

Progetto di Macchine

2015/16

Prof. C.Poloni

ORARI del corso

MARTEDI 11:15 - 12:45 Aula C

GIOVEDÌ 10:15 - 11:45 (estensione a 12:45 per esercitazioni) Aula B

VENERDÌ 9:15 - 10:45 Aula C

Ricevimento: Giovedì 12-13 Venerdì' 11-12 e su appuntamento

Ufficio: C5 - piano rialzato, lato CS-ICT

Programma del corso

A) TURBOMACCHINE

A1. Richiami e complementi di Macchine

A2. Progetto di turbomacchine a flusso assiale

A2.1 Analisi del flusso nelle turbomacchine assiali

A2.2 Macchine operatrici assiali

A2.3 Turbine a flusso assiale

A3. Progetto di turbomacchine a flusso radiale

A3.1 Turbomacchine operatrici centrifughe

A3.2 Turbomacchine motrici centripete

B) MOTORI ALTERNATIVI A COMBUSTIONE INTERNA

B1. Aspetti progettuali di carattere generale

B2. Il ciclo termodinamico

B3. Il ricambio della carica

B4. La regolazione ed il controllo delle emissioni inquinanti

Programma del corso

Esercitazioni di dimensionamento di massima di macchine

Esercitazione di progettazione / ottimizzazione multidisciplinare di un componente / sistema

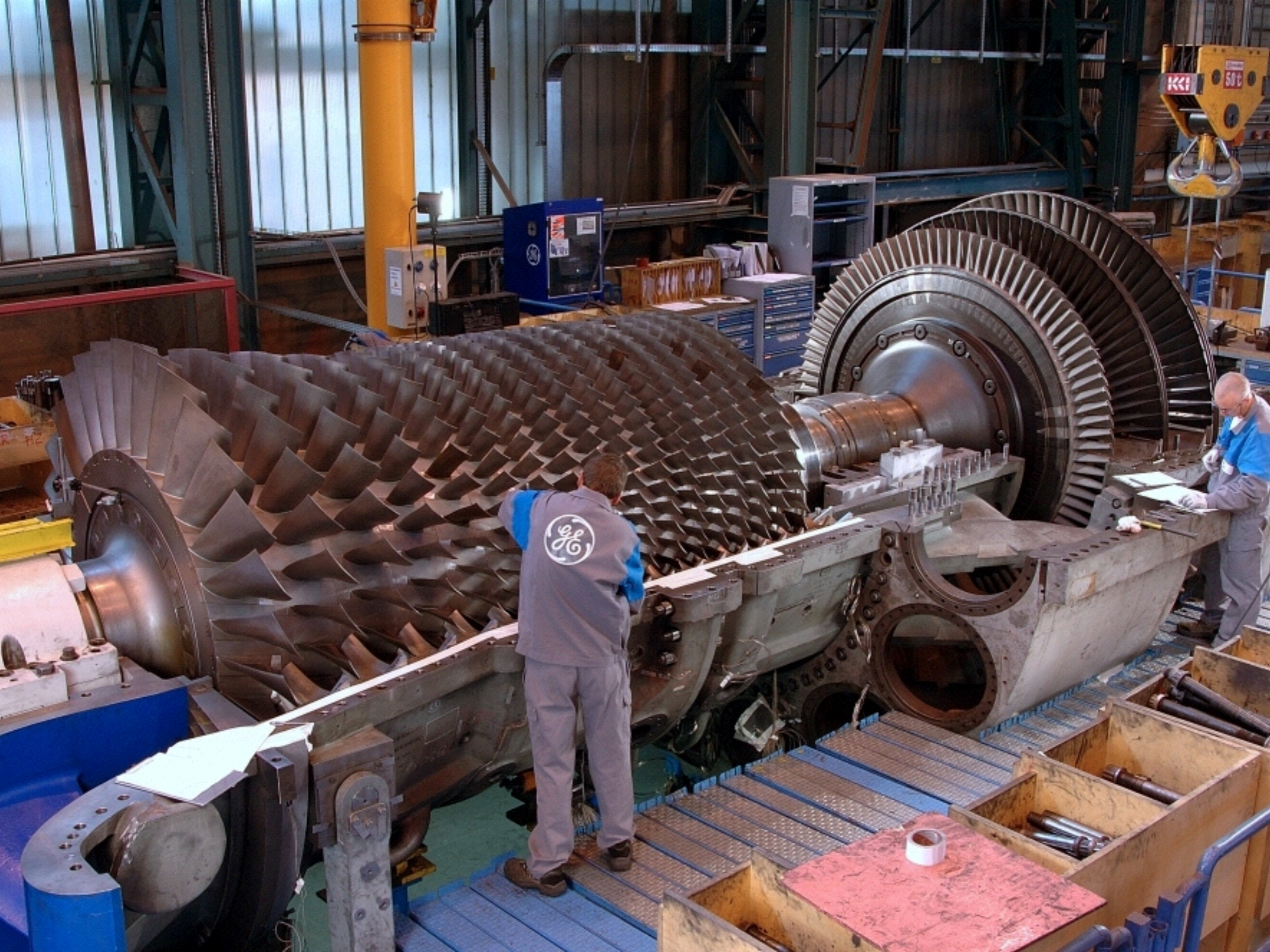
Seminari applicativi (UM16)

