

Macchine termiche e cicli termodinamici

Una *macchina termica* trasforma *ciclicamente* calore in lavoro (*macchina motrice*) oppure calore in lavoro (*macchina frigorifera o frigorifera*).

È importante notare che la sequenza di trasformazioni termodinamiche deve essere ciclica, ossia la sequenza dei valori delle coordinate termodinamiche deve ripetersi. Non c'è un concetto di periodicità temporale: nulla si dice sulla velocità di trasformazione, anzi perlopiù si ipotizza che siano infinitamente lente (quasistatiche) o proprio reversibili. Un ciclo termodinamico in una macchina reale è sempre un'approssimazione di quello ideale.

Poiché in un ciclo si torna all'inizio abbiamo: $0 = \Delta U = Q - L$

$$\text{Rendimento (ciclo motore): } \eta = \frac{L}{Q_{assorbito}}$$

Esistono cicli termodinamici sia per sistemi chiusi che per sistemi aperti.

Tipicamente le macchine alternative (a pistoni) realizzano cicli per sistemi chiusi, le macchine rotative realizzano cicli per sistemi aperti.

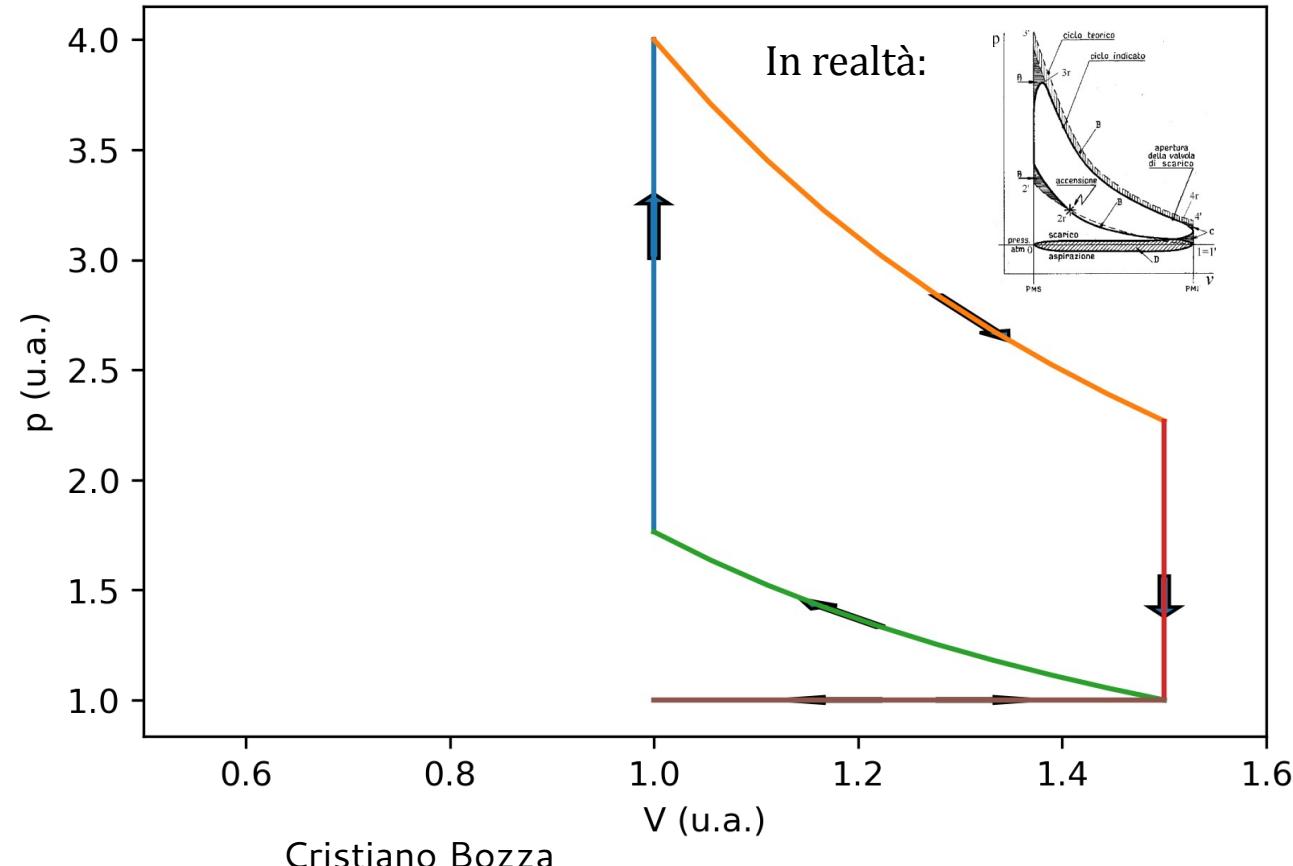
Macchine termiche e cicli termodinamici

Ciclo Otto (Beau de Rochas)

È il ciclo ideale dei motori a benzina.

compressione adiabatica
accensione-combustione isocora
espansione adiabatica
scarico isocoro
sostituzione miscela

Osservazione generale:
i cicli motori “girano” in senso orario, i cicli frigoriferi in senso antiorario



