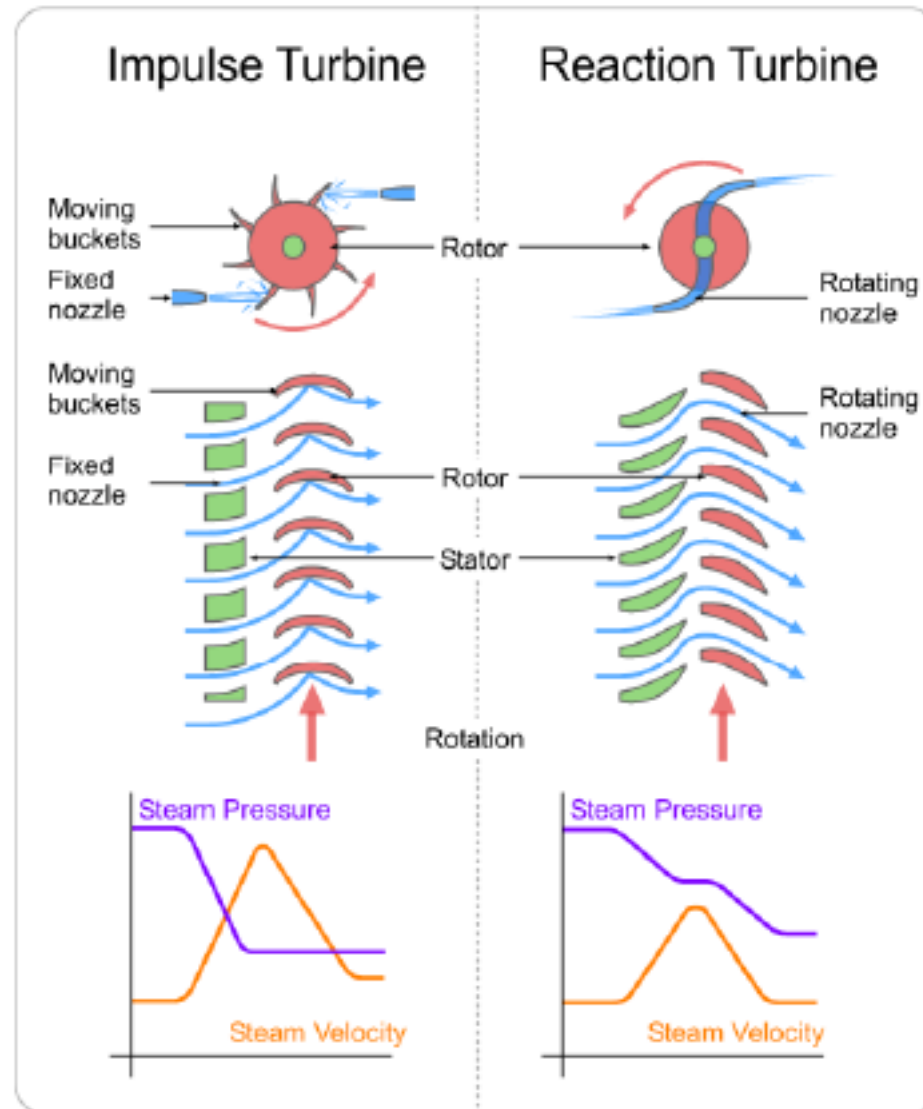
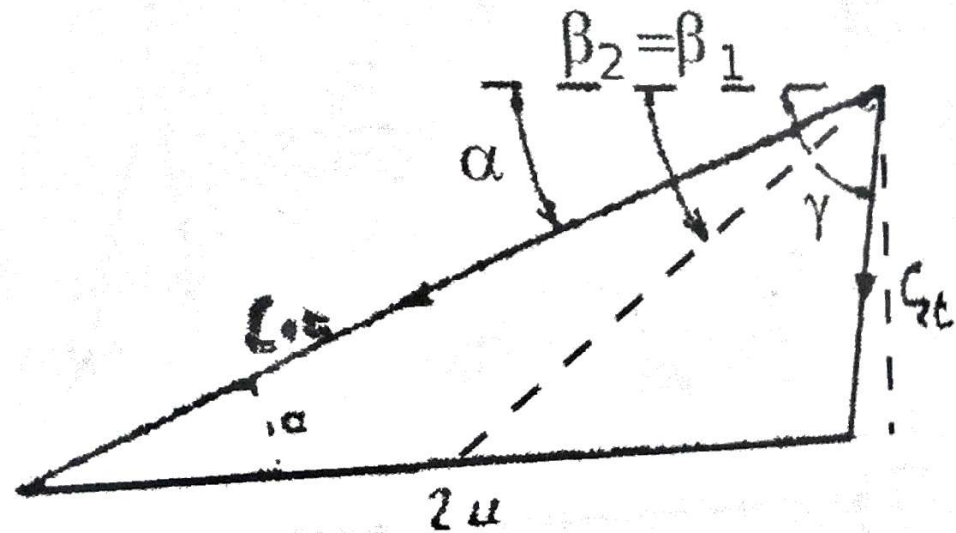
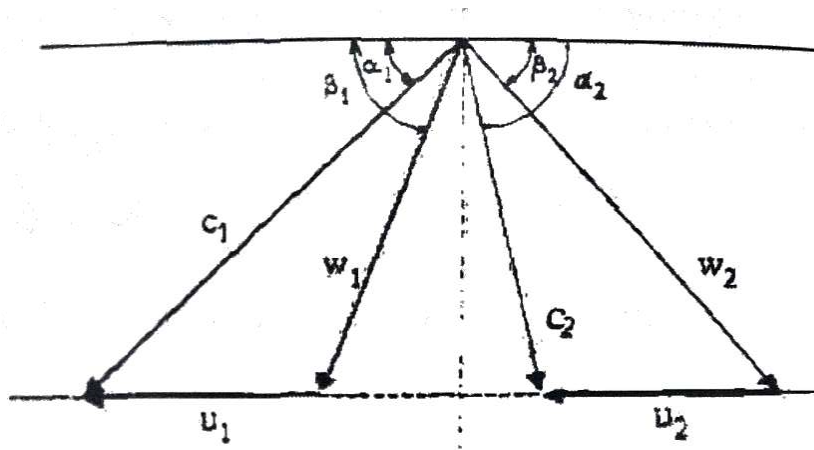


# Turbine a vapore

# Stadi ad azione e reazione



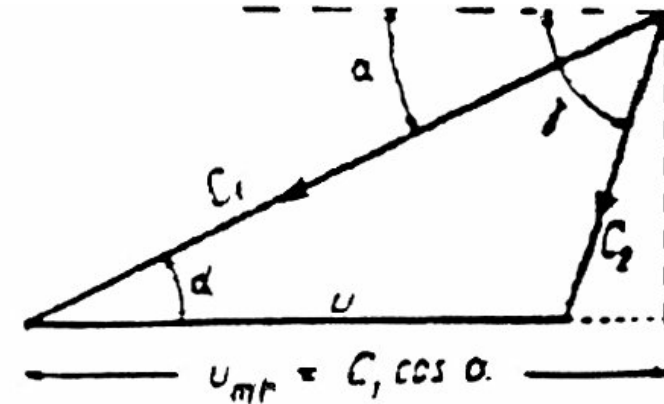
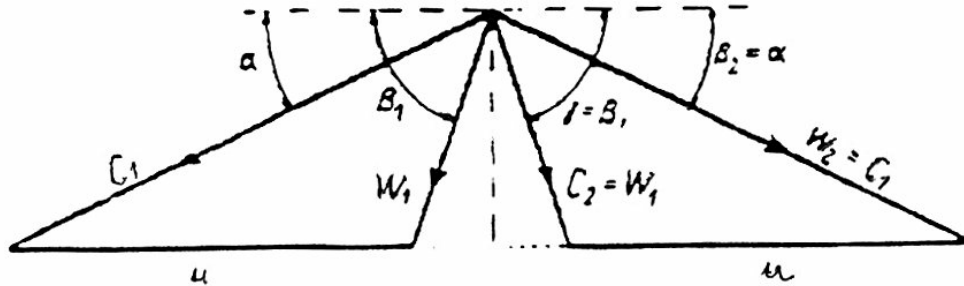
# Triangoli velocità turbina azione



$$\eta = 4 \left( \frac{u}{c_1} \cos \alpha - \left( \frac{u}{c_1} \right)^2 \right)$$

$$\frac{u}{c_1} = \frac{\cos \alpha}{2} \Rightarrow \eta_{\max} = \cos^2 \alpha$$

# Triangoli velocità turbina reazione

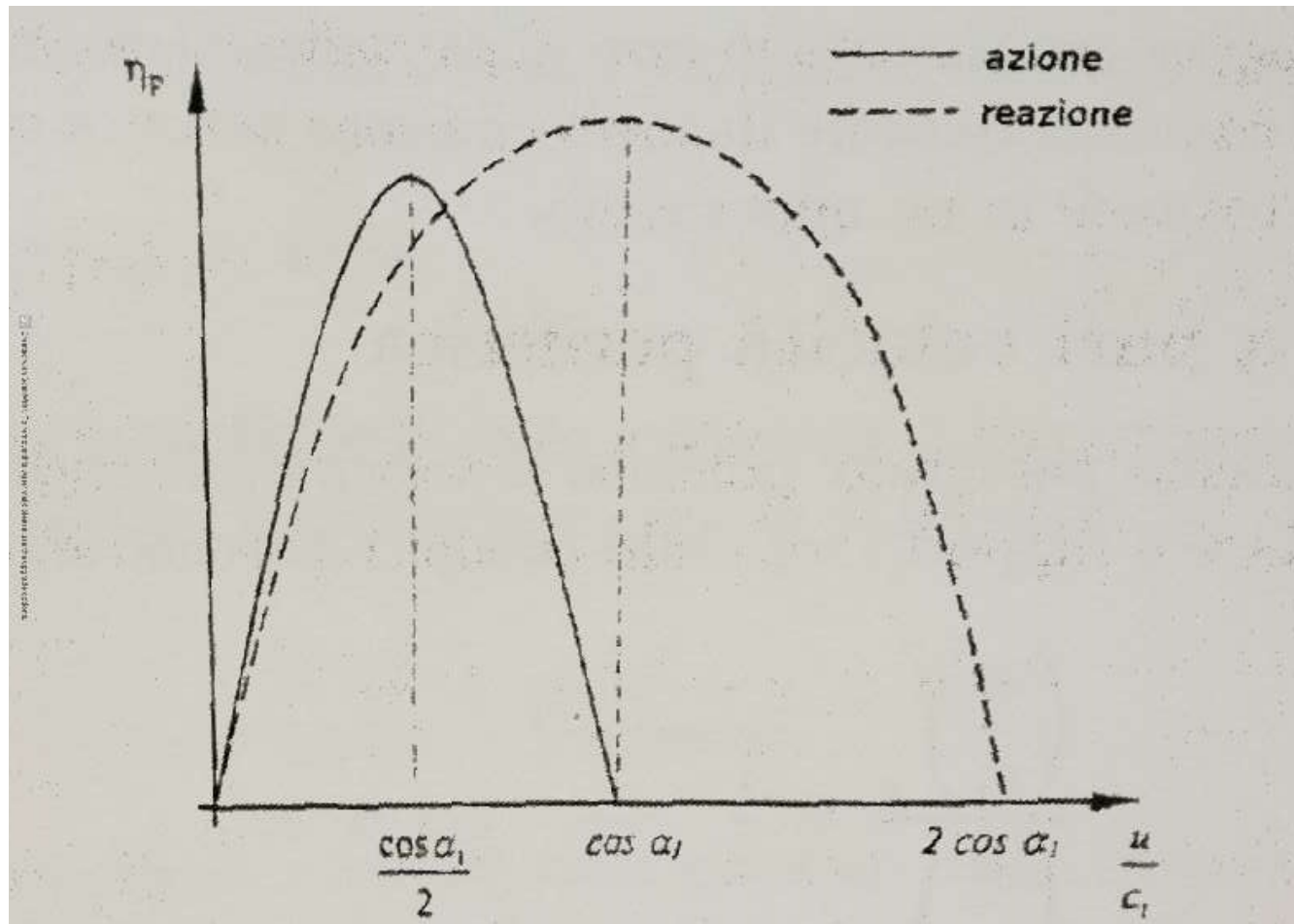


$$\eta = 2 \left( 1 - \frac{1}{1 + 2 \frac{u}{c_1} \cos \alpha - \left( \frac{u}{c_1} \right)^2} \right)$$

