

## EVAPORATORI

$$\dot{q} = UA \left[ \frac{(t_i - t_r) - (t_o - t_r)}{\ln \frac{(t_i - t_r)}{(t_o - t_r)}} \right]$$

$$\dot{q} = UA \left[ \frac{(t_i - t_o)}{\ln \frac{(t_i - t_r)}{(t_o - t_r)}} \right]$$

$$\dot{q} = \dot{m}c_p \left[ 1 - e^{\left( \frac{UA}{\dot{m}c_p} \right)} \right] (t_i - t_r) = \text{FACTOR} \times (t_i - t_r)$$

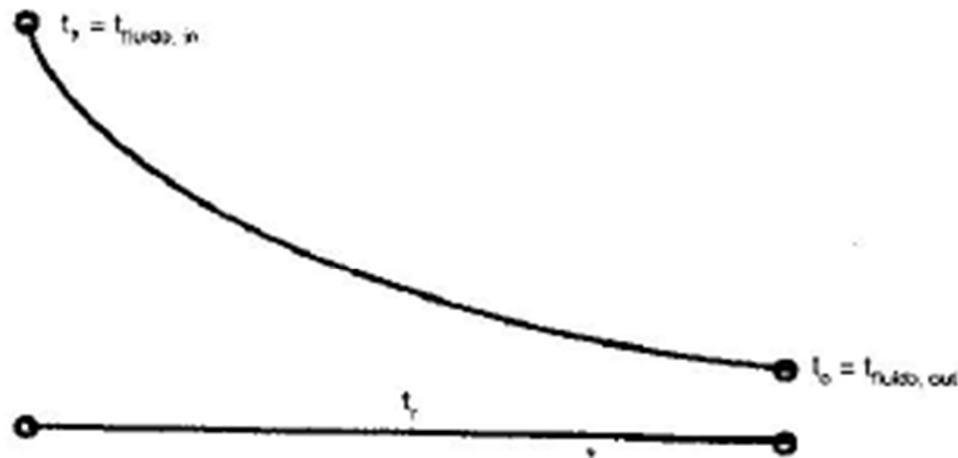


Figura 6.7 - Distribuzione delle temperature del refrigerante e del fluido da raffreddare in un evaporatore.

## EVAPORATORI - TIPOLOGIE

- ESPANSIONE DIRETTA
- EVAPORATORI ALLAGATI
- RICIRCOLAZIONE DI LIQUIDO

# EVAPORATORI A ESPANSIONE DIRETTA

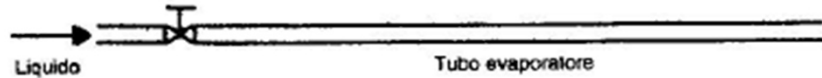
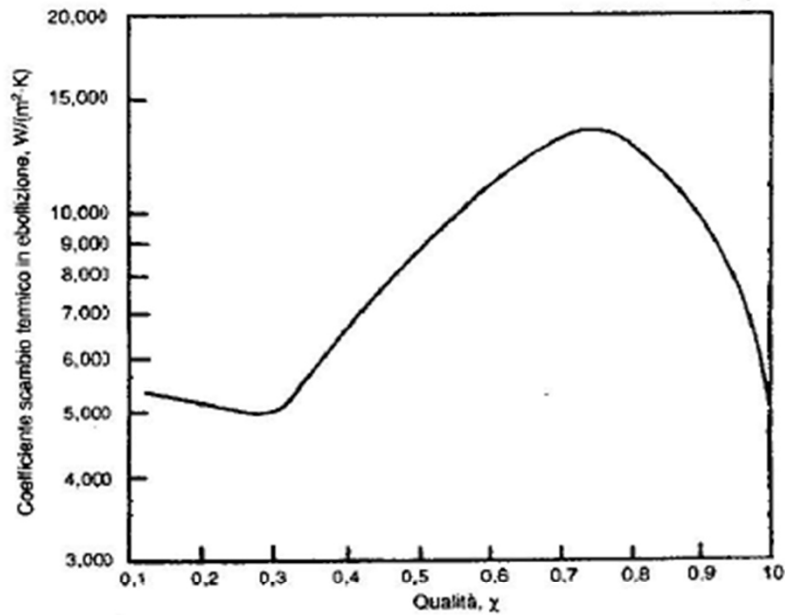


Figura 6.8 - Coefficiente di scambio di calore con evaporazione del refrigerante all'interno del tubo dell'evaporatore<sup>1</sup>.

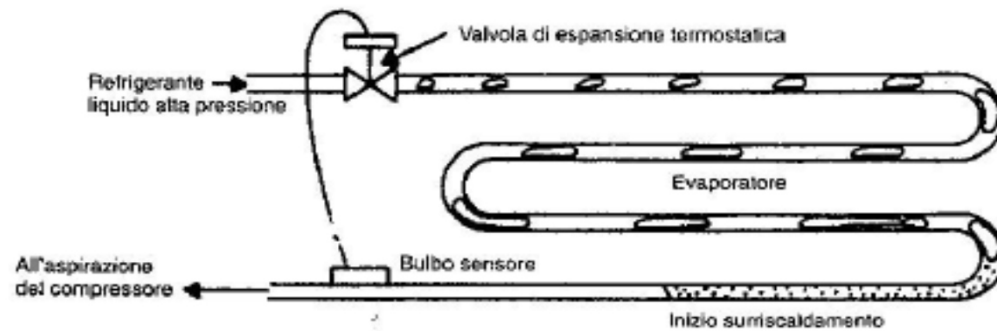
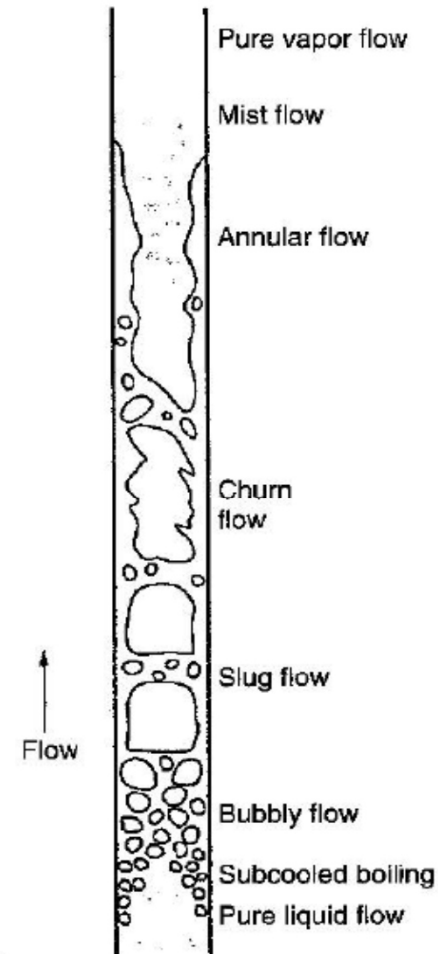


Figura 6.9 - Valvola di espansione termostatica in una configurazione valvola di espansione diretta/batteria evaporante.



## FLOW PATTERNS PER EVAPORATORI

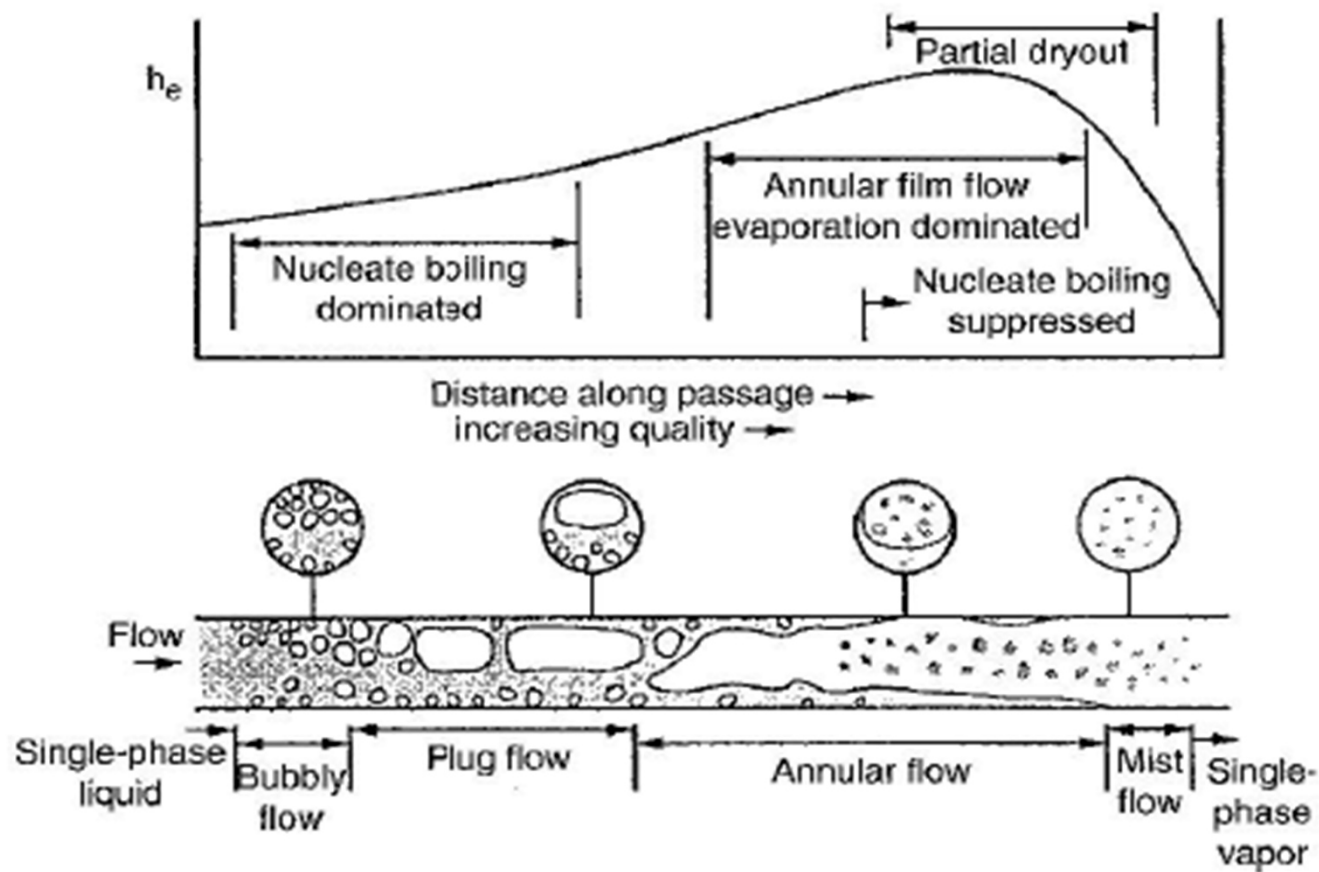


Figure 13.2 Flow patterns for complete vaporization in a horizontal tube. (From Carey [1992].)