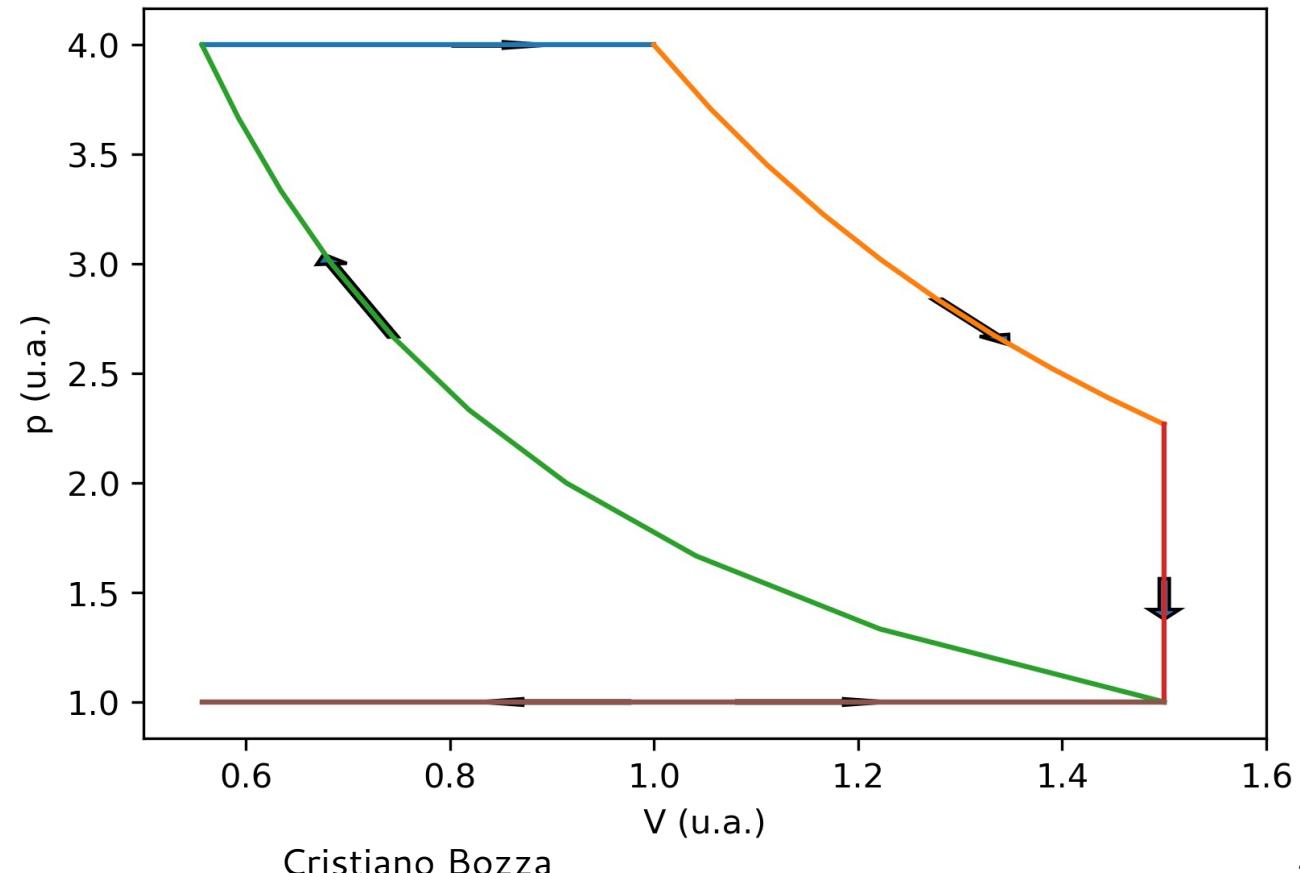
Macchine termiche e cicli termodinamici

Ciclo Diesel

È il ciclo ideale dei motori a gasolio.

compressione adiabatica
combustione isobara
espansione adiabatica
scarico isocoro
sostituzione miscela

Il rendimento del ciclo Diesel è più alto di quello