

CAPITOLO 14

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

BASSA TEMPERATURA SIGNIFICA: TEMPERATURA PIU' BASSA, RISPETTO ALL'AMBIENTE CHE LE CIRCONDA

MACCHINE FRIGORIFERE

CICLI FRIGORIFERI

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

CICLO FRIGORIFERO A COMPRESSIONE

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.

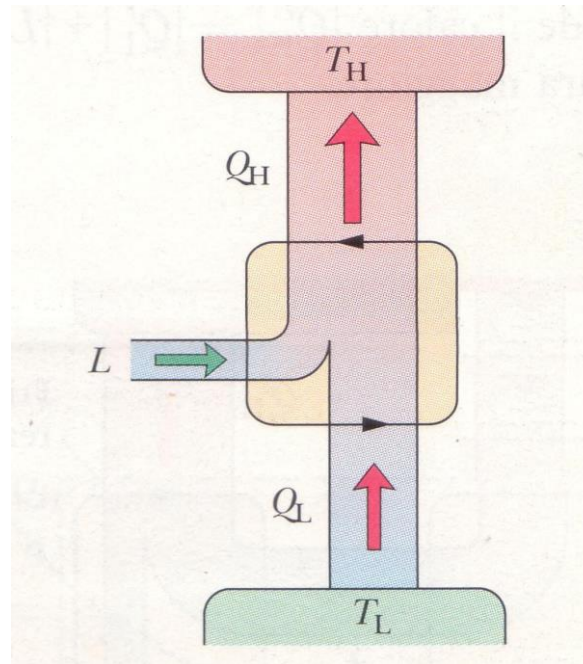
L'ENERGIA TERMICA Q_H RIVERSATA ALLA SORGENTE CALDA E':

$$Q_H = Q_L + L$$

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

$$COP = Q_L / L$$

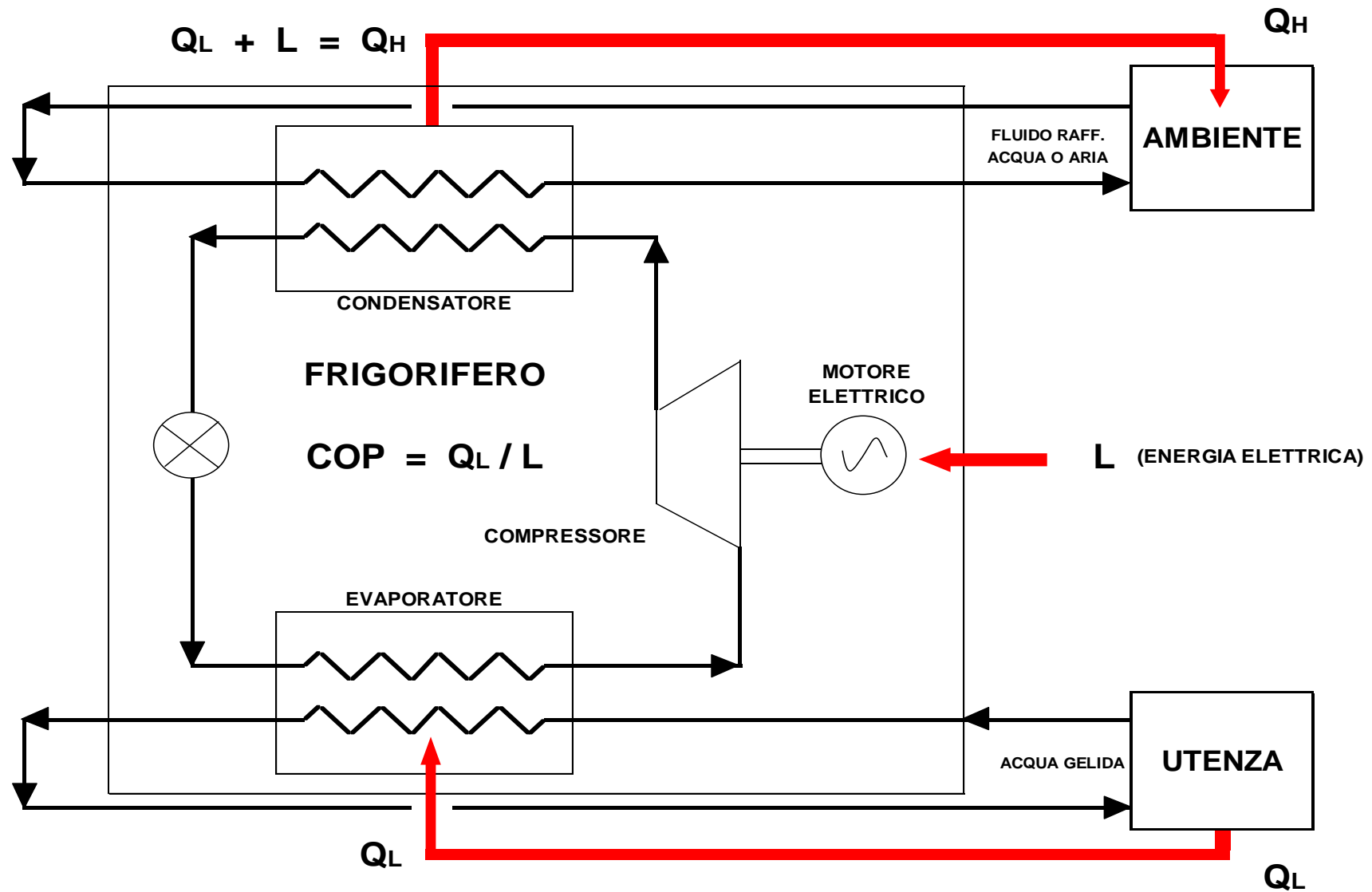
CICLO FRIGORIFERO A COMPRESSIONE



$$Q_H = Q_L + L$$

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

CICLO FRIGORIFERO A COMPRESSIONE



FRIGORIFERO - 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 REFRIGERATA, CON TEMPERATURE 12-13°C IN INGRESSO E DI 6-7°C IN USCITA

FRIGORIFERO - TEMPERATURE DI FUNZIONAMENTO - 2

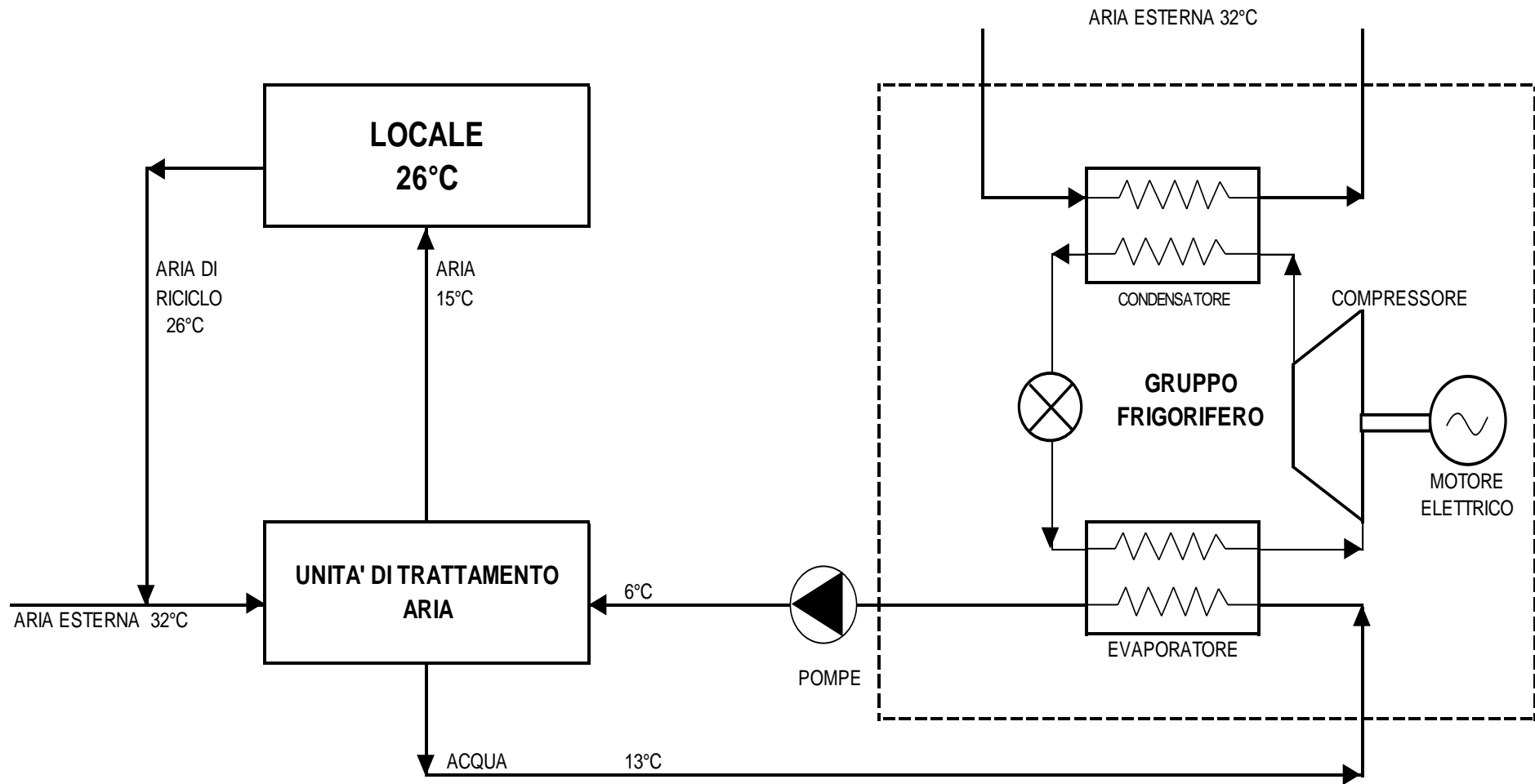
PER APPLICAZIONI SPECIALI SI UTILIZZANO MACCHINE CON TEMPERATURA DI MANDATA PIU' BASSA, ANCHE AL DI SOTTO DI 0°C. ESEMPI:

- 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

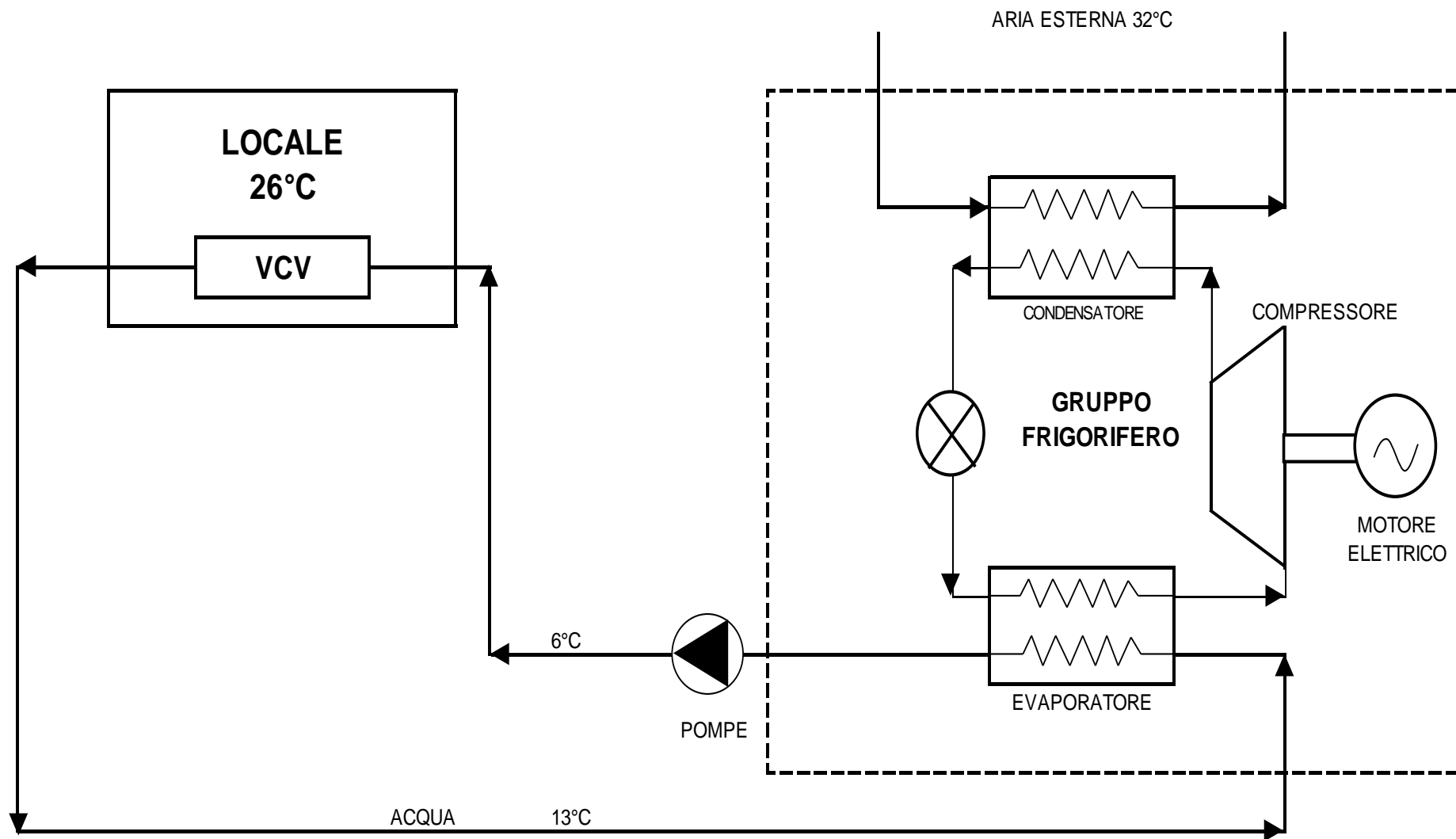
QUANDO LA TEMPERATURA DI MANDATA E' PIU' BASSA DI 0°C, L'ACQUA DEL CIRCUITO D'UTENZA DEVE ESSERE ADDIZIONATA CON GLICOLE ANTIGELO.

