

Formulario Fisica Tecnica - Giulio De Pasquale

30 giugno 2015

1 Termodinamica

1.1 Unità di Misura

Energia Interna $U = [J]$, $\bar{u} = [\frac{J}{Kg}]$;

Calore $Q = [J]$, $\bar{q} = [\frac{J}{Kg}]$;

Potenza Termica $\dot{Q} = [\frac{J}{s}] = [W]$;

Lavoro $L = [J]$, $\bar{l} = [\frac{J}{Kg}]$;

Potenza Meccanica $\dot{L} = [\frac{J}{s}] = [W]$;

Entalpia $H = [J]$, $\bar{h} = [\frac{J}{Kg}]$;

Entropia $S = [\frac{J}{K}]$, $\bar{s} = [\frac{J}{Kg \cdot ^\circ K}]$;

Temperatura $T = [^\circ K]$;

Pressione $P = [Pa]$;

Volume $V = [m^3]$, $\bar{v} = [\frac{m^3}{Kg}]$;

Massa $m = [Kg]$;

Densità $\rho = [\frac{Kg}{m^3}]$;

Velocità $w = [\frac{m}{s}]$;

Costante Universale dei Gas $R = [\frac{J}{^\circ K \cdot kmol}]$, $R^* = \frac{R}{M} = [\frac{J}{Kg \cdot ^\circ K}]$;

Calore Specifico $c = [\frac{J}{Kg \cdot ^\circ K}]$;

Massa Molare $M = [\frac{Kg}{kmol}]$;

Portata Massica $\dot{m} = [\frac{Kg}{s}]$;

Portata Volumetrica $\dot{V} = \dot{m}\bar{v} = [\frac{m^3}{s}]$;

1.2 Conversioni

1.2.1 Pressione

- $1 \text{ ata} = 98066,5 \text{ Pa}$;
- $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$;
- $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$;

1.2.2 Calore

- $1 \text{ cal} = 4,184 \text{ J}$;

1.3 Masse Molari

- $H = 1$;
- $He = 4$;
- $C = 12$;
- $N = 14$, $N_2 = 28$;
- $O = 16$, $O_2 = 32$;

1.4 Generale e Proprietà Gas

Da tenere sempre presente che

$$P\bar{v} = R^*T$$

riscrivibile come

$$PV = nRT$$

Inoltre, il I principio della termodinamica impone che

$$\Delta U = \overleftarrow{Q} - \overrightarrow{L}$$

Tipologia Gas	c_v	c_p
Monoatomico	$\frac{3}{2}R^*$	$\frac{5}{2}R^*$
Biatomico / Politatomico Lineare	$\frac{5}{2}R^*$	$\frac{7}{2}R^*$
Poliatomico Non Lineare	$\frac{6}{2}R^*$	$\frac{8}{2}R^*$

- $R = 8314,4 \frac{J}{K \cdot kmol}$;
- $n = \frac{m}{M}$ dove n = numero di moli;
- $c_p - c_v = R^*$, la relazione di Mayer;
- $\dot{V} = \dot{m}\bar{v}$ con \dot{V} = portata volumetrica;

1.5 Calore, Energia Interna, Entalpia ed Entropia

1.5.1 Calore

- $Q = mc_x \Delta T$ con $c_x = cost$;
- $Q = mc_v \Delta T$ con $V = cost$;
- $Q = mc_p \Delta T$ con $P = cost$;
- $Q = T \Delta S$ con $T = cost$;
- $\dot{Q} = \dot{m}c_{materiale} \Delta T$;

1.5.2 Energia Interna

- $d\bar{u} = c_v dT$, se gas perfetto;
- $d\bar{u} = Tds - Pd\bar{v}$;

1.5.3 Entalpia

- $H = U + PV$;
- $d\bar{h} = c_p dT$, se gas perfetto;
- $d\bar{h} = Tds + \bar{v}dP$;
- $d\bar{h} = \delta q + \bar{v}dP$;

1.5.4 Entropia

- $ds = \frac{\delta q}{T}$, nel caso di un processo reversibile;
- $\Delta S = \Delta S_{\bar{Q}} + \Delta S_{irr}$;
- $ds = c_v \frac{dT}{T} + R^* \frac{d\bar{v}}{\bar{v}} \Rightarrow \Delta S = c_v \ln(\frac{T_2}{T_1}) + R^* \ln(\frac{V_2}{V_1})$;
- $ds = c_p \frac{dT}{T} - R^* \frac{dP}{P} \Rightarrow \Delta S = c_p \ln(\frac{T_2}{T_1}) - R^* \ln(\frac{P_2}{P_1})$;
- $ds = c_p \frac{d\bar{v}}{\bar{v}} + c_v \frac{dP}{P} \Rightarrow \Delta S = c_p \ln(\frac{V_2}{V_1}) + c_v \ln(\frac{P_2}{P_1})$;
- $\Delta S \geq 0$ se il sistema è isolato;

