

*Prof. Angelo Serafino Caruso, Docente di Meccanica, Macchine ed Energia
nell' Istituto Tecnico Industriale "E. Majorana" di Rossano*

Le mie lezioni: Le Macchine Termiche (4/4^)

Diagramma del Vapor d'Acqua e Diagramma di Mollier

Macchine Motrici a Vapore

Macchine Termiche e Generatori di Vapore

Caldiaia Cornovaglia, a tubi di fumo e tubi d'acqua

Turbine a Vapore

Tubo di De Laval,

Triangoli di Velocità

9 Condensatori

Le Pompe e Schema di Centrale Termica

Diagramma del Vapor d'Acqua

I motori a combustione esterna (esotermici) funzionano con il vapor d'acqua che è il flusso operativo più utilizzato in assoluto.

Infatti, riscaldando, a pressione costante, una quantità d'acqua, si ha:

Riscaldamento: È la quantità di calore per portare 1kg di liquido da 0°C alla temperatura di ebollizione (Calore di Riscaldamento, "q").

Essa varia con la pressione e con la temperatura di ebollizione "te".

A pressioni non molte elevate $q=4,187 te [kj]$

Vaporizzazione: Continuando a somministrare calore, la temperatura non aumenta, rimane costante, e il liquido si trasforma in vapore e, in questo passaggio, con la pressione sempre al valore atmosferico, il volume dell'acqua aumenta di 1650 volte.

Se il vapore è secco cioè asciutto si dice che è "satturo secco" altrimenti sarà "satturo umido".

Si chiama calore "latente di vaporizzazione", la quantità di calore

per trasformare, in vapore saturo secco, 1kg d'acqua già alla temperatura di ebollizione.

Questo calore è detto "latente" perché, il termometro non lo rileva e diminuisce con la temperatura di ebollizione.

Il "titolo" (χ), non è altro che il vapore saturo umido ed è uguale:

$$\chi = m_v / (m_v + m_a)$$

m_v , massa del vapore e m_a , massa della parte liquida

Quindi il titolo è il rapporto tra la massa del vapore e la massa totale della miscela.

Condensazione: È il passaggio da vapore (aeriforme) a liquido, durante questo passaggio il vapore restituisce il calore assorbito durante la vaporizzazione.

Surriscaldamento: La quantità di calore necessaria per trasformare, a pressione costante, 1 kg di vapore saturo secco in surriscaldato, ad una

determinata temperatura si chiama calore di surriscaldamento "Q".

$$Q = c_p(t_s - t_e)$$

con c_p (calore specifico a pressione costante), t_s (Temperatura di surriscaldamento) e t_e (temperatura di ebollizione).

