

Del vapore di H_2O condensa sulle superficie ^① esterne di un tubo mantenendone la temp. superf. interna a $100^\circ C$. Il tubo è lungo $L=6m$, il diam. interno è $D=50mm$ ed è attraversato da acqua allo stato liquido entrante nel tubo stesso a $15^\circ C$. Si calcoli le temperature bulk all'uscita e le perdite cedute dalle pareti al fluido in caso:

a) $\bar{U} = 0,025 m/s$

b) $\bar{U} = 0,25 m/s$

Caso a) Le proprietà dell'acqua liquida vanno valutate a $\bar{T}_b = (T_{bi} + T_{bu})/2$ ma T_{bu} è incognita. Si assume, pertanto un valore di tentativo per il calcolo delle proprietà pari a $T_{b, tent} = (T_w + T_{bi})/2 = 57,5^\circ C$. Da cui

$\bar{T}_{b, tent} = 36,25^\circ C$. In corrispondenza di tale

temperatura si legge dalla appropriata tabella delle proprietà, scaricabile da *htunisa*,

ed avendo interpolato (NB: questo passaggio non è indispensabile in sede d'esame)

T °C	T K	ρ kg/m ³	c J/(kgK)	k W/(mK)	$\alpha 10^7$ m ² /s	$\mu 10^{-3}$ kg/(ms)	$\nu 10^7$ m ² /s	Pr
36,25	309,25	993,64	4174,6	0,612	1,47	7,01	7,05	4,78

Ne consegue che

$$Pr = 4.78$$

$$Re = 1770$$

Da questi valori si deduce che il moto è laminare, per cui

$$L_d = D \frac{Re}{20} = 4.43 \text{ m} \quad L_E = 21.6 \text{ m}$$

Ne consegue che occorre, nell'ambito dei 6 m, considerare lo sviluppo simultaneo dei due strati limite.

Sul piano operativo ciò significa che non è appropriato utilizzare $Nu = 3.66$

ma si usa ^{AD ESEMPIO} la correlazione (di Sieder e Tate): $Nu = 1.86 (Pr Re D/L)^{1/3} \frac{\mu(T)^{0.14}}{\mu(T_w)^{0.14}}$ ^{(formule (96) pag. 2)}

Questa fornisce nello specifico:

$$Nu = 8.71 \quad \rightarrow \quad h = 106.6 \text{ W/m}^2\text{K}$$

La $\dot{m} = \rho \bar{u} \pi D/4$ essendo 0.049 kg/s , si può ricavare la $T_{bu} =$

$$T_{bu} = T_w + (T_{in} - T_w) \exp\left(-\frac{h \pi D L}{\dot{m} c}\right) = 66.9 \quad (*)$$

Il valore di T_{bu} appena trovato è diverso (cio' ovviamente accade generalmente) da quello di tentativo inizialmente assunto. Si stabilisce una procedura iterativa che riparte "ex-novo" assumendo come nuovo valore di tentativo quello appena calcolato, fino a convergere. Assumendo quindi

► $T_{tent} = 66.9^\circ\text{C}$, si ricalciano le proprietà rispetto a $\bar{T}_b = \frac{66.9 + 15}{2} = 41^\circ\text{C}$:

T °C	T K	ρ kg/m ³	c J/(kgK)	k W/(mK)	$\alpha 10^7$ m ² /s	$\mu 10^{-3}$ kg/(ms)	$\nu 10^7$ m ² /s	Pr
41	314	991,90	4174,8	0,618	1,49	6,42	6,47	4,34

Da qui segue:

Re	Pr
1931	4.3

e quindi dalla correlazione di Sieder e Tate:

Nu	h
8.57	106

Si noti come il Nu, e di conseguenza h, risentono debolmente degli effetti delle variazioni di temperatura.

Ripetendo le (*) segue: $T_{bu} = 67^\circ\text{C}$, la quale è pressoché coincidente con quella (66.9°C) assunta in partenza. La procedura può dirsi chiusa.

Il valore di $\dot{Q}$ può calcolarsi indifferentemente con una delle due espressioni disponibili:

$$\dot{Q} = h (A_{DL}) \frac{(T_w - T_{bu}) - (T_w - T_{bi})}{\ln \frac{T_w - T_{bu}}{T_w - T_{bi}}} = \left. \begin{array}{l} \\ Q = \dot{m} c (T_{bu} - T_{bi}) \end{array} \right\} = 10568 \text{ W}$$

Ass 6 Il Reynolds risulta circa 10 volte il precedente per stesse proprietà -

► Si assume come T_{bu} di tentativo ancora 57.5°C e quindi $\bar{T}_b = 36,25$. Pertanto

$$Pr = 4.87 \quad Re_D = 17725$$

Allo scopo di valutare Nu si usa quindi (ad esempio) l'espressione di Dittus-Boelter (pag. 244 formule 120):

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^n$$

$$\text{con } n = 0,4 \text{ si trova } Nu = 107.75 \Rightarrow h = 1318.4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Come a caso, il valore è sensibilmente superiore al precedente -

Applicando la (*) con $\dot{m} = 0,487 \text{ kg/s}$, risulta

$T_{bu} = 61.16^\circ\text{C}$. Questo valore è sensibilmente diverso da quello di partenza per cui si reitera ulteriormente.



$T_{bmedia} = (T_{bu} + T_{bi})/2 = 38.1^\circ\text{C}$. In corrispondenza a tale valore le proprietà dell'acqua risultano:

T °C	T K	ρ kg/m ³	c J/(kgK)	k W/(mK)	$\alpha 10^7$ m ² /s	$\mu 10^{-3}$ kg/(ms)	$\nu 10^7$ m ² /s	Pr
38,1	311,08	992,99	4174,6	0,614	1,48	6,77	6,82	4,60

Di conseguenza:

$$Re = 18330, Pr = 4.6 \Rightarrow Nu = 109 \Rightarrow h = 1339.2$$

In definitiva la T_{bu} è

$$Re = 18330, Pr = 4.6 \Rightarrow Nu = 109 \Rightarrow h = 1339.2$$

$T_{bu} = 60.7^\circ\text{C}$. Questo valore è distante dello 0.75% dal precedente e quindi la procedura può dirsi conclusa.