# EVAPORATORI ALLAGATI

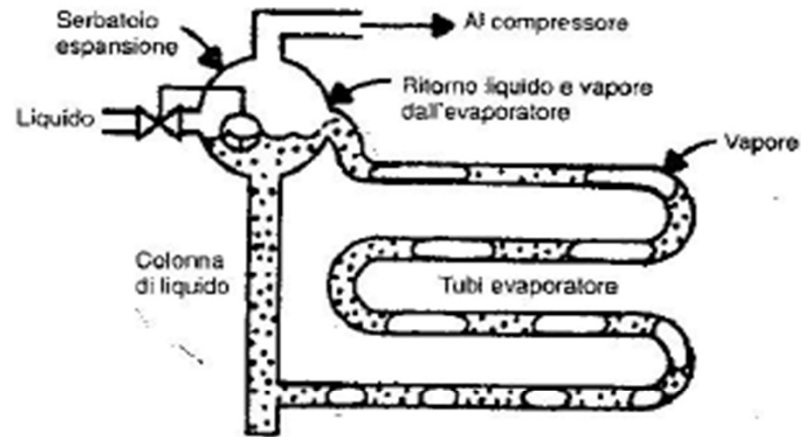
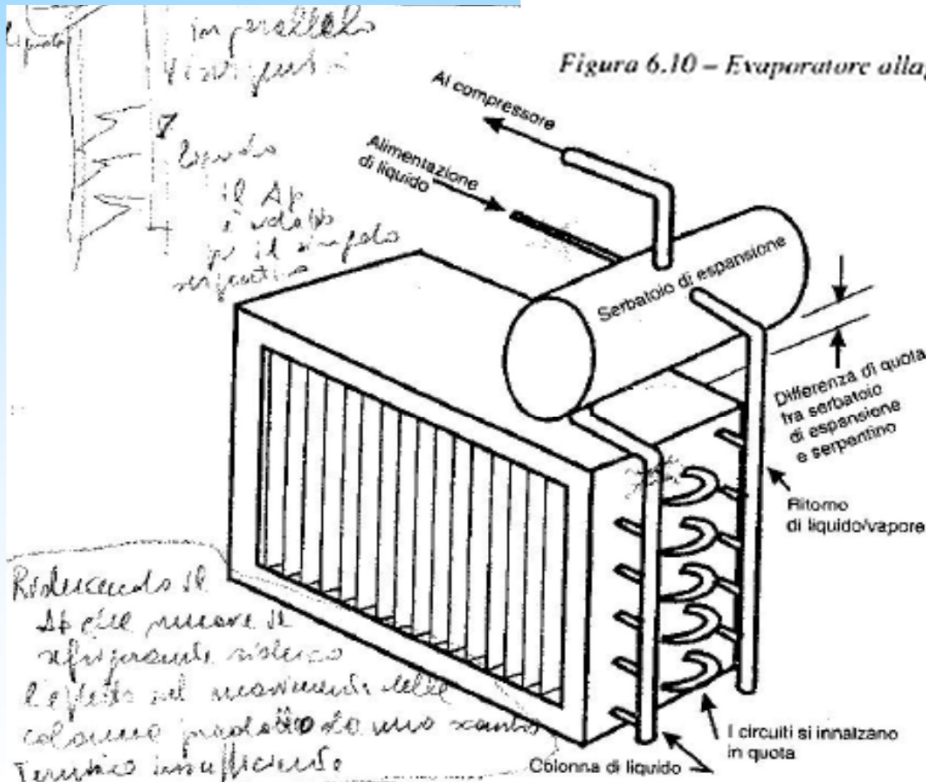


Figura 6.10 - Evaporatore allagato.



*Riduzione di Ap che riduce il refrigerante nel sistema e l'effetto nel movimento delle colonne parallele da uno scatto troppo insufficiente*

Tabella 6.3 - Riduzione dello scambio di calore nell'evaporatore a causa della pressione statica del liquido nell'evaporatore.

Temperatura di evaporazione	Aumento della temperatura di evaporazione, °C per m	
	R-22	Ammoniaca
0 °C	0,774	0,392
-40 °C	2,810	1,770

Figura 6.11 - Evaporatore allagato di raffreddamento aria per applicazioni a bassa temperatura.

## EVAPORATORI A RICIRCOLAZIONE DI LIQUIDO

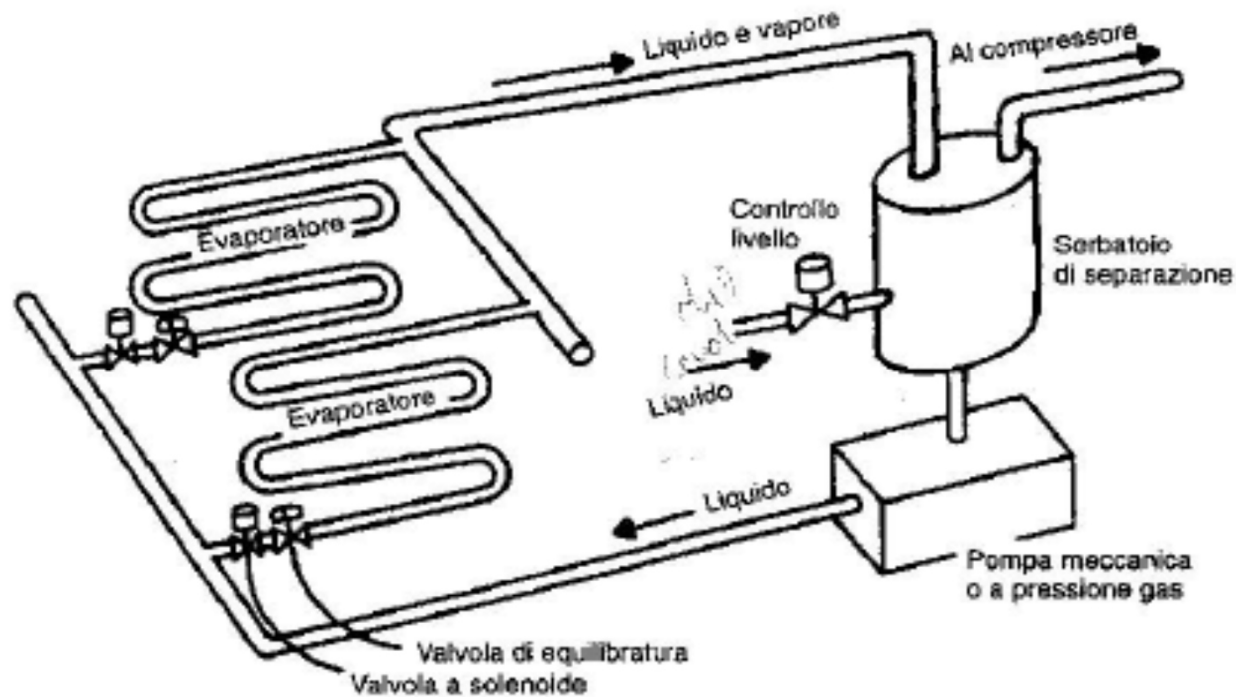
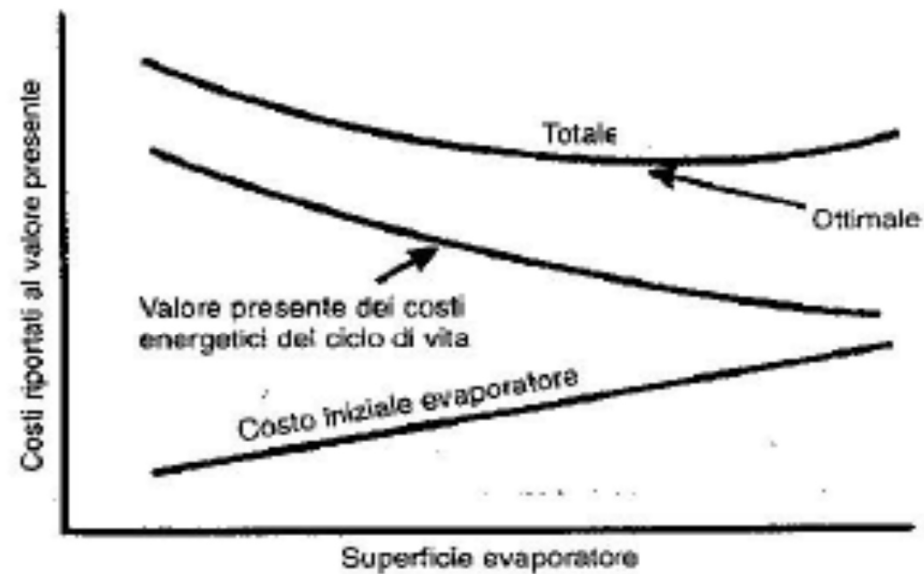


Figura 6.12 – Ricircolazione forzata di liquido.

