

POMPE DI CALORE

POMPA DI CALORE

MACCHINA CHE UTILIZZA UN CICLO FRIGORIFERO PER SOTTRARRE CALORE DA UNA SORGENTE A BASSA TEMPERATURA E RESTITUIRLO AD UN LIVELLO TERMICO PIU' ELEVATO, PER CONSENTIRE L'EFFETTIVO UTILIZZO DEL SUO CONTENUTO TERMICO A TEMPERATURE IDONEE PER L'UTENZA TERMICA

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

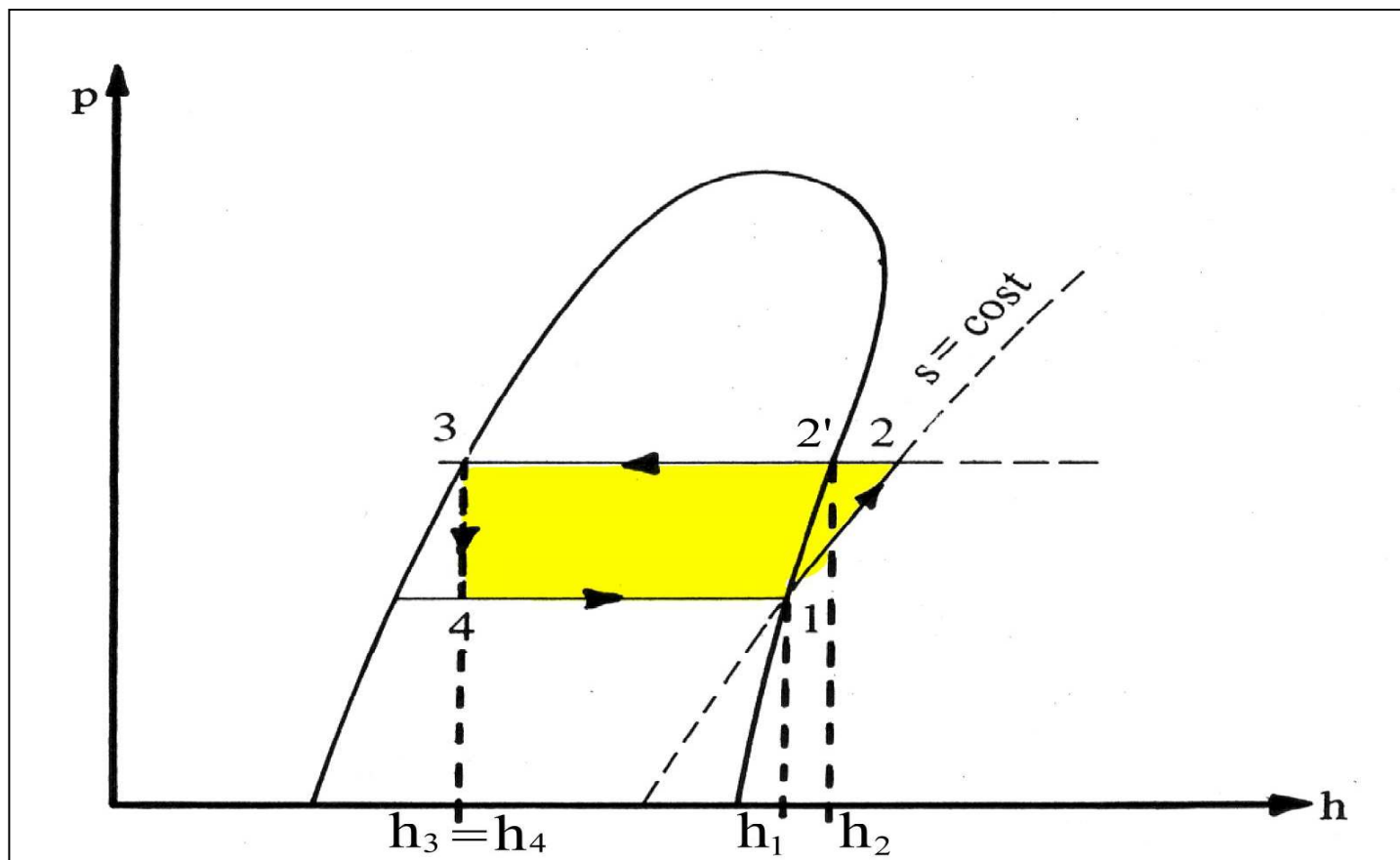
SE SI RIESCE A SFRUTTARE L'EFFETTO FRIGORIFERO DOVUTO AL RAFFREDDAMENTO, SI HA UN IMPIANTO "TOTAL ENERGY"

POMPA DI CALORE

LA POMPA DI CALORE DIFFERISCE DA UN CICLO FRIGORIFERO SOLAMENTE PERCHE' L'EFFETTO UTILE E' IL CALORE FORNITO DAL CONDENSATORE, ANZICHE' QUELLO ASSORBITO DALL'EVAPORATORE

