

# Esame di Stato per l'abilitazione all'esercizio della professione di Ingegnere

II sessione 2015

Settore INDUSTRIALE

Prova pratica progettuale SEZ. A

Tema2

**1.1** Un motore Diesel a quattro tempi sovralimentato, di derivazione navale, è utilizzato per la produzione combinata di energia elettrica ed acqua fredda destinata al condizionamento di locali ad uso industriale. Dell'unità motrice sono note le seguenti caratteristiche:

- Rapporto di compressione  $r = 17.5$
- Rapporto di combustione a pressione costante  $b = 1.38$
- Rapporto corsa/alesaggio  $C/D = 1.2$
- Raggio di manovella  $r_m = 240 \text{ mm}$
- Rapporto dei calori specifici del fluido di lavoro  $\gamma = 1.36$
- Rendimento limite  $\eta_l = 0.920$
- Rendimento indicato  $\eta_i = 0.832$
- Rendimento organico  $\eta_o = 0.863$
- Rapporto aria-combustibile  $\alpha = 19.8$
- Coefficiente di riempimento  $\lambda_v = 2.197$  (rispetto alle condizioni ambiente)
- Temperatura dei gas combusti nel collettore di scarico  $= 420 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Il motore è accoppiato ad un alternatore trifase, tramite un moltiplicatore di giri, caratterizzato da un rapporto di trasmissione  $\tau = \frac{n_{\text{motore}}}{n_{\text{alternatore}}} = 0.38$  e da un valore della coppia richiesta, all'albero dell'alternatore (albero veloce), pari a  $32.6 \text{ kNm}$ .

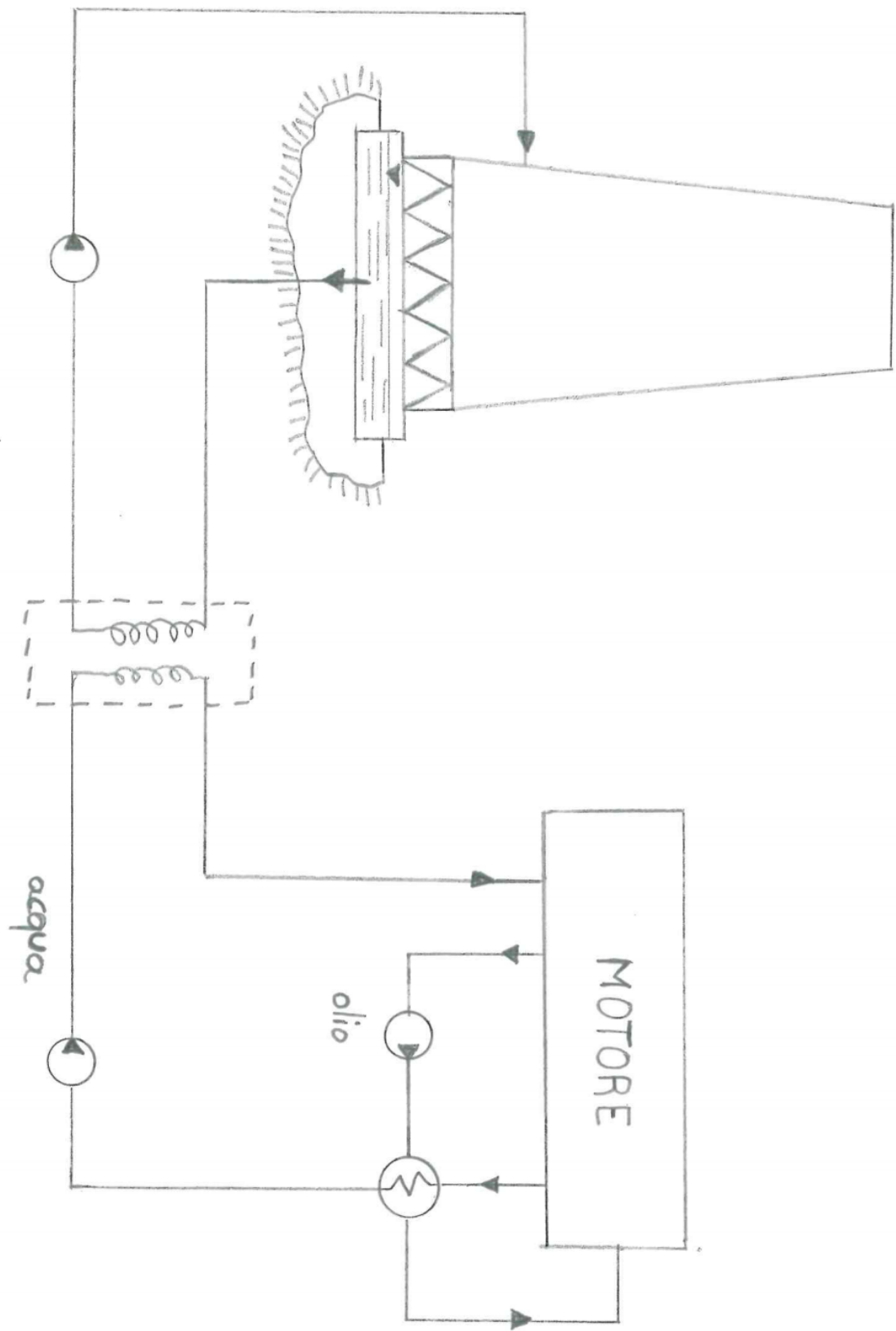
Si assuma, per il carburante, un valore del potere calorifico inferiore  $H_i$  pari a  $41000 \text{ kJ/kg}$  mentre, in relazione alle condizioni ambiente, si consideri la massa volumica dell'aria aspirata dall'unità motrice  $\rho_a = 1.18 \text{ kg/m}^3$ . Si assuma inoltre che la velocità media dello stantuffo sia definita dalla seguente relazione:  $u_p [\text{m/s}] = 0.302Z^2C$ , nella quale  $Z$  è il numero di cilindri e  $C$  la corsa espressa in metri. Determinare: i) i principali parametri geometrici del motore ( $C$  e  $D$ ); ii) il numero dei cilindri, la pressione media indicata, quella effettiva, la potenza del motore, la coppia, il numero di giri e la portata di gas combusti; iii) il rendimento globale (del solo motore) ed il consumo specifico espresso in  $\text{g/kWh}$ .

