



Lubrificazione



Indice degli argomenti

Lubrificazione

- Definizioni e caratteristiche generali
- Solubilità
- Separatori di olio
- Rimozione dell'olio

Lubrificazione



Negli impianti frigoriferi gli oli sono utilizzati per lubrificare le parti mobili del compressore.

Oltre a ridurre il contatto fra le superfici, un lubrificante svolge altre funzioni:

- favorisce lo **smaltimento del calore**;
- costituisce un sigillo che, da un lato, non consente l'ingresso di sostanze contaminanti, dall'altro, consente di mantenere certi livelli di pressione;
- evita la corrosione e rimuove eventuali residui dovuti all'usura.

Lubrificazione



La funzione più importante di un lubrificante è quella di ridurre gli attriti e minimizzare l'usura.

Questi risultati si ottengono grazie a una sottile **pellicola** (film) che si crea fra le superfici che si sfregano tra di loro: questo riduce il contatto diretto fra le **superfici solide**, ovvero, ne riduce l'attrito.

Lubrificazione



Quando due superfici si muovono l'una rispetto all'altra, si possono realizzare diverse condizioni di lubrificazione:

- a. Completa pellicola di fluido lubrificante (detta anche “**condizione idrodinamica**”). In questo caso le superfici a contatto sono completamente separate dalla pellicola di lubrificante;
- b. All'estremo opposto c'è la situazione in cui la pellicola di lubrificante è troppo sottile per separare le superfici cosicché le stesse superfici hanno estese zone di contatto;
- c. Nei casi intermedi (“**quasi-idrodinamici**”) si hanno contatti casuali e occasionali fra le superfici.

Lubrificazione



Nella condizione **a.**, la caratteristica più importante nella scelta di un lubrificante è la sua viscosità.

Nel caso **b.**, il contatto fra le superfici avviene nei punti di sporgenza, che devono, quindi, reggere pressoché tutto il carico. Questo provoca pressioni abbastanza alte perchè, di regola, si producano dei punti di saldatura tra le superfici oltre a qualche deformazione delle stesse. Anche in questo caso, tuttavia, si possono ottenere risultati soddisfacenti utilizzando lubrificanti non fluidi, che realizzano pellicole multimolecolari sulle superfici.

A decorative graphic consisting of six circles arranged in two rows. The top row has three circles: a solid light purple circle on the left, a hollow light purple circle in the middle, and a solid light purple circle on the right. The bottom row has three circles: a solid light purple circle on the left, a hollow light purple circle in the middle, and a solid light purple circle on the right. The word 'Lubrificazione' is written in black text across the top row, with the first two circles overlapping the letters.

Lubrificazione

Sempre nel caso **b.** si possono utilizzare dei particolari additivi che realizzano delle pellicole sulle superfici attraverso un'azione chimica o un'attrazione polare. Pellicole tipiche di questo tipo sono quelle di solfuro di ferro o di fosfati di ferro; in altri casi si utilizzano fosfiti e fosfati organici negli oli destinati alla refrigerazione.

Lubrificazione

A decorative graphic consisting of two rows of circles. The top row has three circles: a solid light purple circle, an outlined light purple circle, and a solid light purple circle. The bottom row has three circles: a solid light purple circle, an outlined light purple circle, and a solid light purple circle.

Gli oli si classificano in 2 categorie principali:

- OLI MINERALI
- OLI SINTETICI

A decorative graphic consisting of two rows of circles. The top row has a solid light purple circle on the left and an outlined light purple circle on the right. The bottom row has a solid light purple circle on the left, an outlined light purple circle in the middle, and a solid light purple circle on the right.

Lubrificazione

Oli Minerali

- Sono derivati del petrolio grezzo
- A base **paraffinica**: non raccomandato per applicazioni a bassa temperatura
- A base **naftenica**: utilizzato per gli impianti ad ammoniacca

Lubrificazione



Oli Sintetici

- Sono estratti da prodotti di base quali il gas naturale e costano circa il **triplo** di quelli minerali
- A base **alchilbenzenica**: buona miscibilità a bassa temperatura, vengono utilizzati negli impianti ad ammoniacca dove si abbiano problemi di ossidazione
- A base **polialfaolefinica**: dove si hanno elevate temperature di scarico oppure in impianti a bassa temperatura (non solidifica)
- A base **glicole polialchilenica**: da usare solo con impianti ad alocarburi



Lubrificazione

Punto di scorrevolezza (pour point):

Temperatura più bassa alla quale l'olio può scorrere se sottoposto alla prova prescritta dalla norma ASTM D-97.

La temperatura di esercizio dell'olio deve essere maggiore del punto di scorrevolezza

A decorative graphic consisting of two rows of circles. The top row has a solid light purple circle on the left and an outlined light purple circle on the right. The bottom row has a solid light purple circle on the left, an outlined light purple circle in the middle, and a solid light purple circle on the right.

Lubrificazione

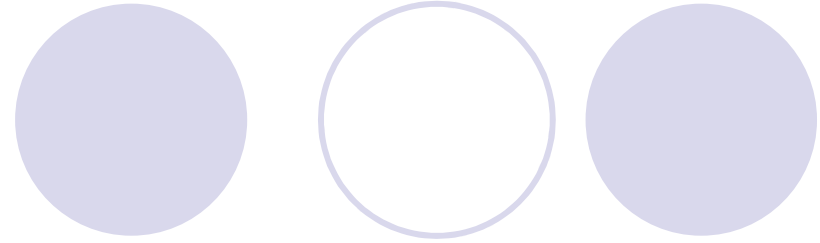
Punto di infiammabilità (flash and fire point):
Temperatura determinata dalla norma ASTM D-92 ed è generalmente maggiore di 175°C.

