

Il dimensionamento delle tubazioni di un circuito frigorifero - Parte III: la gestione dell'olio

Tutti gli impianti frigoriferi contengono una certa quantità di olio utilizzato per lubrificare il compressore, raffreddare gli avvolgimenti del motore, ecc. D'altra parte, è anche noto come tutti i compressori perdano continuamente un po' di olio durante la normale attività. Questo perché l'olio lascia inevitabilmente il compressore con il gas compresso; nei sistemi che utilizzano refrigeranti alogenati, il ritorno dell'olio al compressore deve essere sempre garantito.

Fatta eccezione per i compressori centrifughi e per i rari casi di compressori non lubrificati, il refrigerante trasporta continuamente olio nella linea di mandata. Per ridurre la quantità di olio circolante si possono utilizzare dei separatori ma questi, sfortunatamente, non hanno una efficienza del 100%. L'olio che trova la via dell'impianto deve essere gestito in modo che ne venga assicurato il ritorno. Infatti, l'olio che lascia il compressore o il separatore, giunge nel condensatore e si scioglie nel refrigerante liquido; la miscela liquida passa agevolmente attraverso le linee del liquido verso l'evaporatore, qui il refrigerante evapora generando una miscela ricca in olio alla parete. La concentrazione di refrigerante nell'olio dipende dalla temperatura di evaporazione e dai tipi di olio e refrigerante utilizzati. La viscosità della miscela olio/refrigerante è determinata dalle condizioni operative. L'olio separato all'evaporatore ritorna al compressore per effetto della gravità o dello sforzo tangenziale esercitato su di esso dal gas.

Il problema del ritorno dell'olio coinvolge sia il sistema ad espansione secca, sia gli evaporatori allagati ma devono essere evidenziate diverse considerazioni. Uno dei principali problemi nei sistemi frigoriferi di bassa temperatura che utilizzano fluidi refrigeranti alogenati è il ritorno dell'olio dagli evaporatori allagati. Questo perché l'olio si mescola bene con i fluidi alogenati alle alte temperature; man mano che la temperatura diminuisce, la miscibilità si riduce e un po' d'olio si separa per formare uno strato ricco d'olio vicino al livello superiore dell'evaporatore allagato.

Per questo gli evaporatori allagati possono promuovere la contaminazione del sistema perché per natura, il refrigerante può solamente tornare al compressore come vapore saturo e (quasi) puro. Se la temperatura è molto bassa, l'olio diventa una massa altamente viscosa che impedisce ai sistemi di controllo di funzionare, blocca il passaggio del fluido e sporca la superficie di scambio. Il controllo e la gestione dell'olio è spesso la chiave per un corretto funzionamento del sistema frigorifero.

In generale, gli evaporatori ad espansione secca presentano minori problemi rispetto agli evaporatori allagati perché il refrigerante fluisce continuamente ad una velocità sufficientemente elevata per spazzare l'olio dall'evaporatore. I sistemi a bassa temperatura che utilizzano il gas caldo per lo sbrinamento possono anche essere dimensionati per pulire l'evaporatore dall'olio durante lo sbrinamento stesso. Questa operazione riduce la possibilità che l'olio ricopra la superficie dell'evaporatore e ostacoli lo scambio termico.

Le precedenti newsletters hanno presentato le procedure di dimensionamento delle linee del liquido, di aspirazione e scarico basate su un criterio energetico. Le linee dimensionate in questo modo possono, in alcuni casi, non essere in grado di garantire un sufficiente ritorno dell'olio al compressore. Tutte le linee sono dimensionate per le condizioni di pieno carico ma gli impianti frigoriferi possono lavorare la maggior parte del tempo a carichi parziali. Il compressore può variare il proprio carico in un ampio campo in modo da seguire le richieste del sistema. Un compressore può parzializzare fino al 25% del capacità massima mentre un sistema con più compressori in parallelo può parzializzare fino al 12.5% o meno. Come risultato si ha che il sistema di condotti deve essere dimensionato per il ritorno dell'olio nelle condizioni di minor carico senza che si realizzino eccessive perdite di carico a pieno carico.

Due linee sono critiche dal punto di vista del ritorno dell'olio: la linea di aspirazione e quella di mandata (detta anche del gas caldo). Pertanto, queste due linee devono essere verificate per il ritorno dell'olio nelle condizioni di carico parziale; la verifica è necessaria solamente per i tratti verticali con deflusso ascendente perché di solito le altre linee presentano un'inclinazione di circa 0.5% verso il basso per sfruttare la forza di gravità.

Considerando la linea di aspirazione, in molti impianti l'evaporatore è posto ad un livello inferiore rispetto al compressore e per questo è presente un condotto ascendente. L'olio che circola nel sistema può tornare al

compressore attraverso il condotto ascendente solamente se trasportato dal gas in aspirazione o mediante sistemi ausiliari come una trappola per olio e una pompa. Le linee di mandata (gas caldo) dovrebbero essere dimensionate per evitare di intrappolare olio durante il funzionamento ai carichi parziali, prevenire che refrigerante condensato e olio ritornino al compressore ed evitare la formazione di rumore o vibrazioni eccessive dovute al deflusso del gas o al compressore o a entrambi.

