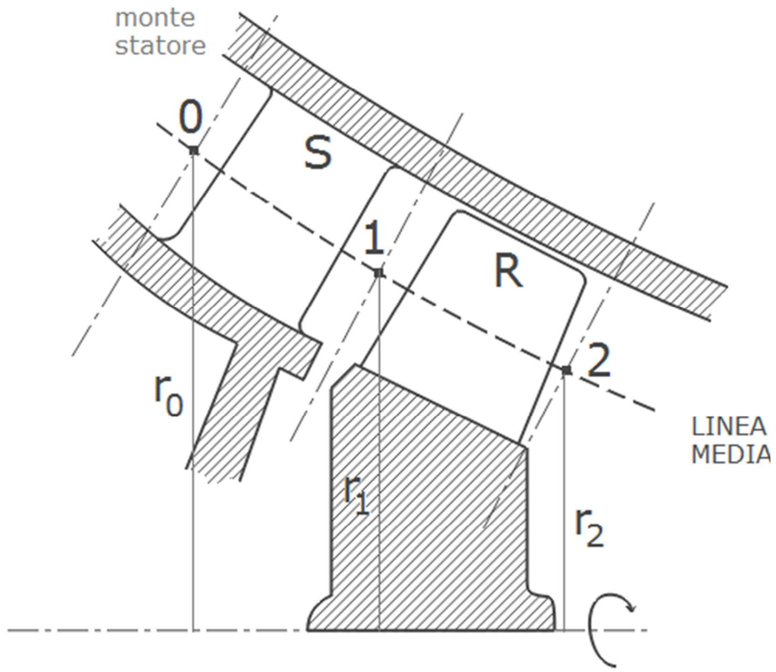
Lezione 19_20

Calcolo delle proprietà termodinamiche nell'attraversamento della turbina

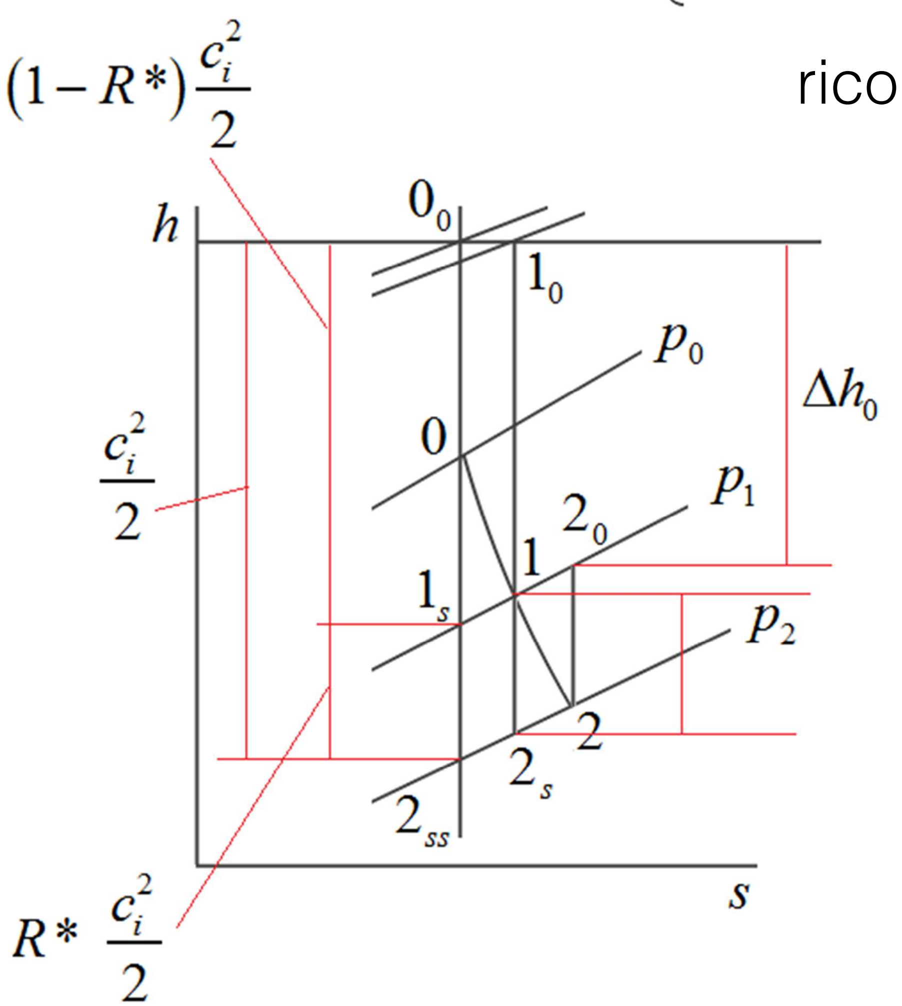


$$M_u = \frac{u_1}{a_{0_0}}$$ def. Mach periferico

$$a_{0_0} = \sqrt{kRT_{0_0}} = \sqrt{\frac{c_p}{c_v}\left(c_p - c_v\right)T_{0_0}} = \sqrt{h_{0_0}\left(k-1\right)}$$

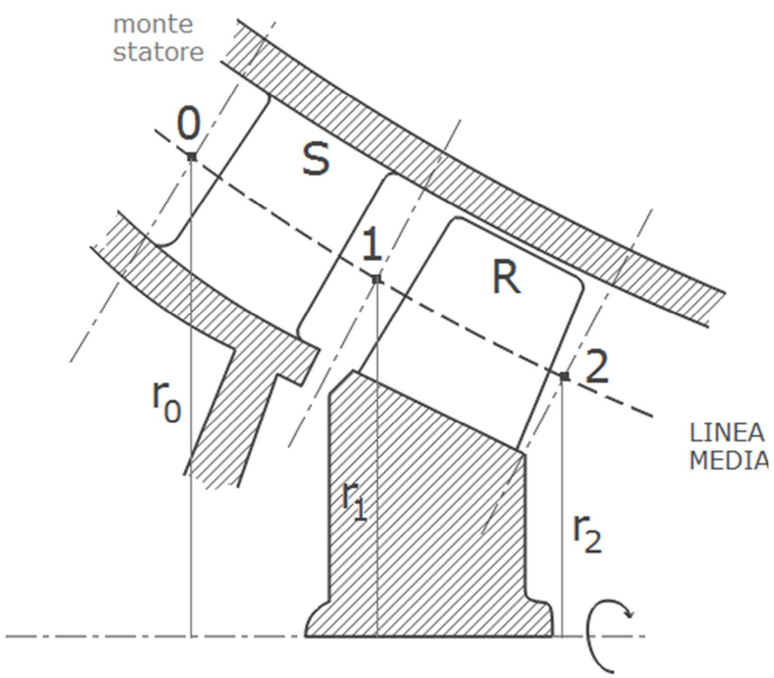
ricordiamo:

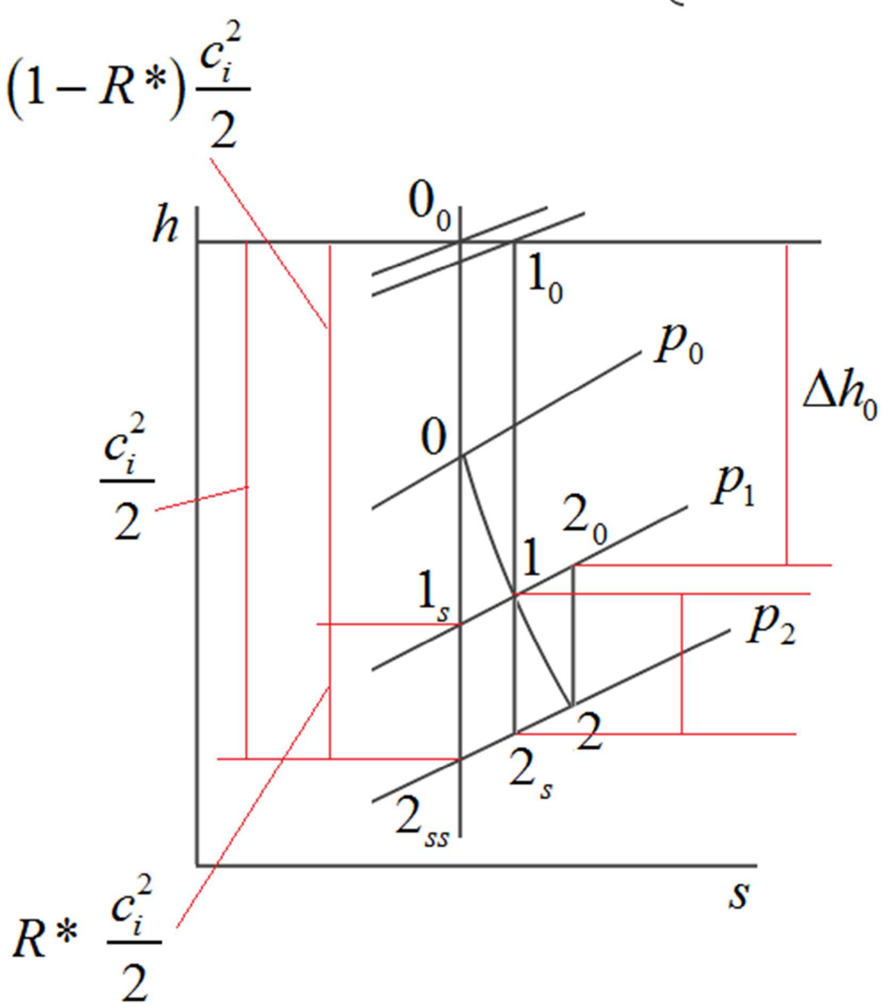
$$\psi = \frac{h_{0_0} - h_{2ss}}{\frac{u_1^2}{2}} = \frac{c_i^2}{u_1^2} = \frac{\Delta h_{is_{ts}}}{\frac{u_1^2}{2}}$$



$$\frac{c_i^2}{2} = \psi\frac{u_1^2}{2}\frac{a_{0_0}^2}{a_{0_0}^2} = \frac{\psi}{2}M_u^2\left(k-1\right)h_{0_0}$$