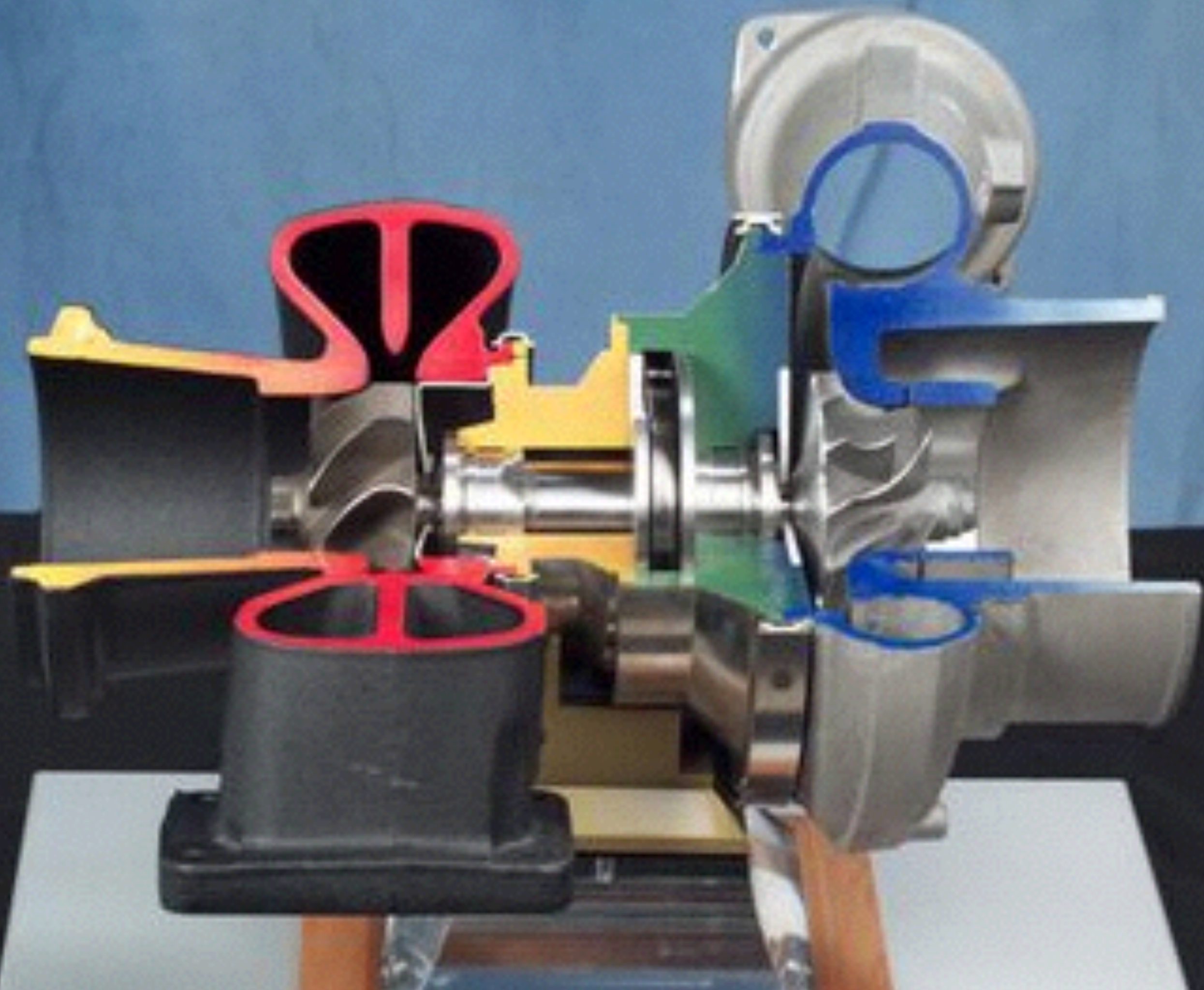
Modalità di esame:

esame orale (2 argomenti di teoria, discussione del progetto / esercitazioni)

testi di riferimento

- **Lezioni di PROGETTO DI MACCHINE A.A. 2010/2011 (appunti del corso)**
- **C. Osnaghi “Teoria delle turbomacchine”, ed. Progetto Leonardo – Esculapio Bologna 2002.**
- S.L. Dixon “Fluid Mechanics, Thermodynamics of Turbomachinery”, Pergamon Press 1978.
- Whitfield, N.C. Baines “Design of radial Turbomachines”, Longman Ed. 1990.
- **G. Ferrari “Motori a combustione interna”, Il Capitello Torino 2008.**
- R. Della Volpe, M. Migliaccio “Motori a combustione interna per autotrazione”, Liguori Napoli 1995.
- B. Lakshminarayana “Fluid Dynamics and Heat Transfer of Turbomachinery”, John Wiley & Sons 1996.
- J.B. Heywood “Internal Combustion Engine Fundamentals”, McGraw-Hill, 1988.





SIMILITUDINE DELLE TURBOMACCHINE

- Note le prestazioni di una macchina che ha determinate dimensioni ci consente di ricavare le prestazioni di una macchina geometricamente simile
- Nota una certa condizione di funzionamento di una certa turbomacchina individuare le condizioni di funzionamento simili a quella precedente
- Curve di prestazioni rilevate in determinate condizioni ambientali possono essere espresse in funzione di parametri che sono invarianti al variare delle condizioni ambientali stesse.
- Stabilire in una fase preliminare di progetto che tipo di macchina dobbiamo usare, la sua geometria di base e quali saranno le sue dimensioni principali.

