



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI TRIESTE

Elica Isolata

Prof. Paolo Frandoli

AA 2023-2024

Elica Isolata

Elica operante in un ambiente idrodinamicamente non disturbato lontana da corpi e ostacoli

Caratteristiche elica isolata ottenute con:

- Metodi analitici
- Prove su modelli

Grandezze

- **Caratteristiche geometriche** (geom. elica, inclinazione asse)
- **Caratteristiche cinematiche** (V_A , ω , grandezze adimensionali)
- **Caratteristiche dinamiche** (valori medi sul giro delle forze in gioco)



Caratteristiche Cinematiche

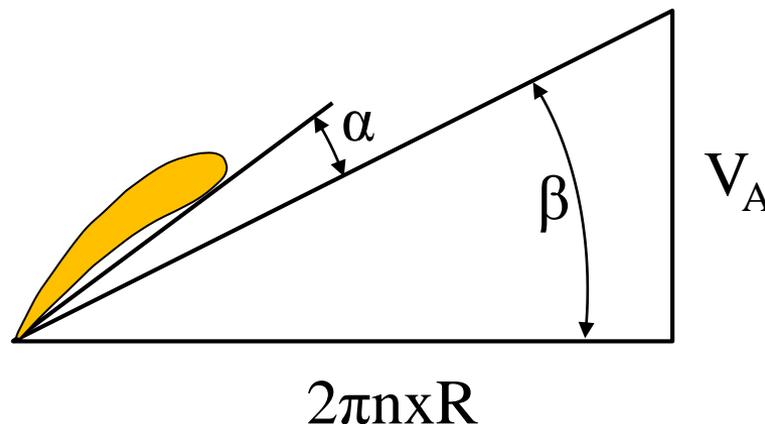
Moto dell'elica:

- Traslazione assiale con velocità d'avanzo V_A
- Rotazione attorno all'asse con velocità angolare $\omega = 2\pi n$

COEFFICIENTE D'AVANZO

$$J = \frac{V_A}{nD} = \pi \times \text{tg } \beta$$

($x=0,7$)



Caratteristiche Dinamiche

Le caratteristiche dinamiche vengono riassunte nei seguenti coefficienti adimensionali

Coefficiente di Spinta

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4}$$

Coefficiente di Momento Torcente

$$K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5}$$

Rendimento elica isolata

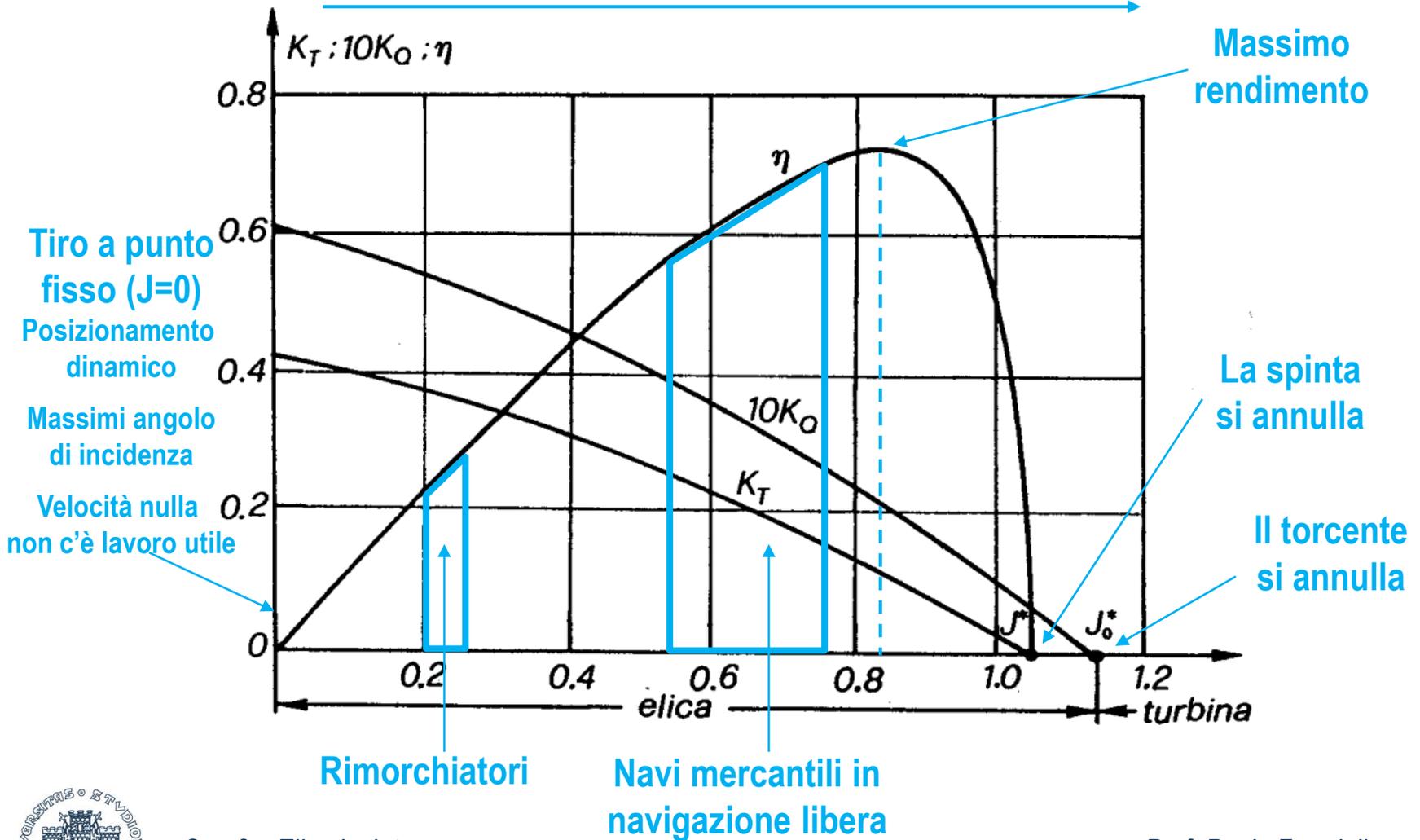
$$\eta_0 = \frac{TV_A}{\omega Q} = \frac{J}{2\pi} \cdot \frac{K_T}{K_Q}$$

Eliche geometricamente simili operanti a pari J presentano valori uguali di K_T , K_Q e η_0



Diagramma di Funzionamento

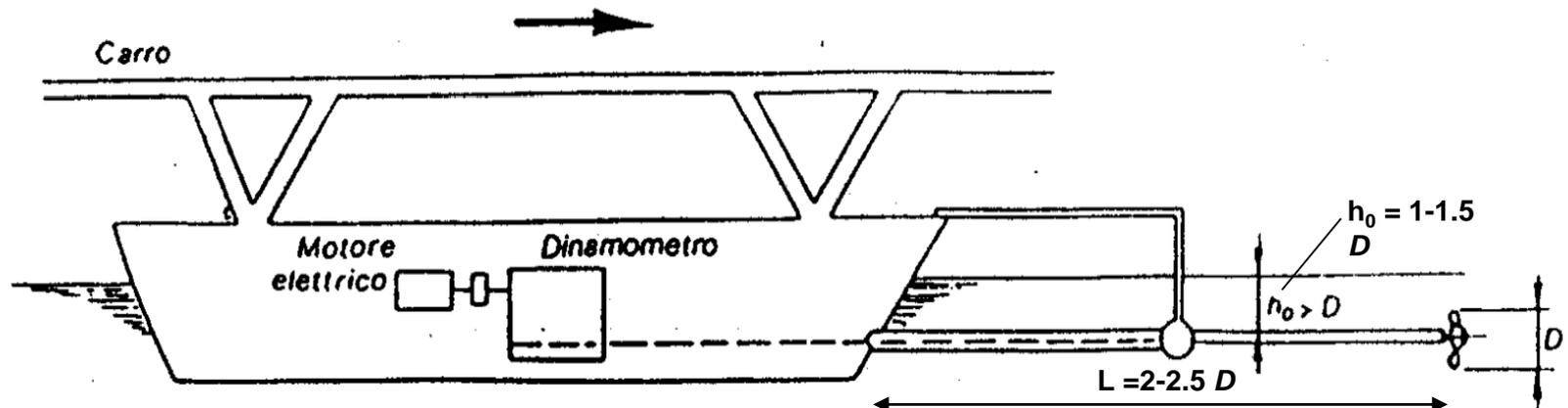
Se J aumenta α si riduce e con esso la spinta e il torcente



Prove sperimentali

Determinare K_T , K_Q e η_0 al variare di J , misurando V , n , T e Q

- $h_0 = (1.0 \div 1.5)D$
- N costante e tale che $Rn > (3 \div 5) \times 10^5$
- V variabile per variare J
- $L = (2 \div 2.5)D$ per non avere l'influenza del carro dinamometrico
- $D \geq 0,20 \div 0,25$ m
- $N = \sim 15$ giri/s
- $Rn = \frac{C_{0,7R}}{v} \sqrt{V^2 + (0,7D\pi N)^2}$



Prove sperimentali, legge di similitudine

Nelle prove di autopropulsione i giri dell'elica devono soddisfare la legge di Froude

$$F_n \text{ modello} = F_n \text{ nave}$$

Si assume come velocità caratteristica quella alla punta della pala e come lunghezza caratteristica il diametro

$$\pi N_m D_m / (g D_m)^{1/2} = \pi N_s D_s / (g D_s)^{1/2}$$

$$N_m = N_s * (D_s / D_m)^{1/2} = N_s * (\lambda)^{1/2}$$

Per simulare lo stesso numero di Reynolds R_n deve essere:

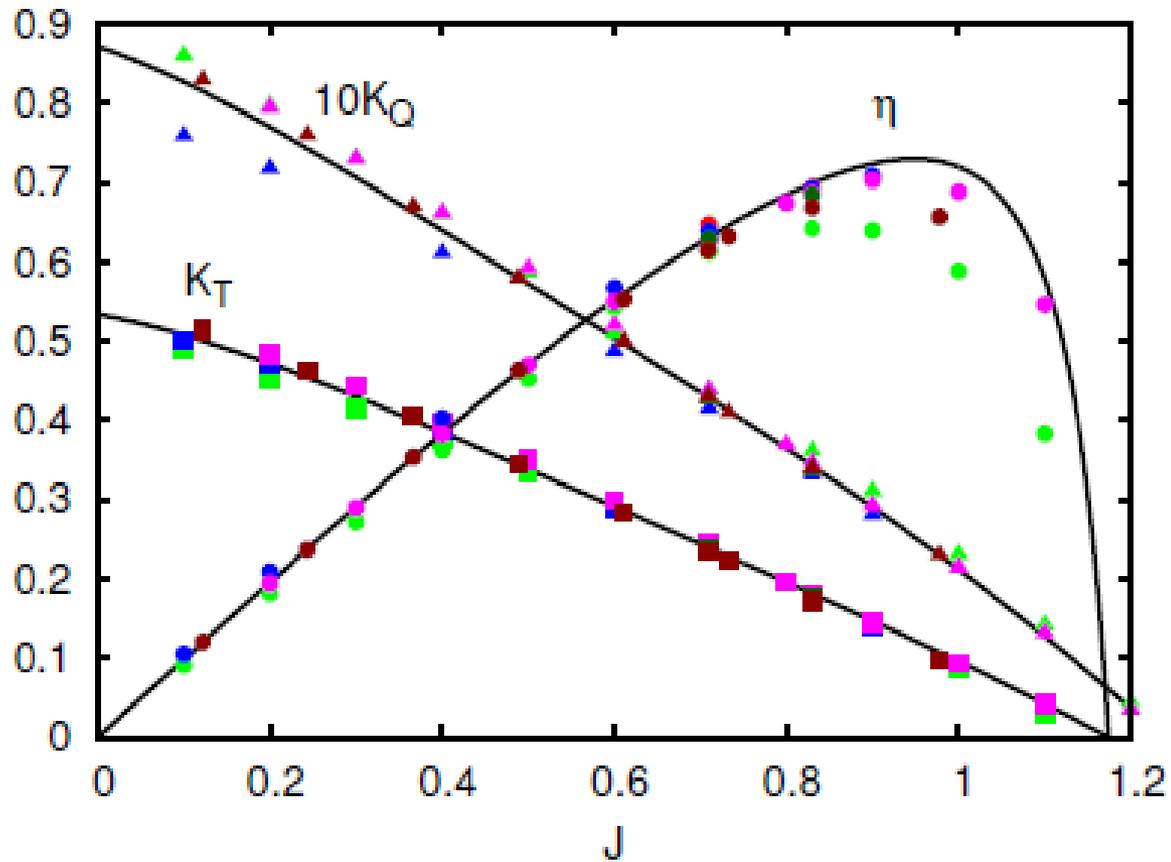
$$V_m D_m = V_s D_s$$

$$\pi N_m D_m * D_m = \pi N_s D_s * D_s$$

$$N_m = (D_s / D_m)^2 = N_s \lambda^2$$



Calcolo CFD



Effetto scala

metodo ITTC 78

$$K_{T_s} = K_{T_m} + \Delta K_T$$

$$K_{Q_s} = K_{Q_m} - \Delta K_Q$$

con:

$$\Delta K_T = 0.3 \Delta C_D \left(\frac{P}{D}\right) \left(\frac{cZ}{D}\right)$$

$$\Delta K_Q = 0.25 \Delta C_D \left(\frac{cZ}{D}\right)$$

dove:

$$\Delta C_D = 2 \left(1 + \frac{2t_m}{c}\right) \left[\frac{0.044}{Rn_x^{1/6}} - \frac{5}{Rn_x^{2/3}} - \left(1.89 + \log \frac{c}{k_r}\right)^{-2.5} \right]$$

Rapporto spessore corda
a 0,75 R

Rn modello a 0.75 R

rugosità della pala
 $k_r \approx 30 \times 10^{-6}$



Effetto scala

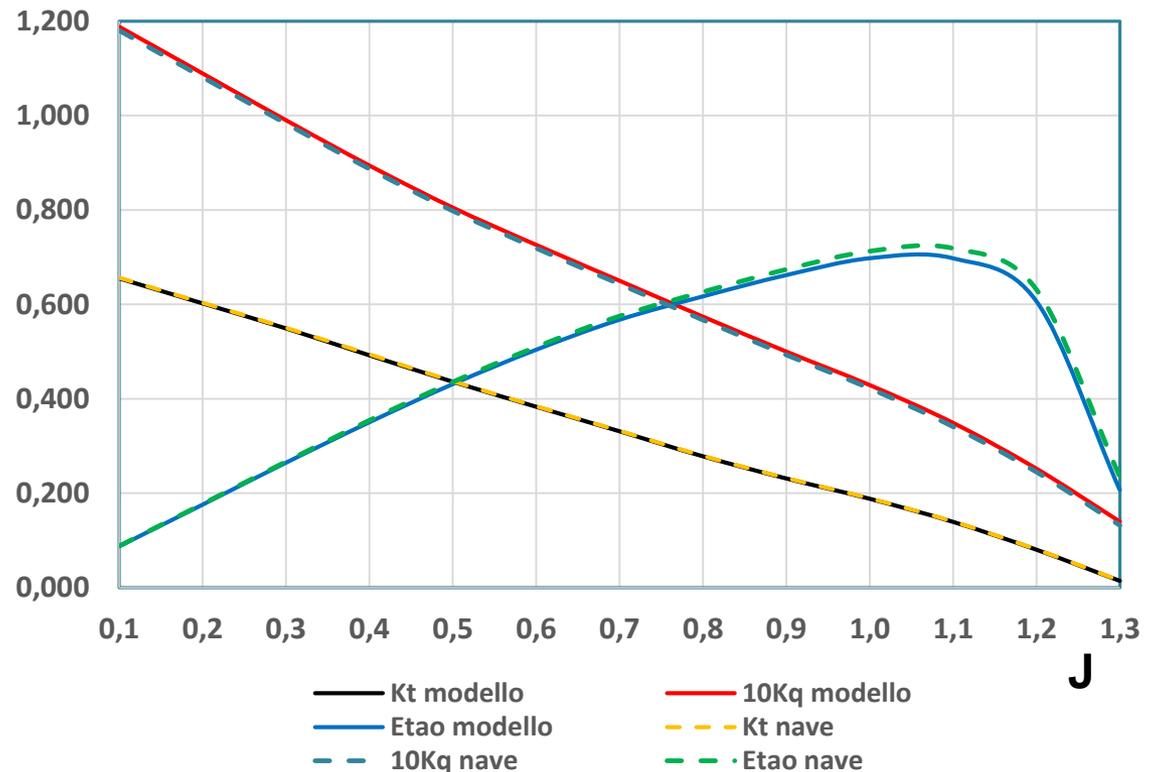
Esempio con ITTC 78

($D_{nave} = 4,9 \text{ m}$, $D_{modello} = 0,194 \text{ m}$)

Effetto scala

Variazione percentuale tra valori nave e modello

J	KT	10 KQ	η_0
0,1	0,15	-0,67	0,83
0,2	0,17	-0,73	0,91
0,3	0,18	-0,71	0,90
0,4	0,41	-0,78	1,20
0,5	0,23	-0,87	1,11
0,6	0,26	-0,96	1,24
0,7	0,30	-1,08	1,39
0,8	0,36	-1,22	1,60
0,9	0,43	-1,40	1,86
1,0	0,53	-1,63	2,20
1,1	0,72	-2,29	3,08
1,2	1,25	-2,78	4,14