E' un indicatore della volatilità dell'olio.

Quando ci sono elevate temperature di scarico l'olio a basso punto di infiammabilità può carbonizzarsi sporcando le valvole del compressore



Lubrificazione



Pressione di vapore:

Pressione alla quale la fase vapore di una sostanza è in equilibrio con la fase liquida ad una determinata temperatura.

Ad elevate temperature la pressione di vapore del lubrificante è trascurabile rispetto a quella del refrigerante

Lubrificazione

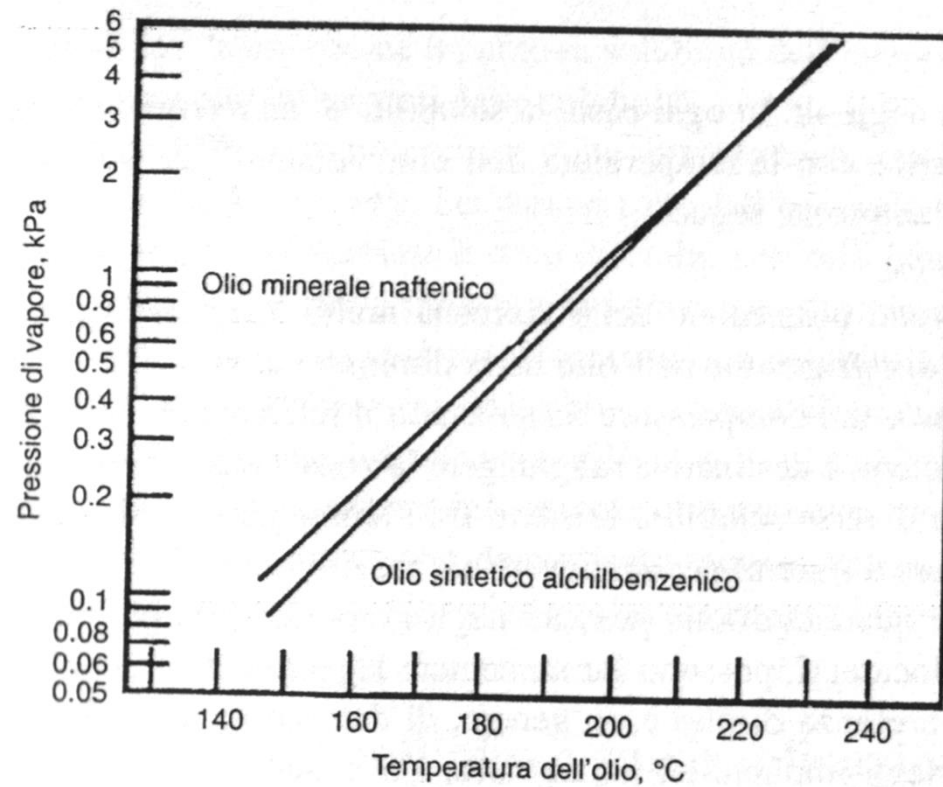
Pressione di vapore:

Table 4 Increase in Vapor Pressure and Temperature

Temperature, °C	Vapor Pressure 32 mm ² /s Oil	
	Alkylbenzene, kPa	Naphthene Base, kPa
149	0.10	0.12
163	0.21	0.26
177	0.45	0.50
191	0.89	0.95
204	1.73	1.74
218	3.23	3.06
232	5.83	5.24

Lubrificazione

Pressione di vapore:



Lubrificazione



Punto di flocculazione (floc point):

Temperatura massima alla quale i materiali cerosi precipitano quando viene raffreddata una miscela costituita dal 10% d'olio e 90% di R-12 in determinate condizioni stabilite da ASHRAE Standard 86.

Lubrificazione

Viscosità dinamica

È definita come:

$$\mu = \frac{F/A}{V/h}$$

Dove:

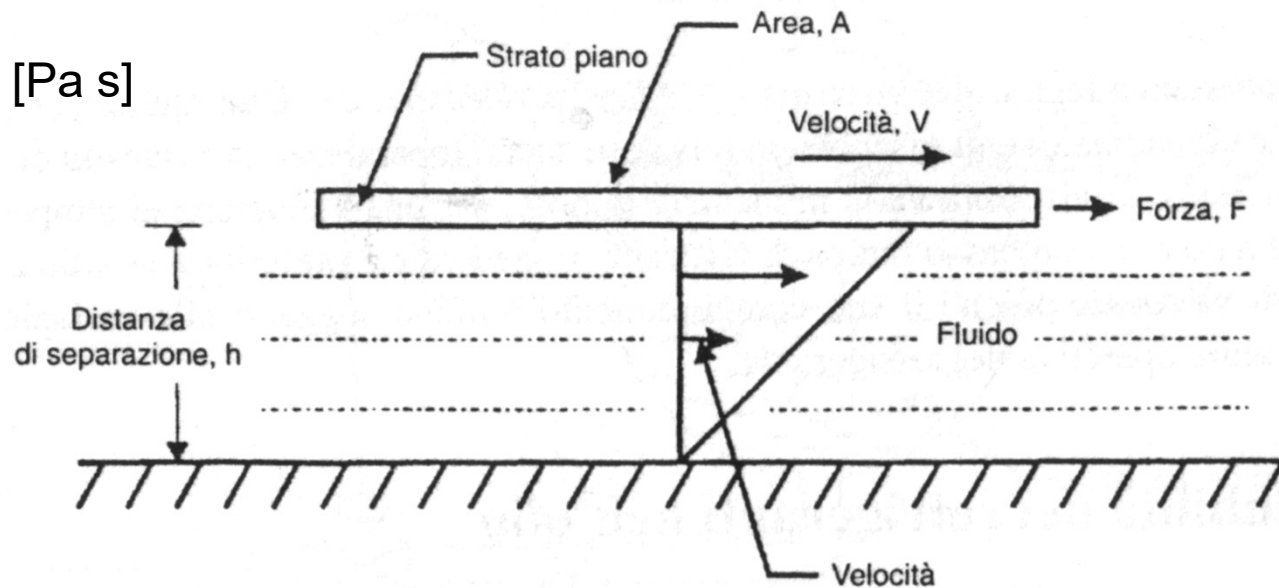
μ : viscosità dinamica [Pa s]