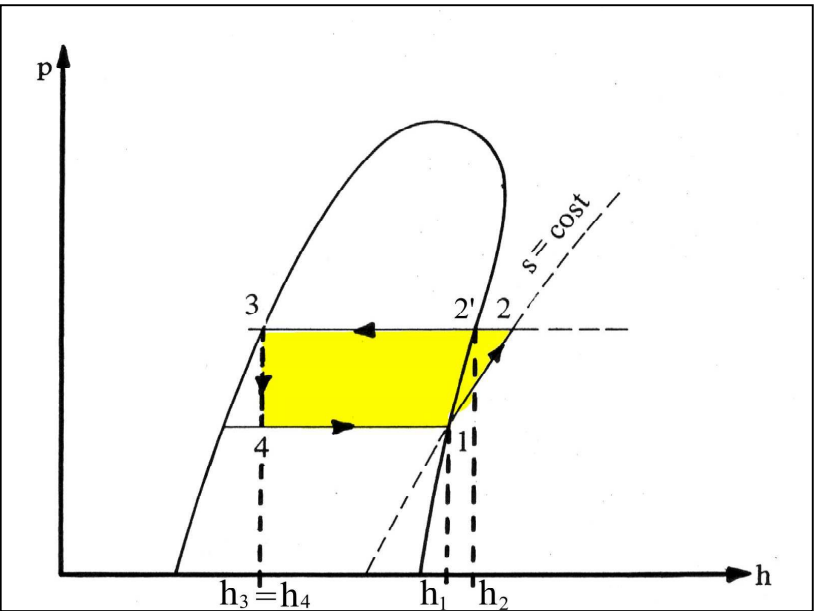
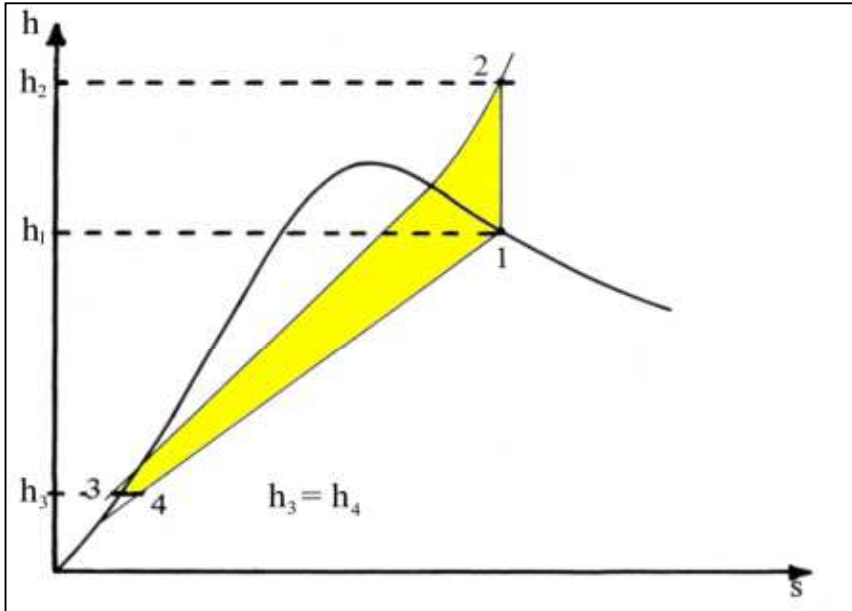
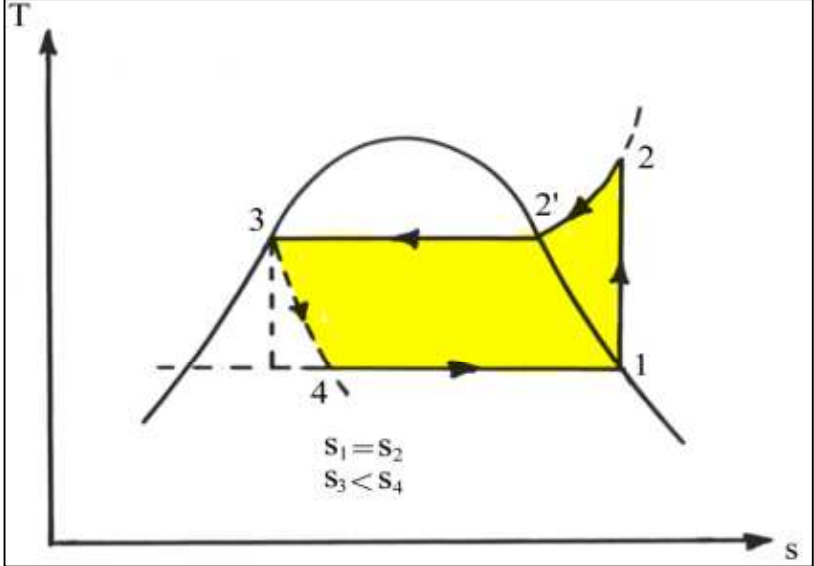
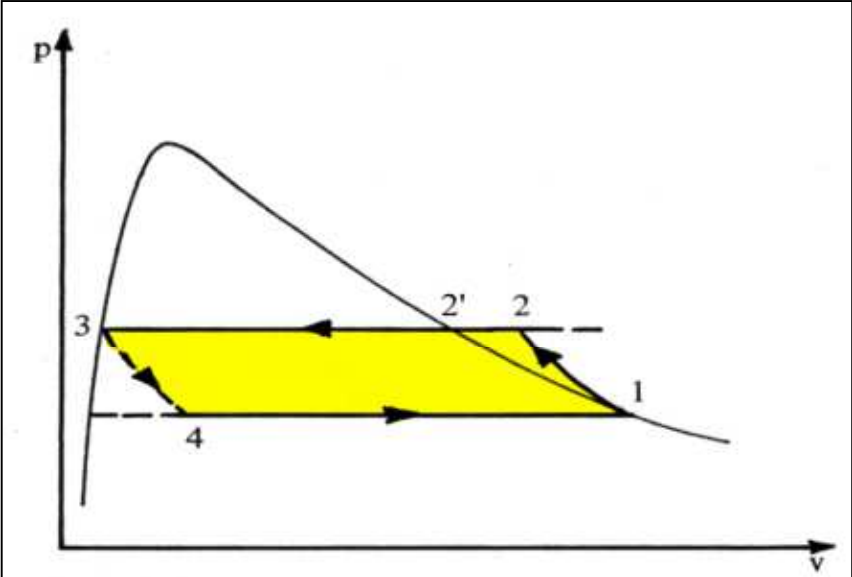
IN ENTRAMBI I CASI, LA SPESA ENERGETICA PER OTTENERE L'EFFETTO UTILE E' COSTITUITA DALL'ENERGIA MECCANICA/ELETTRICA ASSORBITA DAL COMPRESSORE DEL CICLO FRIGORIFERO, SENZA IL QUALE NON SAREBBE POSSIBILE SOTTRARRE ENERGIA DA UNA SORGENTE FREDDA