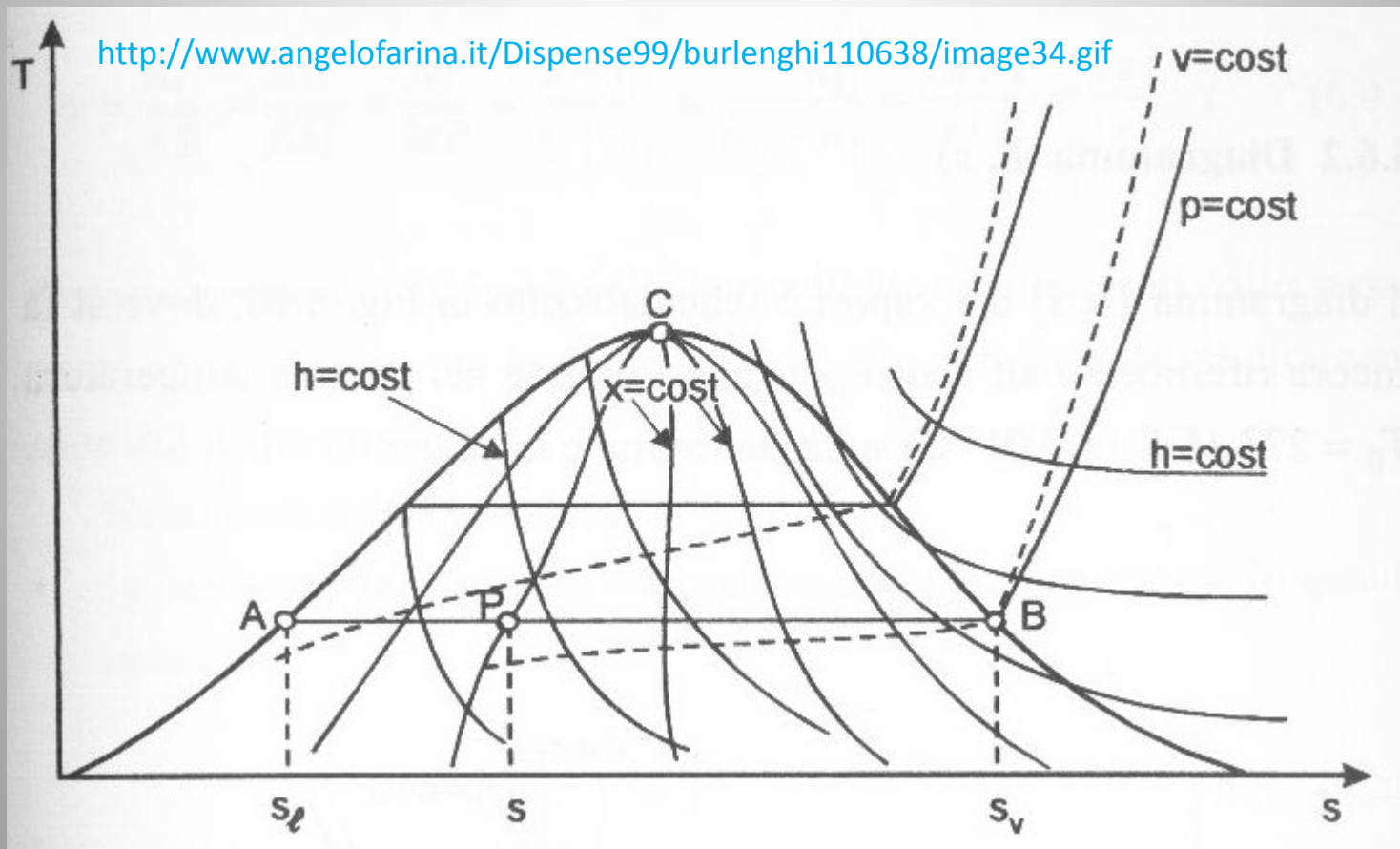
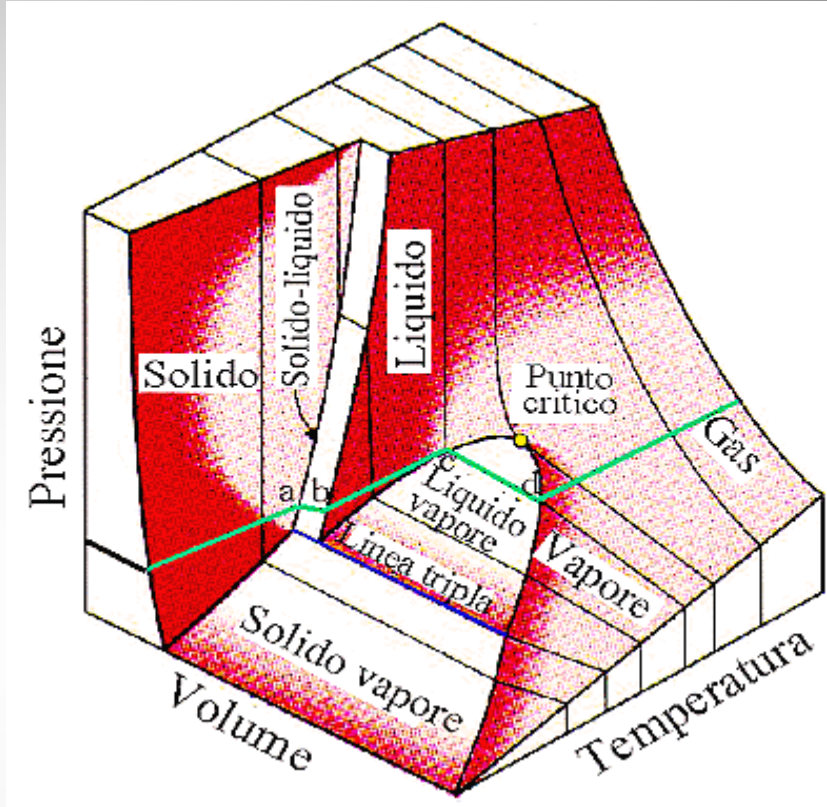
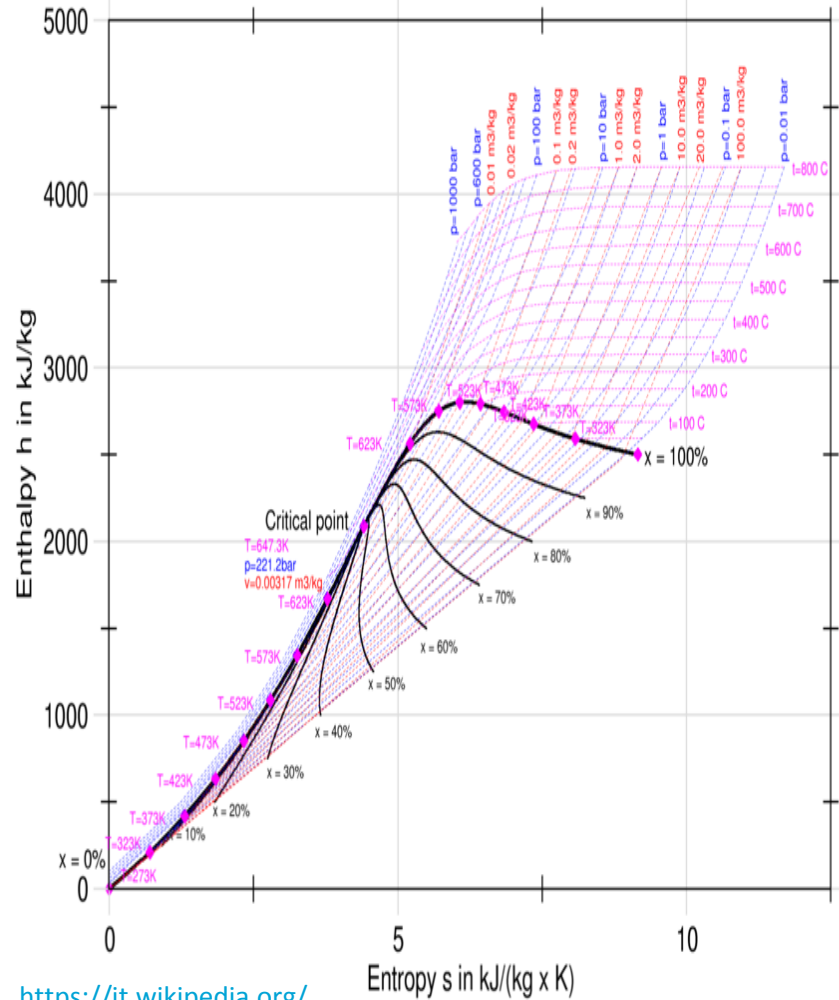


Diagramma di Mollier

Mollier-h, s Diagram

for Water Steam



<http://www.bing.com/images/search?q=diagramma+entropico+con+isobare+e+isoterme&view=detailv2&id=DBF32CF45E51DB2911019F10011A927DCA2908D8&selectedIndex=146&ccid=Prc9YA2r&simid=607995094348860058&thid=OIP.M3eb73d600dab3d3d4bf363507e69706fH0&ajaxhist=0>

https://it.wikipedia.org/wiki/Diagramma_di_Mollier#/media/File:HS-Wasserdampf_engl.png

Il Diagramma di Mollier (R. Mollier X!X sec.)

È molto utile per calcolare i parametri tipici del vapore: Pressione, Temperatura, Titolo, Volume massico, Entalpia e Entropia. È sufficiente conoscere due dati per individuare univocamente la configurazione cercata e poi si assumono tutti gli altri parametri termodinamici.