Le minime condizioni di trasporto dell'olio sono correlate alle forze di galleggiamento (per esempio, differenza di densità fra liquido e vapore, e sforzo del gas). I parametri principali che controllano il trasporto dell'olio sono: la velocità del gas, la sua densità e il diametro del condotto. La densità della miscela olio/refrigerante gioca un ruolo minore perché è abbastanza costante in un ampio campo di condizioni operative. Naturalmente, le condizioni critiche per le linee di aspirazione e mandata sono differenti ma il criterio e la procedura di verifica sono uguali.

La Figura 1 riporta una tabella suggerita da ASHRAE – Handbook (2006) che traduce il criterio appena descritto in minima capacità frigorifera per il trasporto dell'olio nelle linee di aspirazione. L'olio deve tornare al compressore nelle condizioni operative che corrispondono al minimo carico e alla minore temperatura di evaporazione ai quali il compressore potrà operare. La tabella è basata su una temperatura di condensazione di 40 °C, dei fattori di correzioni sono suggeriti per altre temperature di condensazione (si veda la tabella); i valori si riferiscono ad olio da POE ISO32.

Refrigerant	Saturated Temp., °C	Suction Gas Temp., °C	Tubing Nominal OD, mm											
			12	15	18	22	28	35	42	54	67	79	105	130
134a	-10	-5	0.274	0.502	0.844	1.437	2.732	4.848	7.826	15.006	25.957	39.340	81.164	140.509
		5	0.245	0.450	0.756	1.287	2.447	4.342	7.010	13.440	23.248	35.235	72.695	125.847
		15	0.238	0.436	0.732	1.247	2.370	4.206	6.790	13.019	22.519	34.129	70.414	121.898
	-5	0	0.296	0.543	0.913	1.555	2.956	5.244	8.467	16.234	28.081	42.559	87.806	152.006
		10	0.273	0.500	0.840	1.431	2.720	4.827	7.792	14.941	25.843	39.168	80.809	139.894
		20	0.264	0.484	0.813	1.386	2.634	4.674	7.546	14.468	25.026	37.929	78.254	135.471
	5	10	0.357	0.655	1.100	1.874	3.562	6.321	10.204	19.565	33.843	51.292	105.823	183.197
		20	0.335	0.615	1.033	1.761	3.347	5.938	9.586	18.380	31.792	48.184	99.412	172.098
		30	0.317	0.582	0.978	1.667	3.168	5.621	9.075	17.401	30.099	45.617	94.115	162.929
	10	15	0.393	0.721	1.211	2.063	3.921	6.957	11.232	21.535	37.250	56.456	116.479	201.643
		25	0.370	0.679	1.141	1.944	3.695	6.555	10.583	20.291	35.098	53.195	109.749	189.993
			35	0.358	0.657	1.104	1.881	3.576	6.345	10.243	19.640	33.971	51.486	106.224

Figura 1: Capacità frigorifera minima [kW] per il trasporto dell'olio in tratti ascendenti in aspirazione. R134a.

La Figura 2 riporta una tabella proposta da ASHRAE – Handbook (2006) che elenca le capacità frigorifere minime per il trasporto dell'olio nei tratti ascendenti delle linee di mandata per R134a. I valori sono calcolati per un olio POE ISO32 alla temperatura di evaporazione di -5°C; dei fattori di correzione devono essere applicati per temperature di aspirazione diverse (vedi tabella).

Refrigerant	Saturated Discharge Temp., °C	Discharge Gas Temp., °C	Tubing Diameter, Nominal OD, mm											
			12	15	18	22	28	35	42	54	67	79	105	130
134a	20	60	0.469	0.860	1.445	2.462	4.681	8.305	13.408	25.709	44.469	67.396	139.050	240.718
		70	0.441	0.808	1.358	2.314	4.399	7.805	12.600	24.159	41.788	63.334	130.668	226.207
		80	0.431	0.790	1.327	2.261	4.298	7.626	12.311	23.605	40.830	61.881	127.671	221.020
30	70	0.493	0.904	1.519	2.587	4.918	8.726	14.087	27.011	46.722	70.812	145.096	252.916	
		80	0.463	0.849	1.426	2.430	4.260	8.196	13.232	25.371	43.885	66.512	137.225	237.560
		90	0.452	0.829	1.393	2.374	4.513	8.007	12.926	24.785	42.870	64.974	134.052	232.066
40	80	0.507	0.930	1.563	2.662	5.061	8.979	14.496	27.794	48.075	72.863	150.328	260.242	
		90	0.477	0.874	1.469	2.502	4.756	8.439	13.624	26.122	45.184	68.480	141.285	244.588
		100	0.465	0.852	1.432	2.439	4.637	8.227	13.281	25.466	44.048	66.759	137.735	238.443
50	90	0.510	0.936	1.573	2.679	5.093	9.037	14.589	27.973	48.385	73.332	151.296	261.918	
		100	0.479	0.878	1.476	2.514	4.779	8.480	13.690	26.248	45.402	68.811	141.969	245.772
		110	0.467	0.857	1.441	2.454	4.665	8.278	13.364	25.624	44.322	67.173	138.590	239.921

Figura 2: Capacità frigorifera minima [kW] per il trasporto dell'olio in tratti ascendenti di mandata. R134a.