POMPA DI CALORE - CICLO TERMODINAMICO



- 1 - 2 : COMPRESSIONE
- 2 - 3 : CONDENSAZIONE
- 3 - 4 : ESPANSIONE
- 4 - 1 : EVAPORAZIONE

POMPA DI CALORE - CICLI TERMODINAMICI



POMPA DI CALORE - BILANCIO ENERGETICO / EFFICIENZA

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:

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

Q_H = POTENZA TERMICA FORNITA DAL CONDENSATORE ALL'UTENZA

L = POTENZA ELETTRICA ASSORBITA DAL COMPRESSORE

POMPA DI CALORE - EFFICIENZA

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

$$\text{COP}_{\text{PDC}} = Q_{\text{H}}/L = (Q_{\text{L}} + L)/L \quad \text{COP}_{\text{F}} = Q_{\text{L}}/L$$

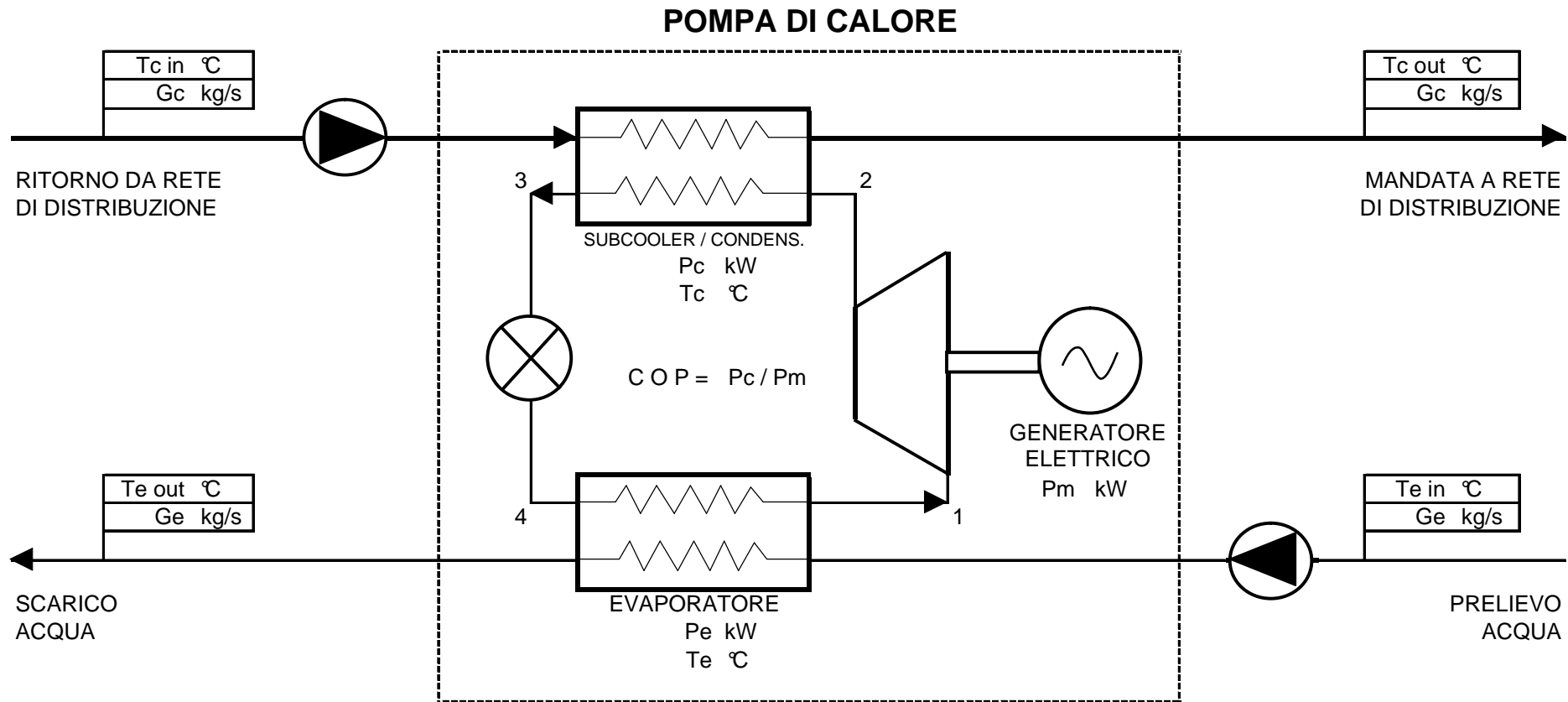
$$\text{COP}_{\text{PDC}} = \text{COP}_{\text{F}} + 1$$

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

$$\text{POMPA DI CALORE: } T_{\text{C OUT}} = 60\text{-}78^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{COP} (Q_{\text{H}}/L) = 3 - 4$$

$$\text{FRIGORIFERO: } T_{\text{C OUT}} = 30\text{-}40^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{COP} (Q_{\text{L}}/L) = 4,5 - 6,0$$

POMPA DI CALORE - BILANCIO TERMICO



$$P_c = G_c \times C \times (T_{c\ out} - T_{c\ in})$$

$$P_e = G_e \times C \times (T_{e\ in} - T_{e\ out})$$

$$P_m = P_c / COP$$

$$T_c = T_{c\ out} + T_{c\ ap}$$

$$T_e = T_{e\ out} - T_{e\ ap}$$

$$P_c = \frac{P_e \times COP}{COP - 1}$$

PRESTAZIONI DI UNA POMPA DI CALORE

Te out	°C	5	5	5	5	10	10	10	10
Tc out	°C	50	60	70	78	50	60	70	78
Pot. motore	kW	800	800	800	800	779	800	800	800
Pot. termica	kW	3.360	2.800	2.480	2.280	3.500	2.996	2.654	2.440
COP		4,20	3,50	3,10	2,85	4,49	3,75	3,32	3,05