Calcolo delle proprietà termodinamiche nell'attraversamento della turbina

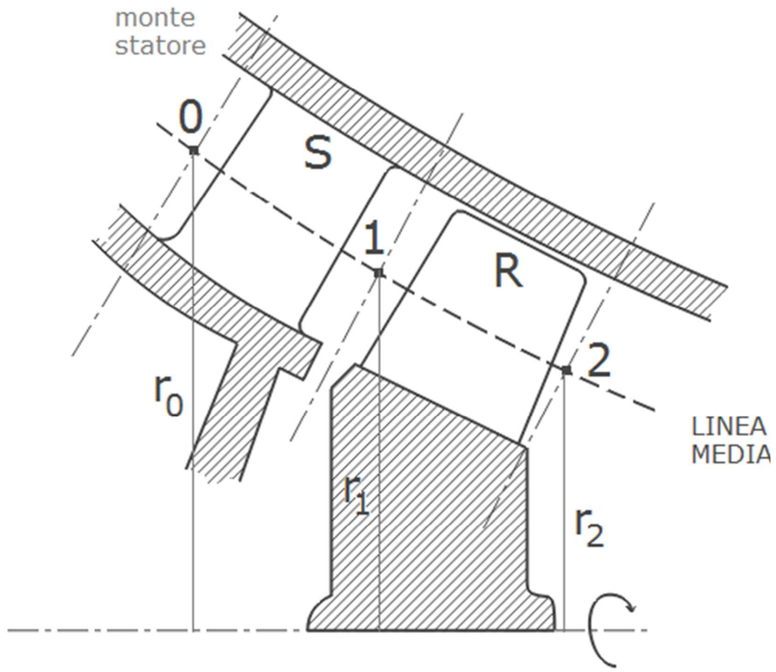




$$h_{1s} = h_{0_0} - (1-R^*)\frac{c_i^2}{2} = h_{0_0}\left[1-(1-R^*)\frac{k-1}{2}\psi M_u^2\right]$$

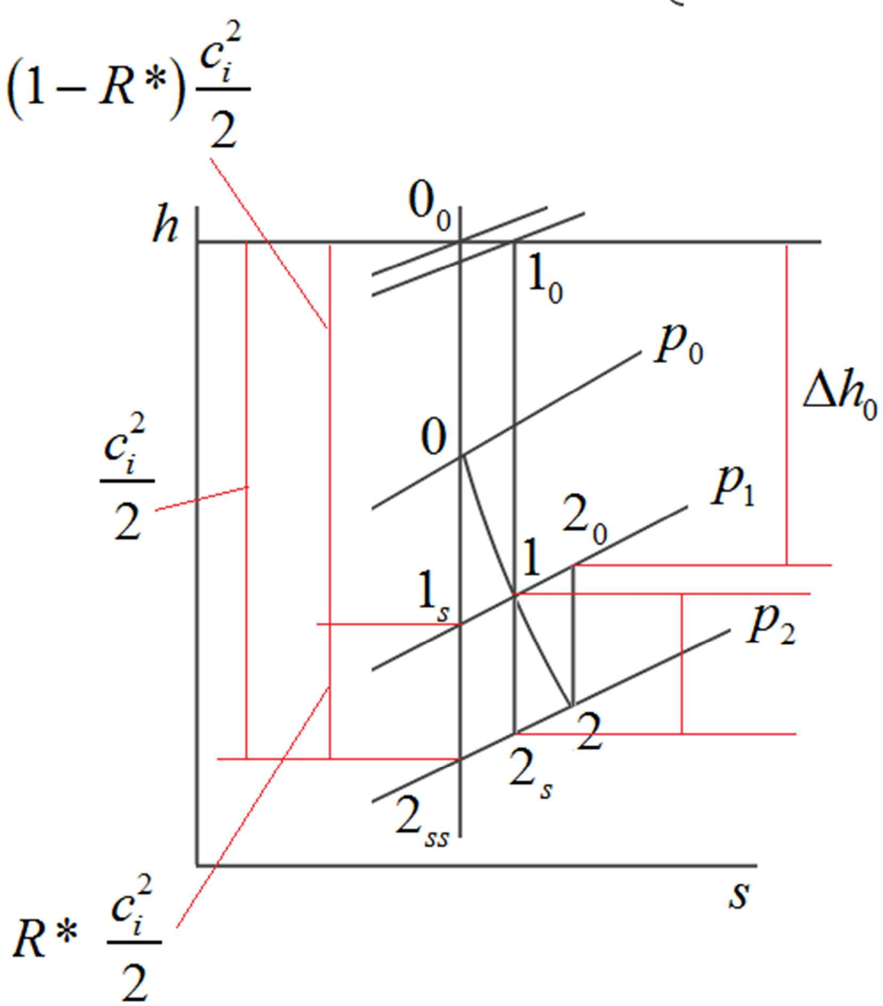
$$h_{2ss} = h_{0_0} - \frac{c_i^2}{2} = h_{0_0}\left[1-\frac{k-1}{2}\psi M_u^2\right]$$

Calcolo delle proprietà termodinamiche nell'attraversamento della turbina



$$\frac{c_1^2}{2} = \eta_S \frac{c_i^2}{2}\left(1 - R^*\right)$$

$$h_1 = h_{0_0} - \frac{c_1^2}{2} = h_{0_0}\left[1 - \left(1 - R^*\right)\frac{k-1}{2}\eta_S \psi M_u^2\right]$$



$$h_2 = h_{0_0} - \Delta h_0 - \frac{c_2^2}{2} = h_{0_0}\left[1 - \left(\eta_{T,S} + \frac{C_2^2}{\psi}\right)\frac{k-1}{2}\psi M_u^2\right]$$

Schiere di pale per turbine assiali

Profili subsonici

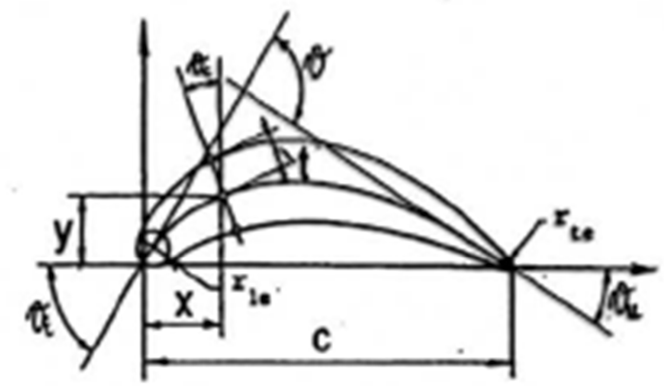
(bassa deflessione)

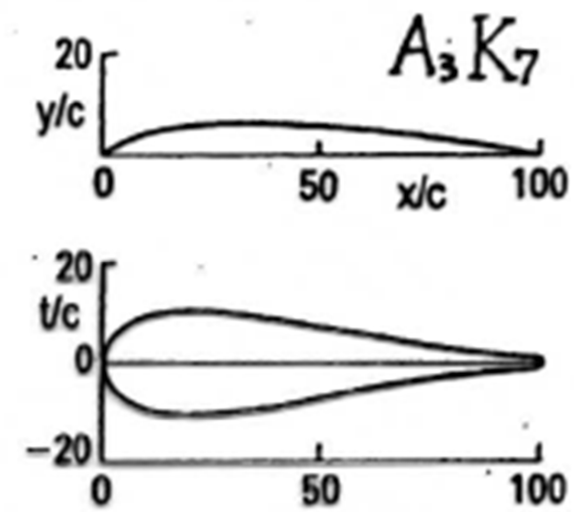
A_3K_7

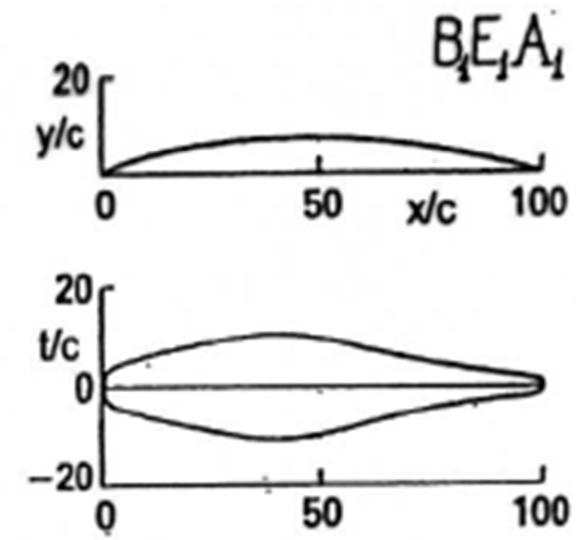
x/c [%]	y/c [%]	t/c [%]
0	0	0
1,25	0,836	3,469
2,5	1,428	4,972
5,0	2,359	6,918
10	3,689	9,007
15	4,597	9,827
20	5,217	10,00
25	5,623	9,899
30	5,852	9,613
35	5,936	9,106
40	5,897	8,594
45	5,753	7,913
50	5,516	7,152
55	5,200	6,339
60	4,814	5,500
65	4,367	4,661
70	3,870	3,848
75	3,328	3,087
80	2,746	2,406
85	2,133	1,830
90	1,485	1,387
95	0,801	1,101
100	0	0
$\frac{r_{1e}}{c} = 0,04407$ $\frac{r_{2e}}{c} = 0,01$		
$tg\,\vartheta_i = 0,8574,\ \vartheta_i = 40,52°$		
$tg\,\vartheta_u = 0,1602,\ \vartheta_u = 9,1°$		