**1.2** Sulla base della propria esperienza, formulando le dovute ipotesi ed assunzioni, il candidato determini: i) la potenza termica recuperabile dai fumi allo scarico e la portata di vapore producibile alla pressione (assoluta) di  $2 \text{ bar}$ ; ii) la taglia di una o più unità frigorifere ad assorbimento alimentate a vapore saturo (allegato 3) per massimizzare la resa frigorifera ottenibile. Il candidato esprima inoltre l'efficienza energetica complessiva dell'impianto attraverso il parametro di merito che ritiene più adeguato. Si prenda come riferimento un valore del calore specifico medio a pressione costante per i gas combusti pari a  $1.183 \text{ kJ/kgK}$ .

**1.3** In riferimento allo schema riportato nell'allegato 1 il candidato definisca: i) la portata d'acqua ed il relativo salto di temperatura nel circuito di raffreddamento della torre; ii) la taglia della torre

di raffreddamento a umido più adatta (allegato 4) per l'applicazione in oggetto, sapendo che la potenza termica totale (acqua + olio) ceduta dal motore all'acqua dell'impianto di raffreddamento è pari a 819 kW. Per il calcolo della temperatura di bulbo umido  $T_w$  [°C] dell'aria si utilizzi la seguente relazione:  $T_w = T_{air} \cdot (0.45 + 0.006 \cdot U.R. \cdot \text{SQRT}(P_{atm}/1060))$  in cui:  $T_{air}$  [°C] è la temperatura ambiente = 28 °C , U.R. [%] l'umidità relativa = 65%, mentre  $P_{atm}$  [hPa] rappresenta la pressione atmosferica = 1013 hPa (per l'acqua si consideri un valore medio del calore specifico a pressione costante pari a 4.187 kJ/kgK).