1.5.5 Liquidi

- $c_{H_2O} = 4186 \frac{J}{kg \cdot ^\circ K}$;
- $c = c_v = c_p$;
- $du = \delta q = cdT$;
- $ds = c \frac{dT}{T}$;
- $v = cost$;
- $\Delta h = c\Delta T + v\Delta P$;

1.6 Trasformazioni Politropiche

Trasformazione	$n = \frac{c_x - c_p}{c_x - c_v}$	l	
Isocora ($V = cost$)	$n \pm \infty$	0	
Isoterma ($T = cost$)	$n = 1$	$\begin{cases} R^* T \ln(\frac{V_2}{V_1}) \\ -R^* T \ln(\frac{P_2}{P_1}) \end{cases}$	$\begin{cases} R \\ - \end{cases}$
Isobara ($P = cost$)	$n = 0$	$P\Delta V$	
Isoentropica / Adiabatica ($ds = 0$) oppure ($\dot{Q} = 0$)	$n = \frac{c_p}{c_v}$	$-c_v \Delta T$	
Politropica generica	$\frac{c_x - c_p}{c_x - c_v}$	$(c_x - c_p)\Delta T$	

- $P\bar{v}^n = cost$;
- $T\bar{v}^{n-1} = cost$;
- $PT^{\frac{n}{1-n}} = cost$;

1.7 Rendimenti

- $\eta_{confronto} = \frac{\eta_{serb-reale}}{\eta_{serb-ideale}};$
- $\eta_{IIP} = \frac{\eta_{reale}}{\eta_{ideale}} = \frac{L_{reale}}{L_{ideale}};$

1.8 Sistemi Bifase

1.8.1 Generale

- Le transizioni di fase avvengono con $P = costante$ e $T = costante$;

$$\bullet \begin{cases} \left\{ \begin{array}{l} x = \frac{v-v_l}{v_v-v_l}; \quad \text{con } x = \text{titolo, } v = \text{proprietà estensiva} \\ v_{lv} = v_v - v_l \\ v = v_l + xv_{lv}; \\ h = h_l + xh_{lv}; \\ s = s_l + xs_{lv}; \\ u = u_l + xu_{lv}; \end{array} \right. \end{cases}$$

- $dh = d\overleftarrow{q};$

1.8.2 Liquidi sottoraffreddati

- $h \cong h_{l@T};$
- $s \cong s_{l@T};$

1.9 Sistemi Aperti

1.9.1 Generale

- $\dot{m} = \rho w \Omega$ con $\Omega = \text{sezione};$
- $\frac{dE}{dt} = \overleftarrow{m}[(\overleftarrow{h} - \overrightarrow{h}) + g(\overleftarrow{z} - \overrightarrow{z}) + \frac{\overleftarrow{w}^2 - \overrightarrow{w}^2}{2}] + \overleftarrow{\dot{Q}} - \overrightarrow{\dot{L}}$ con $z = \text{altezza}$ e $g = \text{accelerazione gravitazionale};$
- $\frac{dS}{dt} = \overleftarrow{m}(\overleftarrow{s} - \overrightarrow{s}) + \dot{S}_{\overleftarrow{Q}} + \overrightarrow{\dot{S}_{irr}};$
- $\frac{dm}{dt} = \overleftarrow{m} - \overrightarrow{m};$

1.9.2 Macchina Aperta

Dispositivo adiabatico atto a scambiare lavoro per il quale si ipotizzano trascurabili le variazioni di energia potenziale e cinetica tra le sezioni di ingresso e di uscita.

- $\overleftarrow{m}(\overleftarrow{h} - \overrightarrow{h}) - \overrightarrow{\dot{L}} = 0;$
- $\overleftarrow{m}(\overleftarrow{s} - \overrightarrow{s}) + \dot{S}_{irr} = 0;$

1.9.3 Turbina

$$- \eta_{isT} = \frac{\overrightarrow{\dot{L}_{reale}}}{\overrightarrow{\dot{L}_{ideale}}} = \frac{(h_1 - h_{2'})}{(h_1 - h_2)} \text{ con } \eta_{is} = \text{rendimento isoentropico};$$

1.9.4 Compressore / Pompa di Calore

$$- \eta_{isC} = \frac{\overrightarrow{\dot{L}_{ideale}}}{\overrightarrow{\dot{L}_{reale}}} = \frac{(h_1 - h_2)}{(h_1 - h_{2'})};$$

1.9.5 Scambiatore di Calore

Gli scambiatori sono sistemi aperti stazionari che operano senza scambio di lavoro per i quali si ipotizzano trascurabili le variazioni di energia potenziale e cinetica tra le sezioni di ingresso e di uscita.

