



# Efficienza e redditività degli impianti termofrigoriferi

**Modena , 23 / 5 / 2018**





# Soluzioni tecnologiche ed applicazioni nelle centrali frigorifere

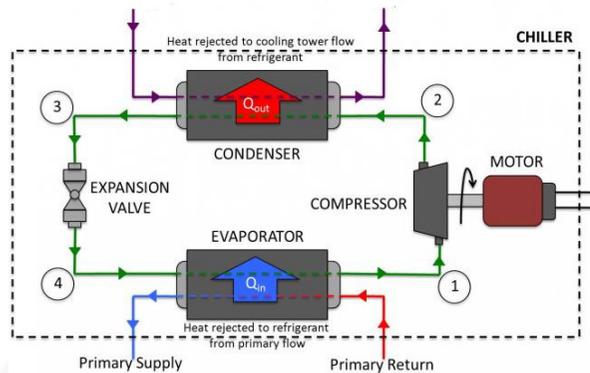
**Cristiano Olivieri**  
*Trane Italia s.r.l.*



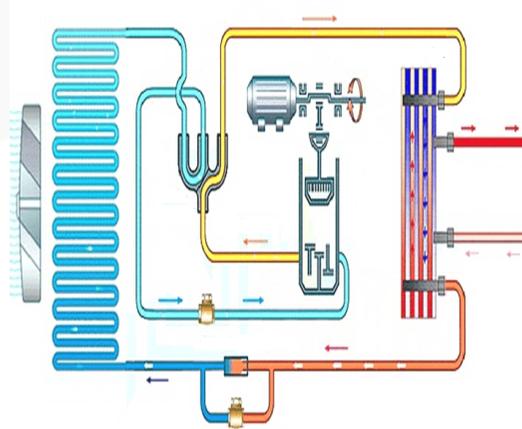
## Soluzioni tecnologiche

# Tipologie di macchine Termofrigorifere

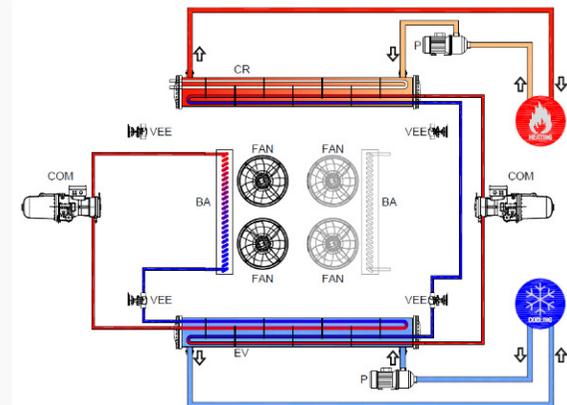
CHILLER  
SOLO FREDDO



POMPA DI  
CALORE



POLIVALENTE





## Soluzioni tecnologiche

# Tipologie di compressori

### SCROLL



6 – 800 kW

- Solo freddo
- Pompa di calore
- Polivalente

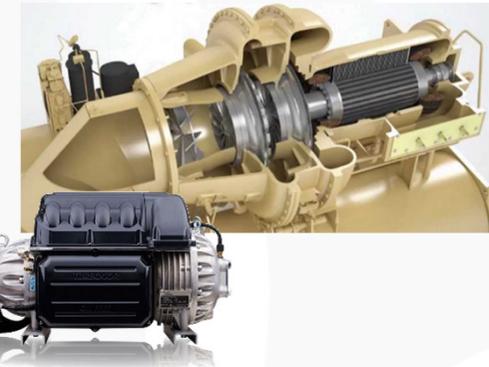
### VITE



300 – 3500 kW

- Solo freddo
- Pompa di calore
- Polivalente

### CENTRIFUGO



300 – 14000 kW

- Solo freddo



## Soluzioni tecnologiche

# Tipologie di condensazione

RAFFREDDATI  
AD ARIA



6 – 2000 kW



RAFFREDDATI  
AD ACQUA



50 – 14000 kW



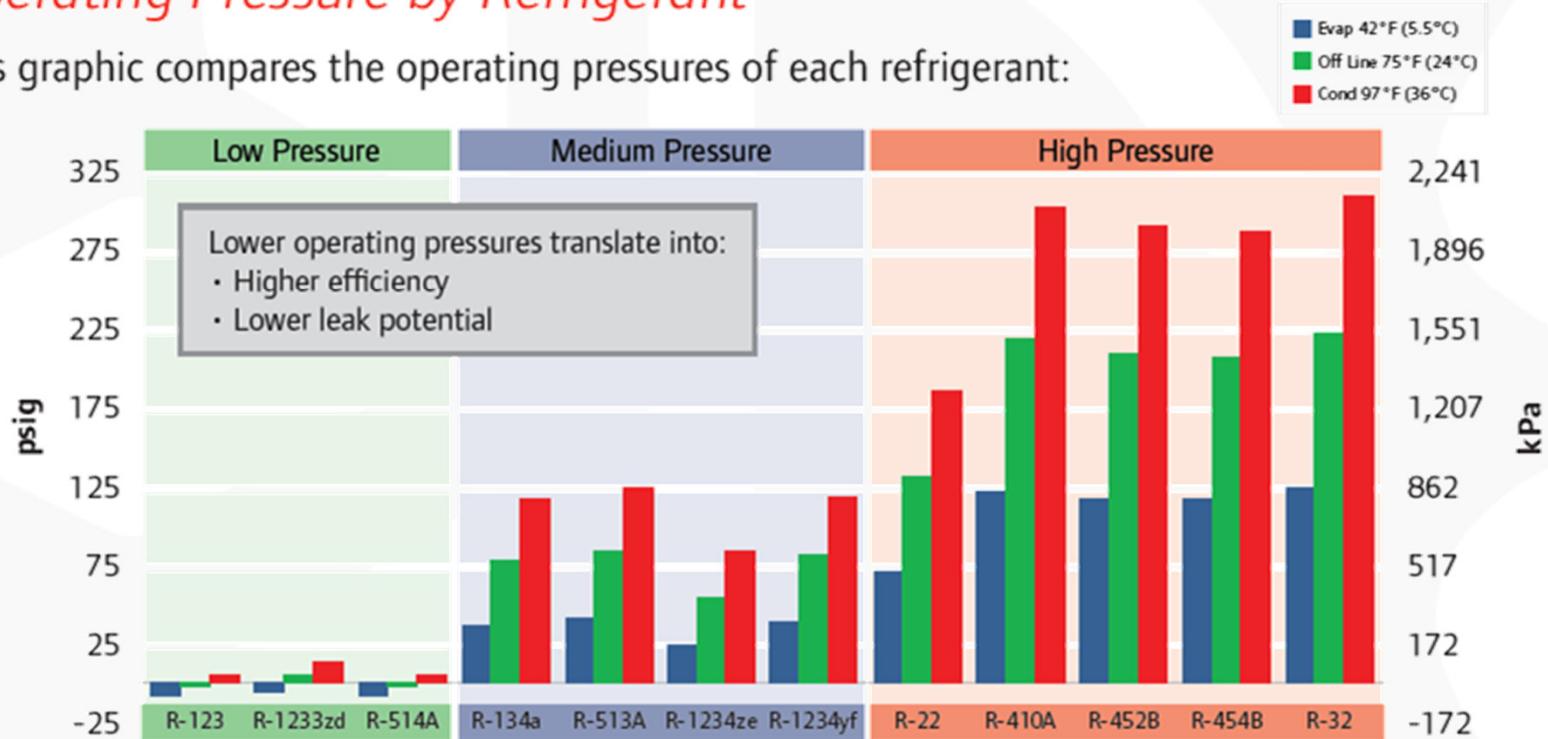


## Soluzioni tecnologiche

# Tipologie di gas refrigeranti

### Operating Pressure by Refrigerant

This graphic compares the operating pressures of each refrigerant:





# TIPOLOGIE DI MACCHINE TERMOFRIGORIFERE



## Soluzioni tecnologiche

# Pompe di calore ad alta temperatura

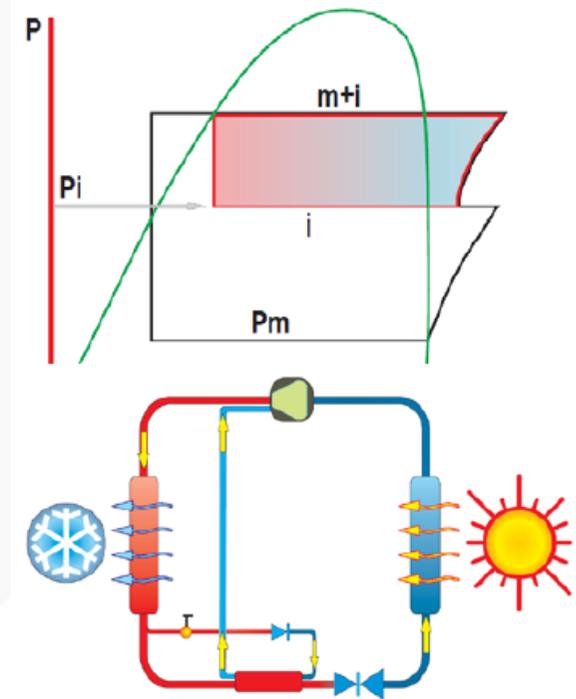
Sorgente Aria

## INIEZIONE DI VAPORE

Le unità sono dotate di economizzatore, dove una porzione di refrigerante, spillata dal condensatore ed espansa, sottoraffredda il resto del refrigerante.