Refrigerante	Temperatura di condensazione – Linee di aspirazione		
R134a	20	30	50
Fattore di correzione	1.20	1.10	0.89
Refrigerante	Temperatura di evaporazione – Linee di mandata (gas caldo)		
R134a	0	5	10
Fattore di correzione	1.02	1.04	1.06

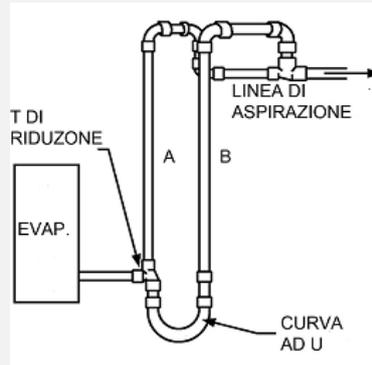
Il seguente esempio permette di spiegare l'utilizzo delle tabelle riportate nelle Figure 1 e 2: determinare il diametro massimo dei tratti ascendenti delle linee di aspirazione e mandata che permettano il trasporto dell'olio al minimo carico di un sistema operante a R134a di capacità frigorifera 130 kW, con le seguenti parzializzazioni: 25%, 50%, 75% e 100%. Si consideri una temperatura di evaporazione di 5 °C con 15 K di surriscaldamento e una temperatura di condensazione di 40 °C. Aspirazione: lunghezza equivalente 20 m con un tratto ascendente. Mandata: lunghezza equivalente 25 m con un tratto ascendente.

Prima di tutto si devono dimensionare le linee di aspirazione e mandata così come descritto in: “*Il dimensionamento delle tubazioni di un circuito frigorifero - Parte II: linee di aspirazione e mandata*”. Le tabelle proposte per la linea di aspirazione, per una capacità frigorifera a pieno carico di 130 kW, suggeriscono un tubo di diametro 67 mm che presenta una variazione di temperatura di 0.72 K (accettabile). La stessa tabella, per la linea di mandata suggerisce una tubazione da 54 mm che presenta una variazione di temperatura di 0.54 K (accettabile). Considerando ora il ritorno dell'olio nei tratti ascendenti, la capacità frigorifera minima di questo sistema si ha al 25% del carico massimo:

$$P_{0,min} = P_0 \cdot 0.25 = 32.5 \text{ kW}$$

Dalla Figura 1, un tubo di diametro 67 mm a 5 °C e 15 K di surriscaldamento, ha una minima capacità frigorifera che garantisce il trasporto dell'olio di 31.79 kW che è leggermente minore a 32.5 kW; la linea è perciò verificata. Considerando la linea di mandata, un condotto da 54 mm a 40 °C di temperatura di condensazione presenta una capacità frigorifera minima di 27.79 kW che è ancora minore a quella di progetto; anche in questo caso la linea è verificata.

In questo esempio, la linea di aspirazione dimensionata mediante un criterio energetico permette il ritorno dell'olio in condizioni di carico parzializzato ma qualche volta accade che si debbano utilizzare due diametri differenti per coprire tutte le capacità. Quando un tratto ascendente è dimensionato per garantire il ritorno dell'olio alla capacità frigorifera minima, le perdite di carico al carico massimo potrebbero essere troppo elevate. Se un tratto ascendente ben dimensionato presenta delle perdite di carico troppo elevate al massimo carico, dovrebbe essere utilizzato un sistema con doppio tratto ascendente, come riportato in figura 3.



Il tratto ascendente A è dimensionato per consentire il ritorno dell'olio nelle condizioni di minimo carico, mentre il tratto ascendente B è dimensionato per ottenere delle perdite di carico ottimali in condizioni di pieno carico. Una trappola per l'olio è inserita tra i due tratti; durante il funzionamento a carico parziale, la velocità del gas non è sufficiente per trasportare l'olio in entrambi i rami e quindi la trappola si riempie gradualmente fino a quando il tratto B non sarà chiuso. Il gas quindi fluirà attraverso il tratto A con una velocità che gli consente di spingere l'olio verso il tratto orizzontale. Nelle condizioni di pieno carico, il gas spinge l'olio intrappolato attivando entrambi i rami.

Bibliografia

ASHRAE Handbook, Refrigeration, 2006.

Argomenti correlati:

- *Il dimensionamento delle tubazioni di un circuito frigorifero - Parte I: principi generali e linee del liquido*
- *Il dimensionamento delle tubazioni di un circuito frigorifero - Parte II: linee di aspirazione e mandata*
- *La progettazione del più semplice e affidabile elemento di laminazione: il tubo capillare*

UNILAB SRL

Via Nino Bixio 6 - 35131 - PADOVA (ITALY)

Ph. +39 49 8763311 - Fax +39 49 8750196

www.unilab.eu

info@unilab.eu

customercare@unilab.eu