$B_1E_1A_1$

x/c [%]	y/c [%]	t/c [%]
0	0	0
1,25	0,718	2,583
2,5	1,253	3,282
5,0	2,128	4,041
10	3,480	5,007
15	4,506	5,592
20	5,291	6,995
25	5,862	8,063
30	6,261	9,025
35	6,514	9,727
40	6,642	10,00
45	6,651	9,725
50	6,652	9,009
55	6,342	8,016
60	6,016	6,908
65	5,551	5,848
70	4,983	5,000
75	4,332	4,312
80	3,680	3,624
85	2,824	2,936
90	1,953	2,248
95	0,948	1,560
100	0	0
$\frac{r_{1e}}{c} = 0,033$ $\frac{r_{2e}}{c} = 0,01$		
$tg\,\vartheta_i = 0,5657,\ \vartheta_i = 29,5°$		
$tg\,\vartheta_u = 0,2017,\ \vartheta_u = 11,4°$		



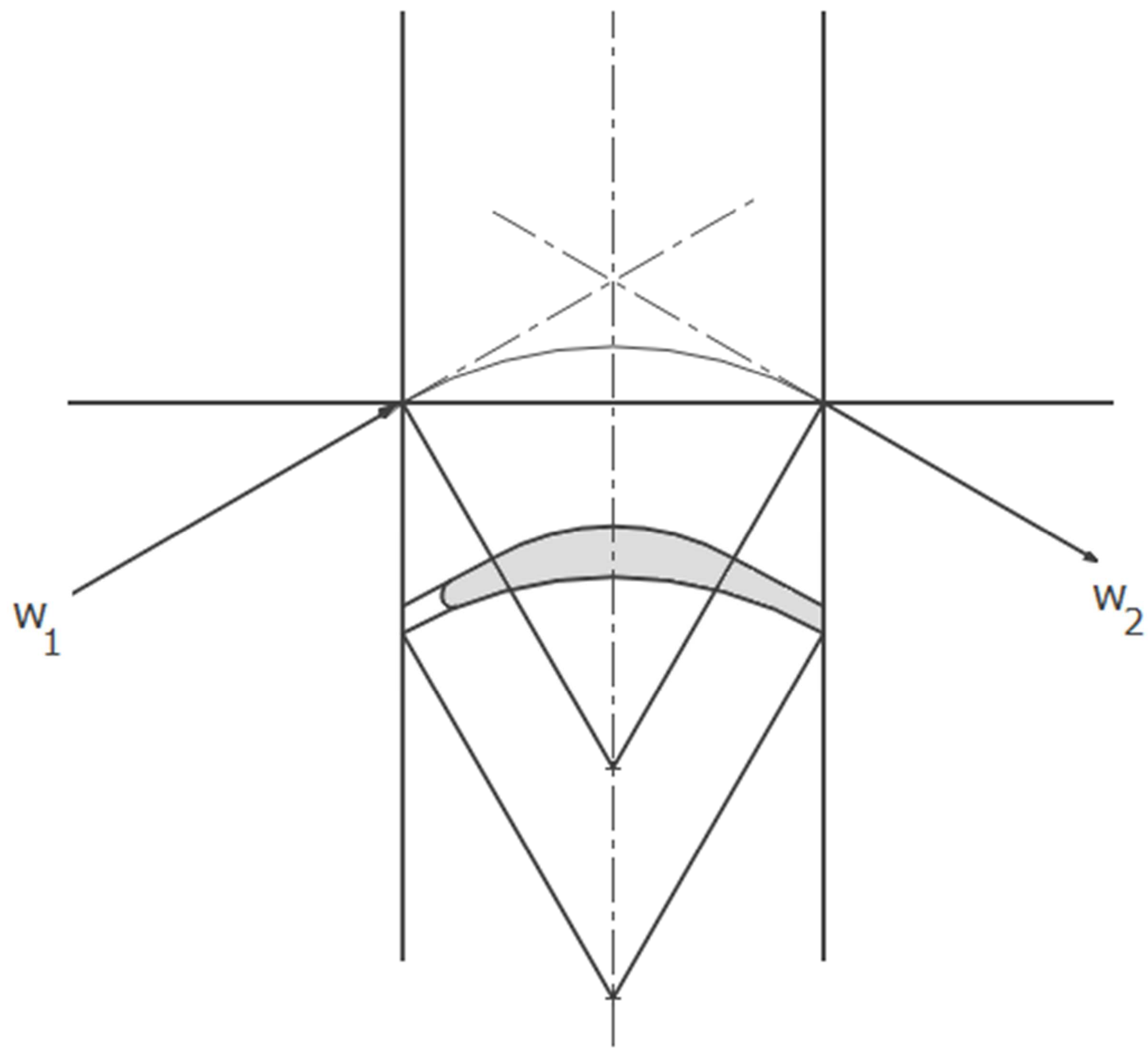




Schiere di pale per turbine assiali

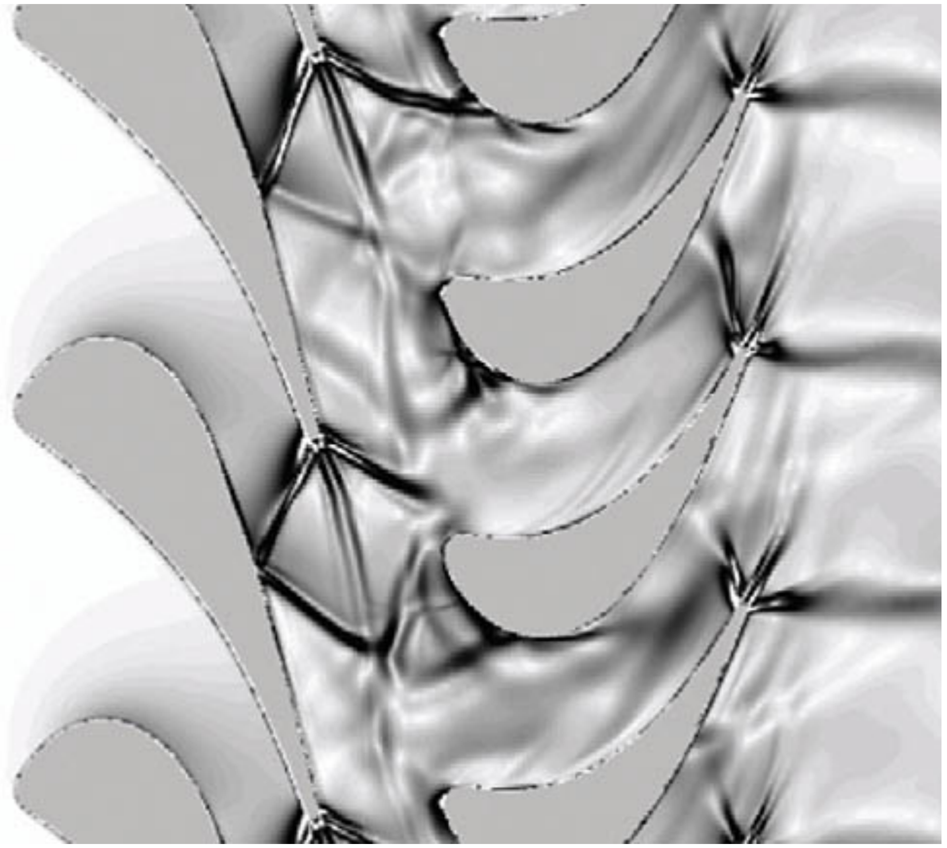
Profili
subsonici

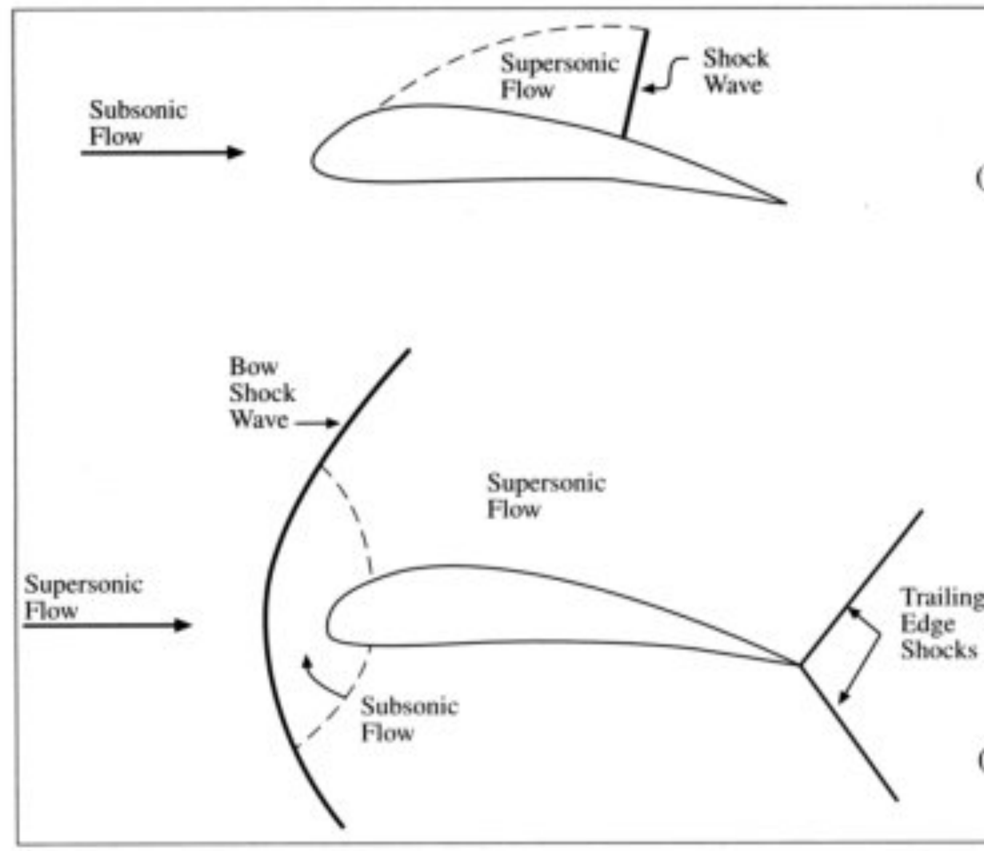
(alta
deflessione)



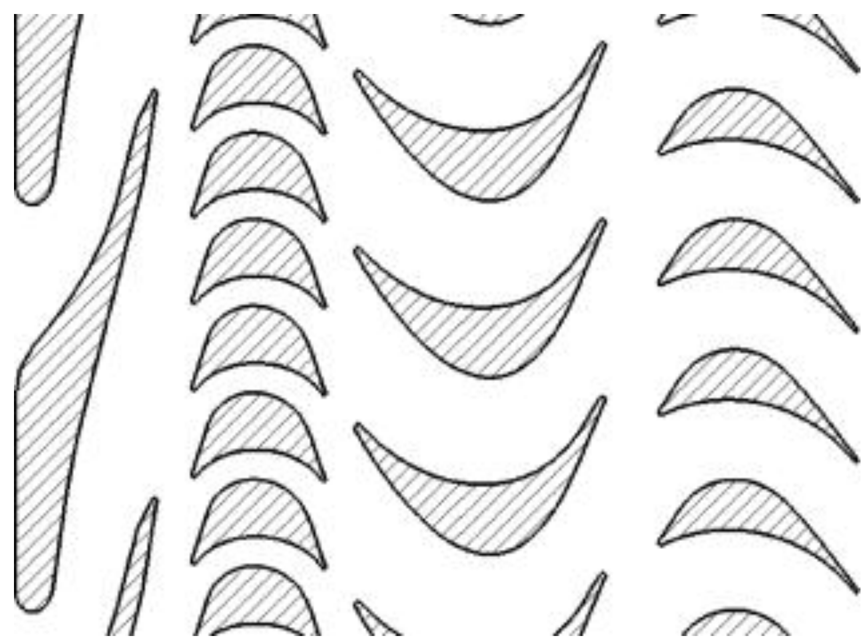
Schiere di pale per turbine assiali

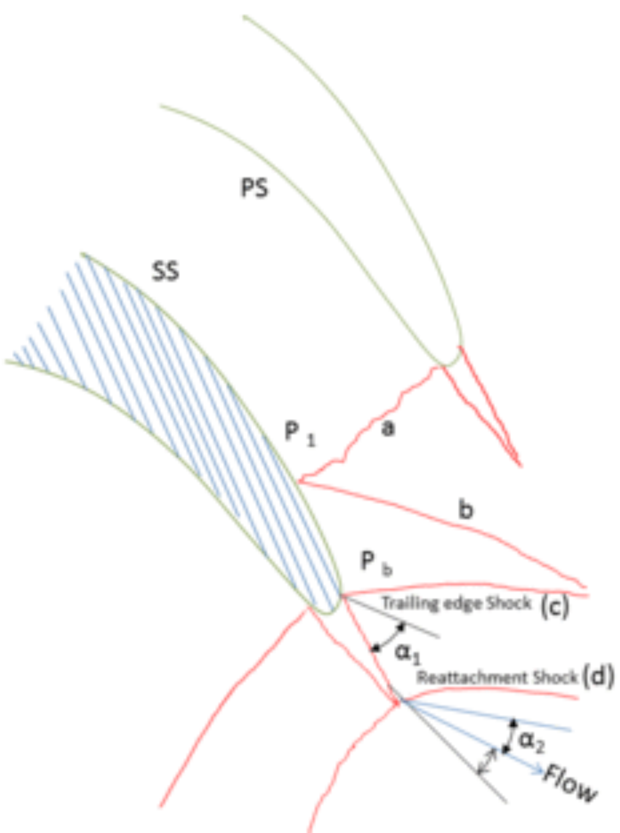
Ugelli supersonici





pale supersoniche
(spigolo in ingresso)

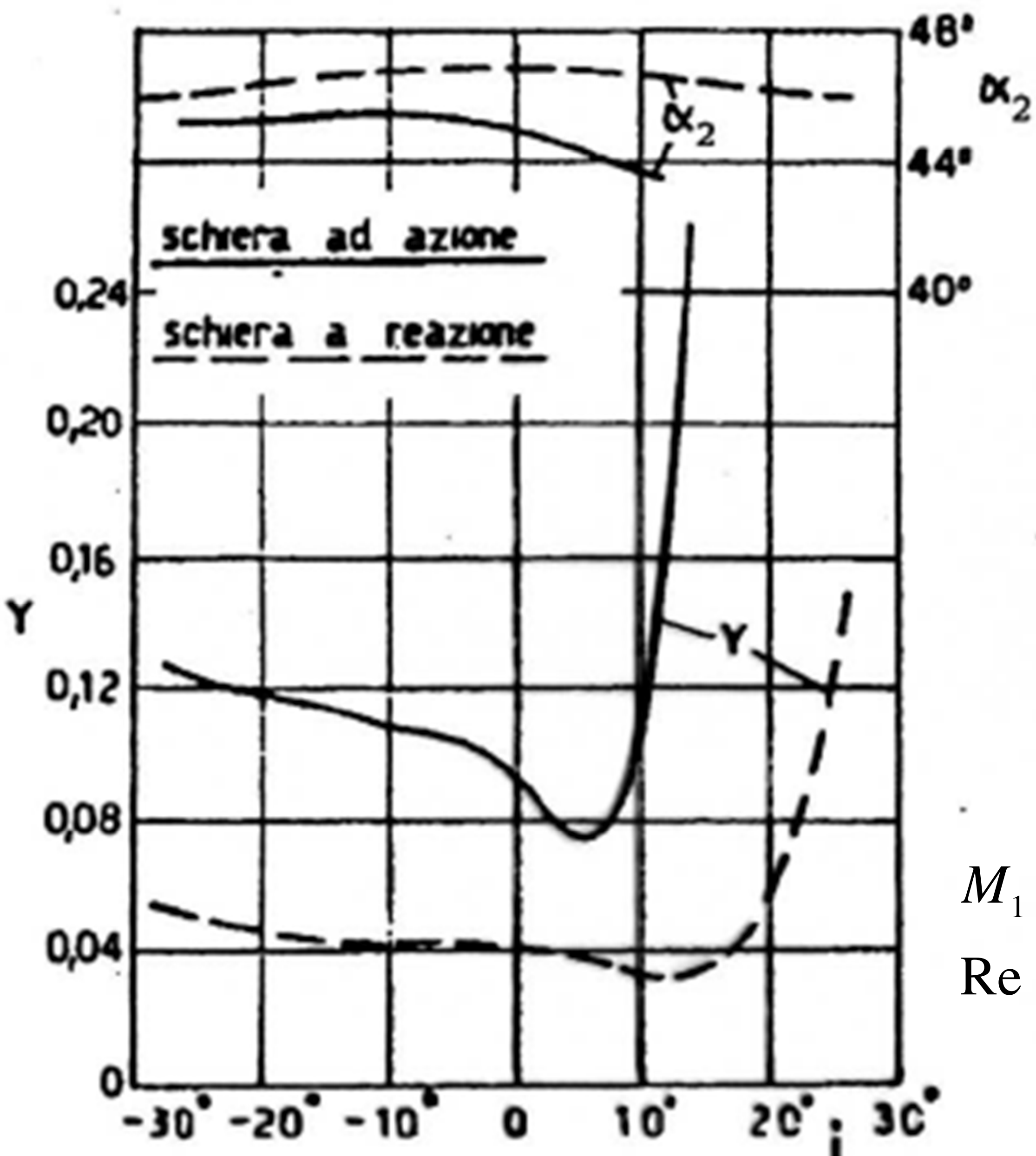




prestazioni delle schiere di turbina

definiti i triangoli di velocità si cerca: $y, \alpha_2 = f\left(\alpha_1\right)$

