

LEZIONE 5-6

SIMILITUDINE DELLE TURBOMACCHINE

4) Quando abbiamo a che fare con macchine che operano con fluidi comprimibili bisogna tener conto del numero di Mach

$$\psi = f(\varphi, Ma)$$

$$Ma = \frac{\omega D}{a_{01}}$$

$$Mu = \frac{\omega \frac{D}{2}}{a}$$

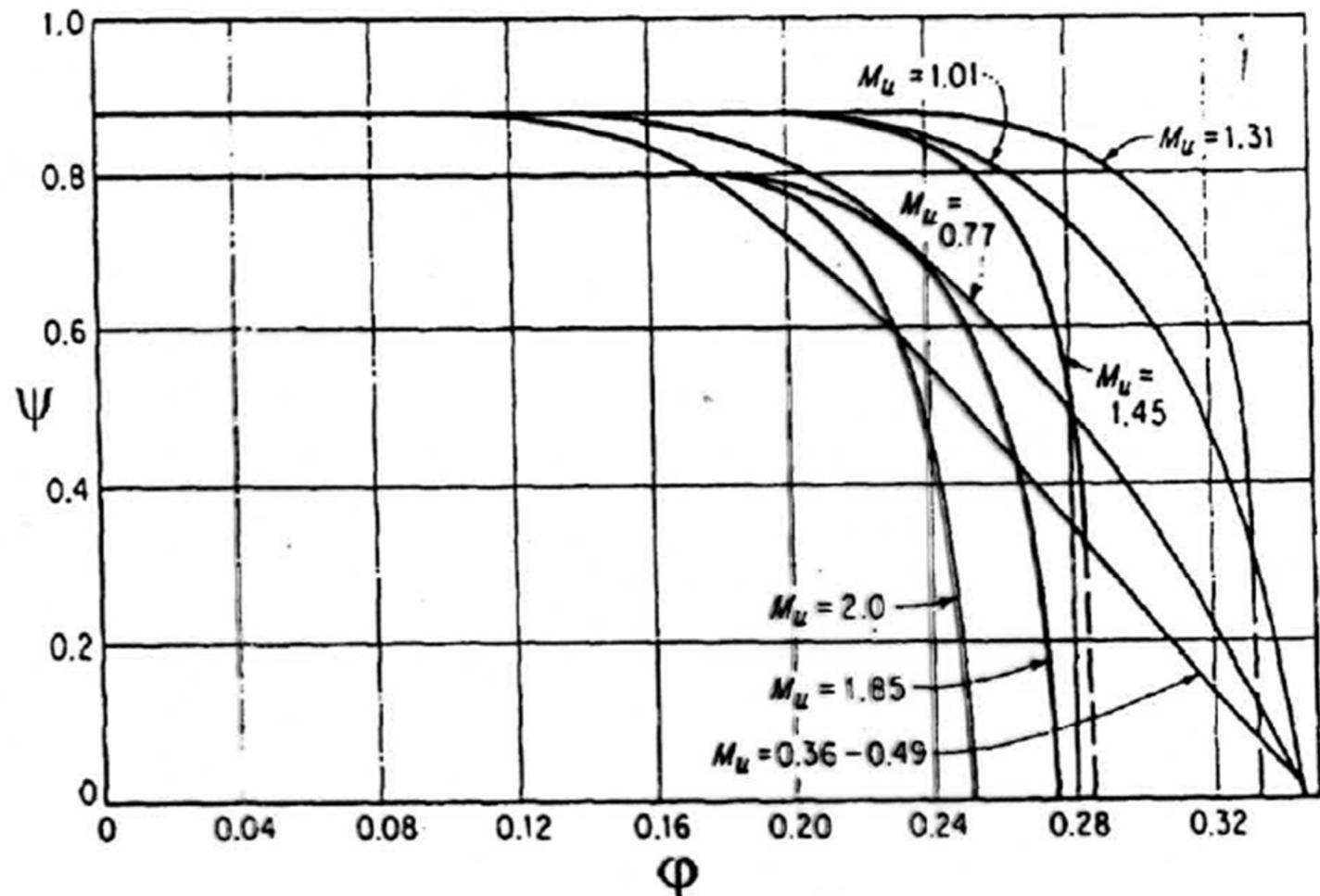


Figura 3.17: Curve adimensionali di funzionamento di una famiglia di compressori, per un fluido assegnato, a diversi numeri di Mach periferici.

