

ESERCIZIO – Dimensionamento preliminare di uno scambiatore a fascio tubiero

1. Si chiede di determinare il numero e la lunghezza dei tubi di uno scambiatore a fascio tubiero in accordo con le seguenti specifiche:

- **Fluido di processo lato tubi**
 - o Tipo di fluido : acqua sottoraffreddata
 - o Portata in massa: 20 Kg/s
 - o Temperatura in ingresso del fluido di processo: 120 °C
 - o Temperatura in uscita del fluido di processo: 100°C
 - o Caratteristiche dei tubi
Materiale: Acciaio al carbonio norma EN10216-1
Diametro: 1/2", BWG 18 (tabelle seguenti)
 - o Velocità max interno tubi < 2 m/s
- **Fluido di servizio lato mantello**
 - o Tipo di fluido: acqua sottoraffreddata
 - o Portata in massa: 7 Kg/s
 - o Temperatura in ingresso del fluido di servizio: 15 °C

Si considerino inoltre i seguenti dati:

- Coefficiente globale di scambio termico: 950 W/(m²K)
- Scambio in controcorrente
- Calore specifico dell'acqua a 120 °C : 4248 J/(kg°K)
- Densità dell'acqua a 120 °C : 943 kg/m³
- Calore specifico dell'acqua a 100 °C : 4194 J/(kg°K)
- Densità dell'acqua a 100 °C : 975 kg/m³
- Calore s pecifico dell'acqua 15 °C : 4186 J/(kg°K)
- Densità dell'acqua a 15 °C : 1000 kg/m³

2. Si chiede di determinare il valore della temperatura di uscita del fluido di processo quando la portata del fluido di servizio vara del +-20%

Tubi per scambiatori di calore

Heat exchanger tubes

Peso metrico tubi per scambiatori in acciaio al carbonio e legato

Metric weight for seamless carbon and low alloy tubes

INCH	MM	BWG		18		16		14		13		12		11		10		9											
		1	1,25	1,5	1,65	2	2,11	2,41	2,5	2,77	3	3,05	3,40	4,00	5,00														
12	0,271	0,296	0,331	0,360	0,388	0,421	0,421	0,456	0,493	0,532	0,515	0,554	0,570	0,611	0,586	0,627	0,630	0,673	0,666	0,708	0,673	0,715	0,721	0,762	0,789	0,825	0,863	0,882	
1/2"	12,7	0,289	0,315	0,353	0,384	0,414	0,450	0,487	0,528	0,570	0,551	0,594	0,612	0,657	0,629	0,675	0,678	0,725	0,718	0,765	0,726	0,773	0,780	0,826	0,858	0,901	0,949	0,977	
14	0,321	0,350	0,393	0,428	0,462	0,503	0,503	0,545	0,592	0,640	0,619	0,668	0,689	0,742	0,709	0,763	0,767	0,823	0,814	0,871	0,824	0,881	0,889	0,946	0,986	1,042	1,110	1,153	
15	0,345	0,377	0,424	0,462	0,499	0,543	0,543	0,590	0,641	0,694	0,671	0,726	0,748	0,807	0,771	0,831	0,835	0,898	0,888	0,952	0,899	0,963	0,973	1,038	1,085	1,150	1,233	1,288	
5/8"	15,88	0,367	0,401	0,451	0,492	0,532	0,579	0,579	0,630	0,685	0,742	0,716	0,776	0,801	0,865	0,825	0,890	0,896	0,964	0,953	1,024	0,965	1,036	1,046	1,120	1,172	1,246	1,342	1,408
16	0,370	0,404	0,455	0,496	0,536	0,584	0,584	0,635	0,690	0,749	0,723	0,783	0,808	0,873	0,832	0,899	0,904	0,973	0,962	1,034	0,974	1,046	1,056	1,131	1,184	1,259	1,356	1,424	
18	0,419	0,458	0,516	0,564	0,610	0,665	0,665	0,724	0,789	0,857	0,827	0,897	0,927	1,003	0,956	1,034	1,040	1,124	1,110	1,196	1,124	1,212	1,224	1,315	1,381	1,476	1,603	1,695	
3/4"	19,05	0,445	0,487	0,549	0,599	0,649	0,708	0,771	0,841	0,914	0,881	0,957	0,989	1,072	1,020	1,105	1,112	1,202	1,187	1,282	1,203	1,299	1,312	1,412	1,485	1,590	1,732	1,838	
20	0,469	0,513	0,578	0,632	0,684	0,747	0,747	0,814	0,888	0,966	0,931	1,012	1,045	1,134	1,079	1,170	1,177	1,274	1,258	1,359	1,275	1,377	1,392	1,500	1,578	1,693	1,850	1,967	
22	0,518	0,567	0,640	0,699	0,758	0,828	0,828	0,903	0,986	1,074	1,035	1,126	1,164	1,265	1,202	1,305	1,314	1,424	1,406	1,522	1,425	1,543	1,559	1,684	1,776	1,910	2,096	2,238	
25	0,592	0,648	0,732	0,801	0,869	0,950	0,950	1,038	1,134	1,237	1,191	1,298	1,343	1,461	1,387	1,509	1,518	1,650	1,628	1,766	1,651	1,791	1,811	1,961	2,071	2,235	2,466	2,645	
1"	25,4	0,602	0,659	0,744	0,815	0,884	0,966	0,966	1,056	1,154	1,259	1,212	1,321	1,366	1,487	1,412	1,536	1,546	1,680	1,657	1,798	1,681	1,824	1,845	1,998	2,111	2,279	2,515	2,699
28	0,666	0,730	0,825	0,903	0,980	1,072	1,072	1,172	1,282	1,400	1,347	1,470	1,521	1,657	1,572	1,712	1,723	1,875	1,850	2,010	1,877	2,039	2,063	2,237	2,367	2,561	2,836	3,052	