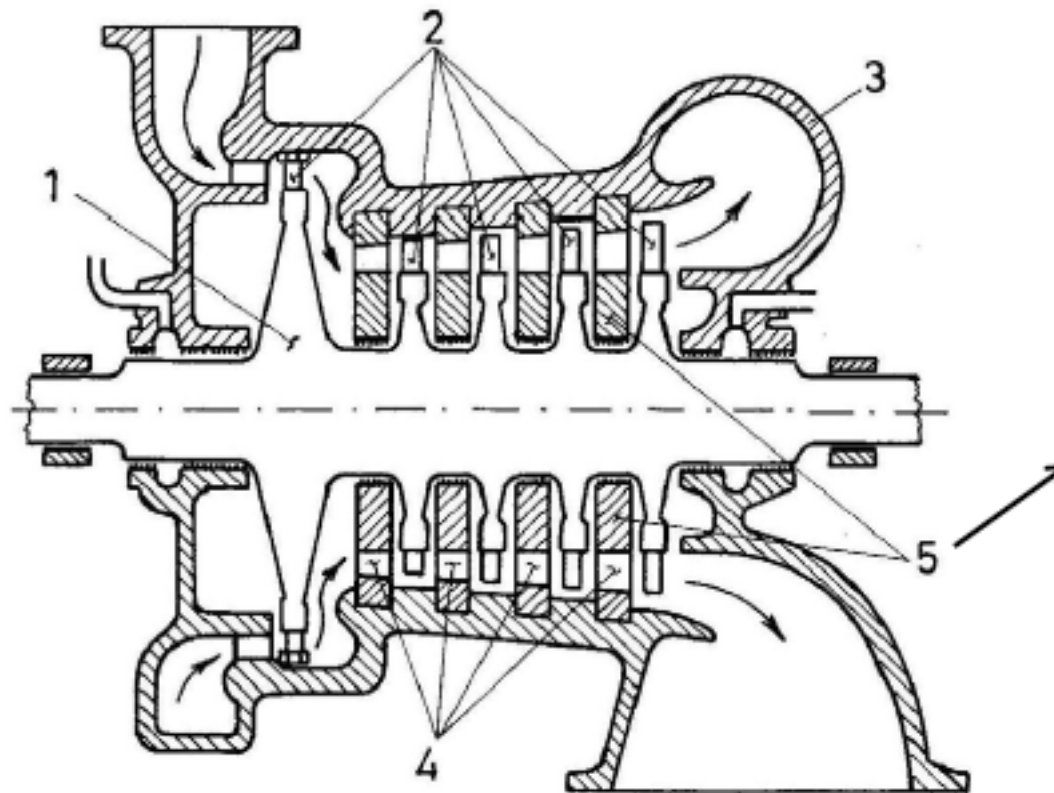
$$\frac{u}{c_1} = \cos \alpha \Rightarrow \eta_{\max} = \frac{2 \cos^2 \alpha}{1 + \cos^2 \alpha}$$



# Confronto Azione-Reazione

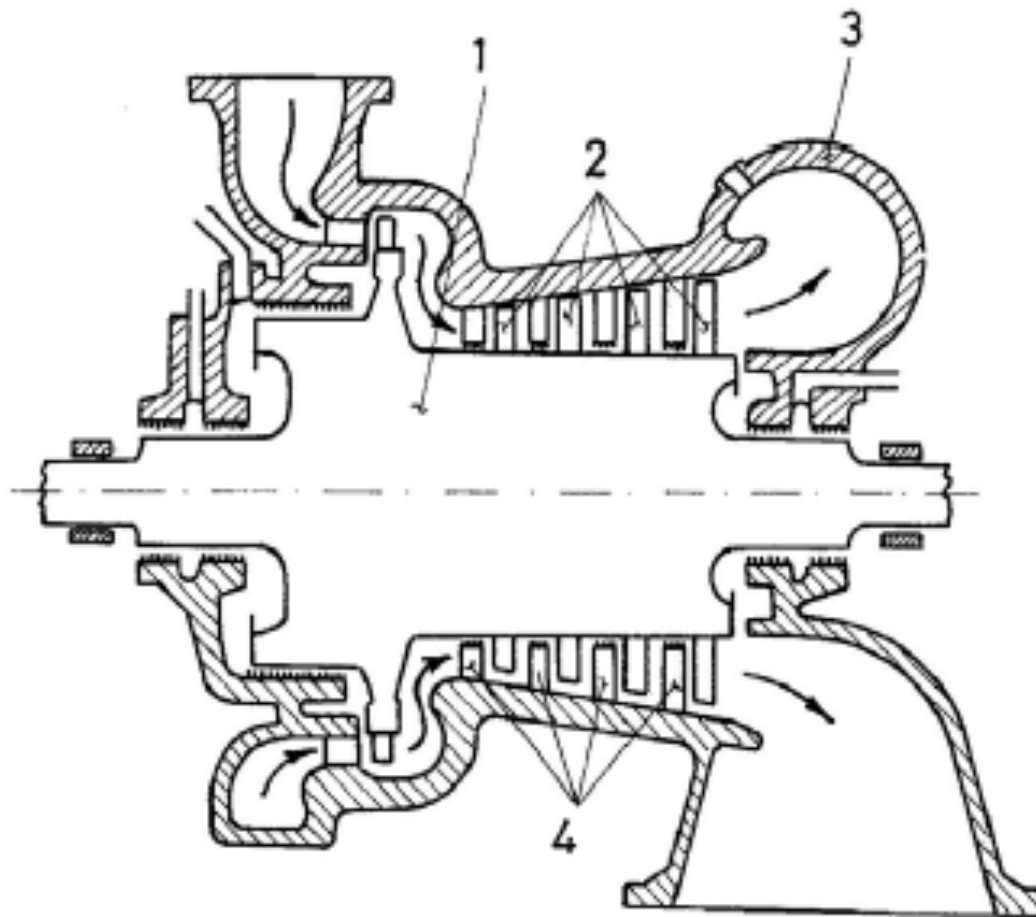


# Turbina ad azione



Rappresentazione schematica di una turbina a vapore ad azione con rotore a dischi  
1. Disco; 2. Pale rotoriche; 3. Semicassa superiore; 4. Pale statoriche; 5. Diaframma.

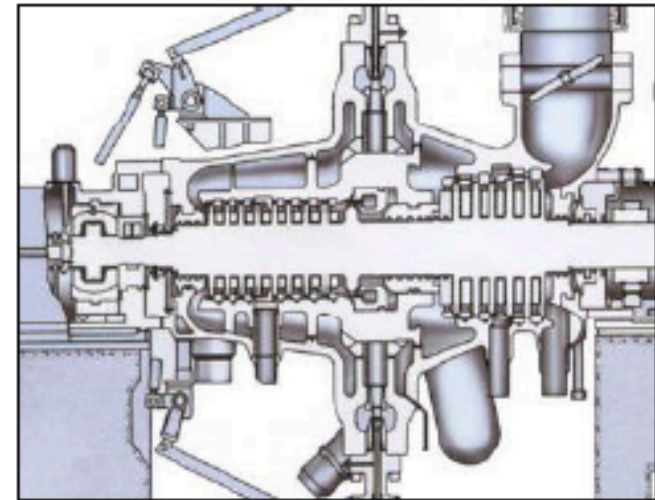
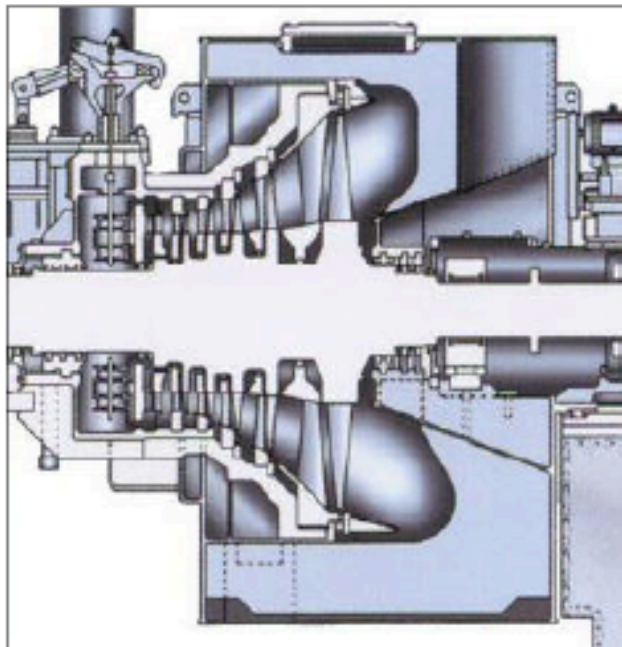
# Turbine a reazione



Rappresentazione schematica di una turbina a vapore a reazione con rotore a tamburo  
*1. Tamburo; 2. Pale rotoriche; 3. Semicassa superiore; 4. Pale statoriche.*

# Turbine a vapore multistadio

Gli stadi di alta pressione (**AP**) elaborano vapore ad alta densità e presentano geometrie tipicamente assiali. Le pale hanno scarso sviluppo tridimensionale.



*Vista di un corpo di alta pressione*

Gli stadi di bassa pressione (**BP**) sono caratterizzati da forti variazioni di densità e presentano pertanto uno sviluppo tridimensionale accentuato. Le pale degli ultimi stadi hanno elevati rapporti altezza/corda (*aspect ratio*).



# Turbine ad azione

Si dia per esempio il caso dove si voglia smaltire, in uno stadio ad azione, un  $\Delta h$  di 753 kJ/kg.

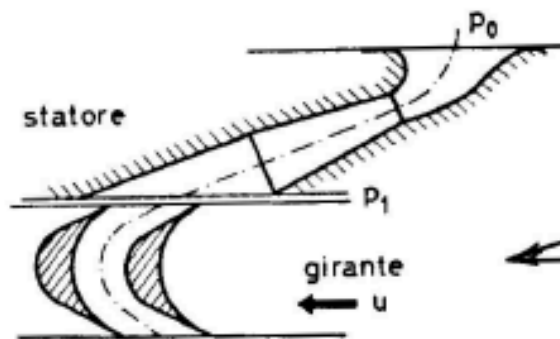
Ricordando che  $c_1 = \sqrt{2 \Delta h}$

risulta  $c_1 = \sqrt{2 \cdot 1.000} \cdot \sqrt{753} = 1,227 \text{ m/s}$

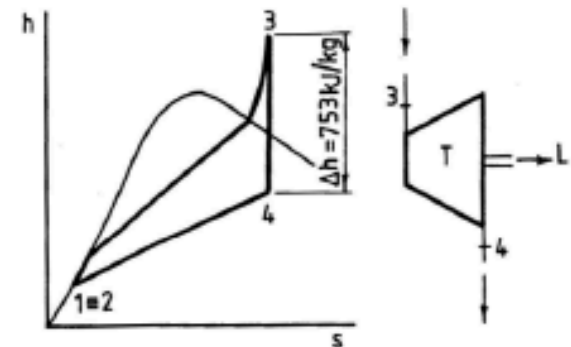
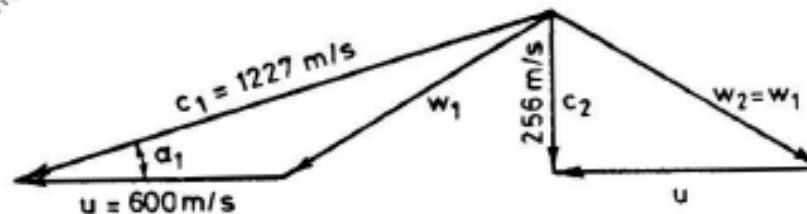
e quindi:

per  $\alpha_1 = 12^\circ$   $u = (c_1 \cos \alpha_1) / 2 = 600 \text{ m/s}$

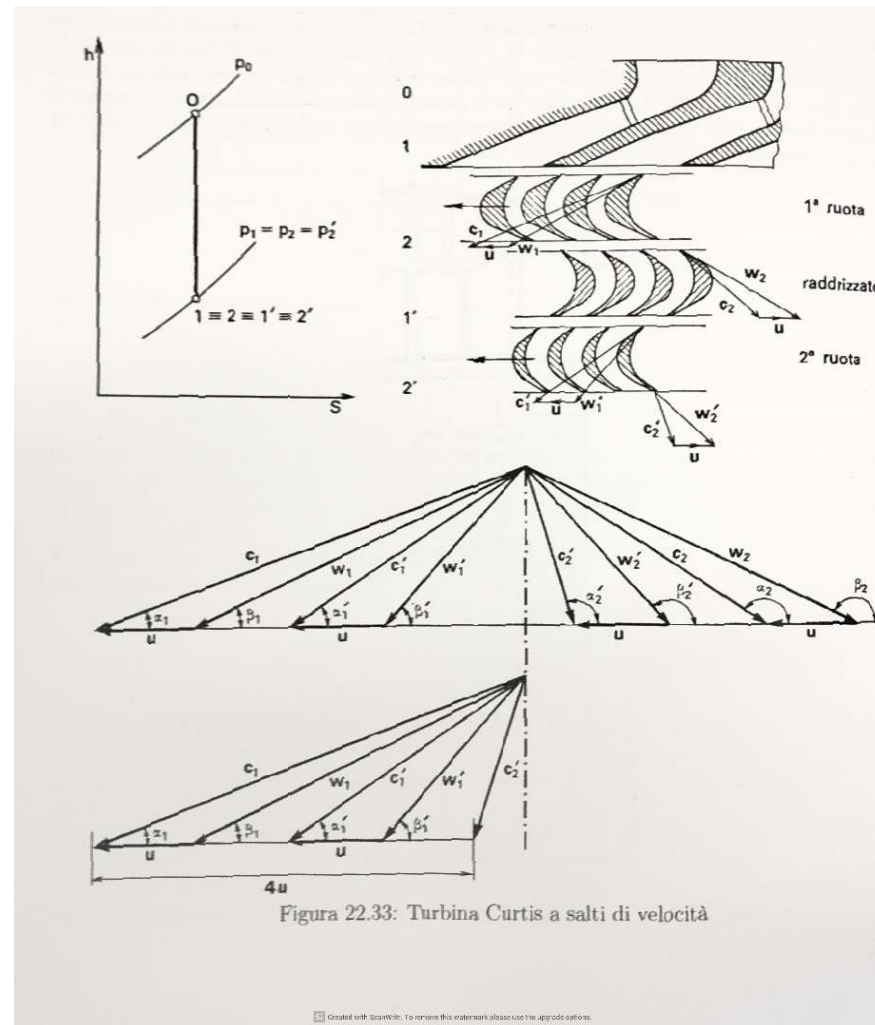
*Dalla relazione a fianco si vede che, nelle condizioni di massimo rendimento, la velocità periferica della girante (u) e la velocità di uscita dell'ugello statorico (C<sub>1</sub>) non sono indipendenti.*