## EVAPORATORI

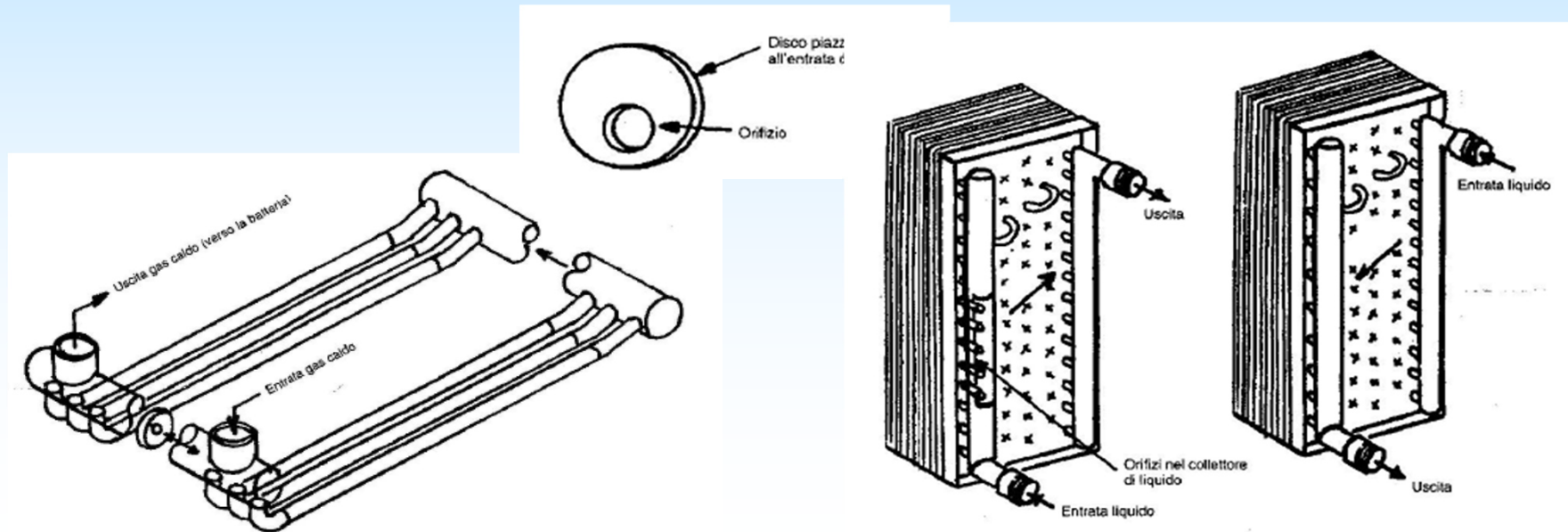
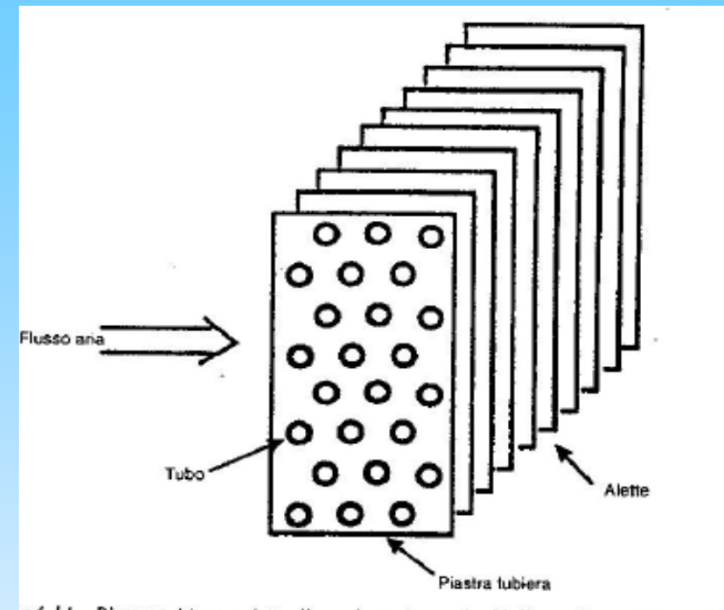


*Figura 6.13 – Superficie ottimale di un evaporatore rispetto a un minimo totale del suo costo iniziale e valore presente del costo energetico della vita del compressore.*

# BATTERIE DI RAFFREDDAMENTO ARIA

## ELEMENTI COSTITUTIVI

- tubi
- piastre tubiere (tubi allineati o sfalsati)
- circuitazione
- dischi e orifici di bilanciamento
- Bacinella di raccolta (con riscaldatori)
- Circuiti, spessore, area frontale, velocità frontale, collettore, passaggio, superficie primaria, curvette, superficie secondaria, differenza di temperatura (2 diff.)





## BATTERIE DI RAFFREDDAMENTO ARIA

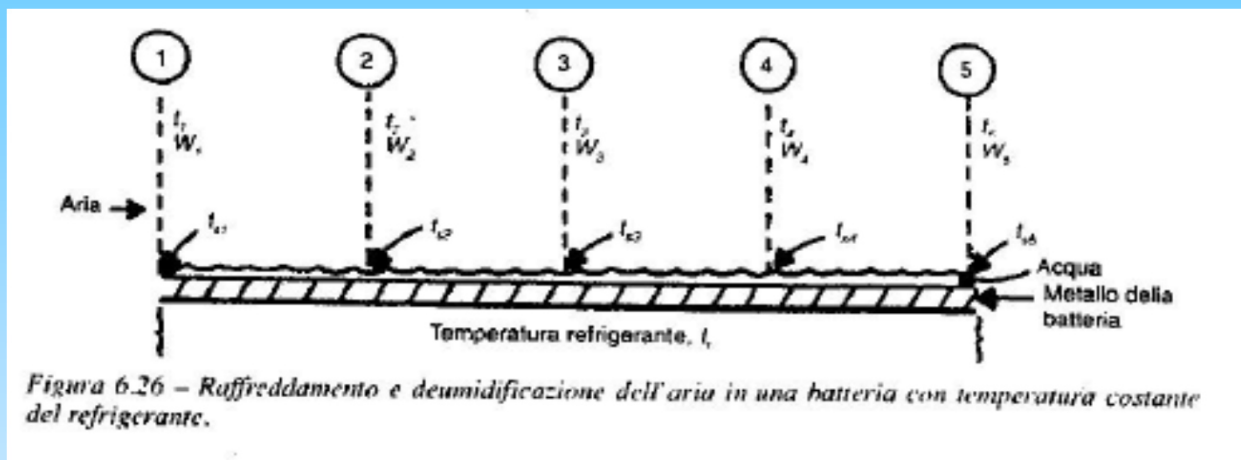


Figura 6.26 – Raffreddamento e deumidificazione dell'aria in una batteria con temperatura costante del refrigerante.

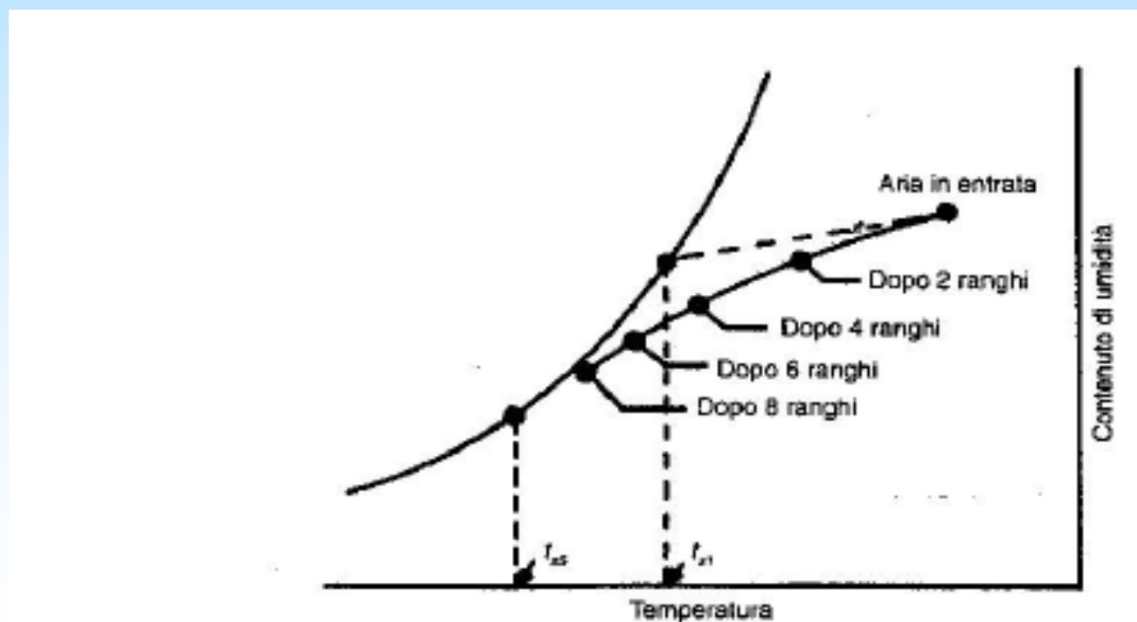


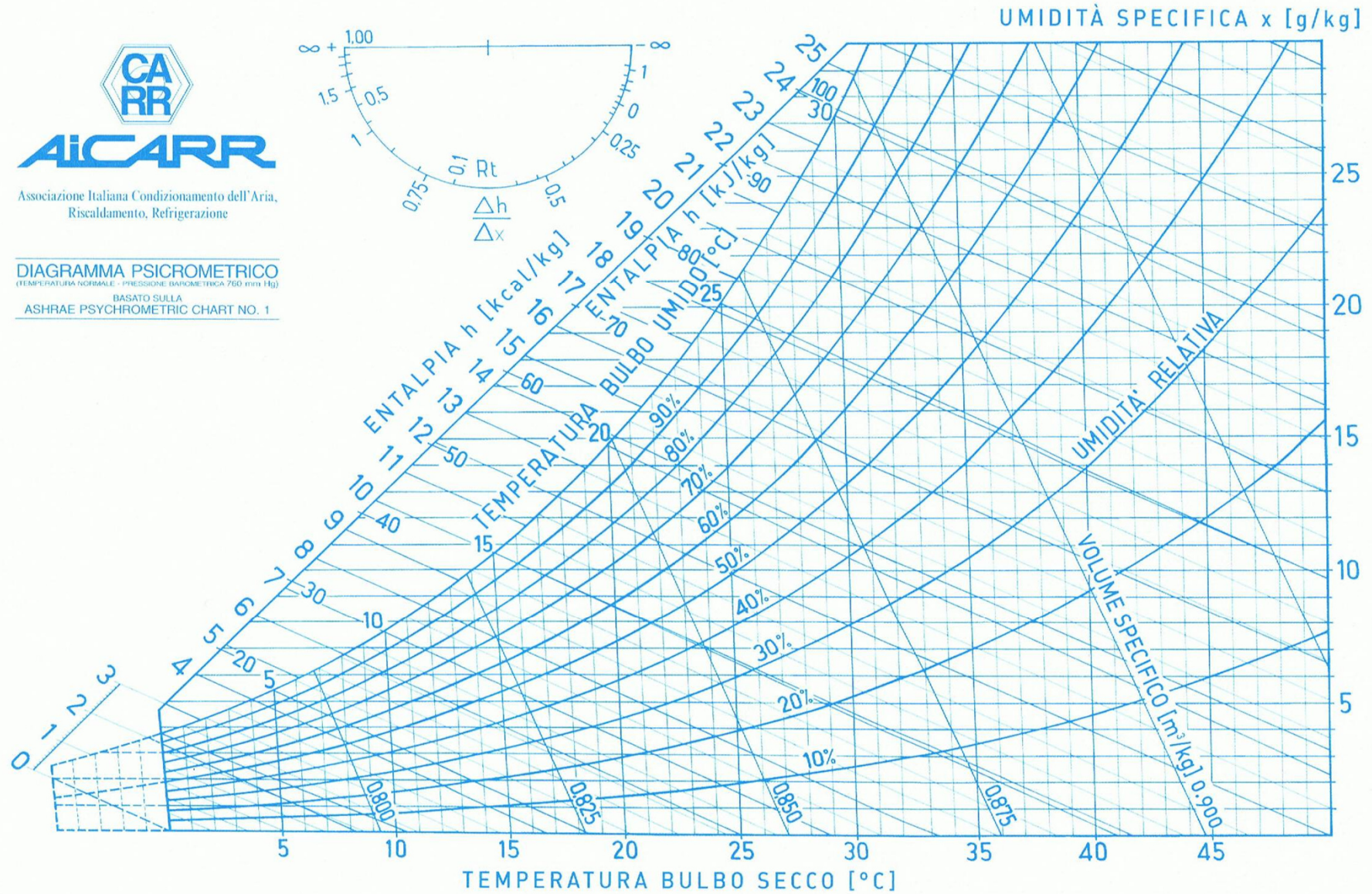
Figura 6.27 – Curva delle condizioni nella batteria