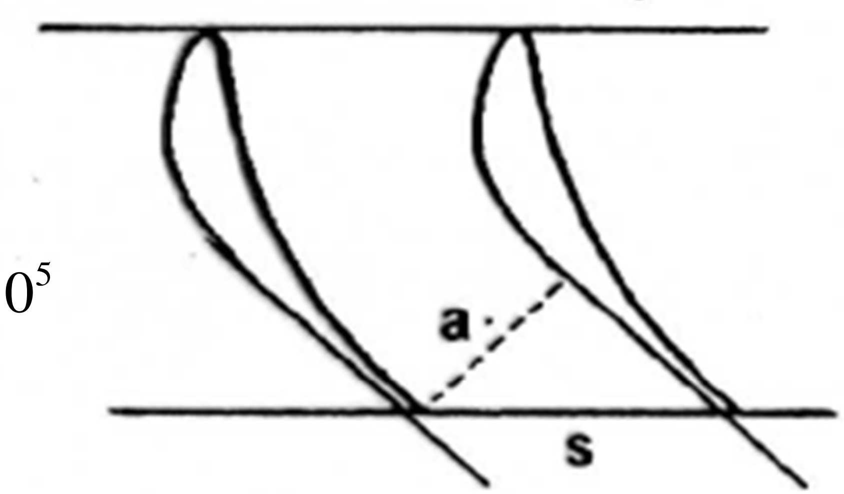
(trascurando influenza di M e Re)



$M_1 = 0{,}5$

$\mathrm{Re} = 1{,}5 \cdot 10^5$

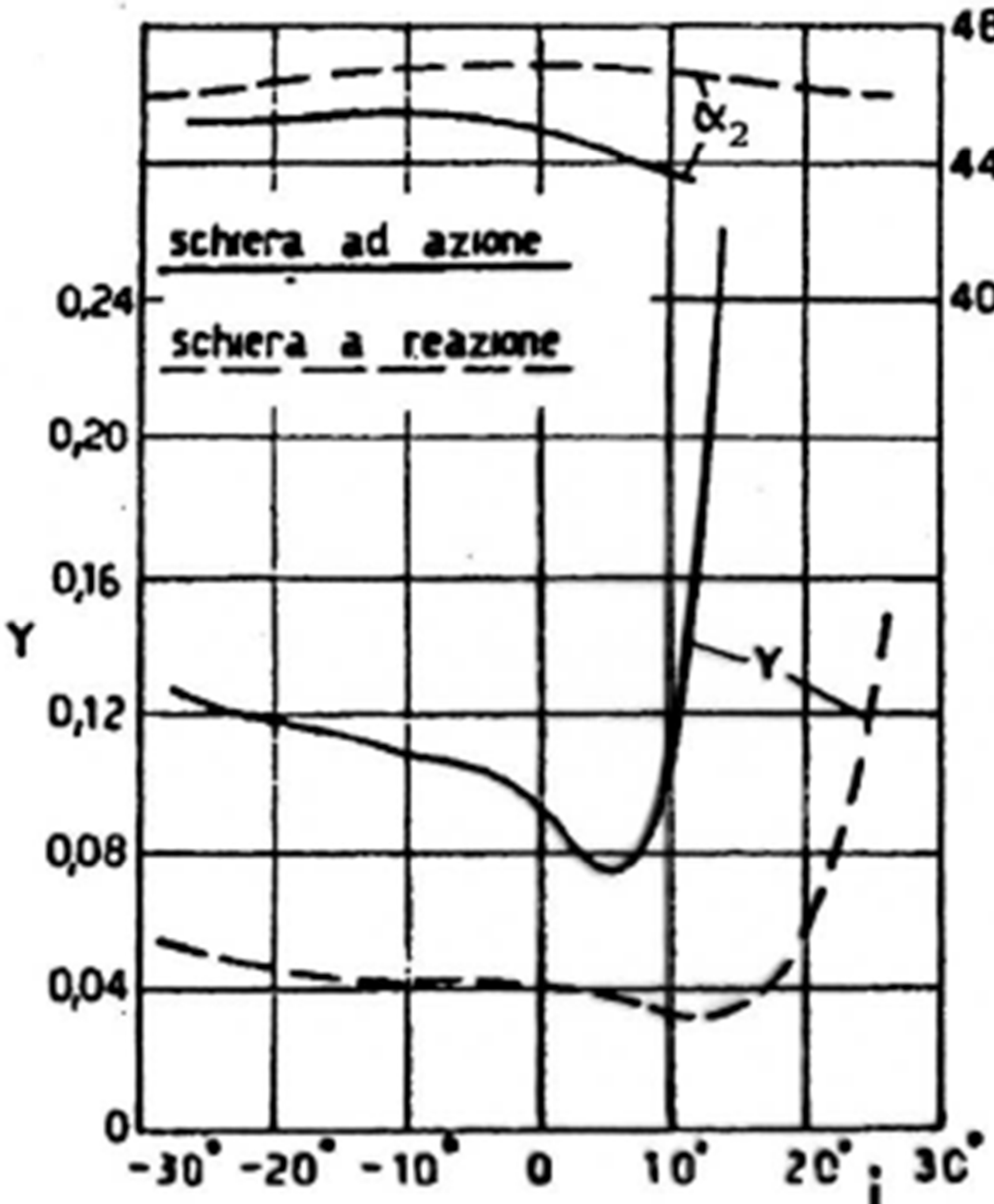
	azione	reazione
α_1^*	45.5°	18.9°
α_2^*	-45.8°	-47.1°
s/c	0.625	0.580
t/c	0.22	0.15
arcos (a/s)	50°	50°



prestazioni delle schiere di turbina

angolo di uscita geometrico: $ar\cos\dfrac{a}{s}$

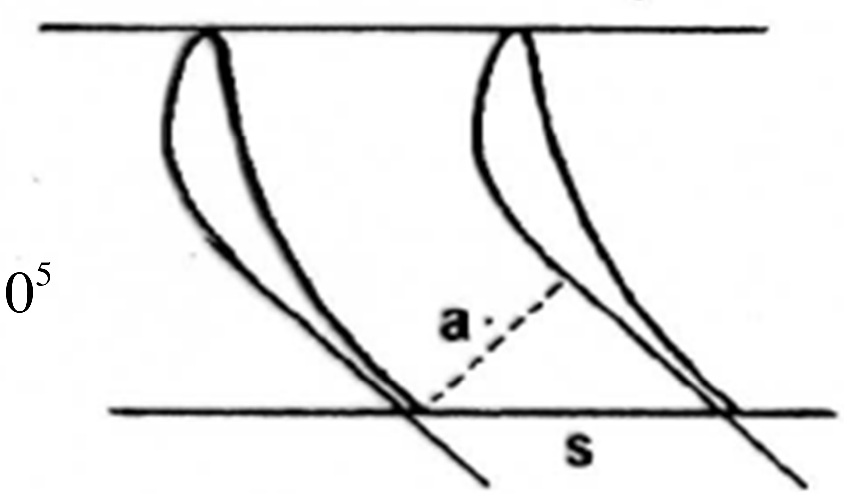
- α_2 poco variabile al variare dell'incidenza
- coeff. perdita quasi costante al variare dell'incidenza



	azione	reazione
α_1^*	45.5°	18.9°
α_2^*	-45.8°	-47.1°
s/c	0.625	0.580
t/c	0.22	0.15
arcos (a/s)	50°	50°

$M_1 = 0{,}5$

$\mathrm{Re} = 1{,}5 \cdot 10^5$



prestazioni delle schiere di turbina

- riferiamoci a una schiera statorica (0 1)
- angolo di uscita geometrico $\alpha_1^* = ar\cos\dfrac{a}{s}$

$$\cos\alpha_1 = \frac{1}{k}\cos\alpha_1^*$$

k puo' essere stimato con diverse correlazioni:

$$k = 1 - 10750\left(\frac{t}{s}\right)^{3,3}\left(\frac{a}{s}\right)$$ Vaura

perdite delle schiere di turbina

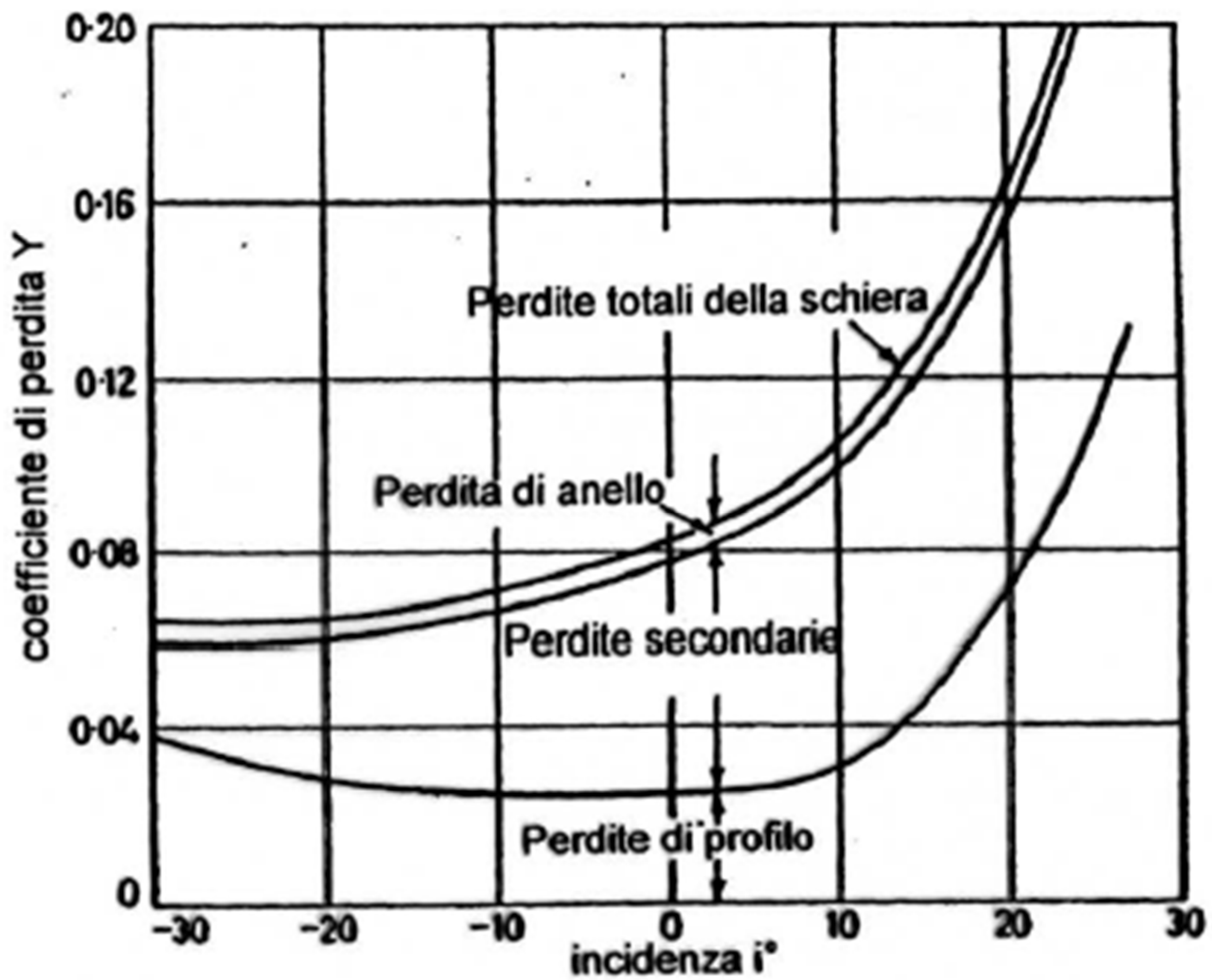


Figura 9.18: *Perdite di pressione totale in una schiera di turbina in funzione dell'incidenza.*

perdite delle schiere di turbina

Correlazione di Soderberg

perdita di energia cinetica a valle della schiera

$$\xi = \xi_1 = \frac{\left|h_1 - h_{1s}\right|}{\frac{1}{2}c_1^2}$$ statore

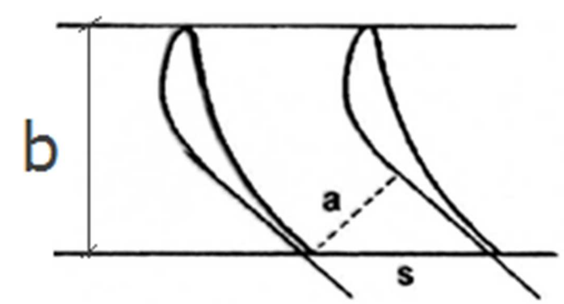
$$\xi = \xi_2 = \frac{\left|h_2 - h_{2s}\right|}{\frac{1}{2}w_2^2}$$ rotore

perdite delle schiere di turbina

Correlazione di Soderberg

Coefficienti funzioni di:

- deflessione cinematica $\Delta\alpha$ (statore) e $\Delta\beta$ (rotore)
- Numero di Re $\mathrm{Re} = \dfrac{D_i c_1}{\nu}$
  - Diametro idraulico $D_i = \dfrac{2hs\cos\alpha_1}{h + s\cos\alpha_1}$ $\quad D_i = \dfrac{2hs\cos\beta_2}{h + s\cos\beta_2}$
  - h altezza della pala
- allungamento della pala h/b
- t/c



perdite delle schiere di turbina

Correlazione di Soderberg

$$\xi = \left(\frac{10^5}{\mathrm{Re}}\right)^{0,25}\left[(1+\xi^*)\left(0,975+0,075\frac{h}{b}\right)-1\right] \quad \text{statore}$$

$$\xi = \left(\frac{10^5}{\mathrm{Re}}\right)^{0,25}\left[(1+\xi^*)\left(0,993+0,021\frac{h}{b}\right)-1\right] \quad \text{rotore}$$

perdite delle schiere di turbina

Correlazione di Soderberg

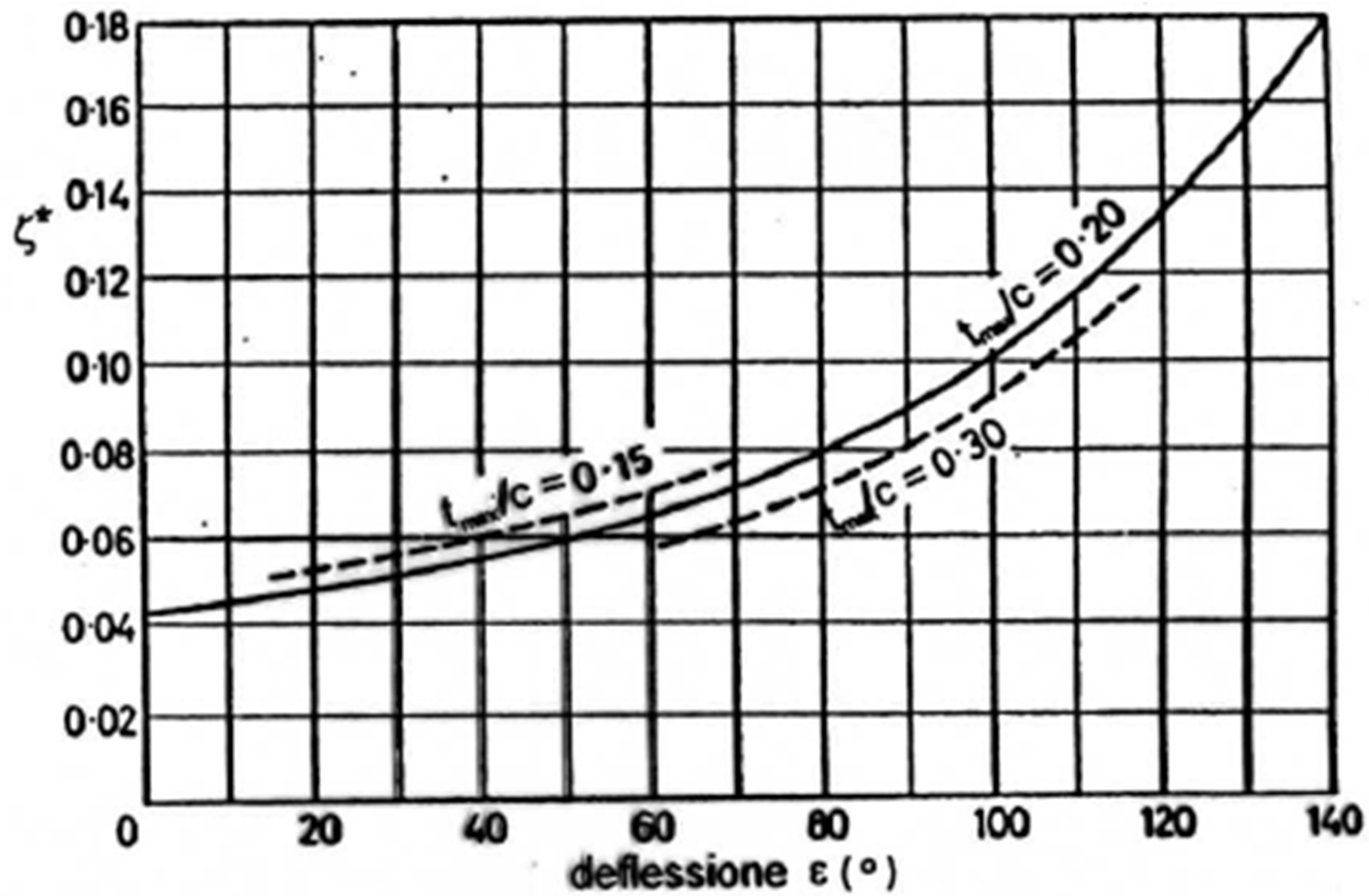


Figura 9.19: *Coefficiente di perdita base secondo Soderberg in funzione della deflessione cinematica* $(Re = 10^5,\ h/b = 3)$.