Il vapore generato viene iniettato in uno stadio intermedio del ciclo di compressione

Questo sistema aumenta la capacità e l'efficienza dei compressori, permettendo alle unità di funzionare fino a  $-25^{\circ}\text{C}$  gradi esterni



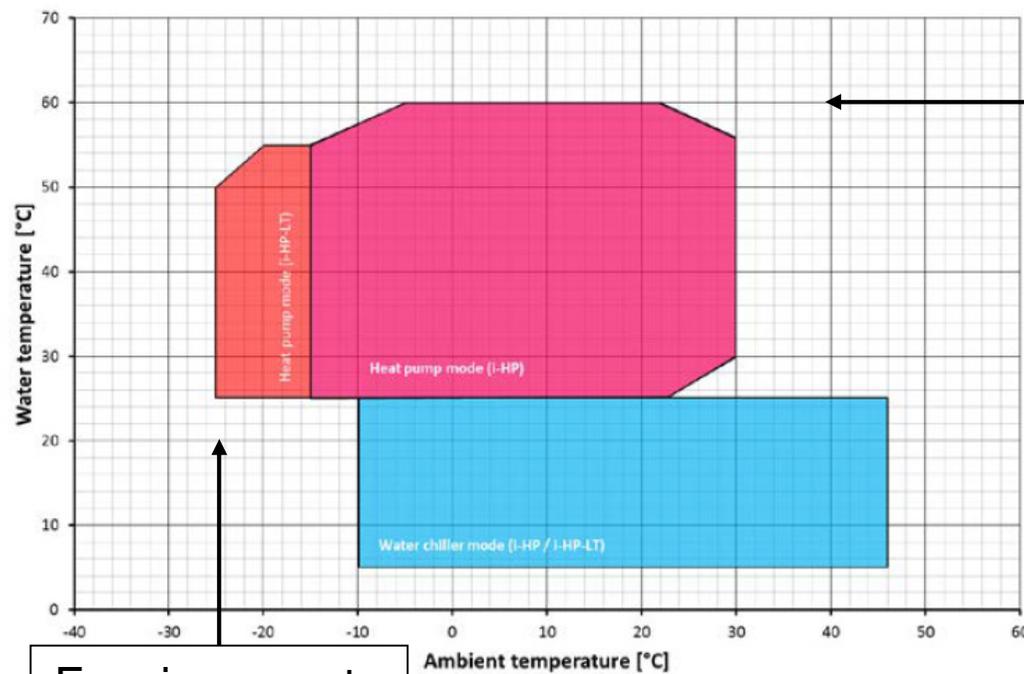


## Soluzioni tecnologiche

# Pompe di calore ad alta temperatura

Sorgente Aria

INIEZIONE DI VAPORE



Produzione  
acqua calda  
fino a 60°C

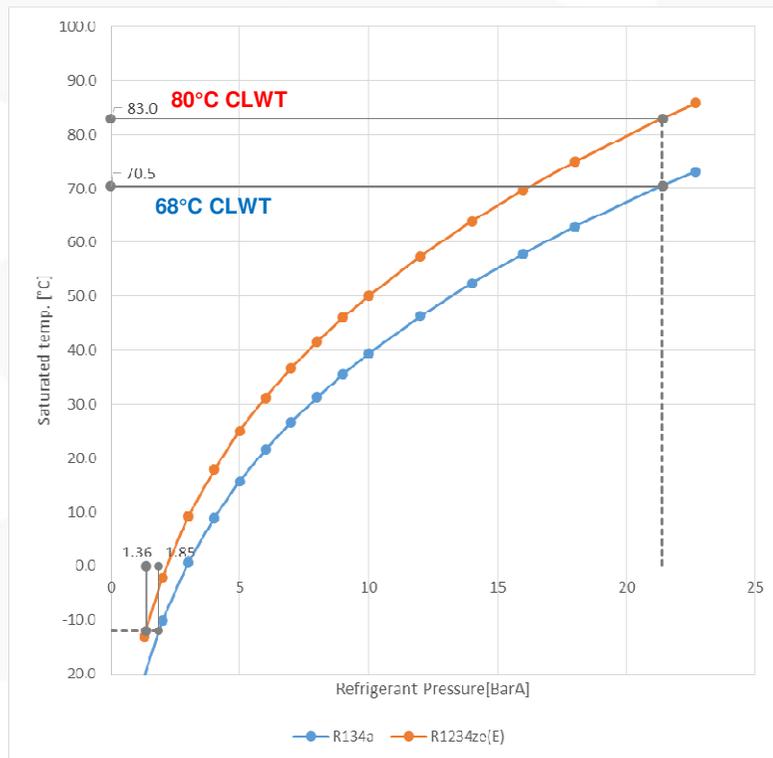
Funzionamento  
fino a -25°C  
esterni



## Soluzioni tecnologiche

# Pompe di calore ad alta temperatura Sorgente Acqua

Refrigerante R1234ze - proprietà termodinamiche



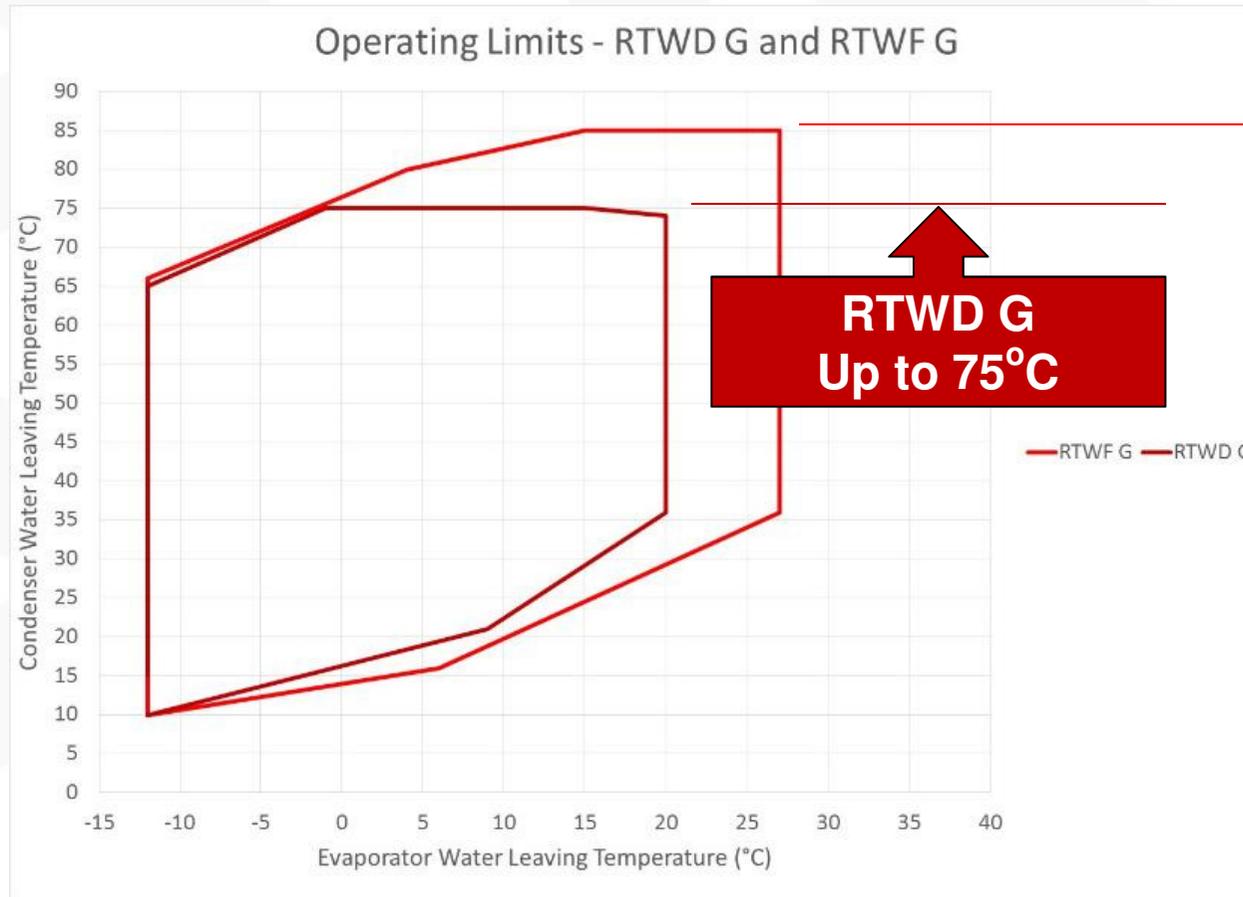
Curva di saturazione: pressione più bassa alla stessa temperatura.

- Possibilità di più alte CLWT (60-80°C)



## Soluzioni tecnologiche

# Pompe di calore ad alta temperatura Sorgente Acqua





# Quale Temperatura?

Dal punto di vista del campo operativo è possibile utilizzare le pompe di calore acqua-acqua in alternativa alla caldaia in un sistema progettato per alte temperature, avendo una sorgente di calore idonea, ad efficienza sicuramente più elevata della caldaia.

Ad ogni modo, la domanda giusta da porsi non è «qual'è la temperatura più alta raggiungibile con la pompa di calore», ma «qual è la temperatura più idonea a far funzionare meglio ed in maniera più efficiente il sistema».



# Quale Temperatura?

La temperatura di design dovrebbe essere scelta tenendo presente il costo energetico per produrla.

All'aumentare della temperatura **diminuiscono sia l'efficienza che la capacità termica** della macchina.

Non dimensionare semplicemente sulla temperatura più alta, ma valuta se rivedere il design dell'impianto può essere conveniente!

**I costi di utilizzo rappresentano quasi il 90%** del totale considerando la vita dell'impianto!



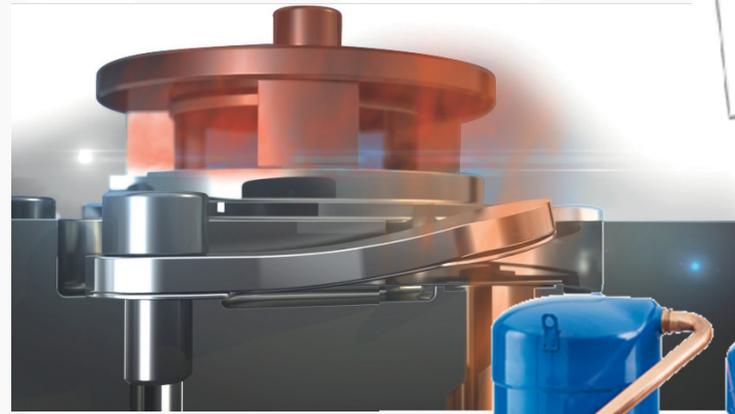
# TIPOLOGIE DI COMPRESSORI



## Soluzioni tecnologiche

# Compressori scroll

Compressori scroll  
con valvole di  
intercettazione  
intermedie (IDV)