Teorema di Buckingham

Il teorema di Buckingham (conosciuto anche come teorema pi greco), dovuto al fisico statunitense Edgar Buckingham, afferma che **dato un problema descritto da un certo numero di equazioni in cui siano presenti n variabili fisiche, se le dimensioni fondamentali di queste variabili sono x allora il problema può essere completamente descritto da $n-x$ variabili adimensionali**

SIMILITUDINE DELLE TURBOMACCHINE

$$f(D_i, l_j, \dot{m}, \omega, L_i, \mu, a_{01}, \rho_{01}) = 0$$

- grandezze fondamentali: M L T

- n. di Reynolds $Re = \frac{\rho_{01} \omega D^2}{\mu}$

- n. di Mach $Ma = \frac{\omega D}{a_{01}}$

SIMILITUDINE DELLE TURBOMACCHINE

$$f(D_i, l_j, \dot{m}, \omega, L_i, \mu, a_{01}, \rho_{01}) = 0$$

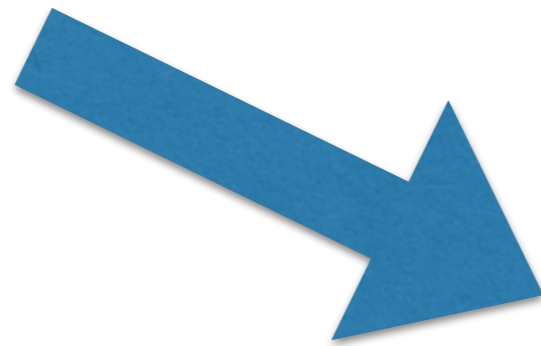
- cifra di flusso
- cifra di pressione

$$\varphi = \frac{\dot{m}}{\rho_{01} \omega D^3} \left(= \frac{Q}{\omega D^3} \right)$$

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

SIMILITUDINE DELLE TURBOMACCHINE

$$f(D_i, l_j, \dot{m}, \omega, L_i, \mu, a_{01}, \rho_{01}) = 0$$

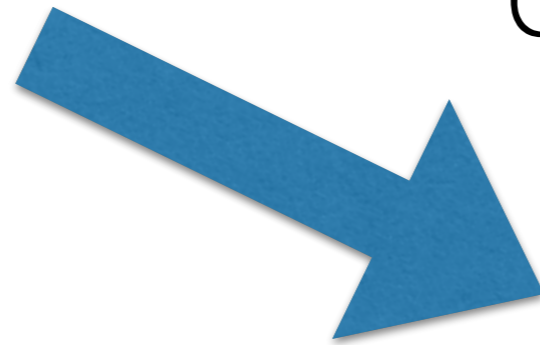


$$f(\pi_i, \pi_j, \varphi, \psi, Re, Ma) = 0$$

SIMILITUDINE DELLE TURBOMACCHINE

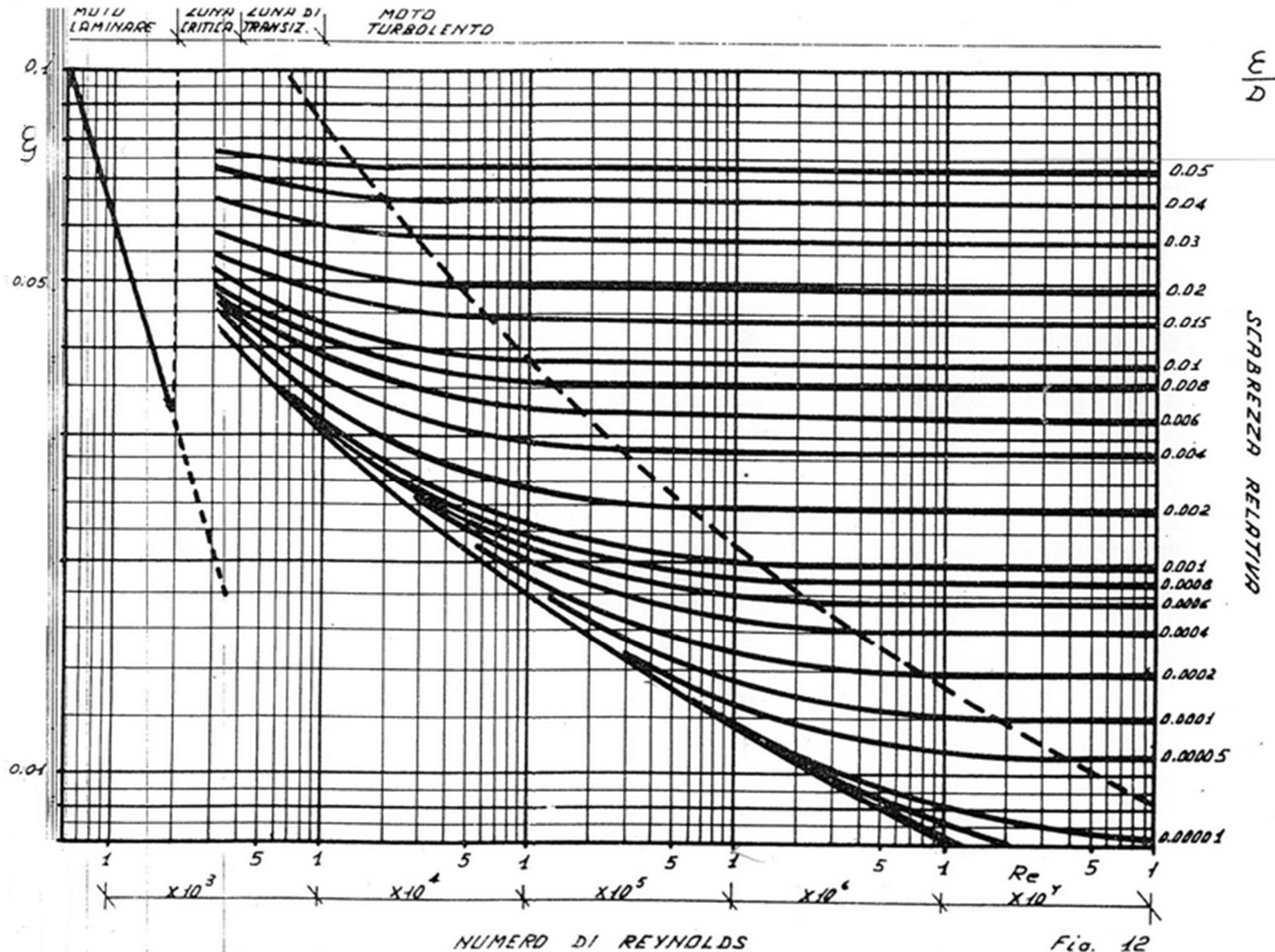
$$f(\pi_i, \pi_j, \varphi, \psi, \text{Re}, \text{Ma}) = 0$$

