

1. Equazioni di stato. Bilancio di energia e di entropia per sistemi chiusi.

- 1.1. *[base]* Ricavare le espressioni dei coefficienti termodinamici β e K_T per i gas ideali e ottenere l'equazione di stato nelle coordinate P, v, T a partire dall'espressione differenziale dell'equazione di stato: $dv = f(P, T)$.

$$[\beta = 1/T; K_T = 1/P; Pv = R^*T]$$

- 1.2. *[base]* Ottenere l'espressione che consente di valutare la variazione percentuale di volume (rispetto allo stato iniziale) di un liquido con coefficiente di comprimibilità isoterma K_T costante sottoposto ad una compressione o ad una espansione isoterma.

$$[\Delta v_{\%} = e^{-K_T(P_2 - P_1)} - 1]$$

- 1.3. *[base]* Un blocco di rame alla pressione di 1 atm ed alla temperatura di 300 K è racchiuso in un contenitore di metallo avente coefficiente di dilatazione trascurabile (volume costante). Si chiede di quanto varia la pressione del rame se la sua temperatura aumenta di 10 °C.

$$[\Delta P = 64,78 \text{ bar}]$$

- 1.4. *[intermedio]* Si determini il volume specifico del refrigerante R-134a ($M_m = 102 \text{ kg/kmol}$) alla pressione di 10 bar e alla temperatura di 50 °C utilizzando:
- l'equazione di stato dei gas ideali.
 - il diagramma generalizzato del fattore di compressibilità (Figura 1).

Si confrontino i risultati ottenuti con il valore effettivo sperimentale di $0.02171 \text{ m}^3/\text{kg}$. Sono noti per il refrigerante i valori di pressione e temperatura critica: $P_{cr} = 4.067 \text{ MPa}$, $T_{cr} = 374.3 \text{ K}$.

$$[v_a = 0.0263 \text{ m}^3/\text{kg}; err_a = +21\%; v_b = 0.0221 \text{ m}^3/\text{kg}; err_b = +1.8\%]$$