F: forza [N]

A: area [m²]

V: velocità [m/s]

h: distanza [m]



Lubrificazione

Viscosità dinamica

*Altra unità di misura usata è il **poise**:*

Dove:

μ : viscosità dinamica [poise]

F: forza [dyne]

A = 1 cm²

V = 1 cm/s

h = 1 cm

1 centipoise = 1000 Pa s

Lubrificazione

Viscosità cinematica

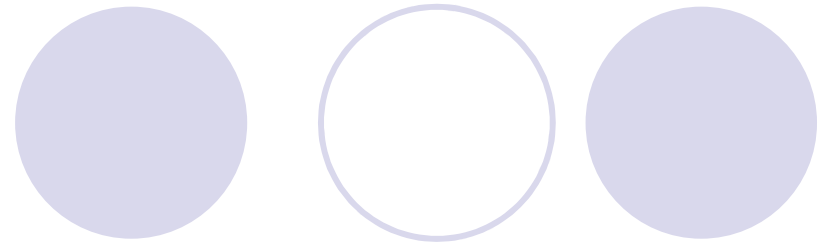
È definita come:

Dove:

ν : viscosità cinematica [m²/s]

μ : viscosità dinamica [Pa s]

ρ : densità [kg/m³]



$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$



Lubrificazione

Viscosità cinematica

*Altra unità di misura usata è lo **stoke**:*

$$1 \text{ centistoke} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Lubrificazione

A decorative graphic consisting of two rows of circles. The top row has two circles: a solid light purple one on the left and an outlined light purple one on the right. The bottom row has three circles: a solid light purple one on the left, an outlined light purple one in the middle, and a solid light purple one on the right.

Viscosità SSU

Saybolt Seconds Universal: *Tempo in secondi necessario affinché un certo volume di olio passi attraverso un tubo di determinate dimensioni ad una data temperatura.*

Prende il nome dallo strumento usato per misurarla.

Per convertire da SSU a viscosità cinematica si usano le tabelle dell'**ASTM Standard D2161**

Lubrificazione

Viscosità

Table 2 Recommended Viscosity Ranges

Small and Commercial Systems		
Refrigerant	Type of Compressor	Lubricant Viscosities at 38°C, mm ² /s
Ammonia	Screw	60-65
	Reciprocating	32-65
Carbon dioxide	Reciprocating	60-65 ^a
Refrigerant 11	Centrifugal	60-65
Refrigerant 12	Centrifugal	60-65
	Reciprocating	32-65
	Rotary	60-65
Refrigerant 123	Centrifugal	60-65
Refrigerant 22	Centrifugal	60-86
	Reciprocating	32-65
	Scroll	60-65
	Screw	60-173
Refrigerant 134a	Scroll	22-68
	Screw	32-100
	Centrifugal	60-65
Refrigerant 407C	Scroll	22-68
	Reciprocating	32-687
Refrigerant 410A	Scroll	22-68
Halogenated refrigerants	Screw	32-800
Industrial Refrigeration ^b		
Type of Compressor	Lubricant Viscosities at 38°C, mm ² /s	
Where lubricant may enter refrigeration system or compressor cylinders	32-65	
Where lubricant is prevented from entering system or cylinders:		
In force-feed or gravity systems	108-129	
In splash systems	32-34	
Steam-driven compressor cylinders when condensate is reclaimed for ice-making	High viscosity lubricant (30-35 mm ² /s at 100°C)	

^aSome applications may require lighter lubricants of 14-17 mm²/s; others, heavier lubricants of 108-129 mm²/s.

^bAmmonia and carbon dioxide compressors with splash, force-feed, or gravity circulating systems.



Lubrificazione

Indice di Viscosità:

È un numero empirico che indica la variazione della viscosità con la temperatura.