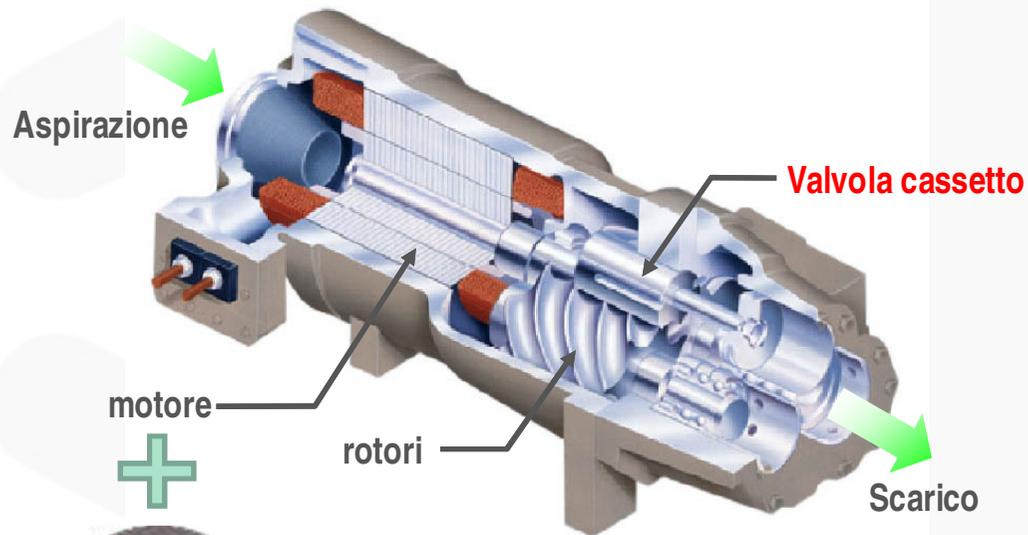
La tecnologia della valvola di mandata intermedia IDV permette al compressore di evitare le perdite provocate dalla sovracompressione e, di conseguenza, il lavoro supplementare che il motore deve svolgere nel funzionamento a carico parziale permettendo di risparmiare energia e migliorare l'efficienza stagionale e a carico parziale del 10%





## Soluzioni tecnologiche

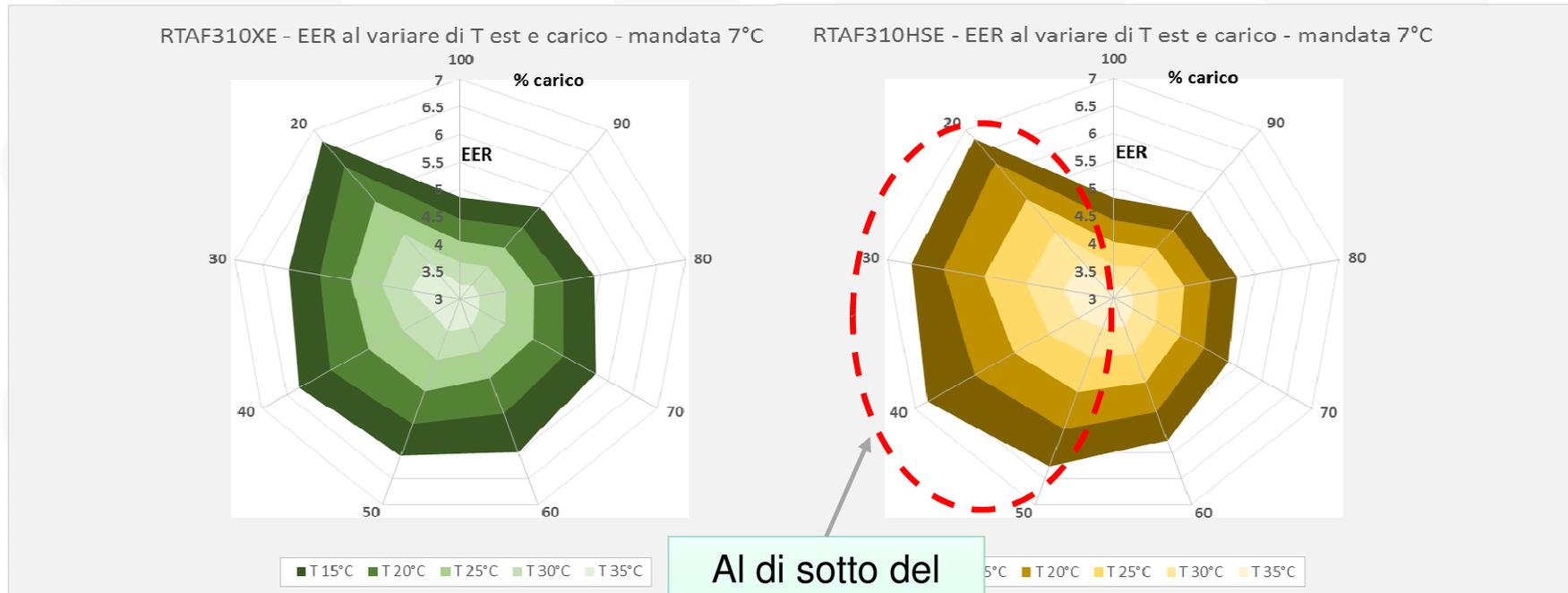
# Compressori a vite





## Soluzioni tecnologiche

# Vite con o senza inverter?



Al di sotto del 60% del carico l'EER aumenta grazie all'inverter



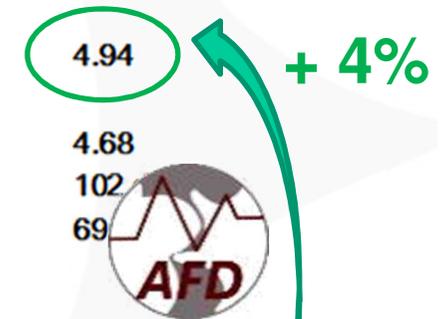
## Soluzioni tecnologiche

# Vite con o senza inverter?

Esempio: 4 compressori

### General Information

Unit nominal tonnage	310	Gross efficiency	3.19 EER (kW/kW)
Unit Type	High Seasonal Efficiency (HSE)	Net efficiency	3.14 EER (kW/kW)
Sound attenuator package	Standard noise (SN)	Gross ESEER at Eurovent conditions	4.94
Refrigerant Type	R134a	Net ESEER at Eurovent	4.68
Gross capacity	1118.35 kW	A-weighted sound power	102
Net capacity	1114.54 kW	Sound pressure level (10m)	69



### General Information

Unit nominal tonnage	310	Gross efficiency	3.25 EER (kW/kW)
Unit Type	eXtra Efficiency (XE)	Net efficiency	3.20 EER (kW/kW)
Sound attenuator package	Standard noise (SN)	Gross ESEER at Eurovent conditions	4.76
Refrigerant Type	R134a	Net ESEER at Eurovent	4.53
Gross capacity	1109.60 kW	A-weighted sound power	101 dBA
Net capacity	1105.80 kW	Sound pressure level (10m)	68 dBA



## Soluzioni tecnologiche

# Vite con o senza inverter?

Esempio: 1 compressore

### Performances

Cooling Capacity (Gross / Net)	1206 kW	1203 kW
Efficiency (Gross / Net)	5.895 EER (kW/kW)	5.688 EER (kW/kW)
ESEER (Gross / Net)	8.43	7.52
Refrigerant Charge R134a	311 kg	
Sound pressure (A weighted at 1 m)	79 dBA	



+ 20%

### Performances

Cooling Capacity (Gross / Net)	1206 kW	1203 kW
Efficiency (Gross / Net)	6.097 EER (kW/kW)	5.876 EER (kW/kW)
ESEER (Gross / Net)	6.75	6.21
Refrigerant Charge R134a	311 kg	
Sound pressure (A weighted at 1 m)	78 dBA	



## Soluzioni tecnologiche

# Vite con o senza inverter?

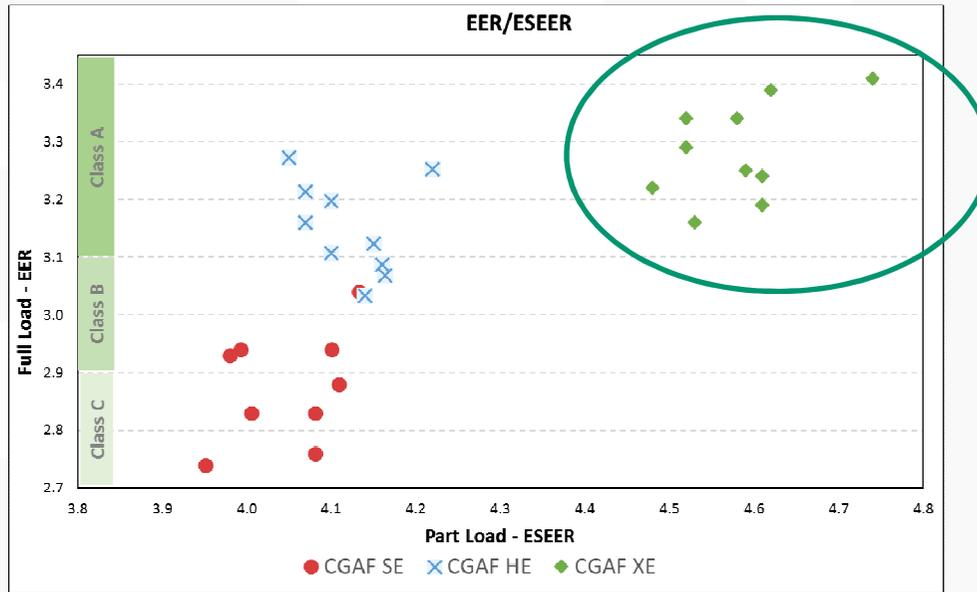
I benefici dell'utilizzo di macchine inverter dipendono da:

- **Numero di compressori:** minore è il numero di compressori, maggiore è il contributo dell'inverter sull'efficienza ai carichi parziali.
- **Profilo di carico:** più il carico è variabile durante l'anno, maggiori saranno i risparmi ottenibili dall'utilizzo di macchine inverter.
- **Ore di funzionamento:** l'utilizzo continuativo durante l'anno, con carichi più bassi in corrispondenza di basse temperature di condensazione, massimizza i benefici dell'inverter.



## Soluzioni tecnologiche

# Compressore scroll o vite?



Le macchine ad alta efficienza con **compressori scroll** di ultima generazione offrono livelli di efficienza equiparabili ai compressori a vite ad un costo significativamente inferiore

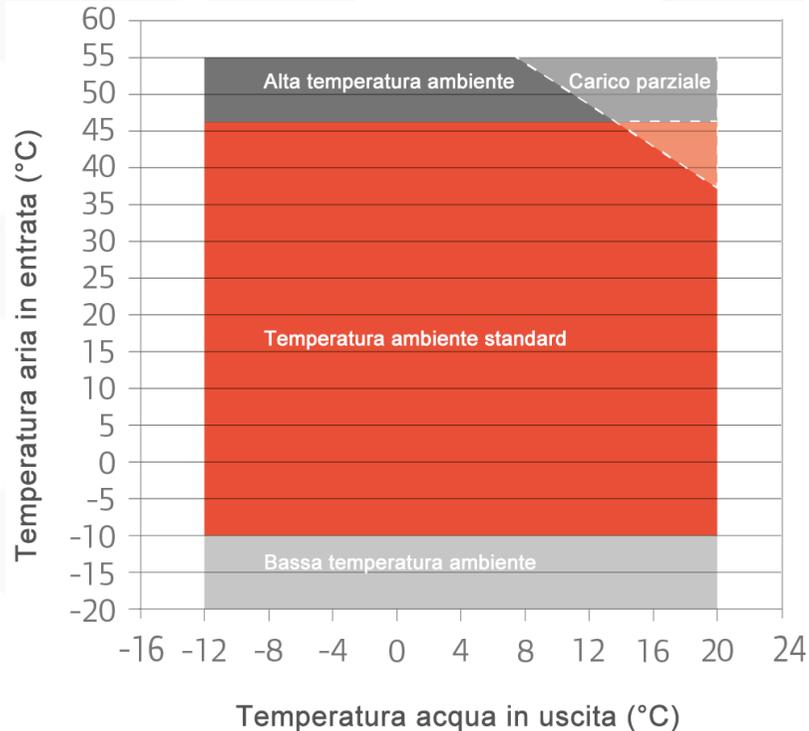


Per applicazioni di condizionamento dove un controllo preciso del setpoint non è la priorità, gli scroll ad alta efficienza sono una soluzione eccellente



## Soluzioni tecnologiche

# Compressore scroll o vite?



**I compressori a vite** offrono un campo operativo più ampio e un controllo della temperatura modulante in continuo più idoneo per applicazioni industriali

Inoltre sono disponibili e utilizzati con i nuovi gas refrigeranti a  $GWP = 1$ , garantendo una soluzione definitiva fino al termine della vita dell'impianto.