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

FRIGORIFERO - TEMPERATURE DI FUNZIONAMENTO - 3

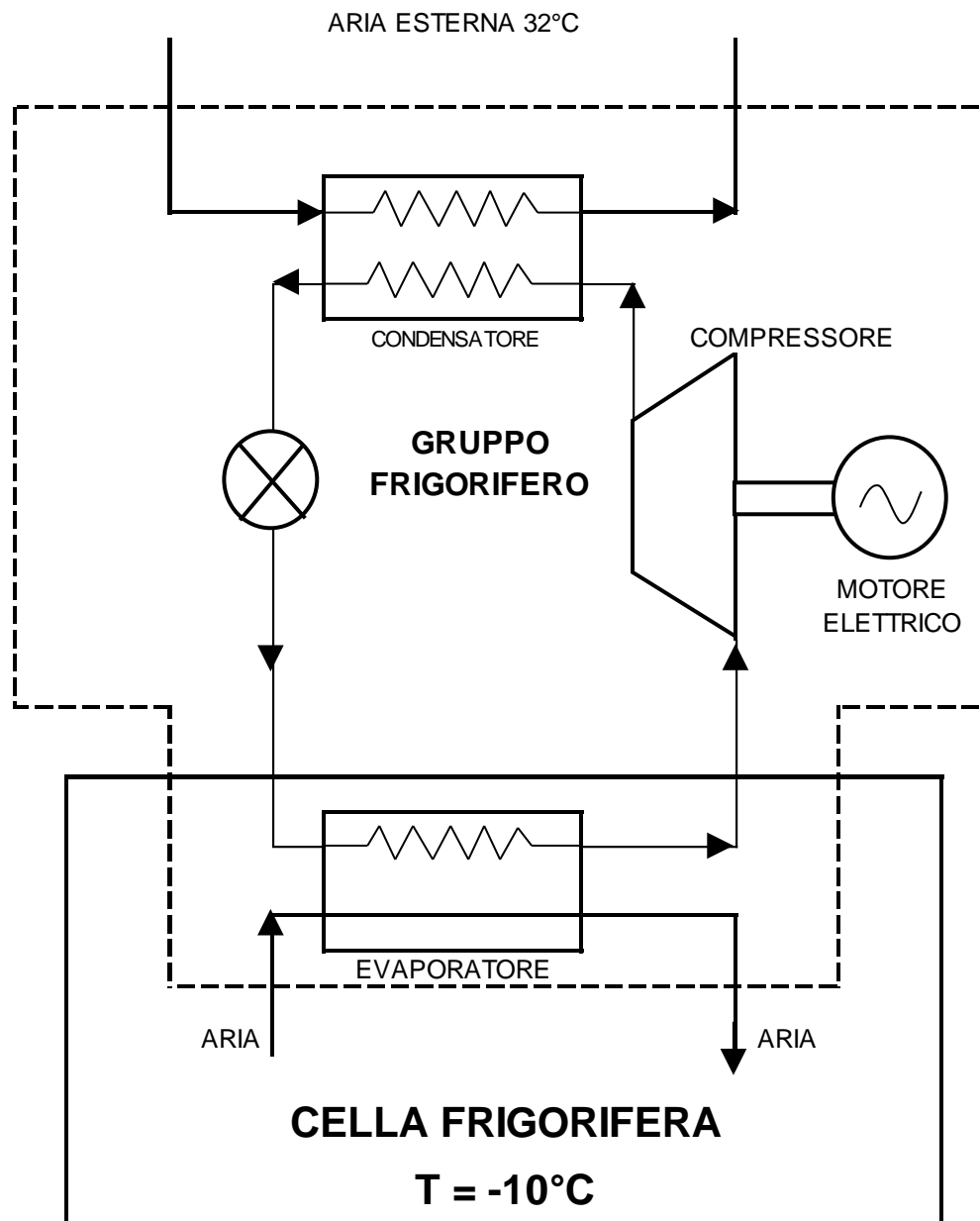


FRIGORIFERO - TEMPERATURE DI FUNZIONAMENTO - 4

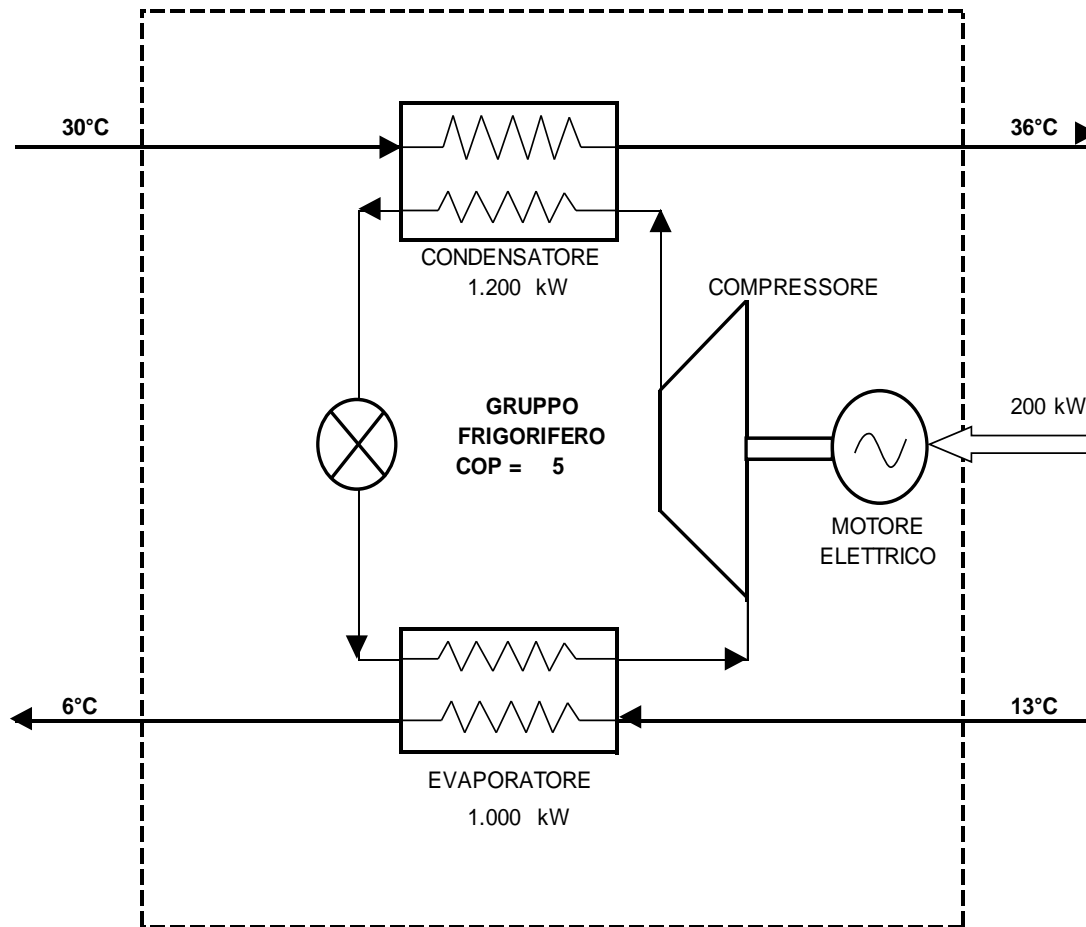


VCV = VENTILCONVETTORE

FRIGORIFERO - TEMPERATURE DI FUNZIONAMENTO - 5



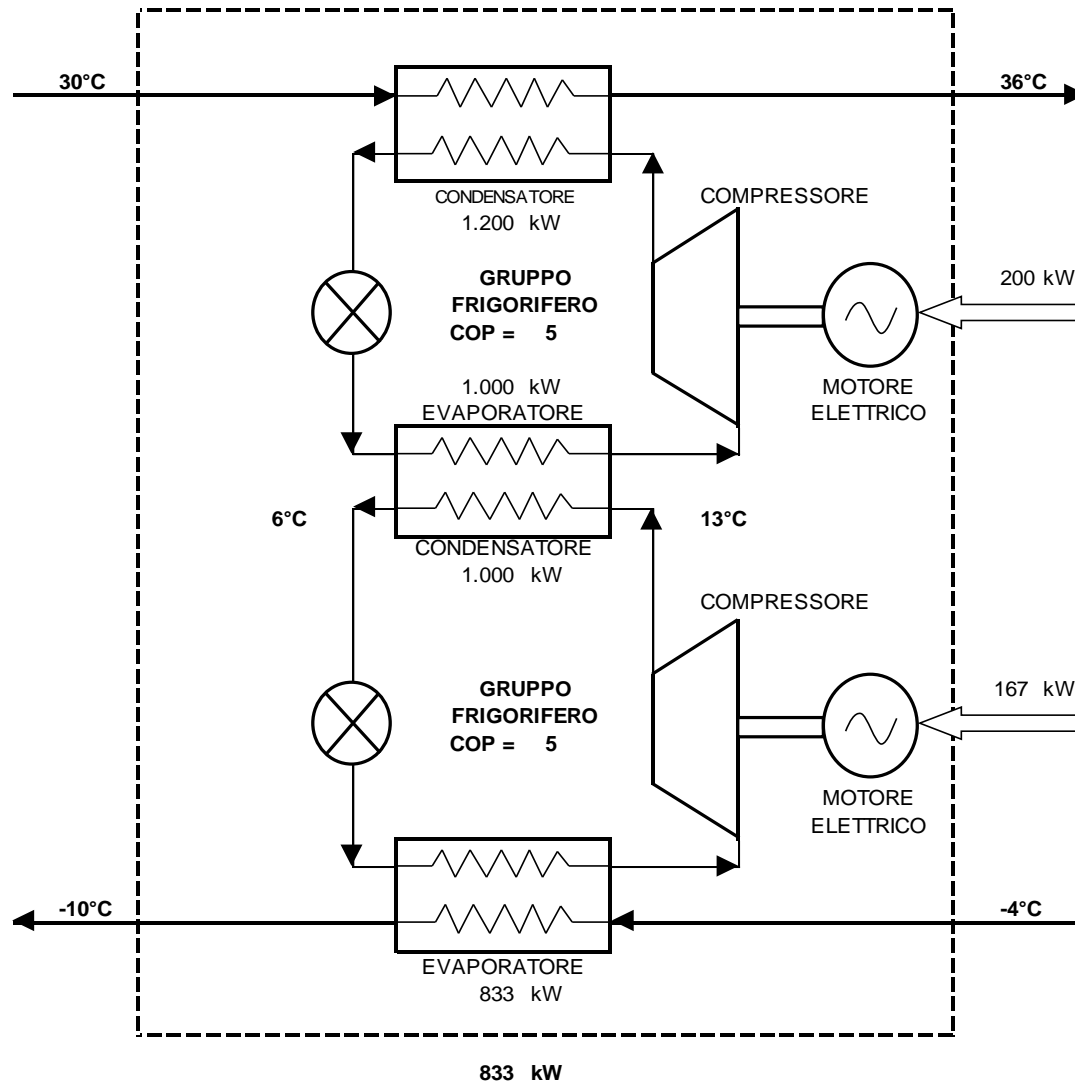
FRIGORIFERO - TEMPERATURE DI FUNZIONAMENTO - 6



UNA MACCHINA UTILIZZATA
PER LA PRODUZIONE DI
ACQUA REFRIGERATA A 6°C
PER IL CONDIZIONAMENTO
AMBIENTALE HA UN COP ≥ 5

FRIGORIFERO - TEMPERATURE DI FUNZIONAMENTO - 7

$$833 + 167 + 200 = 1.200 \text{ kW}$$



UNA MACCHINA CHE LAVORA FRA -10°C E 36°C PUO' ESSERE IMMAGINATA COME COMPOSTA DA DUE MACCHINE IN SERIE, UNA UGUALE A QUELLA DELL'ESEMPIO PRECEDENTE E L'ALTRA CHE ABBATTE LA TEMPERATURA A -10°C. IL COP COMPLESSIVO DELLE DUE UNITA' VALE:

$$\text{COP} = \frac{833}{200 + 167} = 2,27$$

IN SOSTANZA: LA TEMPERATURA DI CONDENSAZIONE (E QUINDI LA PRESSIONE) E' LA STESSA NEI DUE CASI, MA LA TEMPERATURA DI EVAPORAZIONE IN QUESTO CASO E' PIU' BASSA, QUINDI IL COMPRESSORE PARTE DA UNA PRESSIONE INFERIORE E CONSUMA PIU' LAVORO

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:

- IN TUTTI I CASI: DOVUTI AL COMPRESSORE
- COL RAFFREDDAMENTO AD ARIA: DOVUTI AL CONDENSATORE DEL FRIGO
- COL RAFFREDDAMENTO AD ACQUA: DOVUTI ALLA TORRE DI RAFFREDDAMENTO