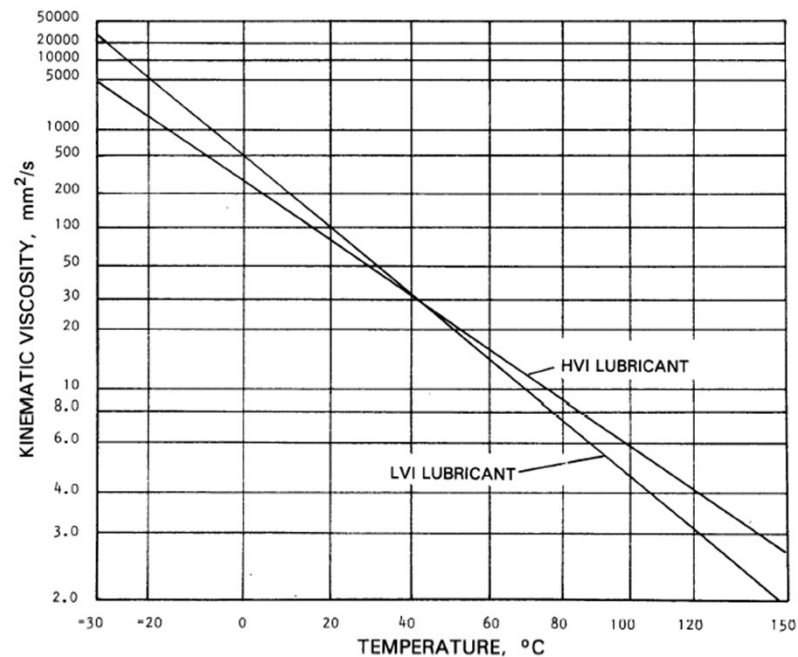
È da preferire un olio con alto indice di viscosità poiché risente in misura minore della variazione di temperatura

Lubrificazione

Indice di Viscosità:

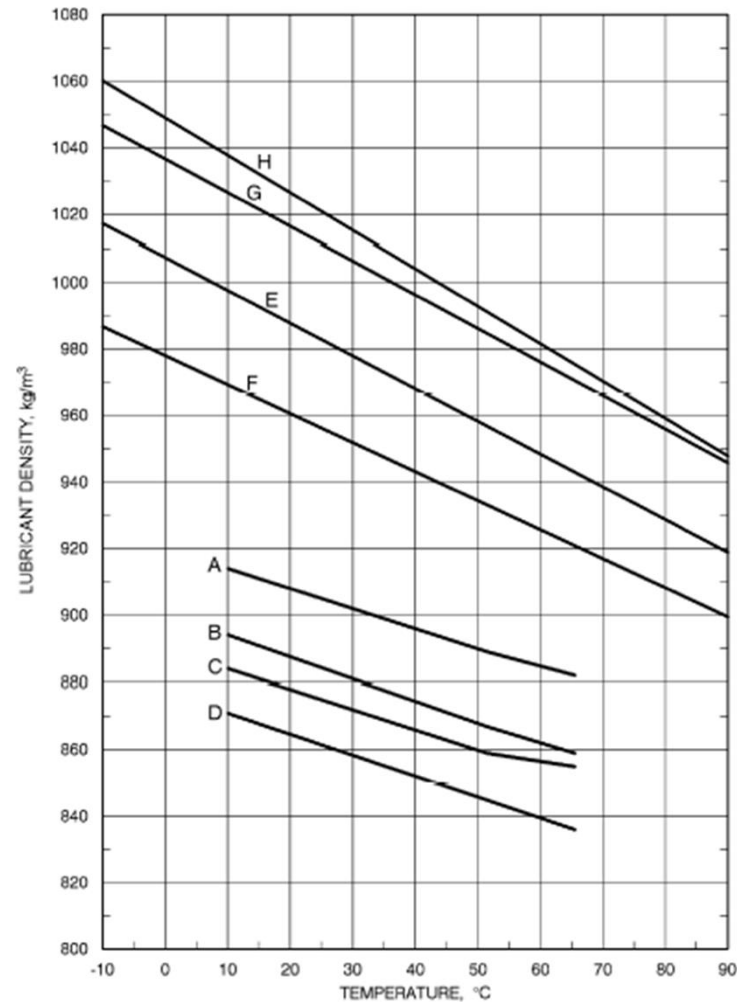
Variazione della viscosità con la temperatura.

$$\log \log(v + 0.7) = A + B \log T$$



Lubrificazione

Densità:



Lubricant	Viscosity at 38°C, mm ² /s	Ref.
A Naphthene	64.7	1
B Naphthene	15.7	1
C Paraffin	64.7	1
D Paraffin	32.0	1
E Branched acid POE	32	2
F Branched acid POE	100	2
G Polypropylene glycol mono butyl ether	32	2
H Polyoxypropylene diol	80	2

References: 1. Albright and Lawyer (1959) 2. Cavestri (1993)

Lubrificazione

Table 1 Typical Properties of Refrigerant Lubricants

Property	ASTM	Mineral Lubricants				Synthetic Lubricants				
		Naphthenic			Paraffinic	Alkyl-benzene	Ester		Glycol	
Viscosity, mm ² /s at 38°C	D 445	33.1	61.9	68.6	34.2	31.7	30	100	29.9	90
Viscosity index	D 2270	0	0	46	95	27	111	98	210	235
Density, kg/m ³	D 1298	913	917	900	862	872	995	972	990	1007
Color	D 1500	0.5	1	1	0.5					
Refractive index	D 1747	1.5015	1.5057	1.4918	1.4752					
Relative molecular mass	D 2503	300	321	345	378	320	570	840	750	1200
Pour point, °C	D 97	-43	-40	-37	-18	-46	-48	-30	-46	-40
Floc point, °C	ASHRAE 86	-56	-51	-51	-35	-73				
Flash point, °C	D 92	171	182	204	202	177	234	258	204	168
Fire point, °C	D 92	199	204	232	232	185				
Composition							Branched acid penta-erythritol	Branched acid penta-erythritol	PP monol mono-functional poly-propylene glycol	PP diol di-functional poly-propylene glycol
Carbon-type										
%C _A	Van Nes and	14	16	7	3	24				
%C _N	Weston (1951)	43	42	46	32	None				
%C _P		43	42	47	65	76				
Molecular composition	D 2549									
% Saturates		62	59	78	87	None				
% Aromatics		38	41	22	13	100				
Aniline point, °C	D 611	71	74	92	104	52				
Critical solution temp. with R-22, °C	—	-3.9	1.7	23	27	-73				