**AICARR**

Associazione Italiana Condizionamento dell'Aria,  
Riscaldamento, Refrigerazione

**DIAGRAMMA PSICROMETRICO**  
(TEMPERATURA NORMALE - PRESSIONE BAROMETRICA 760 mm Hg)  
BASATO SULLA  
ASHRAE PSYCHROMETRIC CHART NO. 1



## BATTERIE DI RAFFREDDAMENTO ARIA

**Tabella 6.5 – Influenza dei parametri di progetto e operativi sulle condizioni di uscita dell'aria da una batteria evaporante.**

Parametro, aumento di:	Effetto sulle condizioni di uscita dell'aria			Dati costruttivi e operativi
	Temperatura	Contenuto di umidità	Capacità frigorifera	
Area frontale	Più bassa	Più bassa	Più alta	Dipende dalla capacità frigorifera
Numero di ranghi di tubi	Più basso	Più basso	Più alto	Da 4 a 8 ranghi
Numero di alette per m	Più basso	Più basso	Più alto	Da 115 a 300 per m
Portata di aria	Più alta	Più alta	Più alta	Velocità frontale da 2 a 4 m/s
Temperatura refrigerante	Più alta	Più alta	Più bassa	Da 3 a 8 °C sotto la temperatura di entrata dell'aria

## BATTERIE DI RAFFREDDAMENTO ARIA

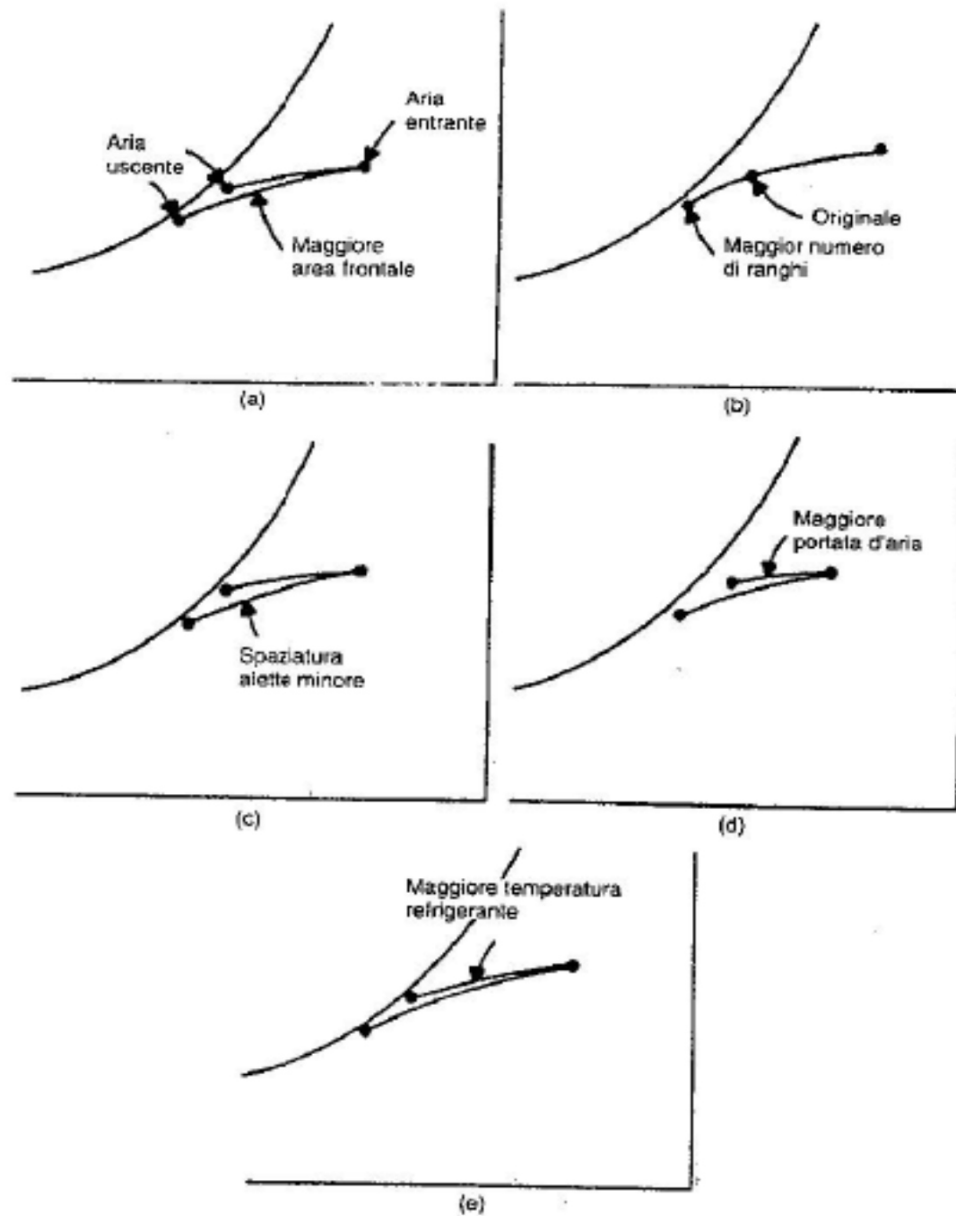


Figura 6.28 – Influenza dei parametri di progetto e operativi sulle condizioni di uscita dell'aria da una batteria.

## EVAPORATORI

$$qkW = R (t_{aria, in} - t_{refrig})$$

dove:

$R$  = calore scambiato, kW/°C

Tabella 6.6 – Estratto di tabella di resa di un aereoevaporatore con doppio ventilatore.

Modello	HP Ventil. Cad.	158 Alette per metro				118 Alette per metro			
		Senza PSE		PSE = 7 mm c.a.		Senza PSE		PSE = 7 mm c.a.	
		kW per °C, DT	Portata m³/s	kW per °C, DT	Portata m³/s	kW per °C, DT	Portata m³/s	kW per °C, DT	Portata m³/s
2S-536	1,5	10	14,7			9,3	15,2		
2S-538		12,5	14,2			11,1	14,9		
2S-5310		13,8	13,9			13,1	14,3		
2S-536	2	10,9	17,2	10,2	15,1	10,1	18,1	9,5	15,5
2S-538		13,2	16,8	12,3	14,6	12,4	17,9	11,3	15,1
2S-5310		15,2	16,5	14,1	14,2	14,5	17,2	13,4	14,8
2L-536	3	11,0	17,5	10,5	16,2	10,2	18,5	9,7	17,0
2L-538		13,4	17,4	12,9	15,8	12,5	18,2	12,1	16,6
2L-5310		15,5	17,0	14,9	15,6	14,8	17,9	14,1	16,5
2L-536	5	12,6	22,5	12,1	21,1	11,7	23,7	15,4	22,1
2L-538		15,5	22,3	14,9	20,6	14,8	23,2	13,7	21,6
2L-5310		17,8	21,6	17,1	20,1	17,0	22,5	16,2	21,1
2L-536	7,5	13,8	26,6	13,6	25,6	12,9	27,0	12,6	26,1
2L-538		17,5	25,4	16,8	24,4	16,4	25,8	15,6	24,8
2L-5310		19,4	24,6	18,7	23,6	18,5	25,4	17,8	24,0

# VENTILATORI

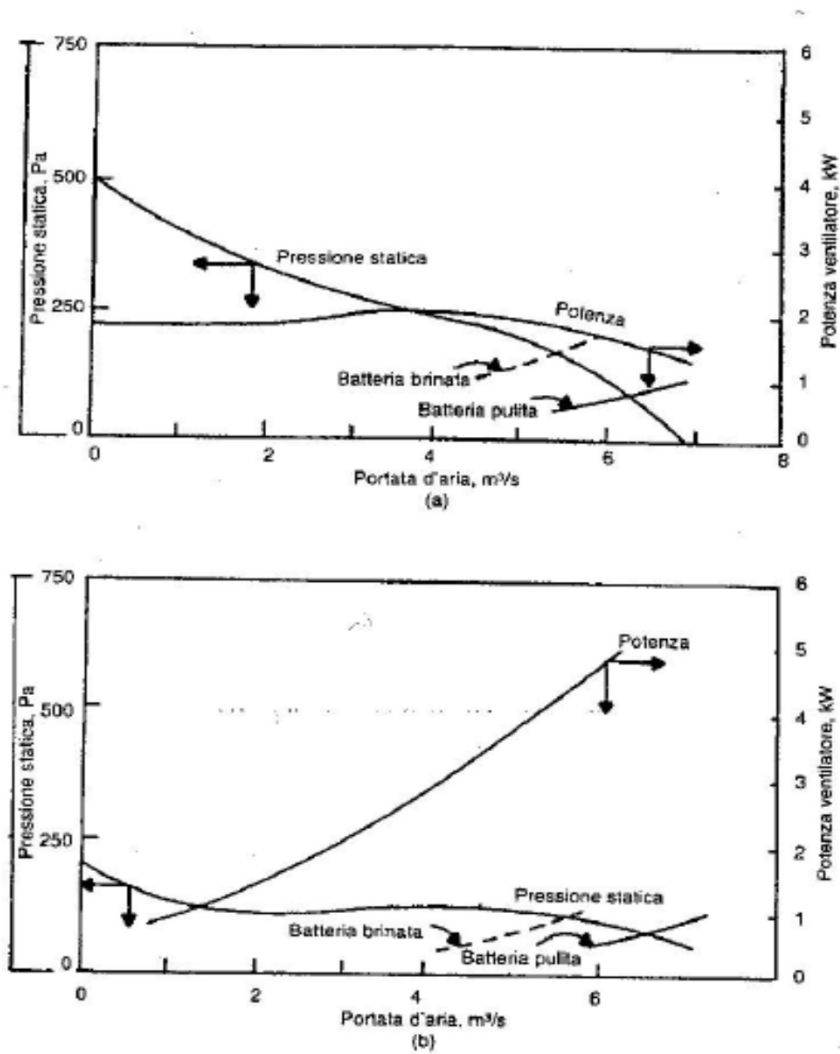


Figura 6.34 - Curve di pressione statica e di potenza per (a) ventilatore elicoidale, e (b) ventilatore centrifugo, entrambi funzionanti a velocità costanti.