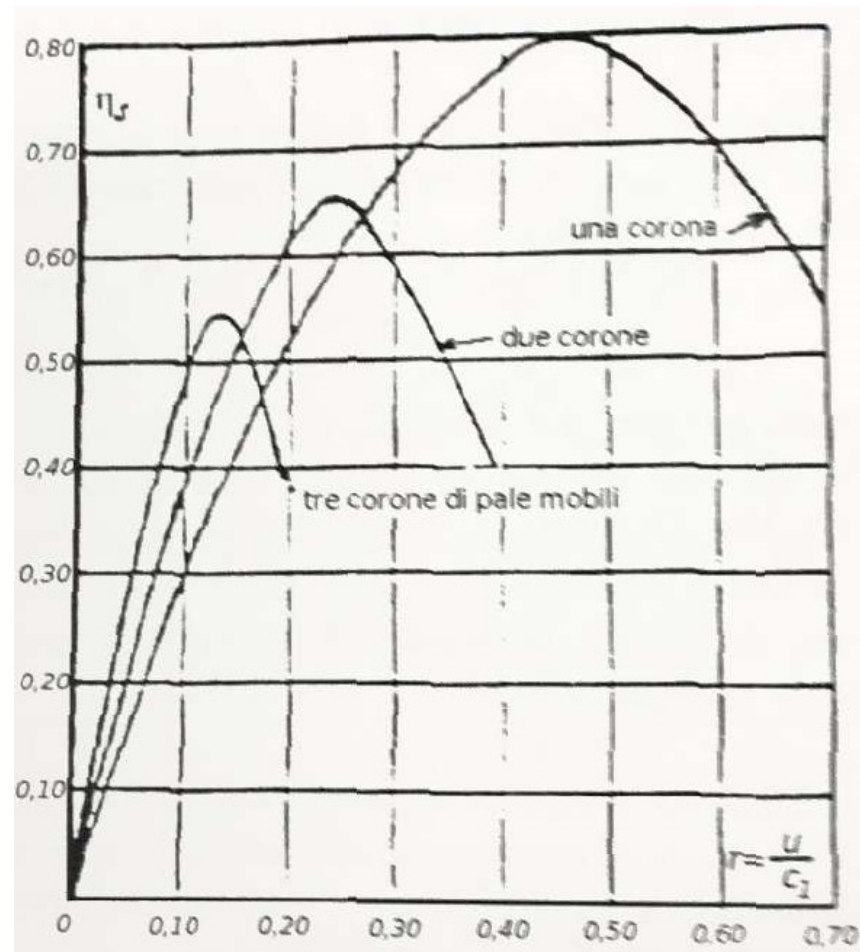
**Condizioni di massimo rendimento**



# Turbina Curtis a salti di velocità

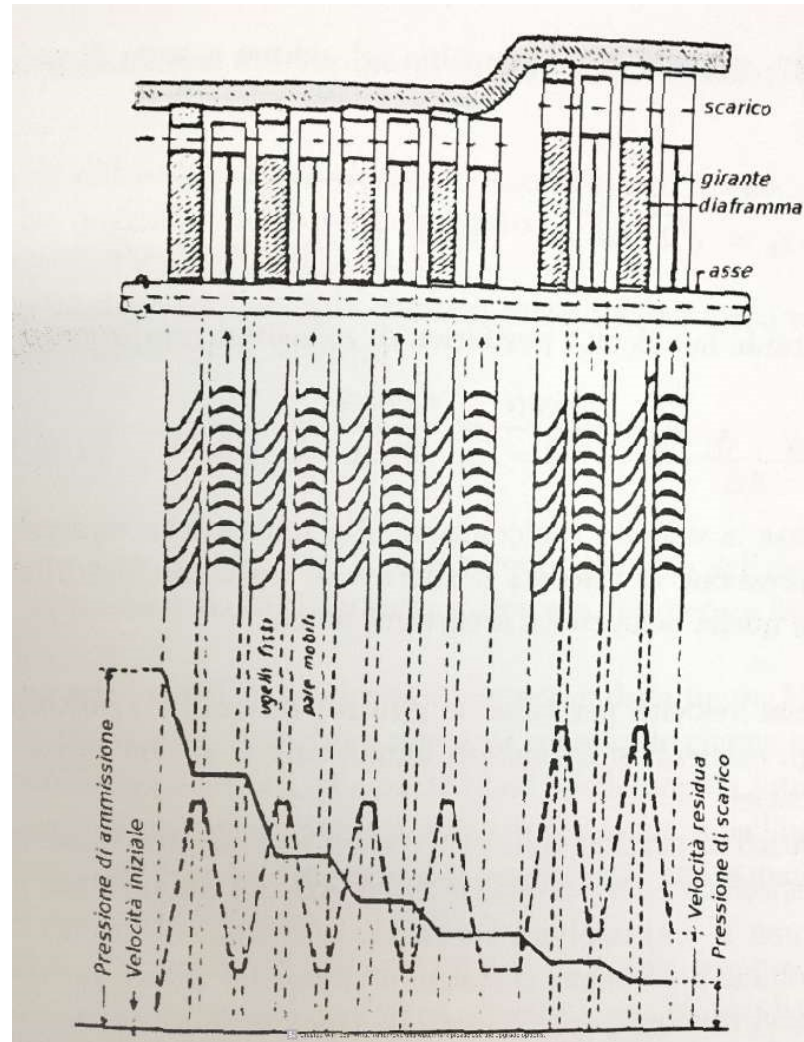


# Rendimento turbina Curtis a salti di velocità





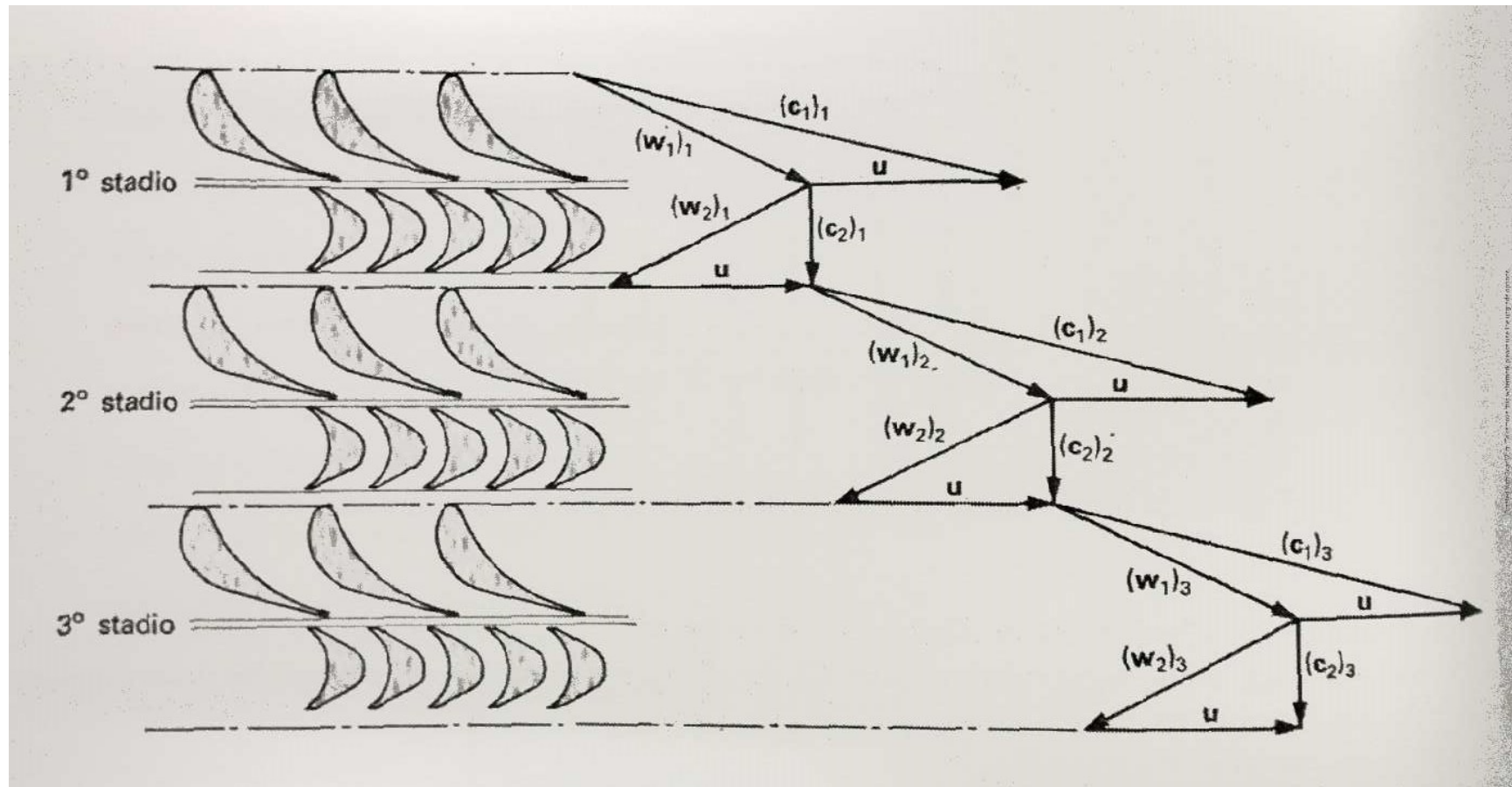
# Turbina a salti di pressione





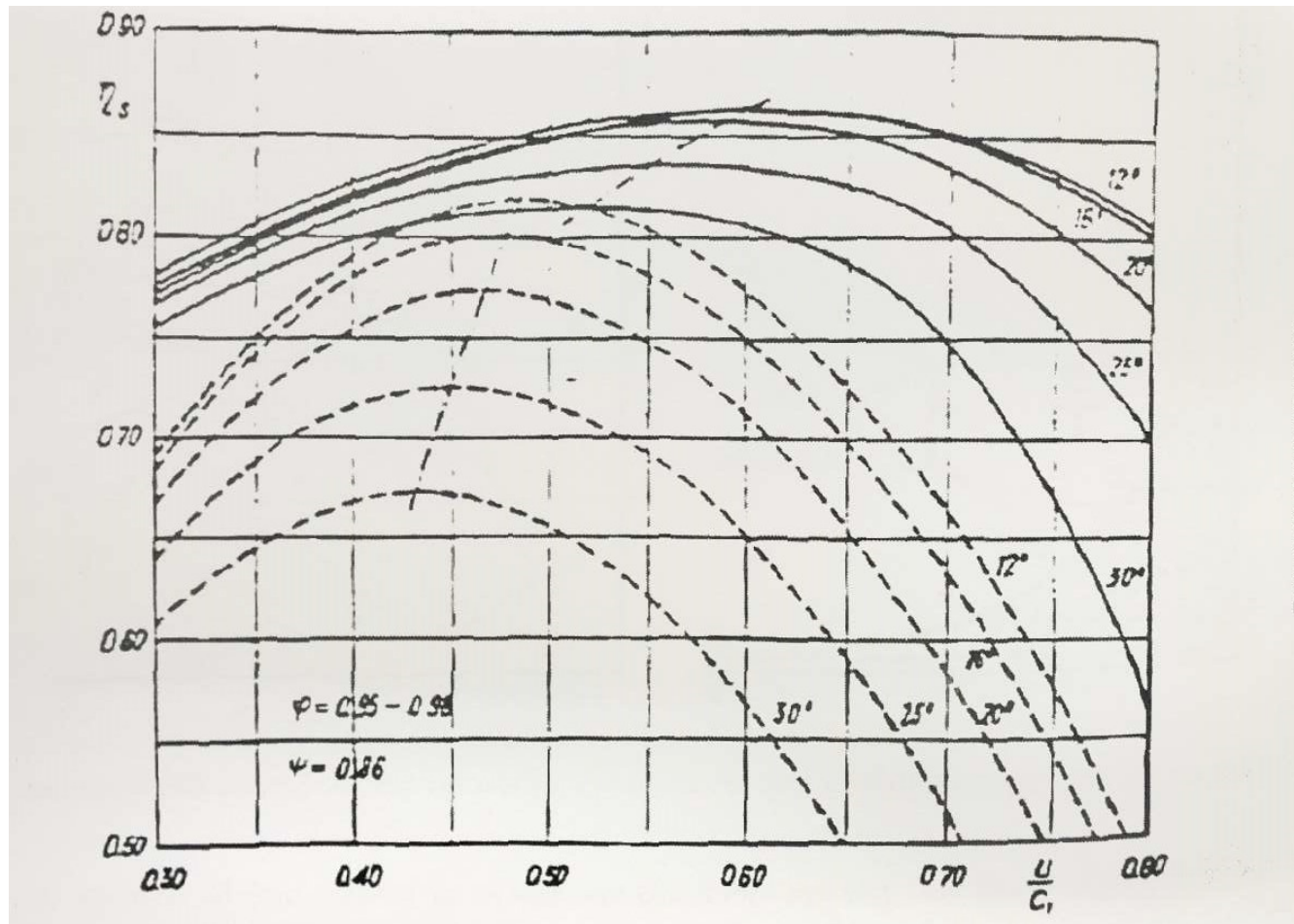
# Turbina a salti di pressione

## Triangoli delle velocità



# Turbina a salti di pressione

## Rendimento

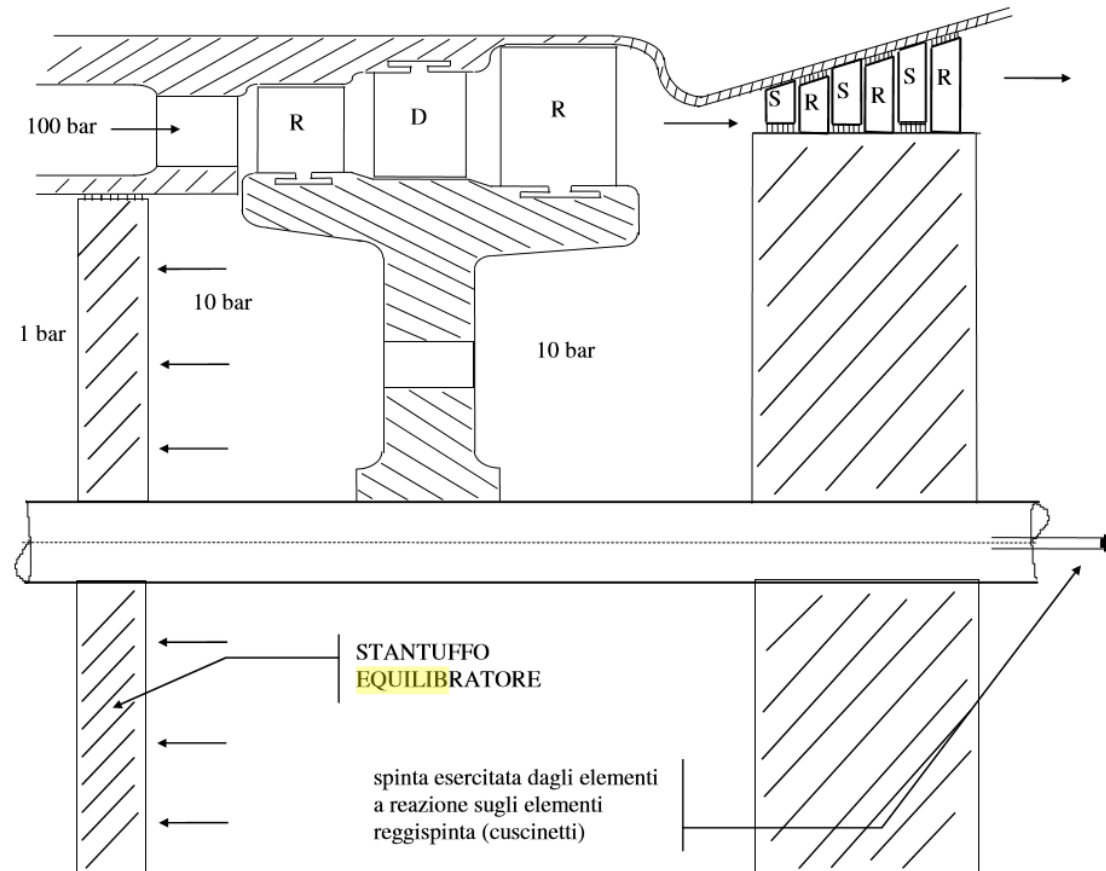


# Perdite nelle turbine

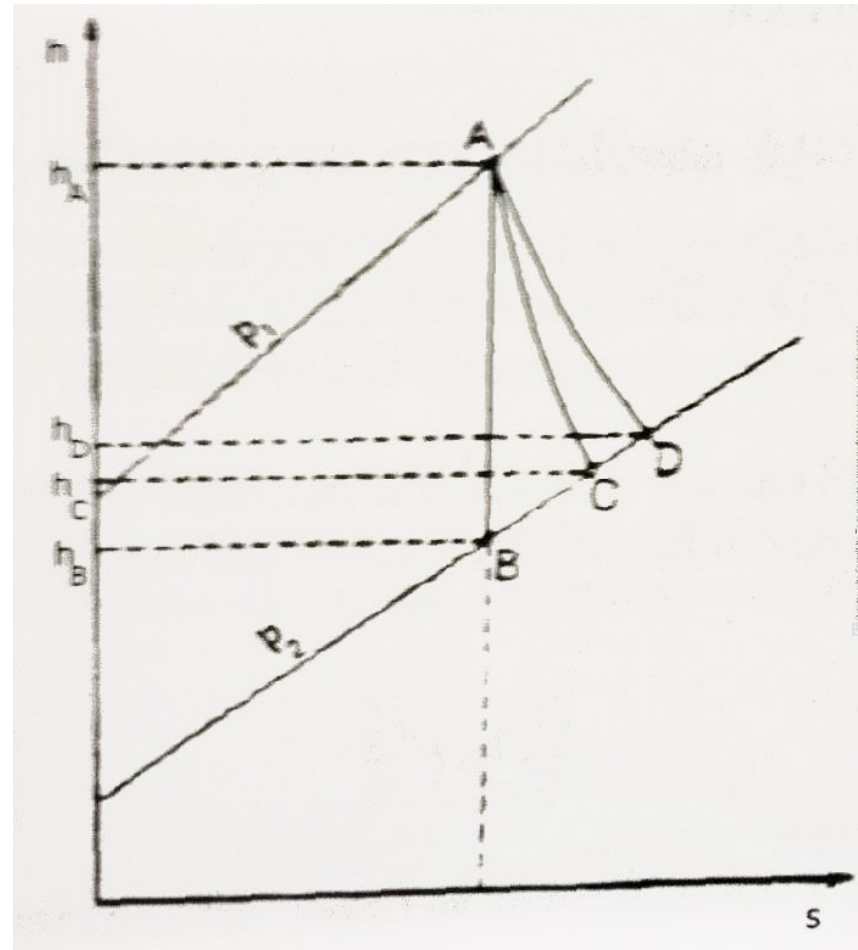
- Perdite nei distributori
- Perdite nei condotti mobili
- Perdite per urto all'entrata
- Perdite per urto con il vapore stagnante
- Perdite per effetto ventilante
- Perdite per trafilamento
- Perdite per umidità del vapore

# Perdite per trafilamento

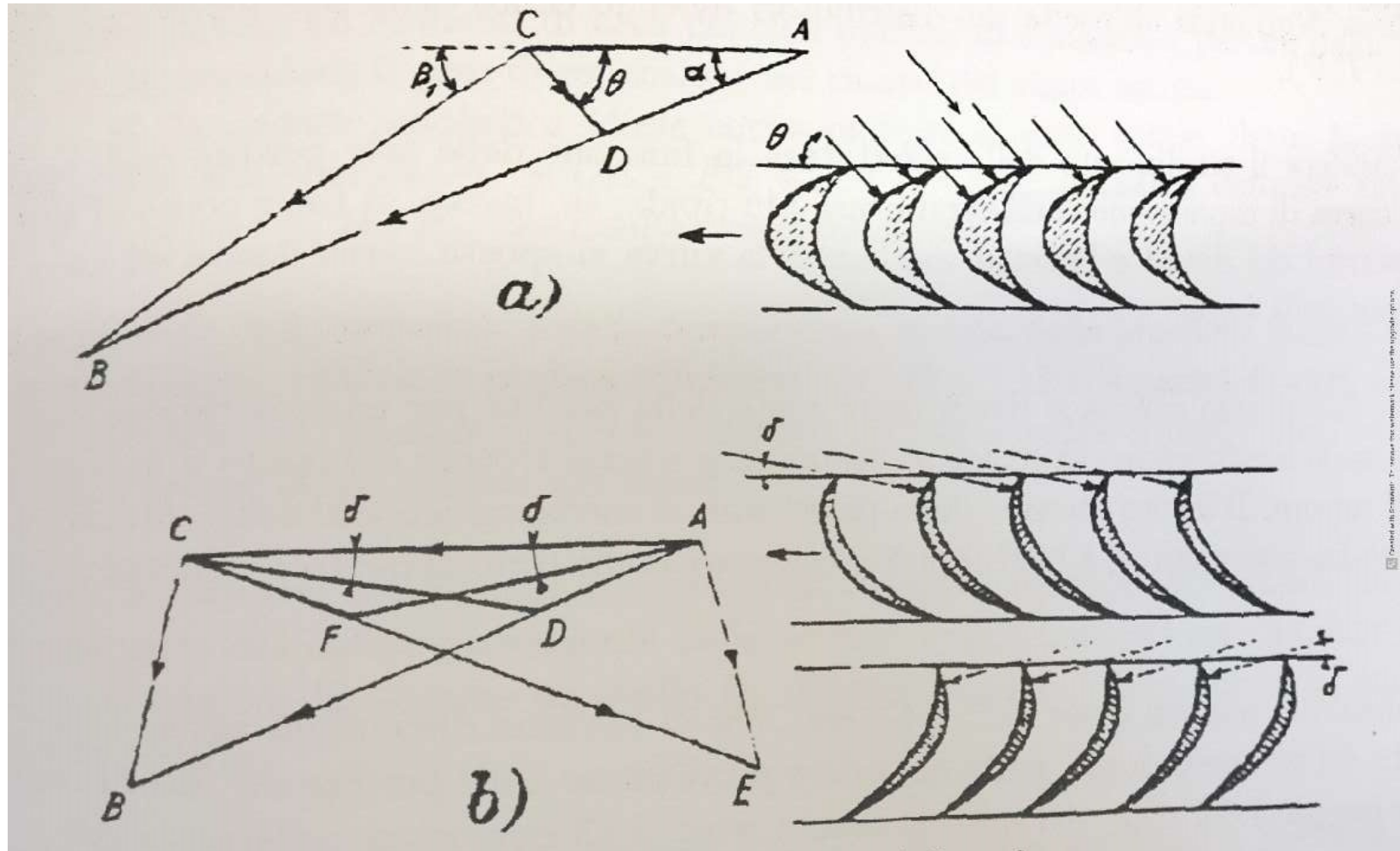
## Stantuffo equilibratore



# Perdite per trafilamento Effetto sull'espansione



# Perdite per formazione di condensato ed erosione delle pale



# Classificazione delle turbine a vapore

## Turbine a risurriscaldamento e condensazione

Sono ampiamente sfruttate negli impianti termoelettrici per le grandi potenze. Possono presentare uno o più alberi, con o senza estrazioni (spillamenti).

## Turbine a condensazione

Tali turbine sono caratterizzate da elevati salti entalpici e vengono usate quando la produzione di energia è lo scopo principale.

La pressione di uscita dalla turbina è inferiore a quella atmosferica grazie alla presenza di un condensatore. Possono presentare o meno spillamenti.

Tipo	MS-VS	36 C	50 C	60 C	70 C	80 C	100 C
Pressione di ammissione (bar)	60	110	95	140	140	80	100
Max temperatura ammissione (C)	475	500	475	500	500	500	510
Portata allo scarico (t/h)	17÷30	17÷30	21÷41	30÷55	30÷63	50÷80	80÷130
Pressione scarico (bar)	0,1÷0,2	0,1÷0,2	0,08÷0,15	0,081÷0,15	0,06÷0,13	0,081÷0,13	0,05÷0,08
Potenza (KW)	4000	8000	14000	18000	24000	30000	35000
Velocità di rotazione (rpm)	11000	10000	8200	7200	6300	5200	3000

# Turbine a contropressione

Sono installate in tutti gli impianti industriali che sfruttano tutto il vapore messo a disposizione dal sistema e sono di solito del tipo ad azione.