- $\overleftarrow{m}(\overleftarrow{h} - \overrightarrow{h}) + \overleftarrow{\dot{Q}} = 0;$
- $\overleftarrow{m}(\overleftarrow{s} - \overrightarrow{s}) + \dot{S}_{\overleftarrow{Q}} + \dot{S}_{irr} = 0;$
- $\overleftarrow{\dot{Q}} = \overrightarrow{\dot{Q}}$

1.9.6 Diffusore ($w \downarrow$) e Ugello ($w \uparrow$)

I diffusori e gli ugelli sono sistemi aperti stazionari che operano senza scambio di lavoro né calore per i quali si ipotizzano trascurabili le variazioni di energia potenziale tra le sezioni di ingresso e di uscita.

- $[(\overleftarrow{h} - \overrightarrow{h}) + \frac{\overleftarrow{w}^2 - \overrightarrow{w}^2}{2}] = 0;$
- $\overleftarrow{m}(\overleftarrow{s} - \overrightarrow{s}) + \dot{S}_{irr} = 0;$

1.9.7 Valvola di Laminazione

Le valvole di laminazione sono sistemi aperti stazionari che operano senza scambio di lavoro né calore per i quali si ipotizzano trascurabili le variazioni di energia potenziale e cinetica tra le sezioni di ingresso e di uscita.

- $(\overleftarrow{h} - \overrightarrow{h}) = 0;$
- $\overleftarrow{m}(\overleftarrow{s} - \overrightarrow{s}) + \dot{S}_{irr} = 0;$

1.10 Macchine Motrici a gas (\overrightarrow{L})

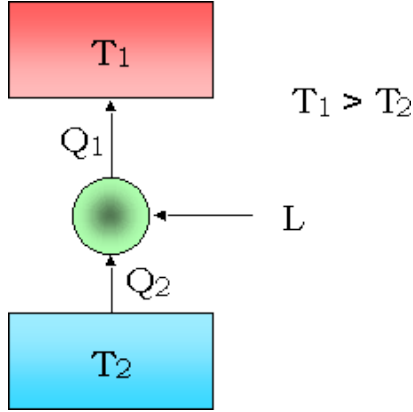
Converte energia termica in lavoro.

1.10.1 Generale

- $\eta_{reale} = 1 - \frac{T_F}{T_C} - \frac{T_F \cdot S_{irr}}{Q_C}$
- $\eta_{rev} = 1 - \frac{T_F}{T_C}$;
- $\Delta S_{irr} = -\frac{\bar{Q}}{T_{C/F}} + \frac{\vec{Q}}{T_{C/F}}$ dove Q è riferito alla macchina e $T_{C/F}$ è la temperatura associata al Q corrispondente;

1.11 Macchine Operatrici a gas (\overleftarrow{L})

Trasferisce energia termica da uno o più serbatoi di calore a temperatura inferiore a uno o più serbatoi di calore a temperatura superiore.



- $\Delta S_{irr} = -\frac{\bar{Q}}{T_{C/F}} + \frac{\vec{Q}}{T_{C/F}}$ dove Q è riferito alla macchina e $T_{C/F}$ è la temperatura associata al Q corrispondente;

1.11.1 Macchine frigorifere

- $L_{rev} = Q_F(\frac{T_C}{T_F} - 1) = \frac{Q_F}{\varepsilon}$;
- $L_{reale} = L_{rev} + T_C S_{irr}$;
- $\varepsilon_f = \frac{Q_F}{L} = \frac{T_F}{T_C - T_F + \frac{T_F T_F S_{irr}}{\bar{Q}}}$;
- $\varepsilon_{f,rev} = \frac{T_F}{T_C - T_F}$;

1.11.2 Macchine calorifere (pompe di calore)

- $L_{rev} = Q_C(1 - \frac{T_F}{T_C}) = \frac{Q_C}{\varepsilon}$;
- $L_{reale} = L_{rev} + T_F S_{irr}$;
- $\varepsilon_{pdc} = \frac{Q_C}{L} = \frac{\vec{Q} + L}{L} = \varepsilon_f + 1 = \frac{T_C}{T_C - T_F + \frac{T_C T_F S_{irr}}{\bar{Q}}}$;

- $\varepsilon_{pdc,rev} = \frac{T_C}{T_C - T_F}$;

2 Cicli

L'indice n nei seguenti cicli è l'indice per una trasformazione isoentropica. Quindi $n = \frac{c_p}{c_v}$.