perdite delle schiere di turbina

Correlazione di Ainley-Mathieson (perdite di profilo)

$$Y_P = \frac{p_{0_0} - p_{1_0}}{p_{1_0} - p_1}$$

- $\mathrm{Re} = 2 \cdot 10^5$ (basato sulla corda)
- $M_1 < 0{,}6$
- $t_{max}/c = 0{,}2$
- $t/s = 0{,}02$
- Condizioni nominali (angolo di incidenza nullo)

$$Y_P^* \rightarrow \begin{cases} \alpha_0 = 0 \\ R = 0 \\ m_\alpha = 0 \end{cases}$$

$$Y_P = \left[Y_P^* + m_\alpha^2 \left(Y_P^{**} - Y_P^* \right) \right] \left(\frac{\frac{t_{max}}{c}}{0{,}2} \right)^{m_\alpha}$$

$$m_\alpha = -\frac{\alpha_0}{\alpha_1}$$

$$Y_P^{**} \rightarrow \begin{cases} \alpha_1 = -\alpha_0 \\ R = 0{,}5 \\ m_\alpha = 1 \end{cases}$$

$$0{,}15 \le \frac{t_{max}}{c} \le 0{,}25$$

perdite delle schiere di turbina

Correlazione di Ainley-Mathieson (perdite di profilo)

Yp*

Yp**

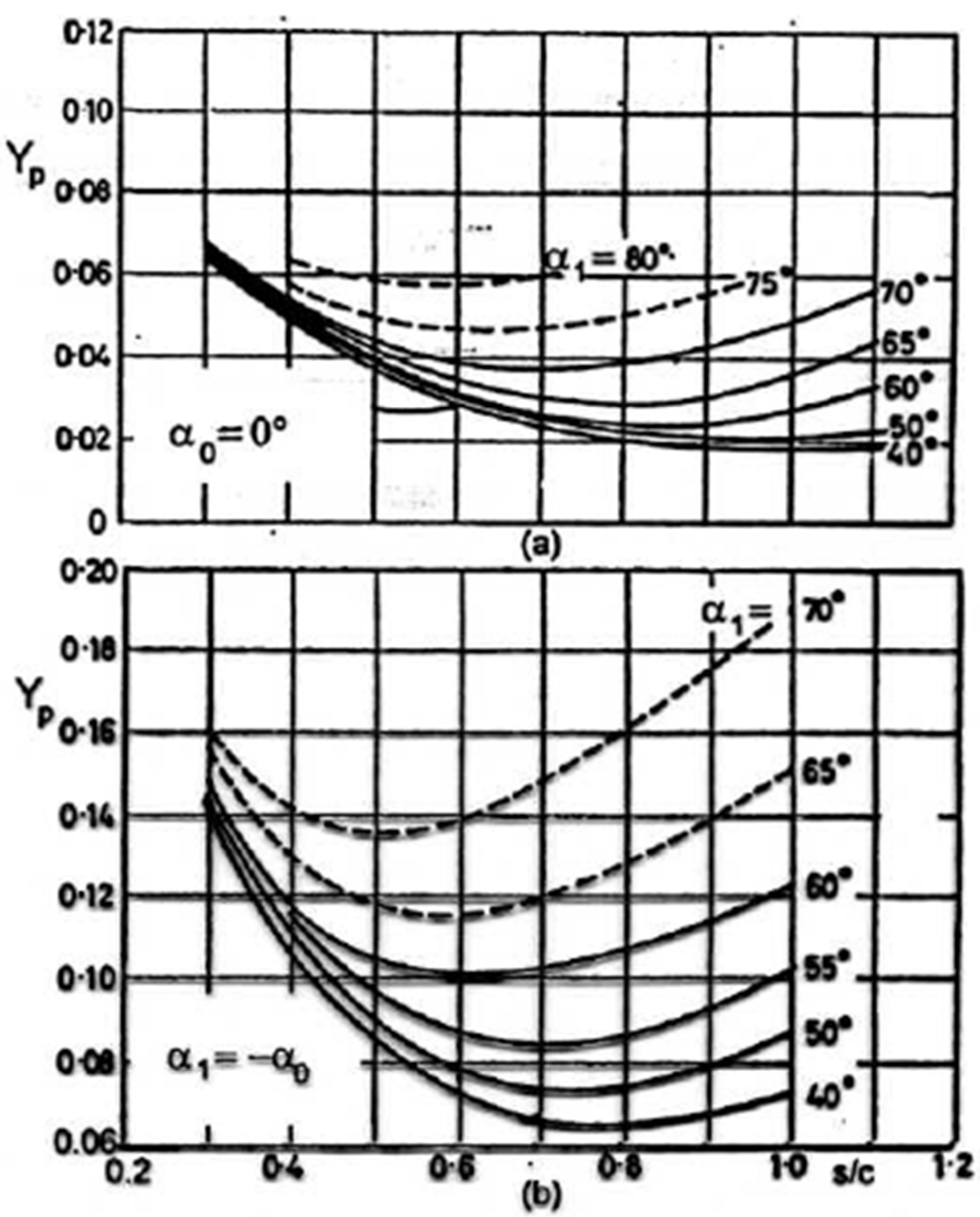


Figura 9.21: *Perdite di profilo secondo Ainley e Mathieson per ugelli (a) e pale ad azione (b), in condizioni standard, in funzione di s/c e dell'angolo a valle.*

perdite delle schiere di turbina

Correlazione di Ainley-Mathieson (perdite di profilo)

$$Y_P = Y_{P,0.02}\left[1+7\left(\frac{t}{s}-0,02\right)\right]$$ correzione per diverso spessore in uscita

$$Y_P = Y_{P,2\times10^5}\left(\frac{2\times10^5}{\mathrm{Re}}\right)^{0,2}$$ correzione per diverso Re

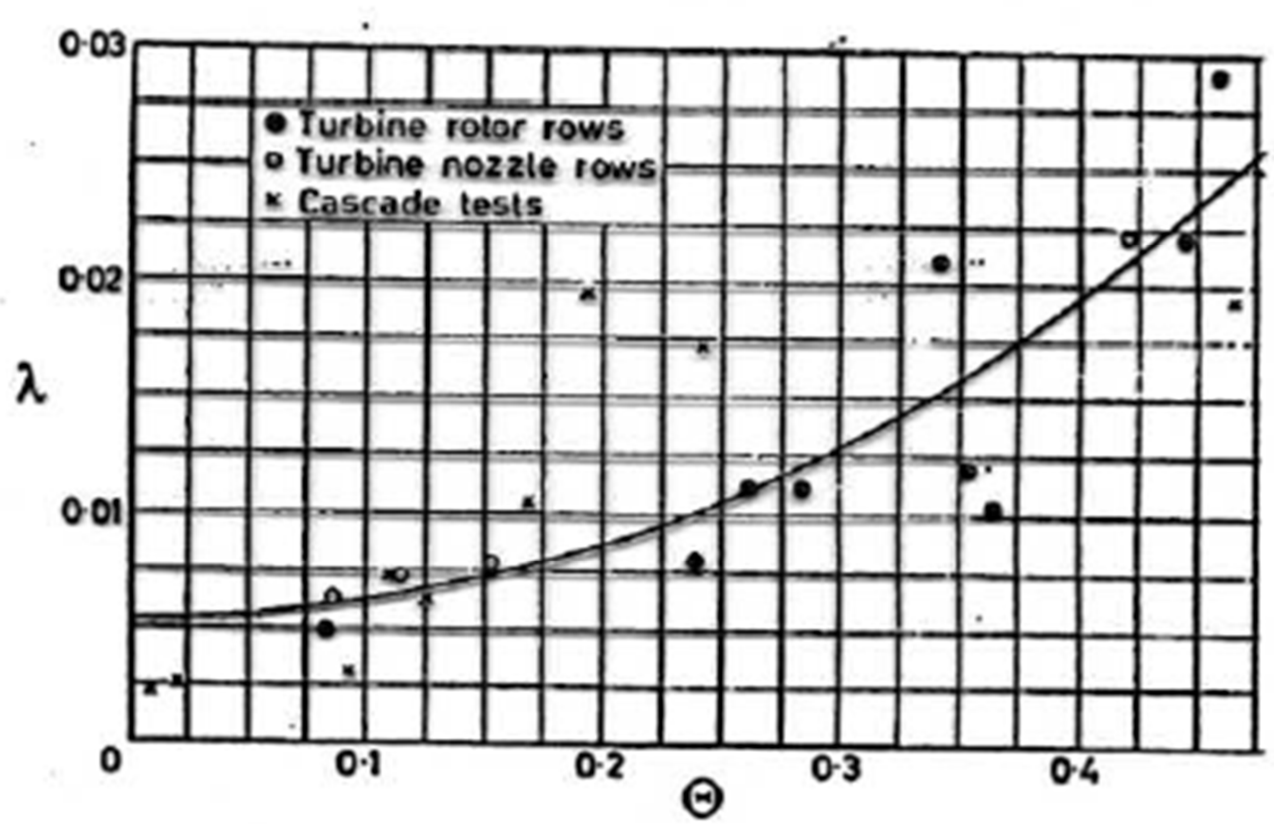
perdite delle schiere di turbina

perdite secondarie e giochi

$$Y_S + Y_G = \left(\lambda + B\frac{\delta}{k}\right)\left(\frac{c_L}{\frac{s}{c}}\right)^2 \frac{\cos^2\alpha_1}{\cos^3\alpha_\infty}$$

