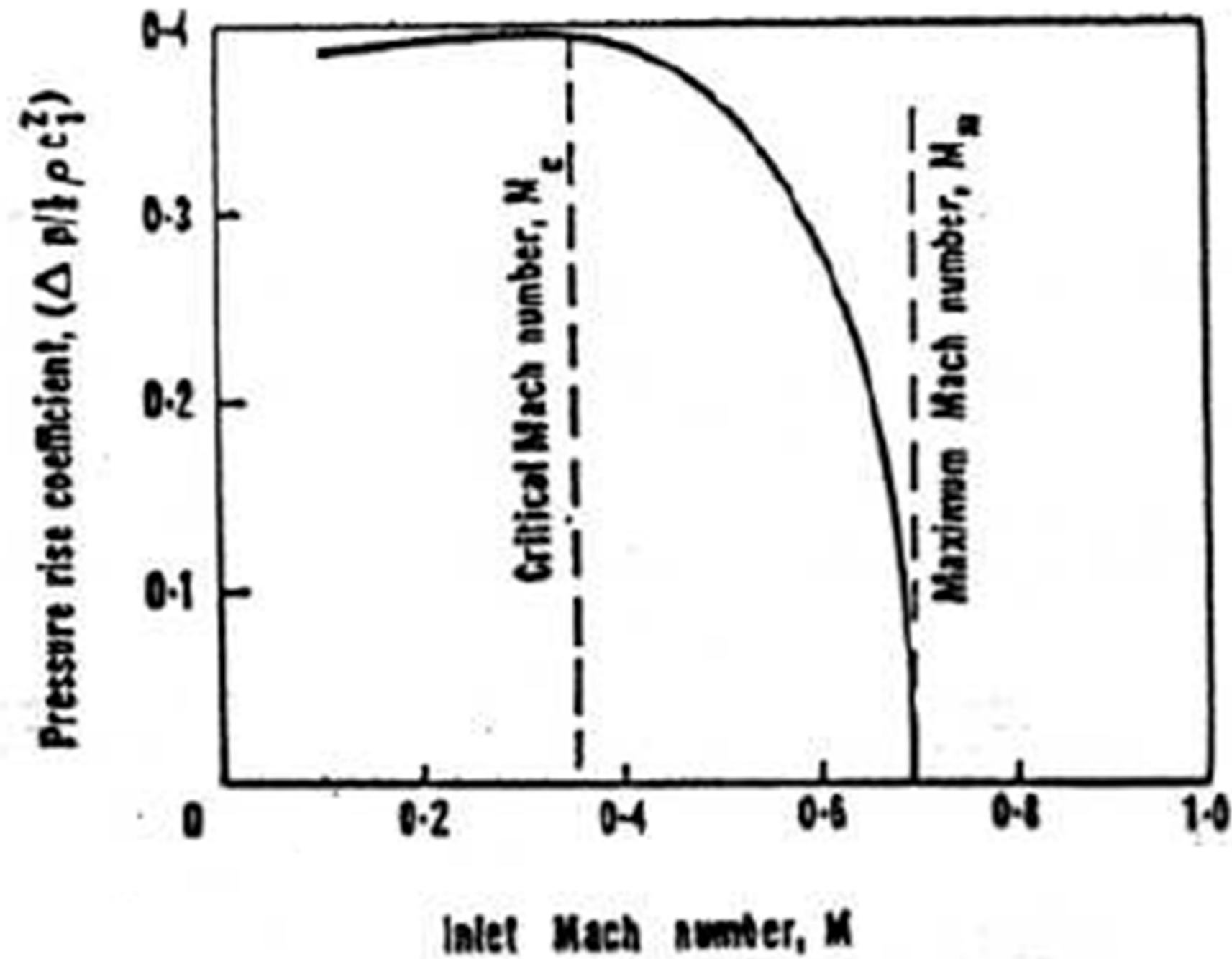
$$\alpha_{1g} = \alpha_1^* - i^*$$

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

Condizioni fuori progetto