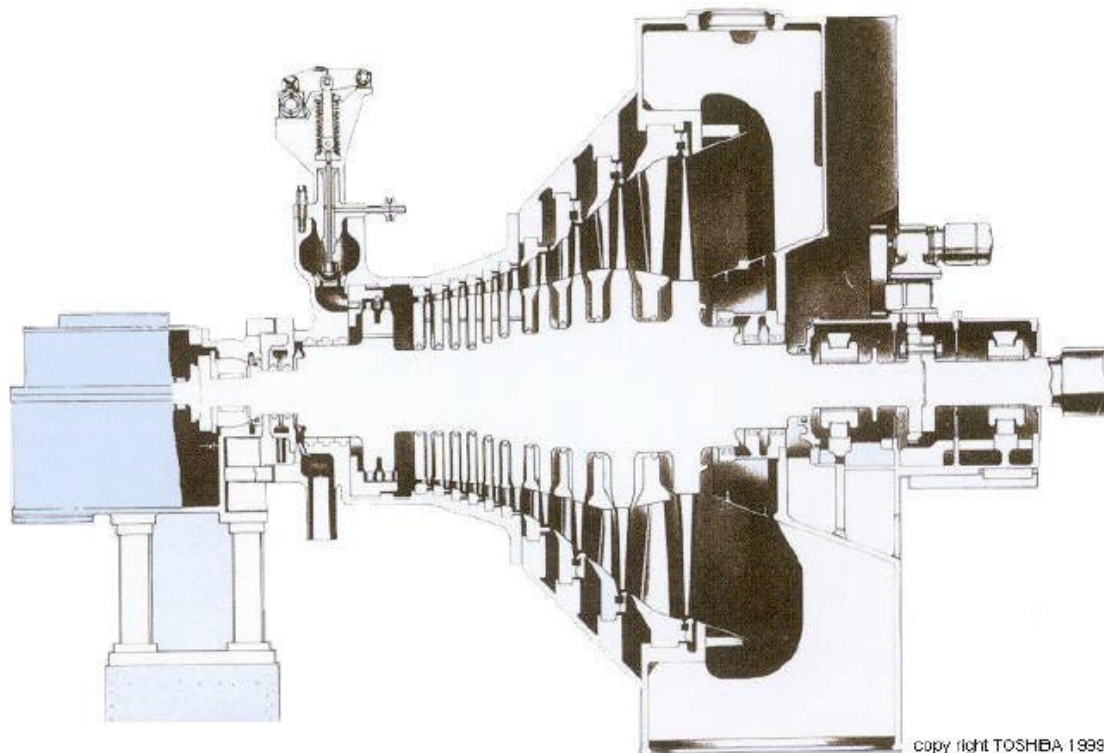
La pressione del vapore in uscita dalla turbina è superiore a quella atmosferica (contropressione) e di solito il vapore viene inviato a delle utenze termiche che ne completano lo sfruttamento energetico, come ad esempio nelle cartiere che sfruttano il vapore in uscita dalla turbina per utilizzarlo nei cilindri essiccatori, a pressione opportuna, nel processo di essiccazione della carta. Possono presentare o meno spillamenti.

<b>Tipo</b>	<b>MS-VS</b>	<b>36 B</b>	<b>45 B</b>	<b>50 B</b>	<b>56 B</b>	<b>70 B</b>	<b>80 B</b>
<b>Massima potenza (KW)</b>	<b>4000</b>	<b>8000</b>	<b>8000</b>	<b>18000</b>	<b>25000</b>	<b>29000</b>	<b>35000</b>
<b>Massima pressione all'ammissione (bar)</b>	<b>50</b>	<b>110</b>	<b>70</b>	<b>70</b>	<b>120</b>	<b>120</b>	<b>70</b>
<b>Massima temperatura all'ammissione (°C)</b>	<b>475</b>	<b>510</b>	<b>510</b>	<b>475</b>	<b>510</b>	<b>510</b>	<b>500</b>
<b>Massima pressione allo scarico (bar)</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>35</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>7</b>
<b>Massima velocità di rotazione (rpm)</b>	<b>1200</b>	<b>13000</b>	<b>11000</b>	<b>11000</b>	<b>9000</b>	<b>750</b>	<b>5200</b>



# Turbine a condensazione

## **TURBINA A CONDENSAZIONE**



**Potenza**

**38 MW**

**Pressione in  
ingresso**

**2.9 MPa**

**Temperatura in  
ingresso**

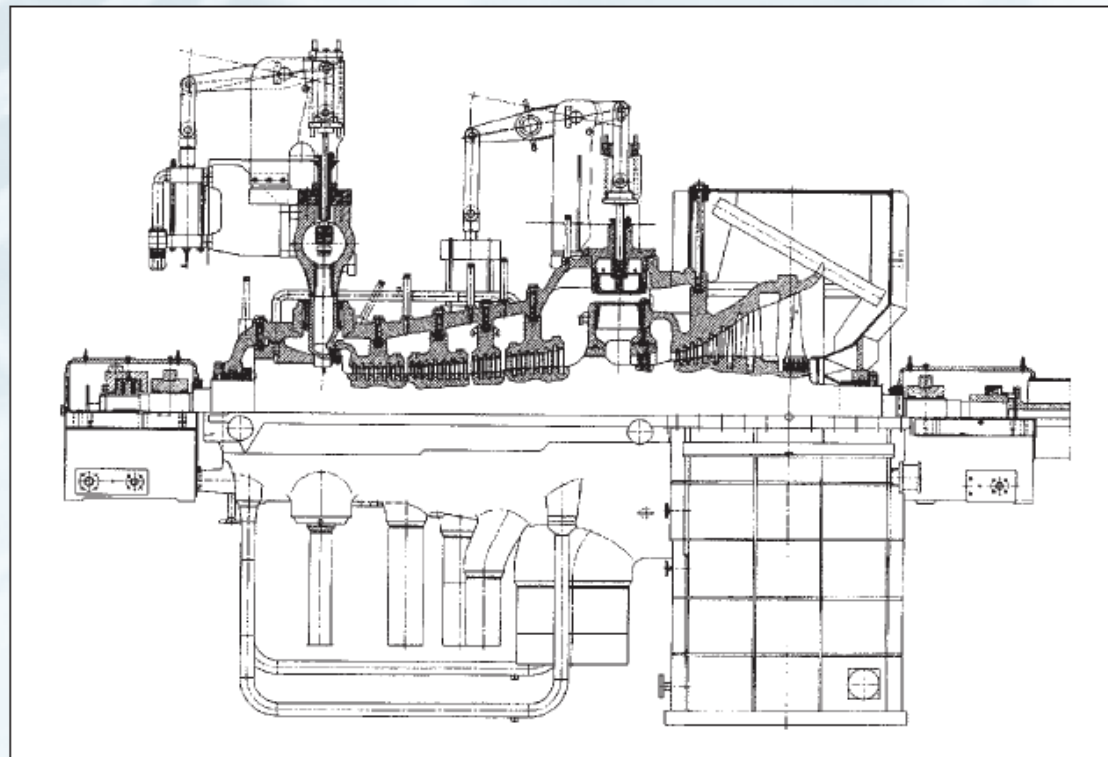
**390 °C**

**Pressione in uscita**

**5.07 kPa**

# Turbine a condensazione

Sono indicate per tutte le applicazioni industriali che richiedono lo spillamento di una parte della portata del vapore da destinarsi ad uso del sistema con pressione costante. Le sezioni intermedie della cassa sono costituite da moduli per estrazione forniti di valvole servocomandate per l'estrazione a pressione controllata.

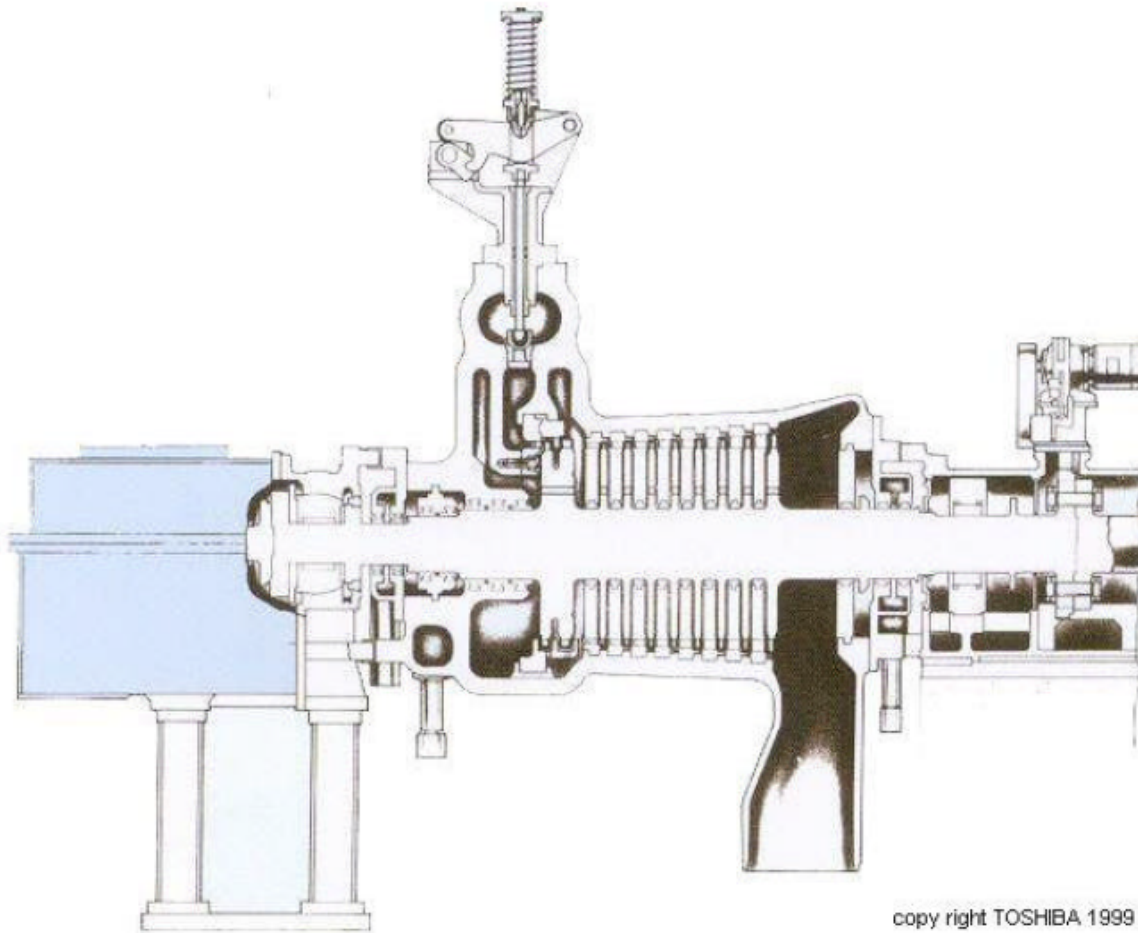


## Technical Data Steam Turbine Generator Set:

Live Steam pressure	80	bar
Live Steam temperature	525	°C
Live Steam flow	45	kg/s
1. Extraction pressure	12	bar
2. Extraction pressure	4	bar
Exhaust pressure	0.048	bar
Exhaust flow	15	kg/s
Generator voltage	10.5	kV
Generator power factor	0.85	
Output at Generator Terminals	37500	kW