SIMILITUDINE DELLE TURBOMACCHINE

$$M_{01} = \frac{\omega D}{a_{01}}$$

$$p = \rho_i^{RT}$$

$$a = \sqrt{k \bar{R} T}$$

$$\varphi = \frac{\dot{m}}{\rho_{01} \omega D^3}$$

$$\psi = \frac{L_i}{\omega^2 D^2}$$

SIMILITUDINE DELLE TURBOMACCHINE

Posso ipotizzare:

stesso fluido R, k cost.

Stessa macchina D cost.

condizioni in ingresso M_{01} cost.

$$M_{01} \rightarrow \frac{\omega D}{\sqrt{RT_{01}}}$$

$$\varphi \rightarrow \frac{\dot{m} \sqrt{RT_{01}}}{\rho_{01} D^2}$$

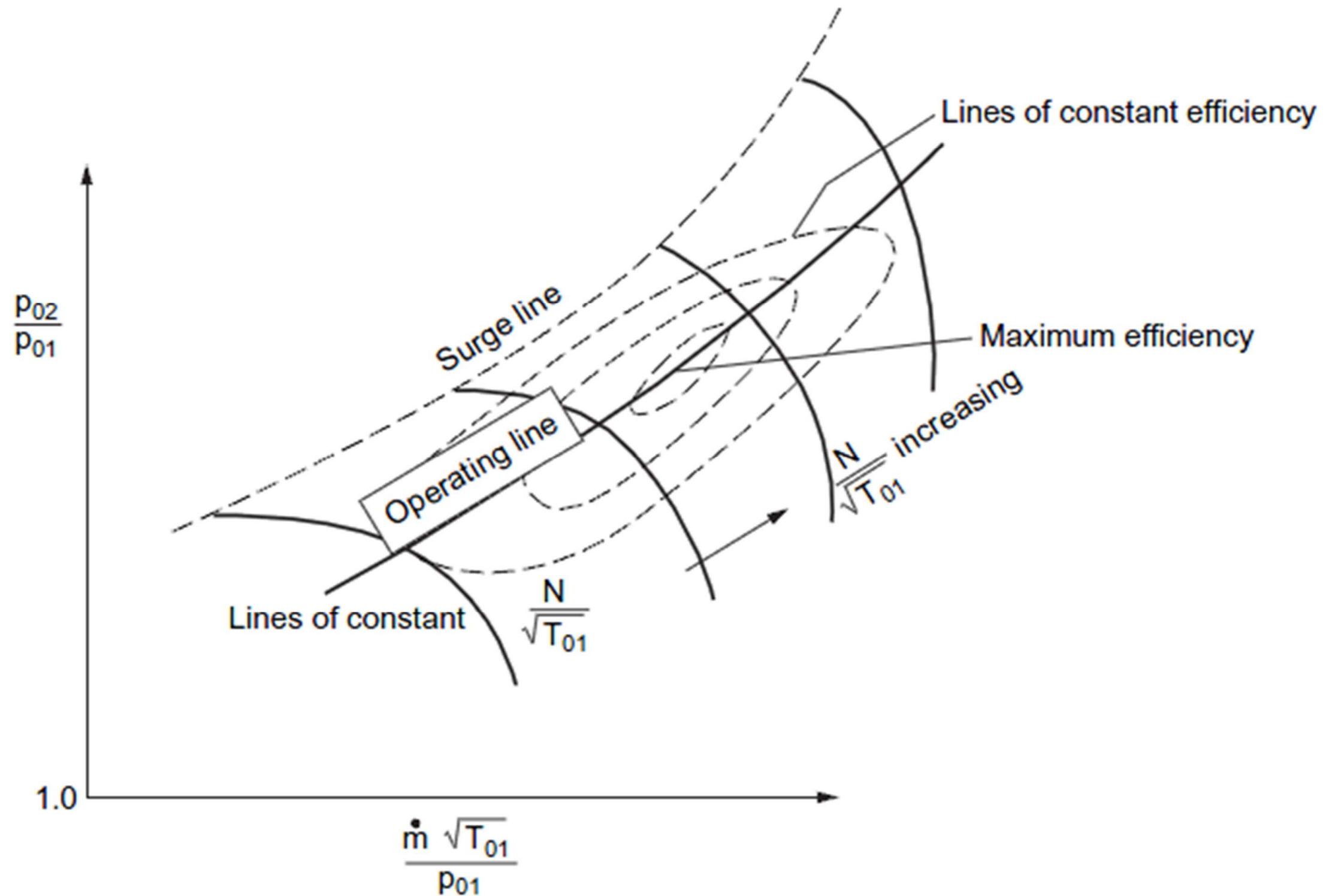
$$\psi \rightarrow \left(\frac{p_{02}}{p_{01}} \right)$$