## Soluzioni tecnologiche

# Compressori centrifughi

### Centrifugo ad alta velocità

- Doppio stadio, compressori centrifughi ad alta velocità con maggiore efficienza aerodinamica

### Cuscinetti magnetici

- Garantiscono funzionamento silenzioso, affidabile e senza necessità di olio

### Soft start

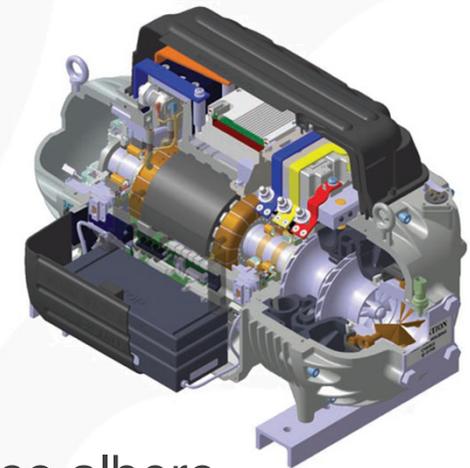
- Riduce in maniera significativa la corrente di spunto

### Inverter Integrato

- Gestisce le variazioni di carico e di temperatura di condensazione
- Design compatto

### Una sola parte in movimento

- Le due giranti sono direttamente accoppiate allo stesso albero





## Soluzioni tecnologiche

# Compressori centrifughi

I compressori centrifughi ad alta velocità rappresentano la soluzione più efficiente sul mercato per macchine condensate ad aria e ad acqua della stessa categoria di potenza

### Water cooled

	Brand	model	pc kW	pec kW	eer	eseer
		Model	Air Condit	for Air	ncy Rat	
1	TRANE	GVWF 375 G	789.3	129.82	6.08	8.88
2	TRANE	GVWF 270 G	592.1	99.35	5.96	8.67
3	TRANE	GVWF 290 G	695.3	120.09	5.79	8.49
4	TRANE	GVWF 405 G	1178.3	204.57	5.76	8.34
5	TRANE	GVWF 135 G	311	55.04	5.65	7.41
6	TRANE	GVWF 185 G	434.1	77.24	5.62	7.24
7	TRANE	GVWF 160 G	357.1	63.88	5.59	7.38
8	TRANE	GVWF 210 G	497.1	90.88	5.47	7.07
9	TRANE	GVWF 465 G	1488.1	273.05	5.45	8.29
10			311.8	57.63	5.41	8.27
	TRANE	GVWF 220 G	642.1	120.47	5.33	7.07
			930	175.47	5.3	8.92
			1360.8	257.24	5.29	8.5
	TRANE	GVWF 250 G	796.1	150.49	5.29	6.92
	TRANE	GVWF 350 G	973.6	184.39	5.28	8.14

### Air cooled

			pc kW	pec kW	eer	class eer	dpc Indoor kPa	apc Indoor kPa	eseer	seer (12/7)
	Model	Cooling	Electric	Energy	Energy	Efficiency Ra	Class for	Cooled	iller	
1	TRANE	GVAF XPG 280 XLN	999	251	3.97	A	22.27/333		5.88	6.26
2	TRANE	GVAF XPG 280 XLN	999	252	3.97	A	22.26			6.26
3	TRANE	GVAF XPG 280 LN	999	255	3.92	A	22.28			6.17
4	TRANE	GVAF XPG 280 LN	999	255	3.92	A	22.27/333		5.80	6.17
5				8.56	3.13	A		123	4.18	6.15
6	TRANE	GVAF XPG 190 XLN	693	170	4.08	A	19.704058		5.90	6.11
7	TRANE	GVAF XPG 190 XLN	693	170	4.08	A	19.7			6.11
8	TRANE	GVAF XPG 205 XLN	756	187	4.04	A	23.429799		5.88	6.06
9	TRANE	GVAF XPG 205 XLN	756	187	4.04	A	23.43			6.06
10	TRANE	GVAF XPG 310 XLN	1121	297	3.78	A	27.97			6.06
11	TRANE	GVAF XPG 310 XLN	1121	297	3.78	A	27.96557		5.662382	6.06
12	TRANE	GVAF XPG 190 LN	693	172	4.02	A	19.704058		5.81	6.01
13	TRANE	GVAF XPG 190 LN	693	172	4.02	A	19.7			6.01
14				193	3.50	A	23.1		5.75	5.99
15	TRANE	GVAF XPG 205 LN	756	190	3.98	A	23.429799		5.79	5.97
16	TRANE	GVAF XPG 205 LN	756	190	3.98	A	23.43			5.97
17	TRANE	GVAF XPG 310 LN	1121	300	3.73	A	27.97			5.97
18	TRANE	GVAF XPG 310 LN	1121	301	3.73	A	27.96557		5.58793	5.97

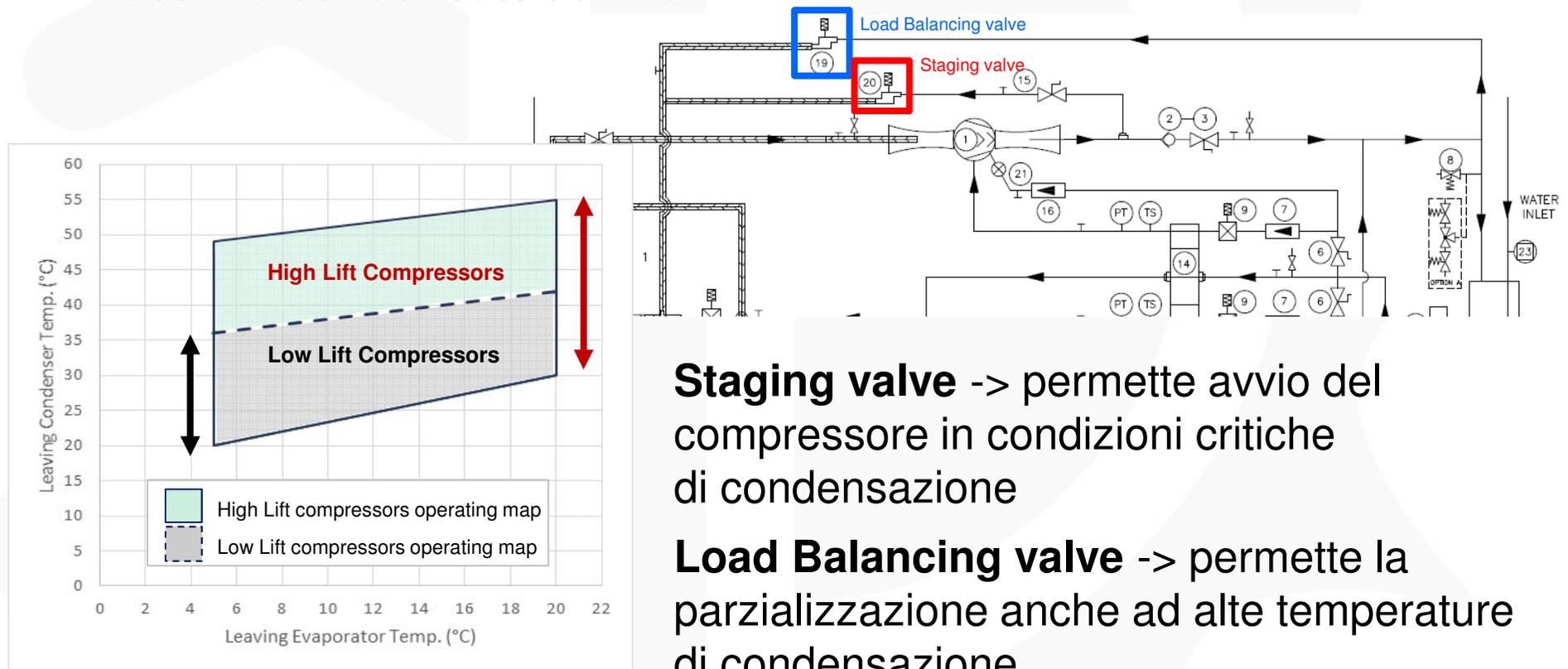
Dati Eurovent



## Soluzioni tecnologiche

# Compressori centrifughi

L'utilizzo di compressori ad alto LIFT e di valvole di by-pass garantisce il funzionamento in un ampio campo operativo anche su macchine **condensate ad aria**