- $B = 0{,}5$ pale "libere"
  $B = 0{,}25$ pale "cerchiate"
- h è l'altezza della pala
- δ è il gioco radiale
- λ è un coefficiente sperimentale

$$\theta = \frac{\left(\frac{A_1}{A_0}\right)^2}{\left(1 + \frac{D_i}{D_e}\right)}$$



condizioni fuori progetto

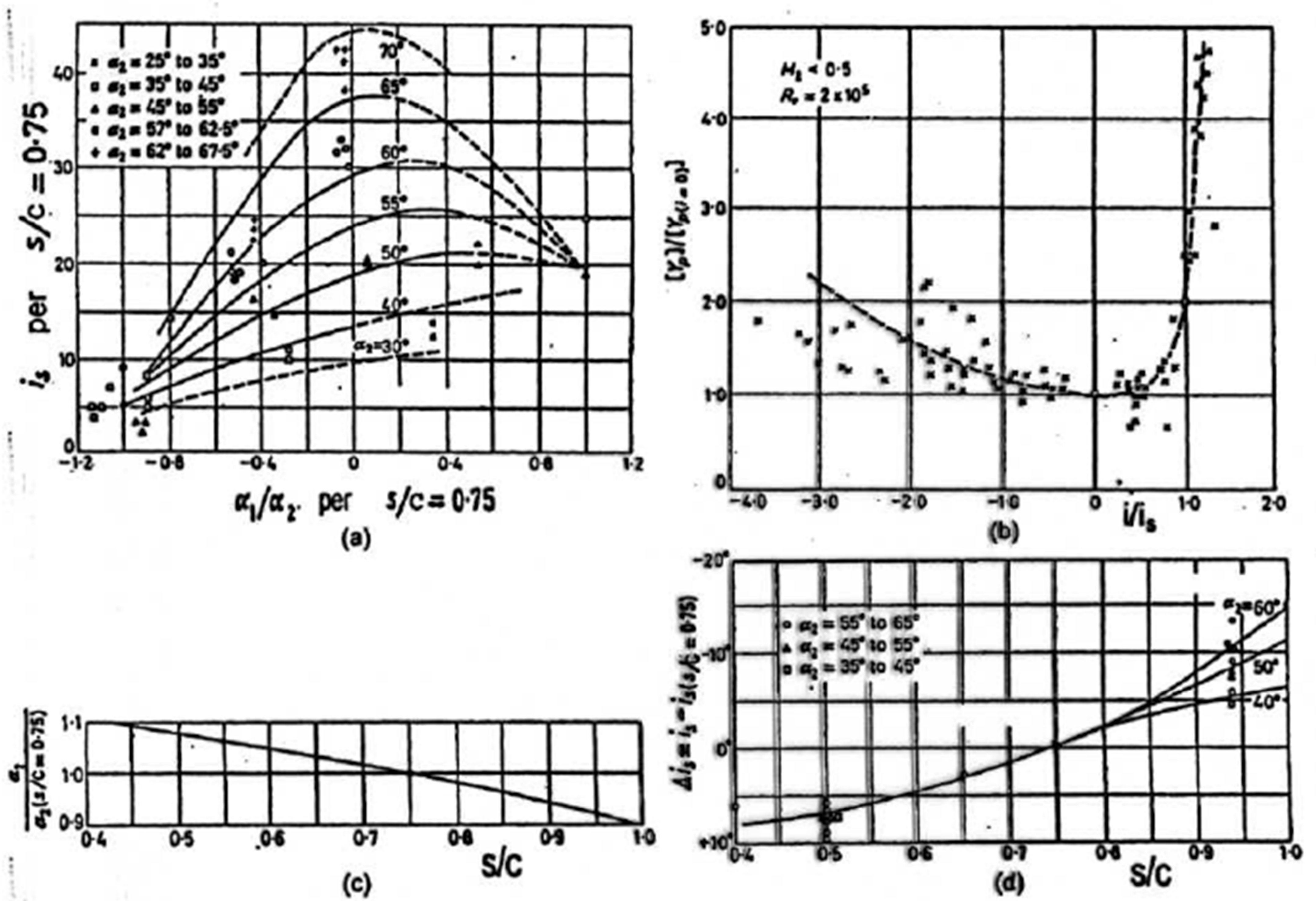


Figura 9.29: *Incidenza di stallo e perdite di incidenza per schiere standard ($s/c = 0.75$) (figure a, b) e correzione sull'angolo a valle e sulla incidenza di stallo da utilizzare nei diagrammi a, b quando $s/c \neq 0.75$ (figure c, d).*

criteri di carico

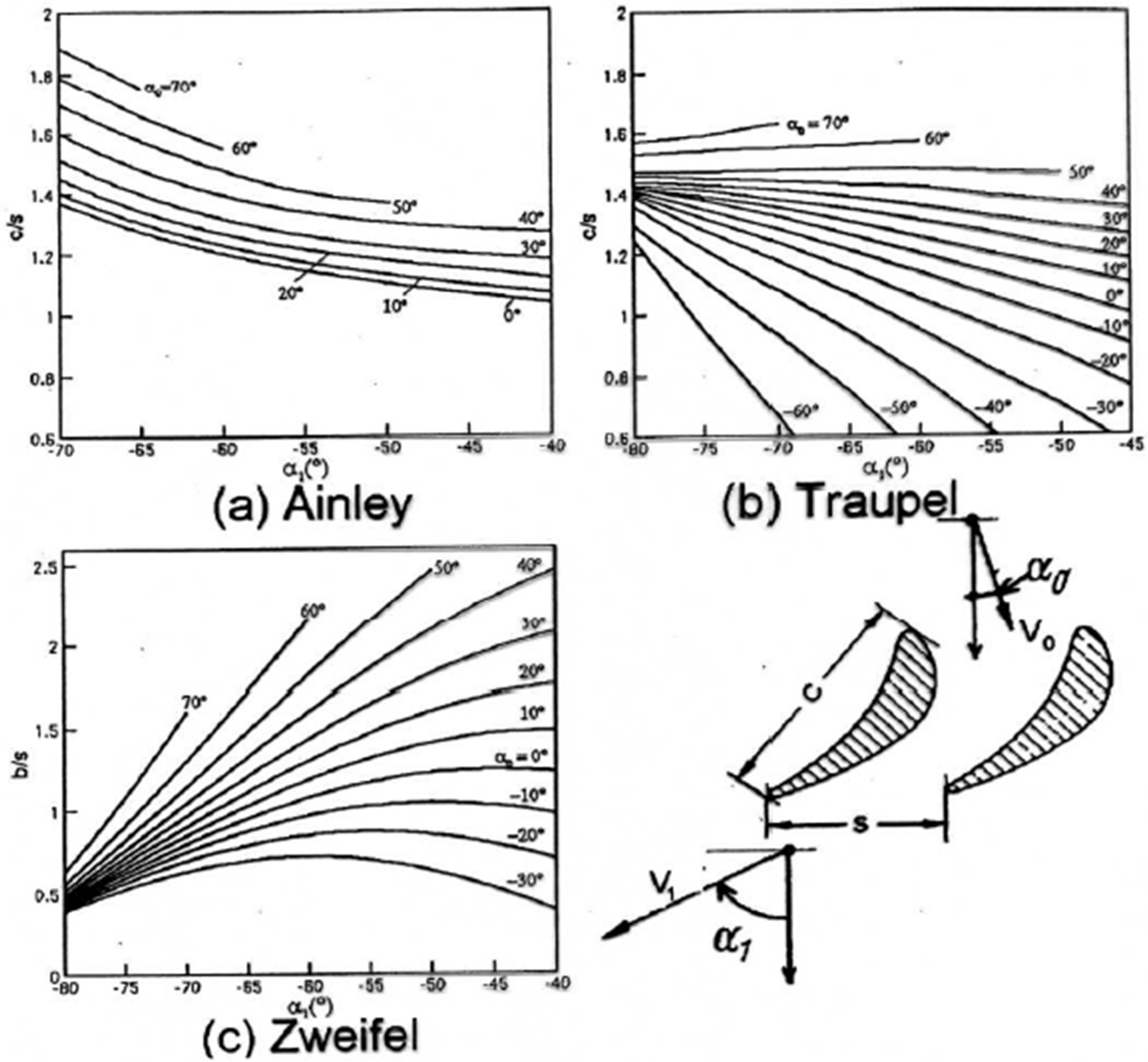


Figura 9.30: *Criteri di carico rielaborati da alcuni lavori classici di diversi autori: Ainley e Mathieson (figura a), Traupel (figura b) e Zweifel (figura c).*

criteri di carico

Criteri di Zweifel

$$\frac{F_t}{F_{t,id}} = \frac{F_t}{\frac{1}{2}\rho b c_1^2} = c_{F_t} = 2\cos^2\alpha_1\left(\frac{c_{m0}}{c_{m1}} tg\alpha_0 - tg\alpha_1\right)\frac{s}{b} = 0,8$$

criteri di carico

$p_{0_0} = p_{1_0}$ in condizioni ideali

la differenza tra p_1 e p_{1_0} sarà $\frac{1}{2}\rho c_1^2$