Condizioni fuori progetto



$$s/l = 0.9$$

$$\alpha_1' = 44.5^\circ$$

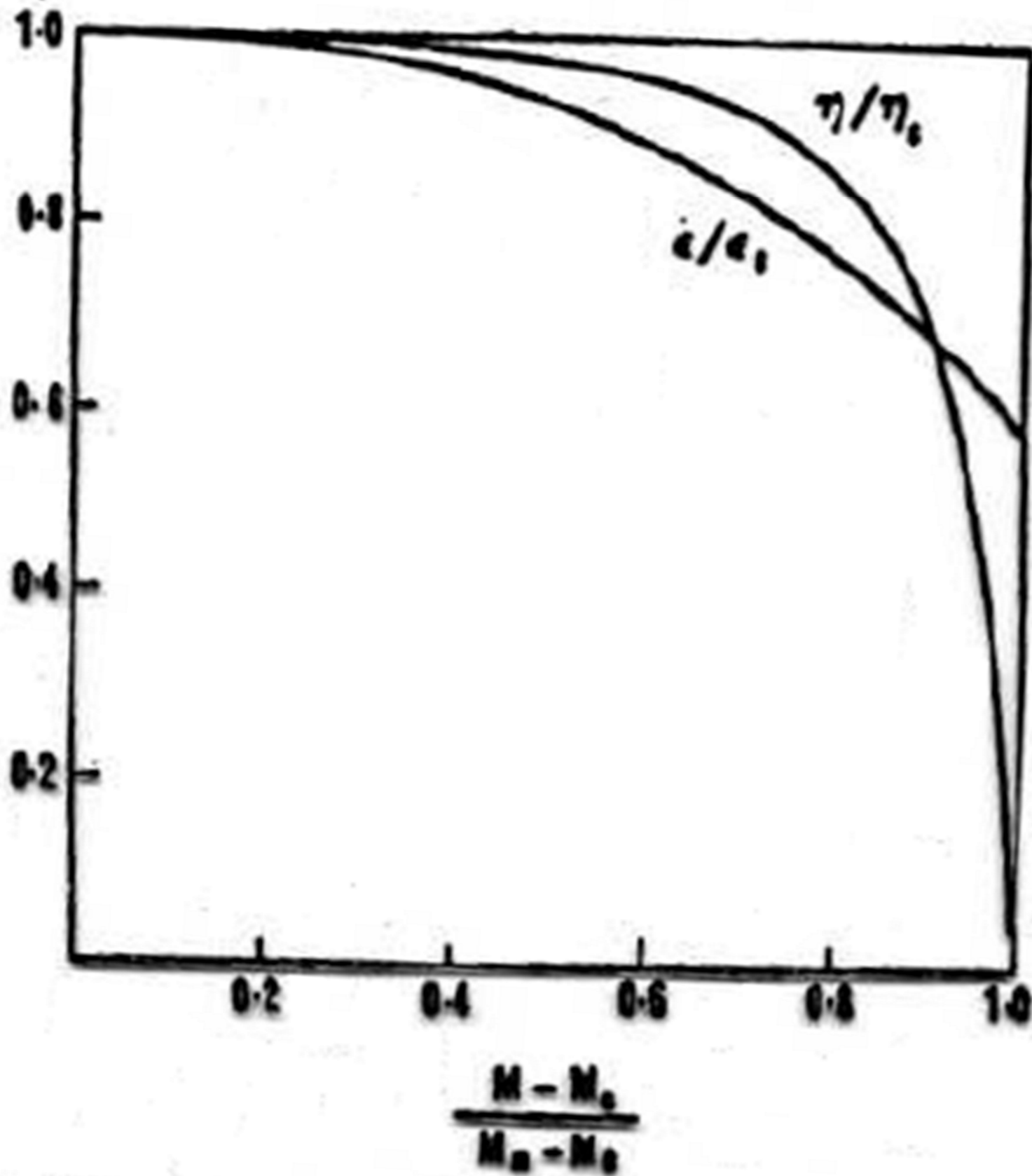
$$\alpha_2' = -0.5^\circ$$