Geometria simile



$$f(\varphi, \psi, \text{Re}, \text{Ma}) = 0$$

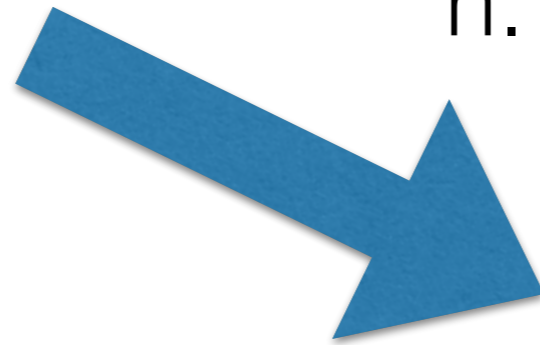
Diagramma di Moody



SIMILITUDINE DELLE TURBOMACCHINE

$$f(\varphi, \psi, Re, Ma) = 0$$

n. Reynolds elevato

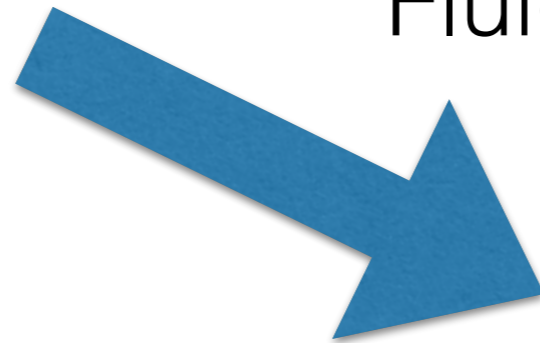


$$f(\varphi, \psi, Ma) = 0$$

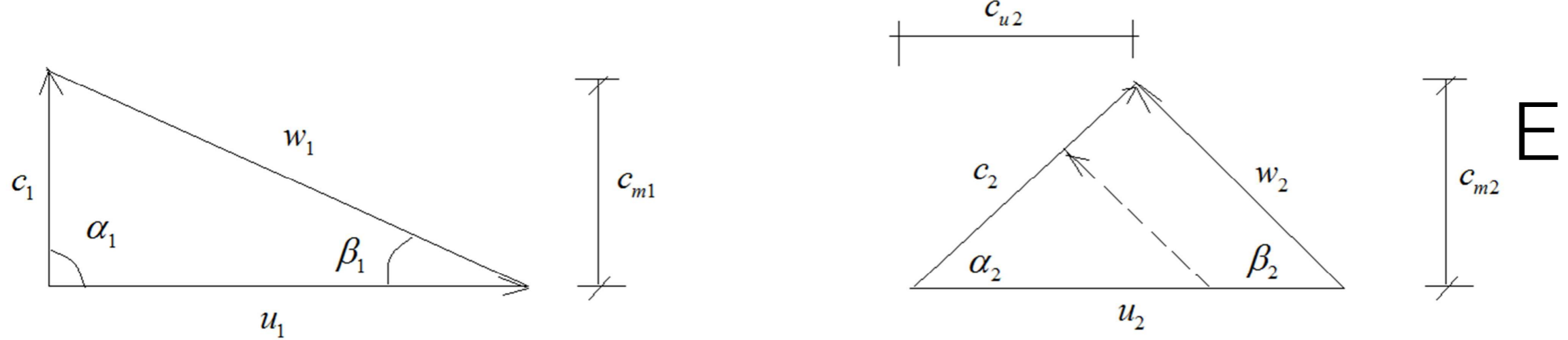