Influenza dei parametri geometrici

- Rapporto passo/diametro

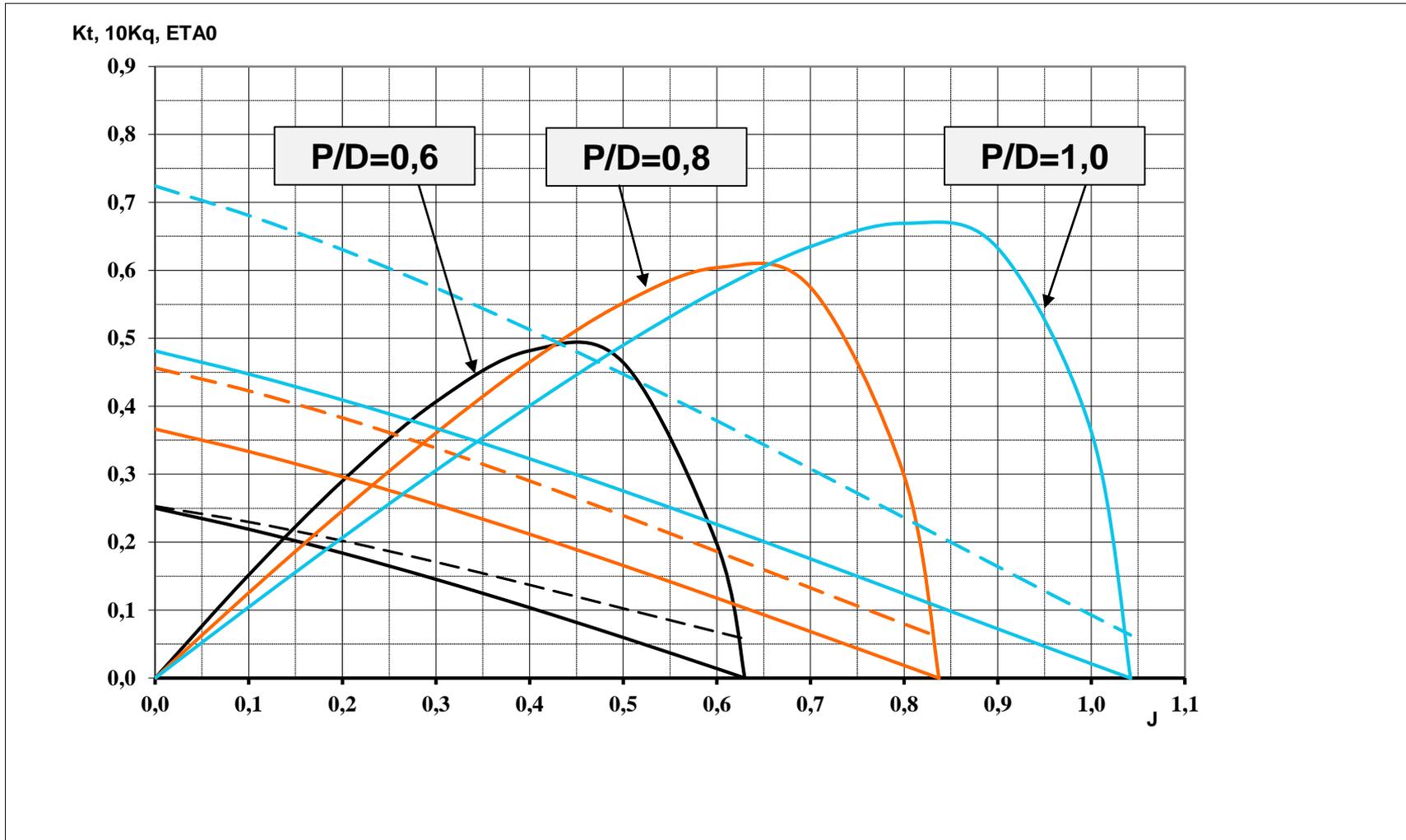
- A_e/A_0

- Numero delle pale

Il rendimento diminuisce all'aumentare del numero delle pale

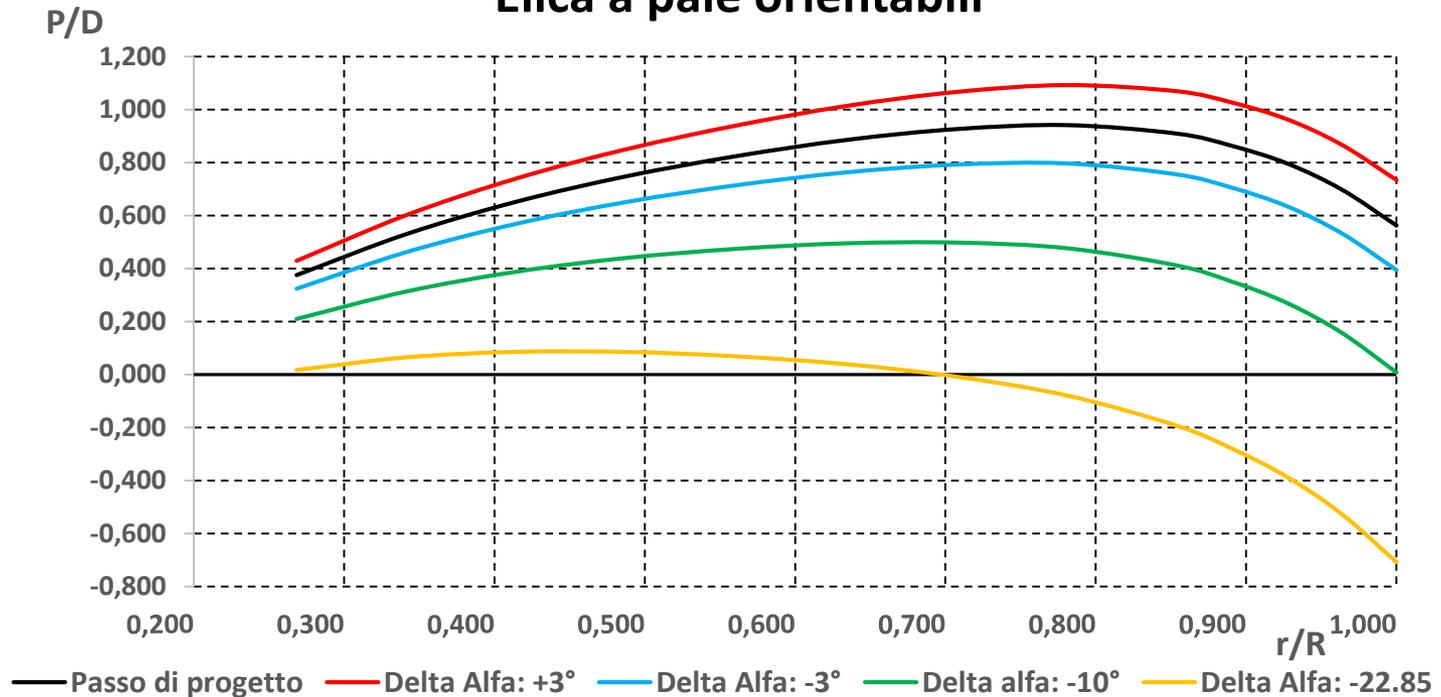


Effetto P/D (Pale fisse)



Variazione di passo

Elica a pale orientabili



$$P/D = \pi \times \text{tg}(\alpha + \Delta\alpha)$$

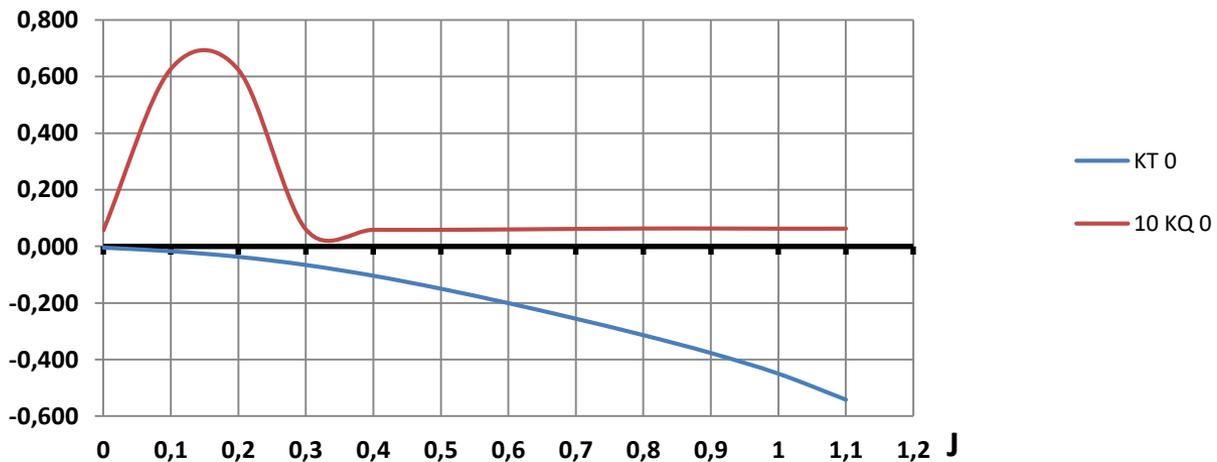
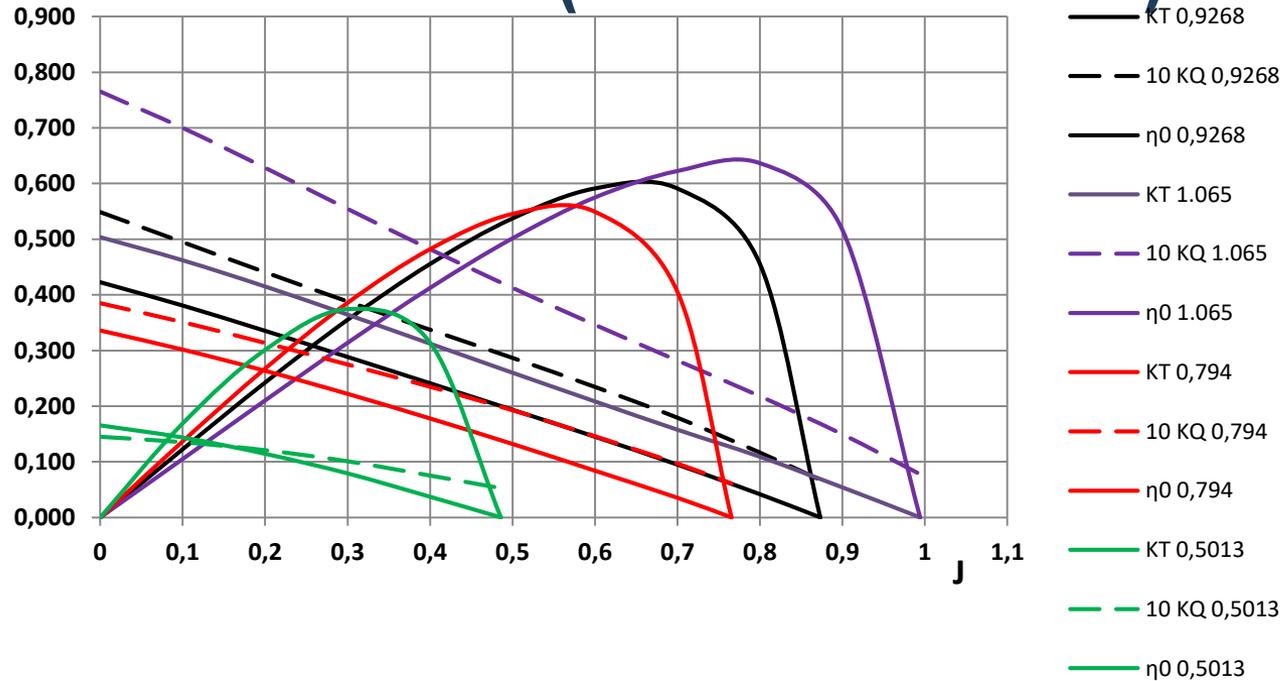
$$x = r/R$$