# BRINAMENTO

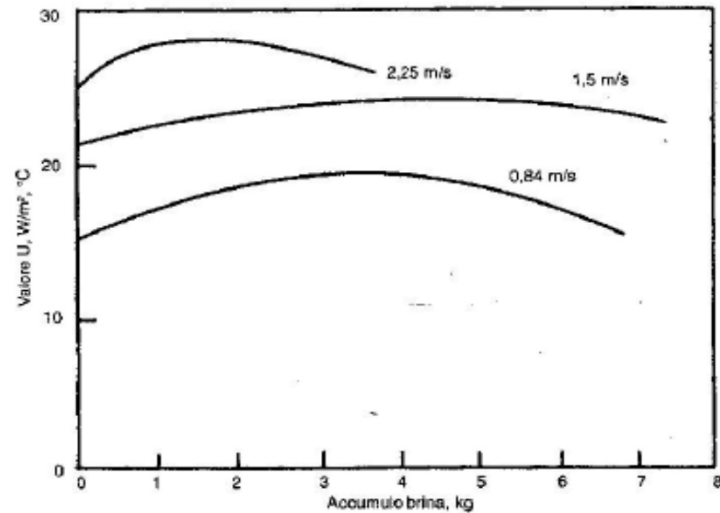


Figura 6.39 – Variazione del coefficiente di scambio termico globale  $U$  in una batteria a 5 ranghi brinata, per tre diverse velocità dell'aria<sup>12</sup> (spaziatura fra le alette di 6,4 mm, entrata aria a 0 °C con 72% umidità relativa).

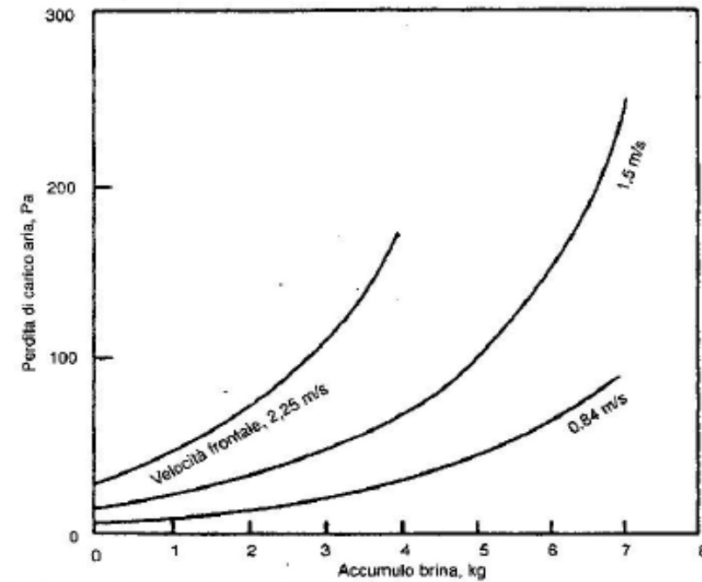


Figura 6.40 – Perdita di carico sull'aria prodotta dall'accumulo di brina sull'evaporatore descritto nella figura 6.39.

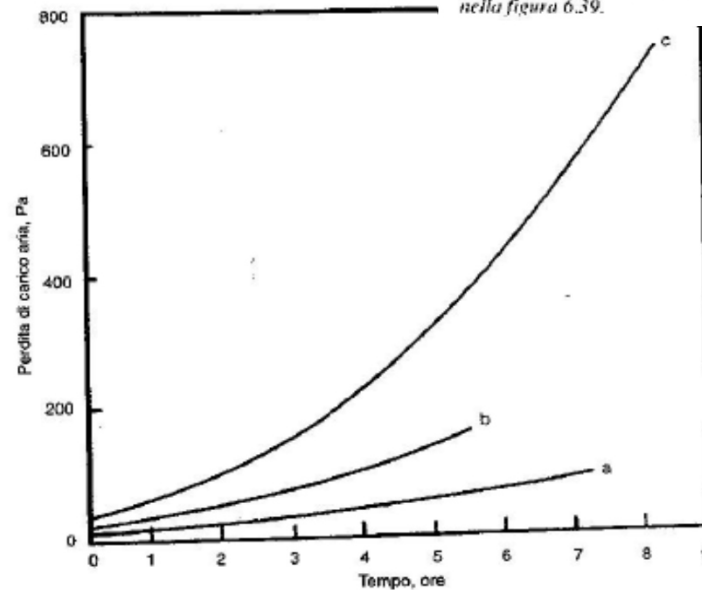


Figura 6.41 – Aumento, nel tempo, della perdita di carico aria per diverse spaziature delle alette. La velocità frontale è di 3,2 – 3,4 m/s. L'umidità relativa dell'aria entrante è del 82%. Le spaziature delle alette sono: Curva a, 15 mm; Curva b, 10 mm; Curva c, 7,5 mm<sup>13</sup>.

## SBRINAMENTO A GAS CALDO

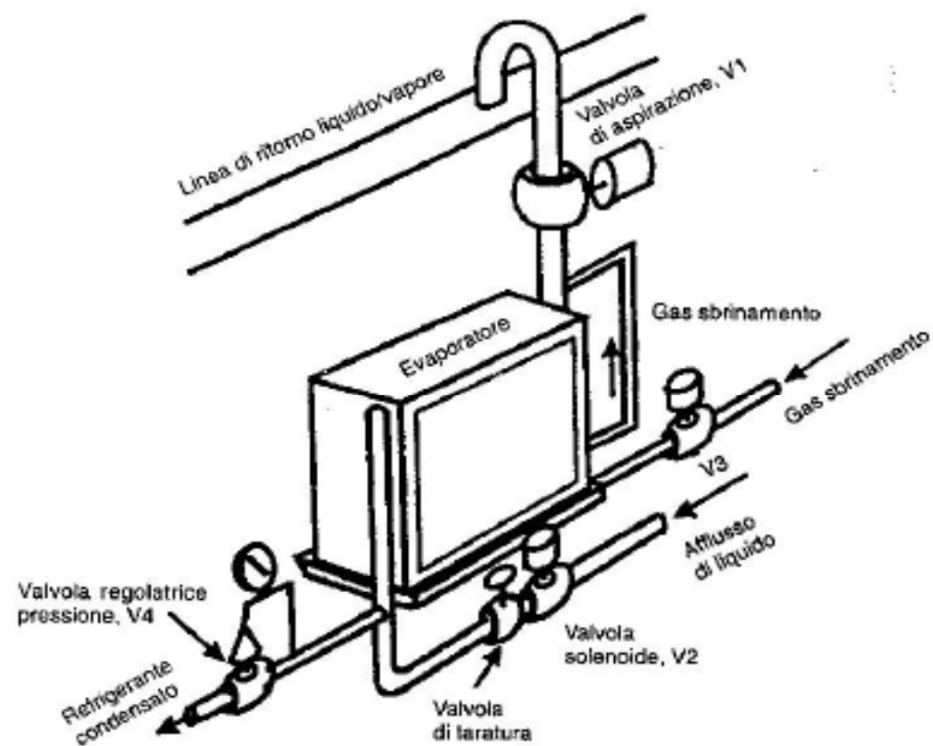


Figura 6.43 – Elementi di un evaporatore a ricircolazione di liquido con alimentazione dal basso e munito di sbrinamento a gas caldo.

Tabella 6.9 – Condizione delle valvole della figura 6.43 durante il funzionamento normale dell'impianto e durante lo sbrinamento.

Funzionamento	V1	V2	V3	V4
Normale	Aperta	Aperta	Chiusa	Chiude, per cercare di aumentare la pressione
Sbrinamento	Chiusa	Chiusa	Aperta	Apri, quando la pressione nell'evaporatore supera il punto di taratura



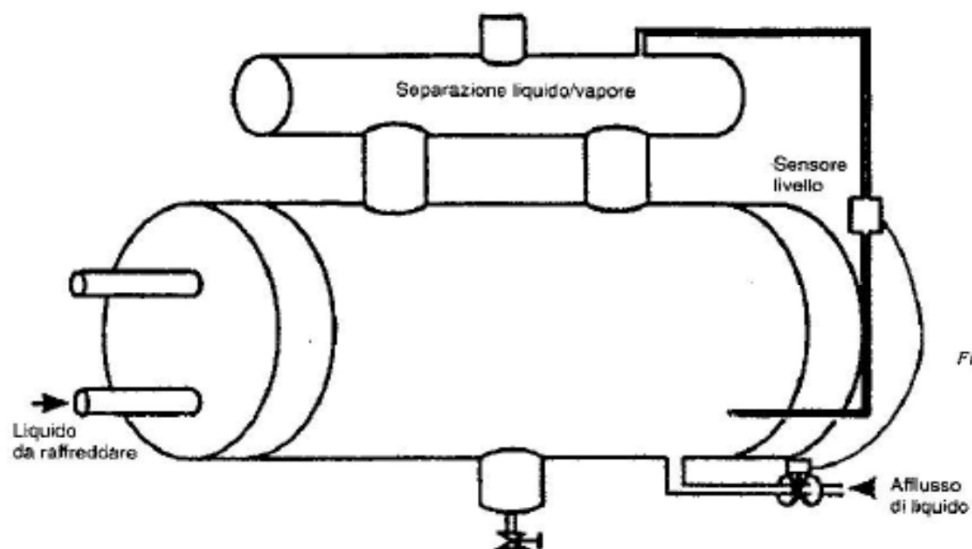


Figura 6.58 – Evaporatore a fascio tubolare con refrigerante nel mantello e un serbatoio ausiliario posto al disopra dell'evaporatore per facilitare la separazione di liquido dal vapore.