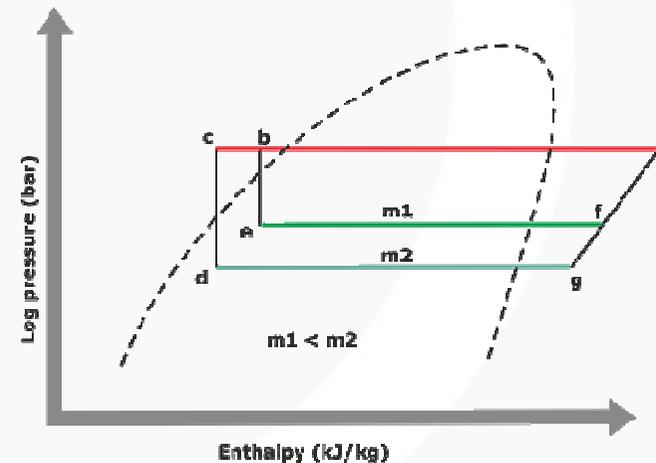
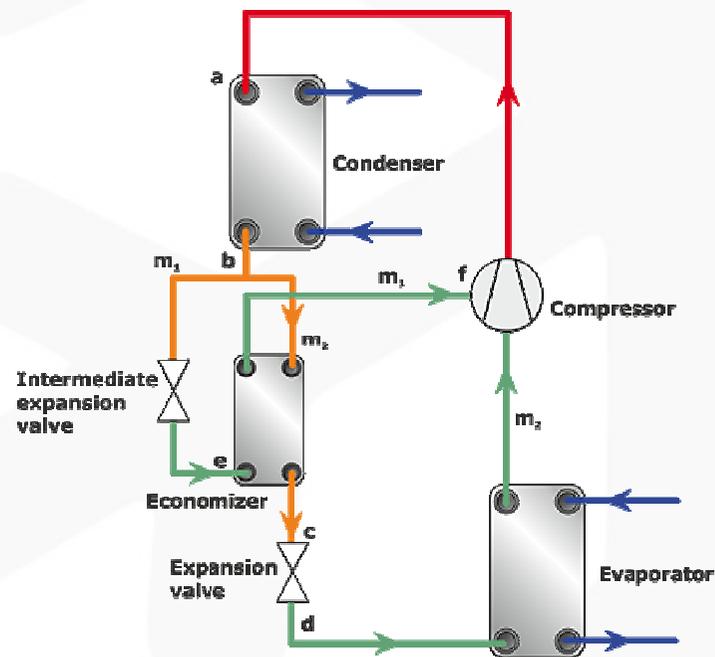
**Staging valve** -> permette avvio del compressore in condizioni critiche di condensazione

**Load Balancing valve** -> permette la parzializzazione anche ad alte temperature di condensazione

# Compressori centrifughi

Tutte le unità sono dotate di 'economizzatore', per migliorare l'efficienza, estendere l'effetto frigorifero utile e il campo operativo

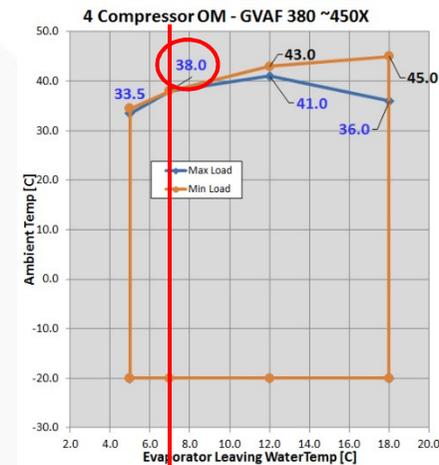
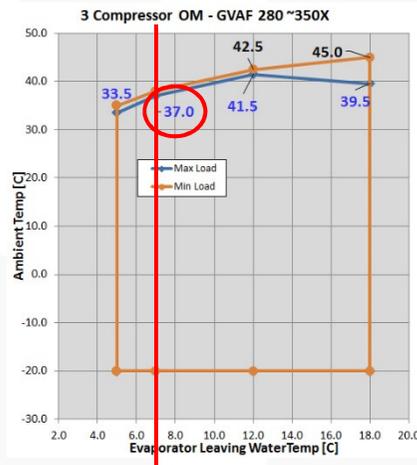
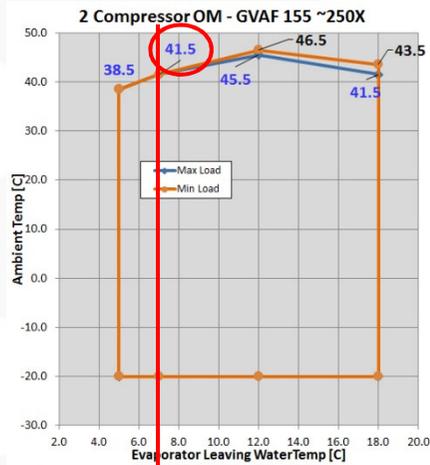
La porta di aspirazione per l'economizzatore è localizzata tra i due stadi del compressore



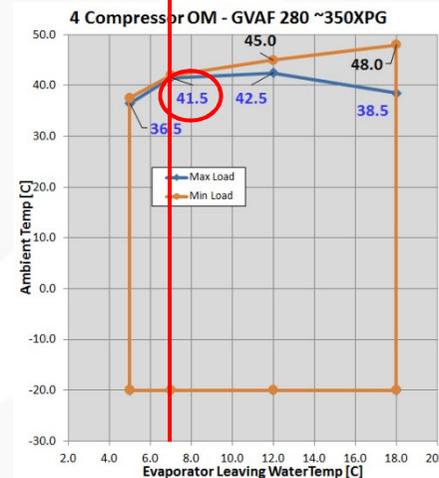
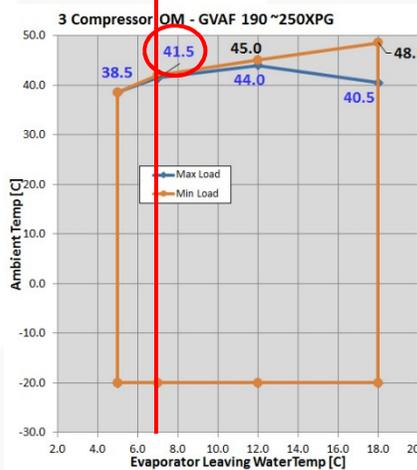
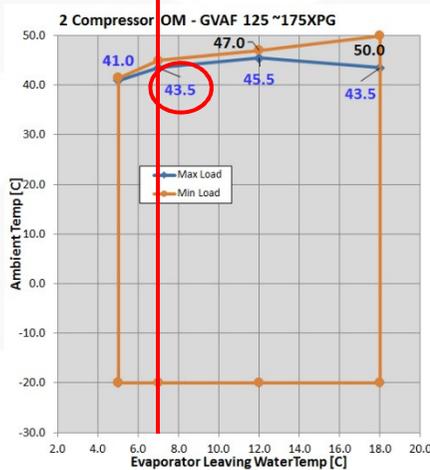


## Soluzioni tecnologiche

# Compressori centrifughi



R134a



R1234ze



## Soluzioni tecnologiche

# Vite o centrifugo ad alta velocità?

Per macchine **condensate ad aria** la differenza di **prestazioni** nel rendimento stagionale può essere anche del 35% a favore dei gruppi centrifughi

D'altra parte il **costo** di un centrifugo può essere del 60% superiore a quello di un vite



Necessaria analisi energetica per valutare la soluzione migliore a seconda del profilo di carico e delle ore di funzionamento





## Soluzioni tecnologiche

# Vite o centrifugo ad alta velocità?

La soluzione ottimale in termini di ritorno dall'investimento e risparmio nell'arco di vita dell'impianto può essere la combinazione delle due tecnologie:

Il vite per gestire il carico base e i picchi -> possibilità di effettuare anche **recupero di calore**

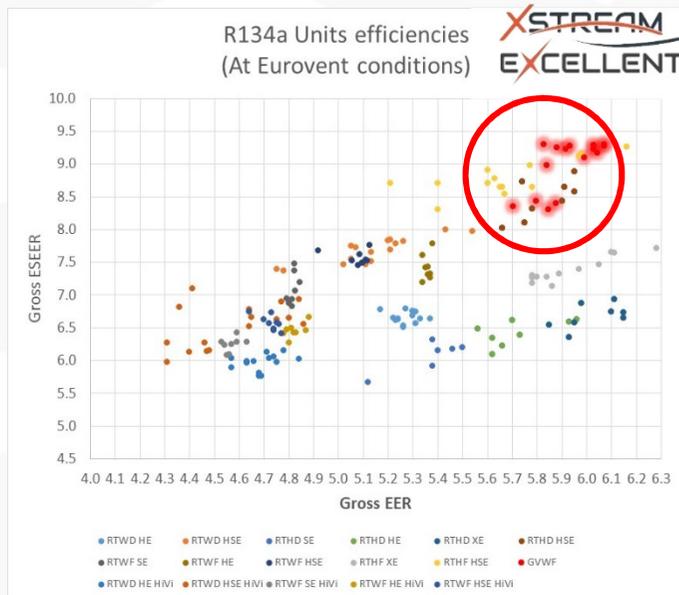
Il centrifugo per gestire le variazioni di carico e i periodi di bassa temperatura di condensazione



## Soluzioni tecnologiche

# Vite o centrifugo ad alta velocità?

Per macchine **condensate ad acqua** la differenza di prestazioni contro un vite inverter ad alta efficienza è più contenuta



E' necessaria un'attenta analisi delle condizioni di funzionamento annuali per sfruttare al meglio le caratteristiche dei compressori

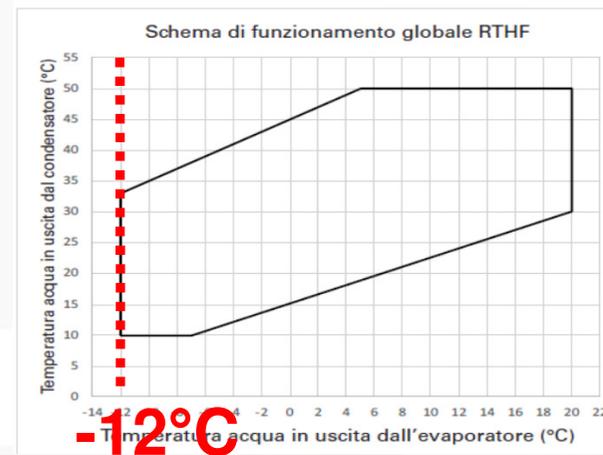
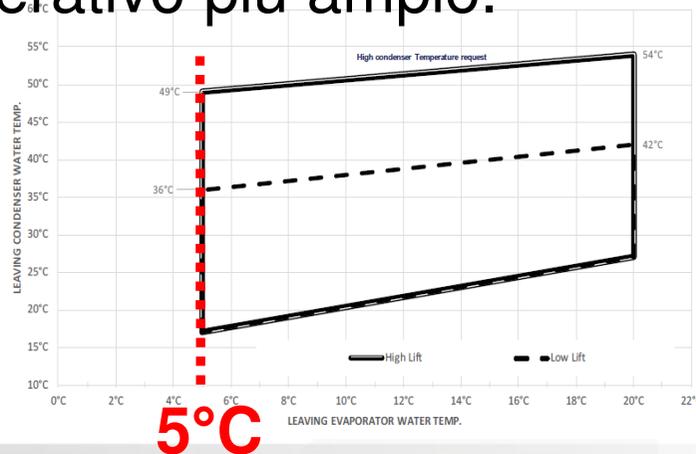


## Soluzioni tecnologiche

# Vite o centrifugo ad alta velocità?

Tipicamente un centrifugo a giri variabili rende al meglio quando condensazione e carico variano di pari passo, in tal caso si può sfruttare l'inverter senza avere problemi dovuti a LIFT elevati.