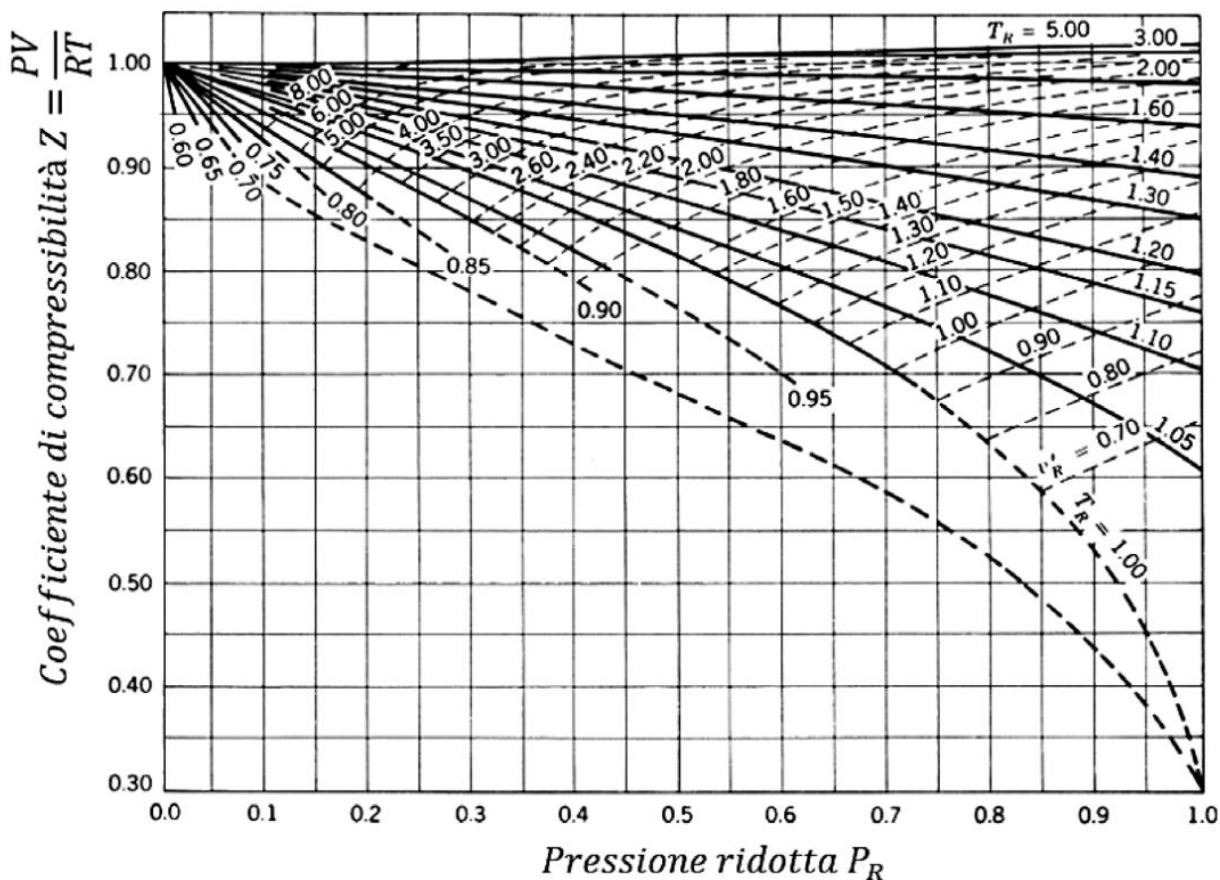


Figura 1: Valore del fattore di compressibilità, $Z = Pv/R^*T$, in funzione delle variabili ridotte $T_R = T/T_{cr}$ e $P_R = P/P_{cr}$.

- 1.5.** [avanzato] Una bombola del volume $V = 0.2 \text{ m}^3$ è collegata con una valvola ad una linea di distribuzione di aria compressa alla pressione $P_1 = 30 \text{ bar}$ e temperatura $T_1 = 20^\circ\text{C}$. Viene aperto il rubinetto di intercettazione e la bombola, inizialmente vuota, viene riempita di aria fino alla pressione $P_2 = P_1$. Trascurando la capacità termica della bombola, supponendo il processo adiabatico e trattando l'aria come un gas ideale a calori specifici caratteristici costanti, trovare la temperatura T_2 alla fine del riempimento e la massa M_2 dell'aria contenuta nella bombola.

Risolvere il problema nel caso che la bombola non sia inizialmente vuota ma contenga aria alla pressione $P_3 = 12 \text{ bar}$ ed alla temperatura $T_3 = -30^\circ\text{C}$.

$$[T_2 = 137.26^\circ\text{C}; M_2 = 5.1 \text{ kg}; T_{2,\text{caso2}} = 48.74^\circ\text{C}; M_{2,\text{caso2}} = 6.5 \text{ kg}]$$

- 1.6.** *[intermedio]* Un sistema composto è costituito da quattro sottosistemi A, B C e D. Il sottosistema A cede un calore $Q_{AB} = 300 \text{ kcal}$ al sottosistema B ed un calore $Q_{AC} = 120 \text{ kcal}$ al sottosistema C. Il sottosistema C fornisce un lavoro $L_{CB} = 230 \text{ kJ}$ al sottosistema B ed assorbe un lavoro $L_{CD} = 400 \text{ kJ}$ dal sottosistema D. Si chiede di determinare le variazioni di energia interna ed il segno delle variazioni di entropia dei quattro sottosistemi e del sistema completo ipotizzando che nei quattro sottosistemi si abbiano trasformazioni internamente reversibili.

$$[\Delta U_A = -1758.1 \text{ kJ}; \Delta U_B = 1485.8 \text{ kJ}; \Delta U_C = 672.3 \text{ kJ}; \Delta U_D = -400 \text{ kJ}; \\ \Delta U_{TOT} = 0 \text{ kJ}; \Delta S_A < 0; \Delta S_B > 0; \Delta S_C > 0; \Delta S_D = 0; \Delta S_{TOT} \geq 0]$$

- 1.7.** *[avanzato]* Un'auto di massa $M_{\text{auto}} = 1275 \text{ kg}$ ha quattro freni a disco. Ciascun freno è costituito da un disco di 3 kg e da una coppia di pinze di 0.25 kg di massa complessiva. Si supponga che l'auto viaggi a 150 km/h quando, improvvisamente, frena riducendo la propria velocità a 50 km/h . A causa della frenata i freni si riscaldano: supponendo che la variazione di energia cinetica dell'auto sia interamente dissipata dai freni e che questi si comportino tutti allo stesso modo, determinare:

- La temperatura raggiunta dai freni (temperatura iniziale di 20°C).
- Le variazioni di energia ed entropia dei freni.
- Se il processo subito dai freni è reversibile o irreversibile.

Ipotesi aggiuntive: trascurare le dispersioni termiche verso l'ambiente e le variazioni di volume. Calore specifico del disco $c_{\text{dis}} = 420 \text{ J/kgK}$, calore specifico delle pinze dei freni $c_{\text{pinze}} = 1000 \text{ J/kgK}$

$$[T_{F,\text{freni}} = 182.9^\circ\text{C}; \Delta E_{\text{freni}} = 983.8 \text{ kJ}; \Delta S_{\text{freni}} = 2.672 \text{ kJ/K}; \text{irreversibile}]$$