del ciclo Otto a parità di temperature estreme perché la combustione avviene su un'isobara



Macchine termiche e cicli termodinamici

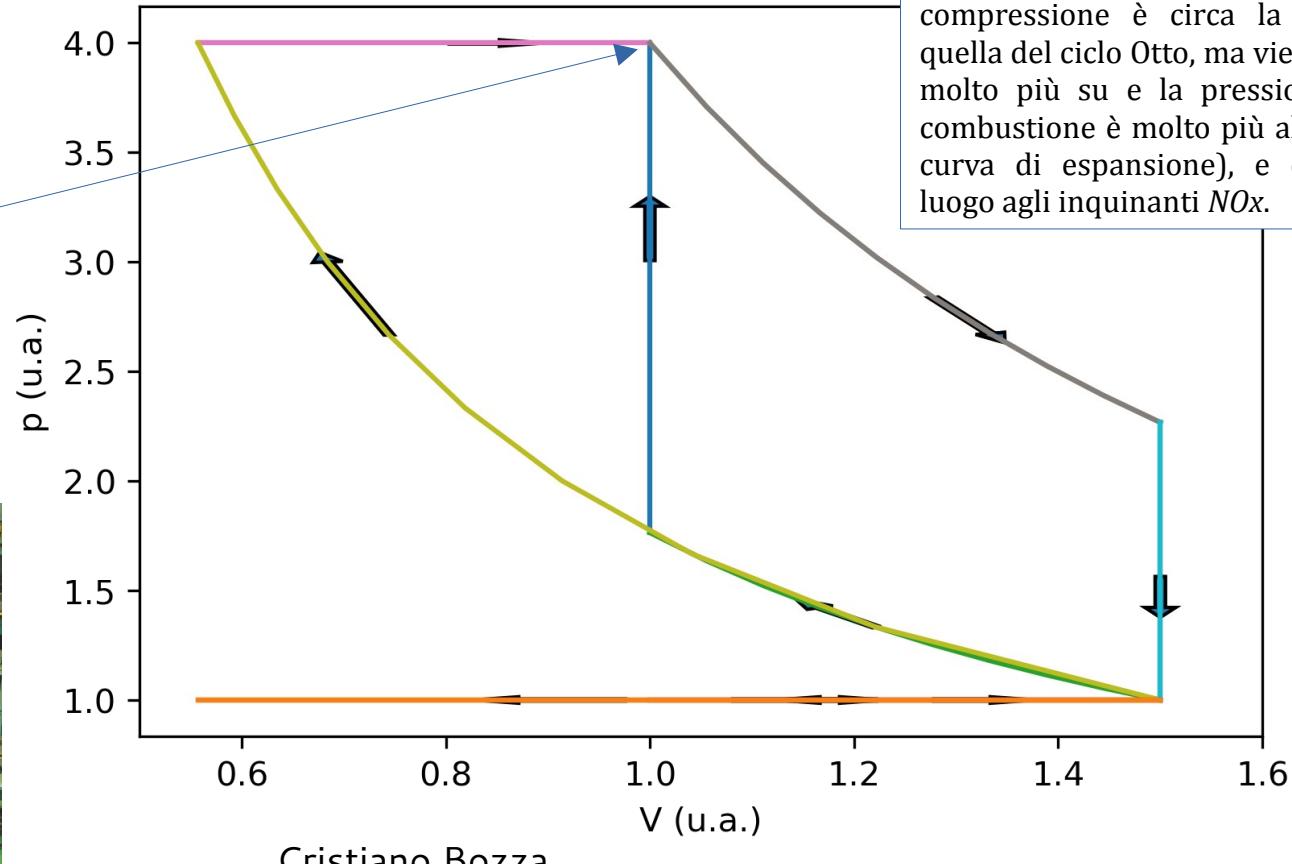
Confronto Otto-Diesel

Questo confronto non è l'unico possibile
(qui scegliamo la stessa temperatura massima)