2.1 Cicli simmetrici

Per i cicli simmetrici valgono le seguenti proprietà:

$$\bar{v}_1 \bar{v}_3 = \bar{v}_2 \bar{v}_4$$

$$P_1 P_3 = P_2 P_4$$

$$T_1 T_3 = T_2 T_4$$

2.2 Carnot

2.2.1 Generale

- $\eta_{rev} = 1 - \frac{T_1}{T_3}$;

2.2.2 Carnot a Gas

Il ciclo di Carnot è costituito da due isoentropiche e due isoterme.

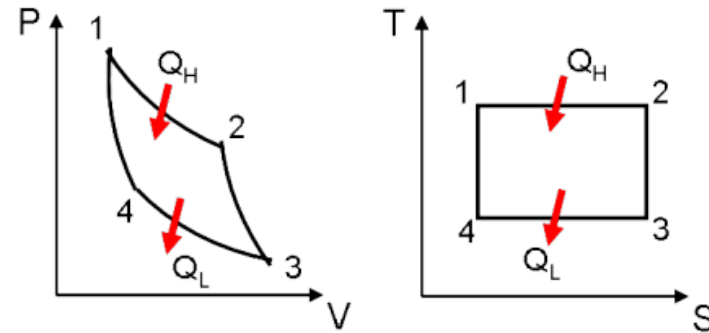
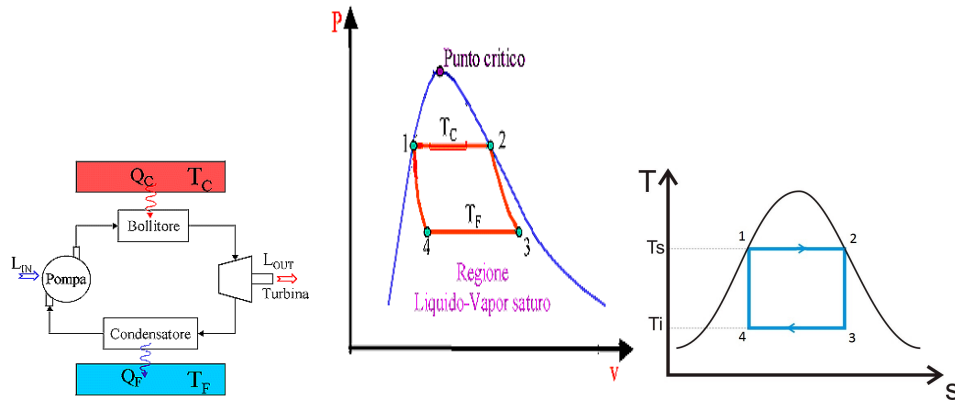


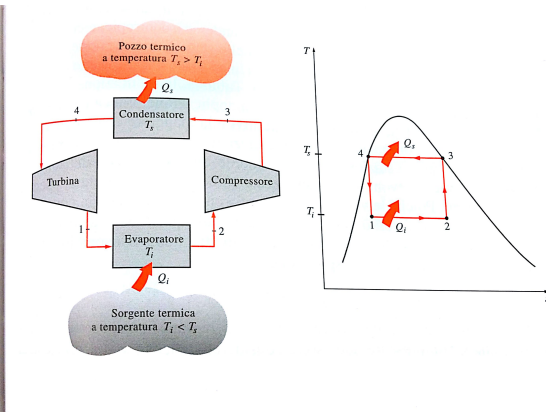
Fig.1. P-V and T-S diagrams of Carnot Cycle

- $S_{irr} = -\frac{\bar{Q}}{T_C} + \frac{\vec{Q}}{T_F}$;
- $\Delta S = \frac{\bar{Q}}{T_2} = \frac{\vec{Q}}{T_1}$;

2.2.3 Carnot a Vapore

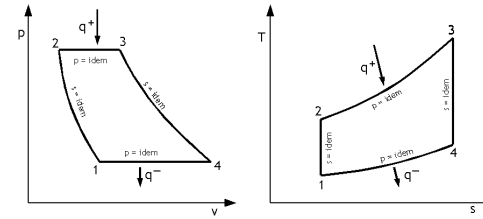


2.2.4 Carnot inverso a vapore



2.3 Joule-Brayton

Il ciclo Joule-Brayton è un ciclo simmetrico ed un sistema aperto costituito da due isoentropiche e due isobare.

