

# **CAPITOLO 6**

## **CENTRALI FRIGORIFERE**

## **MACCHINE FRIGORIFERE**

LE MACCHINE FRIGORIFERE SI UTILIZZANO PER SOTTRARRE ENERGIA TERMICA AD UN'UTENZA A BASSA TEMPERATURA E QUINDI PER REFRIGERARE L'UTENZA STESSA

# **FRIGORIFERO A COMPRESSIONE**

## **TEMPERATURE DI FUNZIONAMENTO - 1**

LE ESIGENZE DELL'UTENZA DETERMINANO LA TEMPERATURA DI MANDATA DEL FRIGORIFERO

PER IL CONDIZIONAMENTO AMBIENTALE (MANTENERE GLI AMBIENTI A 25°C CIRCA) SI USANO FRIGORIFERI CHE RAFFREDDANO (SULL'EVAPORATORE) ACQUA, DETTA GELIDA, CON TEMPERATURE DI INGRESSO/USCITA RISPETTIVAMENTE DI 12°C E 7°C

## **FRIGORIFERO A COMPRESSIONE**

### **TEMPERATURE DI FUNZIONAMENTO - 2**

PER APPLICAZIONI SPECIALI SI UTILIZZANO MACCHINE CON TEMPERATURA DI MANDATA PIU' BASSA DI 0°C. ESEMPI:

- CONDIZIONAMENTO DI SALE OPERATORIE A 16°C (TEMPERATURA MANDATA FRIGO -1°C)
- PALAZZI DEL GHIACCIO (TENERE LA PISTA A POCO MENO DI 0°C - MANDATA E RITORNO FRIGO ENTRAMBI A MENO DI 0°C)
- CELLE FRIGORIFERE, -10 / -30°C

QUANDO LA TEMPERATURA DI MANDATA E' PIU' BASSA DI 0°C E SI USA ACQUA NEL CIRCUITO D'UTENZA, QUESTA DEVE ESSERE ADDIZIONATA CON GLICOLE ANTIGELO.

NELLE CELLE FRIGORIFERE (A -10 / -30°C) SI USA DIRETTAMENTE IL FREON NELLO SCAMBIATORE POSTO NELL'AMBIENTE

# MACCHINE FRIGORIFERE

## CICLI FRIGORIFERI

- A COMPRESSIONE: CONSUMA ENERGIA ELETTRICA
- AD ASSORBIMENTO: CONSUMA CALORE

## CICLO FRIGORIFERO A COMPRESIONE

E' UN CICLO CHIUSO OPERATORE, PERCORSO IN SENSO ANTIORARIO: HA ESSENZIALMENTE UNA CONFIGURAZIONE SIMILE A QUELLA DI UN CICLO RANKINE PERCORSO IN SENSO INVERSO

POICHE' IL PROCESSO DI SOTTRAZIONE DI ENERGIA TERMICA ( $Q_L$ ) AD UNA SORGENTE FREDDA DA RIVERSARE AD UNA SORGENTE CALDA NON E' UN PROCESSO SPONTANEO, PER IL FUNZIONAMENTO DEL CICLO SI RENDE NECESSARIA L'INTRODUZIONE DI UN LAVORO  $L$  NEL CICLO.

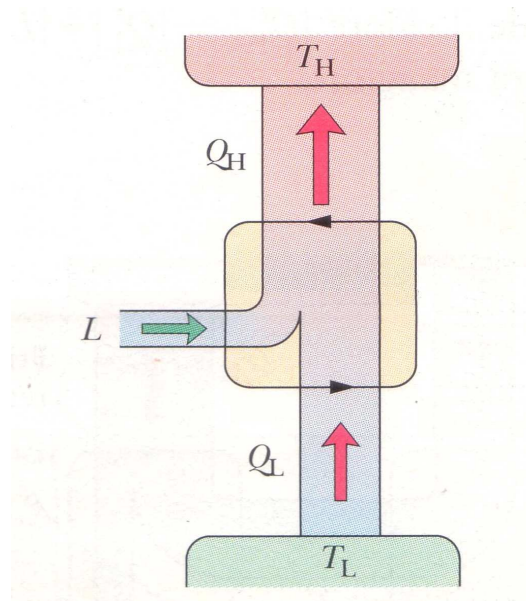
L'ENERGIA TERMICA  $Q_H$  RIVERSATA ALLA SORGENTE CALDA SARA' PARI A:

$$Q_H = Q_L + L$$

SI DEFINISCE COEFFICIENTE DI PRESTAZIONE COP IL RAPPORTO FRA L'EFFETTO UTILE E LA SPESA ENERGETICA

$$COP = Q_L / L$$

## CICLO FRIGORIFERO A COMPRESSIONE



$$Q_H = Q_L + L$$

$$\text{COP} = Q_L / L$$

## **CICLO FRIGORIFERO A COMPRESSIONE**

LE CARATTERISTICHE TECNICO/REALIZZATIVE DELLE MACCHINE FRIGORIFERE A COMPRESSIONE SI DISTINGUONO IN RELAZIONE A:

- POTENZIALITA' FRIGORIFERA RICHIESTA
- TEMPERATURA DI EVAPORAZIONE
- FLUIDO (E QUINDI TEMPERATURA) DI CONDENSAZIONE

LA POTENZIALITA' RICHIESTA DETERMINA IL TIPO DI COMPRESSORE

LA TEMPERATURA DI EVAPORAZIONE DIPENDE DALLE ESIGENZE DELL'UTENZA E DETERMINA LA SCELTA DEL FLUIDO FRIGORIGENO (FREON) E LA CONFIGURAZIONE DEL CICLO FRIGORIFERO

LA TEMPERATURA DI CONDENSAZIONE E LE CARATTERISTICHE REALIZZATIVE DEL CONDENSATORE DIPENDONO INNANZITUTTO DAL FLUIDO DISPONIBILE PER LA CONDENSAZIONE STESSA (ACQUA, ARIA), E POI DALLE CONDIZIONI AMBIENTALI ESTERNE



## **FRIGORIFERI A COMPRESSIONE**

### **TIPI DI COMPRESSORE**

- ALTERNATIVO (FINO A 500 kW)
- A VITE (FINO A 1300 kW)
- CENTRIFUGO (DA 1000 kW IN SU)