$$M_{01} \rightarrow \frac{\omega}{\sqrt{T_{01}}}$$

$$\varphi \rightarrow \frac{\dot{m} \sqrt{T_{01}}}{\rho_{01}}$$

$$\psi \rightarrow \left(\frac{p_{02}}{p_{01}} \right)$$

SIMILITUDINE DELLE TURBOMACCHINE

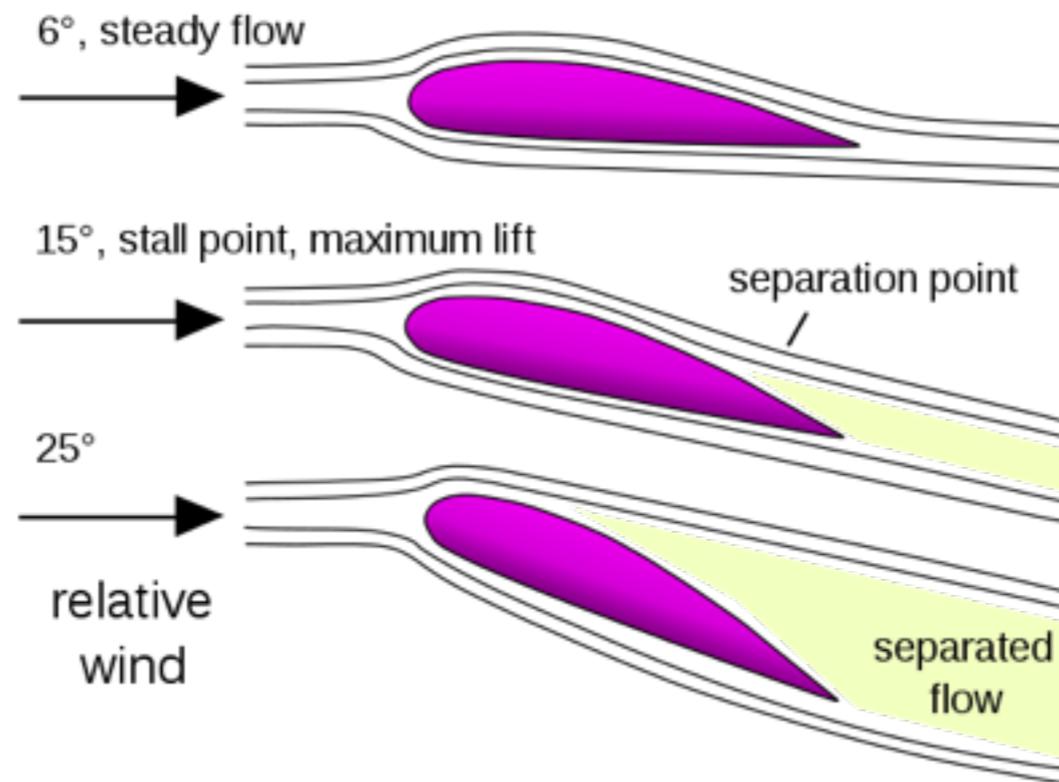