α : angolo di passo di progetto

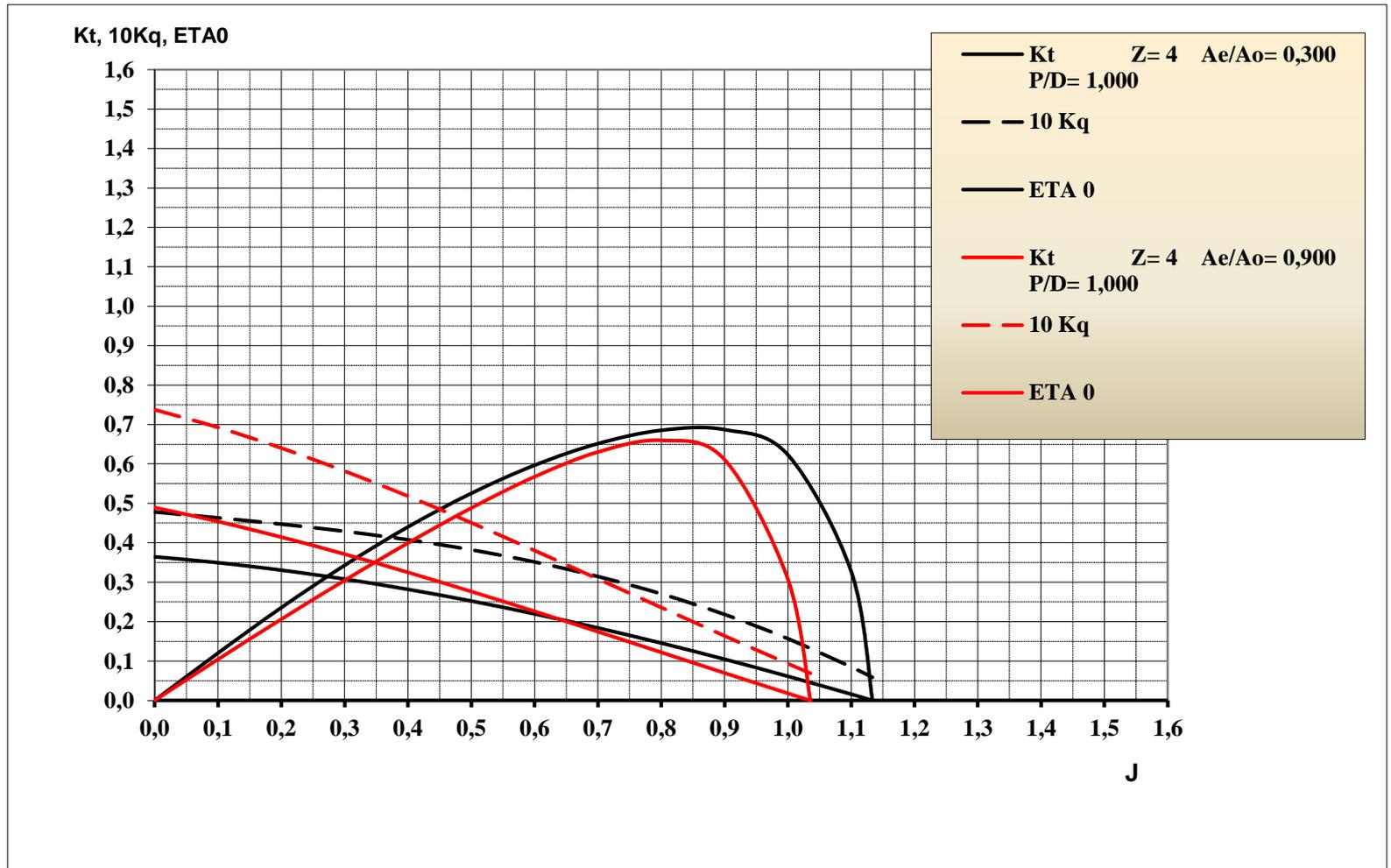
$\Delta\alpha$: rotazione angolare della pala



Effetto P/D (Pale orientabili)



Effetto Ae/Ao



Utilizzo dei diagrammi di elica isolata

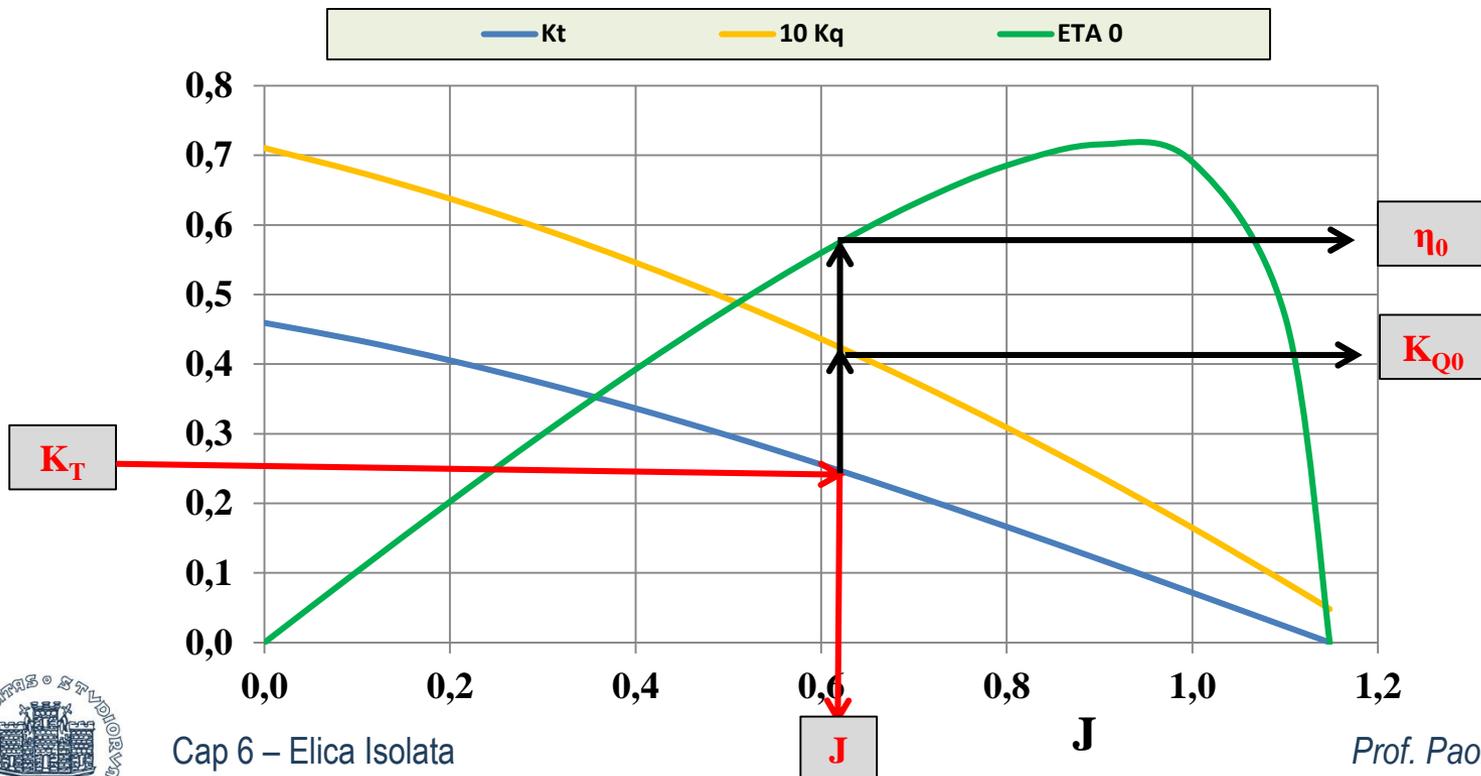
- Determinare i coefficienti propulsivi (analisi della propulsione)
- Calcolo delle prestazioni per un'elica qualsiasi
- Calcolo in condizioni di sovraccarico
- Calcolo delle prestazioni per vari passi (eliche a pale orientabili)
- Combinata passo giri



Analisi della propulsione

Noti K_T e K_Q dalla prova di autopropulsione alla velocità nave V

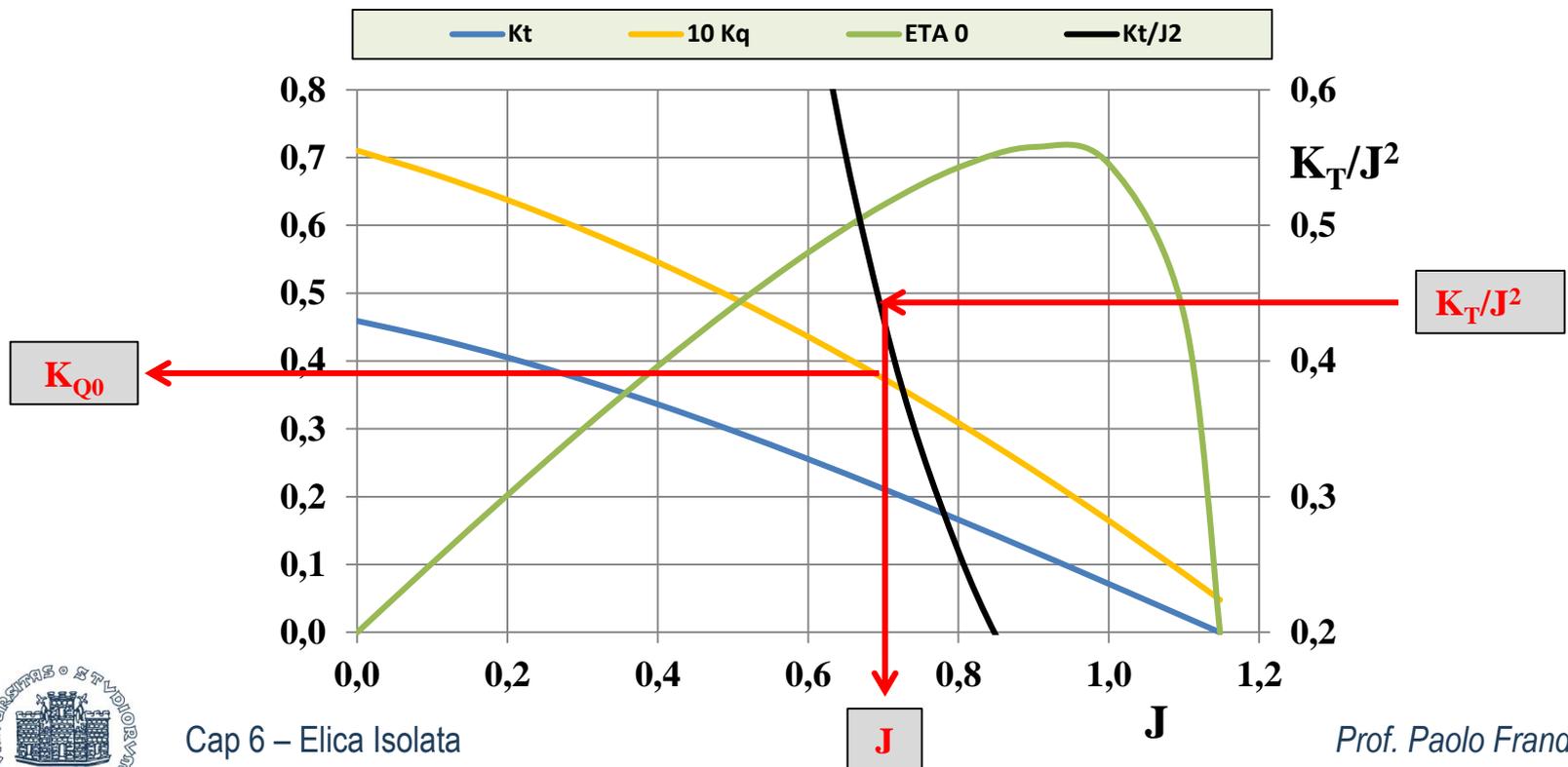
- Dal diagramma si determina J , K_{Q0} e η_0
- Si calcola: $(1-w_{\text{eff}}) = (J \cdot N \cdot D) / V \longrightarrow V_A = V \cdot (1-w_{\text{eff}})$
- Si calcola: $\eta_R = K_{Q0} / K_Q$