### **SISTEMI DI RAFFREDDAMENTO**

- AD ARIA
- AD ACQUA

### **PROBLEMI DI RUMORE:**

- COL RAFFREDDAMENTO AD ARIA: DOVUTI AL FRIGO
- COL RAFFREDDAMENTO AD ACQUA: DOVUTI ALLA TORRE DI RAFFREDDAMENTO

## **FRIGORIFERO A COMPRESSIONE**

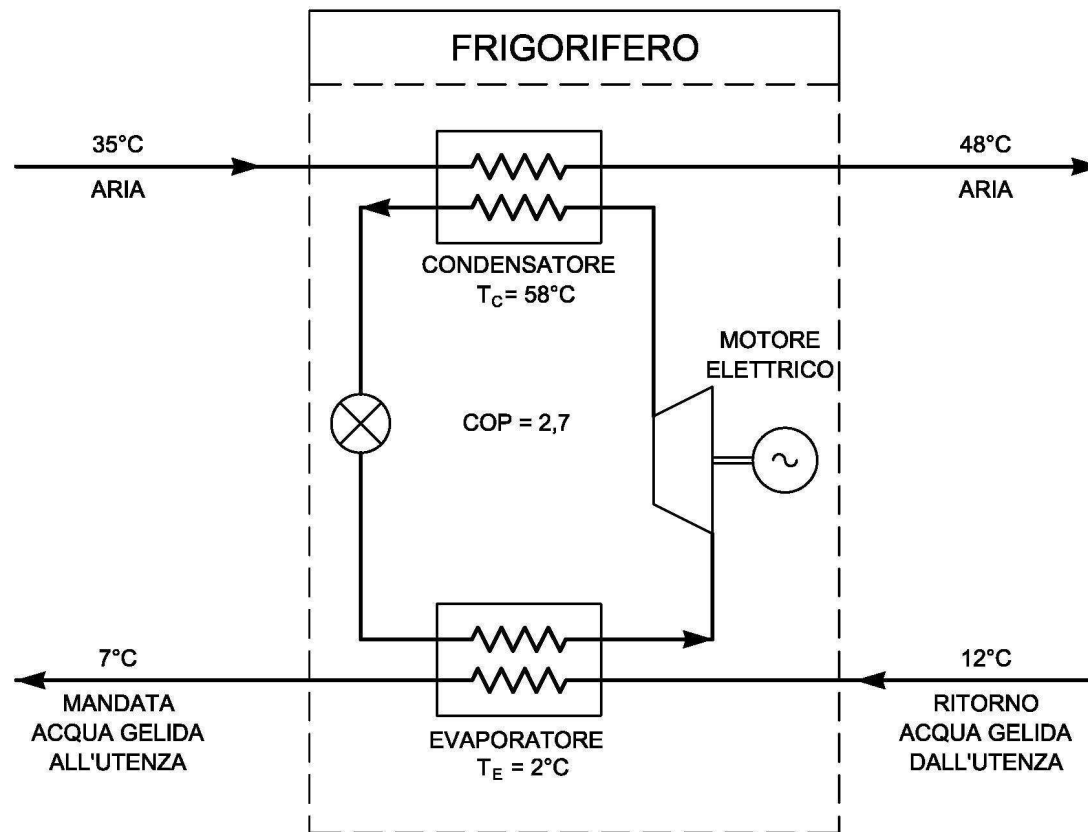
### **SISTEMI DI RAFFREDDAMENTO AD ARIA**

IL CONDENSATORE E' RAFFREDDATO MEDIANTE RILEVANTI PORTATE D'ARIA ESTERNA, SOFFIATE DA APPOSITI VENTILATORI

LA TEMPERATURA DI CONDENSAZIONE E' NOTEVOLMENTE PIU' ELEVATA, RISPETTO ALLA TEMPERATURA AMBIENTE, ED IL COP E' PIUTTOSTO BASSO (INFERIORE A 3)

LA MACCHINA FRIGORIFERA VA INSTALLATA ALL'APERTO, E' PIU' GRANDE E PIU' COSTOSA DI UNA MACCHINA RAFFREDDATA AD ACQUA, PERO' NON C'E' NECESSITA' DI TORRE DI RAFFREDDAMENTO, IL CHE DA' COMPLESSIVAMENTE UN RISPARMIO IN COSTO ED IN SPAZIO