ALLEGATO 1: SCHEMA DEL CIRCUITO DI RAFFREDDAMENTO



## ALLEGATO 2: TABELLE DEL VAPORE

p (bar)	T (°C)	v_cli m³/kg	v_cls m³/kg	h_cli kJ/kg	h_cls kJ/kg	r kJ/kg	s_cli kJ/kgK	s_cls kJ/kgK
0.010	6.97	0.001000	129.183351	29.30	2513.68	2484.38	0.1059	8.9749
0.015	13.02	0.001001	87.962125	54.68	2524.75	2470.06	0.1956	8.8271
0.020	17.50	0.001001	66.989656	73.43	2532.91	2459.48	0.2606	8.7227
0.025	21.08	0.001002	54.242123	88.43	2539.43	2451.00	0.3119	8.6422
0.030	24.08	0.001003	45.655044	100.99	2544.88	2443.89	0.3543	8.5766
0.035	26.67	0.001003	39.467828	111.84	2549.57	2437.74	0.3907	8.5213
0.040	28.96	0.001004	34.792482	121.40	2553.71	2432.31	0.4224	8.4735
0.045	31.01	0.001005	31.132018	129.98	2557.41	2427.43	0.4507	8.4314
0.050	32.88	0.001005	28.186314	137.76	2560.77	2423.00	0.4763	8.3939
0.055	34.58	0.001006	25.763289	144.90	2563.84	2418.93	0.4995	8.3600
0.060	36.16	0.001006	23.734226	151.49	2566.67	2415.17	0.5209	8.3291
0.065	37.63	0.001007	22.009592	157.63	2569.30	2411.67	0.5407	8.3008
0.070	39.00	0.001007	20.525162	163.37	2571.76	2408.39	0.5591	8.2746
0.075	40.29	0.001008	19.233646	168.76	2574.06	2405.30	0.5763	8.2502
0.080	41.51	0.001008	18.099447	173.85	2576.24	2402.39	0.5925	8.2274
0.085	42.66	0.001009	17.095247	178.68	2578.30	2399.62	0.6078	8.2060
0.090	43.76	0.001009	16.199731	183.26	2580.25	2396.99	0.6223	8.1859
0.095	44.81	0.001010	15.396018	187.63	2582.11	2394.48	0.6361	8.1669
0.100	45.81	0.001010	14.670563	191.81	2583.89	2392.08	0.6492	8.1489
0.110	47.68	0.001011	13.412428	199.66	2587.21	2387.56	0.6737	8.1155
0.120	49.42	0.001012	12.358624	206.91	2590.29	2383.38	0.6963	8.0850
0.130	51.04	0.001013	11.462746	213.66	2593.14	2379.47	0.7172	8.0570
0.140	52.55	0.001013	10.691500	219.99	2595.80	2375.82	0.7366	8.0312
0.150	53.97	0.001014	10.020366	225.93	2598.30	2372.37	0.7548	8.0071
0.160	55.31	0.001015	9.430884	231.55	2600.66	2369.11	0.7720	7.9847
0.170	56.59	0.001015	8.908887	236.88	2602.89	2366.01	0.7882	7.9636
0.180	57.80	0.001016	8.443316	241.95	2605.01	2363.06	0.8035	7.9437
0.190	58.95	0.001017	8.025414	246.78	2607.02	2360.25	0.8181	7.9250
0.200	60.06	0.001017	7.648154	251.40	2608.95	2357.55	0.8320	7.9072
0.210	61.12	0.001018	7.305830	255.83	2610.79	2354.96	0.8452	7.8904
0.220	62.13	0.001018	6.993761	260.08	2612.55	2352.47	0.8579	7.8743
0.230	63.11	0.001019	6.708071	264.17	2614.25	2350.07	0.8701	7.8589
0.240	64.05	0.001019	6.445519	268.12	2615.88	2347.76	0.8818	7.8442
0.250	64.96	0.001020	6.203379	271.92	2617.45	2345.52	0.8931	7.8302