FRIGORIFERO A COMPRESSIONE

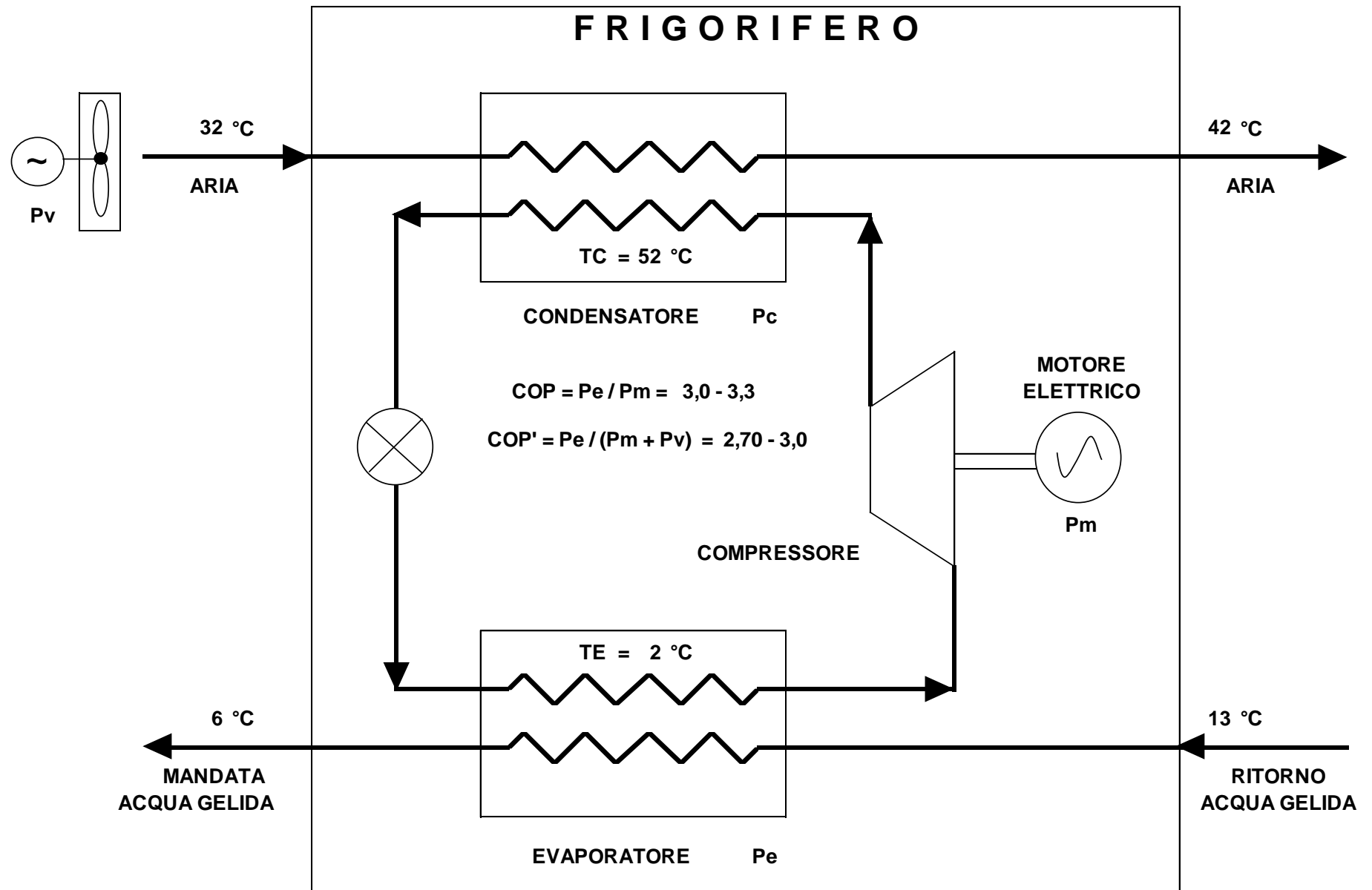
SISTEMI DI RAFFREDDAMENTO AD ARIA

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

LA TEMPERATURA DI CONDENSAZIONE E' NOTEVOLMENTE PIU' ELEVATA, RISPETTO ALLA TEMPERATURA AMBIENTE, ED IL COP E' PIUTTOSTO BASSO (INTORNO 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 E IN SPAZIO

FRIGORIFERO A COMPRESSIONE RAFFREDDATO AD ARIA



FRIGORIFERO A COMPRESSIONE

SISTEMI DI RAFFREDDAMENTO AD ACQUA

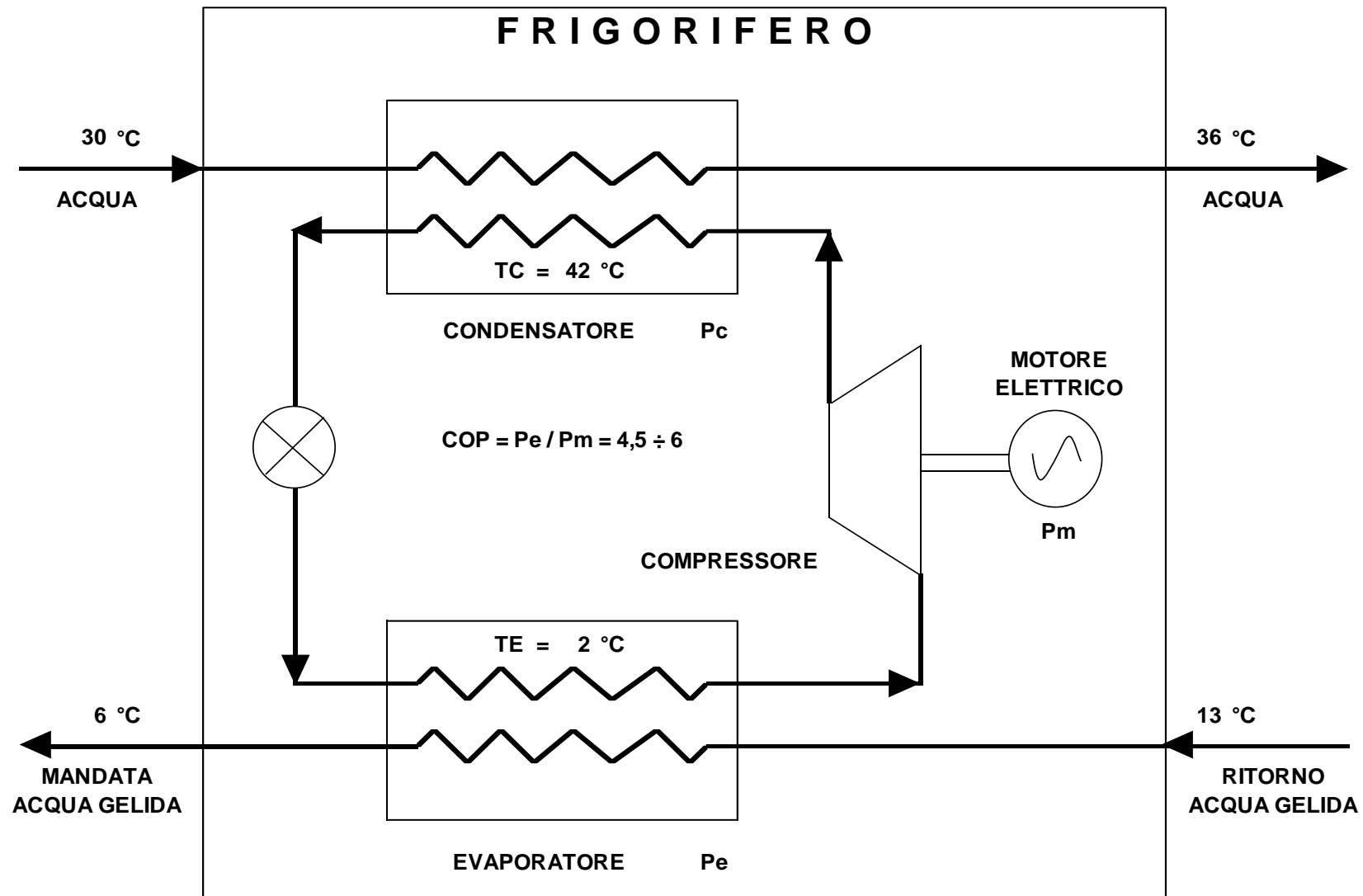
IL CONDENSATORE E' RAFFREDDATO MEDIANTE ACQUA, CHE VIENE RAFFREDDATA, A PROPRIA VOLTA, DA UNA TORRE DI RAFFREDDAMENTO

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 TORRE, SI RIDUCE DEL 30% CIRCA (ATTESTANDOSI INTORNO A 3,50 – 4,50, RIMANE COMUNQUE PIU' ELEVATO DI QUELLO OTTENIBILE DAI GRUPPI RAFFREDDATI AD ARIA)