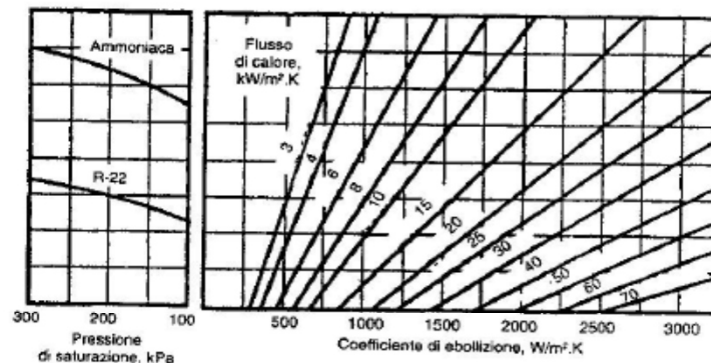


Figura 6.59 – Coefficiente di scambio termico per ebollizione del refrigerante da un cilindro orizzontale.

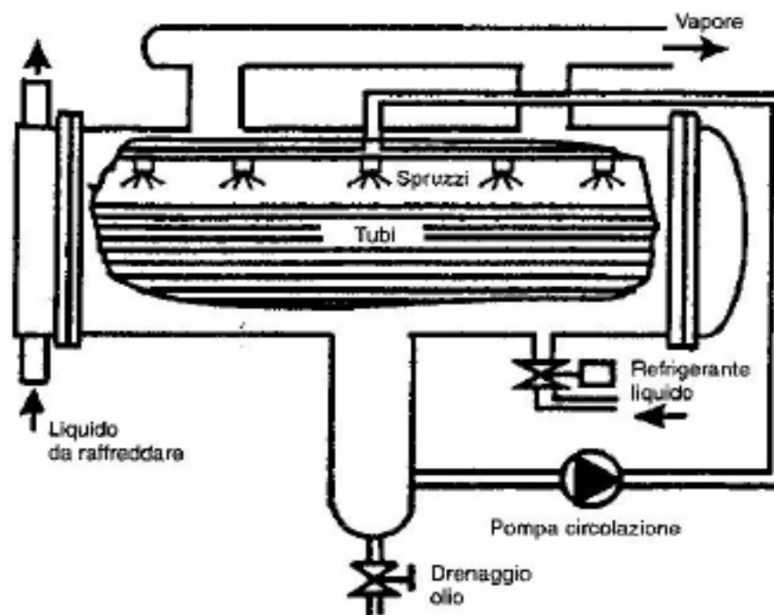


Figura 6.60 – Evaporatore frigorifero del tipo a tubi spruzzati.

# CONDENSATORI

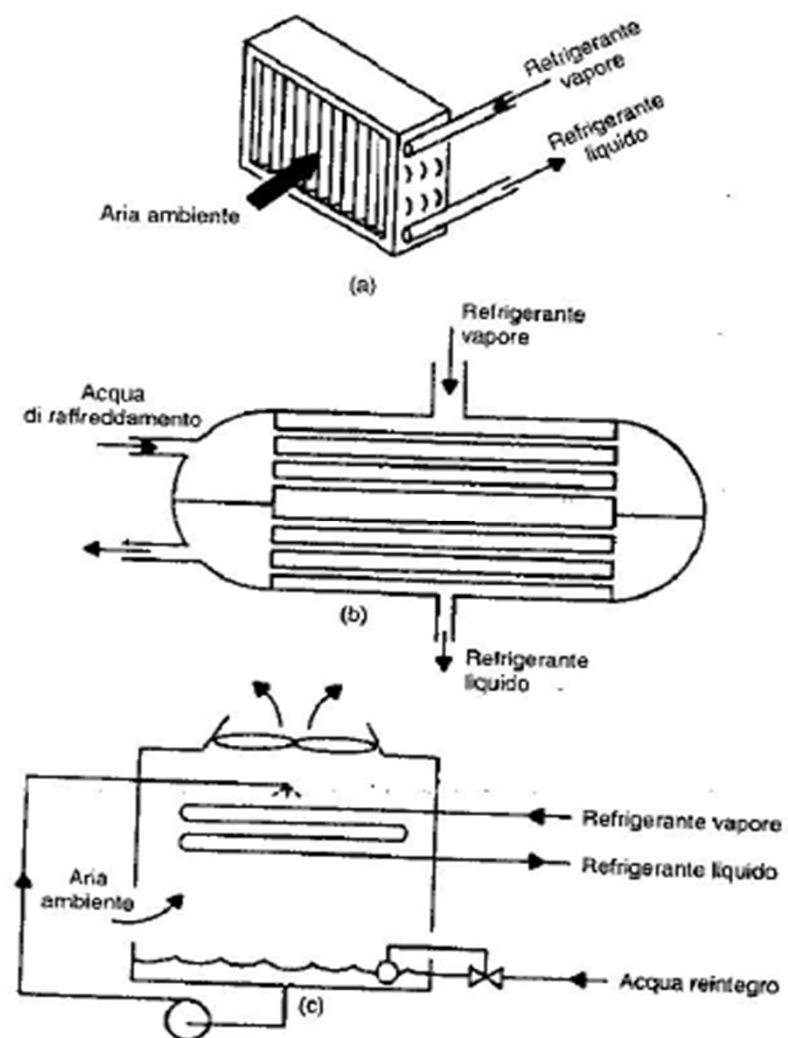


Figura 7.2 – Tipi di condensatori: (a) ad aria, (b) ad acqua e (c) evaporativo.

# CONDENSATORI

$$h_c = 0,943 \left( \frac{g \rho^2 \cdot h_{fg} \cdot k^3}{\mu \cdot \Delta t \cdot L} \right)^{1/4}$$

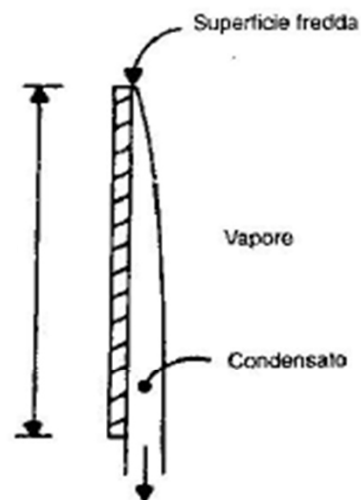


Figura 7.3 – Condensazione di un vapore su una superficie piana verticale.

$$h_c = 0,64 \left( \frac{g \rho^2 \cdot h_{fg} \cdot k^3}{\mu \cdot \Delta t \cdot N \cdot D} \right)^{1/4}$$

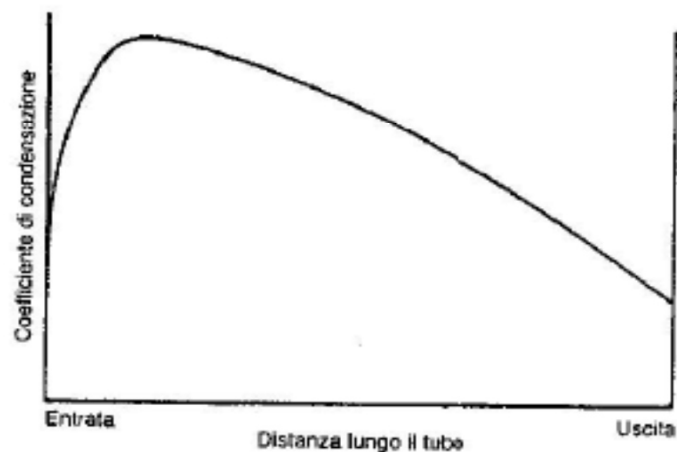


Figura 7.4 – Variazioni del coefficiente di condensazione all'interno di un tubo.

Tabella 7.1 – Coefficiente di condensazione all'esterno del tubo per vari refrigeranti. La temperatura di condensazione è di 30 °C e si hanno sei tubi di diametro 25 mm su una fila verticale.

Refrigerante	Coefficiente di condensazione, W/m <sup>2</sup> ·°C
R-22	1142
R-134a	1046
Ammoniaca	5096