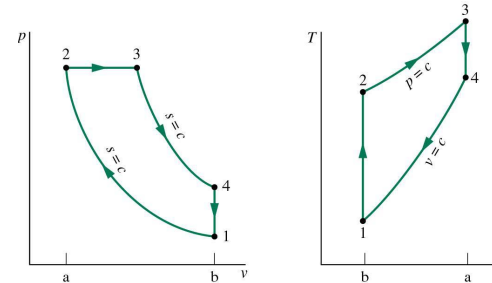


- $\dot{Q} = \dot{m}(h_3 - h_2) = \dot{m}c_p(T_3 - T_2);$
- $\dot{Q} = \dot{m}(h_4 - h_1) = \dot{m}c_p(T_4 - T_1);$
- $l = c_p(T_3 - T_4) - c_p(T_2 - T_1) = c_pT_3(1 - \frac{T_4}{T_3}) - c_pT_1(\frac{T_2}{T_1} - 1);$
- $\eta_{JB} = 1 - \frac{T_1}{T_2};$
- $r = \frac{P_2}{P_1}$ con r = rapporto di compressione;
- $r_{pmin} = 1;$
- $r_{pmax} = (\frac{T_3}{T_1})^{\frac{n}{n-1}};$

Affinché si possa operare una rigenerazione bisogna che la temperatura di fine espansione sia maggiore della temperatura di fine compressione.

2.4 Diesel

Il ciclo Diesel è costituito da due isoentropiche, una isocora ed una isobara.



- $\eta_D = 1 - \frac{c_v T_1 (\frac{T_4}{T_1} - 1)}{c_p T_2 (\frac{T_3}{T_2} - 1)};$
- $\eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{n(T_3 - T_2)};$

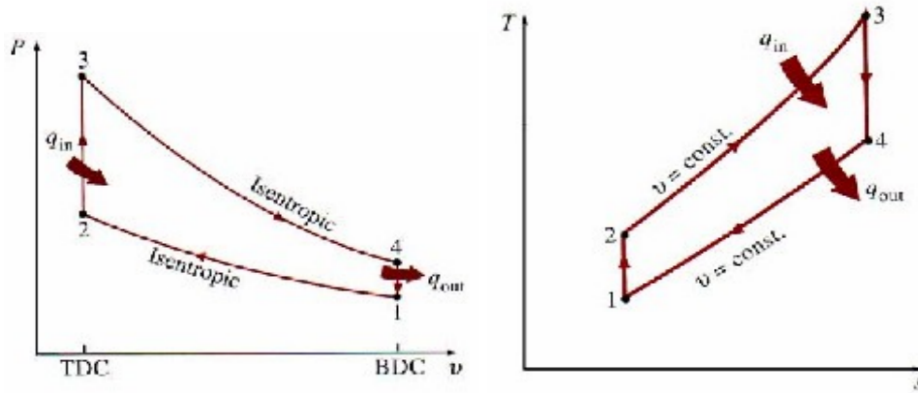
- $\eta = 1 - \frac{1}{r^{n-1}} \cdot \left[\frac{z^n - 1}{n(z-1)} \right];$

- $r = \frac{V_1}{V_2}$, rapporto di compressione volumetrico;

- $z = \frac{V_3}{V_2}$, rapporto di combustione;

2.5 Otto

Ciclo simmetrico costituito da due isoentropiche e due isocore.



- $\vec{Q} = u_3 - u_2 = c_v(T_3 - T_2);$

- $\vec{Q} = u_4 - u_1 = c_v(T_4 - T_1);$

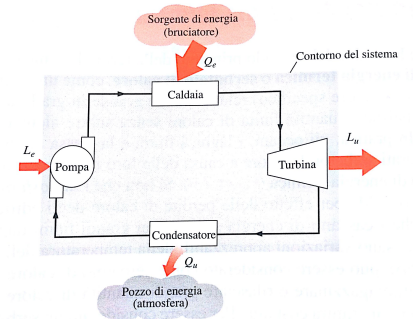
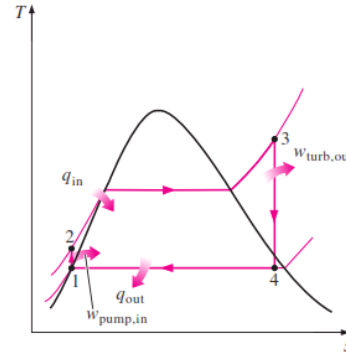
- $l = c_v(T_3 - T_4) - c_v(T_2 - T_1) = c_v T_3 \left(1 - \frac{1}{r^{n-1}}\right) - c_v T_1 (r^{n-1} - 1) = c_v T_3 \left(1 - \frac{T_4}{T_3}\right) - c_v T_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right);$