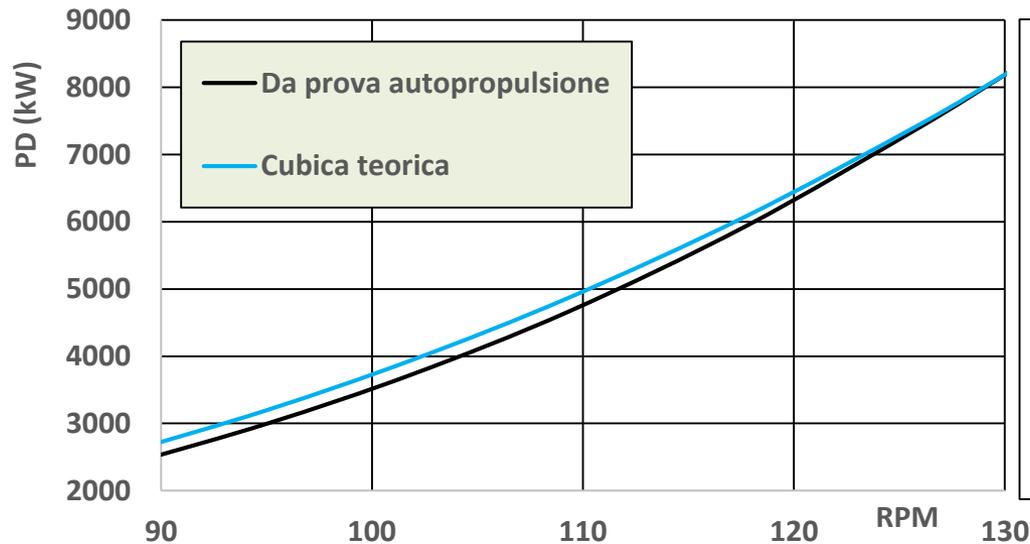
Calcolo delle prestazioni

Nota la resistenza R ed i coefficienti propulsivi $(1-t)$ $(1-w)_{\text{eff}}$ η_R

- Si calcola $T=R/(1-t)$ e $K_T/J^2 = T/(\rho * D^4 * (V*(1-w)_{\text{eff}})^2)$
- Dal diagramma si determina J e K_{Q0}
- Si calcola il numero di giri: $RPM = (V*(1-w)_{\text{eff}})/(D*J)$
- Si calcola la potenza all'elica: $P_D = K_{Q0} * 2\pi * (\rho*D^5*RPM^3) / \eta_R$