Te out	°C	20	20	20	20	30	30	30	30
Tc out	°C	50	60	70	78	50	60	70	78
Pot. motore	kW	714	800	800	800	673	800	800	800
Pot. termica	kW	3.500	3.243	2.866	2.640	3.500	3.440	3.040	2.800
COP		4,90	4,05	3,58	3,30	5,20	4,30	3,80	3,50

Te out = Temperatura uscita evaporatore

Tc out = Temperatura uscita condensatore

PRESTAZIONI DI UNA POMPA DI CALORE

BILANCI TERMICI

P_E, P_C, P_M = POTENZE (KW)

G_E, G_C = PORTATE (KG/S)

$C = 4,186$ KJ/KG °C CALORE SPECIFICO DELL'ACQUA

$T_{E1}, T_{E2}, T_{C1}, T_{C2}$ TEMPERATURE INGRESSO / USCITA ACQUA (°C)

T_{EAP}, T_{CAP} APPROCCI DI TEMPERATURA DEGLI SCAMBIATORI (°C)

POMPA DI CALORE E INTEGRAZIONE CON CALDAIE

LA POMPA DI CALORE È UN COMPONENTE DI BASE, UTILIZZATO PER PRODURRE ENERGIA A MINOR COSTO RISPETTO ALLE CALDAIE (VEDERE CALCOLO SUCCESSIVO)

LE CALDAIE SONO COMUNQUE SEMPRE PRESENTI NELL'IMPIANTO, CON FUNZIONI DI INTEGRAZIONE E RISERVA RISPETTO ALLA POMPA DI CALORE

ESEMPIO

POMPA DI CALORE DIMENSIONATA PER IL 50% DEL CARICO MASSIMO
CALDAIE DIMENSIONATE PER IL 100% DEL CARICO MASSIMO, QUINDI GARANTISCONO UNA RISERVA TOTALE ALLA PDC
AL RIDURSI DEL CARICO, MA COMUNQUE SOPRA IL 50%, LA PDC FUNZIONA A CARICO MASSIMO E LA CALDAIA REGOLA
A CARICO < 50%, LA PDC REGOLA E LA CALDAIA NON FUNZIONA

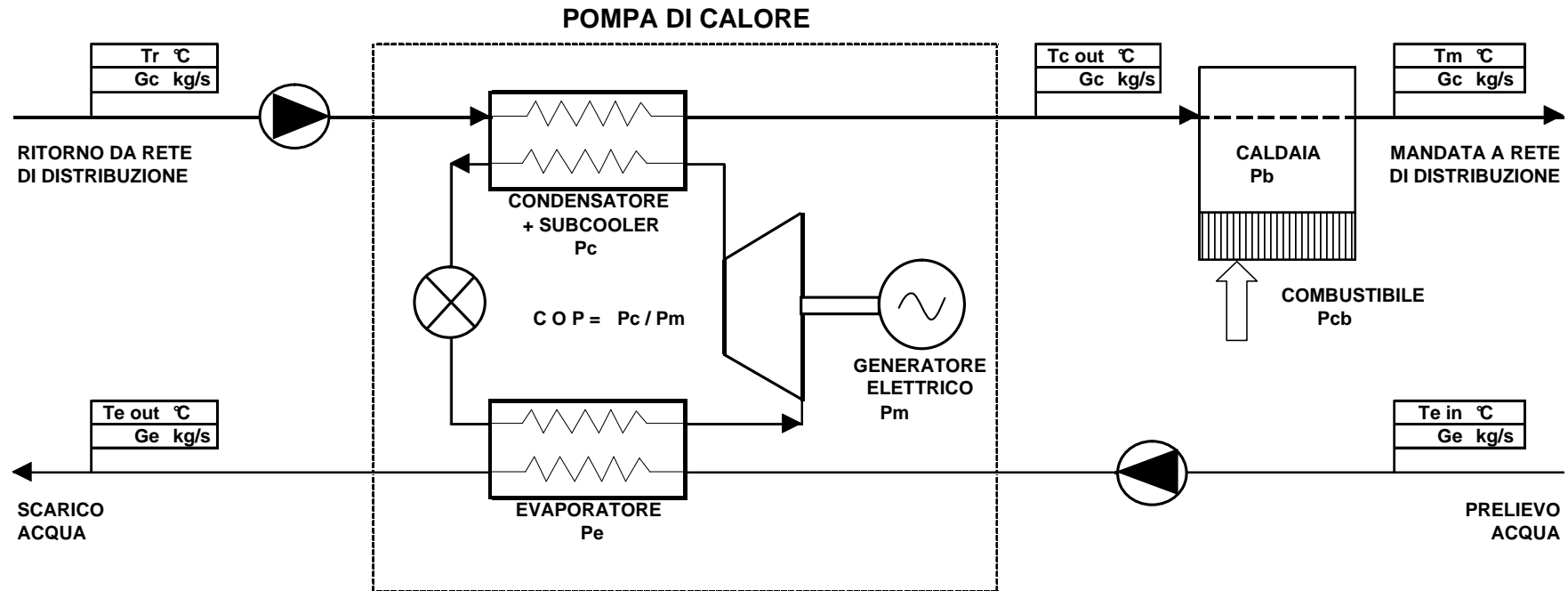
POMPA DI CALORE E INTEGRAZIONE CON CALDAIE

SE LA PDC PUO' FORNIRE UNA $T_{C\ OUT}$ UGUALE A QUELLA CHE SERVE PER ALIMENTARE L'UTENZA, ALLORA PDC E CALDAIE SONO IN PARALLELO
LE DUE MACCHINE SI RIPARTISCONO LA PORTATA TOTALE DELL'UTENZA
AL RIDURSI DEL CARICO, SI DEVE RIDURRE LA PORTATA ALL'UTENZA E SI RIDUCE LA PORTATA ALLE CALDAIE, TENENDO FISSA QUELLA ALLA PDC