SIMILITUDINE DELLE TURBOMACCHINE

$$f(\varphi, \psi, Ma) = 0$$

Fluido incompressibile



$$f(\varphi, \psi) = 0$$



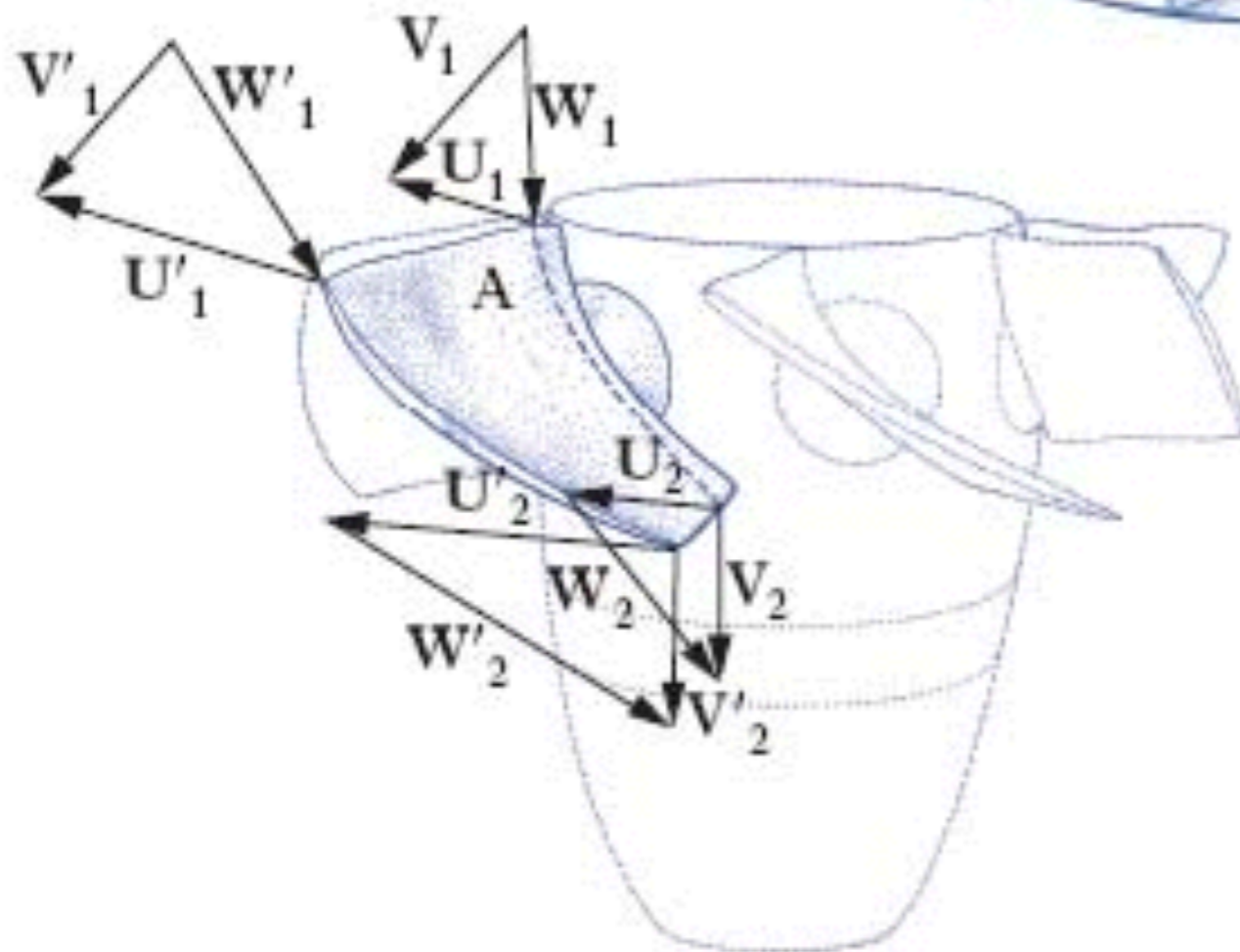
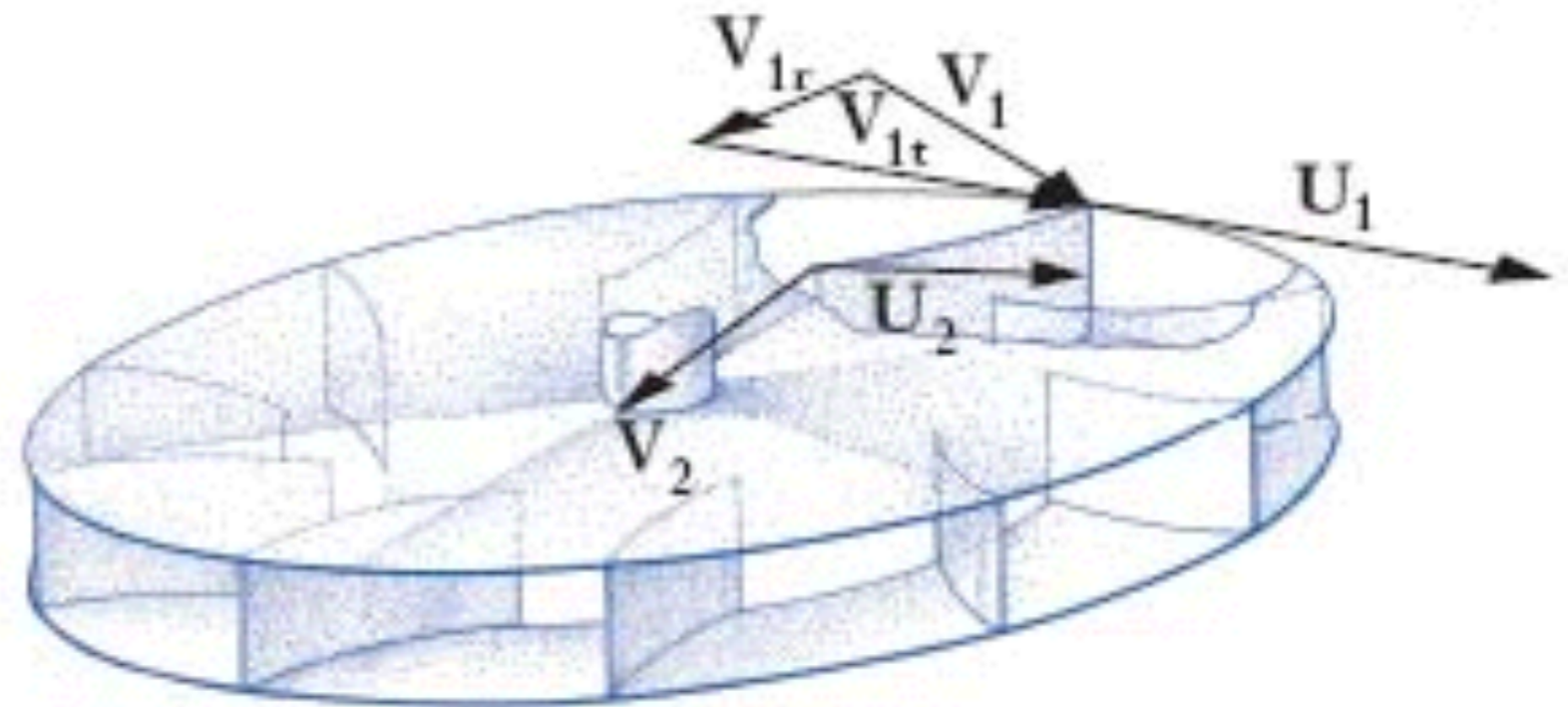
Affinché delle macchine idrauliche operino in condizioni di similitudine tra loro è sufficiente che abbiano lo stesso valore di ψ e φ

