



**POLITECNICO**  
MILANO 1863

## Esercitazione 08 - Conduzione

*Esercizio 06* ([link registrazione](#))

**Corso di Fisica Tecnica**  
**a.a. 2019-2020**

***Prof. Gaël R. Guédon***  
Dipartimento di Energia, Politecnico di Milano

8.6. *[intermedio]* Una corrente di acqua satura, con una portata di massa  $\dot{m} = 1000 \text{ kg/h}$ , viene immessa in un evaporatore. All'ingresso dell'evaporatore l'acqua ha una temperatura  $T_1 = 152 \text{ }^\circ\text{C}$  ed è in condizione di liquido saturo ( $x_1 = 0$ ). All'interno dell'evaporatore, per effetto della potenza termica trasmessa, l'acqua vaporizza. L'evaporatore è costituito da un tubo che ha un diametro interno di 30 mm, è lungo 30 m, ha una parete con spessore 3 mm. Il condotto dell'evaporatore è realizzato con una lega metallica caratterizzata da una conduttività termica  $k = 85 \text{ W/mK}$ . La superficie esterna del condotto è mantenuta alla temperatura uniforme di  $T_e = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ . Si assuma che il flusso sia stazionario, che le variazioni di pressione della miscela acqua-vapore lungo il condotto siano trascurabili e che lo scambio termico tra la superficie interna e la miscela sia caratterizzato da un coefficiente convettivo  $h = 1500 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Determinare:

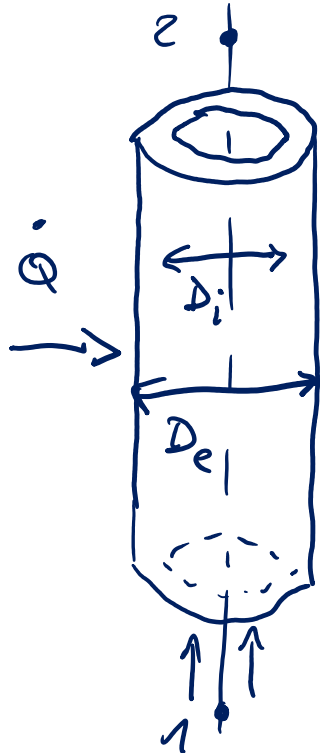
- La potenza termica fornita all'acqua;
- Le condizioni termodinamiche del vapore (stato e temperatura) in uscita dall'evaporatore;
- La lunghezza ( $L_{\text{saturo}}$ ) del tubo necessaria per avere in uscita vapore saturo;
- Rappresentare la distribuzione di temperatura nel tubo dell'evaporatore.

$$[\dot{Q} = 194.2 \text{ kW}; \text{vapore umido}, x_2 = 0.332; L_{\text{saturo}} = 90.4 \text{ m}]$$

# E08: Conduzione

## Esercizio 06

3



$$\dot{m} = 1000 \text{ kg/h} = 0,2778 \text{ kg/s}$$

$$T_1 = 152^\circ\text{C}$$

$$x_1 = 0$$

$$D_i = 30 \text{ mm} (0,03 \text{ m})$$

$$s = 3 \text{ mm} (0,003 \text{ m})$$

$$h_i = 1500 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$k = 85 \text{ W/mK}$$

$$T_e = 200^\circ\text{C}$$

$$L = 30 \text{ mm}$$

INCOGNITE:

$\dot{Q}$

$T, p$  uscita

$L_{\text{SATURO}}$

Distr. temp.

## Esercizio 06

Ragionamento chiave: se bifase lungo tutto il tubo  $T_{acqua} = \text{cost}$

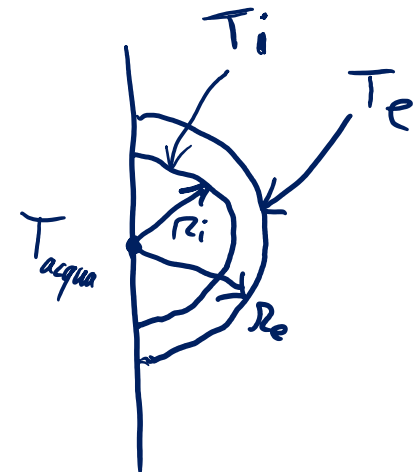
$$T_{acqua} = T_1 = 152^\circ\text{C}$$

Ipotesi: bifase lungo tutto il tubo (da verificare)

$$\dot{Q} = \dot{m} (h_2 - h_1) \quad (\text{sistema aperto})$$

$$\dot{Q} = \frac{T_e - T_{acqua}}{\frac{1}{2\pi L} \left( \frac{1}{b} \ln \frac{r_e}{r_i} + \frac{1}{h_i r_i} \right)}$$

$$r_e = r_i + s = \frac{D_i}{2} + s = \frac{30}{2} + 3 = 18 \text{ mm}$$



## Esercizio 06

$$\dot{Q} = \frac{200 - 152}{\frac{1}{2\pi \cdot 30} \cdot \left( \frac{1}{85} \ln \frac{0,018}{0,015} + \frac{1}{1500 \cdot 0,015} \right)}$$

$$\dot{Q} = 194200 \text{ W} \quad (194,2 \text{ kW})$$

$$h_2 ? \quad h_2 = h_1 + \frac{\dot{Q}}{\dot{m}}$$

$$h_1 \approx h_{\text{ls}}(T = 151,85^\circ\text{C}) = 640,1 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{\text{vs}}(T = 151,85^\circ\text{C}) = 2747,5 \text{ kJ/kg}$$

## Esercizio 06

$$h_2 = 640,1 + \frac{194,2}{0,2778} = 1339,2 \text{ kJ/kg}$$

$h_{L9} < h_2 < h_{VS} \Rightarrow$  BIFASE VAPORE UMIDO  
 QUINDI IPOTESI VALIDA!

$$x_2 = \frac{h_2 - h_{L9}}{h_{VS} - h_{L9}} = 0,332$$

---


$$\dot{Q}_{SAT} = m(h_{2,SAT} - h_1) \quad h_{2,SAT} = h_{VS} = 2747,5 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_{SAT} = 585,2 \text{ kW}$$

$$L_{SAT} = \frac{\dot{Q}_{SAT}}{\frac{T_e - T_{acqua}}{\frac{1}{2\pi} \left( \frac{1}{L} \ln \frac{r_e}{r_i} + \frac{1}{h_i r_i} \right)}} = \frac{\dot{Q}_{SAT}}{\frac{\dot{Q}}{L}} = L \frac{\dot{Q}_{SAT}}{\dot{Q}}$$

$$L_{SAT} = 30 \cdot \frac{585,2}{194,2} = 90,4 \text{ m}$$



# E08: Conduzione

## Esercizio 06

8