SIMILITUDINE DELLE TURBOMACCHINE

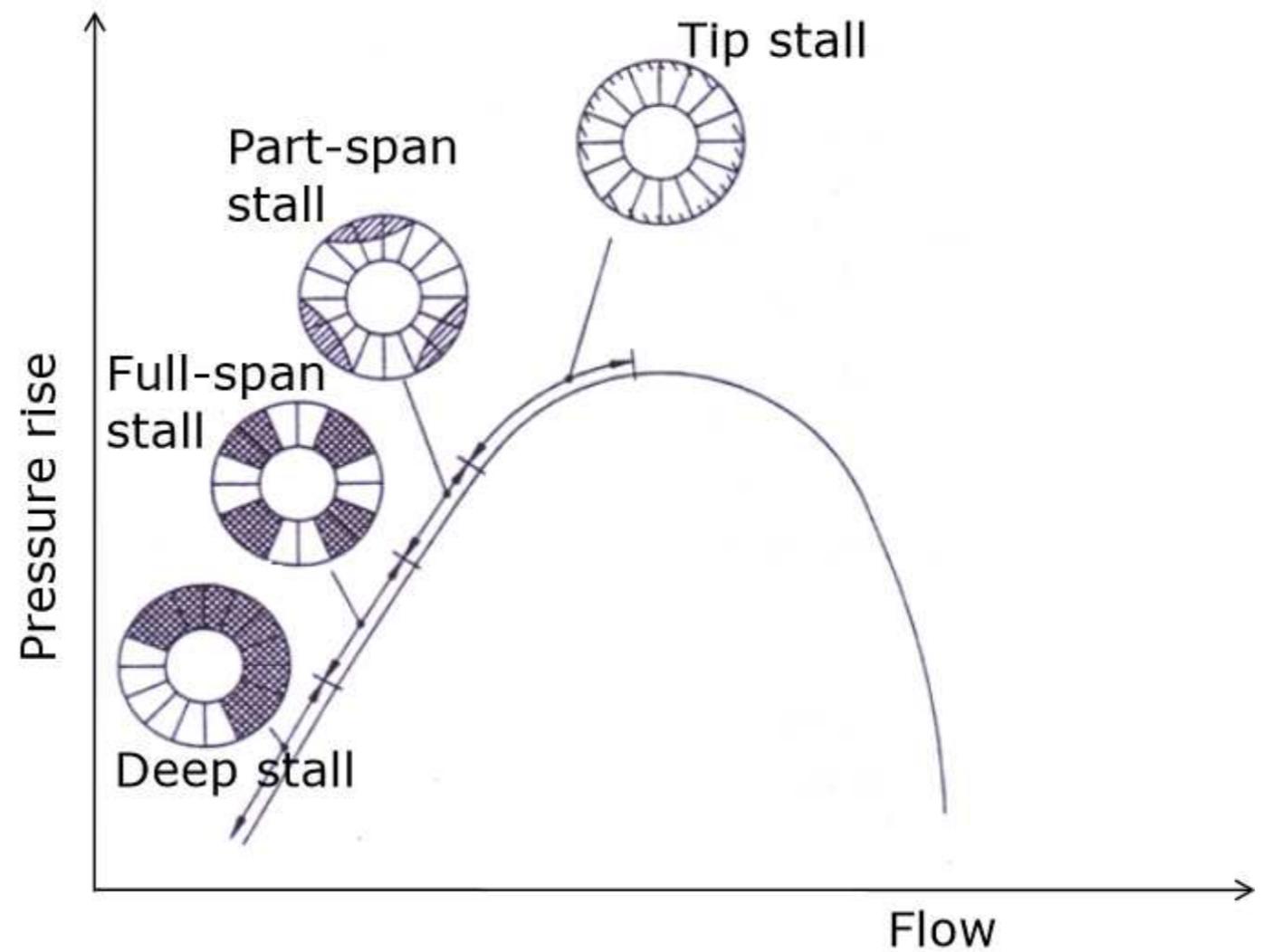
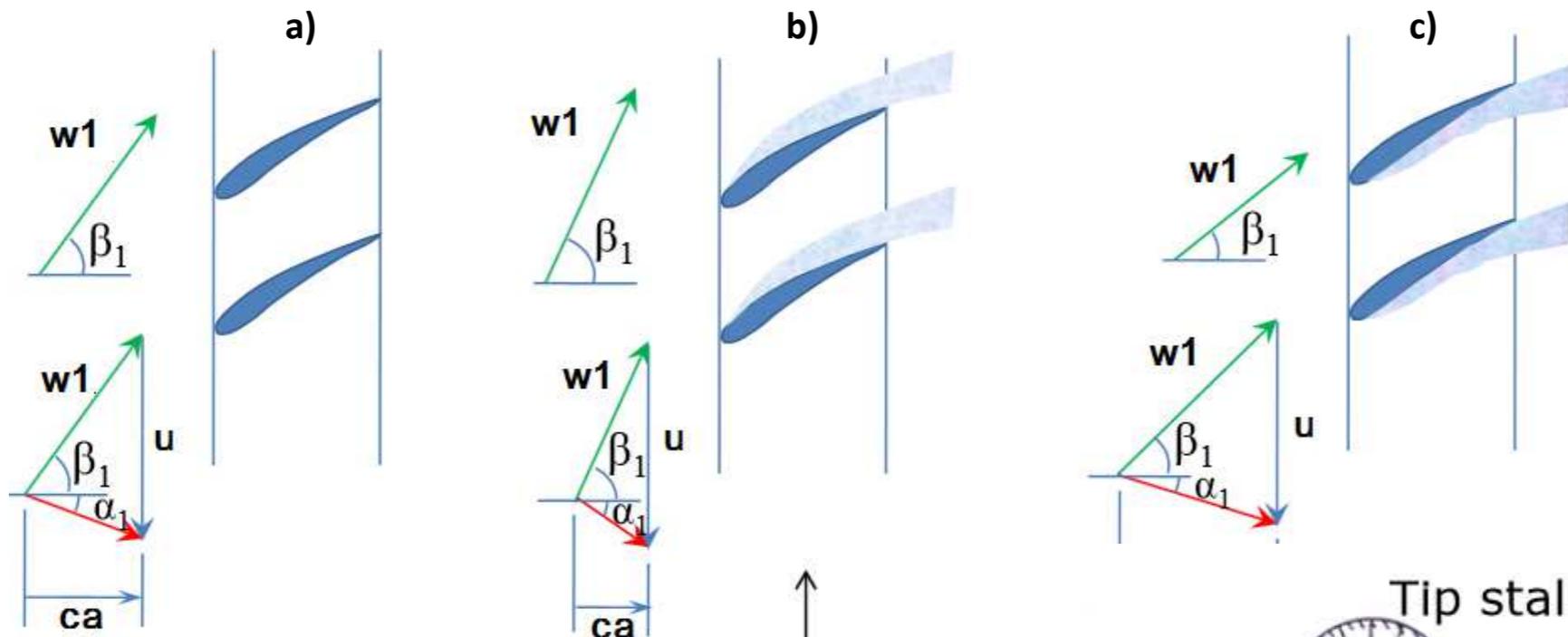
Abbiamo un fenomeno noto come *ingolfamento del compressore*. Intendiamo il raggiungimento di quella condizione di funzionamento in cui non è più possibile variare la portata variando il rapporto delle pressioni attorno alla macchina. Questo perchè in qualche punto si raggiungono le condizioni di flusso sonico e quindi, ricordando lo studio dell'ugello convergente-divergente, abbiamo un blocco sonico della portata.