FRIGORIFERO A COMPRESSIONE RAFFREDDATO AD ACQUA



**IL COP GLOBALE E' PERO' INFERIORE, A CAUSA DEI
CONSUMI ELETTRICI DEL SISTEMA ACQUA DI CONDENSAZIONE**

TORRE DI RAFFREDDAMENTO

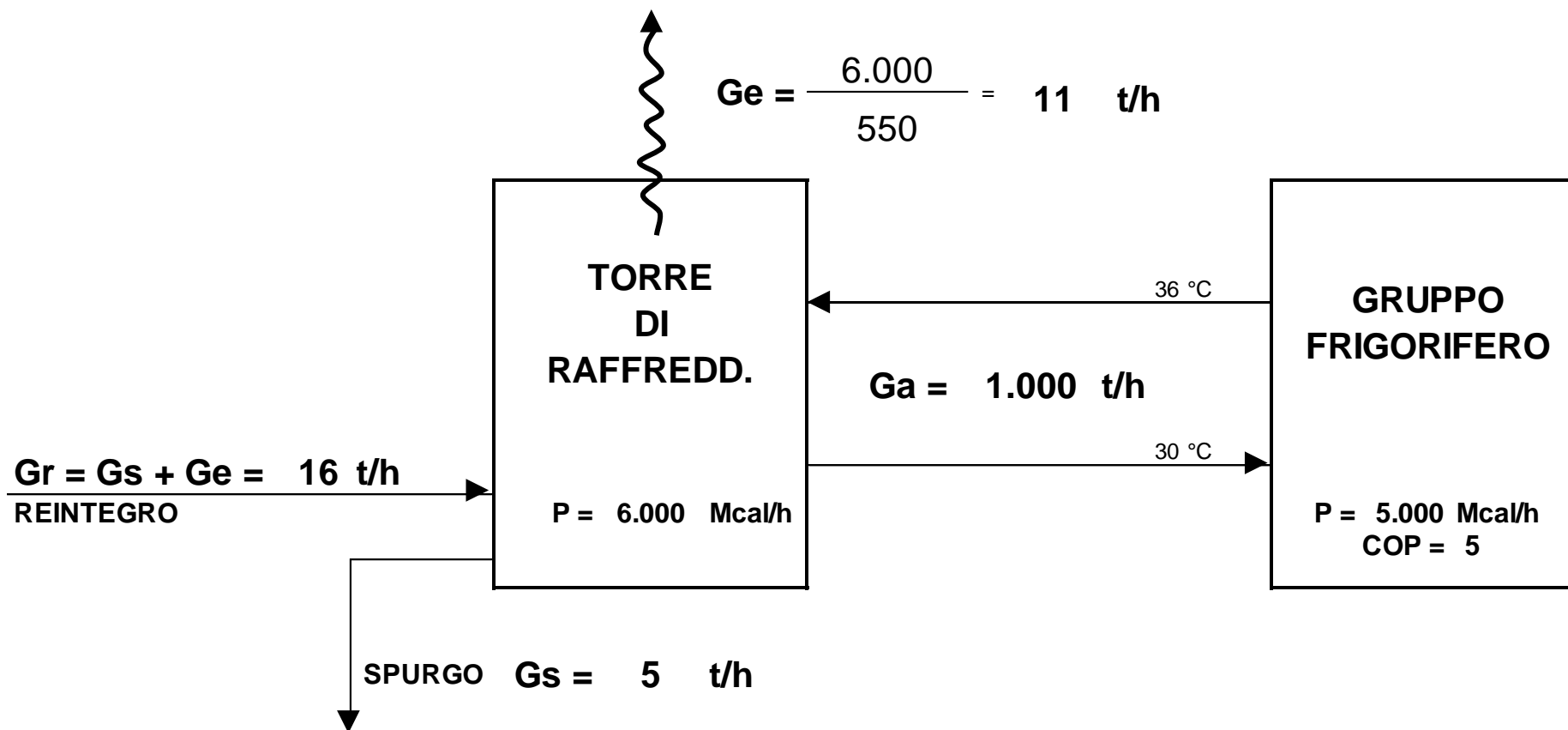
COMPONENTE PER RAFFREDDARE ACQUA USANDO L'ARIA ESTERNA

L'ACQUA DA RAFFREDDARE VIENE SPRUZZATA IN GOCCIOLINE ALL'INTERNO DI UNA CORRENTE D'ARIA (QUESTA E' 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 PROPRIA TEMPERATURA AL BULBO UMIDO T_{bu} (CHE DI SOLITO E' 5-7°C MENO DELLA TEMPERATURA AL BULBO SECCO T_{bs}) E, QUINDI, SI RIESCE A RAFFREDDARE L'ACQUA FINO AD UNA TEMPERATURA T_{ua} CHE POTREBBE ANCHE ESSERE MINORE DELLA T_{bs}

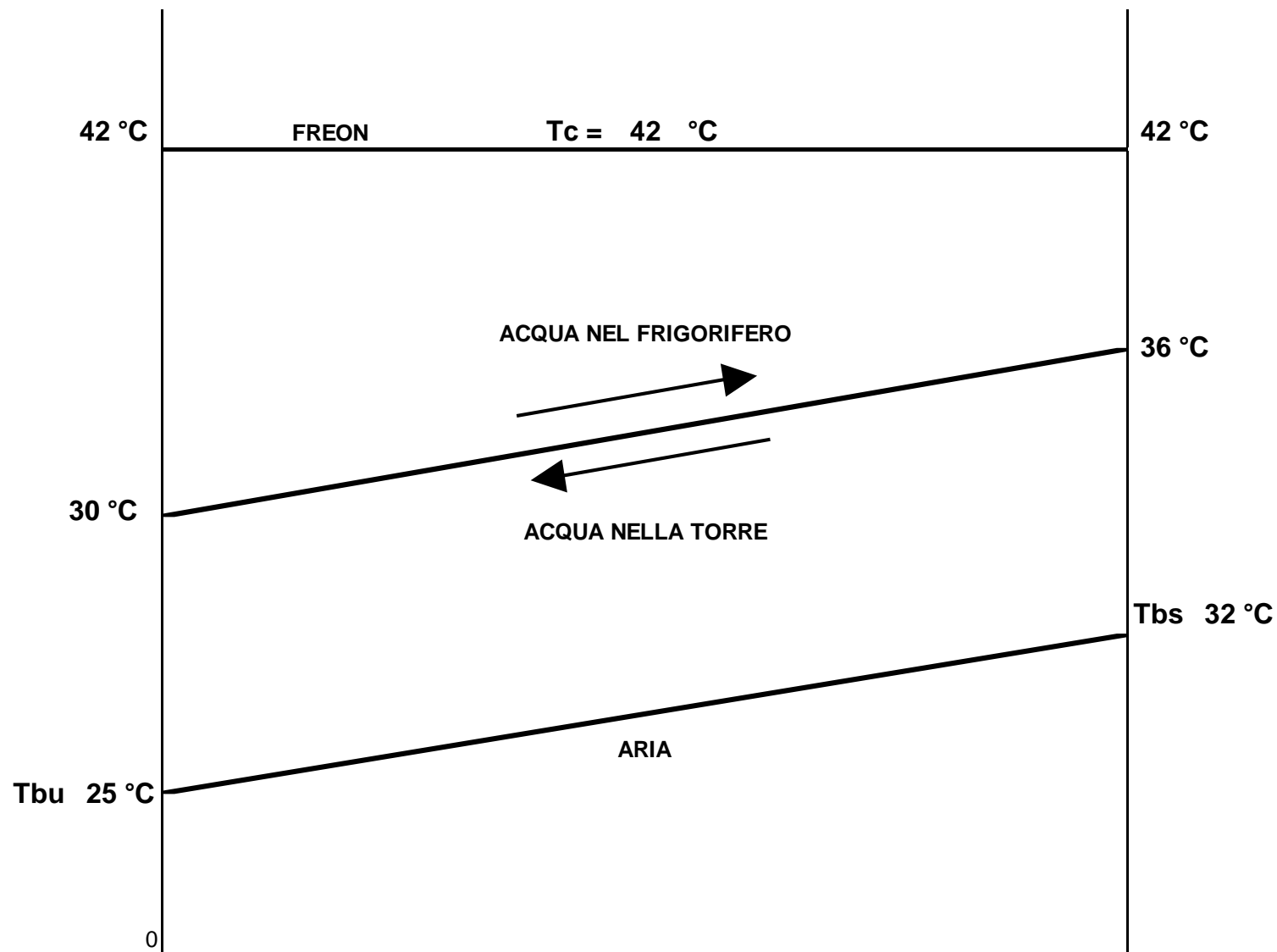
$$T_{ua} = T_{bu} + (4-5^{\circ}\text{C}) = T_{bs} - (2-3^{\circ}\text{C})$$