Cosa è il DWG ?

(AW: Average wall) (MW: Minimum wall)

Ad ogni valore BWG corrisponde un certo spessore espresso in pollici. La corrispondenza tra BWG e il diametro espresso in pollici (in) non è lineare e può essere letta attraverso tabelle, come quella riportata di seguito.

B.W.G. Chart

This chart provides a cross reference between B.W.G. (Birmingham Wire Gauge) imperial sizes and metric equivalents, in terms of tube wall thickness.

B.W.G.	inches	mm	B.W.G.	inches	mm	B.W.G.	inches	mm
0	0.340"	8.636	9	0.148"	3.759	18	0.049"	1.245
1	0.300"	7.620	10	0.134"	3.404	19	0.042"	1.067
2	0.284"	7.214	11	0.120"	3.048	20	0.035"	0.889
3	0.259"	6.579	12	0.109"	2.769	21	0.032"	0.813
4	0.238"	6.045	13	0.095"	2.413	22	0.028"	0.711
5	0.220"	5.588	14	0.083"	2.108	23	0.025"	0.635
6	0.203"	5.156	15	0.072"	1.829	24	0.022"	0.559
7	0.180"	4.572	16	0.065"	1.651	25	0.020"	0.508
8	0.165"	4.191	17	0.058"	1.473			

PROCEDIMENTO

1. Calcolo portate termiche

Per il valore del calore specifico del fluido di processo usiamo la media tra ingresso e uscita

Per il valore del calore specifico del fluido di servizio usiamo il valore in ingresso

- FLUIDO DI PROCESSO

$$\bar{C}_{P(P)} = (4248 + 4194) / 2 = 4221 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

$$C(P) = \dot{m}(P) \cdot \bar{C}_{P(P)} = 20 \cdot 4221 = 84420 \text{ J/s} \cdot \text{K}$$

$$\bar{C}_{P(S)} = 4186 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

$$C(S) = \dot{m}(S) \cdot \bar{C}_{P(S)} = 7 \cdot 4186 = 29302 \text{ J/s} \cdot \text{K}$$