Lavoro erogato dal vapore

Il Lavoro termico teorico (L_{tt}) equivale al salto di entalpia fra il punto di inizio e fine espansione del vapore, cioè è uguale al salto entalpico letto sul diagramma di Mollier.

$$L_{tt} = h_{iniziale} - h_{finale} \quad [kJ/kg]$$

e la Potenza termica teorica: $P_u = G L_{tt}$ [Kj/s = kW]

G è la portata massica del vapore [kg/s]

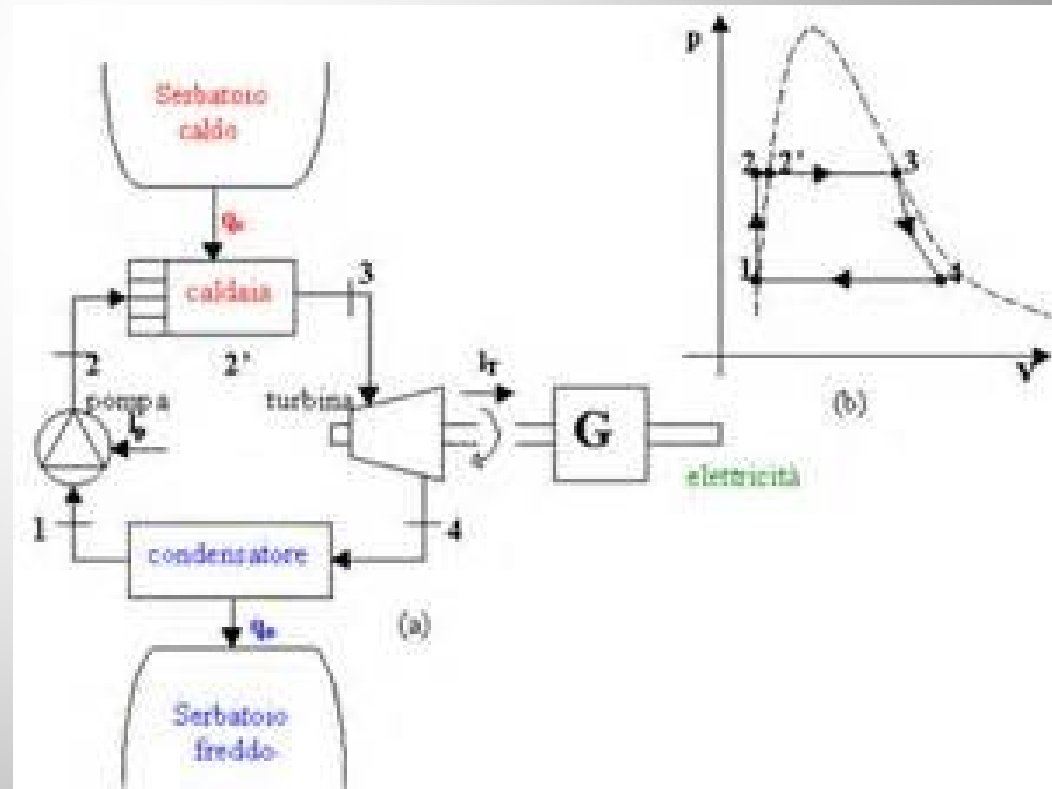
Le esercitazioni in classe con applicazioni pratiche annesse saranno da supporto per chiarimenti e approfondimenti.

Macchine Motrici a Vapore

Sono le macchine a combustione esterna (Esotermiche), il loro funzionamento è spiegato con il ciclo di Rankine e comprende quattro trasformazioni:

Una isocora, due isobare e un'adiabatica.

Allora, nella prima fase 1-2, la pompa alza la pressione dell'acqua per consentire l'ingresso in caldaia, nella seconda fase 2-3, l'acqua si riscalda in caldaia assorbendo calore dal serbatoio caldo e vaporizza a pressione costante, nella terza fase 3-4, il vapore si espande nella turbina, teoricamente, senza scambio di calore con l'esterno, nella quarta fase 4-1, il vapore si condensa a pressione costante e ridiventa liquido, cedendo calore



Nella trasformazione adiabatica il vapore sarà saturo secco o surriscaldato,
al termine è saturo umido con titolo piuttosto alto.

L'area racchiusa nelle trasformazioni è il lavoro
compiuto dal fluido.

Il rendimento aumenta se si abbassa il punto p_1
(diminuire la pressione nel condensatore)

o si alza il punto p_2

(aumentare la pressione nella caldaia)

o si sposta verso destra il punto p_3

(per avere vapore surriscaldato anziché saturo secco).

Il calore speso è dato dalla quantità di calore fornito all'acqua in caldaia
ed è uguale alla differenza tra l'entalpia del vapore all'ingresso della
turbina " h_3 " e l'entalpia dell'acqua estratta dal condensatore " h_1 ":

$$\eta_t = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_1} \text{ (Rendimento teorico)}$$

$h_1 = 4,187 \text{ t}$, $(h_3 - h_4)$ è il salto entalpico disponibile

Macchine Termiche e Generatori di Vapore

Essi sono le Caldaie comunemente dette, l'insieme delle apparecchiature o l'impianto che trasforma l'acqua in vapore.

C'è un focolare o una camera di combustione, dove avviene la produzione di fumi caldissimi incanalati verso il camino, al di sotto della caldaia.

Le grandezze caratteristiche:

Potenzialità Specifica $[\text{kg}/\text{m}^2 \text{ h}]$ è la quantità di vapore prodotta ogni ora e per m^2 di superficie di riscaldamento.

Potenzialità $[\text{kg}/\text{h}]$ è la produzione oraria di vapore nelle normali condizioni di pressione, temperatura e titolo.

Potere Evaporante $[\text{kg}/\text{kg}]$ è la quantità di vapore prodotto ogni ora per ogni kg di combustibile bruciato.

Capacità Specifica $[\text{dm}^3/\text{m}^2]$ è il rapporto fra il volume d'acqua presente nella caldaia e la superficie di riscaldamento.

La caldaia Cornovaglia è la più antica e ha dato impulso alle locomotive e alle navi, sicuramente è stata la prima motrice apparsa.

Il tubo focolare è eccentrico per generare, naturalmente, per differenza di pressione sui fianchi, un moto circolatorio dell'acqua, è ondulato per aumentare la superficie di scambio.