## FRIGORIFERO A COMPRESSIONE RAFFREDDATO AD ARIA



## **FRIGORIFERO A COMPRESSIONE**

### **SISTEMI DI RAFFREDDAMENTO AD ACQUA**

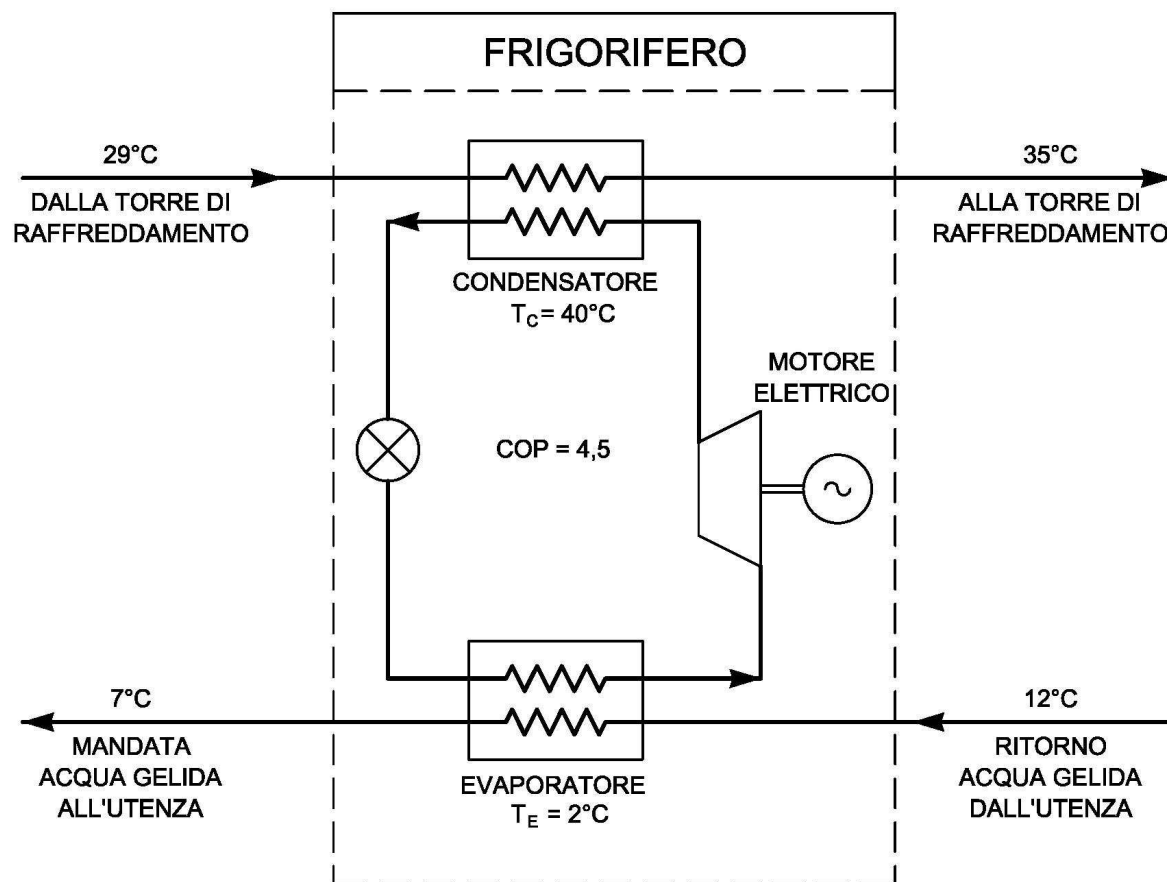
IL CONDENSATORE E' RAFFREDDATO MEDIANTE ACQUA, CHE VIENE RAFFREDDATA, A PROPRIA VOLTA, DA UNA TORRE DI RAFFREDDAMENTO

LA TEMPERATURA DI CONDENSAZIONE E' POCO PIU' ELEVATA, RISPETTO ALLA TEMPERATURA AMBIENTE, ED IL COP E' ALTO (4,50 – 6,00)

IL FRIGORIFERO PUO' ESSERE INSTALLATO AL CHIUSO ED E' PIU' COMPATTO. PER CONTRO, L'INTERA INSTALLAZIONE, INCLUSA LA TORRE DI RAFFREDDAMENTO, HA MAGGIOR INGOMBRO ED E' PIU' COSTOSA

IL COP COMPLESSIVO, TENUTO CONTO DEGLI ASSORBIMENTI ELETTRICI DELLE TORRI DI RAFFREDDAMENTO E DELLE POMPE DELL'ACQUA DI TOPRE, SI ATTESTA INTORNO A 3,50 – 4,50

## FRIGORIFERO A COMPRESSIONE RAFFREDDATO AD ACQUA



## TORRI DI RAFFREDDAMENTO

COMPONENTE PER RAFFREDDARE ACQUA USANDO L'ARIA ESTERNA

L'ACQUA DA RAFFREDDARE VIENE SPRUZZATA IN GOCCIOLINE ALL'INTERNO DI UNA CORRENTE D'ARIA (QUESTA SPINTA DA UN VENTILATORE)