L'ACQUA EVAPORATA SI CALCOLA IN BASE AL CALORE LATENTE DI EVAPORAZIONE (550 kcal/kg) E, CON DT DI 5-6°C A CAVALLO DELLA TORRE, RISULTA CIRCA 1% DELLA PORTATA IN CIRCOLO

PER EVITARE CHE, A SEGUITO DELL'EVAPORAZIONE, LE IMPURITA' ARRIVINO A CONCENTRAZIONI TROPPO ELEVATE NELL'ACQUA IN VASCA, SI EFFETTUA UNO SPURGO CHE NORMALMENTE E' DA 1/3 A 1/2 DELL'EVAPORATO, PER CUI IL REINTEGRO E' CIRCA 1,5% DELLA PORTATA IN CIRCOLO

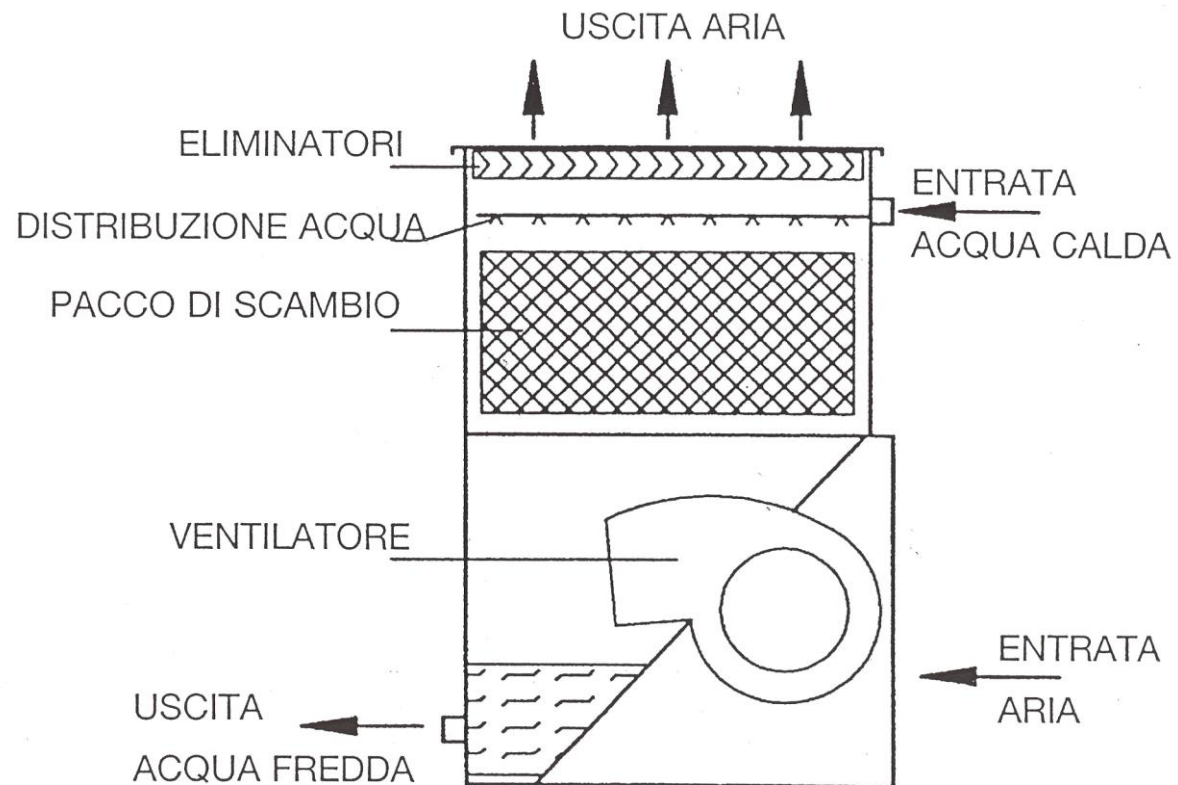
TORRE DI RAFFREDDAMENTO



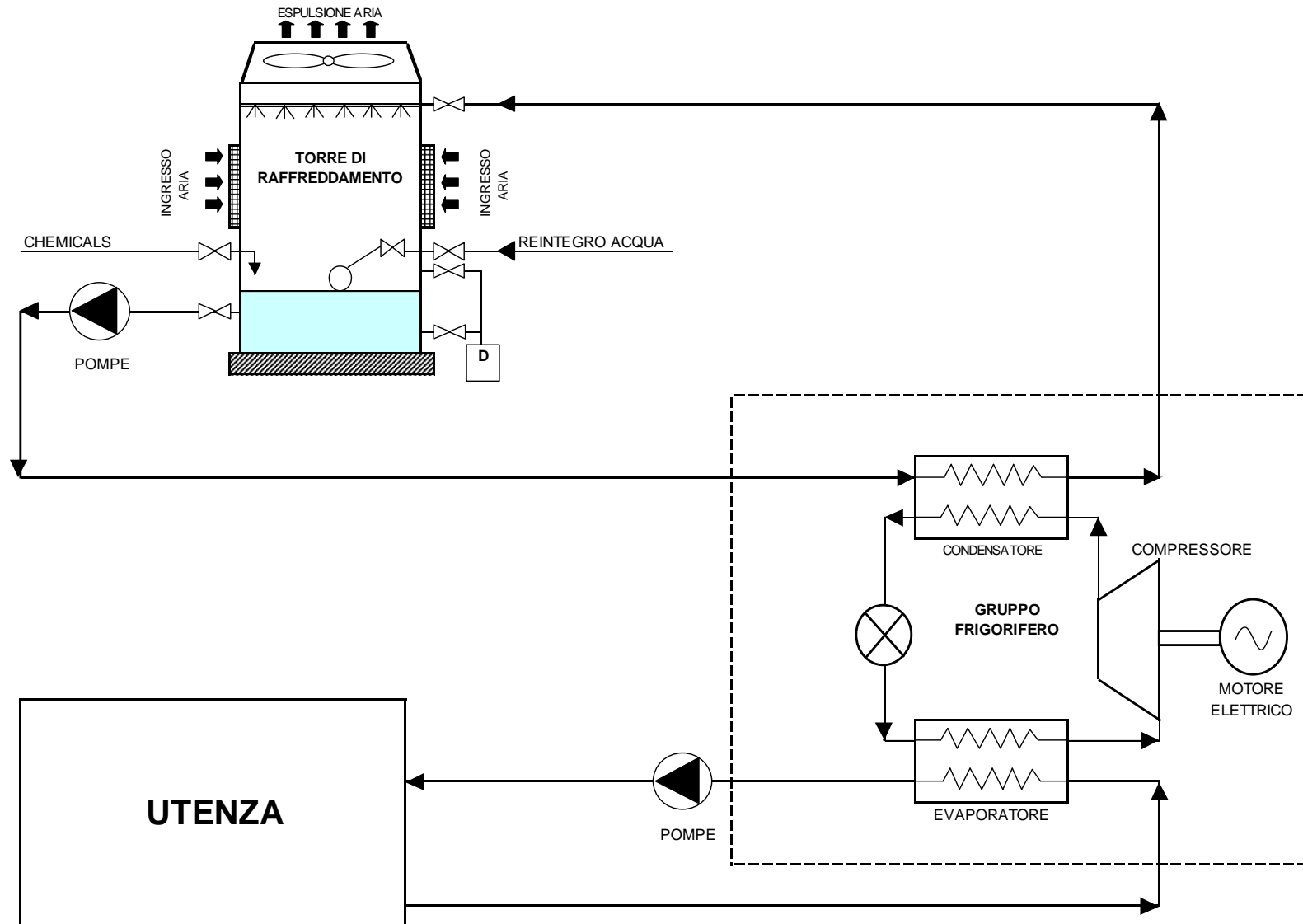
ESEMPIO DI DIAGRAMMA DI SCAMBIO TERMICO IN UN SISTEMA FRIGORIFERO + TORRE DI RAFFREDDAMENTO