0.260	65.84	0.001020	5.979338	275.61	2618.96	2343.36	0.9040	7.8167
0.270	66.69	0.001021	5.771421	279.17	2620.43	2341.26	0.9145	7.8037
0.280	67.52	0.001021	5.577930	282.62	2621.85	2339.22	0.9246	7.7912
0.290	68.32	0.001022	5.397401	285.97	2623.22	2337.25	0.9344	7.7791
0.300	69.10	0.001022	5.228562	289.23	2624.55	2335.32	0.9439	7.7675
0.320	70.59	0.001023	4.921645	295.47	2627.10	2331.63	0.9621	7.7453
0.340	72.00	0.001024	4.649819	301.40	2629.51	2328.11	0.9793	7.7245
0.360	73.35	0.001025	4.407339	307.04	2631.80	2324.76	0.9956	7.7050
0.380	74.63	0.001026	4.189654	312.42	2633.97	2321.56	1.0111	7.6865
0.400	75.86	0.001026	3.993111	317.57	2636.05	2318.48	1.0259	7.6690
0.450	78.71	0.001028	3.576072	329.55	2640.86	2311.31	1.0601	7.6288
0.500	81.32	0.001030	3.240150	340.48	2645.21	2304.74	1.0910	7.5930
0.550	83.71	0.001032	2.963598	350.52	2649.19	2298.67	1.1192	7.5606
0.600	85.93	0.001033	2.731830	359.84	2652.85	2293.02	1.1452	7.5311
0.650	87.99	0.001035	2.534693	368.53	2656.25	2287.72	1.1694	7.5040
0.700	89.93	0.001036	2.364900	376.68	2659.42	2282.74	1.1919	7.4790
0.750	91.76	0.001037	2.217080	384.37	2662.39	2278.02	1.2130	7.4557
0.800	93.49	0.001038	2.087190	391.64	2665.18	2273.54	1.2328	7.4339
0.850	95.13	0.001040	1.972124	398.55	2667.82	2269.27	1.2516	7.4135
0.900	96.69	0.001041	1.869459	405.13	2670.31	2265.19	1.2694	7.3942
0.950	98.18	0.001042	1.777272	411.41	2672.69	2261.27	1.2864	7.3760
1.000	99.61	0.001043	1.694023	417.44	2674.95	2257.51	1.3026	7.3588
1.100	102.29	0.001045	1.549552	428.77	2679.18	2250.40	1.3328	7.3268
1.200	104.78	0.001047	1.428446	439.30	2683.06	2243.76	1.3608	7.2976
1.300	107.11	0.001049	1.325411	449.13	2686.65	2237.52	1.3867	7.2708
1.400	109.29	0.001051	1.236649	458.37	2689.99	2231.62	1.4108	7.2460
1.500	111.35	0.001053	1.159358	467.08	2693.11	2226.03	1.4335	7.2229
1.600	113.30	0.001054	1.091429	475.34	2696.04	2220.71	1.4549	7.2014
1.700	115.15	0.001056	1.031243	483.18	2698.81	2215.62	1.4752	7.1811
1.800	116.91	0.001058	0.977534	490.67	2701.42	2210.75	1.4944	7.1620
1.900	118.60	0.001059	0.929300	497.82	2703.89	2206.07	1.5127	7.1440
2.000	120.21	0.001061	0.885735	504.68	2706.24	2201.56	1.5301	7.1269
2.100	121.76	0.001062	0.846187	511.27	2708.48	2197.21	1.5468	7.1106
2.200	123.25	0.001063	0.810119	517.61	2710.62	2193.00	1.5628	7.0951
2.300	124.69	0.001065	0.777086	523.73	2712.66	2188.93	1.5782	7.0802
2.400	126.07	0.001066	0.746716	529.64	2714.62	2184.98	1.5930	7.0660