Lubrificazione



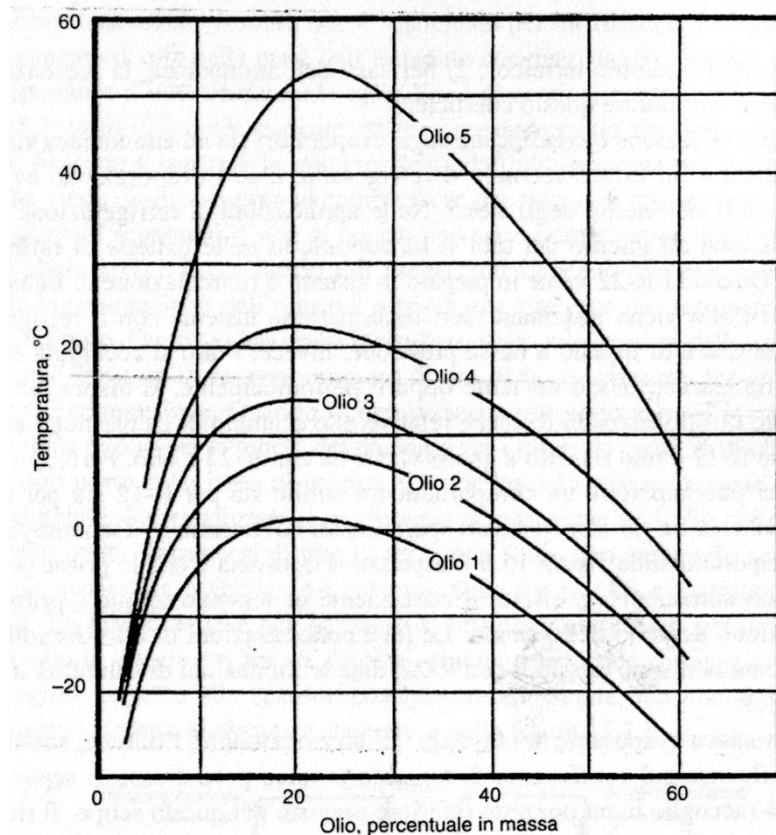
Solubilità dei refrigeranti nell'olio:

- *Aumenta con la pressione e diminuisce con la temperatura dell'olio.*
- *Diminuisce la viscosità dell'olio.*
- *La presenza di olio nel refrigerante altera le performance dell'impianto.*
- *Bisogna tenere caldo l'olio quando il sistema è fermo per evitare la "schiumatura" dopo la partenza a freddo del sistema*

Lubrificazione

Solubilità dei refrigeranti nell'olio:

Solubilità di diversi oli naftenici con R-22



Lubrificazione

Solubilità dei refrigeranti nell'olio:

Table 7 Critical Miscibility Values of R-22 with Different Oils

Oil No.	Oil Base Type ^a	Approximate Viscosity Grade, mm ² /s	Viscosity at 50°C (Converted), mm ² /s	Carbon-Type Composition			Critical Solution Temperature, °C
				%C _A	%C _N	%C _P	
2	N	15	11.2	23	34	43	-37
3	N	15	10.2	2.5	48.5	49	-6
1	N	32	18.5	13	43	44	3
8	N	46	24.6	0.6	45	55	24
7	N	46	26.7	2.8	44	54	20
5	N	46+	27.9	22	30	47	-16
4	N	46	28.6	26	28	46	-20
6	N	46	29.7	4	45	51	17
13	N	100	54.5	1.9	41	56	None ^b
12	N	100	60.7	4	41	55	None ^b
11	N	150	69.1	7	40	53	None ^b
10	N	220	93.2	21	27	52	16
9	N	220	109.0	27	24	50	9
18	P	46+	29.3	0.5	33	67	None ^b
17	P	46	31.6	3.5	34	63	None ^b
16	P	68	35.2	6.4	30	63	None ^b
15	P	68	45.2	14.3	25	61	None ^b
14	P	100	50.0	18.1	22	60	44 ^c

^aP – Paraffinic, N – Naphthenic

^bNever completely miscible at any temperature

^cA second (inverted) miscibility dome was observed above 58°C. Above this temperature, the oil/R-22 mixture again separated into two immiscible solutions.