Tuttavia si capisce perché in generale i motori Diesel abbiano rendimenti migliori



Un Diesel navale

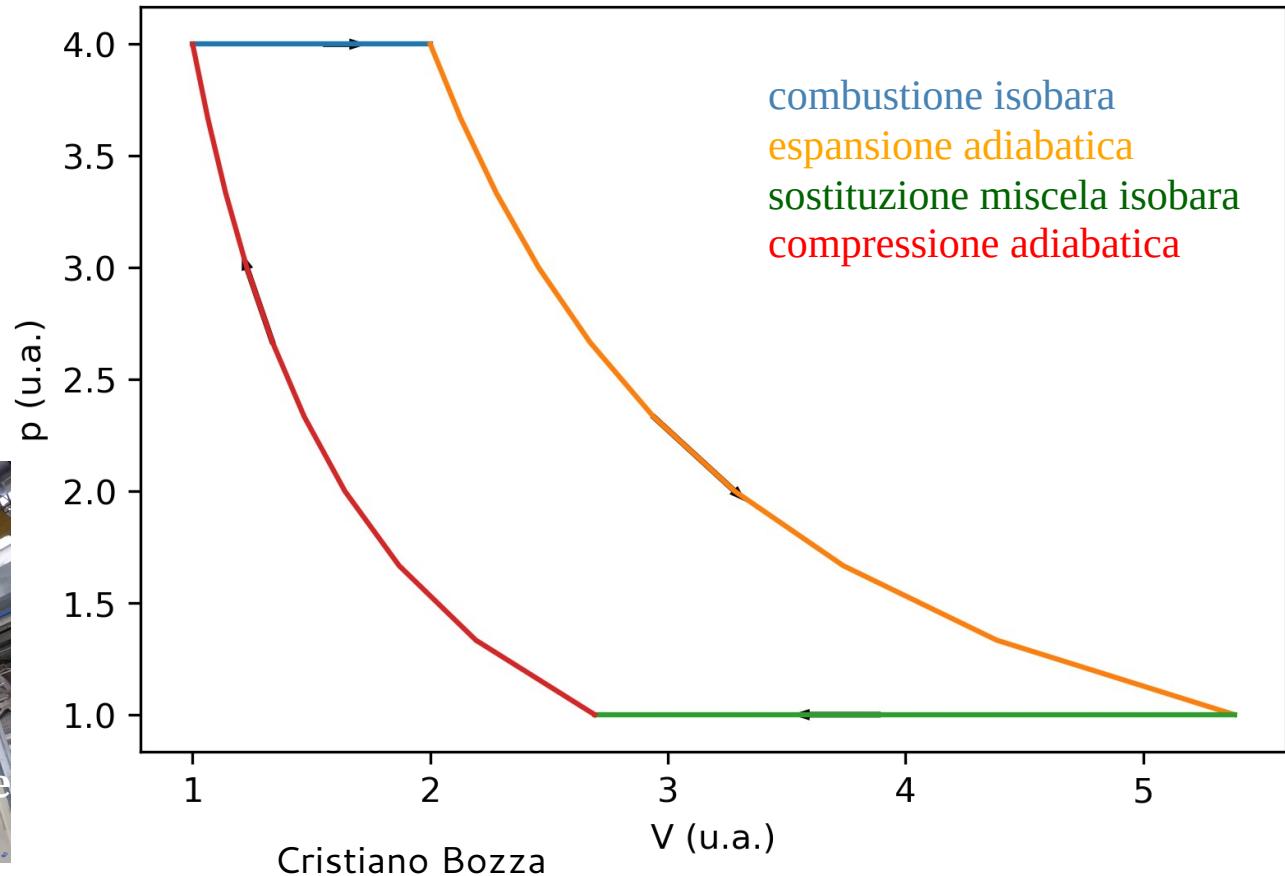


Nei Diesel reali la curva di compressione è circa la stessa di quella del ciclo Otto, ma viene portata molto più su e la pressione a fine combustione è molto più alta (sale la curva di espansione), e questo dà luogo agli inquinanti NO_x .