### ALLEGATO 3: TABELLA DI SELEZIONE ASSORBITORI

## Chiller BDS/BDH/BDE a singolo stadio a vapore/acqua calda/fumi - dati di funzionamento

Vapore / acqua calda / fumi (i dati del gruppo pompe e del contenitore sono uguali a quelli del chiller a vapore).

modello	capacità frigorifera		acqua refrigerata		acq. di raffredd.		consumo di vapore	cons. acq. calda	cons. fumi	potenza assorbita	peso soluzione	peso sped. unità	peso sped. invol. princ.	peso di es. refrigerat.
			portata	caduta pressione	portata	caduta pressione								
	kW	R	m3/h	kPa	m3/h	kPa	kg/h	m3/h	kg/h	kW	t	t	t	t
<b>Chiller singolo stadio a vapore BDS - vapore 0,1MPa</b>														
20	233	66	28,6	30	64,7	50	459	/	/	2,5	0,7	3,5	/	4
30	349	99	42,9	30	98	50	690	/	/	2,5	*	*	/	*
50	582	165	71.4	30	162	50	1148	/	/	2,5	1.7	6.5	/	7
75	582	872	165	248	71,4	107	30	30	162	243	50	60	1148	
100	1163	331	143	30	324	60	2296	/	/	5,7	2,4	10,5	/	11,5
125	1454	413	179	30	405	60	2870	/	/	5,7	3,2	12,5	/	14
150	1745	496	214	40	486	60	3443	/	/	5,7	3,5	14	/	16
200	2326	661	286	40	647	60	4591	/	/	8,6	5,5	20	/	22
250	2908	827	357	50	809	70	5739	/	/	10,1	6,0	23,5	/	26
300	3489	992	429	50	971	70	6887	/	/	10,1	8,2	28	/	31
400	4652	1323	571	50	1295	70	9183	/	/	13,9	8,9	32	/	37
500	5815	1653	714	60	1618	90	11478	/	/	13,8	11,7	/	27	44
600	6978	1984	857	60	1942	90	13774	/	/	17,5	14,5	/	29	49
<b>chiller singolo stadio ad acqua calda BDH - acqua calda 98°C</b>														
20	209	60	25,2	25	59,5	50	/	24,6	/	2,5	0,7	3,5	/	4
30	302	87	37	25	87	50	/	36	/	2,5	*	*	/	*
50	512	146	62.9	25	146	50	/	60	/	2,5	1.7	6.5	/	7
75	767	220	94.2	25	218	60	/	90	/	5,3	2.2	8.5	/	9.5
100	1023	292	125	25	291	60	/	120	/	5,7	2,4	10,5	/	11,5
100	1023	292	125	25	291	60	/	120	/	5,7	2,4	10,5	/	11,5
125	1279	365	157	25	364	60	/	151	/	5,7	3,2	12,5	/	14
150	1535	439	188	30	437	60	/	181	/	5,7	3,5	14	/	16
200	2046	585	251	30	582	70	/	241	/	8,6	5,5	20	/	22
250	2558	730	313	40	728	70	/	301	/	10,1	6,0	23,5	/	26
300	3069	877	376	40	873	70	/	361	/	10,1	8,2	28	/	31
400	4092	1169	503	40	1164	70	/	482	/	13,9	8,9	33	/	37
500	5115	1461	628	50	1455	90	/	603	/	13,8	11,7	/	28	44
600	6138	1754	754	50	1746	90	/	723	/	17,5	14,5	/	30	50
<b>chiller singolo stadio fumi BDE - fumi 300°C</b>														
20	233	66	28,6	30	64,7	50	/	/	5690	2,5	0,8	4	/	4,4
30	349	99	42,9	30	98	50	/	/	8500	2,5	*	*	/	*
50	582	165	71.4	30	162	50	/	/	14225	2,5	2.1	7	/	7.6
75	872	248	107	30	243	60	/	/	21338	5,3	2,5	9	/	10
100	1163	331	143	30	324	60	/	/	28450	5,7	2,8	11	/	12,5

#### Condizioni generali:

1. Pressione nominale vapore saturo per chiller BDS 0,1 Mpa.
- Temperatura nominale condensa per chiller BDS : 95°C
2. Temp. nominale entrata/uscita A calda per chiller singolo stadio A calda: 98°C/88°C
3. Temp. nominale entrata/ uscita per chiller singolo stadio fumi: 300°C/130°C
4. Temp. nominale entrata/uscita A refrigerata: 7°C/14°C
5. Temp. nominale entrata/uscita A di raffreddamento: 37°C/30°C
6. Temperatura minima ammessa d'uscita per A refrigerata: 5°C
7. Temperatura minima ammessa di entrata per A di raffreddamento: 10°C
8. Portata regolabile dell'acqua refrigerata: 50%~120%
9. Limite di pressione A refrigerata / di raffreddamento: 0,8MPa

(salvo diverso ordine)