## CONDENSATORI

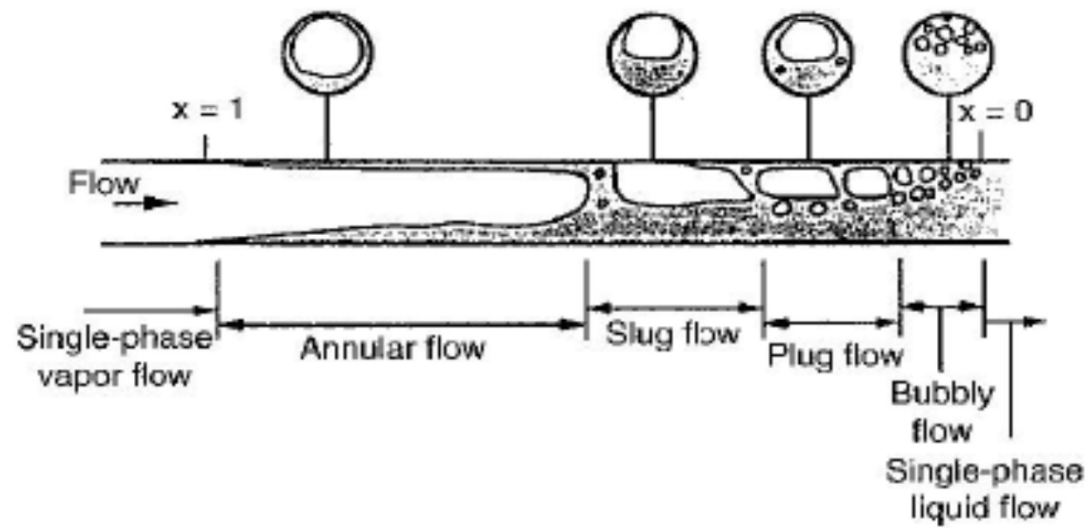
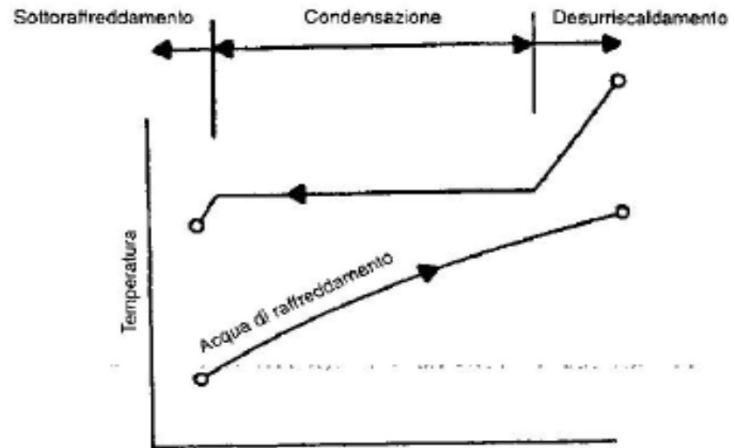
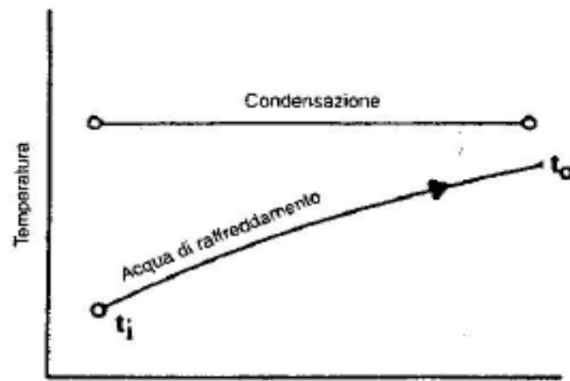


Figure 13.3 Flow patterns for complete condensation in a horizontal tube. (From Carcy [1992].)

# CONDENSATORI



(a)



(b)

Figura 7.6 – Profili di temperatura (a) effettivi e (b) idealizzati, in un condensatore raffreddato ad acqua.

$$\dot{q} = UA \left[ \frac{(t_i - t_o)}{\ln \frac{(t_i - t_r)}{(t_o - t_r)}} \right]$$

## CONDENSATORI

$$\dot{q} = UA \left[ \frac{(t_o - t_i)}{\ln \frac{(t_c - t_i)}{(t_c - t_o)}} \right]$$

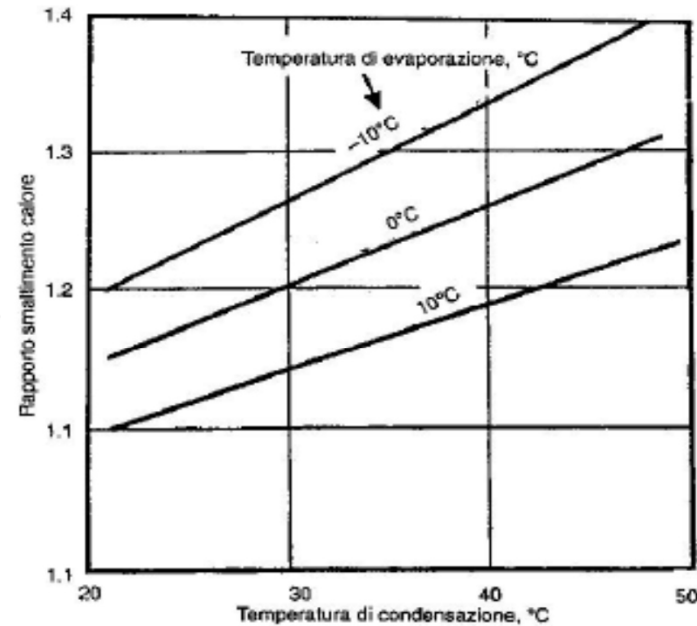


Figura 7.5 - Valori tipici del rapporto fra calore smaltito al condensatore e capacità frigorifera, HRR, per ammoniaca e refrigeranti alocarbururi.

$$HRR = \frac{\text{capacità frigorifera} + \text{potenza compressore}}{\text{capacità frigorifera}}$$

$$HRR = \left( \frac{T_{cond}}{T_{evap}} \right)^{1,7}$$

## TORRE DI RAFFREDDAMENTO

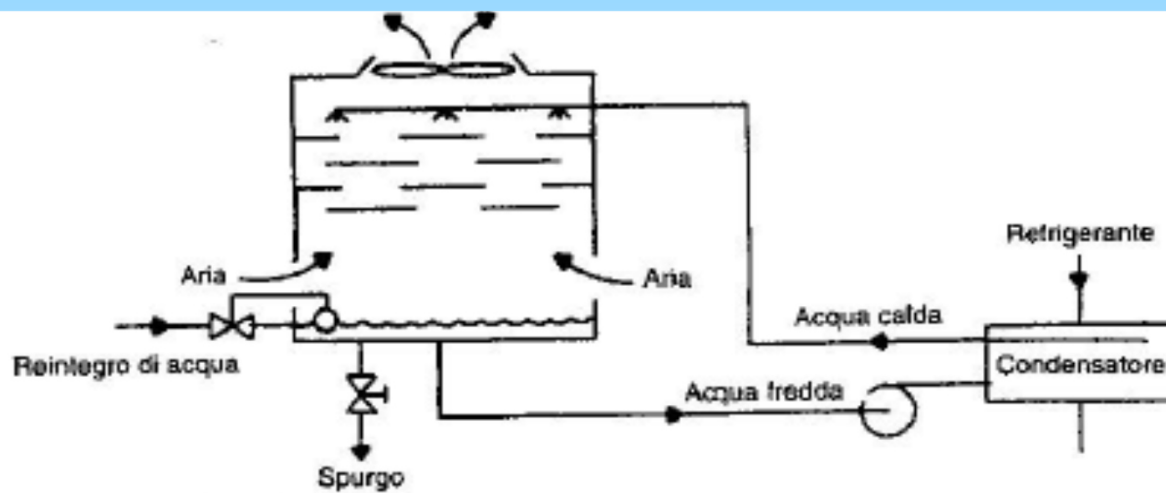


Figura 7.8 – Torre di raffreddamento.

# TORRE DI RAFFREDDAMENTO

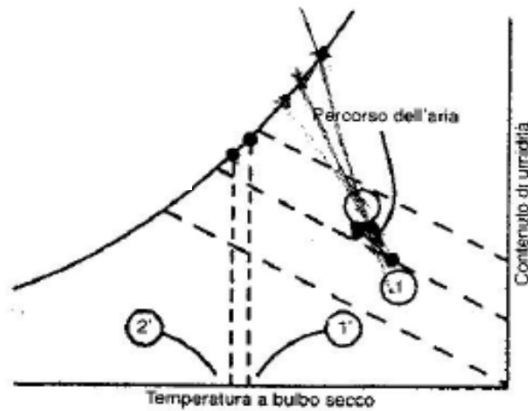


Figura 7.10 – Quando la temperatura dell'acqua è maggiore di quella a bulbo bagnato dell'aria, l'umidità dell'aria aumenta e la temperatura dell'acqua diminuisce.



Figura 7.11 – Condizioni dell'aria e dell'acqua di una torre di raffreddamento del tipo a controcorrente.

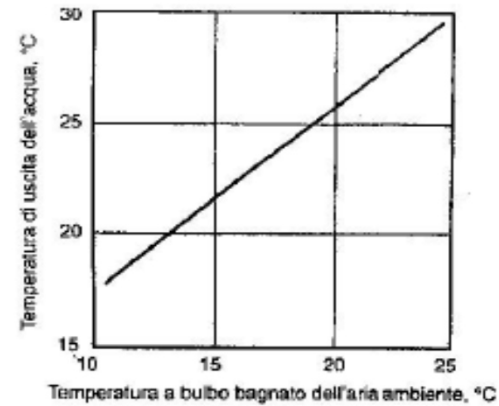


Figura 7.12 – Variazione della temperatura dell'acqua in uscita da una torre di raffreddamento con il variare della temperatura a bulbo bagnato dell'aria entrante. Il carico termico e la portata d'acqua rimangono costanti.



## CONDENSATORI EVAPORATIVI

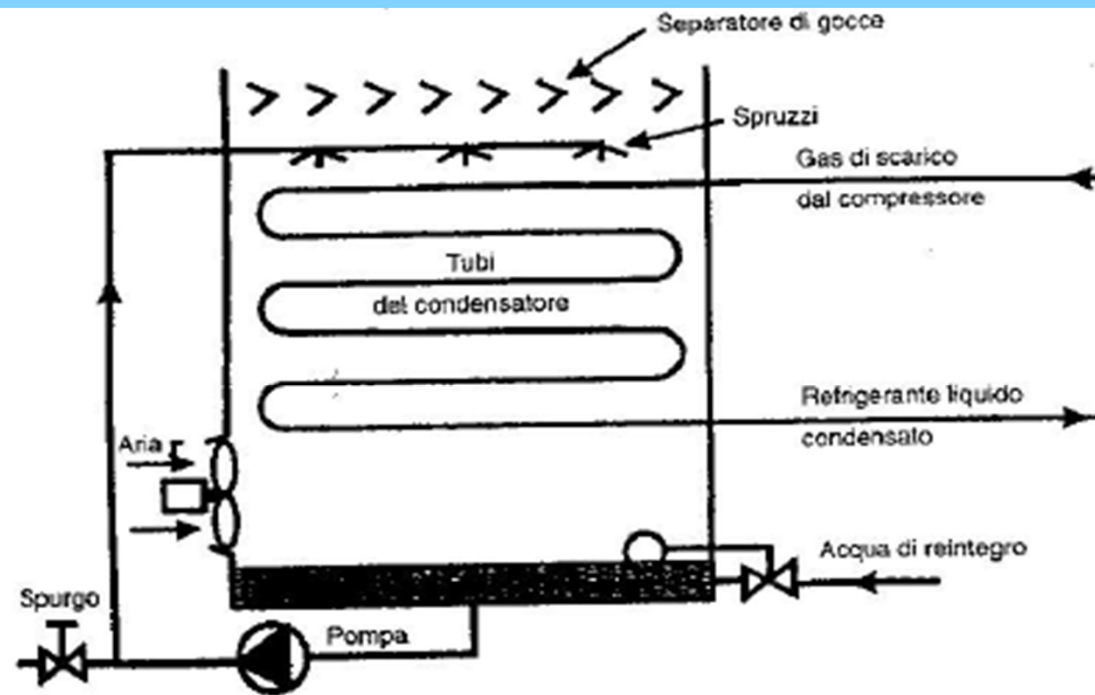


Figura 7.13 – Condensatore evaporativo.