Macchine termiche e cicli termodinamici

Ciclo Brayton-Joule

È il prototipo dei cicli delle turbine a gas sia per applicazioni aeronautiche che per generazione di potenza elettrica



Il ciclo Rankine-Hirn

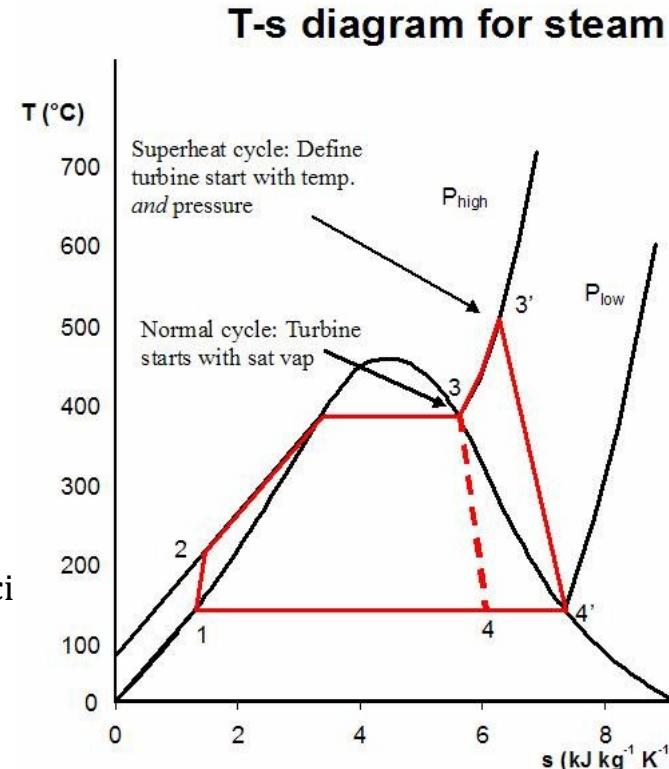
Il ciclo Rankine-Hirn

Il ciclo Rankine-Hirn è alla base di tutti gli impianti a vapore.

È anche detto *ciclo a vapore surriscaldato*.

Ci sono due ottimi motivi per usare il vapore:

- durante il passaggio di stato, le isobare sono isoterme; quindi si può scambiare calore con salto termico fisso, approssimando un ciclo di Carnot
- il calore latente nel passaggio di stato è così elevato, che se si volesse usare il fluido solo in fase gassosa si dovrebbero realizzare salti termici di diverse centinaia di gradi (e conseguentemente anche sbalzi di pressione enormi) per elaborare con il fluido in fase gassosa la stessa quantità di energia.