SE LA PDC PUO' FORNIRE UNA $T_{C\ OUT}$ MINORE A QUELLA CHE SERVE PER ALIMENTARE L'UTENZA, ALLORA PDC E CALDAIE SONO IN SERIE
ENTRAMBE LE MACCHINE TRATTANO LA STESSA PORTATA
AL RIDURSI DEL CARICO, SI TIENE COSTANTE LA PORTATA E SI RIDUCE LA TEMPERATURA DI MANDATA ALL'UTENZA. IN TAL MODO SI RIDUCE IL CONTRIBUTO DELLE CALDAIE, TENENDO FISSO QUELLO DELLA PDC

BILANCIO TERMICO DI UN SISTEMA POMPA DI CALORE + CALDAIA

A - Esempio di calcolo con massimo sfruttamento della sorgente fredda (Foglio 1)



DATI PER IL CALCOLO

P = 4.000 kW

T_m = 80 °C

T_r = 60 °C

G_e = 150 t/h

T_{e in} = 10 °C

T_{e out min} = 5 °C

T_{c out max} = 70 °C

Etac = 90%

C = 4,186 kJ/kg °C

Potenza totale da produrre (PdC + Caldaia)

Temperatura di mandata all'utenza

Temperatura di ritorno dall'utenza

Portata disponibile dalla sorgente fredda

Temperatura estraz. sorgente fredda = ingresso evaporatore

Minima temperatura ammessa all'uscita dell'evaporatore

Massima temperatura ammessa in uscita dal condensatore

Rendimento di caldaia

Calore specifico dell'acqua

BILANCIO TERMICO DI UN SISTEMA POMPA DI CALORE + CALDAIA

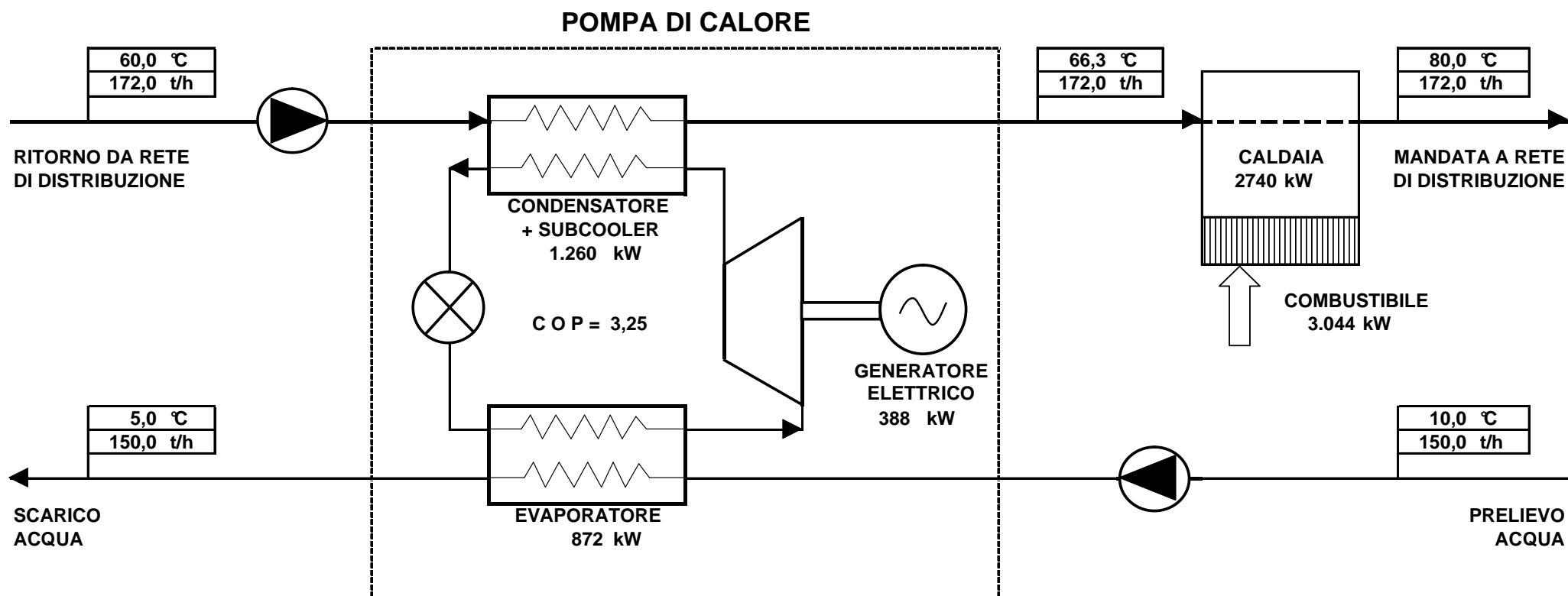
A - Esempio di calcolo con massimo sfruttamento della sorgente fredda (Foglio 2)

- 1 - Portata di acqua al condensatore della pompa di calore (G_c). E' la stessa che deve essere inviata all'utenza:
 $G_c = P \times 3,6 / (T_m - T_r) \times C =$ 172,0 t/h
- 2 - Potenza dell'evaporatore (P_e), con la minima temperatura ammessa all'uscita dell'evaporatore ($T_{e \text{ out min}}$). Questa è la massima potenza estraibile dalla sorgente fredda
 $P_e = G_e \times C \times (T_{e \text{ in}} - T_{e \text{ out min}}) / 3,6 =$ 872 kW
- 3 - Ipotizzo un COP per iniziare il calcolo iterativo: $COP =$ 3,00
- 4 - Potenza del condensatore (P_c):
 $P_c = P_e \times (COP / (COP - 1)) =$ 1.308 kW
- 5 - Temperatura di uscita dal condensatore ($T_{c \text{ out}}$; verificare che sia inferiore a $T_{c \text{ out max}}$)
 $T_{c \text{ out}} = T_r + (P_c \times 3,6) / (G_c \times C) =$ 66,5 °C
- 6 - Dalle tabelle si ricava per interpolazione (in base alle temperature $T_{e \text{ out}}$ e $T_{c \text{ out}}$) il COP 3,24
- 7 - Con il nuovo valore di COP ritorno allo step 4 e ripeto i calcoli fino a quando i risultati convergono. Si ottiene:

Pc	=	1.260 kW
Tc out	=	66,3 °C
Pe	=	872 kW
COP	=	3,25
- 8 - Potenza elettrica (P_m) assorbita dalla pompa di calore: $P_m = P_c / COP =$ 388 kW
- 9 - Potenza della caldaia: $P_b = P - P_c =$ 2.740 kW
- 10 - Consumo di calore della caldaia: $P_{cb} = P_b / \eta_{c \text{ c}} =$ 3.044 kW

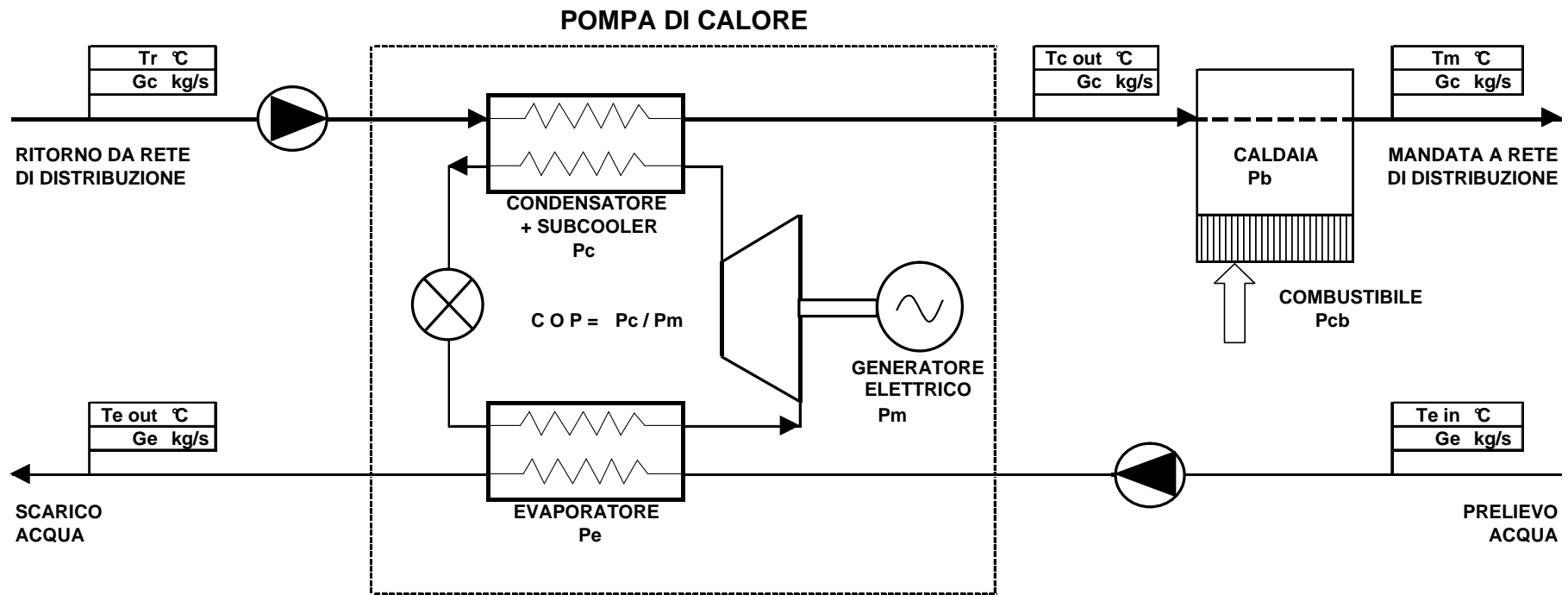
BILANCIO TERMICO DI UN SISTEMA POMPA DI CALORE + CALDAIA

A - Esempio di calcolo con massimo sfruttamento della sorgente fredda (Foglio 3)



BILANCIO TERMICO DI UN SISTEMA POMPA DI CALORE + CALDAIA

B - Esempio di calcolo con utilizzo della max temperatura ammessa in uscita dalla PdC (Foglio 1)



DATI PER IL CALCOLO

P = 4.000 kW

Tm = 80 °C

Tr = 60 °C

Ge = 200 t/h

Te in = 13 °C

Te out min = 5 °C

Tc out max = 70 °C

Eta c = 85%

C = 4,186 kJ/kg °C

Potenza totale da produrre (PdC + Caldaia)