TORRI DI RAFFREDDAMENTO

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO



SCHEMA FRIGORIFERO A COMPRESSIONE RAFFREDDATO AD ACQUA CON TORRE DI RAFFREDDAMENTO



FRIGORIFERO A COMPRESSIONE

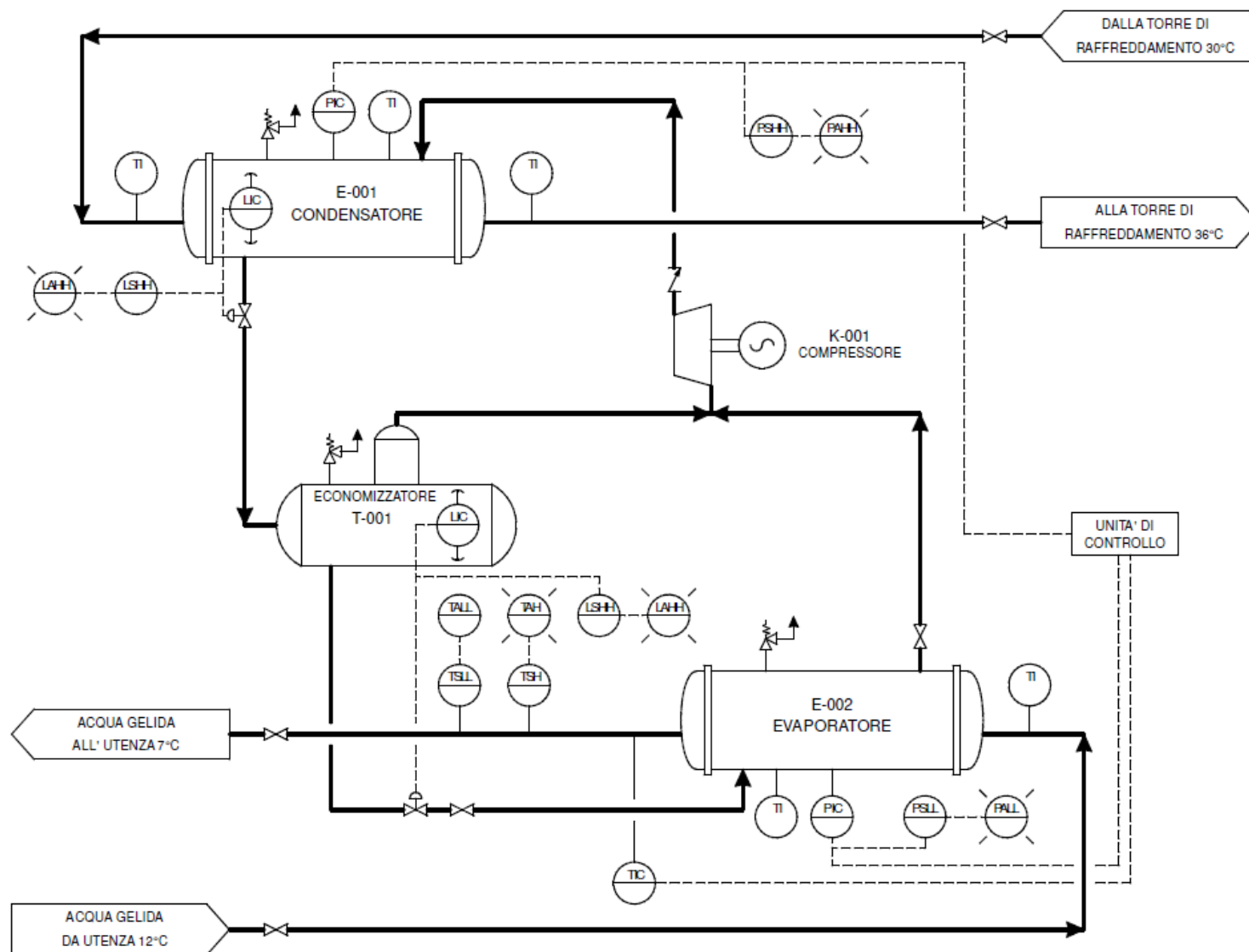
SISTEMI DI RAFFREDDAMENTO AD ARIA / ACQUA

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

SVANTAGGIO DEL SISTEMA RAFFREDDATO AD ACQUA: CONSUMO D'ACQUA NELLA TORRE DI RAFFREDDAMENTO



GRUPPO FRIGORIFERO A COMPRESSIONE RAFFREDDATO AD ACQUA
P&I TIPICO

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' FATTO SUL LIQUIDO E QUINDI E' NOTEVOLMENTE INFERIORE RISPETTO AL CICLO A COMPRESSIONE, MA PER CONTRO 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: $\text{COP} = 0,70 - 0,75$

PER GRUPPI BISTADIO: $\text{COP} = 1,30 - 1,45$

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

SICCOME I COP DEI FRIGO AD ASSORBIMENTO SONO MOLTO PIU' BASSI, A PARITA' DI POTENZA FRIGORIFERA LA POTENZA DELLA TORRE DI RAFFREDDAMENTO DI UN CICLO AD ASSORBIMENTO E' CIRCA DOPPIA RISPETTO AD UN CICLO A COMPRESSIONE. ESEMPIO:

ASSORBIMENTO MONOSTADIO $\text{COP} = 0,75 \rightarrow \text{POTENZA TORRE} = 2,33 \times \text{POTENZA FRIGO}$

FRIGO A COMPRESSIONE $\text{COP} = 5,00 \rightarrow \text{POTENZA TORRE} = 1,2 \times \text{POTENZA FRIGO}$

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 90-120°C
- BISTADIO: ALIMENTAZIONE A 160°C

IL TIPO DI ALIMENTAZIONE PUO' ESSERE :

- CON CALDAIA O COGENERAZIONE + FLUIDO TERMOVETTORE (ACQUA CALDA O 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 ZERO O PROSSIMO ALLO ZERO)
- IN TAL CASO, CONFRONTARE IL RISPARMIO ANNUO COL MAGGIOR COSTO D'INVESTIMENTO

FRIGORIFERI A COMPRESSIONE / ASSORBIMENTO CONFRONTO ECONOMICO

PREZZO ENERGIA ELETTRICA	
- E.E. USO CIVILE	20 - 30 €cent / kWh
- E.E. USO INDUSTRIALE	10 - 15 €cent / kWh

PREZZO COMBUSTIBILE (GAS)	
- GAS USO CIVILE	50 - 60 €cent/Sm ³
- GAS USO INDUSTRIALE	28 - 35 €cent/Sm ³
POTERE CALORIFICO INFERIORE GAS	9,6 kWh/Sm ³

RENDIMENTO CALDAIA	85%
--------------------	-----

COSTO ENERGIA FRIGO PER TIPO DI FRIGO:	COP	€cent/kWh
TARIFFE USO CIVILE		
• A COMPRESSIONE RAFFREDDATO AD ACQUA	4,50 - 6,00	3,33 - 4,44
• A COMPRESSIONE RAFFREDDATO AD ARIA	3,00 - 3,30	6,06 - 6,67
• ASSORBIMENTO MONOSTADIO (*)	0,70 - 0,75	8,75 - 9,80
• ASSORBIMENTO BISTADIO (*)	1,30 - 1,45	4,71 - 5,07
• ASSORBIMENTO A FIAMMA DIRETTA	0,95	5,48 - 6,58
TARIFFE USO INDUSTRIALE		
• A COMPRESSIONE RAFFREDDATO AD ACQUA	4,00 - 5,00	2,00 - 2,50
• A COMPRESSIONE RAFFREDDATO AD ARIA	2,50 - 3,00	3,33 - 4,00
• ASSORBIMENTO MONOSTADIO	0,70 - 0,75	4,90 - 5,72
• ASSORBIMENTO BISTADIO	1,30 - 1,45	2,64 - 2,96
• ASSORBIMENTO A FIAMMA DIRETTA	0,95	3,07 - 3,84

(*) IL COP VA MOLTIPLICATO PER IL RENDIMENTO DI CALDAIA 85% PER AVERE L'EFFICIENZA REALE
IL FRIGORIFERO AD ASSORBIMENTO ALIMENTATO DA CALDAIA NON E' ECONOMICAMENTE CONVENIENTE
LO DIVENTA SOLO SE IL CALORE E' DI SCARTO OPPURE COGENERATO

POMPA DI CALORE

LA POMPA DI CALORE E' UNA MACCHINA CHE UTILIZZO UN CICLO FRIGORIFERO PER SOTTRARRE CALORE DA UNA SORGENTE A BASSA TEMPERATURA E LO RESTITUISCE AD UNA TEMPERATURA PIU' ELEVATA, PER CONSENTIRNE L'EFFETTIVO UTILIZZO

IL VANTAGGIO DELLA POMPA DI CALORE STA NELLA SOTTRAZIONE DI CALORE AD UNA FONTE GRATUITA (ESEMPI: ACQUA DI LAGO O DI FIUME, ACQUA DEL SOTTOSUOLO, ECC.)