# Turbina a contropressione

## **TURBINA A CONTROPRESSIONE**



**Potenza**

**25 MW**

**Pressione in  
ingresso**

**11.3 MPa**

**Temperatura in  
ingresso**

**538 °C**

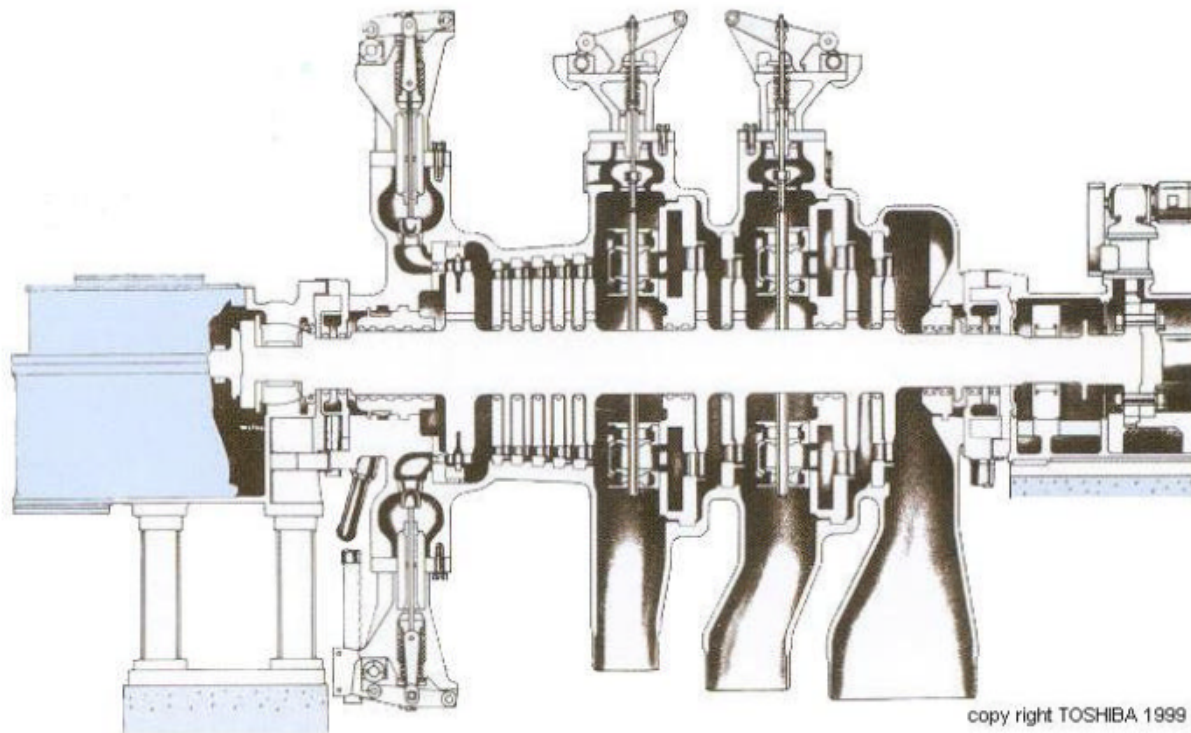
**Pressione allo  
scarico**

**1.27 MPa**

copy right TOSHIBA 1999

# Turbina a contropressione

## **TURBINA A CONTROPRESSIONE CON SPILLAMENTI**



**Potenza**

**35 MW**

**Pressione in  
ingresso**

**5.9 MPa**

**Temperatura in  
ingresso**

**440 °C**

**Pressione di  
spillamento**

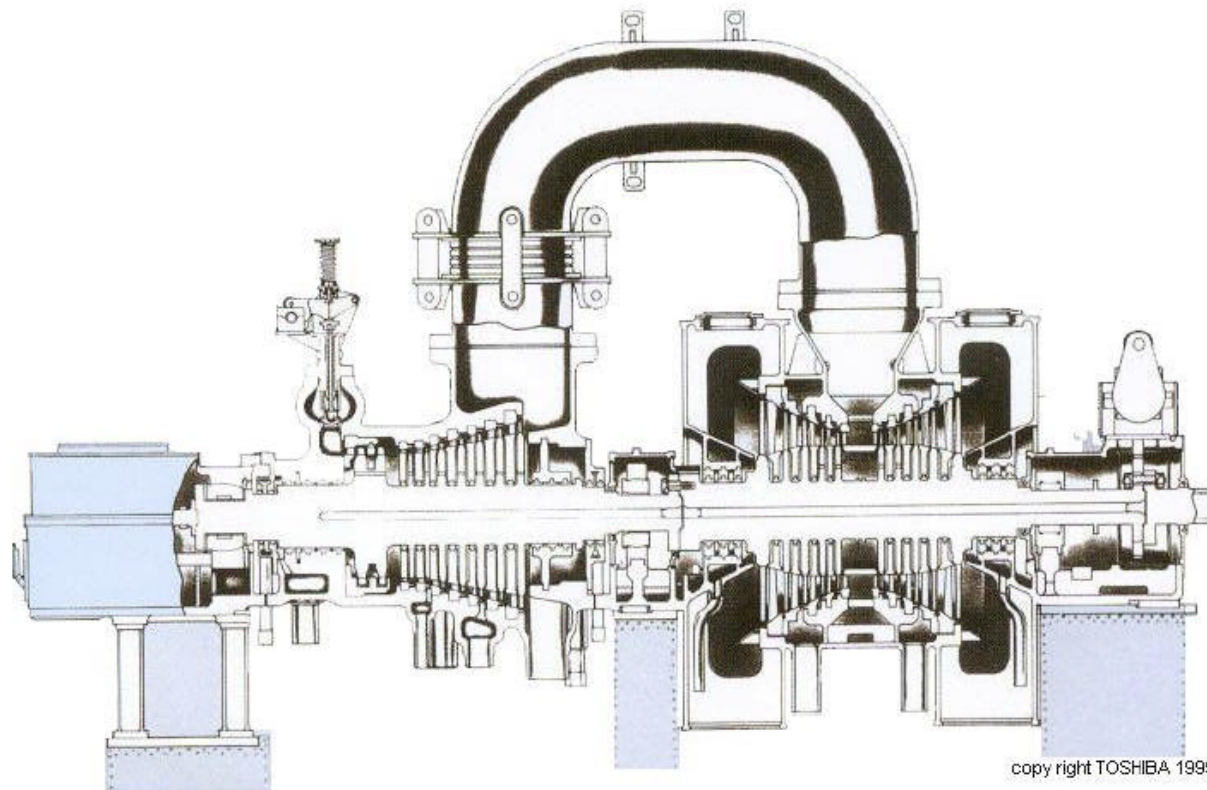
**1.23/0.69 MPa**

**Pressione allo  
scarico**

**0.27 MPa**

# Turbina a condensazione

## TURBINA A CONDENSAZIONE A DOPPIO FLUSSO



**Potenza**

**100 MW**

**Pressione in  
ingresso**

**8.6 MPa**

**Temperatura in  
ingresso**

**510 °C**

**Temperatura di  
risurriscaldamento**

**538 °C**

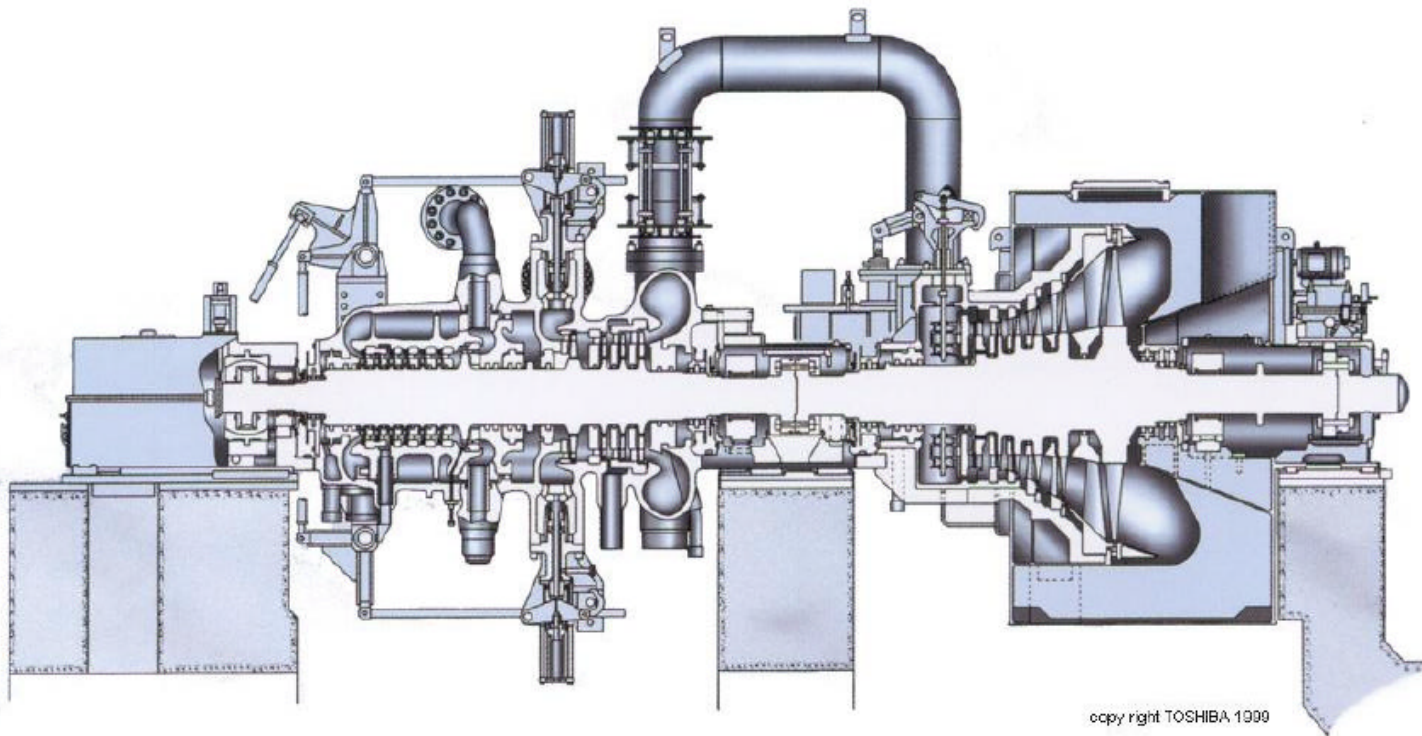
**Pressione in uscita**

**8.0 kPa**



# Turbina a risurriscaldamento

## **TURBINA A RISURRISCALDAMENTO CON SPILLAMENTI**



copy right TOSHIBA 1999

**Potenza**

**149 MW**

**Pressione in  
ingresso**

**16.6 MPa**

**Temperatura in  
ingresso**

**566 °C**

**Temperatura di  
risurriscaldamento**

**538 °C**

**Pressione di  
spillamento**

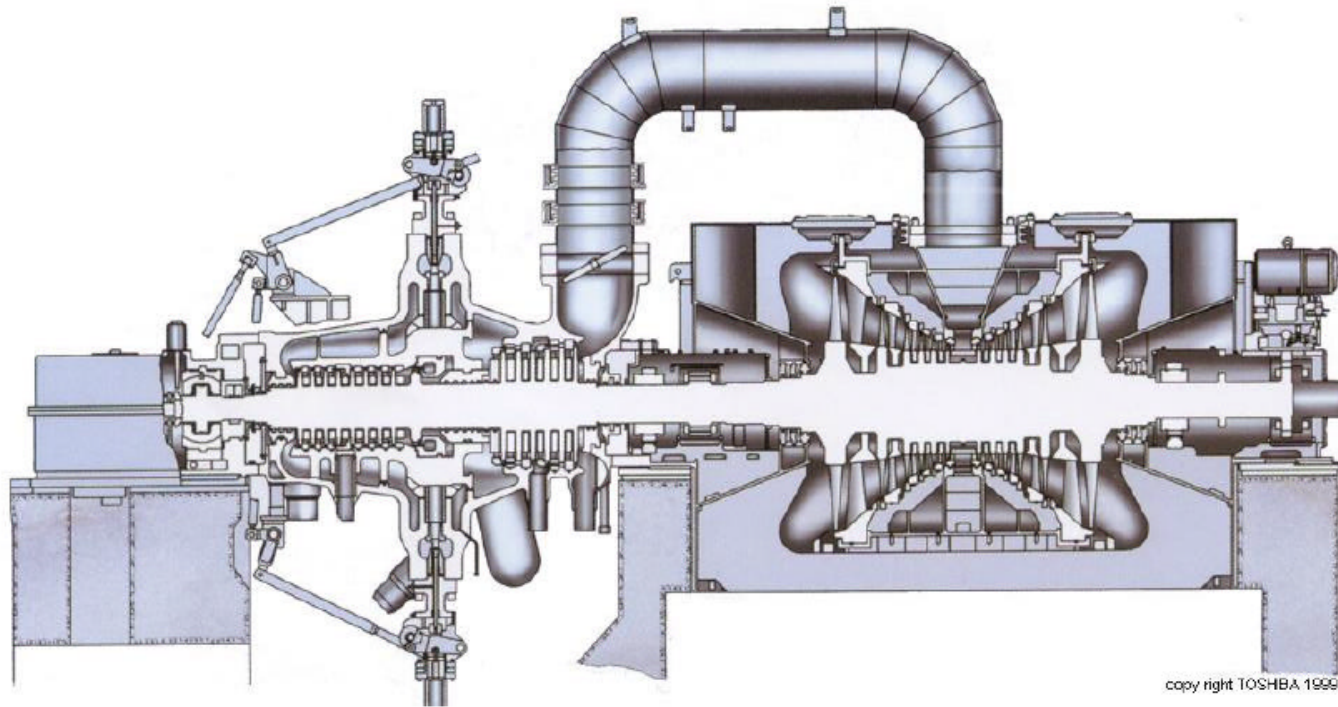
**3.5/0.69 MPa**

**Pressione in uscita**

**5.07 kPa**

# Turbina a risurriscaldamento

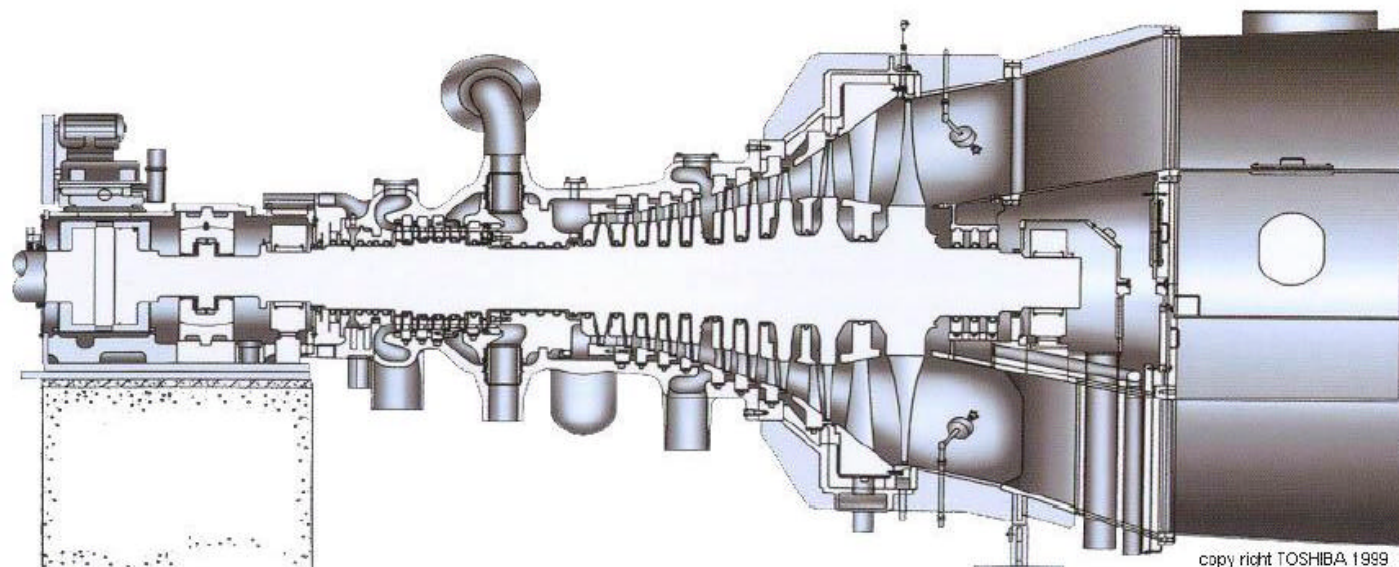
## **TURBINA A RISURRISCALDAMENTO A DOPPIO FLUSSO CON SPILLAMENTI**



<b>Potenza</b>
300 MW
<b>Pressione in ingresso</b>
13.9 MPa
<b>Temperatura in ingresso</b>
535 °C