SIMILITUDINE DELLE TURBOMACCHINE

Alle basse portate, diminuendo la portata aumenta il rapporto di compressione. Arriviamo ad una condizione di funzionamento in corrispondenza della quale si verificherà lo *stallo*. Lo stallo si verifica secondo le modalità dello *stallo rotante*.



SIMILITUDINE DELLE TURBOMACCHINE



SIMILITUDINE DELLE TURBOMACCHINE

Oltre lo stallo si può verificare un altro fenomeno di instabilità chiamato *pompaggio* per cui tracciamo una seconda curva limite (surge line). Il pompaggio è un'altra condizione di funzionamento instabile che dipende non solo dalle caratteristiche del compressore ma dall'iterazione tra caratteristiche del compressore e caratteristiche dell'impianto (in particolare i volumi). È un

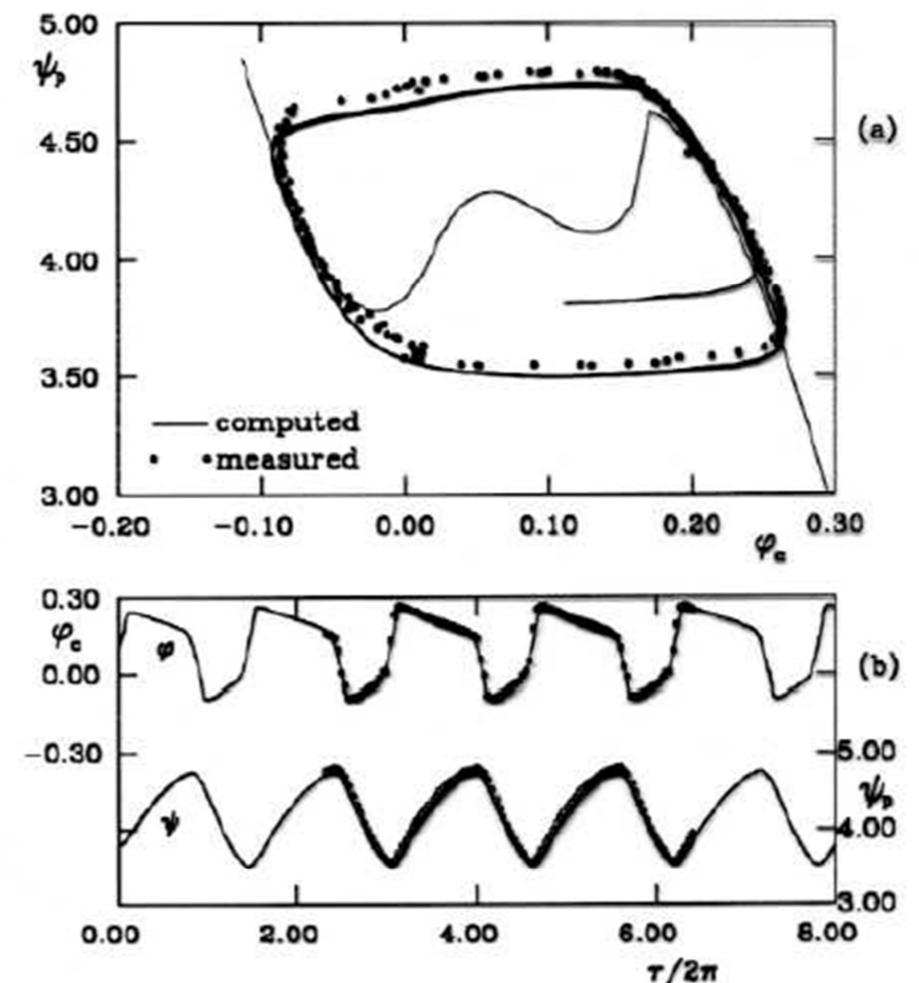
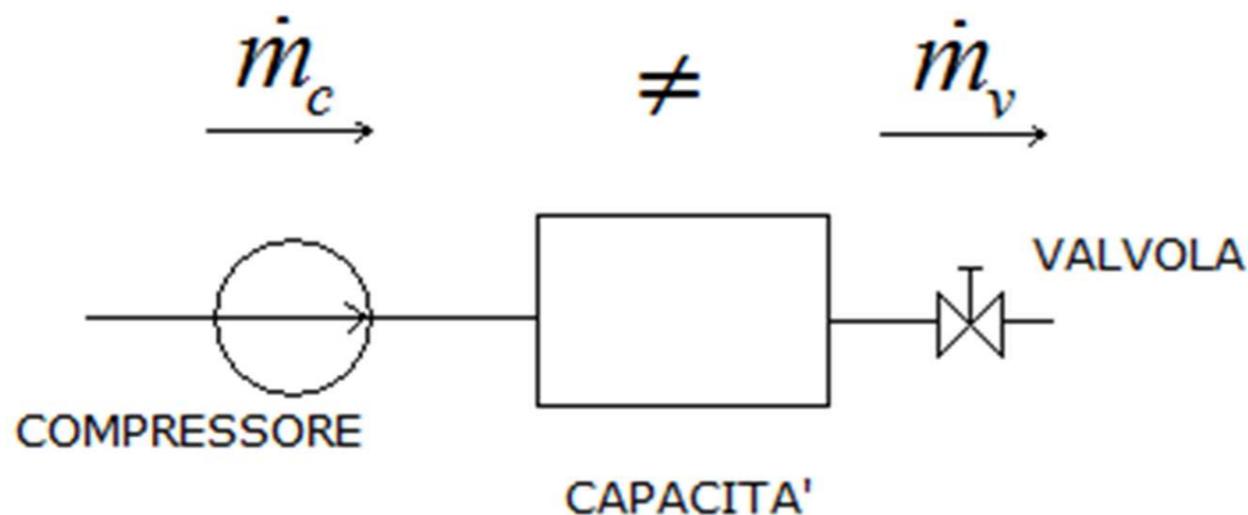