Quando non c'è corrispondenza tra temperatura di condensazione e carico, la flessibilità del compressore a vite offre maggiori garanzie, oltre che un campo operativo più ampio.

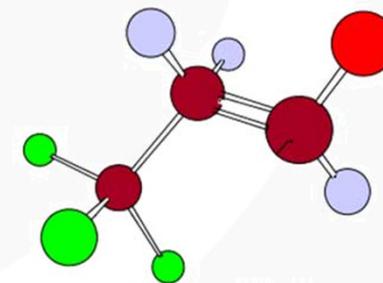
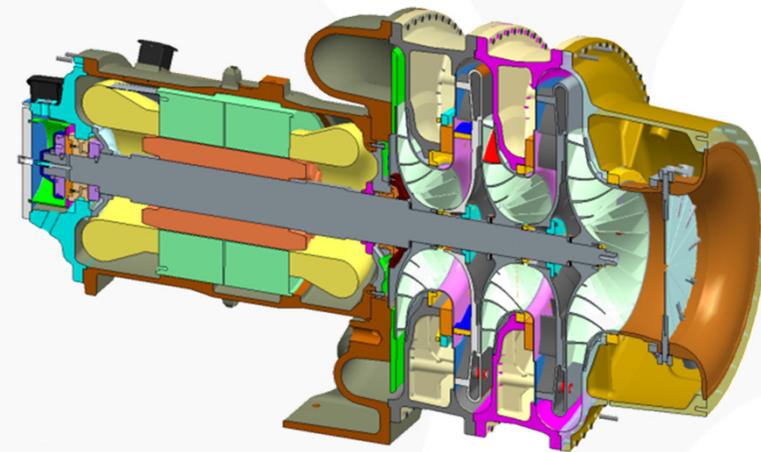
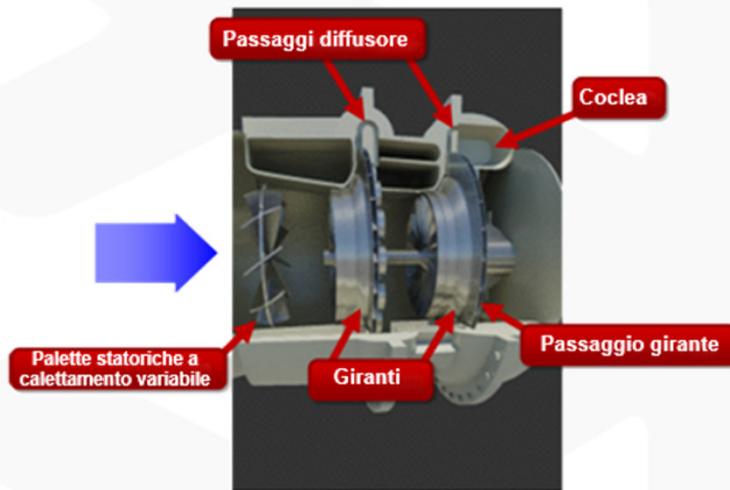




## Soluzioni tecnologiche

# Centrifughi a bassa pressione

CC > 2.8 MW



1233zd(E)  
Solstice® LBA  
(GWP=1)

Design del compressore:

- Semi ermetico ad accoppiamento diretto
- 2 o 3 stadi (60 & 50 Hz)



## Soluzioni tecnologiche

# Centrifughi a bassa pressione

## Comparazione tra funzionamento a medio e bassa pressione

	Bassa Pressione	Media Pressione
<b>Evaporatore</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sempre a pressione negativa</li> <li>• L'aria potrebbe entrare all'interno</li> <li>• Refrigerante perso: (# air leak in) x purge efficiency<sup>(a)</sup></li> <li>• No perdite nel locale tecnico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Opera a pressione positiva</li> <li>• Il refrigerante può uscire verso l'esterno a velocità moderata.</li> <li>• La perdita è difficile da identificare, e le performance diminuiscono</li> <li>• Perdita di refrigerante nel locale tecnico</li> </ul>
<b>Condensatore</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pressione leggermente positiva</li> <li>• In caso di fuga, la portata sarebbe molto bassa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sempre ad alta pressione</li> <li>• In caso di fuga, il refrigerante uscirebbe a velocità elevata</li> </ul>
<b>Monitoraggio fughe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Il Sistema di spurgo Trane EarthWise™ è in grado di monitorare in continuo le fughe</li> <li>• Trane EarthWise può essere connesso ad un sistema di supervisione dell'edificio per notifiche.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Per monitorare le fughe di refrigerante ci sono due soluzioni: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Controllo periodico delle fughe</li> <li>Installazione Sistema di rilevamento fisso</li> </ul> </li> <li>• Monitoraggio richiesto da F-gas</li> </ul>
<b>Pressioni tipiche:</b>	R-1233zd(E)	R-134a
3.3°C (38°F) evaporatore	Evap: -46.2 kPaG (-6.7 psig)	Evap: 228.2 kPaG (33.1 psig)
37.8°C (100°F) condensatore	Cond: 99.3 kPaG (14.4 psig)	Cond: 855.6 kPaG (124.1 psig)

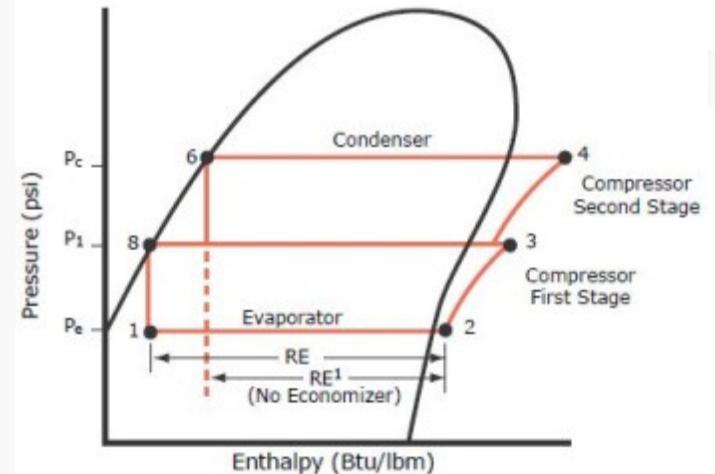
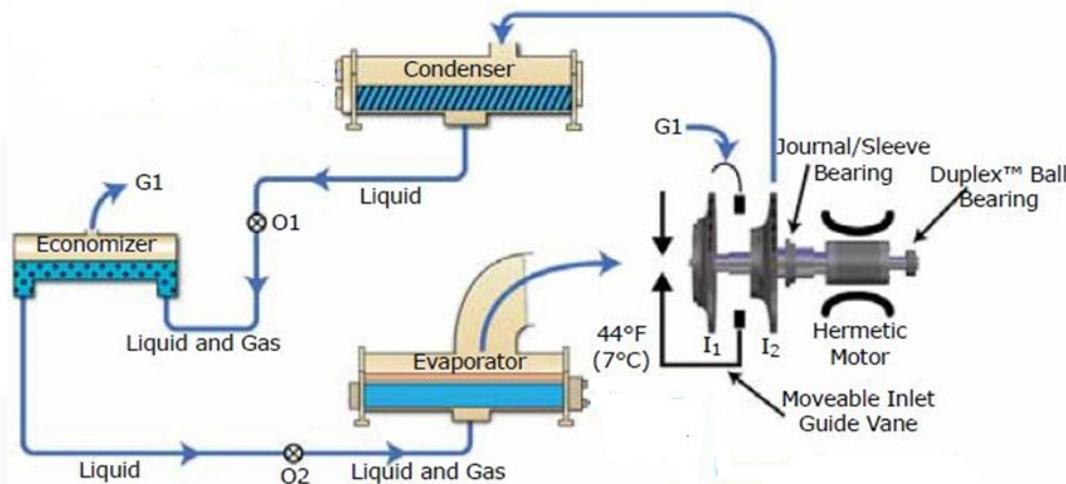


## Soluzioni tecnologiche

# Centrifughi a bassa pressione

Tutte le taglie sono dotate di **'economizzatore'** di tipo 'flash'. Il gas viene reintrodotta tra i due stadi del compressore.

Nel caso di 3 stadi sono presenti due economizzatori e una seconda porta di ingresso gas tra il secondo e terzo stadio.





# Vite o Centrifugo?

Nel campo di potenze **1000 – 3000kW** c'è possibilità di scegliere tra le due tipologie di compressore, tipicamente con gas a media pressione R134a.

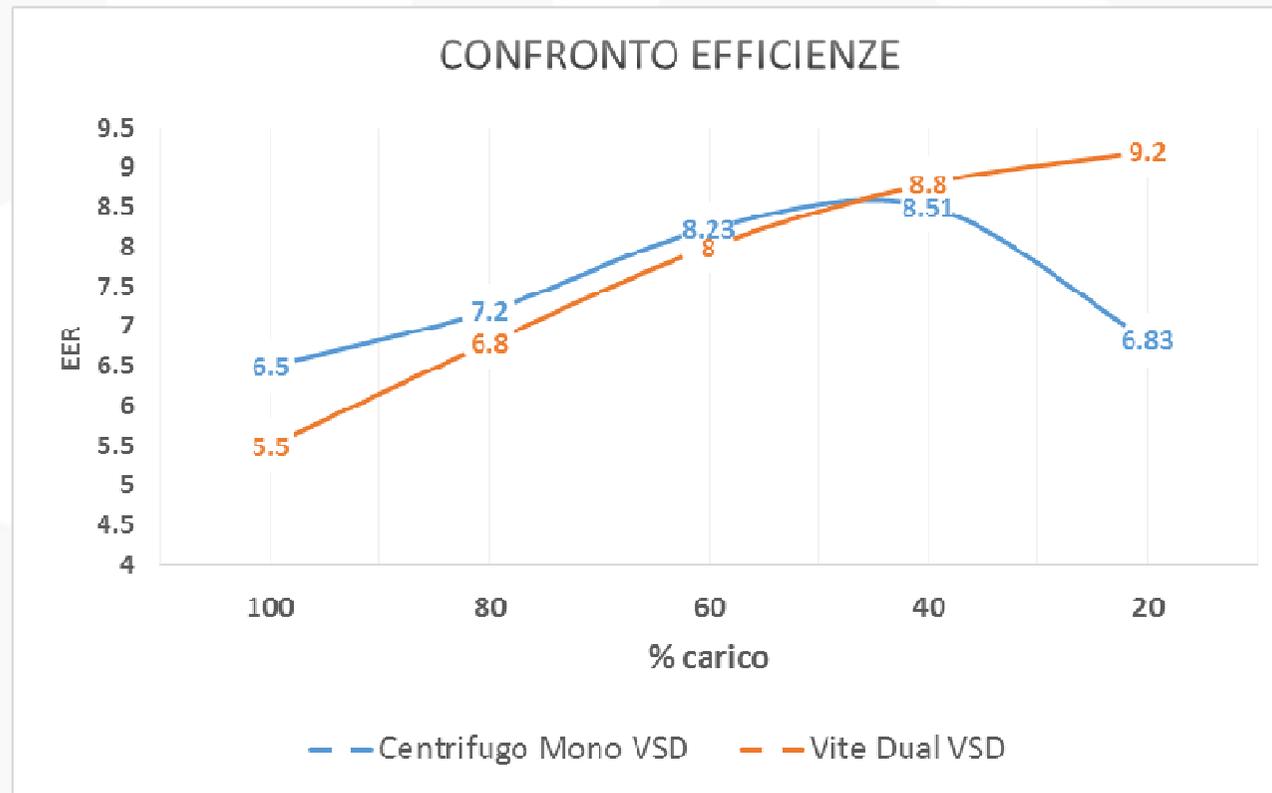
La gamma con compressori a vite offre diversi vantaggi rispetto ai gruppi centrifughi tradizionali in questo range di potenze:

- **Ridondanza** completa con il doppio circuito.
- **Prezzo** inferiore
- **Migliore efficienza** rispetto ai centrifughi a giri fissi, efficienza comparabile rispetto ai centrifughi a giri variabili



## Soluzioni tecnologiche

# Vite o Centrifugo?





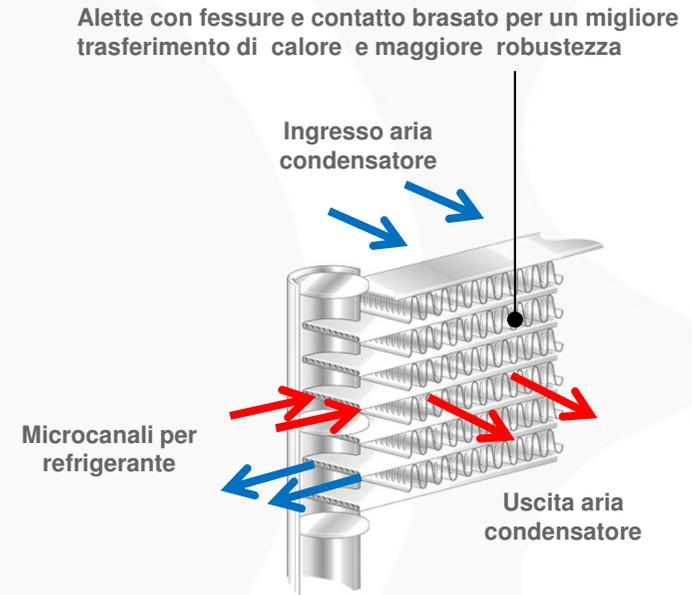
# TIPOLOGIE DI CONDENSAZIONE



## Soluzioni tecnologiche

# Raffreddati ad aria

- ✓ **Batteria a microcanale in alluminio** con design all'avanguardia per una maggiore resistenza alla corrosione
- ✓ Maggiore vita utile
- ✓ Maggiore efficienza con meno refrigerante
- ✓ Impatto ambientale ridotto
- ✓ Riduzione del 10% del peso totale dell'unità

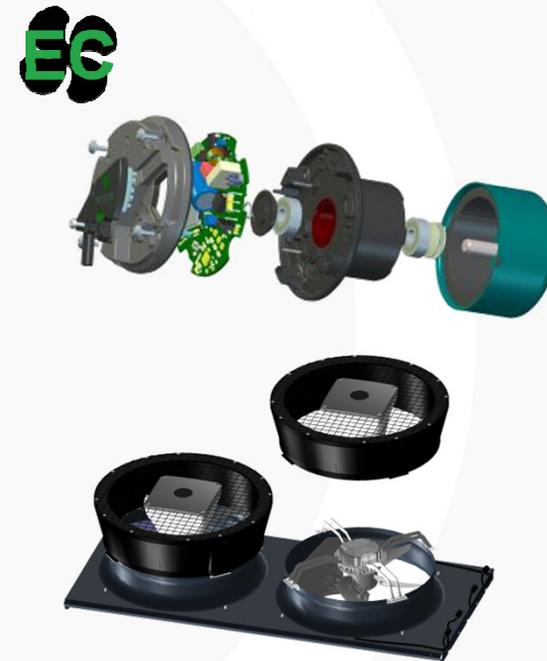




## Soluzioni tecnologiche

# Raffreddati ad aria

- ✓ **Ventilatori EC a commutazione elettronica**
- ✓ Migliore modulazione della capacità
- ✓ Minore consumo energetico
- ✓ Diffusori rimodellati per ottimizzare il flusso d'aria
- ✓ Minore consumo di energia
- ✓ Meno rumore durante il funzionamento

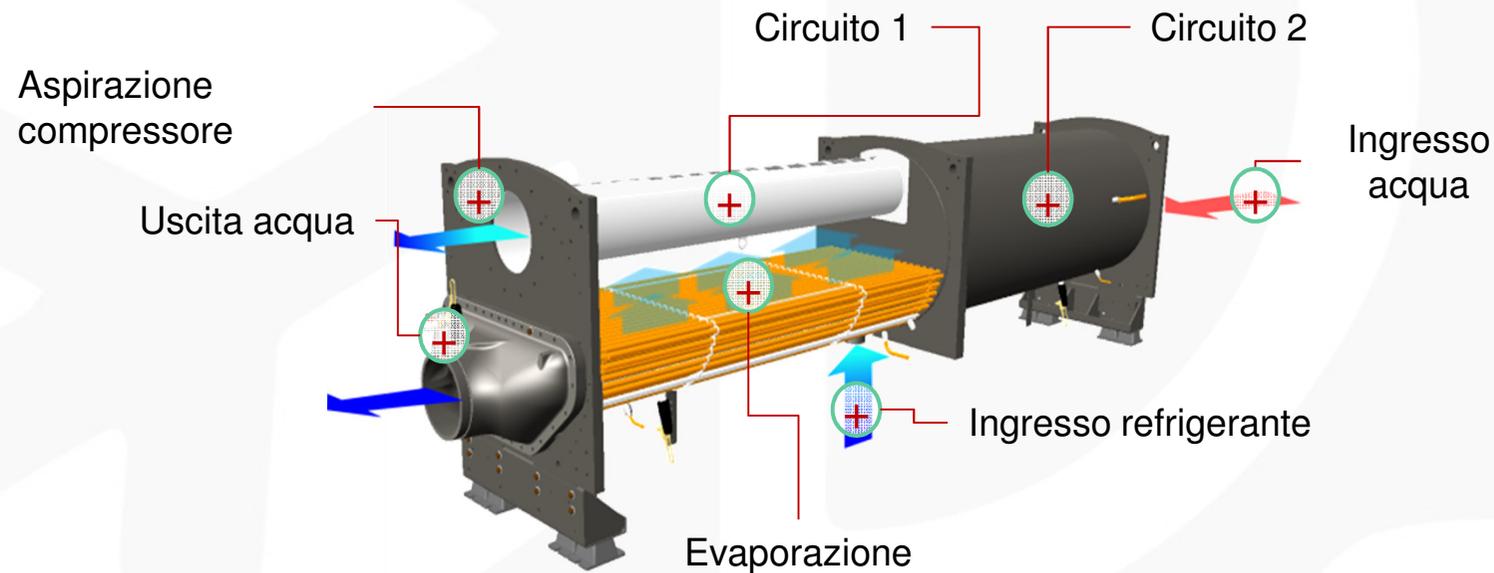




## Soluzioni tecnologiche

# Raffreddati ad aria

- ✓ **Evaporatore Allagato**
- ✓ Minor volume di refrigerante
- ✓ Maggiore efficienza
- ✓ Impatto ambientale ridotto

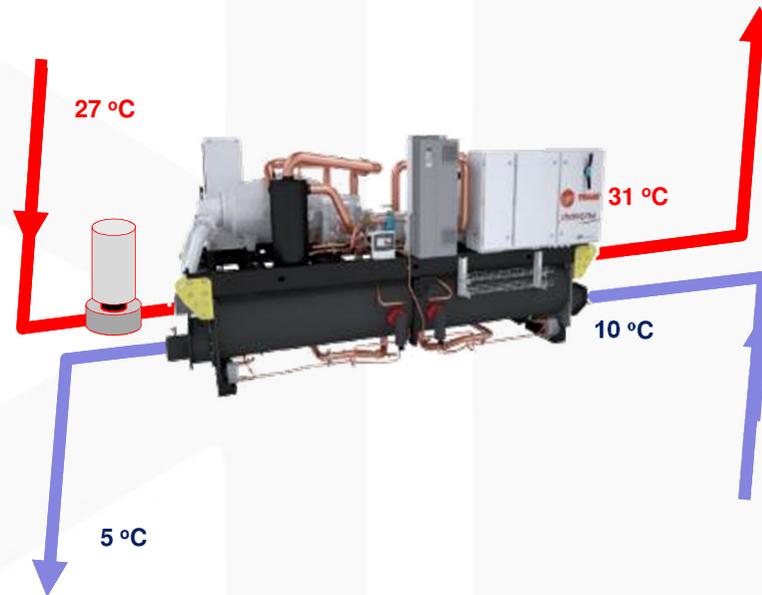




## Soluzioni tecnologiche

# Raffreddati ad acqua

Scambiatori allagati in contro flusso



La configurazione in contro flusso permette di lavorare con un LIFT bilanciato tra i due circuiti, massimizzando efficienza e affidabilità dei compressori.