Lubrificazione

Solubilità dei refrigeranti nell'olio:

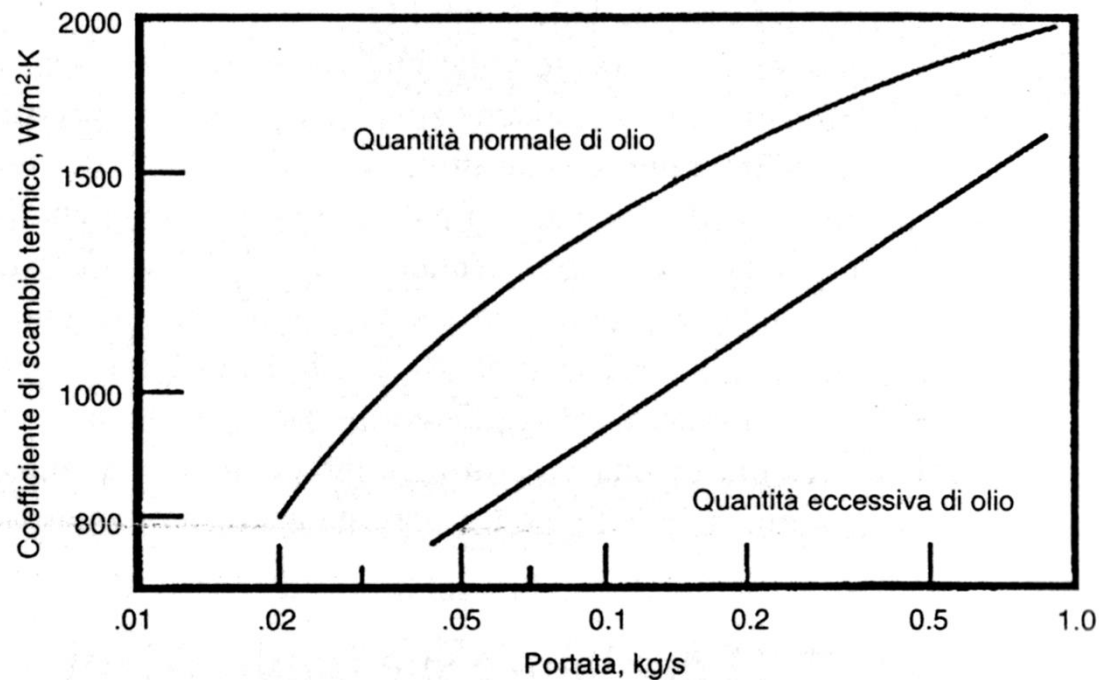
Table 6 Mutual Solubility of Refrigerants and Mineral Oil

Completely Miscible	Partially Miscible			Immiscible
	High Miscibility	Intermediate Miscibility	Low Miscibility	
R-11	R-123	R-22	R-13	Ammonia
R-12		R-114	R-14	CO ₂
R-113			R-115	R-134a
			R-152a	R-407C
			R-C318	R-410A
			R-502	

Lubrificazione

Solubilità dei refrigeranti nell'olio:

Effetto dell'olio sull'evaporazione di ammoniaca



Lubrificazione



Contaminanti nell'olio:

In impianti di tipo industriale è molto importante effettuare periodiche analisi dell'olio ed eventualmente provvedere al ricambio dello stesso.

Le analisi servono per individuare:

- 1) Ferro (corrosione tubazioni)***
- 2) Nichel, cobalto e cromo (usura cuscinetti)***
- 3) Esaurimento degli additivi (col tempo evaporano poiché sono degli aromatici volatili)***
- 4) Scorie, detriti o sudiciume***
- 5) Variazione delle proprietà chimico-fisiche (viscosità, densità, ecc.)***

Lubrificazione



Operazioni per il cambio dell'olio:

- 1) Effettuare lo sbrinamento dell'evaporatore (si ha il massimo ritorno dell'olio al compressore)***
- 2) Arrestare l'impianto frigorifero ed intercettare il compressore. Rimuovere la carica di refrigerante dal compressore attraverso l'apposito attacco e recuperarlo attraverso le apposite procedure prescritte dalle norme.***
- 3) Scaricare l'olio dal compressore utilizzando una pompa per rimuovere l'olio residuo nel carter***
- 4) Installare delle valvole di drenaggio su tutti i compressori per lo scarico dell'olio che ritorna a ciascun compressore. Esse hanno la funzione di prevenire un eccesso di carica. Prima di aggiungere altro olio accertarsi che siano chiuse***
- 5) Ricaricare il compressore con la carica necessaria***

Lubrificazione



Operazioni per il cambio dell'olio:

- 6) Intercettare e sostituire i filtri disidratatori***
- 7) Con una pompa a mano aggiungere nella linea del liquido a valle del condensatore un quantitativo addizionale di olio pari a alla metà di quello appena caricato nel compressore***
- 8) Accertarsi che tutti i dispositivi di sbrinamento sia automatici che manuali siano disattivati***
- 9) Ricaricare il quantitativo di refrigerante che era stato rimosso***
- 10) Riavviare l'impianto frigorifero tenendo presente che ora nel circuito vi è circa il 50% di olio lubrificante supplementare***
- 11) Controllare il livello dell'olio nel carter del compressore e scaricarlo secondo il necessario per mantenere il livello corretto. Entro 15-30 minuti la maggior parte del lubrificante in eccesso verrà scaricata dall'impianto***