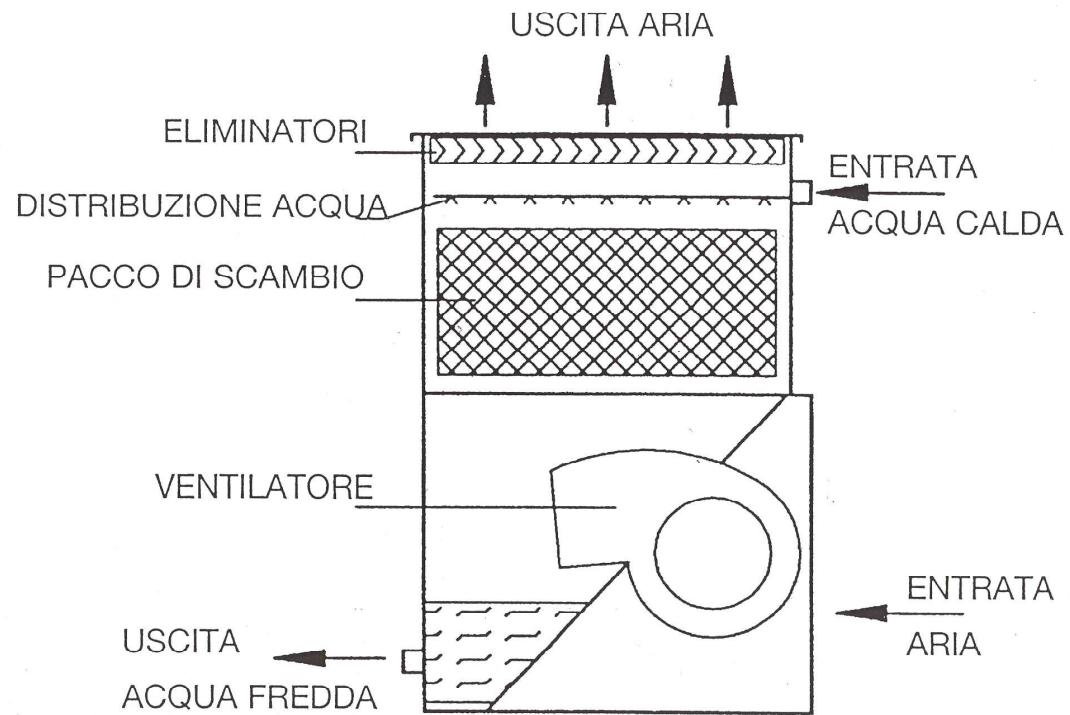
UNA MINIMA PARTE DELL'ACQUA EVAPORA E, SOTTRAENDO CALORE, RAFFREDDA L'ARIA

IN TAL MODO, L'ARIA SI PORTA VICINA ALLA TEMPERATURA AL BULBO UMIDO (DI SOLITO 7-8°C MENO DELLA TBS) E, QUIN DI, SI RIESCE A RAFFREDDARE DI PIU' L'ACQUA

DI SOLITO:

$$TUA = TBU + (4-5^{\circ}\text{C}) = TBS - (2-3^{\circ}\text{C})$$

# TORRI DI RAFFREDDAMENTO PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO



# **FRIGORIFERO A COMPRESSIONE**

## **SISTEMI DI RAFFREDDAMENTO AD ARIA / ACQUA**

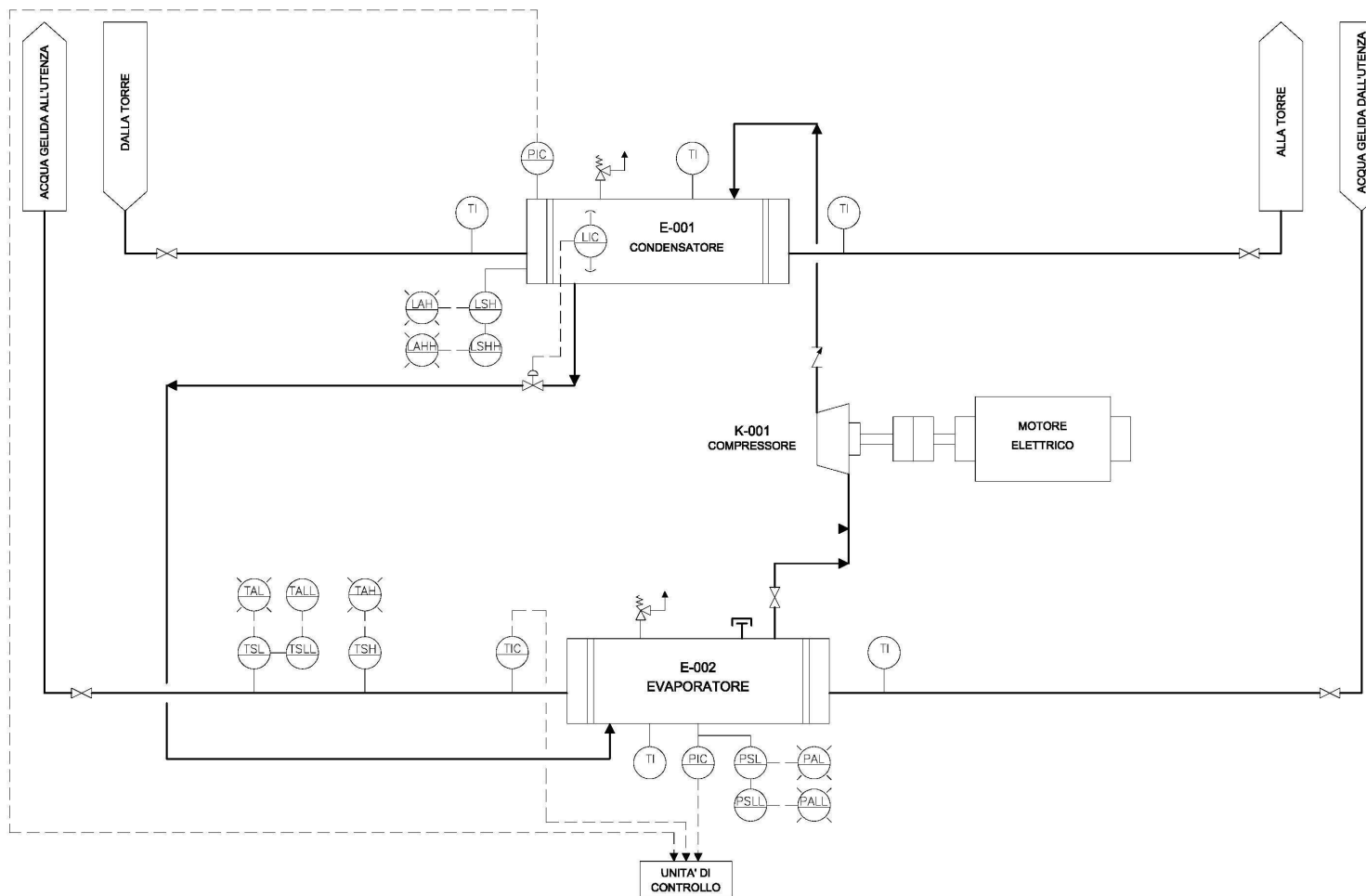
DIMENSIONI E COSTO FRIGO: MAGGIORI SE RAFFREDDATO AD ARIA

DIMENSIONI E COSTO IMPIANTO COMPLETO: MAGGIORI SE RAFFREDDATO AD ACQUA, PERCHE' INCLUDE ANCHE UNA TORRE DI RAFFREDDAMENTO

EFFICIENZA (COP): MAGGIORE RAFFREDDATO AD ACQUA



# GRUPPO FRIGORIFERO A COMPRESSIONE RAFFREDDATO AD ACQUA P&I TIPICO



P&I TIPICO DI UN GRUPPO FRIGORIFERO

## **FRIGORIFERO AD ASSORBIMENTO**

IL FRIGORIFERO AD ASSORBIMENTO SI DIFFERENZIA DAL FRIGORIFERO A COMPRESSIONE ESSENZIALMENTE PER LA FASE DI COMPRESSIONE

NEL CICLO A COMPRESSIONE, IL VAPORE DEL FLUIDO DI LAVORO DEL CICLO VIENE PORTATO DALLA PRESSIONE MINIMA ALLA PRESSIONE MASSIMA DEL CICLO MEDIANTE COMPRESSIONE

NEL CICLO AD ASSORBIMENTO, IL VAPORE IN USCITA DALL'EVAPORATORE VIENE FATTO ASSORBIRE IN UN LIQUIDO; QUEST'ULTIMO, CON UNA POMPA, SUBISCE L'INCREMENTO RICHIESTO DI PRESSIONE DA QUELLA MINIMA A QUELLA MASSIMA DEL CICLO. POI AVVIENE LA SEPARAZIONE DEI DUE FLUIDI