- $\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - r^{1-n};$

- $r_{vol} = \frac{V_1}{V_2};$

2.6 Rankine

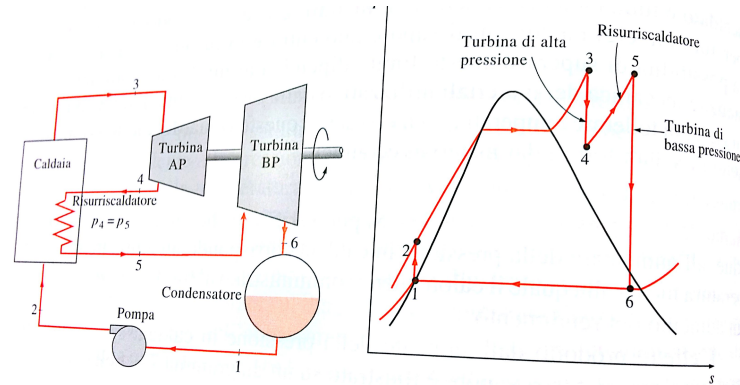
2.6.1 Rankine Semplice



L'acqua entra nella pompa (1) come liquido saturo. Entra in caldaia, a $P = cost$, (2) come liquido sottoraffreddato ed esce come vapore surriscaldato in (3). Il vapore surriscaldato entra in turbina (3) e si espande isoentropicamente; la pressione e la temperatura scendono sino ad arrivare in (4) dove si trova una miscela saturo di liquido e vapore ad elevato titolo. Il vapore entra nel condensatore (4) e viene condensato a $P = cost$ uscendo come liquido saturo.

- (1) \rightarrow (2) $\Delta S = 0;$
- (2) \rightarrow (3) $P = cost;$
- (3) \rightarrow (4) $\Delta S = 0;$
- (4) \rightarrow (1) $P = cost, T = cost;$

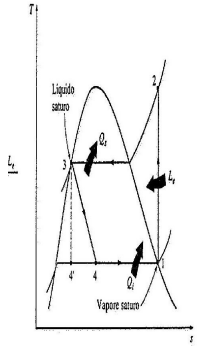
2.6.2 Rankine con surriscaldamento



In aggiunta alle fasi di un ciclo Rankine semplice si ha un'espansione isoentropica in una turbina ad alta pressione ($3 \rightarrow 4$), un surriscaldamento ($4 \rightarrow 5$) ed un'espansione isoentropica in una turbina a bassa pressione ($5 \rightarrow 6$):

- $(1) \rightarrow (2) \Delta S = 0$;
- $(2) \rightarrow (3) P = cost$;
- $(3) \rightarrow (4) \Delta S = 0$;
- $(4) \rightarrow (5) P = cost$;
- $(5) \rightarrow (6) \Delta S = 0$;
- $(6) \rightarrow (1) P = cost, T = cost$;

2.6.3 Rankine Inverso



3 Trasmissione del Calore

3.1 Unità di Misura

Flusso Termico Areico $\Phi = \dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A}$;

Conducibilità Termica $k = [\frac{W}{m \cdot ^\circ K}]$;

Coefficiente Scambio Termico Convettivo $h = [\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}]$;

Vettore Flusso di Calore $\vec{q} = [\frac{W}{m^2}]$;

Viscosità $\mu = [Pl]$;

Diametro o Lunghezza Caratteristica $D = [m]$;

Resistenza $R = \frac{^\circ K \cdot m^2}{W}$ oppure $R = \frac{^\circ K}{W}$;

3.2 Conduzione

3.2.1 Unità di Misura

Potenza Generata su Unità di Volume $\sigma = [\frac{W}{m^3}]$;

3.2.2 Generale

- $\dot{Q} = -\frac{1}{R_{forma}} \Delta T$;
- $\dot{Q} = -kA \frac{dT}{dr}$;
- $\dot{Q} = cost$;

3.2.3 Coordinate Cartesiane

Forma	Φ	T	\dot{Q}
Parete piana infinita	$\sigma x - Ak$	$-\frac{\sigma}{2k} + Ax + B$	/
Lastra piana monostrato senza generazione di potenza	$\frac{\Delta T}{R_{TOT} \cdot A}$	$\frac{T_2 - T_1}{s} x + T_1$	$\frac{\Delta}{R_t}$