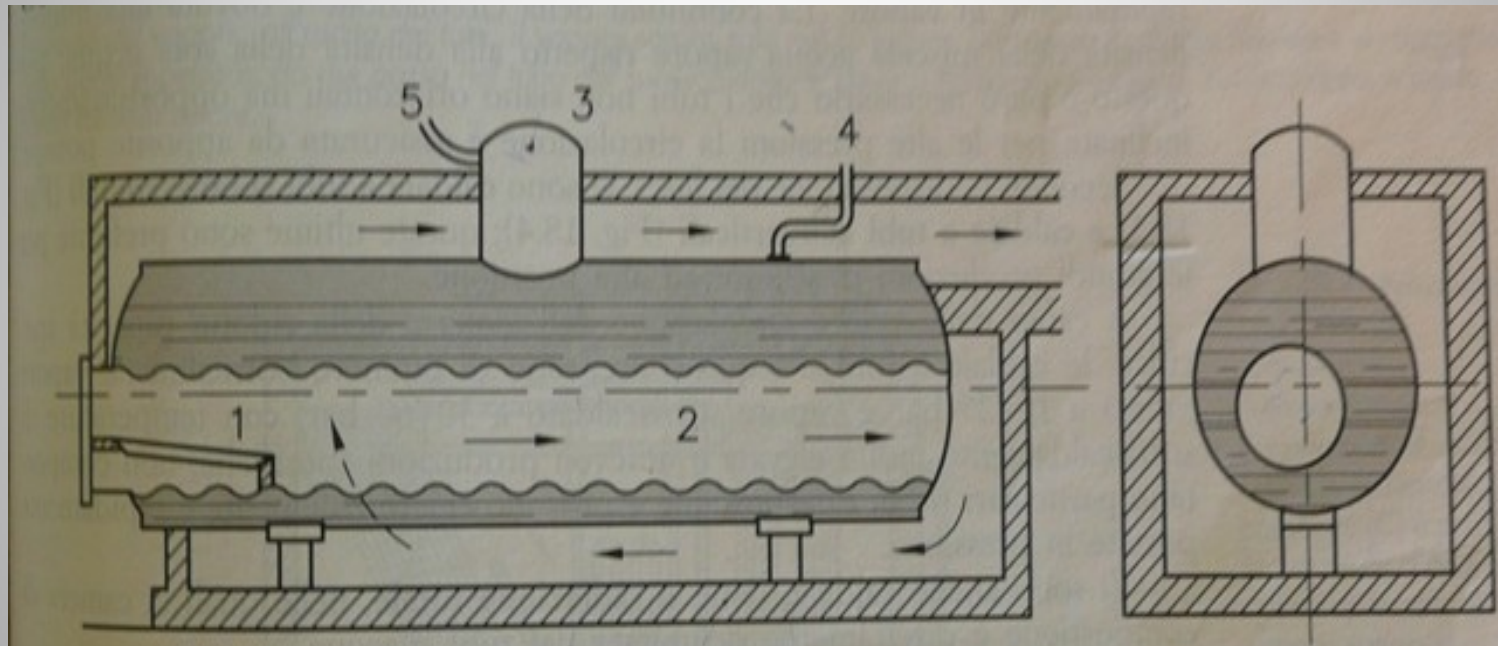


Fig. 18.1 Schema di una caldaia tipo Cornovaglia: 1) Griglia; 2) Forno ondulato; 3) Ingresso acqua di alimentazione; 4) Duomo; 5) Uscita vapore. Le frecce indicano il percorso dei fumi.

Figura Tratta da Calderini, V. Ariosi

Nella caldaia a tubi di fumo sono anch'esse ormai obsolete.

I fumi prodotti dalla combustione attraversano il fascio tubiero, immerso nell'acqua, vaporizzandola.