$$\varphi = \frac{Q}{\omega D^3} \propto \frac{c_m}{u}$$

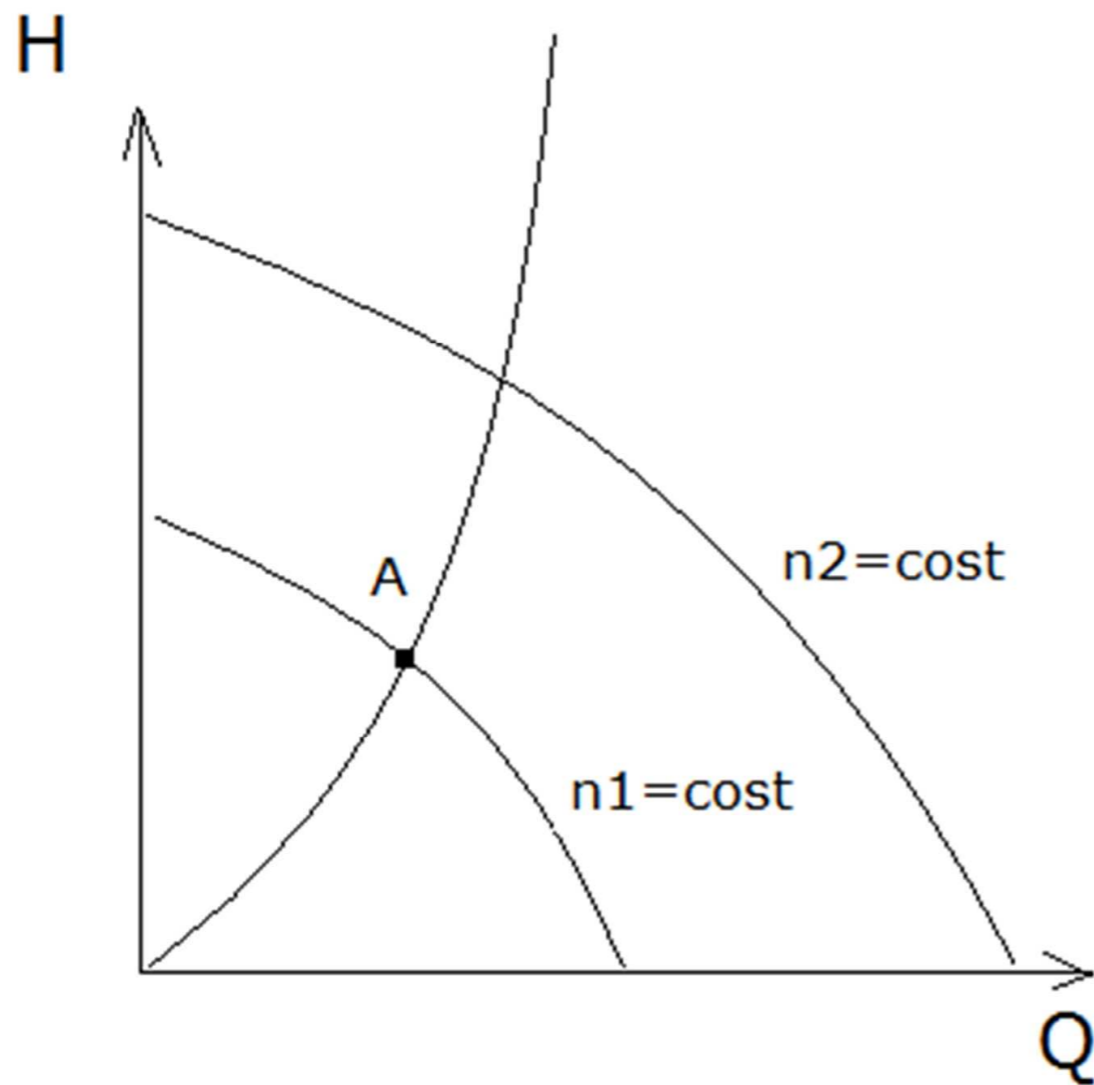
$$\psi = \frac{L_i}{\omega^2 D^2} \propto \frac{c_u}{u}$$