3.2.4 Coordinate Cilindriche

Tipologia Cilindro	Φ	$\dot{q}_{per\ unit\ di\ lung}$	\dot{Q}
Pieno o cavo di altezza infinita	/	/	/
Indefinito con generazione di potenza	$\frac{\sigma}{2} r - \frac{k}{r} C$	/	/
Pieno con generazione di potenza	$\frac{\sigma}{2} r$	$\pi r^2 \sigma$	$V \sigma$
Cavo senza generazione di potenza	$k \frac{(T_i - T_e)}{\ln(\frac{R_e}{R_i})} \cdot \frac{1}{r}$	$\frac{2\pi k}{\ln(\frac{R_e}{R_i})} \cdot (T_i - T_e)$	$k \frac{T_i - T_e}{\ln(\frac{R_e}{R_i})} \cdot 2\pi L$

3.2.5 Coordinate Sferiche

Forma Sfera	T
Piena o cava	$-\frac{\sigma}{6k} r^2 + \frac{A}{r} + B$

3.3 Convezione

- $\dot{Q}_{CONV} = hA(T_s - T_f)$ con T_s = temperatura del solido e T_f = temperatura del fluido;

3.3.1 Raggio Critico di Isolamento

- $\dot{Q}_{MAX}(\frac{d\dot{Q}}{dr^2}) = 0 \Rightarrow r_{cr} = \frac{k_{isolante}}{h}$;

3.3.2 Convezione Forzata

- $Nu = \frac{hD}{k}$, numero di Nusselt;
- $Re = \frac{\rho w D}{\mu}$, numero di Reynolds;
- $Pr = \frac{c_p \mu}{k}$, numero di Prandtl;
- $Pe = Re \cdot Pr = \frac{wD}{a}$, numero di Peclet;

3.3.3 Convezione Naturale

- $Gr = \frac{\rho^2 g \beta \Delta T D^3}{\mu^2}$, numero di Grashoff;
- $Ra = Gr \cdot Pr = \frac{g \beta \Delta T D^3}{\alpha \nu}$, numero di Rayleigh;

3.3.4 Proprietà dei numeri adimensionali

Ove presenti, se $Re > Re_{CRIT}$, $Pr_{MIN} < Pr < Pr_{MAX}$, $Ra > Ra_{CRIT}$ il moto è turbolento.

In un condotto circolare in condizioni di moto turbolento si ha:

$$n = \begin{cases} 0.3 & \text{se il fluido si sta raffreddando} \\ 0.4 & \text{se il fluido si sta riscaldando} \end{cases}$$

3.4 Irraggiamento

3.4.1 Unità di Misura

Potenza Radiante $E = [\frac{W}{m^2}]$;

Lunghezza d'Onda $\lambda = [\mu m]$;

Emissività $\varepsilon \in [0, 1] \subseteq \mathbb{R}$;

Radiosità $J = [\frac{W}{m^2}]$;

Radiazione Incidente $I = [\frac{W}{m^2}]$;

3.4.2 Costanti

Costante di Stefan-Boltzmann $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} [\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}]$;

Costante Solare $I_S = 1353 \frac{W}{m^2}$;

3.4.3 Generale

Nu con moto turbolento

- $Q_{IRR} = \varepsilon \sigma A (T_s)^4$ con ε = emissività ($0 \leq \varepsilon \leq 1$);

- $E_n = \varepsilon \sigma T^4$, potere emissivo di un corpo alla temperatura T ;

- $(\lambda \cdot T)_{max} potenza = 2897,8 [\mu m \cdot ^\circ K]$;

- $\varepsilon(T) = \frac{E(T)}{E_b(T)} = \frac{E(T)}{\sigma T^4}$;

3.4.4 Il fattore di vista

Il fattore di vista tra una superficie i e una superficie j si indica $F_{i \rightarrow j}$ e si definisce

«Frazione della radiazione emessa dalla superficie i che incide/direttamente sulla superficie j ». ($F \in \mathbb{R}$; $0 \leq F \leq 1$)

Es: $0,6 \leq Pr \leq 60$ e $5 \cdot 10^5 \leq Re \leq 10^7$

- $F_{i \rightarrow j} = 0$, le superfici i e j non sono in vista tra loro;

- $F_{i \rightarrow j} = 1$, la superficie j circonda completamente la i , per cui tutta la radiazione emessa da i è intercettata da j ;

Valgono le seguenti regole:

- $F_{i \rightarrow j} = F_{j \rightarrow i}$, se e solo se $A_i = A_j$;

- $F_{i \rightarrow j} \neq F_{j \rightarrow i}$, se e solo se $A_i \neq A_j$;