Temperatura di mandata all'utenza

Temperatura di ritorno dall'utenza

Portata disponibile dalla sorgente fredda

Temperatura estraz. sorgente fredda = ingresso evaporatore

Minima temperatura ammessa all'uscita dell'evaporatore

Massima temperatura ammessa in uscita dal condensatore

Rendimento di caldaia

Calore specifico dell'acqua

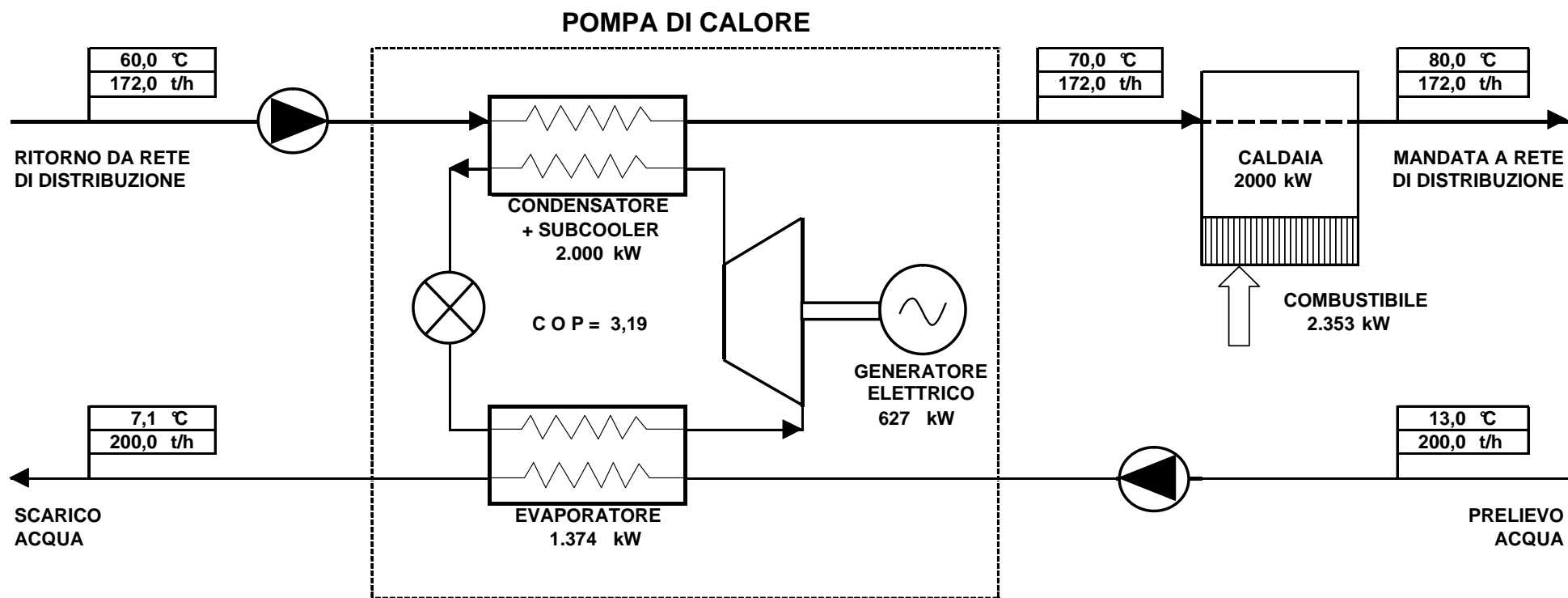
BILANCIO TERMICO DI UN SISTEMA POMPA DI CALORE + CALDAIA

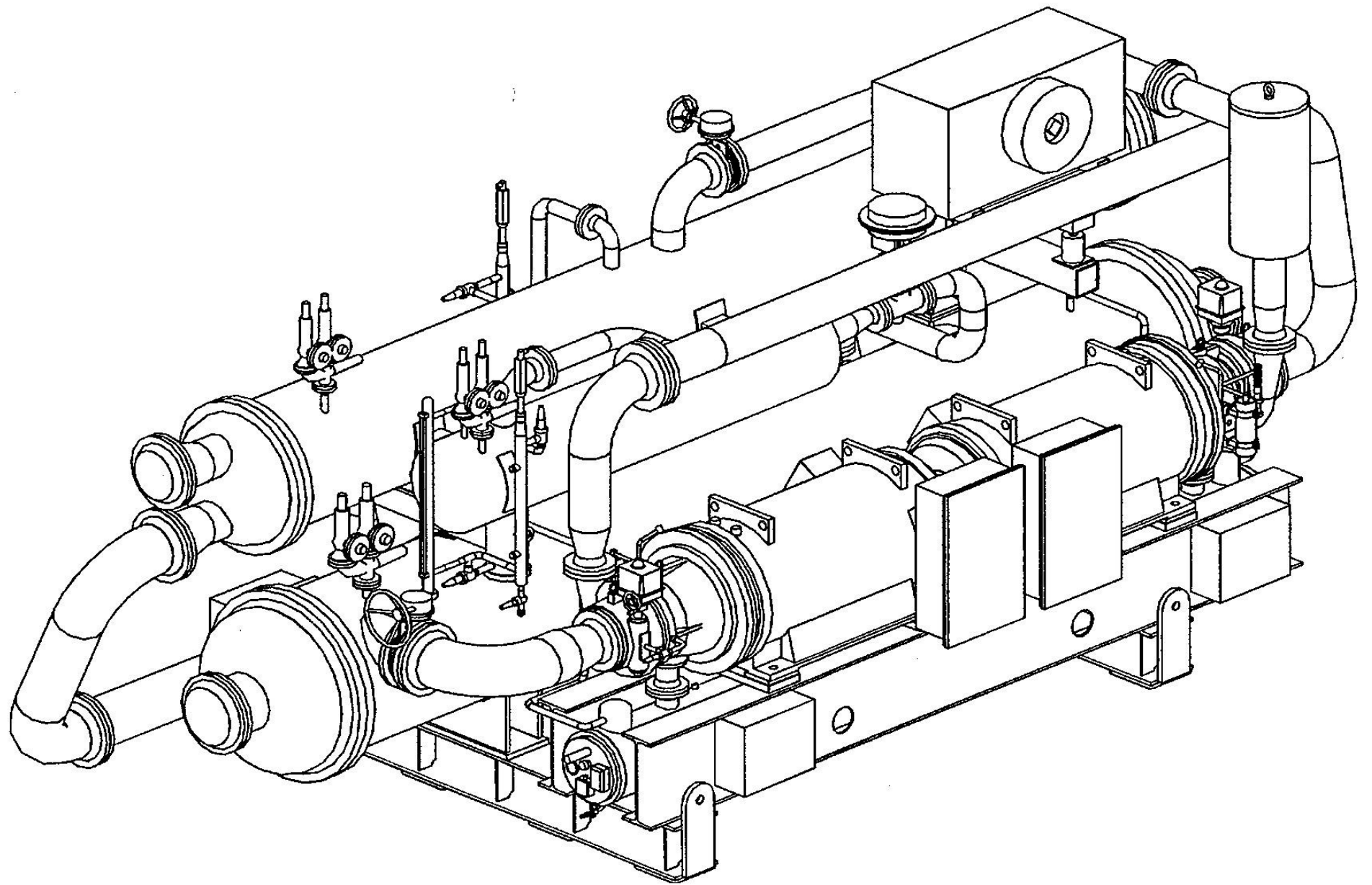
B - Esempio di calcolo con utilizzo della max temperatura ammessa in uscita dalla PdC (Foglio 2)