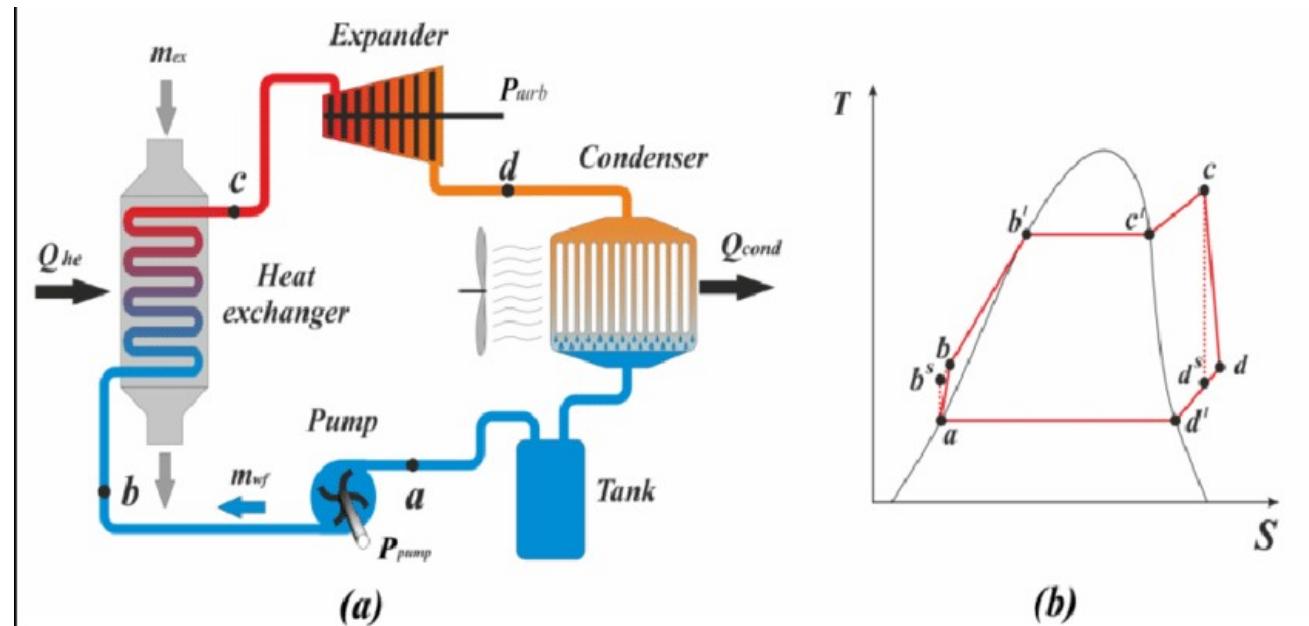


C'è invece un problema nell'uso del vapore: pompe/compressori e turbine funzionano male con tasi miste e inoltre rischiano seri danni (una gocciolina di liquido contro una paletta è praticamente un proiettile).

Per questo motivo il vapore viene surriscaldato, in modo che in uscita dalla turbina il fluido sia ancora gassoso.