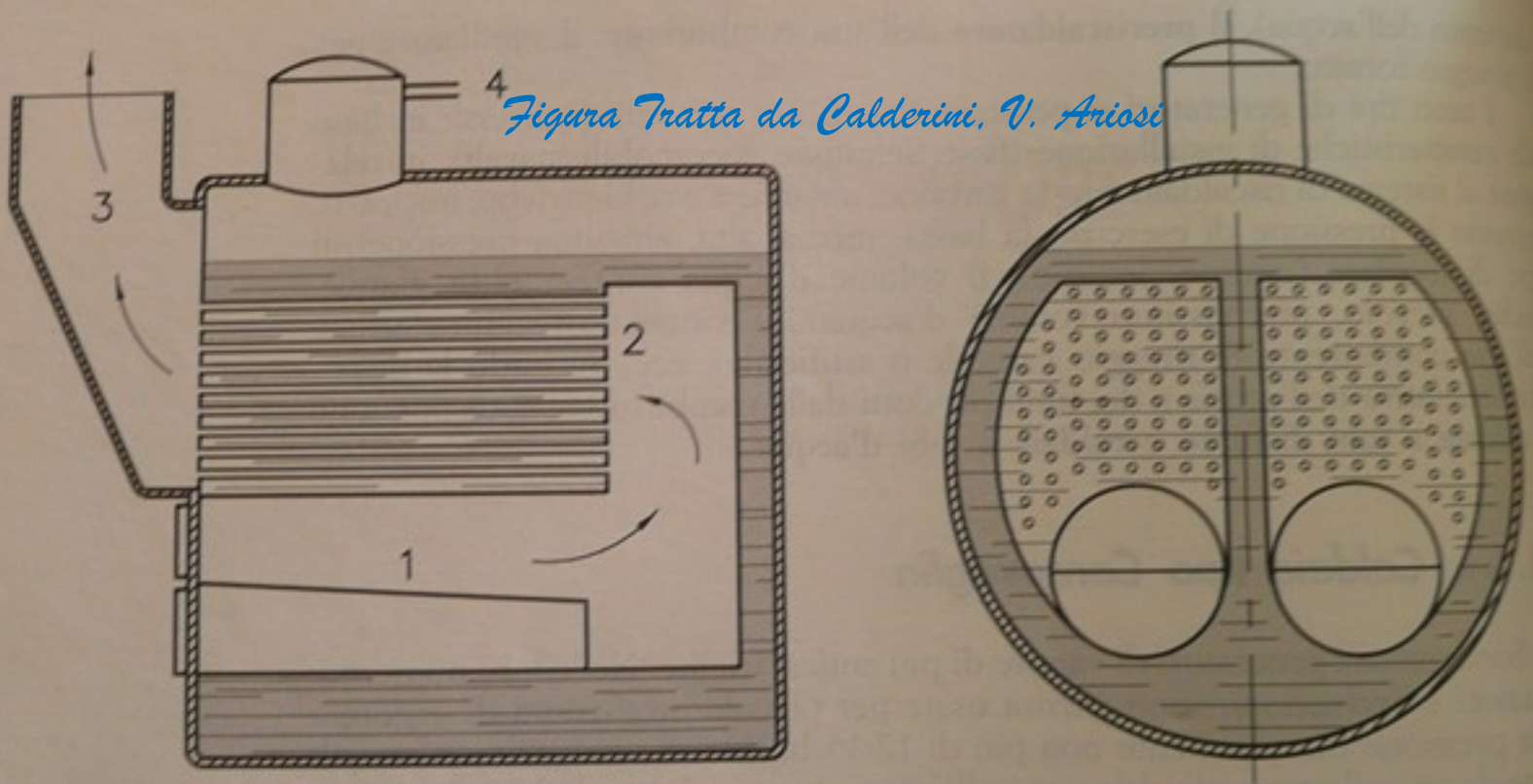


Figura Tratta da Calderini, V. Ariosi

Fig. 18.2 Schema di una caldaia a tubi di fumo: 1) Griglia; 2) Fascio tubiero; 3) Scarico fumi; 4) Prelievo vapore.

Le caldaie a tubi d'acqua sono quelle più usate attualmente.

Hanno buoni rendimenti, vapore saturo (15~25 bar) e surriscaldato (15~25 bar) e temperature di surriscaldamento molto elevate.

Figura Tratta da Calderini,
V. Ariosi

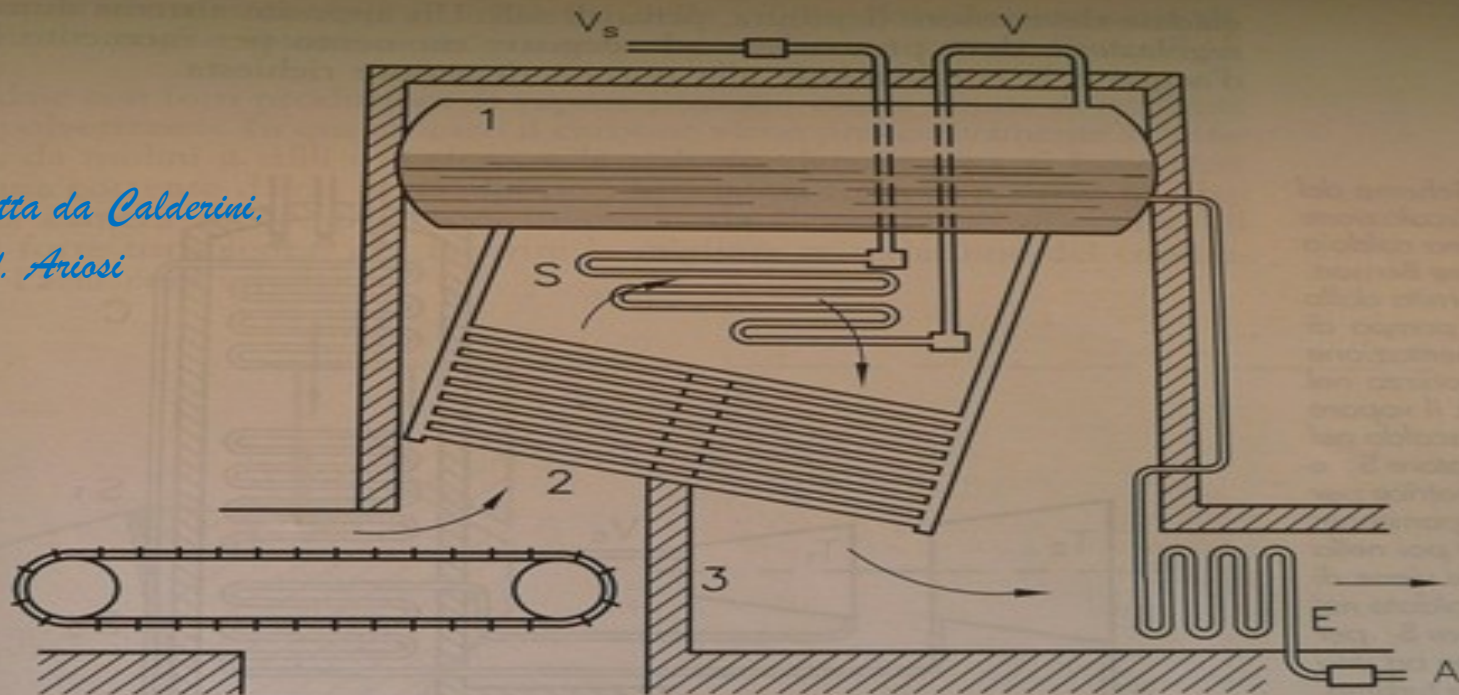


Fig. 18.3 Schema di una caldaia a tubi suborizzontali Babcock e Wilcox: 1) Collettore cilindrico; 2) Tubi d'acqua; 3) Muretto refrattario; 4) Camera di combustione; S) Surriscaldatore; E) Economizzatore; V) Vapore umido; Vs) Vapore surriscaldato; A) Acqua di alimentazione.