2. Calcolo potenza termica ceduta dal fluido di processo

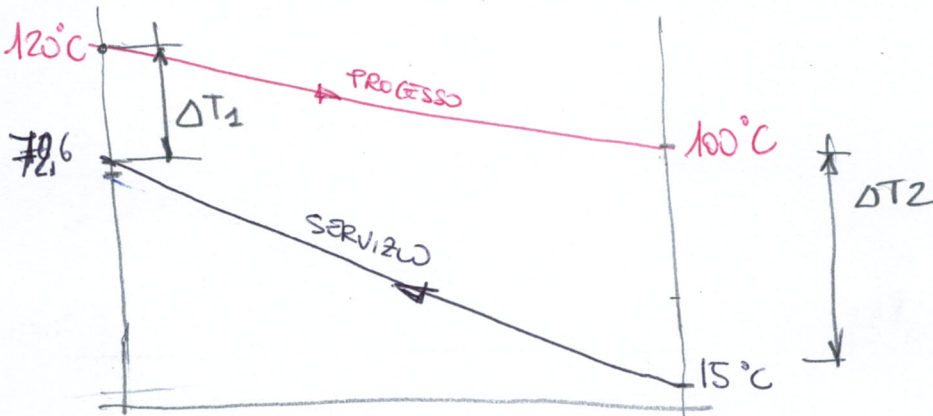
$$W(P) = C(P) \cdot (T_{i(P)} - T_{u(P)}) = 84420 \cdot (120 - 100) = 1.688 \text{ MW}$$

Si può porre: $W(S) = W(P)$ [NON CI SONO PERDITE DI CALORE VERSO L'ESTERNO]

3. Calcolo temperatura di uscita del fluido di servizio

$$T_{u(S)} = T_{i(S)} + \frac{W(S)}{C(S)} = 15 + \frac{1.688 \cdot 10^6}{29302} = 72,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

4. Grafico (qualitativo) dell'andamento delle temperature nello scambiatore



5. Calcolo Delta T logaritmico Medio

$$\overline{\Delta T}_{\log} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} = \frac{47.4 - 85}{\ln \frac{47.4}{85}} = 64.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

6. Calcolo della superficie di scambio termico

$$W = W_1(P) = W(CS) = 1.69 \text{ MW} = F \cdot U \cdot S \cdot \overline{\Delta T}_{\log}$$

POICHE' $F=1$ (SCAMBIO IN CONTROCORRENTE)

$$S = \frac{1.69 \cdot 10^6}{1.950 \cdot 64.4} = 27.6 \text{ m}^2$$

7. Calcolo numero e lunghezza dei tubi

Tenendo conto che la velocità massima nei tubi non deve superare i 2 m/s, l'area di passaggio totale deve essere:

$$V = \frac{\dot{V}(P)}{\int(P) \cdot A_{\text{PASS}}} < 2 \text{ m/s} \rightarrow A_{\text{PASS}} \geq \frac{20}{959.2} \geq 0.0104 \text{ m}^2$$

Poiché l'area del singolo tubo è pari a:

$$D_i = D_e - 2 \times \text{spess.} = 12.7 - 2 \cdot 1.25 = 10.2 \text{ mm}$$

$$A_{\text{tubo}} = \frac{\pi D_i^2}{4} = \pi \cdot (10.2)^2 / 4 = 81.7 \text{ mm}^2 = 8.17 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

Allora il numero dei tubi deve essere uguale a:

$$N_{\text{TUBI}} = \frac{A_{\text{PASS}}}{A_{\text{TUBO}}} = \frac{0.0104}{8.17 \cdot 10^{-5}} = 127.6 \rightarrow 127 \text{ tubi}$$

La lunghezza dei tubi deve quindi essere:

IL PERIMETRO DI UN TUBO VALE $\pi D_i = 32.044 \text{ mm}$

L'AREA LATERALE DI TUTTI I TUBI VALE $\pi D_i \cdot L \cdot N_{\text{TUBI}} = S$

$$L = \frac{S}{\pi D_i \cdot N_{\text{TUBI}}} = \frac{27.6}{\pi \cdot 10.2 \cdot 10^{-3} \cdot 127} = 6.75 \text{ m}$$