Lubrificazione

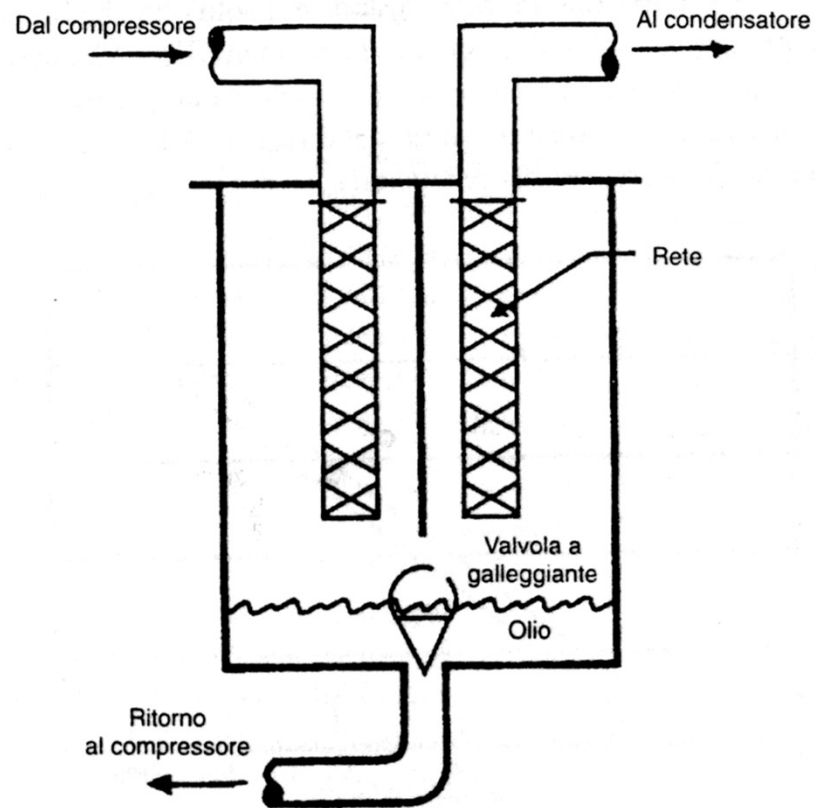


Operazioni per il cambio dell'olio:

- 12) Dopo 30-40 minuti riavviare nuovamente il ciclo di sbrinamento per favorire il ritorno dell'olio al compressore***
- 13) Arrestare l'impianto e prelevare un campione di olio dal carter del compressore***
- 14) Analizzare il campione di olio***

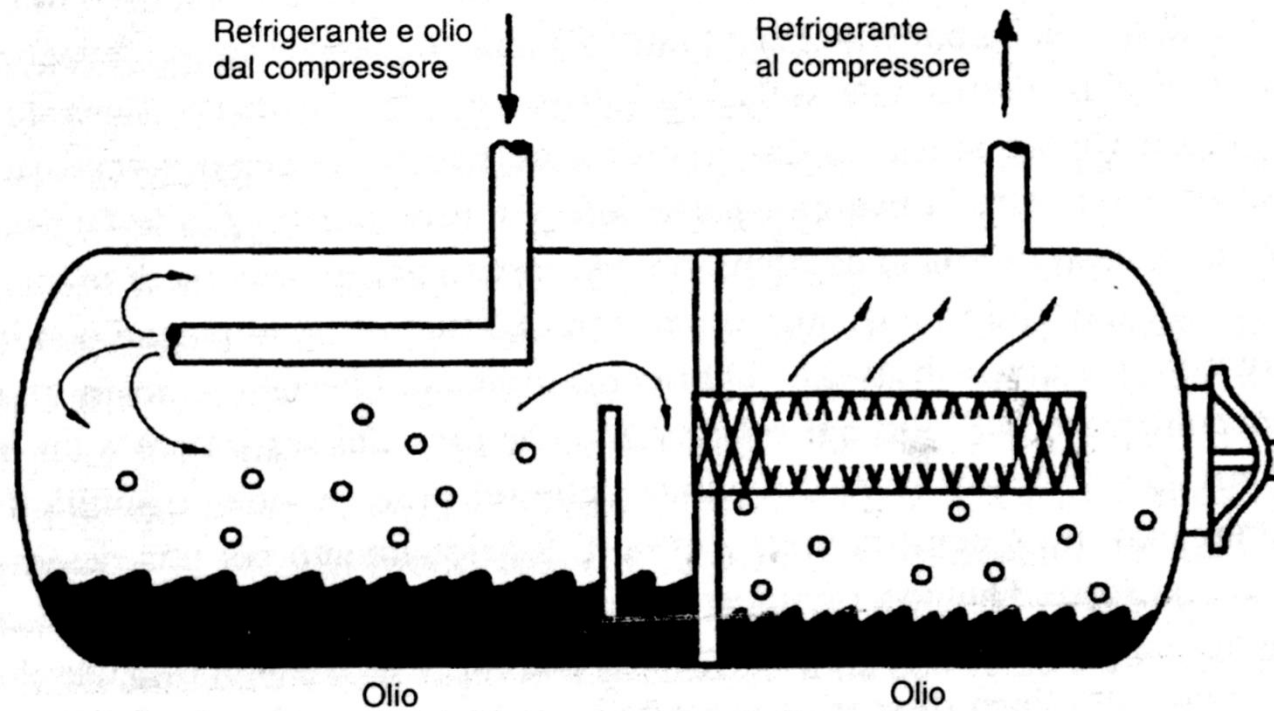
Lubrificazione

Separatori di olio:



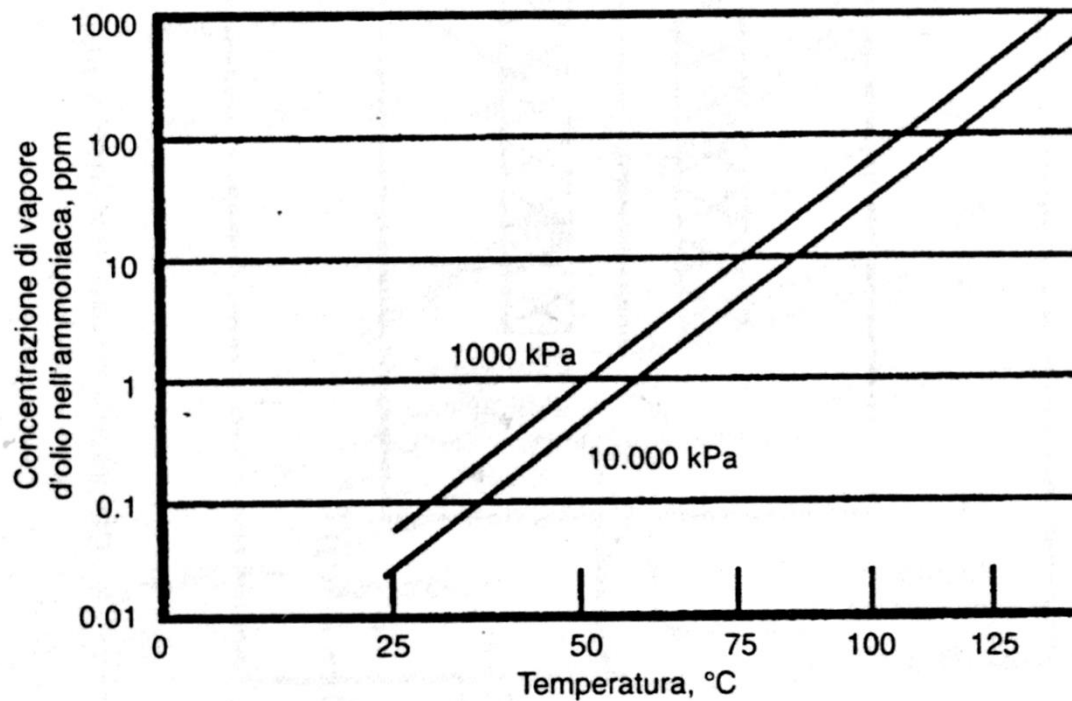
Lubrificazione

Separatori di olio: Tipo coalescente



Lubrificazione

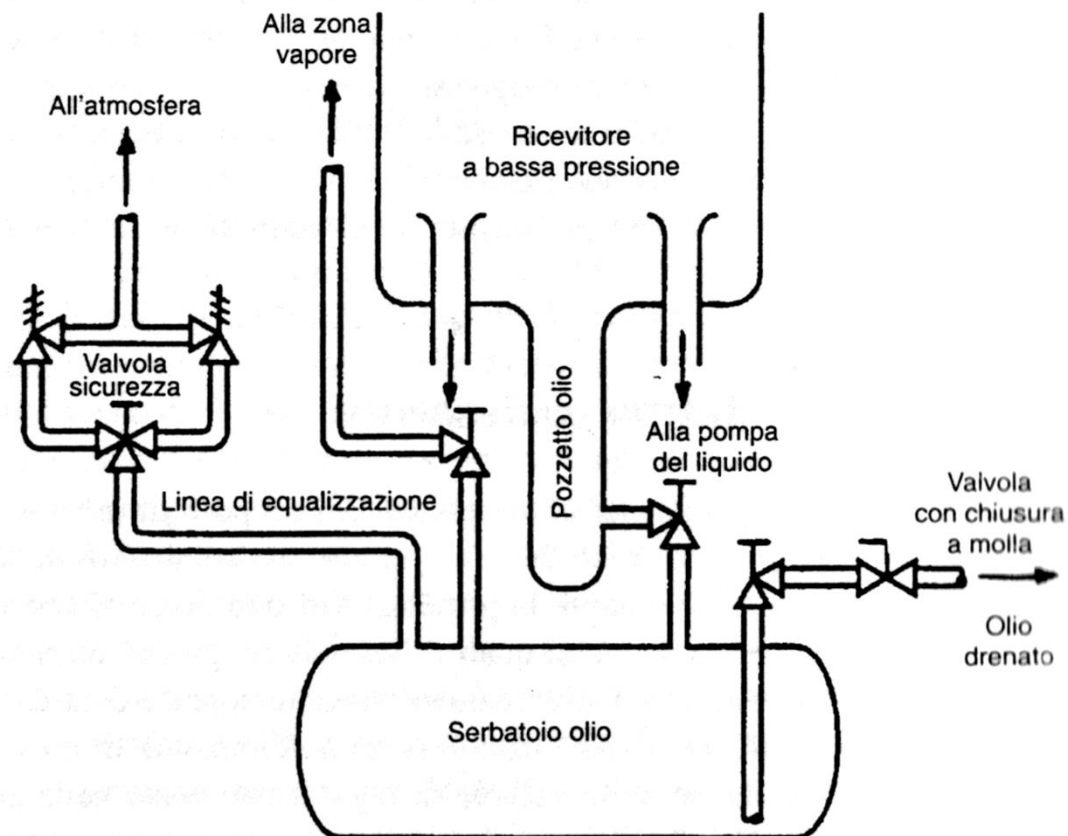
Separatori di olio: Tipo coalescente



Lubrificazione

Separatori di olio:

Zona a bassa pressione di un impianto ad ammoniaca



Lubrificazione

Separatori di olio:

Zona a bassa pressione di un impianto ad alocarburi