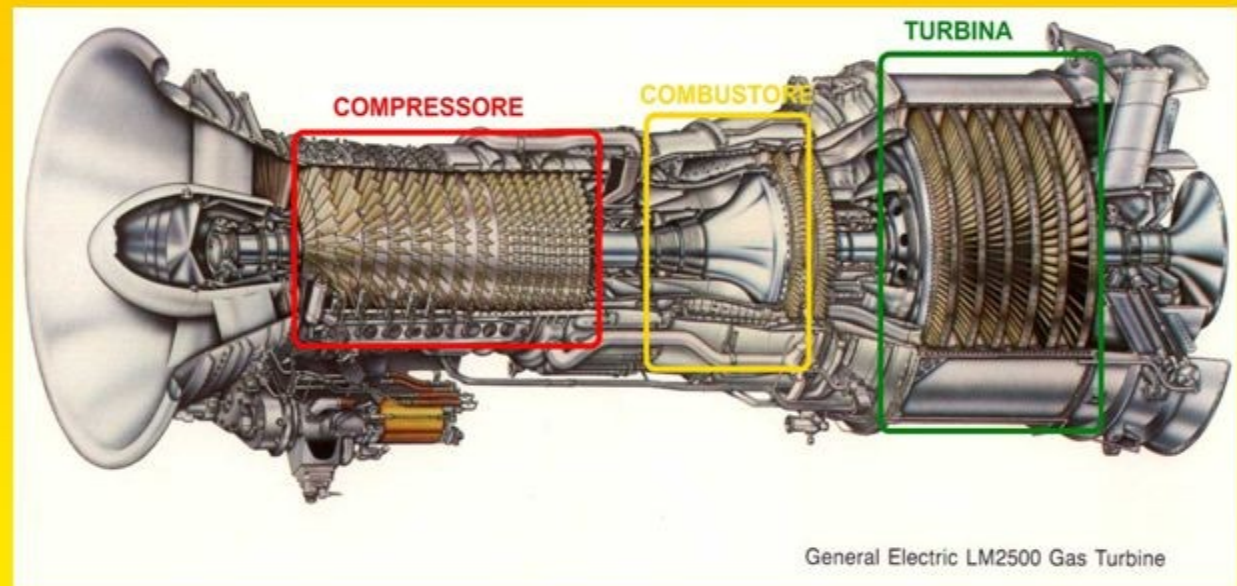
Percorso dei fumi: dalla camera di combustione i fumi caldi lambiscono prima il tratto anteriore dei tubi d'acqua, poi il tubo del surriscaldatore, il tratto posteriore dei tubi d'acqua e infine il tubo dell'economizzatore.

Percorso dell'acqua: spinta dalla pompa di alimentazione, l'acqua passa prima attraverso l'economizzatore, dove si riscalda, e arriva nel collettore; scende quindi dalla parte dell'estremità inferiore dei tubi e risale lungo questi, trasformandosi in vapore.

Percorso del vapore: all'uscita dei tubi, il vapore saturo sale nel collettore, attraversa la massa liquida e si raccoglie nella parte superiore; da qui passa nel tubo del surriscaldatore, dove si trasforma in vapore surriscaldato, e infine passa all'utilizzatore.

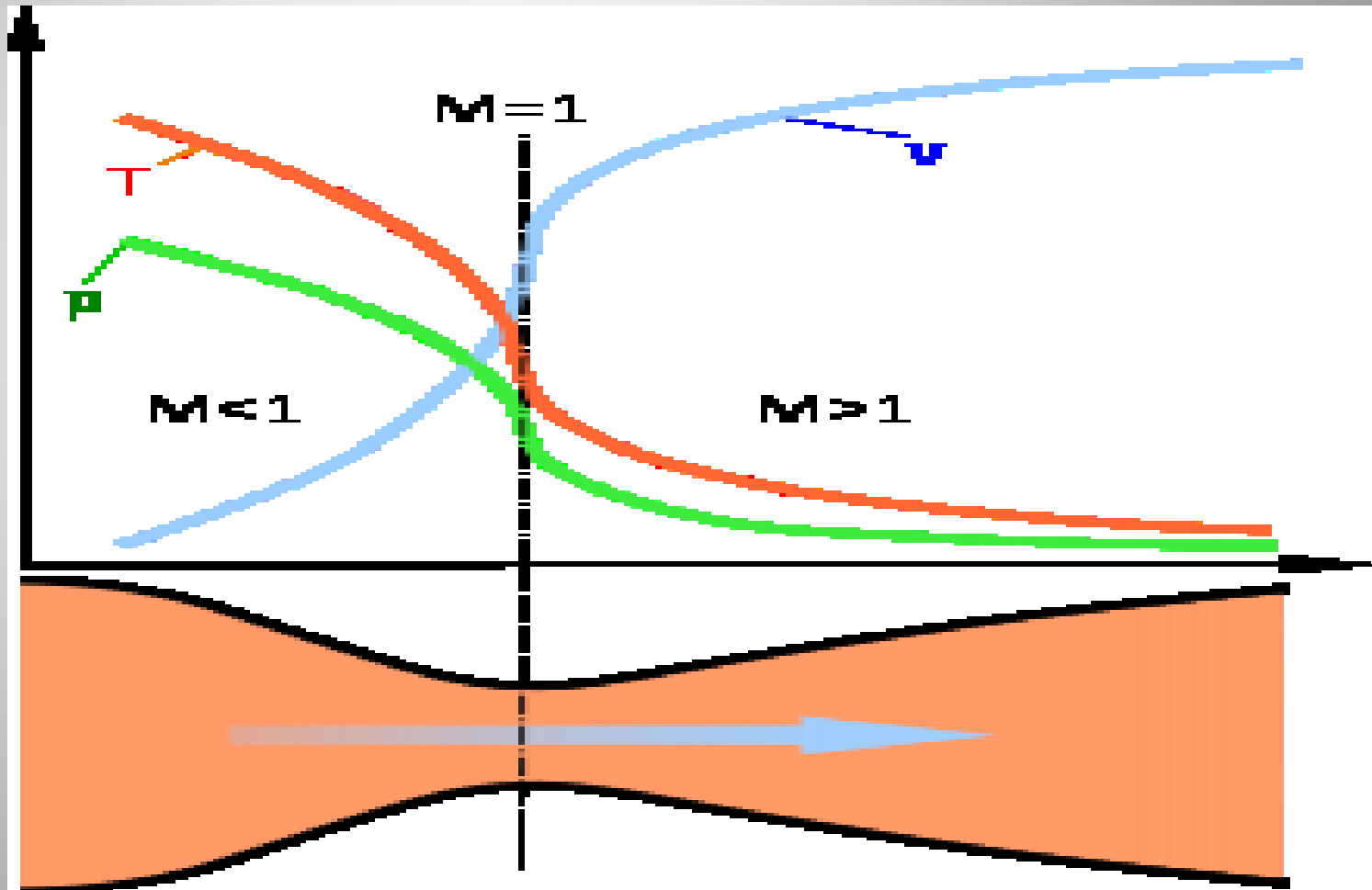
Turbina a vapore

È il componente di una centrale termoelettrica dove l'energia termodinamica del vapore viene convertita in lavoro meccanico. Il vapore, infatti, esercita un lavoro sulle pareti dei condotti, man mano che diminuisce la sua pressione, cioè man mano che si espande. Questo lavoro, mette in rotazione un albero motore collegato ad un generatore elettrico.