# CONDENSATORI EVAPORATIVI

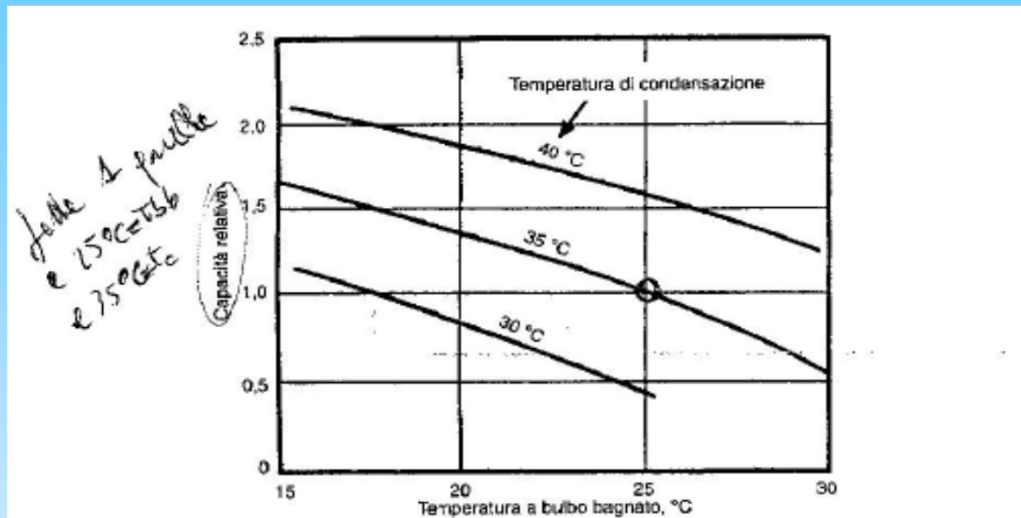


Figura 7.15 – Variazione della capacità di un condensatore evaporativo ad ammoniaca in funzione delle temperature di condensazione e a bulbo bagnato. Il punto di riferimento è di 35 °C per la temperatura di condensazione e di 25 °C per quella a bulbo bagnato.

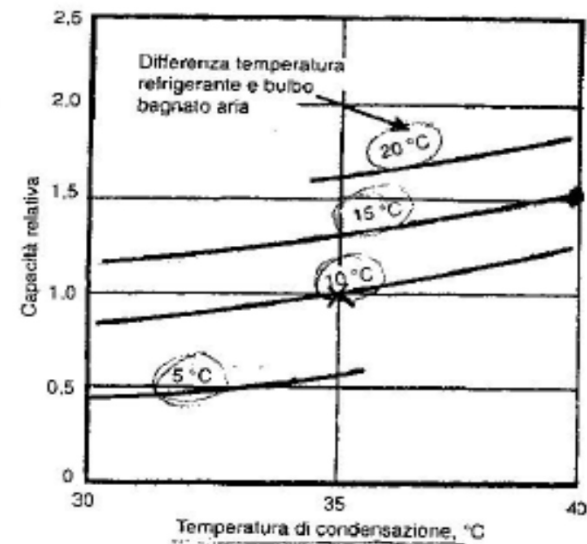


Figura 7.16 – Influenza sulla capacità del livello di temperatura di condensazione e della differenza di temperatura fra refrigerante e bulbo bagnato dell'aria.

## CONFRONTO

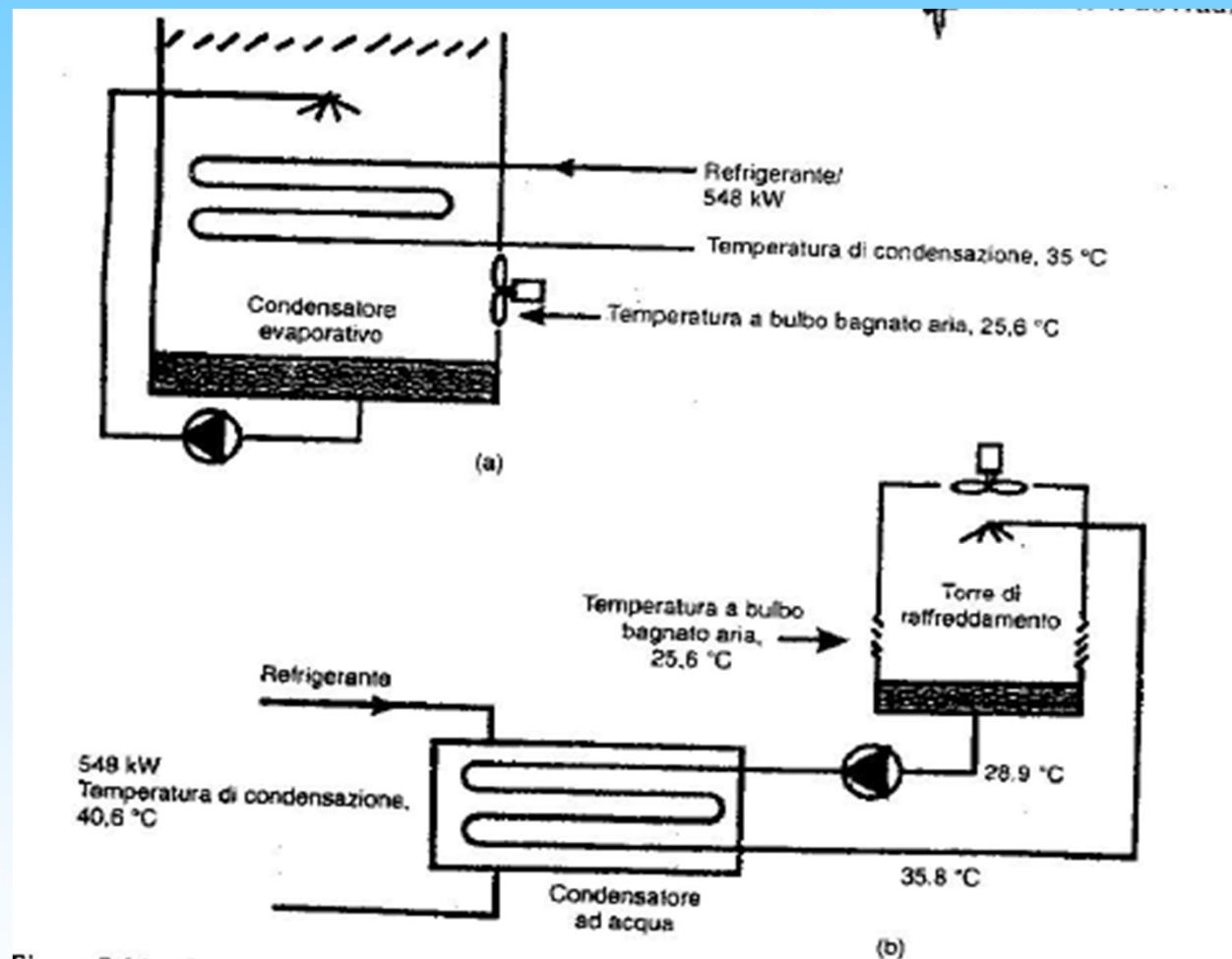


Figura 7.14 – Con un condensatore evaporativo si ottiene una temperatura di condensazione minore di quella che si ha con un condensatore ad acqua combinato con una torre di raffreddamento.

## SCELTA DI UN CONDENSATORE EVAPORATIVO

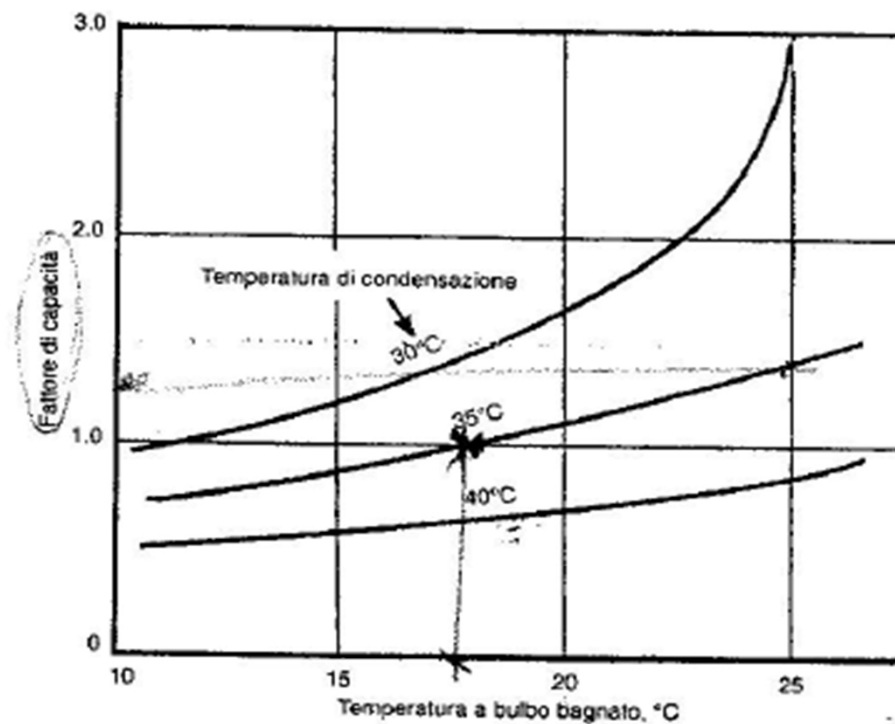


Figura 7.17 – Fattore di capacità per la scelta di un condensatore evaporativo congiuntamente alla tabella 7.2, usando il metodo di capacità del condensatore.

Tabella 7.2 – Capacità nominali di una serie di condensatori evaporativi.

Modello	Calore smaltito kW	Modello	Calore smaltito kW
A	452	F	711
B	517	G	797
C	561	H	883
D	603	I	991
E	643	J	1077