NEL CICLO AD ASSORBIMENTO, IL LAVORO DA INTRODURRE NEL CICLO E' FORTEMENTE RIDOTTO RISPETTO AL CASO DI CICLO A COMPRESSIONE, MA SI RENDE NECESSARIA L'INTRODUZIONE DI ENERGIA TERMICA AD UNA TEMPERATURA PIUTTOSTO ELEVATA

## FRIGORIFERI AD ASSORBIMENTO TERMODINAMICA

COEFFICIENTE DI PRESTAZIONE PER IL CICLO AD ASSORBIMENTO:

$$\text{COP} = Q_E / Q_G$$

$Q_E$  = ENERGIA TERMICA SOTTRATTA ALL'UTENZA (E = EVAPORATORE)

$Q_G$  = ENERGIA TERMICA CONSUMATA (G = GENERATORE)

PER GRUPPI MONOSTADIO: COP = 0,65 - 0,70

PER GRUPPI BISTADIO: COP = 1,10 - 1,20

CON UN CIRCUITO FACENTE CAPO AD UNA TORRE DI RAFFREDDAMENTO,  
BISOGNA ASPORTARE CALORE  $Q_T$ :

$$Q_T = Q_E + Q_G$$

## TIPOLOGIE DI FRIGORIFERI AD ASSORBIMENTO

I FLUIDI CHE SI UTILIZZANO PER CICLI AD ASSORBIMENTO SONO PRINCIPALMENTE:

- ACQUA + BROMURO DI LITIO
- ACQUA + AMMONIACA

I FRIGORIFERI AD ASSORBIMENTO SI DIFFERENZIANO A SECONDA DEL NUMERO DEGLI STADI:

- MONOSTADIO: ALIMENTAZIONE A 70-120°C
- BISTADIO: ALIMENTAZIONE A 160°C

IL TIPO DI ALIMENTAZIONE PUO' ESSERE :

- CON CALDAIA + FLUIDO INTERNO (ACQUA SURRISCALDATA O VAPORE)  
SIA PER I CICLI MONOSTADIO CHE BISTADIO
- A FIAMMA DIRETTA (SOLO CICLI BISTADIO)

## FRIGORIFERI: ECONOMICS

### FRIGORIFERI A COMPRESSIONE:

- CON RAFFREDDAMENTO AD ACQUA IL COMPLESSO FRIGO + TORRE COSTA DI PIU' DEL SOLO FRIGO RAFFREDDATO AD ARIA
- IN COMPENSO, IL RAFFREDDAMENTO AD ACQUA CONSENTE COP PIU' ALTI E QUINDI MINORI COSTI DI ESERCIZIO
- CONFRONTARE IL RISPARMIO ANNUO COL MAGGIOR COSTO D'INVESTIMENTO

### FRIGORIFERI A COMPRESSIONE VS. FRIGORIFERI AD ASSORBIMENTO:

- IL FRIGO AD ASSORBIMENTO HA UN COSTO D'INVESTIMENTO PIU' ALTO
- IN TERMINI DI COSTO DI ESERCIZIO, SI GIUSTIFICA SOLO SE PUO' USARE CALORE DI SCARTO (A COSTO PROSSIMO ALLO 0)
- IN TAL CASO, CONFRONTARE IL RISPARMIO ANNUO COL MAGGIOR COSTO D'INVESTIMENTO