$$\xi = 22^\circ$$

$$\alpha_2'' = 10.6^\circ$$

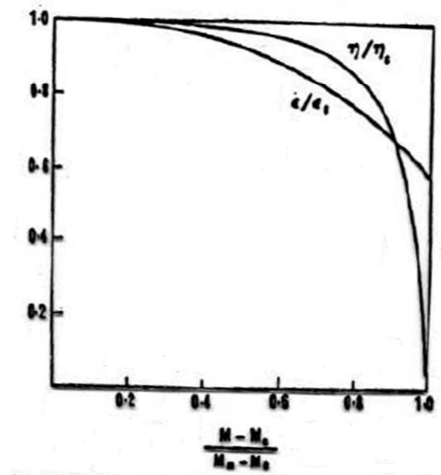
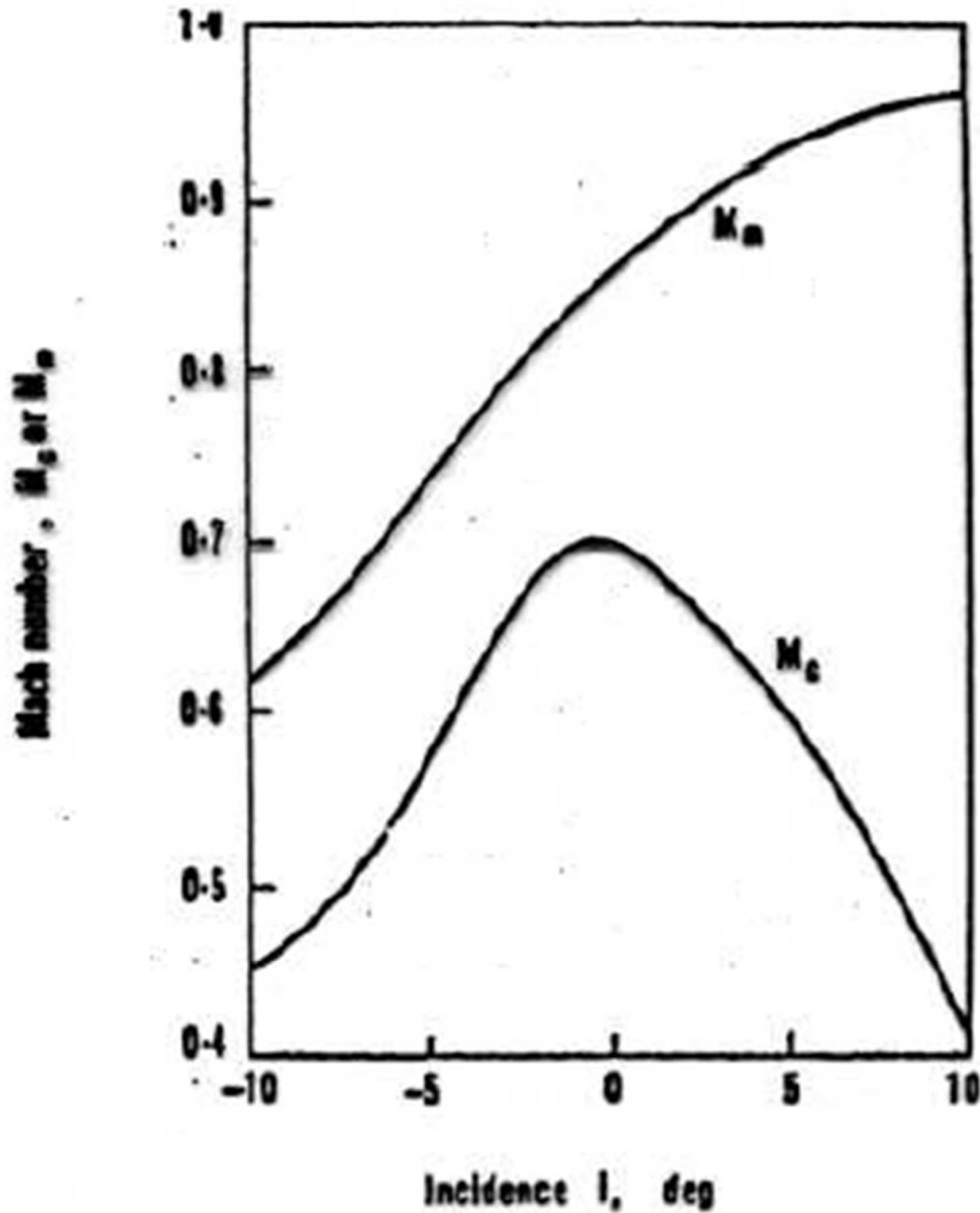
$$R_e = 3 \times 10^5$$