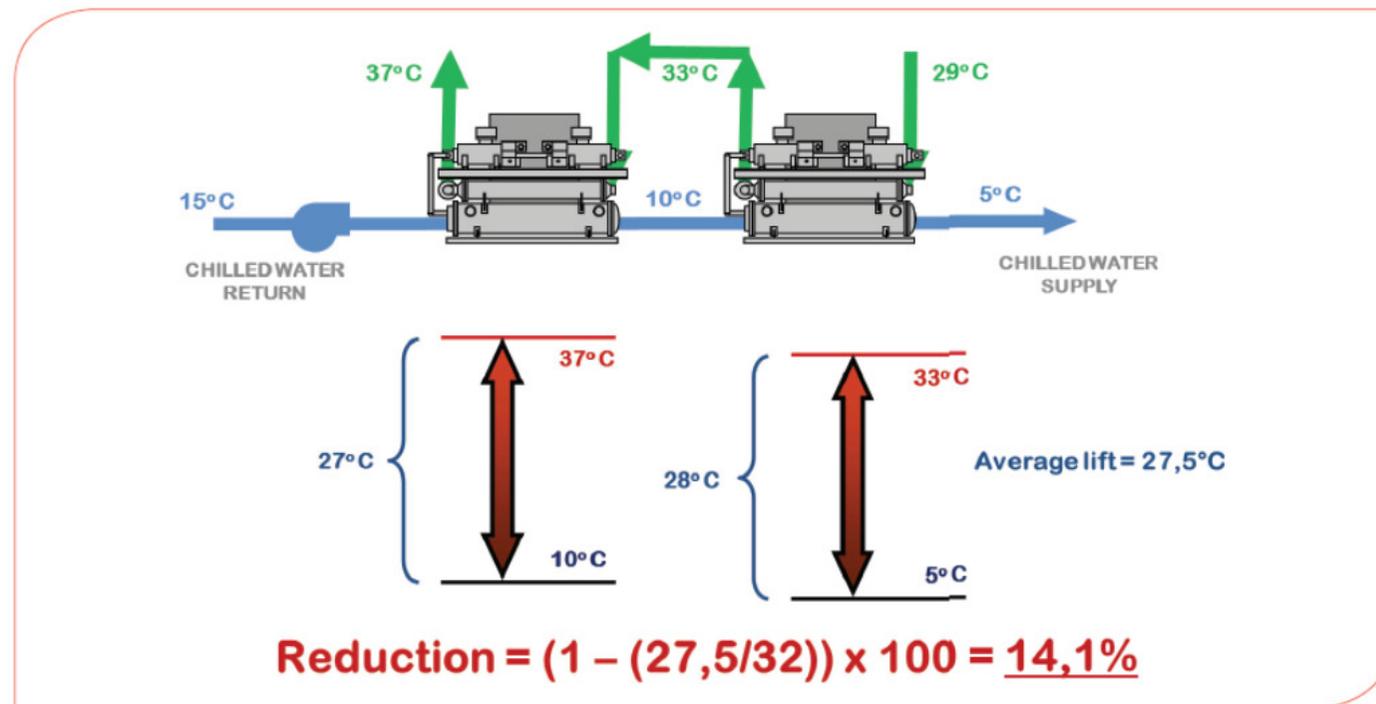


## Soluzioni tecnologiche

# Raffreddati ad acqua

Scambiatori allagati in contro flusso

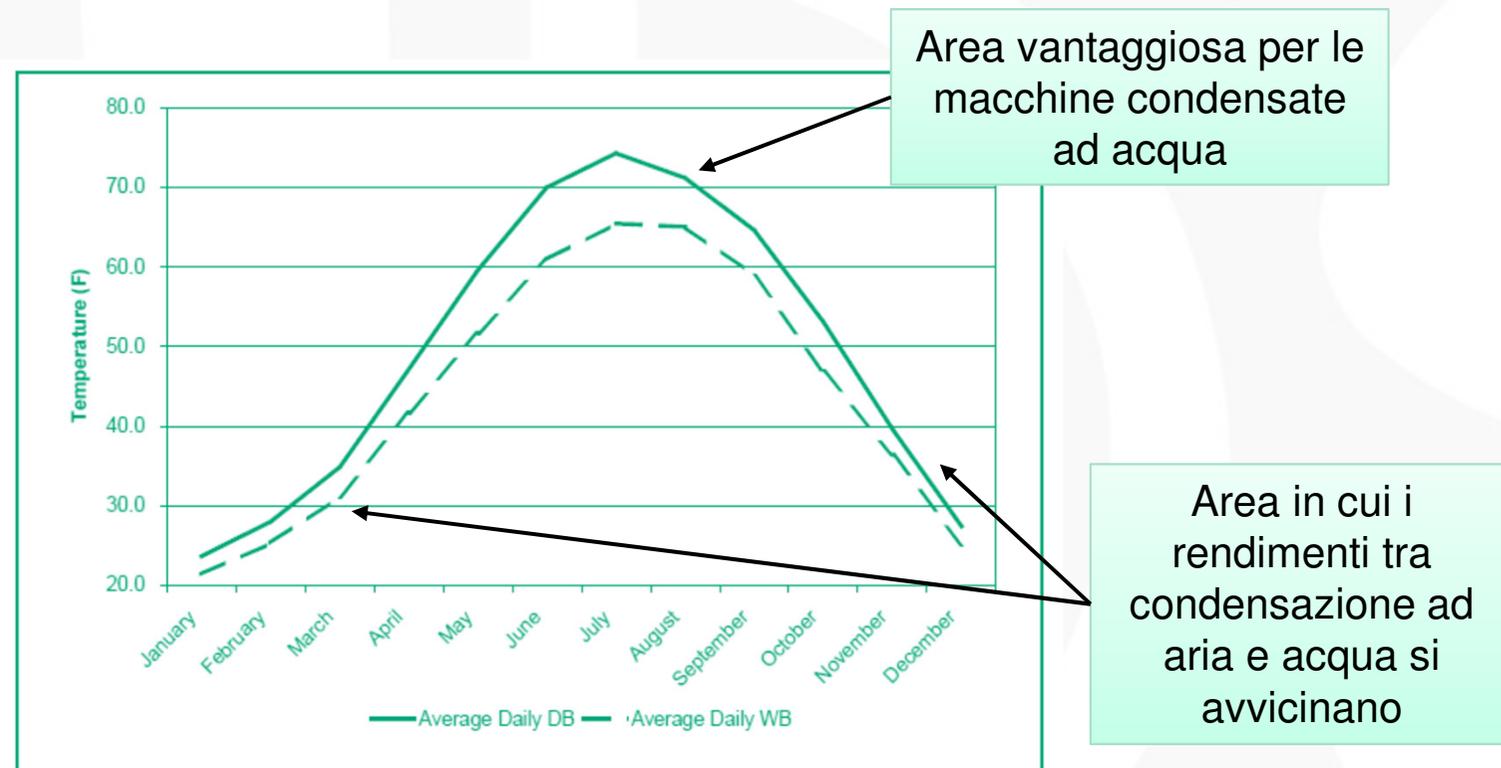
Figure 4: Series-series arrangement





## Soluzioni tecnologiche

# Raffreddati ad aria o acqua?



In applicazioni che prevedono funzionamento prevalentemente a basse temperature, le macchine condensate ad aria costituiscono una valida alternativa alle macchine condensate ad acqua.



# TIPOLOGIE DI GAS REFRIGERANTI



## Soluzioni tecnologiche

# Tipologie di gas refrigeranti

### Refrigerant Choices

This table compares various properties of both current and next-generation refrigerants. The efficiencies and capacity changes shown are based on the theoretical properties of the refrigerant alone, with all design variables held constant for objective comparison.

		Low Pressure			Medium Pressure				High Pressure				
		R-123	R-1233zd	R-514A	R-134a	R-513A	R-1234ze	R-1234yf	R-22	R-410A	R-452B	R-454B	R-32
Flammability	ASHRAE Class BV (cm/s)	Non (1) n/a	Non (1) n/a	Non (1) n/a	Non (1) n/a	Non (1) n/a	Slight (2L) 0.03	Slight (2L) 1.5	Non (1) n/a	Non (1) n/a	Slight (2L) 3.0	Slight (2L) 3.8	Slight (2L) 6.7
Toxicity <sup>1</sup>	ASHRAE Class OEL	Higher (B) 50	Lower (A) 800	Higher (B) 320	Lower (A) 1000	Lower (A) 650	Lower (A) 800	Lower (A) 500	Lower (A) 1000	Lower (A) 1000	Lower (A) 870	Lower (A) 850	Lower (A) 1000
Efficiency (COP)		8.95	8.85	8.91	8.47	8.28	8.45	8.17	8.48	7.99	8.14	8.15	8.22
Capacity Change		baseline	~35% gain	~5% loss	baseline	similar	~25% loss	~5% loss		baseline	~2% loss	~3% loss	~9% gain
GWP <sup>2</sup>		79	1	2	1300	573	1	1	1760	1924	675	466	677
Atmospheric Life		1.3 years	26 days	22 days	13.4 years	5.9 years	16 days	11 days	11.9 years	17 years	5.5 years	3.6 years	5.2 years

<sup>1</sup>None of the refrigerants shown in the table are considered "toxic" or "highly toxic" as defined by the IFC, UFC, NFPA 1 or OSHA regulations.

<sup>2</sup>GWP values reported are per the Fifth Assessment Report (AR5) of the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).

3R-1234ze is not flammable at room temperature, so its BV is zero by definition. It does, however, become flammable at temperatures above 30°C (86°F).





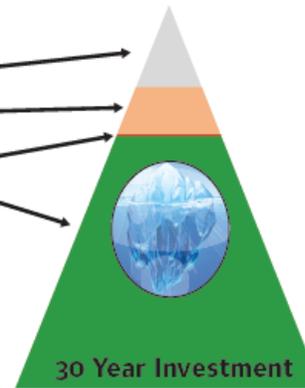
## Soluzioni tecnologiche

# Come scegliere?

Scegliere il miglior refrigerante per ogni applicazione basandosi sul miglior compromesso tra sicurezza (tossicità, infiammabilità), impatto ambientale (emissioni di gas serra) e costo totale (efficienza energetica dell'intero sistema).

"First Cost" (chiller + refrigerant)	4.92%
Lifetime Service Costs*	6.53%
Lifetime Refrigerant Supply*	0.04%
Lifetime Electrical Costs	88.51%

\*based on a low-pressure, hermetic design



# EcoWise™

The Ingersoll Rand EcoWise™ portfolio of products designed to lower environmental impact with next-generation, low-GWP refrigerants and higher efficiency operation is part of our climate commitment to increase energy efficiency and reduce the GHG emissions related to our operations and products.





## Soluzioni tecnologiche

# Come valutare le prestazioni? Eurovent vs AHRI

**Eurovent** certifica l'efficienza a pieno carico EER, e l'efficienza media stagionale, attraverso un indice chiamato ESEER

**AHRI** valida le procedure di costruzione della macchina e il software di selezione del produttore, verificando che le performance testate corrispondano all'output del software



# Come valutare le prestazioni? Eurovent vs AHRI

Lo standard **Eurovent** per la condensazione ad aria è il range 0 - 600 kW, con la possibilità di estendere fino a 1.500kW (solo 50Hz)

**AHRI** certifica nel range 0 – 2.200kW (50 & 60Hz)

Le condensate ad acqua sono per **Eurovent** certificate nel range 0-1.500kW (solo 50Hz) mentre **AHRI** certifica da 700-8.800kW a 50Hz e 0-10.500kW a 60Hz.



# GRAZIE PER L'ATTENZIONE

*Le opinioni espresse dagli Autori non rispecchiano necessariamente quelle dell'Associazione*