Cognome ……	Nome ……..	Matricola ……..

Ing. Navale, Ing. Civile e Ambientale

Prova scritta di Fisica Tecnica – Termodinamica – 10.9.2026

Esercizio

Si vuole raffreddare dell'acqua liquida (massa $m_l = 0.5$ kg, temperatura iniziale $t_l = 25$ °C) aggiungendo del ghiaccio, ossia acqua solida (massa m_s incognita, temperatura iniziale $t_s = -18$ °C), di modo che, dopo un tempo sufficiente a raggiungere l'equilibrio termico, si ottenga un'unica fase omogenea di acqua liquida (massa $m = m_l + m_s$) a temperatura finale t_f:

Tema	t_f [°C]
A	2
B	6

Calcolare quale dev'essere la massa m_s di ghiaccio, sotto le seguenti assunzioni:

- energia interna specifica dell'acqua u $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right]$ data da:

$$u = \begin{cases} c_s \cdot t, & \text{se } t \leq 0\ ^\circ\text{C} \ \ (\text{solido}, s) \\ L + c_l \cdot t, & \text{se } t > 0\ ^\circ\text{C} \ \ (\text{liquido}, l) \end{cases}$$

  dove $c_s = 2.1\ \frac{\text{kJ}}{\text{kg·K}}$ è il calore specifico dell'acqua solida (ghiaccio), $c_l = 4.2\ \frac{\text{kJ}}{\text{kg·K}}$ è il calore specifico dell'acqua liquida, $L = 333\ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ è il calore latente di fusione a 0 °C, t è la temperatura in °C (si è assunto il modello di sostanza incomprimibile con calori specifici costanti sia per il solido che per il liquido);

- acqua e ghiaccio sono messi in un contenitore chiuso, indeformabile e adiabatico (assenza di scambio termico verso l'esterno).

Suggerimento: applicare il principio di conservazione dell'energia nella forma più opportuna, ricordando che l'energia interna totale U [J] di un sistema è una grandezza estensiva, ossia si ottiene sommando i contributi di tutte le sue componenti.

Importante: riportare chiaramente tutti i passaggi svolti, sia simbolici che numerici e con le relative unità di misura (non basta riportare il semplice risultato numerico finale ad ogni passaggio)

Teoria

Ciclo Brayton-Joule ideale:

- rappresentazione schematica d'impianto
- rappresentazione del ciclo termodinamico nei piani $p - v$ e $T - s$ con indicazione delle varie fasi del ciclo
- ricavare il rendimento in funzione del rapporto di compressione r nel caso di analisi ad aria standard fredda

Soluzione

Applichiamo il *I* principio per sistemi chiusi, in assenza di lavoro e calore scambiati, in funzione dell'energia interna estensiva U del sistema:

$$U_i = U_f$$

Scriviamo le espressioni per l'energia interna iniziale e finale:

$$U_i = U_s + U_l = m_s u_s + m_l u_l$$

$$U_f = (m_s + m_l) u_f$$

che inserite nel bilancio di primi principio, ci permettono di risolvere direttamente rispetto a m_s:

$$m_s u_s + m_l u_l = (m_s + m_l) u_f \quad \Rightarrow \quad m_s = m_l \frac{u_l - u_f}{u_f - u_s} = 127 \text{ g } (\mathbf{A}), 101 \text{ g } (\mathbf{B})$$

dove le energie interne specifiche si calcolano come segue:

$$u_l = L + c_l t_l = 438 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$u_s = c_s t_s = -37.8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$u_f = L + c_l t_f = 341 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \ (\mathbf{A}), 358 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \ (\mathbf{B})$$