10. Carico regolabile: 5%~1 15%
  11. Coeff. d'insudiciamento per A refrigerata, A di raffreddamento: 0,086 m2- K/kW
  12. Concentrazione soluzione di LiBr: 50%.
  - Il peso della soluzione è incluso nel peso di sped. dell'unità.
  13. Temperatura ambiente del locale macchina: 5~43°C, umidità ≤ 85%
  14. COP nominale: chiller singolo stadio a vapore e chiller fumi: 0,79, chiller singolo stadio acqua calda : 0,76
  15. Durata progettata: 25 anni
  16. Per le informazioni sulla curva di resa, la scelta dei modelli, le ordinazioni e la lista delle forniture, vedere pag. 33 e pag.49 .
- \* Per i dati mancanti rivolgersi all'ufficio tecnico.



## ALLEGATO 4: DIAGRAMMA PER LA SELEZIONE DELLA TORRE EVAPORATIVA

TRS serie/series

### 2 METODO DI SELEZIONE

#### 2.1 DIMENSIONAMENTO DELLA TORRE

Noti la temperatura dell'acqua all'ingresso della torre, il salto termico desiderato, la temperatura dell'aria esterna al bulbo umido (B.U.), ricavare il "Fattore K" seguendo le indicazioni tratteggiate sul diagramma di selezione.

Dividere poi la portata acqua per il suddetto valore "K"; il risultato ottenuto è il numero indicante la grandezza della torre. Scegliere la grandezza della torre di raffreddamento la cui grandezza è immediatamente superiore al valore trovato (ad esempio se il risultato è 272 selezionare il modello TRS 280). Leggere poi sul diagramma relativo la perdita.

**N.B.** Nella scelta della pompa di circolazione acqua, non dimenticare di aggiungere il valore corrispondente all'altezza geodetica da superare, che è di 1.870 mm. per tutti i modelli.