Il ciclo Rankine-Hirn

Schema d'impianto per un ciclo Rankine-Hirn



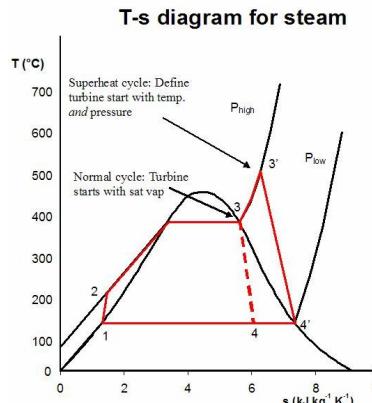
Fisica 1 – Scienze Ambientali

Il ciclo Rankine-Hirn

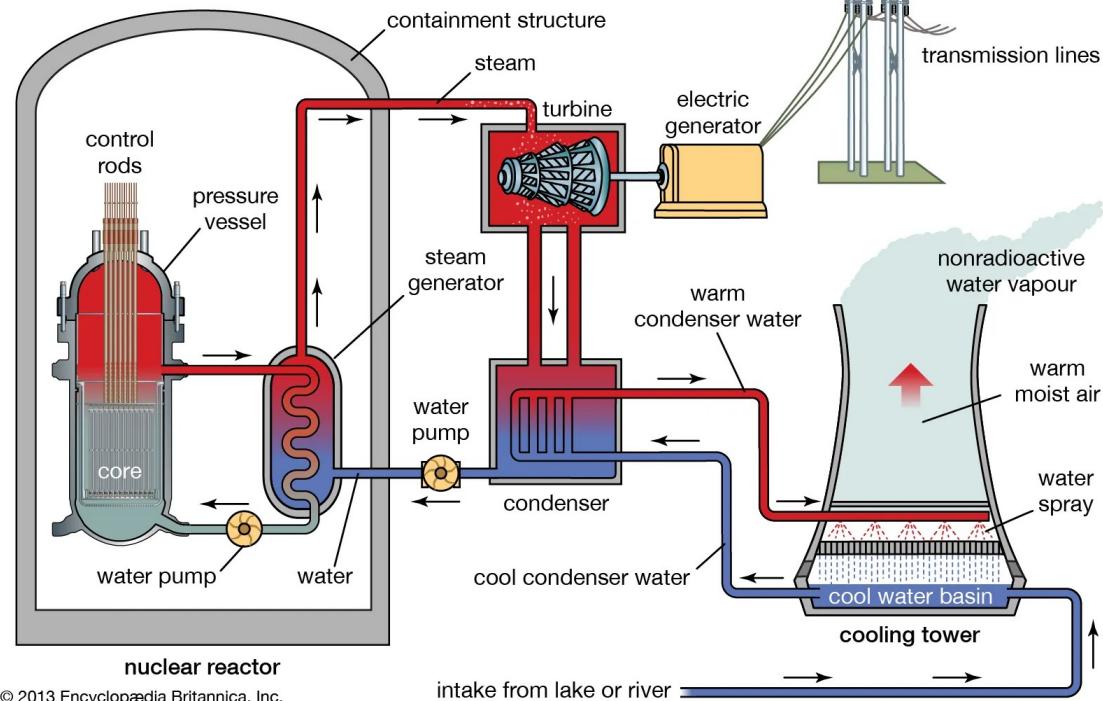


Questo schema non è richiesto all'esame orale, ha valore informativo qui.

Schema di una centrale nucleare per un ciclo Rankine-Hirn



Nuclear power plant



© 2013 Encyclopædia Britannica, Inc.

Richiami ed argomenti correlati

Macchine termiche e cicli termodinamici

Il ciclo di Carnot

È il ciclo con il massimo rendimento possibile operante tra due temperature estreme T_A e T_B .