<b>Temperatura di risurriscaldamento</b>
535 °C
<b>Pressione di spillamento</b>
0.25 MPa
<b>Pressione in uscita</b>
6.27 kPa

# Turbina a risurriscaldamento

## **TURBINA A RISURRISCALDAMENTO CON DIFFUSORE ASSIALE**



**Potenza**

**200 MW**

**Pressione in  
ingresso**

**12.7 MPa**

**Temperatura in  
ingresso**

**538 °C**

**Temperatura di  
risurriscaldamento**

**538 °C**

**Pressione in uscita**

**8.63 kPa**

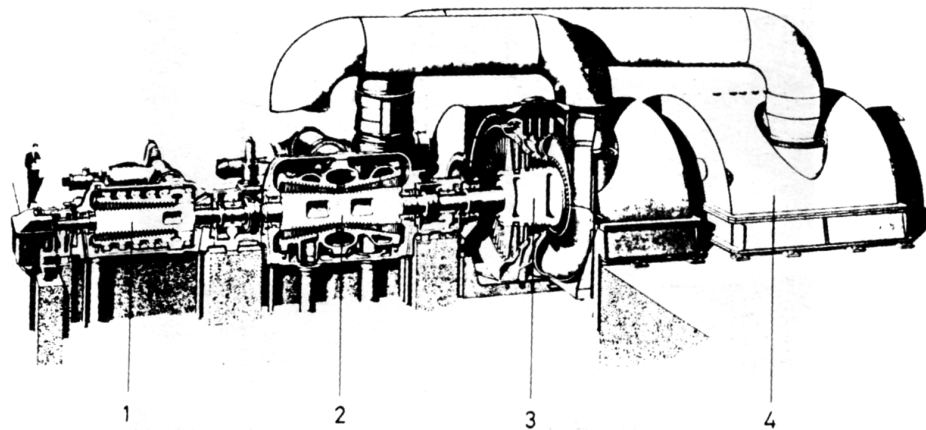


Nei moderni impianti di grande potenza si ricorre ad organizzazioni della turbina piuttosto complesse, in cui il vapore espande attraverso diverse unità.

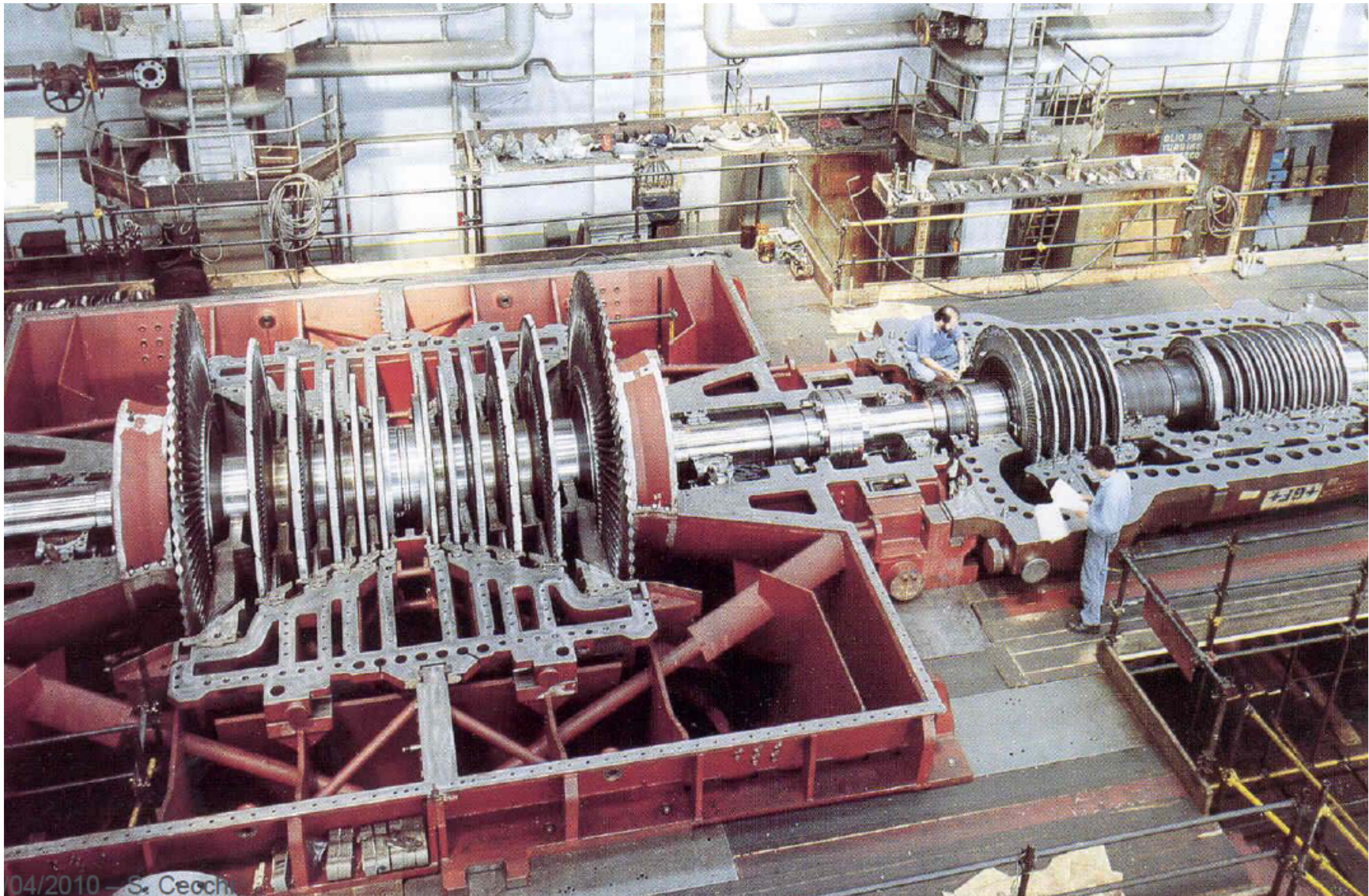
In generale sono impiegate due soluzioni:

- 1) “tandem compound”, in cui le unità sono disposte in linea sullo stesso albero, avendo in comune il generatore elettrico;
- 2) “cross compound”, in cui le unità sono disposte in parallelo su differenti alberi, ognuna delle quali è collegata ad un generatore elettrico.

La soluzione “cross compound” offre il vantaggio consentire l’impiego di turbine più veloci in alta pressione (ove il basso volume specifico del vapore impone giranti di piccolo diametro) e di turbine più lente in bassa pressione, in modo da ottenere in ogni caso velocità periferiche opportune.

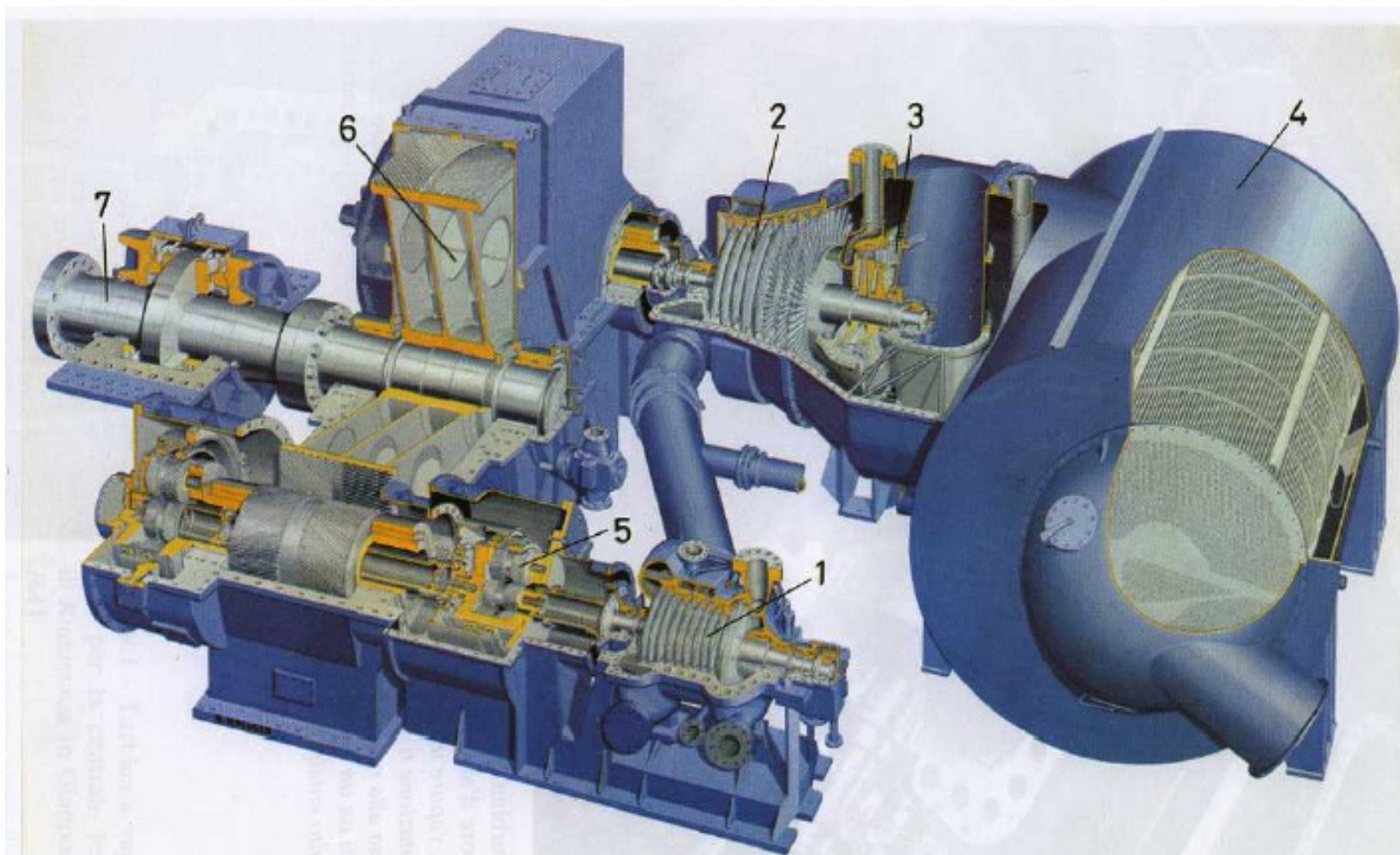


Spaccato di turbina a vapore a condensazione di elevata potenza (ABB)  
1. Corpo di alta pressione; 2. Corpo di media pressione a doppio flusso; 3. Primo corpo di bassa pressione a doppio flusso; 4. Secondo corpo di bassa pressione a doppio flusso in parallelo al primo.