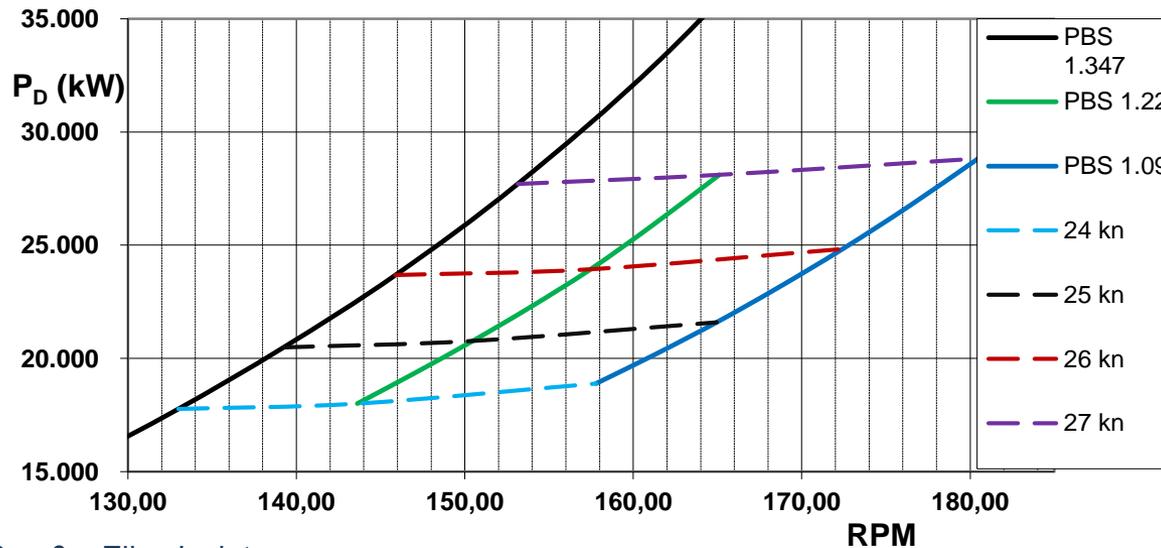
La cubica dell'elica



$$PD = K_{Q0} 2\pi (\rho * D^5 * RPM^3) / \eta_R$$

La potenza all'elica è proporzionale al cubo del numero di giri

$$P_2/P_1 = (RPM_2/RPM_1)^3$$

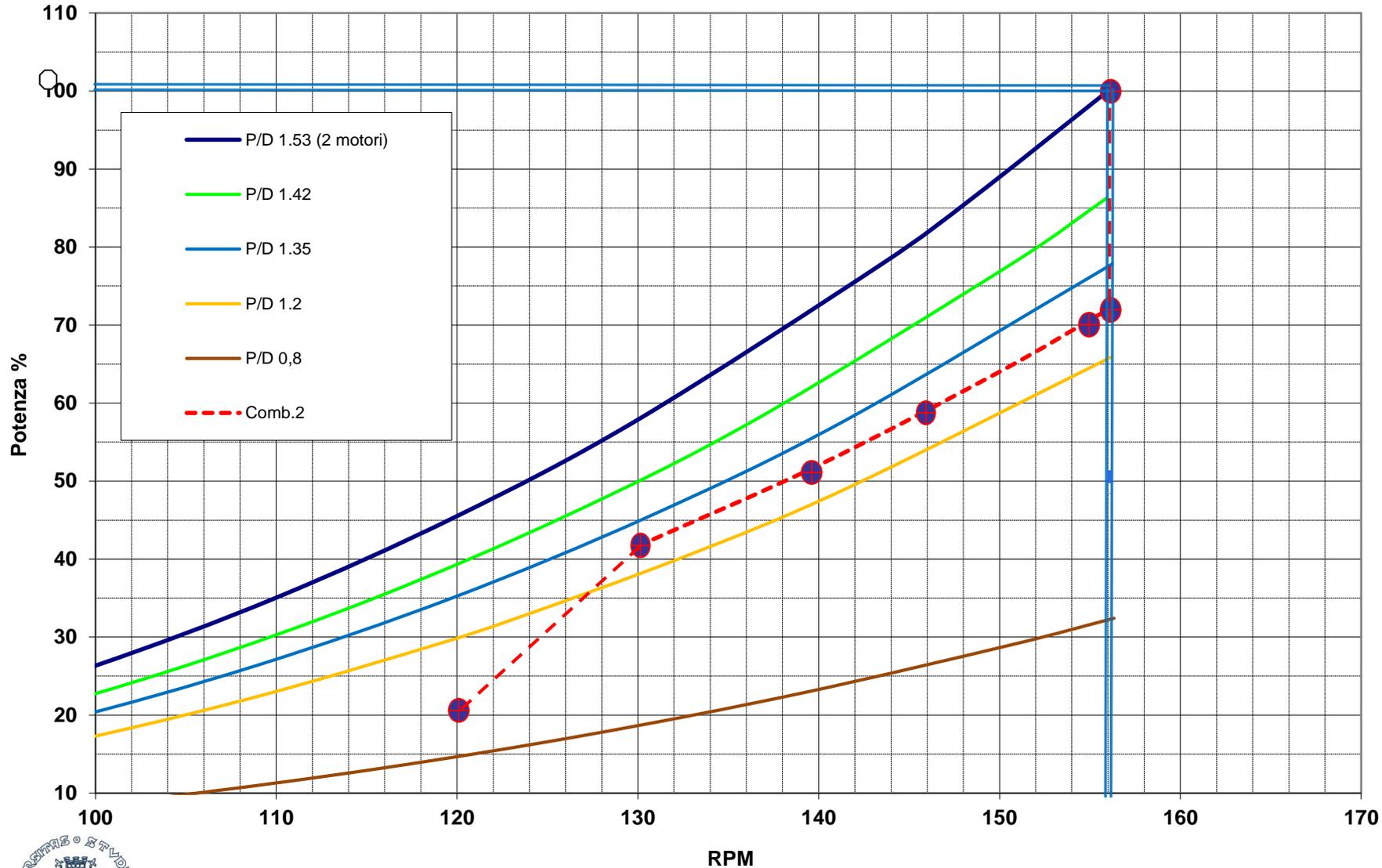


La combinata passo - giri

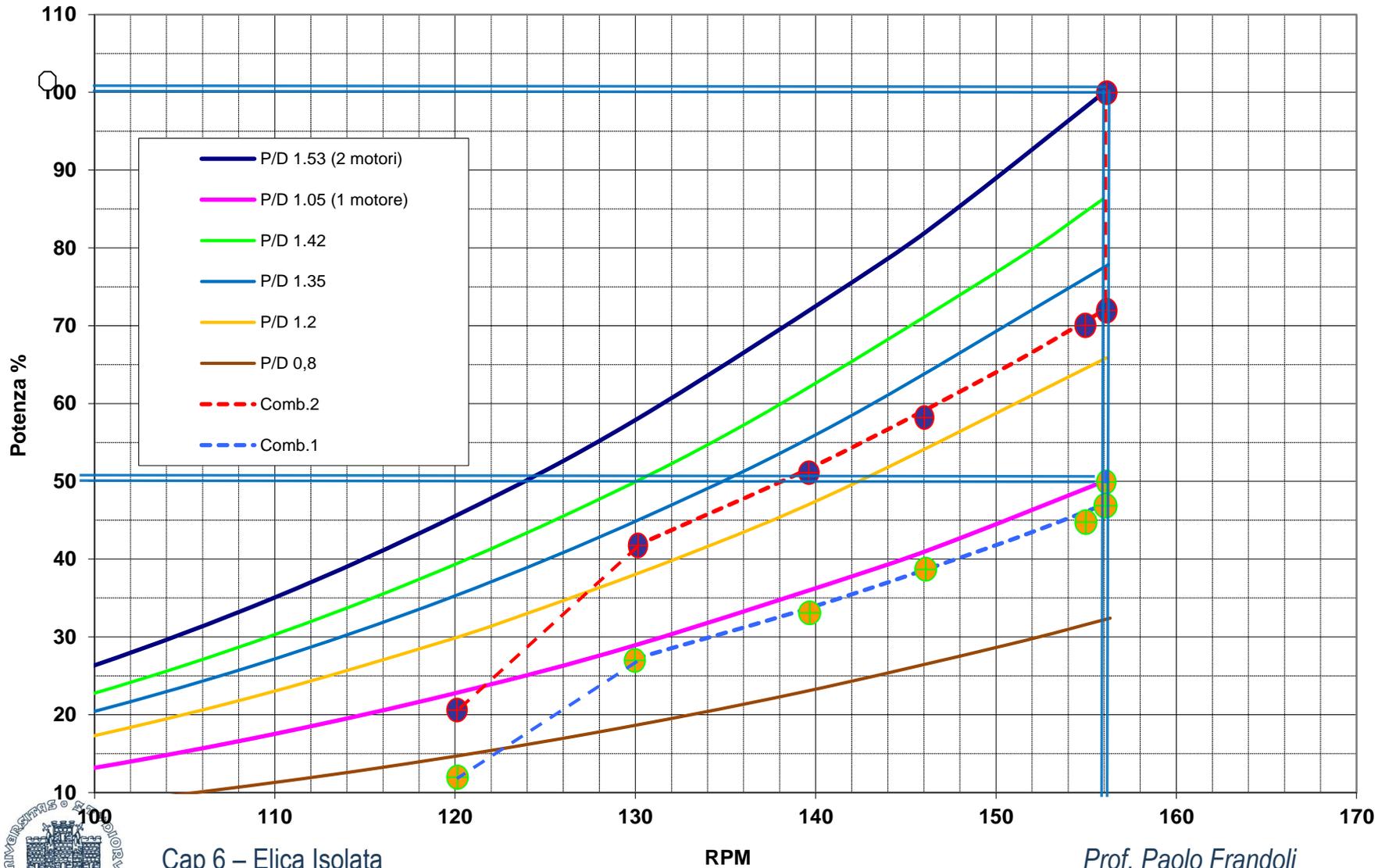
- L'elica a pale fisse opera secondo un'unica cubica; tutti i punti di funzionamento si trovano sulla medesima cubica
- Per l'elica a pale orientabili
 - Si possono avere tante cubiche quanti sono i possibili settaggi del passo
 - Variando il passo, il punto di funzionamento può essere posizionato arbitrariamente all'interno della zona ammissibile di funzionamento del motore
 - La curva di funzionamento non è una cubica univoca, ma un diagramma denominato “combinato passo giri”
 - La curva combinata è definita come l'insieme dei punti di funzionamento dell'elica individuati sul diagramma di funzionamento del motore



La combinata passo - giri



La combinata passo - giri



Serie Sistematiche

Insieme, coprono ogni intervallo idrodinamico di utilizzo

Serie	A_E/A_0	P/D	Z	σ_0
B-Wageningen	0.30 ÷ 1.05	0.40 ÷ 1.40	2,3,4,5,6,7	—
Ma o Lindgren	0.75 ÷ 1.20	0.75 ÷ 1.20	3,5	—
Gawn	0.20 ÷ 1.10	0.40 ÷ 2.00	3	—
Newton-Rader	0.48 ÷ 0.95	1.04 ÷ 2.08	3	5.50 ÷ 0.25
KCA o Gawn-Burrill	0.51 ÷ 1.18	0.60 ÷ 2.00	3	6.30 ÷ 0.5
SK	0.65 ÷ 1.10	1.00 ÷ 2.20	3	1.30 ÷ 0.30
KSRC	0.80 ÷ 1.40	1.10 ÷ 1.55	5	2.00 ÷ 0.40
Rolla	0.80	0.90 ÷ 1.60	4	2.50 ÷ 0.20



Serie B - Wageningen

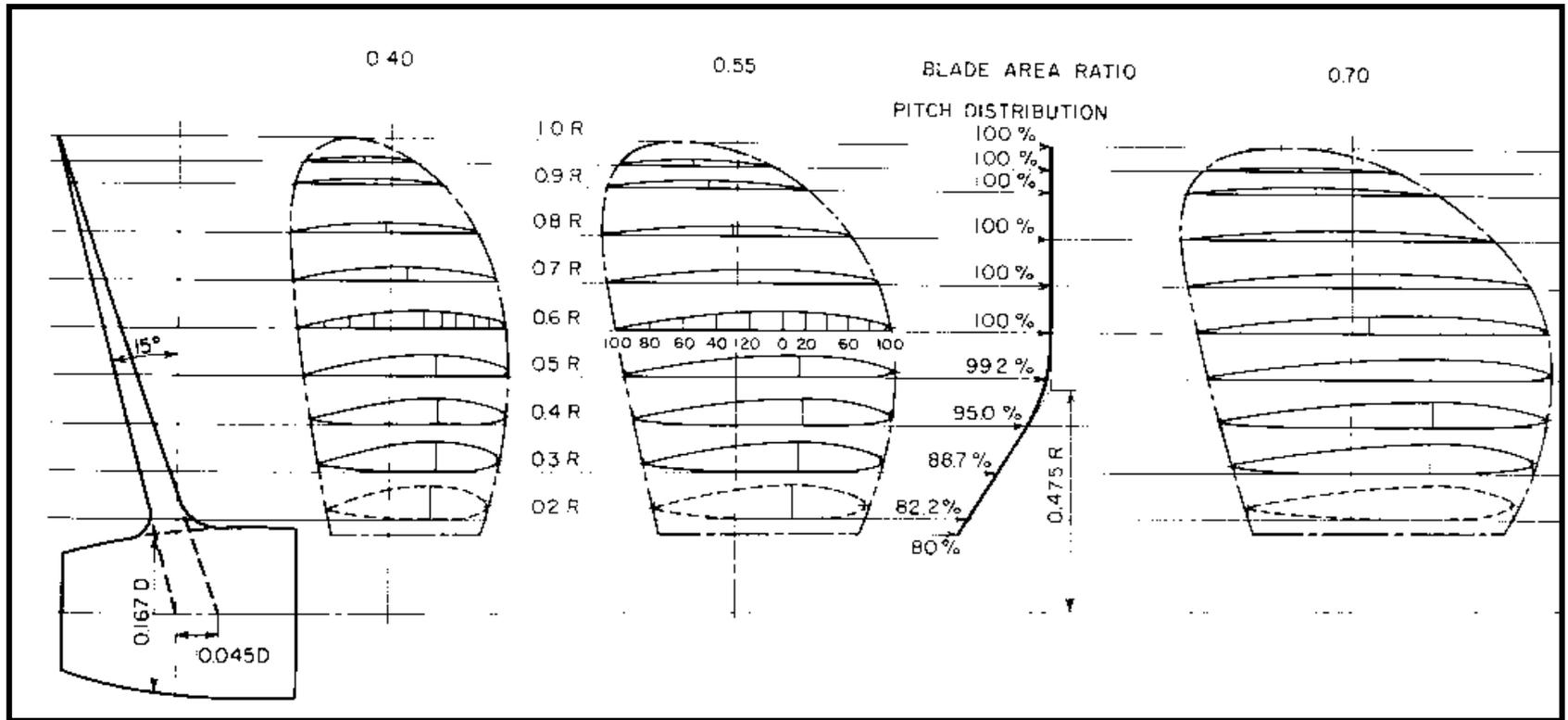
A_E/A_0	P/D	Z	σ_0
0.30 ÷ 1.05	0.40 ÷ 1.40	2,3,4,5,6,7	—

- La più utilizzata (grande estensione dei parametri geometrici)
- Calcolo K_T e K_Q con coefficienti da analisi di regressione (van Lammeren et al., 1969)

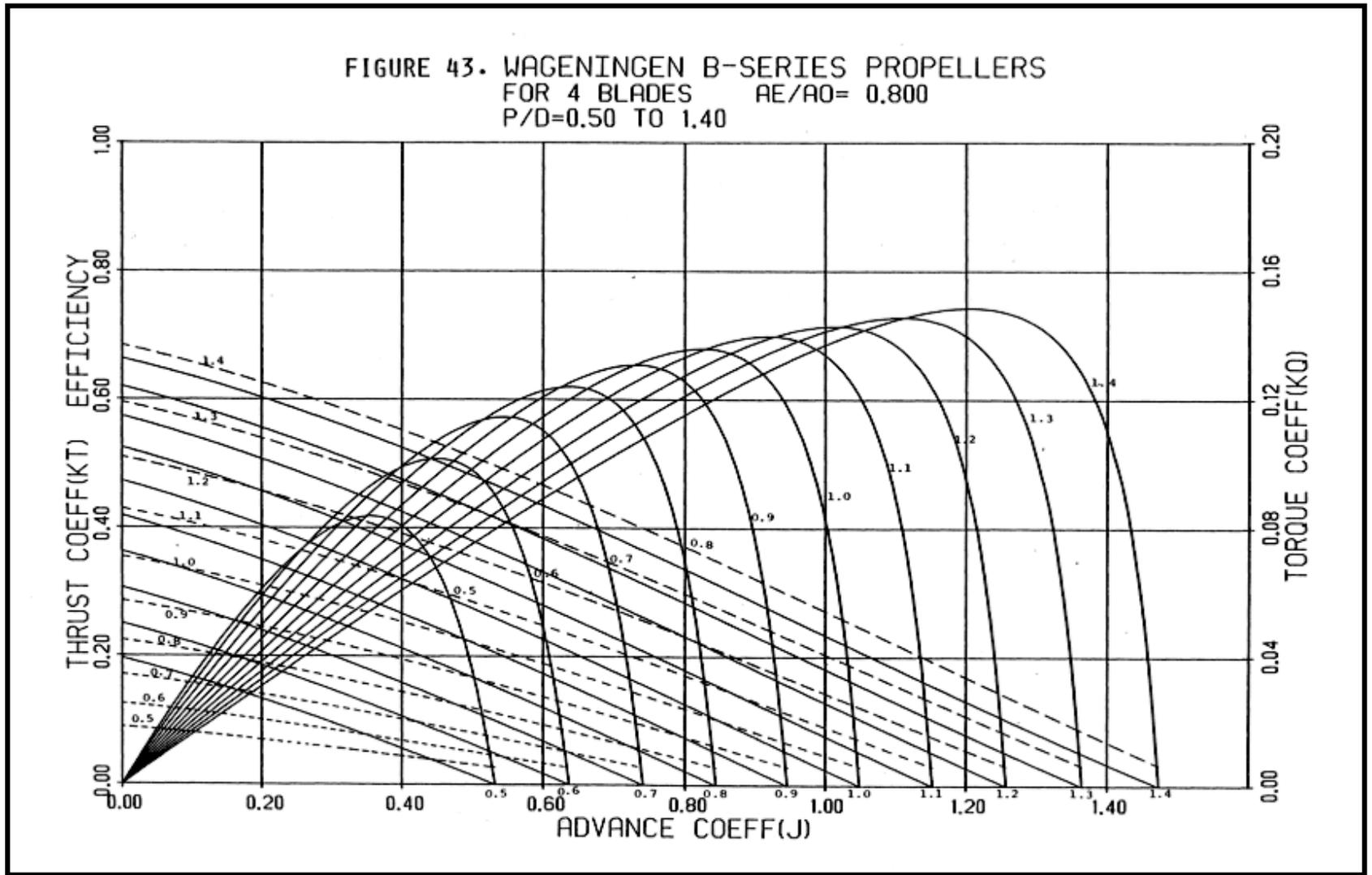
$$K_T = \sum_{i=1}^{37} C_i J^{s_i} \left(\frac{P}{D}\right)^{t_i} \left(\frac{A_E}{A_0}\right)^{u_i} Z^{v_i}$$
$$K_Q = \sum_{j=1}^{49} C_j J^{s_j} \left(\frac{P}{D}\right)^{t_j} \left(\frac{A_E}{A_0}\right)^{u_j} Z^{v_j}$$