$$1: Q_1 = Q_A; L = L_1$$

$$2: Q_2 = 0; L = L_2$$

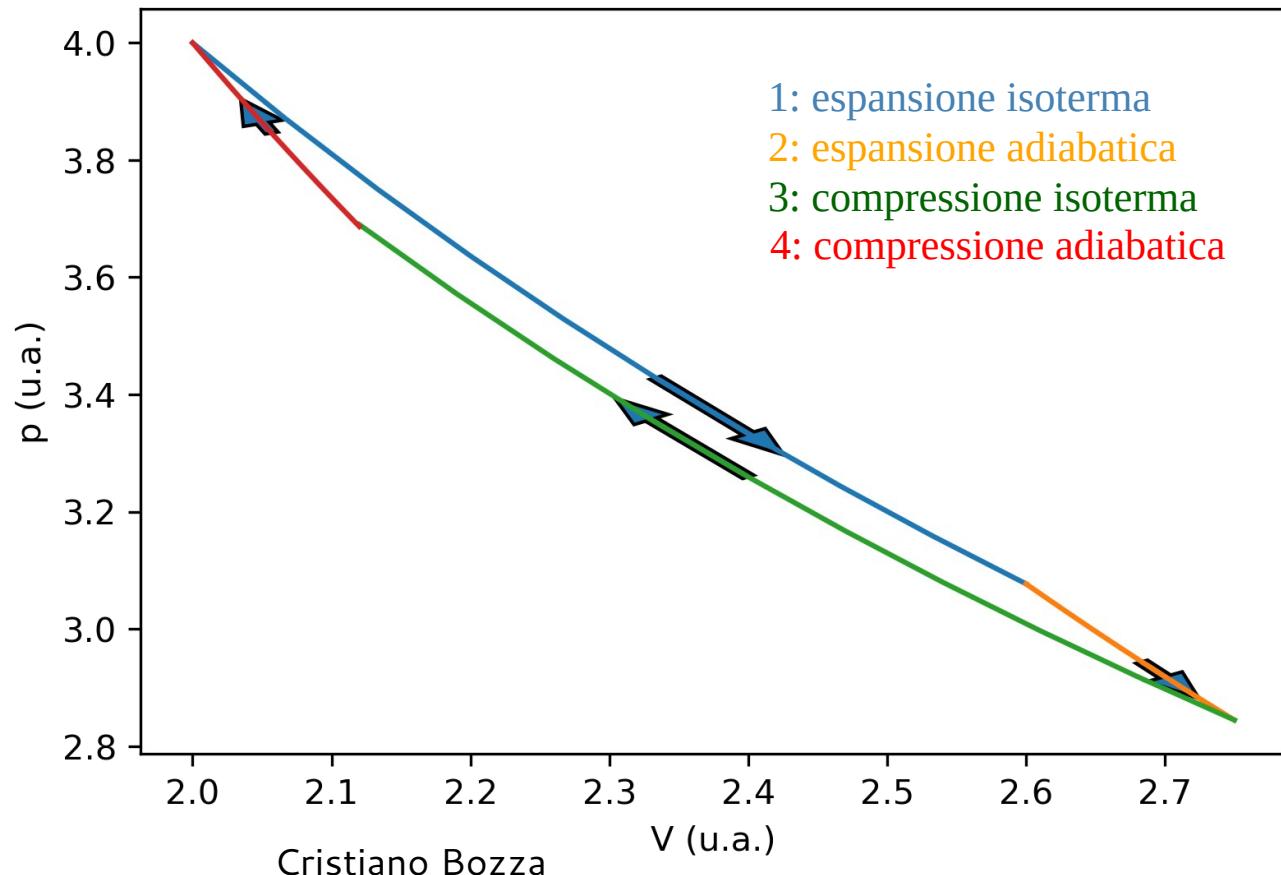
$$3: Q_3 = -Q_B; L = L_3$$

$$4: Q_4 = 0; L = L_4$$

$$Q = Q_A - Q_B$$

$$0 = \Delta U = Q - L \Rightarrow L = Q$$

$$\eta = \frac{L}{Q_A} = \frac{Q_A - Q_B}{Q_A} = 1 - \frac{Q_B}{Q_A}$$



Macchine termiche e cicli termodinamici

Calcoliamo il rendimento con un ciclo di Carnot a gas

$$1: Q_1 = Q_A; L = L_1; dU = \delta Q - p dV \Rightarrow c_v dT = \delta Q - p dV = 0; \delta Q = p dV; Q_A = \int_{V_1}^{V_2} R T_A \frac{dV}{V} = R T_A \log \frac{V_2}{V_1}$$

$$2: T_A V_2^{\gamma-1} = T_B V_3^{\gamma-1}$$

$$3: Q_3 = -Q_B; L = L_3; dU = \delta Q - p dV \Rightarrow c_v dT = \delta Q - p dV = 0; \delta Q = p dV; Q_B = \int_{V_3}^{V_4} R T_B \frac{dV}{V} = R T_B \log \frac{V_4}{V_3}$$

$$4: T_A V_1^{\gamma-1} = T_B V_4^{\gamma-1}$$

$$Q_3 = R T_B \log \frac{(T_A/T_B)^{\frac{1}{\gamma-1}} V_1}{(T_A/T_B)^{\frac{1}{\gamma-1}} V_2} = R T_B \log \frac{V_1}{V_2} = Q_A \frac{T_B}{T_A}$$

$$L = Q = R T_A \log \frac{V_2}{V_1} \left(1 - \frac{T_B}{T_A} \right)$$

$$\eta = \left(1 - \frac{T_B}{T_A} \right) \quad \text{dipende solo dalle temperature estreme!}$$

L'entropia

Riscriviamo il Primo Principio per un sistema idrostatico, in una trasformazione reversibile

$$dU = \delta Q - \delta L = T dS - p dV$$
$$dS = \frac{1}{T} dU - \frac{p}{T} dV$$

Giungiamo alla definizione della **temperatura termodinamica assoluta**

$$\frac{1}{T} = \left(\frac{\partial S}{\partial U} \right)_V$$

Questa definizione è indipendente dalla scelta di un particolare proprietà termometrica, e vale per sistemi qualsiasi (naturalmente per quelli non idrostatici si lasceranno costanti le coordinate termodinamiche legate al lavoro).

Il piano TS

Gli scambi di calore in un ciclo si valutano molto convenientemente sul piano TS

$$\text{In una trasformazione reversibile } dS = \frac{\delta Q_{rev}}{T}$$

$$\delta Q_{rev} = T dS$$

Nei **cicli reversibili**, il calore scambiato (e quindi il lavoro) è l'area del ciclo nel piano TS

Il Ciclo di Carnot ha una rappresentazione particolarmente semplice nel piano TS:

le due isoterme sono segmenti orizzontali;

le due adiabatiche reversibili sono *isoentropiche* (segmenti verticali).