04/2010 - S. Ceach

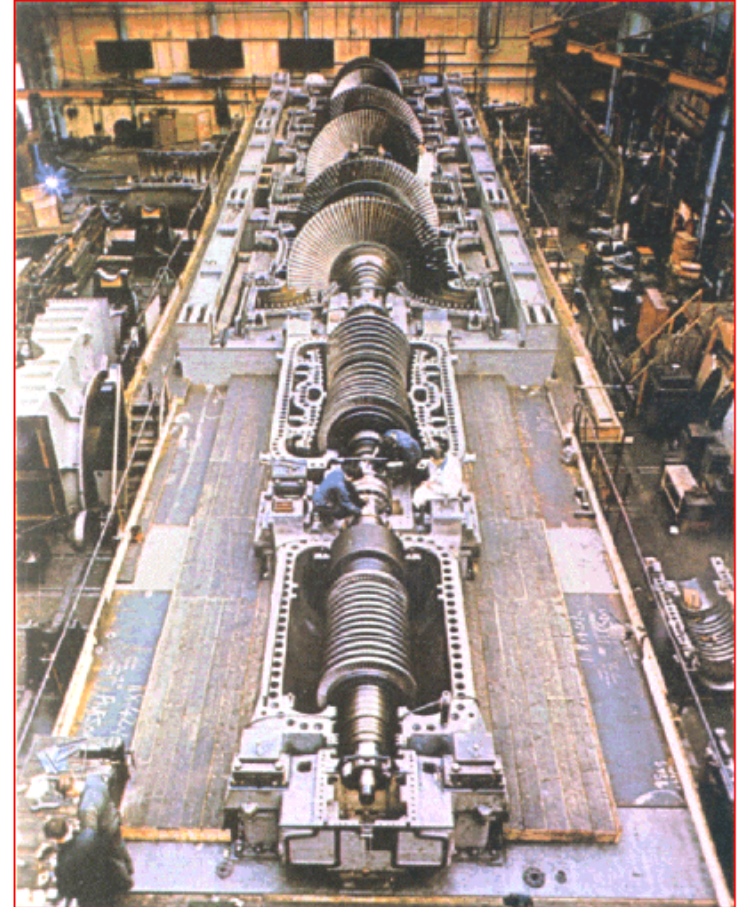
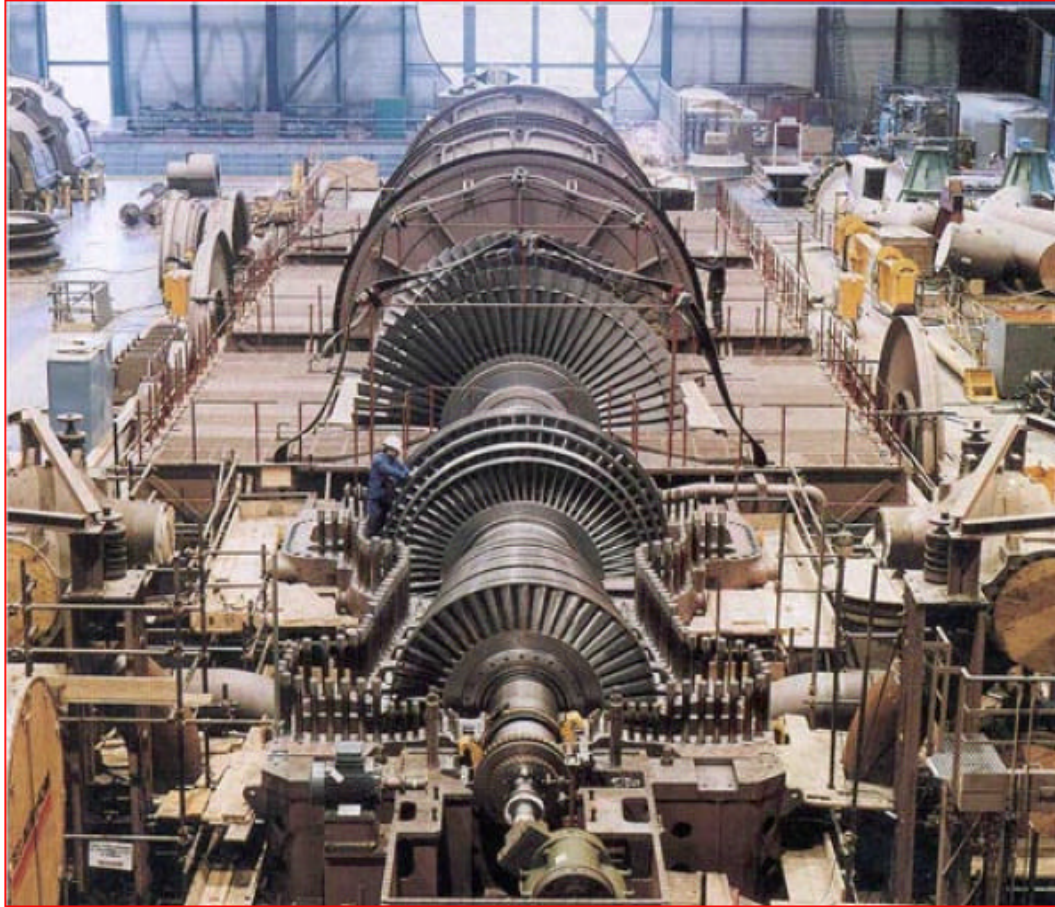




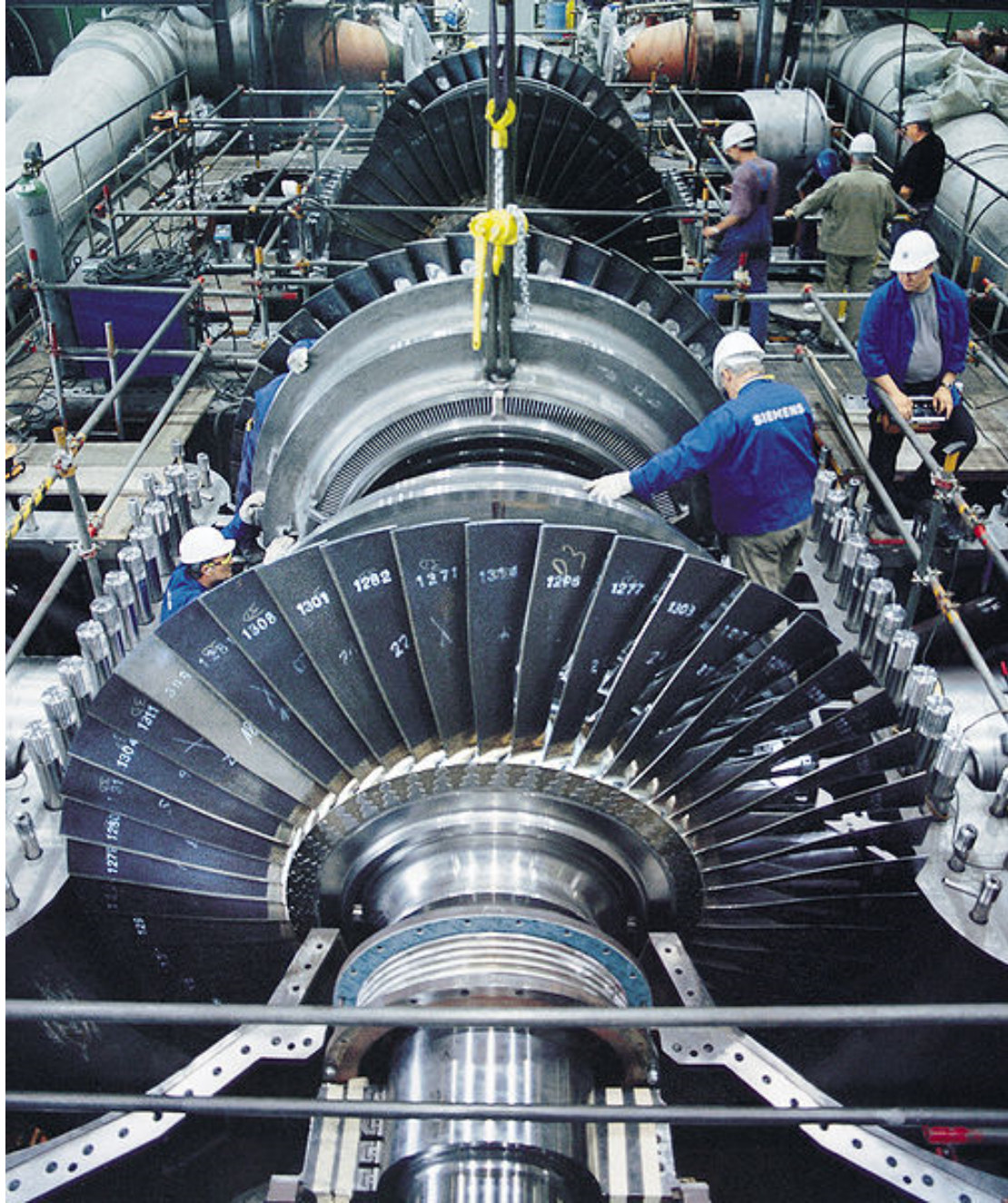
Tav. V.3 - Spaccato di turboriduttore a vapore per la propulsione navale (STAL-LAVAL).

1. Turbina a vapore di alta pressione; 2. Turbina a vapore di bassa pressione; 3. Turbina a vapore di marcia indietro costituita da due ruote a salti di velocità; 4. Condensatore; 5. Riduttore epicicloidale di prima riduzione; 6. Ruota lenta; 7. Albero porta-elica.

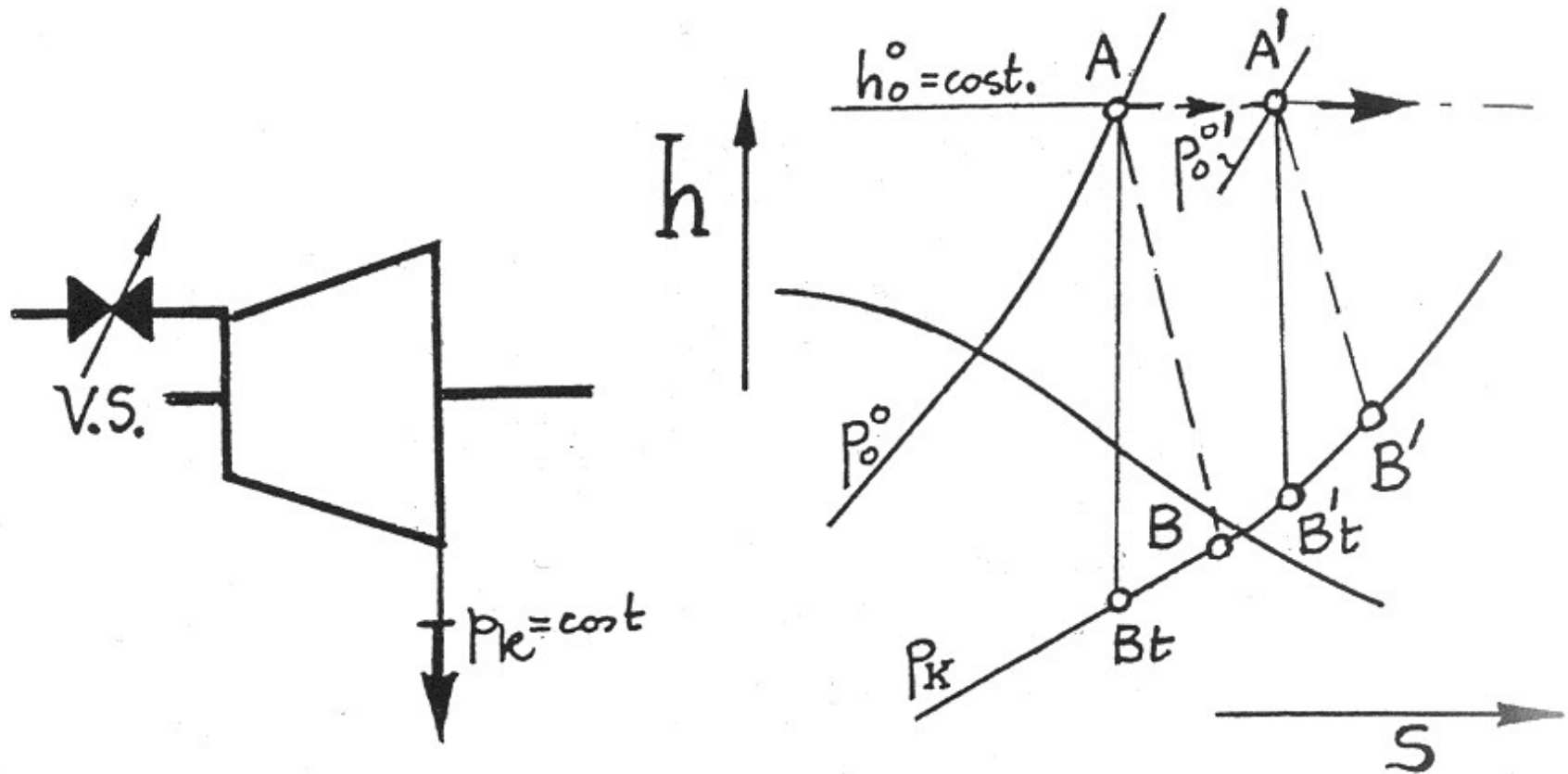








# Laminazione



# Parzializzazione