Forma	Nu con moto laminare	Nu con moto turbolento	Re_{CRIT}	Pr_{CRIT}	Ra_{CRIT}
Attorno ad un cilindro	$\begin{cases} 3.66 & \text{se } T_{parete} = cost \\ 4.36 & \text{se } h(T_{parete} - T_\infty) = cost \end{cases}$		$0 \leq \varepsilon \leq 1$		/
		$C \cdot Re^m \cdot Pr^{\frac{1}{3}}$	$2 \cdot 10^5$		/
In un condotto circolare	/		10^4	0,7	160
	/	$0.027 \cdot Re^{0.6} \cdot Pr^{0.4} \cdot (\frac{\mu}{\mu_P})^{0.14}$	10^4	0,7	16700
Parete piana verticale	$0.59 \cdot Ra^{0.25}$		0.10	0.33	10^9
Lungo una lastra piana	$0,664 \cdot Re^{\frac{1}{2}} \cdot Pr^{\frac{1}{3}}$ sse $Pr \geq 0,6$	$0,037 \cdot Re^{\frac{4}{5}} \cdot Pr^{\frac{1}{3}}$ sse $0,6 \leq Pr \leq 60$ e $5 \cdot 10^5 \leq Re \leq 10^7$	$5 \cdot 10^5$	/	/

Tipo di moto	Condizione di regime laminare	Condizione di regime turbolento
In un condotto	$Re < 2000$	$Re > 2500$
Lungo una lastra piana	$Re < 5 \cdot 10^5$	$Re > 5 \cdot 10^5$
Attorno ad un cilindro	$Re < 2 \cdot 10^5$	$Re > 2 \cdot 10^5$

- $A_i F_{i \rightarrow j} = A_j F_{j \rightarrow i}$;
- $\sum_{j=1}^n F_{i \rightarrow j} = 1$;
- $F_{A_{12} \rightarrow 3} \cdot (A_1 + A_2) = F_{A_1 \rightarrow A_3} \cdot A_1 + F_{A_2 \rightarrow A_3} \cdot A_2$;

3.4.5 Coefficienti di assorbimento, riflessione e trasmissione

Assorbimento $\alpha = \frac{I_{ass}}{I}$;

Riflessione $\rho = \frac{I_{rfl}}{I}$;

Trasmissione $\tau = \frac{I_{tr}}{I}$;

Sussistono inoltre le seguenti relazioni:

- $\alpha + \rho + \tau = 1$, per superfici trasparenti;
- $\alpha + \rho = 1$, per superfici opache;
- $\alpha = \varepsilon$ quando la differenza di temperatura tra due corpi $\Delta T < 100^\circ\text{K}$;

3.4.6 Convenzioni per lo scambio termico tra superfici

$q_{1 \rightarrow 2}$ Potenza termica per unità di superficie emessa dalla superficie 1 che incide sulla superficie 2;

q_{1-2} Potenza termica per unità di superficie emessa dalla superficie 1 che viene assorbita dalla superficie 2;

$q_{1,2}$ Potenza termica netta per unità di superficie scambiata tra la superficie 1 e la superficie 2;

Inoltre valgono anche:

- $q_{1-2} = \alpha \cdot q_{1 \rightarrow 2}$;
- $q_{1,2} = q_{1-2} - q_{2-1} = -q_{2,1}$;

3.4.7 Scambio termico tra superfici

Genericamente vale:

- $\dot{Q}_{1,2} = A_1 F_{12} \sigma_0 (T_1^4 - T_2^4)$;

In caso di superfici piane parallele indefinite si ha:

Tipologia	Superficie 1	Superficie 2	$q_{1,2}$
Nera - Nera	Nera	Nera	$\sigma_0 (T_1^4 - T_2^4)$
Nera - Grigia	Nera	Grigia	$\epsilon_2 \sigma_0 (T_1^4 - T_2^4)$
Grigia - Grigia	Grigia	Grigia	$\frac{\sigma_0 (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1}$

Per una superficie grigia opaca:

- $\begin{cases} J_i = E_i + \rho I_i = \epsilon_i E_{in} + (1 - \epsilon_i) I_i; & \epsilon = \alpha, \quad \alpha + \rho = 1; \\ \dot{Q}_i = A_i (J_i - I_i); \end{cases}$

Per superfici grigie formanti una cavità:

- $\dot{Q}_{1,2} = \frac{\sigma_0 (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1-\epsilon_1}{\epsilon_1 A_1} + \frac{1}{A_1 F_{12}} + \frac{1-\epsilon_2}{\epsilon_2 A_2}}$;