Condizioni fuori progetto

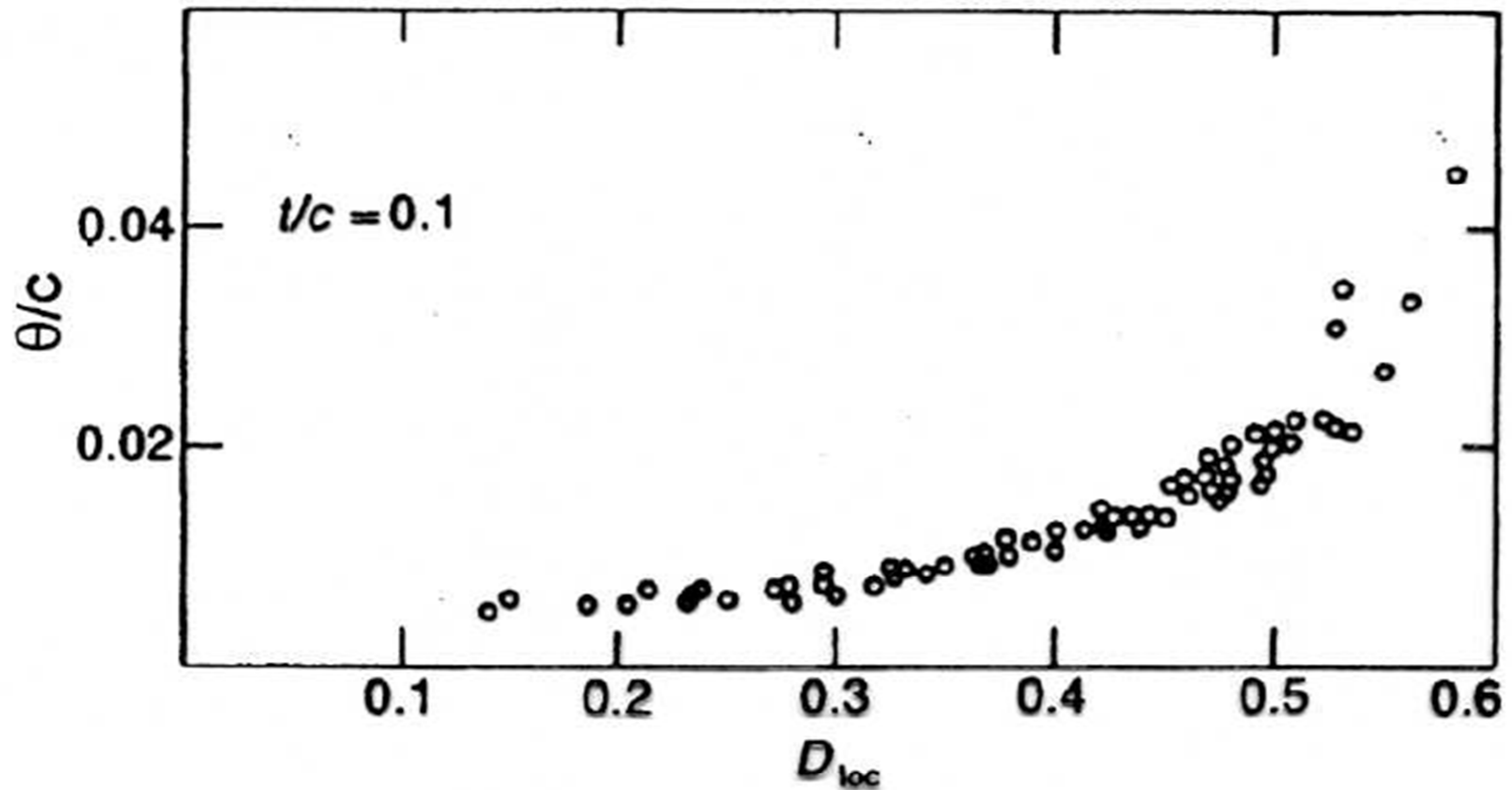


$$\frac{M - M_c}{M_{\max} - M_c}$$