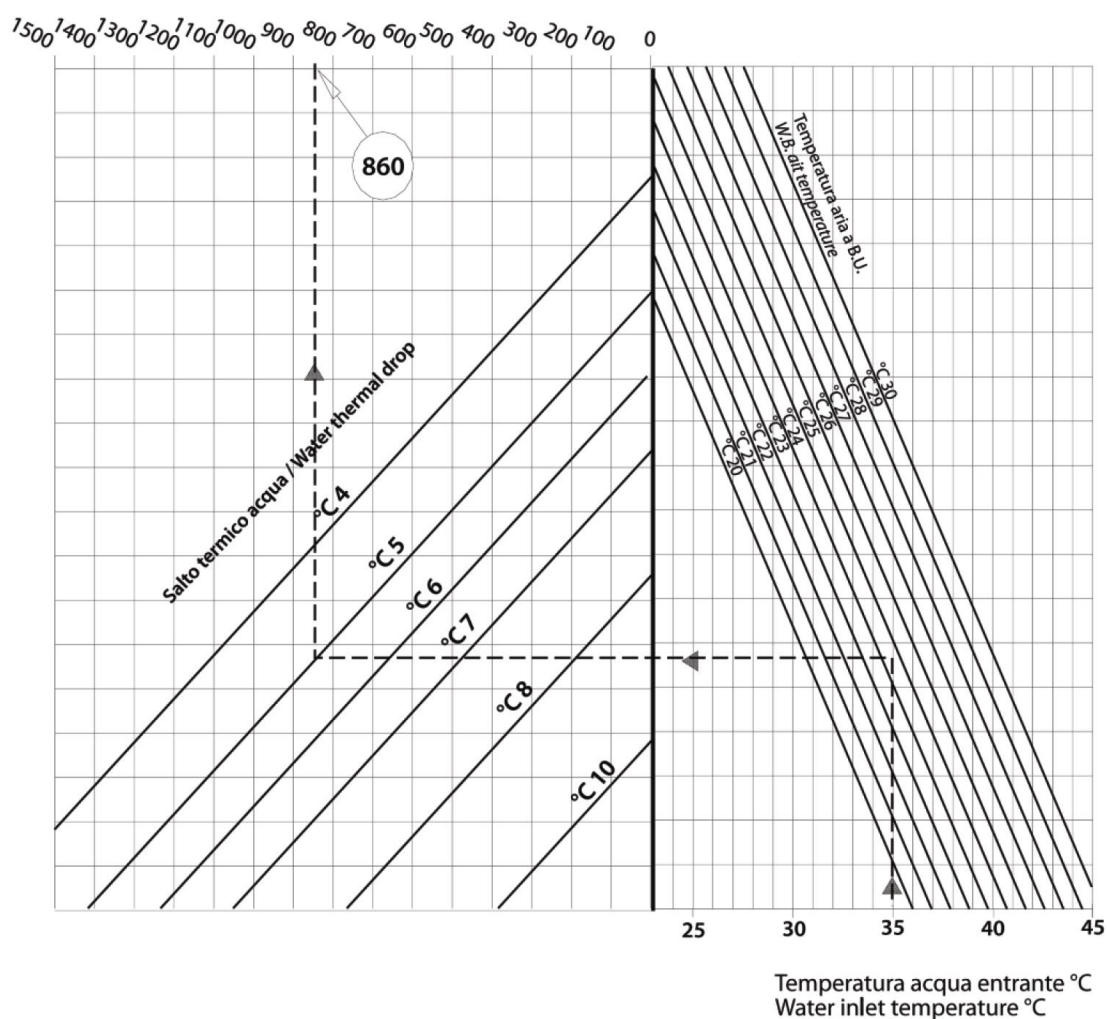
### 2 SELECTION METHOD

#### 2.1 SIZING THE COOLING TOWER

Identify the water temperature at the inlet to the tower, the temperature difference required, the wet bulb temperature of the outside air, and calculate the "K Factor" following the instructions shown on the selection diagram.

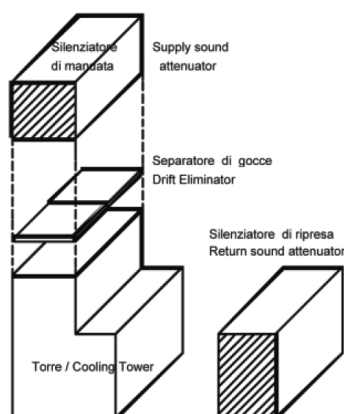
Then divide the water flow-rate by the above value "K"; and the result is the number that indicates the size of the cooling tower. Choose the size of the cooling tower immediately higher than the resulting value (for example, if the result is 272, select model TRS 280). Then read the pressure drop on the corresponding diagram.

**N.B.** When selecting the water pump, do not forget to add the value corresponding to the geodetic height to be overcome, which is 1,870 mm for all models.