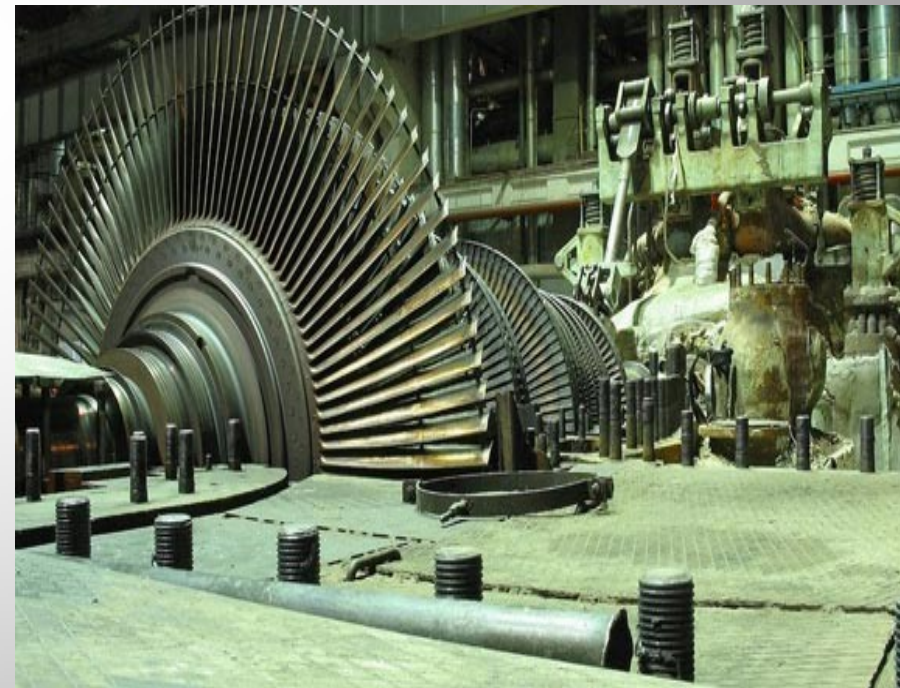
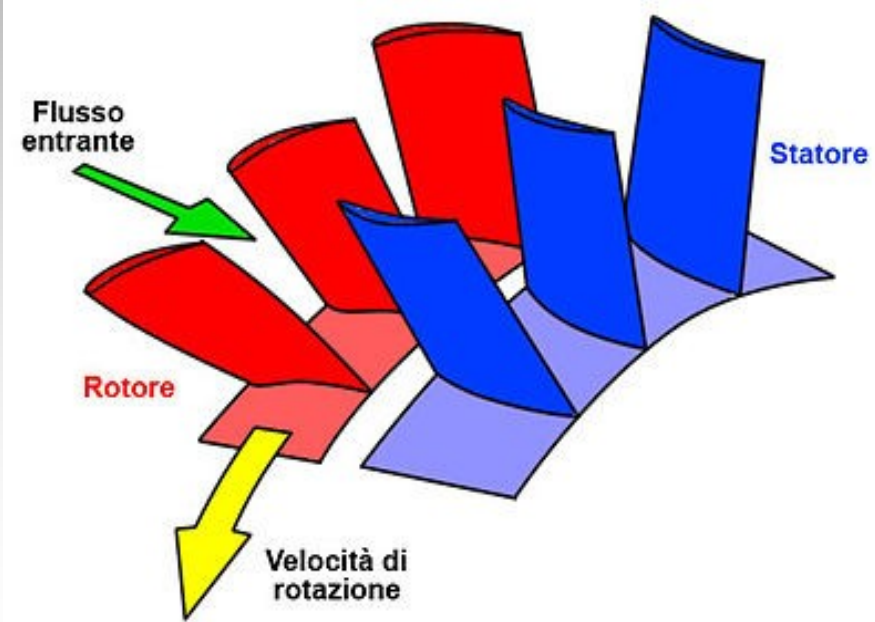
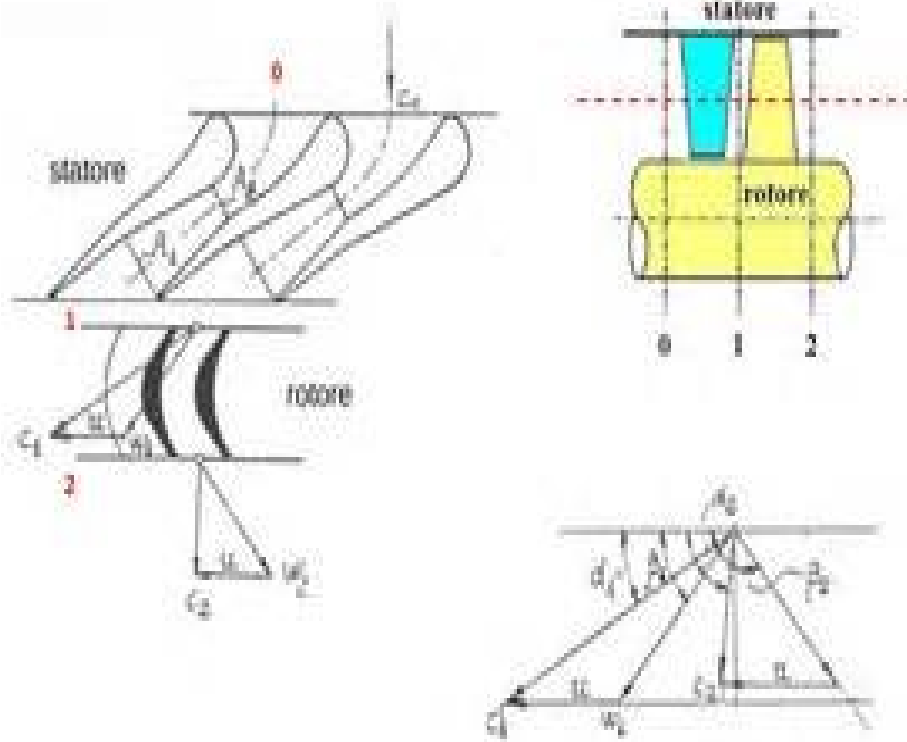
Tubo di De Laval,