Condizioni fuori progetto



Criterio di carico



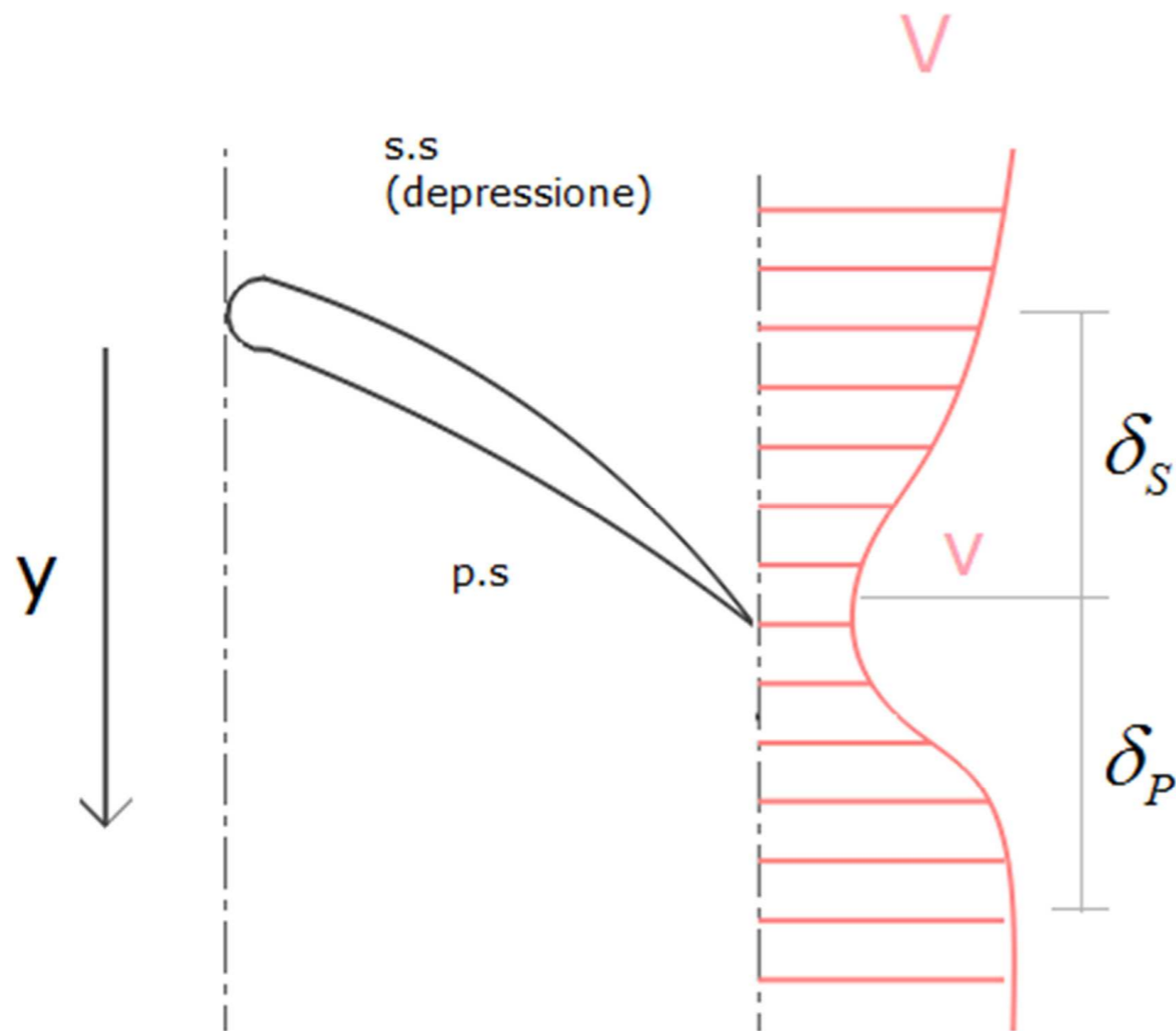
fattore di diffusione locale:

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

riduzione di quantità di moto:

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

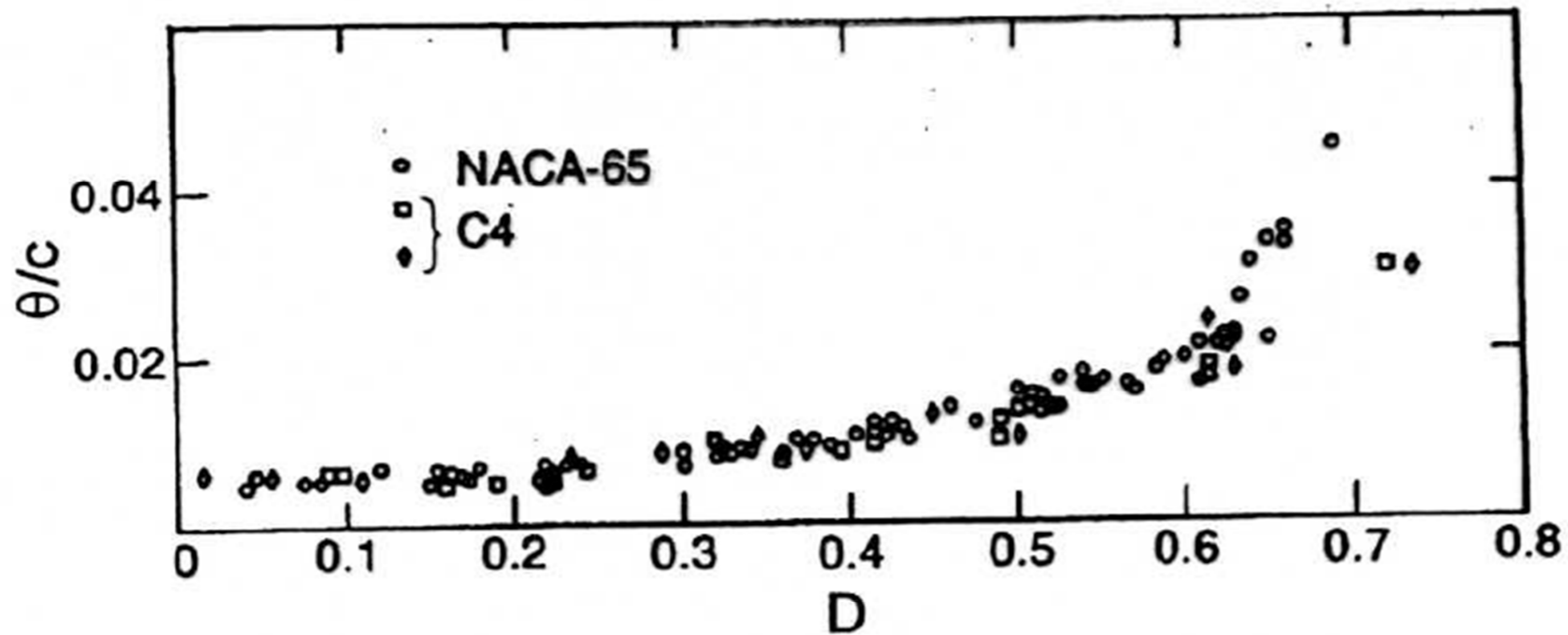
Criterio di carico



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

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

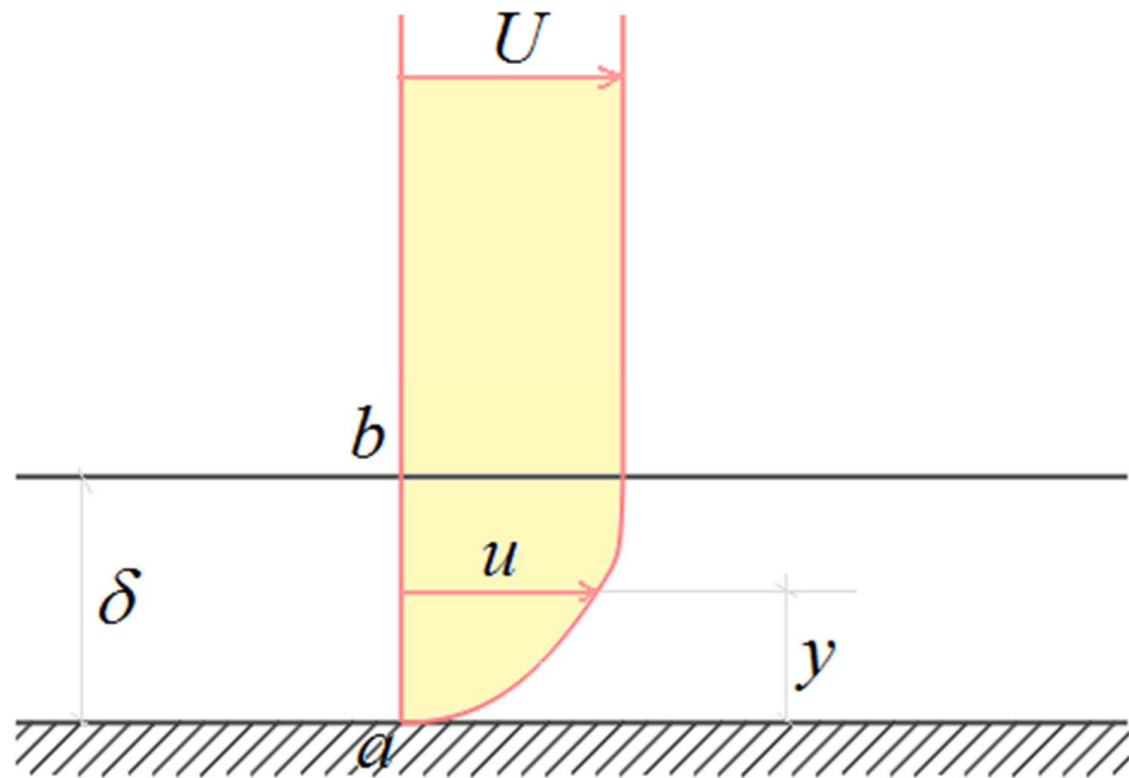
Criterio di carico



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

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

Criterio di carico



$$\Delta M = \int_0^{\delta} \underbrace{\rho u dy}_{dm} (U - u) = \rho \int_0^{\delta} u (U - u) dy$$

spessore della quantità di moto dello strato limite

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