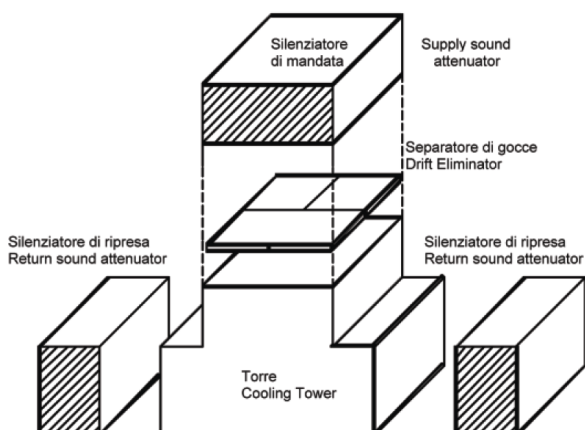


## TRS serie/series

A) Sezioni torre singola / Single cooling tower section



B) Sezioni torre doppia / Double cooling tower section



TRS	DIMENSIONI COLLI PER SPEDIZIONE TORRE SILENZIATA (dimensioni A x B x Altezza in millimetri) SHIPPING DIMENSIONS OF COOLING TOWER and SOUND ATTENUATORS (Dimensions [mm]: A x B x Height)					
	Colli comuni Standard pieces		Colli da aggiungere nelle due diverse configurazioni Additional pieces for the two different solutions			
	Corpo torre (1 collo) Cooling tower (1 piece)	Sparatori di gocce (1 collo) su bancale Drift eliminator (1 piece) on pallet	Torre con attenuazione 10 dB Cooling tower silenced to 10 dB		Torre con attenuazione 20 dB Cooling tower silenced to 20 dB	
			Silenziatore di ripresa Return sound attenuator	Silenziatore mandata Supply sound attenuator	Silenziatore di ripresa Return sound attenuator	Silenziatore mandata Supply sound attenuator
20	1520x1690x2270h	900x600x200h	1 da 1520x650x1350h	1 da 1520x1000x870h	1 da 1520x950x1350h	1 da 1520x1000x117h
25	1520x1690x2270h	900x600x200h	1 da 1520x650x1350h	1 da 1520x1000x870h	1 da 1520x950x1350h	1 da 1520x1000x117h
30	1520x1690x2270h	900x600x200h	1 da 1520x650x1350h	1 da 1520x1000x870h	1 da 1520x950x1350h	1 da 1520x1000x117h
35	1520x1690x2270h	900x600x200h	1 da 1520x650x1350h	1 da 1520x1000x870h	1 da 1520x950x1350h	1 da 1520x1000x117h
40	1520x1690x2270h	900x600x200h	1 da 1520x650x1350h	1 da 1520x1000x870h	1 da 1520x950x1350h	1 da 1520x1000x117h
45	2620x1690x2270h	900x600x400h	1 da 2620x650x1350h	1 da 2620x1000x870h	1 da 2620x950x1350h	1 da 2620x1000x117h
50	2620x1690x2270h	900x600x400h	1 da 2620x650x1350h	1 da 2620x1000x870h	1 da 2620x950x1350h	1 da 2620x1000x117h
60	2620x1690x2270h	900x600x400h	1 da 2620x650x1350h	1 da 2620x1000x870h	1 da 2620x950x1350h	1 da 2620x1000x117h
70	2620x1690x2270h	900x600x400h	1 da 2620x650x1350h	1 da 2620x1000x870h	1 da 2620x950x1350h	1 da 2620x1000x117h
80	2620x1690x2270h	900x600x400h	1 da 2620x650x1350h	1 da 2620x1000x870h	1 da 2620x950x1350h	1 da 2620x1000x117h
90	3170x1690x2270h	900x600x500h	1 da 3170x650x1350h	1 da 3170x1000x870h	1 da 3170x950x1350h	1 da 3170x1000x117h
100	3170x1690x2270h	900x600x500h	1 da 3170x650x1350h	1 da 3170x1000x870h	1 da 3170x950x1350h	1 da 3170x1000x117h
120	2620x2280x2270h	1800x600x400h	2 da 2620x1130x1350h	1 da 2620x2000x870h	2 da 2620x1430x1350h	1 da 2620x2000x117h
140	2620x2280x2270h	1800x600x400h	2 da 2620x1130x1350h	1 da 2620x2000x870h	2 da 2620x1430x1350h	1 da 2620x2000x117h
160	2620x2280x2270h	1800x600x400h	2 da 2620x1130x1350h	1 da 2620x2000x870h	2 da 2620x1430x1350h	1 da 2620x2000x117h
180	3170x2280x2270h	1800x600x500h	2 da 3170x1130x1350h	1 da 3170x2000x870h	2 da 3170x1430x1350h	1 da 3170x2000x117h
200	3170x2280x2270h	1800x600x500h	2 da 3170x1130x1350h	1 da 3170x2000x870h	2 da 3170x1430x1350h	1 da 3170x2000x117h
240	5040x2280x2270h	1800x600x800h	2 da 5040x1130x1350h	1 da 5040x2000x870h	2 da 5040x1430x1350h	1 da 5040x2000x117h
280	5040x2280x2270h	1800x600x800h	2 da 5040x1130x1350h	1 da 5040x2000x870h	2 da 5040x1430x1350h	1 da 5040x2000x117h
320	5040x2280x2270h	1800x600x800h	2 da 5040x1130x1350h	1 da 5040x2000x870h	2 da 5040x1430x1350h	1 da 5040x2000x117h
360	6140x2280x2270h	1800x600x1000h	2 da 6140x1130x1350h	1 da 6140x2000x870h	2 da 6140x1430x1350h	1 da 6140x2000x117h
400	6140x2280x2270h	1800x600x1000h	2 da 6140x1130x1350h	1 da 6140x2000x870h	2 da 6140x1430x1350h	1 da 6140x2000x117h