Quindi due macchine che operano in condizioni di similitudine hanno lo stesso valore di ψ e φ e quindi avranno lo stesso valore dei rapporti c_m/u e c_u/u . Allora si manterranno i valori degli angoli dei triangoli di velocità.

SIMILITUDINE DELLE TURBOMACCHINE



SIMILITUDINE DELLE TURBOMACCHINE



$$\varphi = \frac{Q}{\omega D^3} = \frac{Q_x}{\omega_x D^3}$$

$$\psi = \frac{gH}{\omega^2 D^2} = \frac{gH_x}{\omega_x^2 D^2}$$

$$H_x = \frac{H}{Q^2} Q_x^2$$

SIMILITUDINE DELLE TURBOMACCHINE

$$\varphi = \frac{Q}{\omega D^3} = \frac{Q_x}{\omega_x D^3}$$

$$\psi = \frac{gH}{\omega^2 D^2} = \frac{gH_x}{\omega_x^2 D^2}$$

$$\frac{Q_x}{Q_y} = \frac{\omega_x}{\omega_y} \left(\frac{D_x}{D_y} \right)^3$$

$$\frac{L_{ix}}{L_{iy}} = \left(\frac{\omega_x}{\omega_y} \right)^2 \left(\frac{D_x}{D_y} \right)^2$$

$$\frac{Q_x}{Q_y} = \frac{\omega_x}{\omega_y}$$

$$\frac{L_{ix}}{L_{iy}} = \left(\frac{\omega_x}{\omega_y} \right)^2$$

SIMILITUDINE DELLE TURBOMACCHINE

$$\Lambda = \frac{P_e}{\rho \omega^3 D^5}$$

Cifra di potenza

$$k_P = \frac{\omega D}{\sqrt{L_i}}$$

Cifra di velocità periferica

$$\Lambda = \varphi \cdot \psi \cdot \eta_e \quad (\text{macchina motrice})$$

$$\Lambda = \frac{\varphi \cdot \psi}{\eta_e} \quad (\text{macchina operatrice})$$

SIMILITUDINE DELLE TURBOMACCHINE

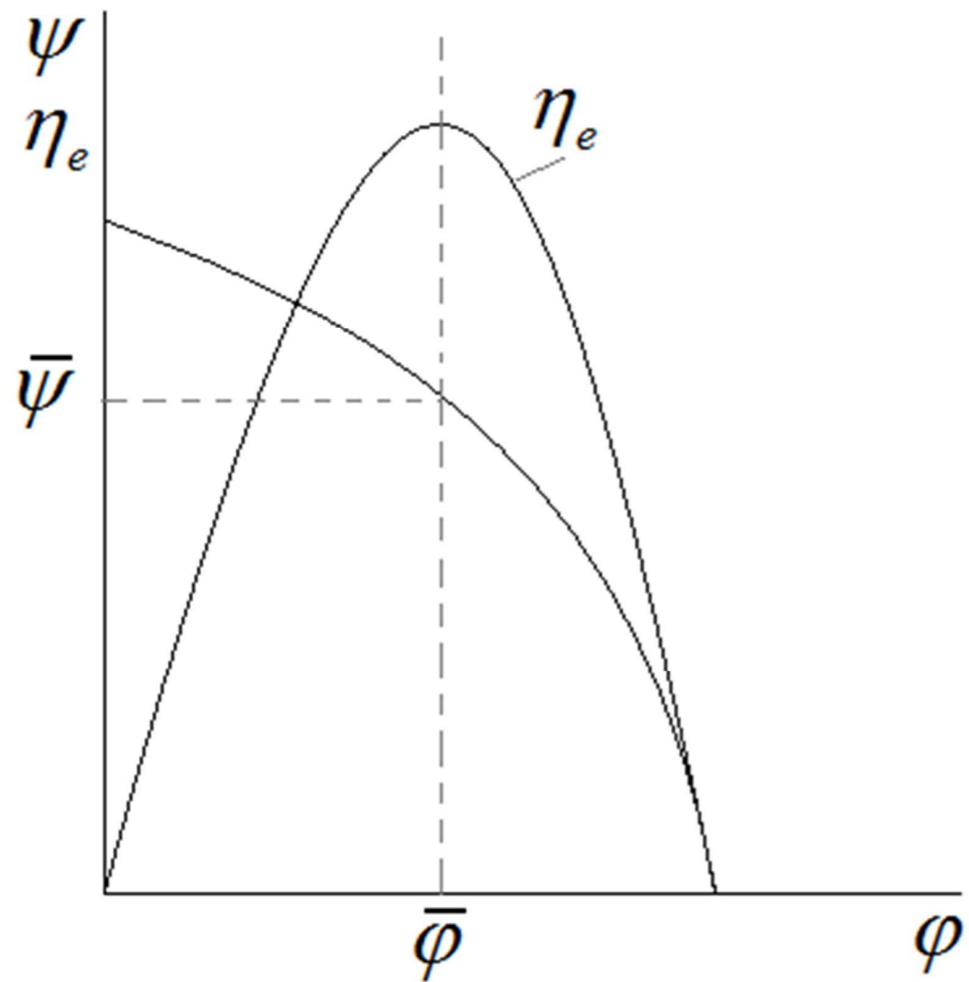
$$\varphi = \frac{Q}{\omega D^3} \propto \frac{c_m}{u} \qquad \psi = \frac{L_i}{\omega^2 D^2} \propto \frac{c_u}{u}$$