*o ugello convergente/divergente,
è un ugello di scarico supersonico
a differenza del convergente che invece è subsonico.*



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/4c/Nozzle_de_Laval_diagram.svg/220px-Nozzle_de_Laval_diagram.svg.png

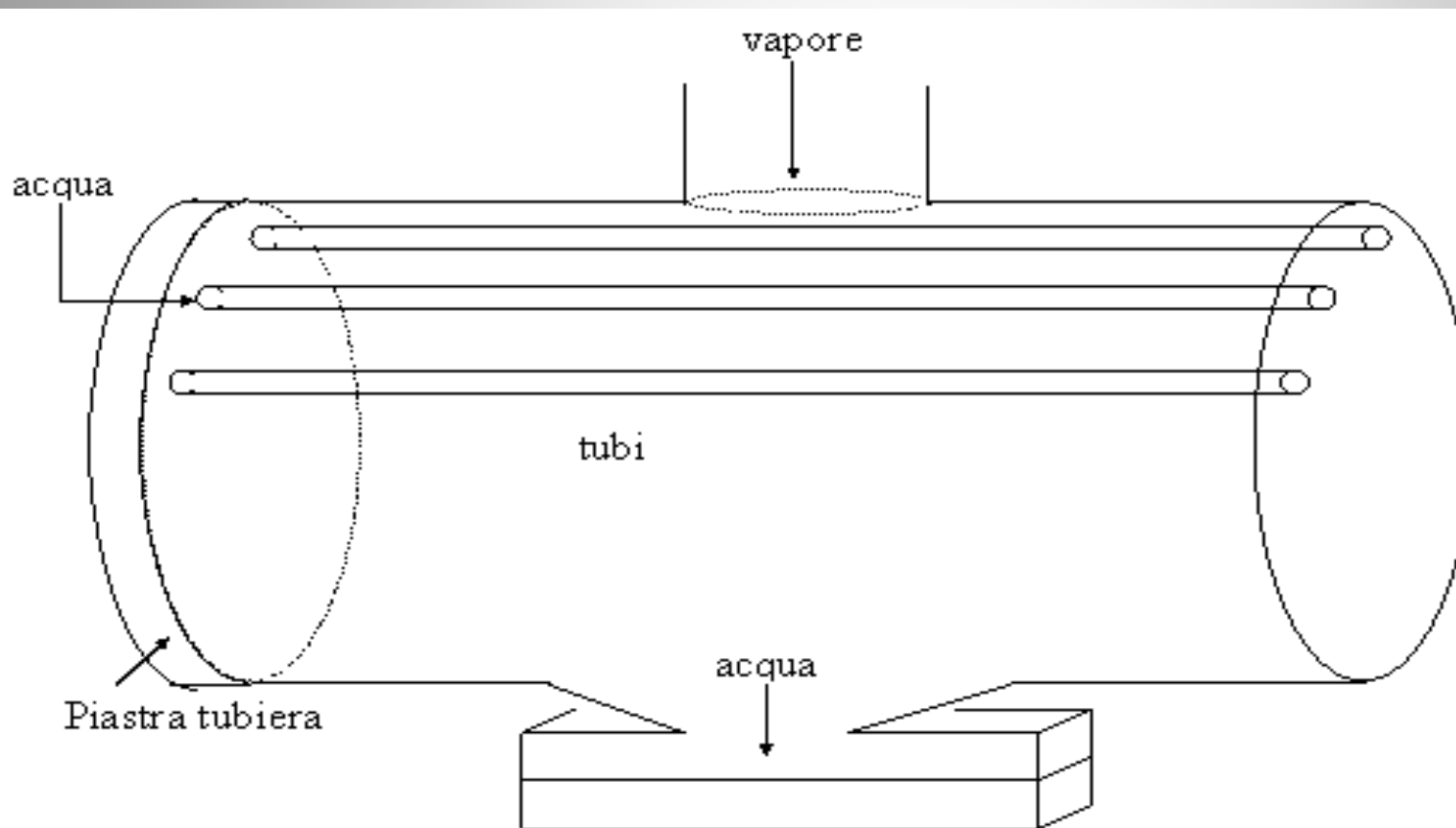
Triangoli delle velocità



<http://www.bing.com/images/search?q=turbine%20a%20vapore%3A%20Triangoli%20di%20velocit%C3%A0&q=n&form=QBIR&pq=turbine%20a%20vapore%3A%20triangoli%20di%20velocit%C3%A0&sc=0-20&sp=-1&sk=>

1 Condensatori

Trasformano il vapore in acqua, il vapore entra dalla bocca superiore attraversa il fascio tubiero e cede calore all'acqua di raffreddamento che circola all'interno dei tubi per condensarsi in basso con una forte riduzione di volume, poi l'acqua è rinviata con le pompe in caldaia.



<http://www.bing.com/images/search?q=condensatori+acqua+disegni&view=detailv2&id=DC8BD79BD3D3A5CDA0429C1D978108802176F58F&selectedIndex=0&ccid=YpOdOKg%2f&simid=608014456058744345&thid=OIP.M62939d38a83fa43ae19bdf711158bc4ao0&ajaxhist=0>

Le Pompe

Schema di Centrale Termica

Per le Pompe e le Turbine si rimanda agli argomenti specifici trattati nel Corso Triennale di Meccanica Macchine e Energia.

Le esercitazioni in classe con applicazioni pratiche annesse saranno da supporto per chiarimenti e approfondimenti.