Serie B - Wageningen



Serie B - Wageningen



Serie Gawn

A_E/A_0	P/D	Z	σ_0
0.20 ÷ 1.10	0.40 ÷ 2.00	3	—

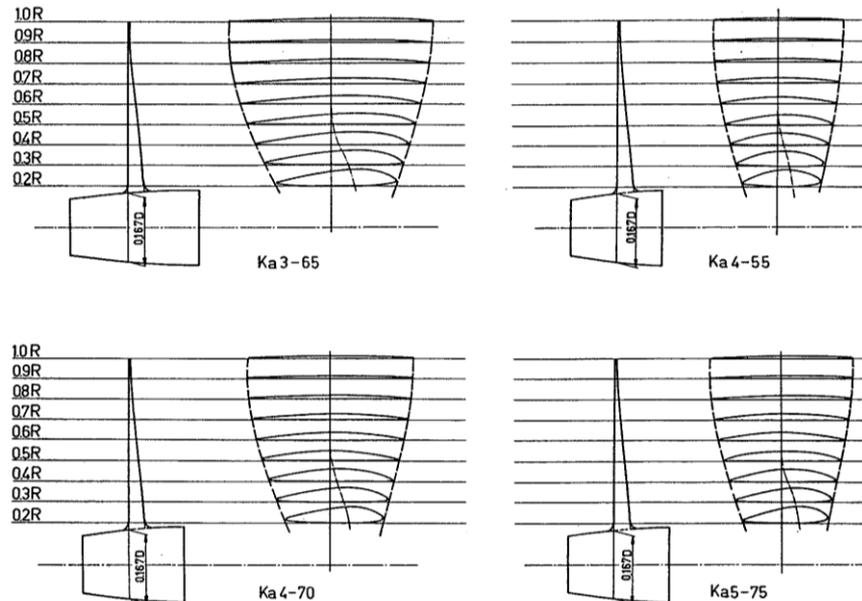
- Gawn, 1952
- Equazioni di regressione (Blount e Hubble, 1981) il cui utilizzo va contenuto entro l'intervallo $P/D = 0.8 \div 1.4$
- 3 pale con profilo ellittico
- Ancora utilizzata nella progettazione iniziale di
 - navi semidislocanti
 - grandi imbarcazioni veloci
- Risultati affidabili per $A_E/A_0 > 0.65$



Serie KA (eliche intubate)

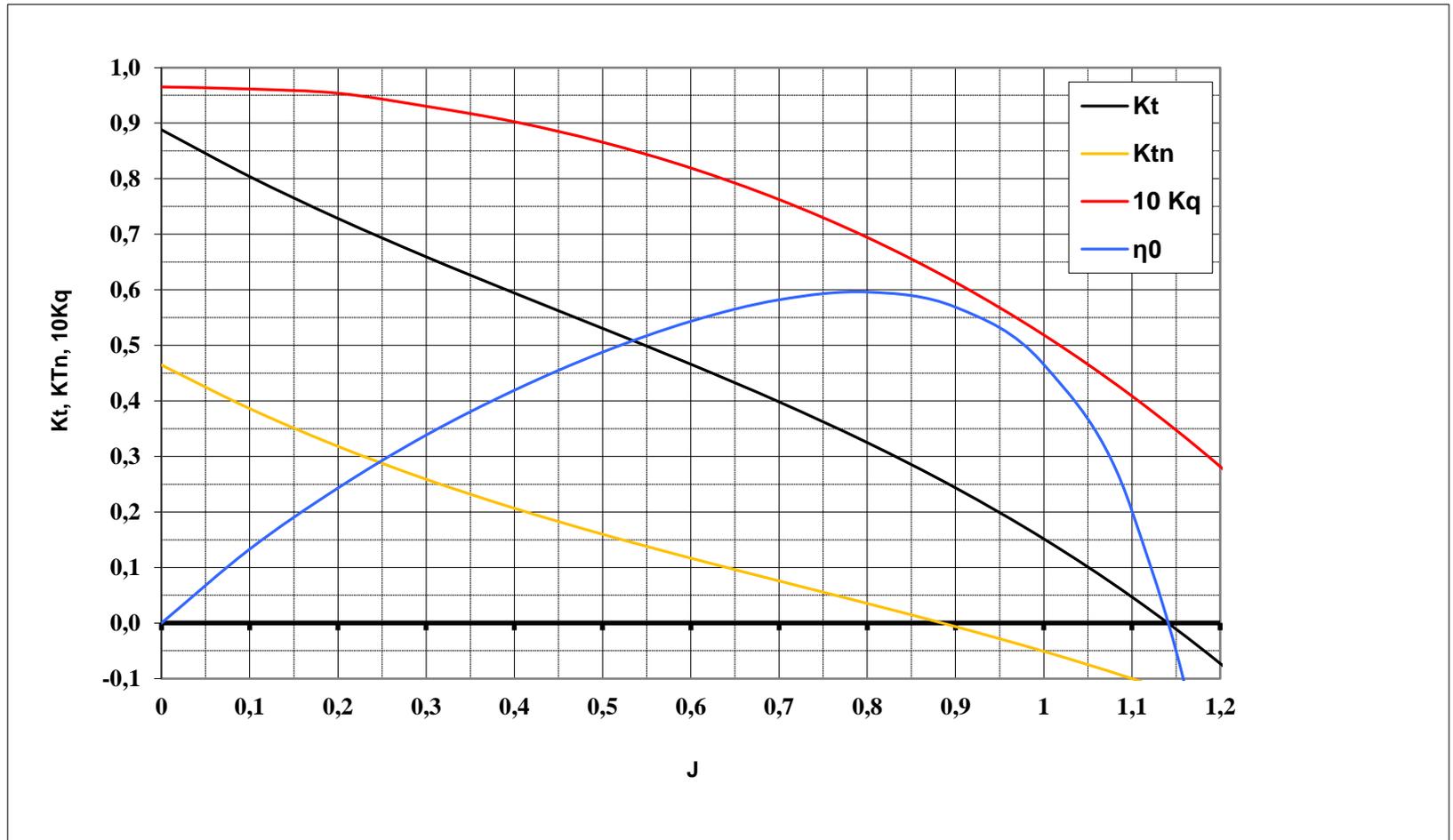
A_E/A_0	P/D	Z	σ_0
0.55 ÷ 1.00	1.04 ÷ 2.08	3 – 4 – 5	

- Mantello accelerante 19a
- Passo radialmente costante
- Mantelli: $L/D = 0.50 \div 1.00$



Serie KA (eliche intubate)

KA 5-75 - P/D = 1.4



Diagrammi di Progetto

- I diagrammi KT - KQ - J delle serie sistematiche poco si prestano a livello progettuale per scegliere il diametro ed il numero di giri ottimali dell'elica
- I diagrammi dell'elica isolata sono solitamente elaborati per ottenere diagrammi di progetto
- Permettono di individuare i parametri principali dell'elica nella fase preliminare del progetto (D, RPM, P/D) con pochi calcoli ed eseguire un'analisi parametrica
- Il progetto va successivamente affinato applicando la teoria vorticale
- Diagrammi Taylor elaborati da Troost sui dati della serie B di Wageningen



Diagrammi Taylor

$$B_p - \delta$$

Approccio del macchinista: Noti P_D, N, V_A calcolare $D, P/D, \eta_0$

Si definiscono i parametri B_p e δ :