Fig. 6 - Transient compression system behaviour: 3000 rpm, $\phi_{ss} = 0.117$.

Condizioni ambientali standard

Significato dei pedici:

- “s” : grandezze relative alle condizioni standard;
- “c” : valori corretti cioè riportati alle condizioni standard
- “ “ : valori da correggere (valori rilevati nel corso della prova)

Proprietà di un gas generico miscela di due gas con massa molare M:

$$\frac{p}{\rho} = \frac{p_1}{\rho} + \frac{p_2}{\rho} = x_1 \frac{p_1}{\rho_1} + x_2 \frac{p_2}{\rho_2} = \mathcal{R}T \left(\frac{x_1}{\mathcal{M}_1} + \frac{x_2}{\mathcal{M}_2} \right) = \mathcal{R}T \left(\frac{1}{\mathcal{M}} \right)$$

$$c_p = x_1 c_{p1} + x_2 c_{p2}$$

$$\frac{\gamma}{\gamma - 1} = \frac{\frac{x_1}{\mathcal{M}_1} \frac{\gamma_1}{\gamma_1 - 1} + \frac{x_2}{\mathcal{M}_2} \frac{\gamma_2}{\gamma_2 - 1}}{\frac{x_1}{\mathcal{M}_1} + \frac{x_2}{\mathcal{M}_2}}$$

Condizioni ambientali standard

a) Rapporto di compressione

$$\frac{p_{02}}{p_{01}} = \frac{p_{02c}}{p_{01s}} \quad \rightarrow \quad p_{02c} = p_{02} \frac{p_{01s}}{p_{01}}$$

b) Parametro di portata

$$\frac{\dot{m} \sqrt{T_{01}}}{p_{01}} = \frac{\dot{m}_c \sqrt{T_{01s}}}{p_{01s}} \quad \rightarrow \quad \dot{m}_c = \dot{m} \sqrt{\frac{T_{01}}{T_{01s}}} \left(\frac{p_{01s}}{p_{01}} \right)$$

c) Parametro di velocità

$$\frac{n}{\sqrt{T_{01}}} = \frac{n_c}{\sqrt{T_{01s}}} \quad \rightarrow \quad n_c = n \sqrt{\frac{T_{01s}}{T_{01}}}$$

