



### **COP per ciclo di pompa di calore**

In questo caso l'effetto richiesto è il riscaldamento. Quindi si deve considerare la somma dell'effetto frigorifero e l'equivalente termico del lavoro di compressione, che costituisce il calore disponibile. Essa va divisa per l'equivalente termico del lavoro di compressione:

$$\text{COP} = \frac{\text{effetto frigorifero} + \text{calore di compressione}}{\text{calore di compressione}}$$

Con riferimento ancora alla figura 1, il valore di COP che si ottiene è:

$$\text{COP} = \frac{(E_{C'} - E_{B'}) + (E_D - E_F)}{(E_D - E_F)} = \frac{(E_{D'} - E_{B'})}{(E_D - E_F)}$$

Nella realtà i valori si desumono dai dati di funzionamento delle macchine. L'orientamento delle principali associazioni di categoria (ASHRAE, ARI) richiede di considerare non solo l'energia assorbita del compressore, bensì l'energia totale che "entra" nel sistema frigorifero (circuito di controllo, ventilatori ecc.). In questo modo si ottiene il COP reale della macchina necessario per ogni analisi energetica.

Considerazioni analoghe possono farsi per l'EER.

### **COP teorico o di Carnot**

Senza entrare nell'enunciazione dei principi di termodinamica che ne sono alla base, il COP teorico si esprime attraverso i livelli di temperatura ai quali il ciclo si svolge, poiché a essi corrispondono stati proporzionali di energia. Il COP teorico si ottiene dall'equazione:

$$\text{COP teorico} = \frac{T_e}{T_c - T_e}$$

dove:

$T_e$  = temperatura di evaporazione assoluta, K.

$T_c$  = temperatura di condensazione assoluta, K.

E' evidente come, riducendo la differenza tra  $T_c$  e  $T_e$ , l'effetto utile del ciclo aumenti. E questa è una realtà fondamentale nel comportamento del ciclo frigorifero. Quanto più si riducono le temperature (pressioni) di condensazione e si aumentano le temperature (pressioni) di evaporazione, tanto più aumenta il COP.

### **Comportamento di un impianto reale**

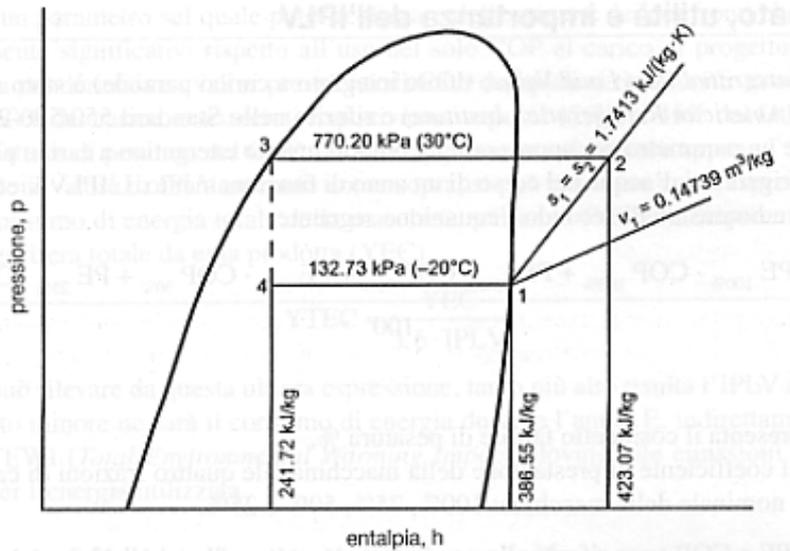
Si può prendere in esame a questo punto il comportamento di un impianto frigorifero reale nel quale circoli un refrigerante puro, quale l'R-134a, o una miscela azeotropica, per mantenere costante la temperatura durante i cambiamenti di fase, mantenendo costante la pressione. Nella figura 2 è illustrato lo svolgimento del ciclo sul diagramma pressioni-entalpie; i valori riportati sono stati ricavati dai dati delle proprietà termodinamiche del refrigerante. Il funzionamento del ciclo si svolge tra una temperatura di evaporazione di  $-20$  °C e una temperatura di condensazione di  $+30$  °C, come in un tipico impianto frigorifero per refrigerazione. La potenza frigorifera resa è ipotizzata in 50 kWf. I dati di funzionamento del ciclo sono riportati nella tabella 1.

Il COP può essere ottenuto dalla semplice equazione:

$$\text{COP teorico} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

Nella quale sostituendo i valori, si ottiene:

$$\text{COP} = \frac{386,55 - 241,71 \text{ (kJ/kg)}}{423,07 - 386,55 \text{ (kJ/kg)}} = 3,97$$



**Figura 2** - Svolgimento del ciclo frigorifero di cui all'esempio nel testo sul diagramma pressioni-entalpie del refrigerante R-134a.

**Tabella 1** - Dati di funzionamento del ciclo frigorifero nell'esempio con R-134a.

Stato	T, °C	P, kPa	V, m³/kg	h, kJ/kg	S, kJ/(kg x K)
1	- 20,0	132,73	0,14739	386,55	1,7413
2	+ 37,8	770,20	0,02798	423,07	1,7413
3	+ 30,0	770,20	0,000842	241,72	1,1435
4	- 20,0	132,73	0,047636	241,72	1,16918

Il rendimento del ciclo si ottiene con l'equazione di seguito, utilizzando le temperature assolute:

$$\eta_g = \frac{\text{COP} (T_3 - T_1)}{T_1} = \frac{3,97 \times 50}{253,15} = 0,78 \text{ o } 78\%$$

La portata massica del refrigerante è ottenuta dal bilancio energetico dell'evaporatore, come segue:

$$m (h_1 - h_4) = Q_i = 50 \text{ kW}$$

da cui:

$$m = \frac{Q_i}{(h_1 - h_4)} = \frac{50}{386,55 - 241,72} = 0,345 \text{ kg/s di refrigerante R134a}$$