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:

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

IN REALTÀ, I CICLI FRIGORIFERI UTILIZZATI NEI DUE CASI SONO DIVERSI, PERCHÉ LE TEMPERATURE DA UTILIZZARE AL CONDENSATORE SONO DIVERSE, PER CUI ANCHE I VALORI DI Q_L / L NEI DUE CASI SONO DIVERSI:

POMPA DI CALORE: TEMPERATURA DELL'ACQUA IN USCITA DAL CONDENSATORE = 60-75°C → $Q_L / L = 2 - 3$ → $\text{COP} = Q_H / L = 3 - 4$

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

CARATTERISTICHE DELLE PRINCIPALI SORGENTI FREDDHE PER POMPE DI CALORE

Sorgente	Aria	Acqua di superficie	Acqua di pozzo / falda	Terra (geotermia)	Energia solare	Acque reflue	Aria di espulsione da ambienti riscaldati o ventilati
disponibilità (luogo)	universale	rara	rara	molto rara	universale	rara	ambienti ove è possibile canalizzare l'aria di espulsione
disponibilità (tempo)	continua	continua	continua (a meno di un esaurimento del pozzo)	continua	intermittente e imprevedibile	legata al funzionamento dell'impianto che produce il refluo	continua
costo d'investimento	basso	abbastanza basso	variabile (dipende dal costo di scavo del pozzo)	molto elevato	elevato	abbastanza basso	abbastanza basso (nullo se l'aria di espulsione è già canalizzata)
costo di esercizio	relativamente basso	relativamente basso	basso	relativamente basso	basso	relativamente basso	basso
livello di temperatura	variabile	soddisfacente	più che soddisfacente	inizialmente buono: diminuisce col tempo e con la quantità di calore estratto	buono	soddisfacente / buono	più che soddisfacente
variazioni del livello di temperatura	grandi	moderata	piccole	abbastanza grandi	grandi	moderata	molto piccole

COSTO DI PRODUZIONE DEL CALORE TRAMITE POMPE DI CALORE

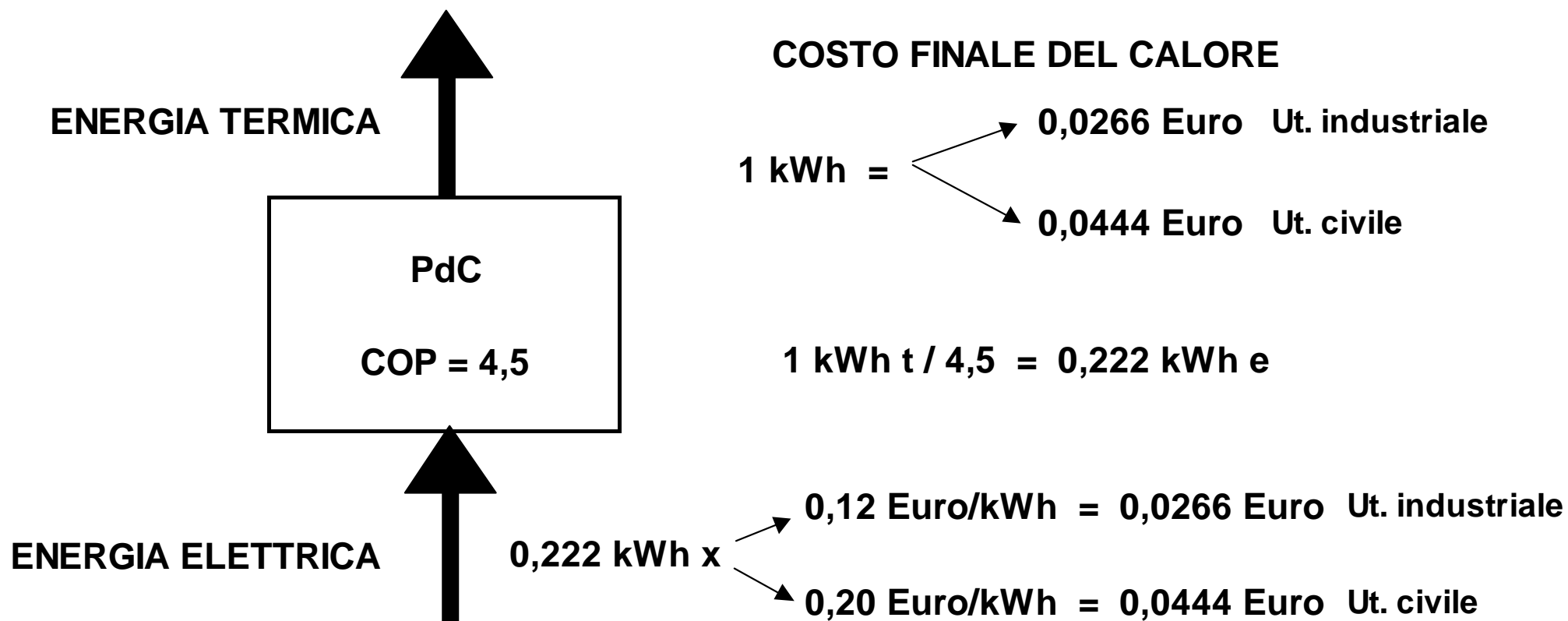
CALCOLO COSTO DI PRODUZIONE DEL CALORE UTILE (C_q)
PRODOTTO CON UNA POMPA DI CALORE, CON:

- DIVERSI VALORI DI COP
- ALIMENTAZIONE CON ENERGIA ELETTRICA CON PREZZI DIVERSI

COP	UTENZA	PREZZO EN.ELETTRICA Euro/kWh	COSTO DEL CALORE UTILE €cent/kWh
2,8	industriale	0,08 - 0,16	2,8 - 5,7
	civile	0,16 - 0,25	5,7 - 8,9
4,5	industriale	0,08 - 0,16	1,8 - 3,6
	civile	0,16 - 0,25	3,6 - 5,6

$$C_q = C_e / COP = 1,8 \div 8,9 \text{ €cent/kWh}$$

**COSTO DI PRODUZIONE DEL CALORE TRAMITE POMPE DI CALORE
ESEMPIO: POMPE DI CALORE A BASSA TEMPERATURA (55°C) - COP = 4,5**



IL COSTO FINALE DEL CALORE VARIA A SECONDA DEL PREZZO DELL'ENERGIA ELETTRICA E DEL COP DELLA PdC (VEDERE TABELLA)

COSTO DI PRODUZIONE DEL CALORE TRAMITE CALDAIE

I VARI COMBUSTIBILI, OLTRE AD AVERE DEI COSTI SPECIFICI DIFFERENTI, SONO CARATTERIZZATI ANCHE DA POTERI CALORIFICI DIVERSI.

IL COSTO SPECIFICO DI PRODUZIONE DEL CALORE E' DATO DA:

$$C_s = C_u / (H_i \times R_c)$$

- C_u = Costo unitario del combustibile (Euro/Sm³ - Euro/litro - Euro/kg)
- H_i = Potere Calorifico Inferiore del combustibile (kWh/Sm³ - kWh/litro - kWh/kg)
- R_c = Rendimento della caldaia (normalmente pari a 85%, valido sia per i vari tipi di generatore di calore, sia per i diversi combustibili)

C_s E' ESPRESSO IN Euro / kWh O IN GENERALE IN Euro / energia

ENERGIA TERMICA

CALDAIA
rendimento
85%

GAS

COSTO FINALE DEL CALORE

1 kWh = 0,0369 Euro (Uso industriale)
1 kWh = 0,0738 Euro (Uso civile)

1 kWh / 85% = 1,176 kWh

1,176 kWh / 9,60 kWh/Sm³ = 0,123 Sm³

0,123 Sm³ x 0,30 Euro/Sm³ = 0,0369 Euro (Uso industriale)
0,123 Sm³ x 0,60 Euro/Sm³ = 0,0738 Euro (Uso civile)

Cap. 13

COSTO DI PRODUZIONE DEL CALORE TRAMITE CALDAIE

Combustibile	UM	PCI kWh /UM	Prezzo Euro/UM	Costo prod. calore utile €cent/kWh
Gas naturale				
- uso civile	Sm ³	9,6	0,55 - 0,65	5,7 - 6,8
- uso industriale	Sm ³	9,6	0,25 - 0,35	2,6 - 3,6
Gasolio	litro	9,9	1,15 - 1,35	11,6 - 13,6
Olio comb. BTZ	kg	11,3	0,35 - 0,40	3,1 - 3,5

COSTI IVA ESCLUSA E CON RENDIMENTO DI CALDAIA 85%

PER L'USO CIVILE, SI DEVE AGGIUNGERE A QUESTI COSTI L'IVA, CHE RIMANE A CARICO DEL CONSUMATORE

Sm³ = QUANTITATIVO DI GAS CHE OCCUPA IL VOLUME DI 1 m³ A PRESSIONE ATMOSFERICA E TEMPERATURA 15°C

POMPA DI CALORE - LIMITI DI CONVENIENZA

PERCHE' **SI POSSA** INSTALLARE UNA POMPA DI CALORE, E' INDISPENSABILE UNA SORGENTE "FREDDA", CHE FORNISCA GRATUITAMENTE, CONTINUATIVAMENTE E NELLA QUANTITA' DESIDERATA IL CALORE DA TRASFERIRE ALL'UTENZA (CIOE' ALLA SORGENTE "CALDA")

PERCHE' **POSSA ESSERE CONVENIENTE** INSTALLARE UNA POMPA DI CALORE SI DEVE AVERE:

$$C_{C1} < C_{C2}$$

COSTO DEL CALORE PRODOTTO DA PDC:

$$C_{C1} = C_E / COP$$

COSTO DEL CALORE PRODOTTO DA CALDAIE:

$$C_{C2} = C_{COMB} / (REND. \times H_{INF})$$

PERCHE' LA POMPA DI CALORE **SIA EFFETTIVAMENTE CONVENIENTE**, IL RISPARMIO ANNUO SUL COSTO DEL CALORE DEVE CONSENTIRE IL RECUPERO DEL MAGGIOR INVESTIMENTO IN UN TEMPO SUFFICIENTEMENTE BREVE