moltiplicando le due cifre di pressione e portata elevate all'esponente opportuno per eliminare la dimensione geometrica si ottiene:

$$\left. \begin{matrix} k \\ \omega_s \end{matrix} \right\} = \varphi^{1/2} \psi^{-3/4} = \omega \sqrt{\frac{\dot{m}}{\rho_{01}}} \cdot L_i^{-3/4} = \omega \frac{\sqrt{Q}}{L_i^{3/4}}$$

Numero caratteristico di macchina o Velocità Specifica

SIMILITUDINE DELLE TURBOMACCHINE



$$\left. \begin{matrix} k \\ \omega_s \end{matrix} \right\} = \varphi^{1/2} \psi^{-3/4} = \omega \sqrt{\frac{\dot{m}}{\rho_{01}}} \cdot L_i^{-3/4} = \omega \frac{\sqrt{Q}}{L_i^{3/4}}$$

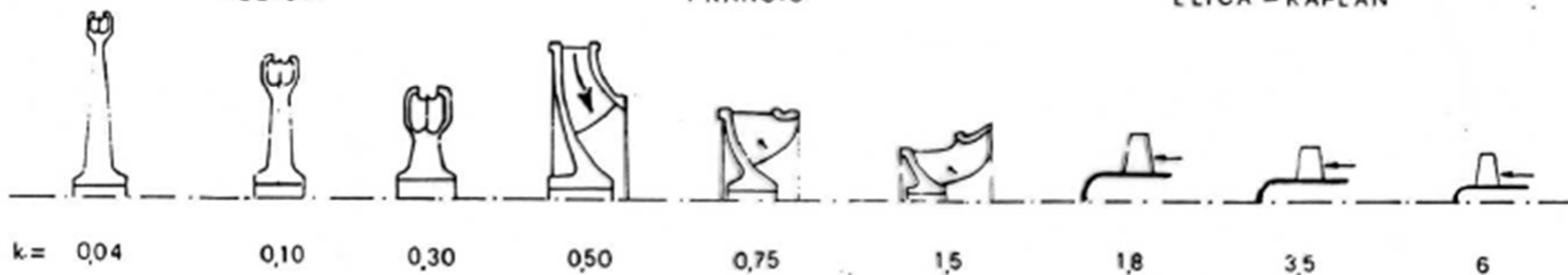
Numero caratteristico di
macchina o Velocità
Specifica

TURBINE

PELTON

FRANCIS

ELICA - KAPLAN



POMPE

RADIALI

SEMIASSIALI

ASSIALI

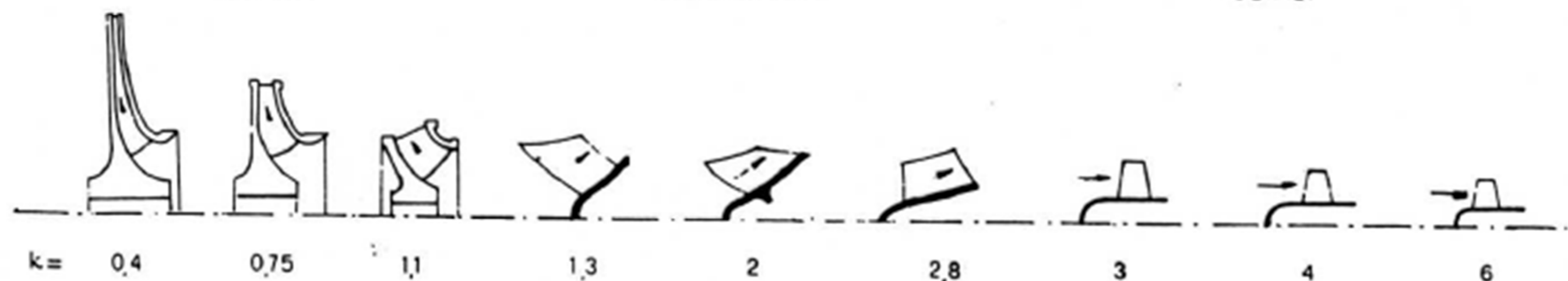


Fig. 3.5 - Variazione della forma delle giranti delle turbine e delle pompe idrauliche al variare del numero caratteristico di macchina.