## FRIGORIFERI A COMPRESSIONE / ASSORBIMENTO CONFRONTO ECONOMICO

PREZZO ENERGIA ELETTRICA	8 - 10	€cent / kWh
PREZZO COMBUSTIBILE (GAS)		
- GAS USO CIVILE	35 - 45	€cent/Sm <sup>3</sup>
- GAS USO INDUSTRIALE	20 - 30	€cent/Sm <sup>3</sup>
POTERE CALORIFICO INFERIORE	9,6	kWh/Sm <sup>3</sup>
RENDIMENTO CALDAIA	85%	
TIPO FRIGORIFERO	COP	costo en. frigorifera (€cent/kWh)
• A COMPRESSIONE RAFFREDDATO AD ACQUA	4,50 - 5,00	1,60 - 1,78
• A COMPRESSIONE RAFFREDDATO AD ARIA	2,50 - 3,00	2,67 - 3,20
AD ASSORBIMENTO PER UTENZE CIVILI		
• ASSORBIMENTO MONOSTADIO	0,70 (*)	6,13 - 7,88
• ASSORBIMENTO BISTADIO	1,10 (*)	3,90 - 5,01
• ASSORBIMENTO A FIAMMA DIRETTA	0,95	3,84 - 4,93
AD ASSORBIMENTO PER UTENZE INDUSTRIALI		
• ASSORBIMENTO MONOSTADIO	0,70 (*)	3,50 - 5,25
• ASSORBIMENTO BISTADIO	1,10 (*)	2,23 - 3,34
• ASSORBIMENTO A FIAMMA DIRETTA	0,95	2,19 - 3,29

(\*) DA MOLTIPLICARE PER IL RENDIMENTO DI CALDAIA 85% PER AVERE L'EFFICIENZA REAL

## **POMPA DI CALORE**

LA POMPA DI CALORE E' UNA PARTICOLARE MODALITA' DI UTILIZZO DEL CICLO FRIGORIFERO, IN CUI LA MACCHINA SI SFRUTTA PER SOTTRARRE CALORE DA UNA SORGENTE A BASSA TEMPERATURA E RESTITUIRLO AD UN LIVELLO TERMICO PIU' ELEVATO, PER CONSENTIRNE L'EFFETTIVO UTILIZZO

DAL PUNTO DI VISTA DELLA FUNZIONE SVOLTA, SI TRATTA QUINDI DI UN GENERATORE DI CALORE

NEL CASO IN CUI SI RIESCA ANCHE A SFRUTTARE L'EFFETTO FRIGORIFERO DOVUTO AL RAFFREDDAMENTO, SI HA UN IMPIANTO "TOTAL ENERGY"

## POMPA DI CALORE - BILANCIO ENERGETICO - 1

PER LA SOTTRAZIONE DI ENERGIA TERMICA ( $Q_L$ ) DALLA SORGENTE FREDDA, E' NECESSARIO INTRODURRE LAVORO (L). L'ENERGIA TERMICA  $Q_H$  RIVERSATA ALLA SORGENTE CALDA E'

$$Q_H = Q_L + L$$

IL COEFFICIENTE DI PRESTAZIONE (COP) DI UNA POMPA DI CALORE E' DATO DAL RAPPORTO FRA L'EFFETTO UTILE E LA SPESA ENERGETICA:

$$COP = Q_H / L$$

$Q_H$  = POTENZA TERMICA COMPLESSIVA CEDUTA DAL CICLO ALLA SORGENTE CALDA O CIRCUITO DI UTILIZZO

L = POTENZA ELETTRICA ASSORBITA PER L'AZIONAMENTO DEL COMPRESSORE



## POMPA DI CALORE - BILANCIO ENERGETICO - 2

DATO CHE LA POMPA DI CALORE UTILIZZA COME CALORE UTILE ANCHE IL LAVORO  $L$  FORNITO DAL COMPRESSORE, PER LO STESSO CICLO FUNZIONANTE COME POMPA DI CALORE O COME FRIGORIFERO SI HA:

$$\text{COP}_{\text{PDC}} = Q_H / L = (Q_L + L) / L \quad \text{COP}_F = Q_L / L \quad \text{COP}_{\text{PDC}} = \text{COP}_F + 1$$

IN REALTA', LA STESSA MACCHINA NON VIENE UTILIZZATA PER ENTRAMBI GLI USI, PERCHE' LE TEMPERATURE DA UTILIZZARE AL CONDENSATORE SONO DIVERSE, PER CUI SI HA:

POMPA DI CALORE: TEMPERATURA DELL'ACQUA IN USCITA DAL CONDENSATORE = 60 - 75°C →  $\text{COP} (Q_H / L) = 3 - 4$

FRIGORIFERO: TEMPERATURA DELL'ACQUA IN USCITA DAL CONDENSATORE = 30-40°C →  $\text{COP} (Q_L / L) = 4,5 - 6,0$