$$B_p = \frac{N\sqrt{P}}{\sqrt{V_A^5}}$$

$$\delta = \frac{ND}{V_A} = \frac{101.33}{J}$$

$$0,1739 * B_p^{1/2} = K_Q^{1/4} * J^{-5/4}$$

D: diametro in piedi

N: numero di giri al minuto

P: potenza in cavalli inglesi

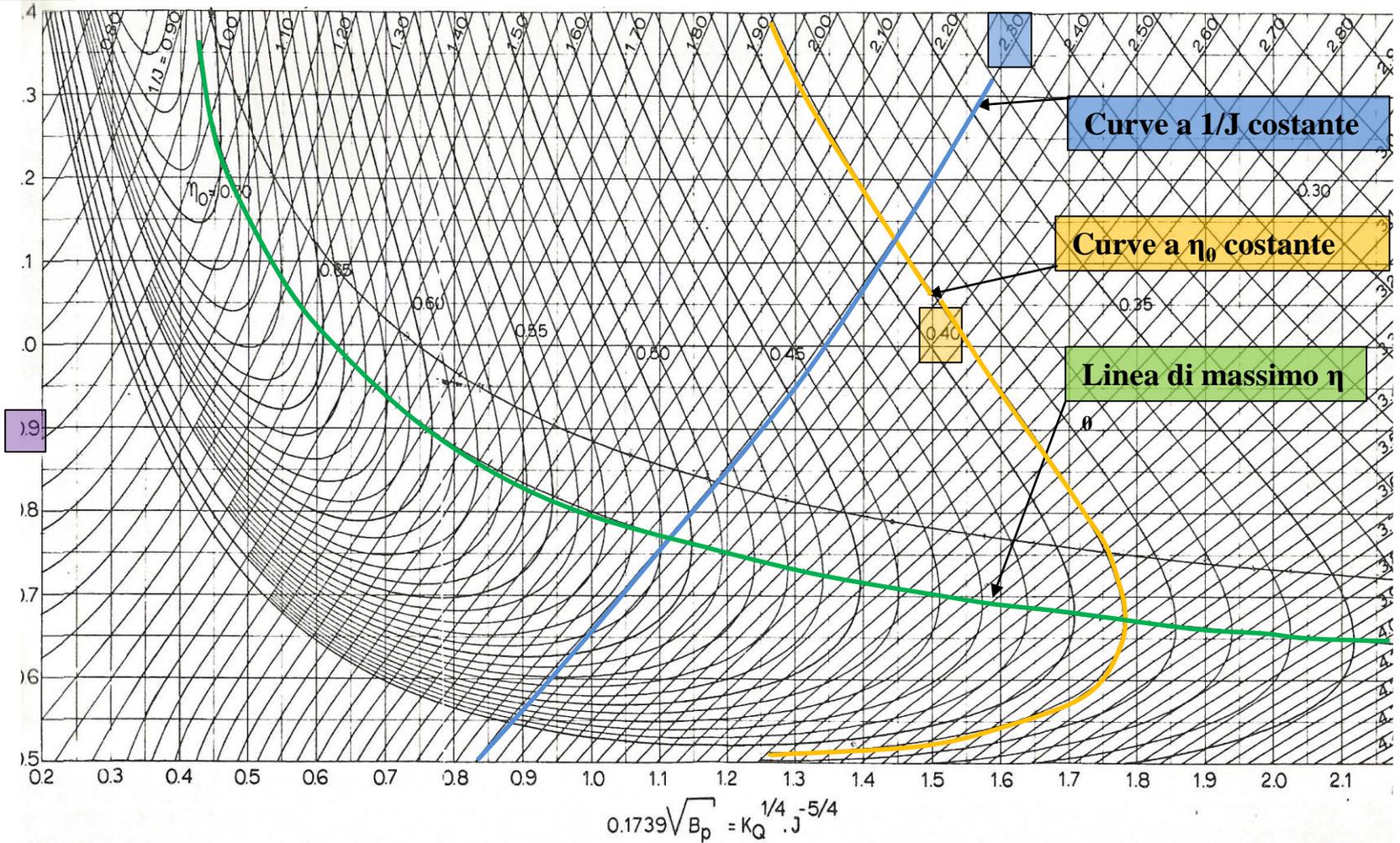
V_A : velocita d'avanzo in nodi



Diagrammi Taylor

$$B_p - \delta$$

P/D



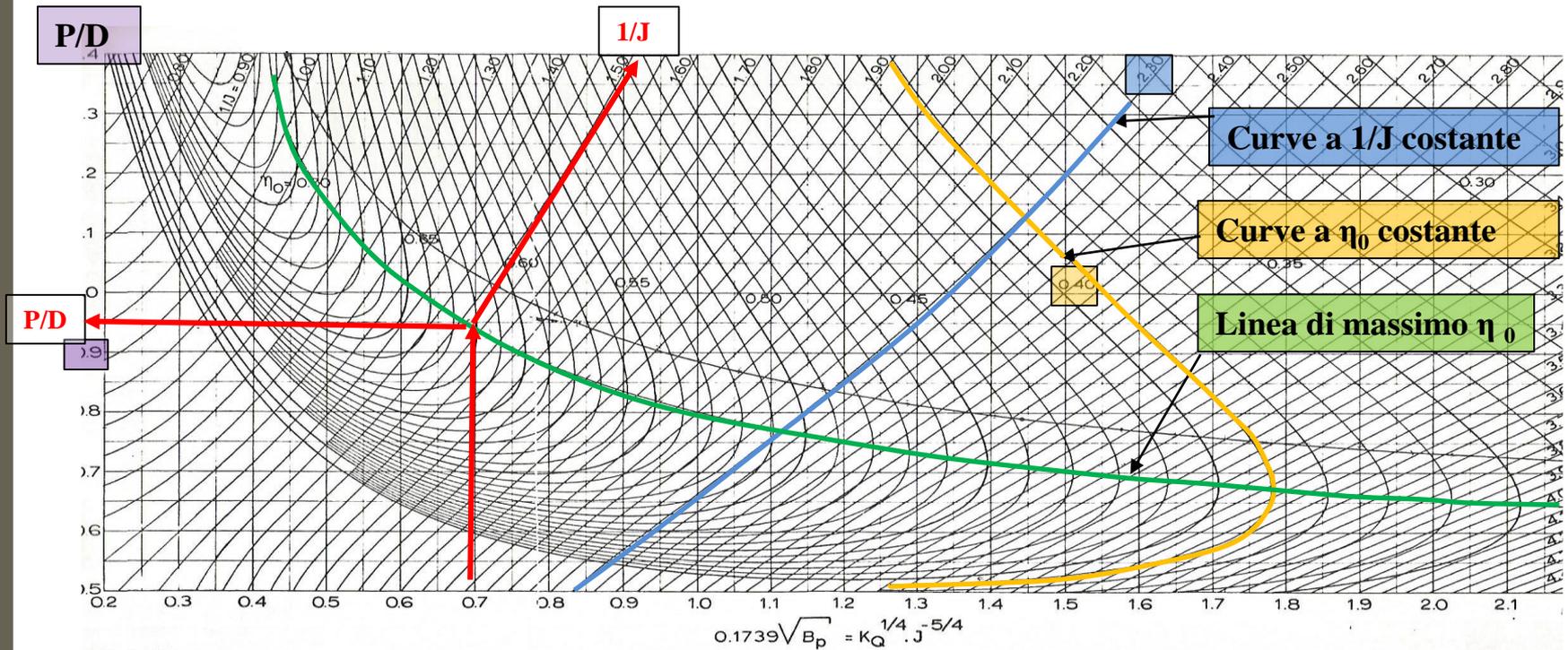
B 4-85

11



Diagrammi Taylor

Valutazione del diametro ottimale



B 4-85

15

Dati: P , V , $(1-w)_{\text{eff}}$, N .

Si calcola: B_p . Si entra nel diagramma con $0,1739 B_p^{1/2}$ fino ad incontrare la curva di massimo rendimento.

Si determina:

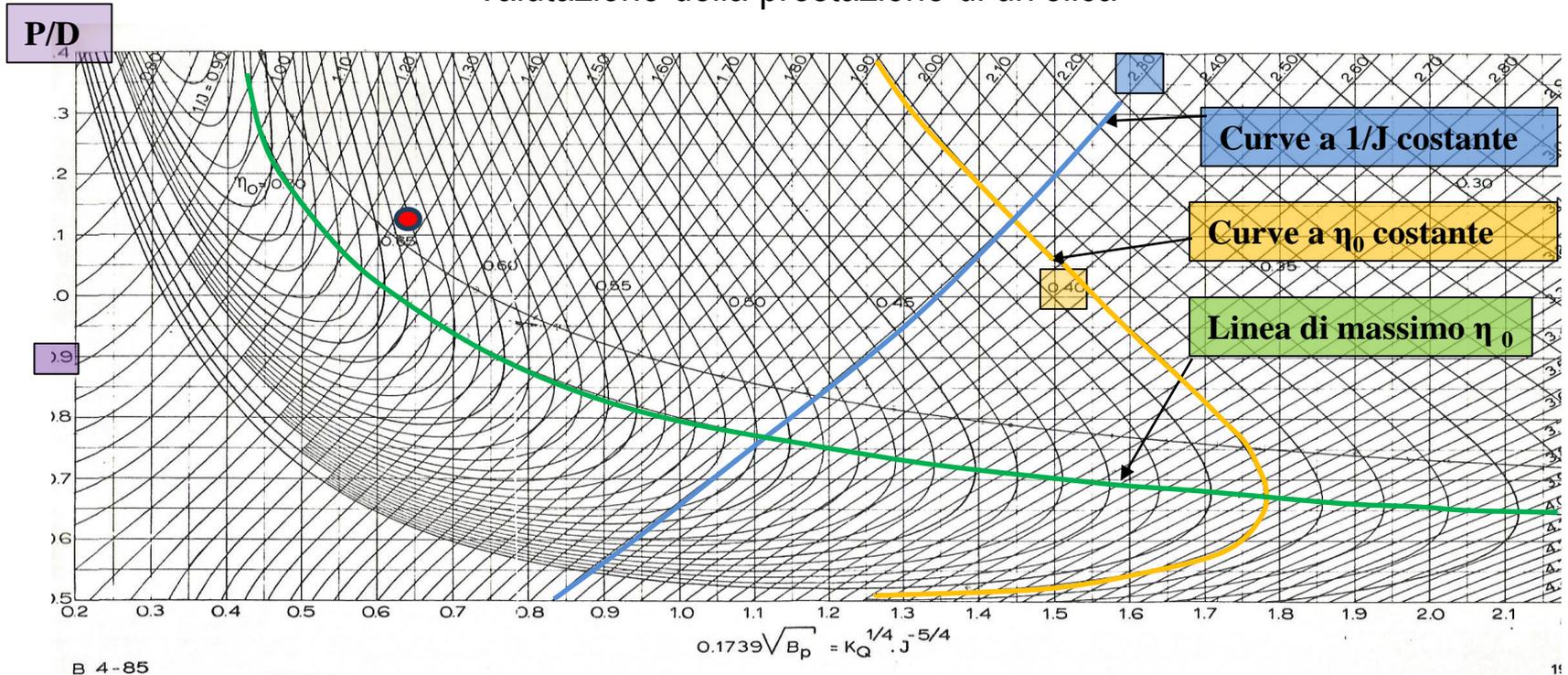
- P/D
- $1/J$
- η_0

Si calcola il diametro $D = (V \cdot (1-w)_{\text{eff}} / N) \cdot 1/J$



Diagrammi Taylor

Valutazione della prestazione di un'elica



Dati: P , V , $(1-w)_{\text{eff}}$, N , P/D , η_0

Si calcola: B_p . Si individua sul diagramma il punto corrispondente a $0,1739 B_p^{1/2}$, P/D e $1/J$

Si cerca una possibile combinazione di N e D per ottenere un rendimento migliore



Diagrammi Taylor

$$B_u - \delta$$

Approccio del carenista: Noti T, N, V_A calcolare $D, P/D, \eta_0$

$$B_u = \frac{N\sqrt{P_T}}{\sqrt{V_A^5}} = C \frac{N\sqrt{T}}{V_A^2}$$

$P_T = C \cdot V_A \cdot T$ con C dipendente dalle unità di misura adottate per redigere i diagrammi