Condizioni ambientali standard

Pressione ridotta

$$\delta = \frac{p_{01}}{p_{01s}}$$

Temperatura ridotta

$$\theta = \frac{T_{01}}{T_{01s}}$$

si ottiene:

$$p_{02c} = \frac{p_{02}}{\delta}$$
$$\dot{m}_c = \dot{m} \frac{\sqrt{\theta}}{\delta}$$

$$n_c = \frac{n}{\sqrt{\theta}}$$

Condizioni ambientali standard

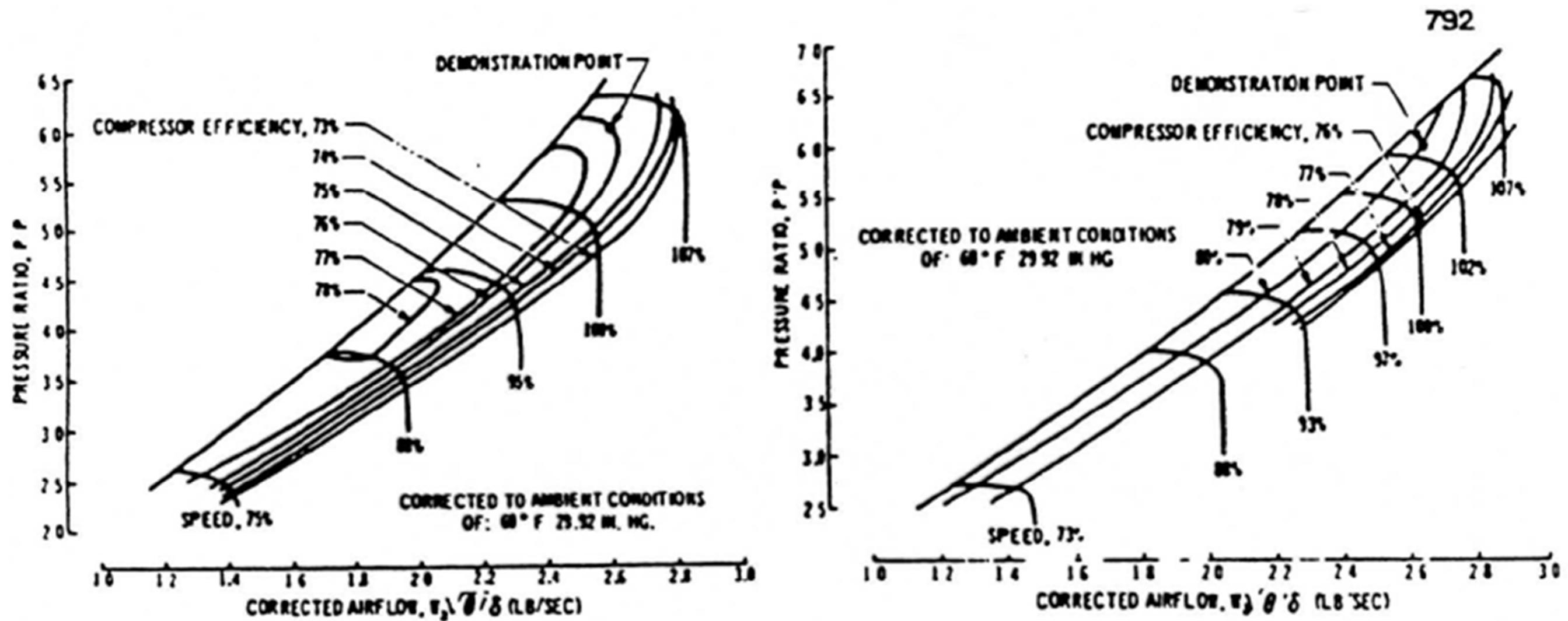


Figure 5.50. Sample Compressor Maps
Showing $\partial pr / \partial m = 0$ at Surge