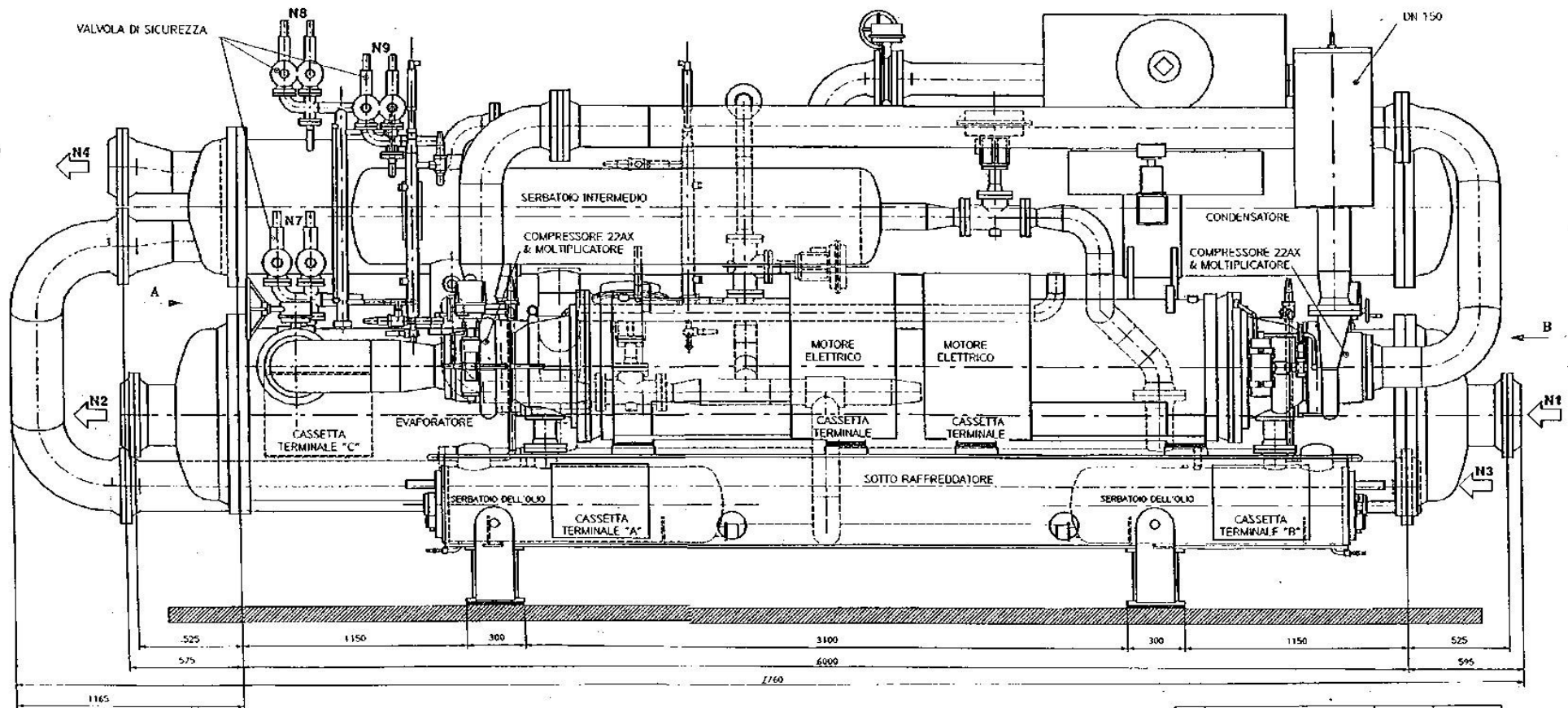
- 1 - Portata di acqua al condensatore della pompa di calore (G_c). E' la stessa che deve essere inviata all'utenza:
 $G_c = P \times 3,6 / (T_m - T_r) \times C =$ 172,0 t/h
- 2 - Potenza del condensatore (P_c), con la massima temperatura ammessa all'uscita del condensatore ($T_{c\ out\ max}$). Questa è la potenza da assegnare alla PdC
 $P_c = G_c \times C \times (T_m - T_r) / 3,6 =$ 2.000 kW
- 3 - Ipotizzo un COP per iniziare il calcolo iterativo: COP = 3,50
- 4 - Potenza dell'evaporatore (P_e):
 $P_e = P_c \times ((COP-1) / COP) =$ 1.429 kW
- 5 - Temperatura di uscita dall'evaporatore (verificare che sia superiore a $T_{e\ out\ min}$)
 $T_{e\ out} = T_{e\ in} - (P_e \times 3,6) / (G_e \times C) =$ 6,9 °C
- 6 - Dalle tabelle si ricava per interpolazione (in base alle temperature $T_{e\ out}$ e $T_{c\ out}$) il COP 3,18
- 7 - Con il nuovo valore di COP ritorno allo step 4 e ripeto i calcoli fino a quando i risultati convergono. Si ottiene:
 $P_e =$ 1.374 kW
 $T_{e\ out} =$ 7,1 °C
 $P_c =$ 2.000 kW
 $COP =$ 3,19
- 8 - Potenza elettrica (P_m) assorbita dalla pompa di calore: $P_m = P_c / COP =$ 627 kW
- 9 - Potenza della caldaia: $P_b = P - P_c =$ 2.000 kW
- 10 - Consumo di calore della caldaia: $P_{cb} = P_b / \eta_{c\ c} =$ 2.353 kW

BILANCIO TERMICO DI UN SISTEMA POMPA DI CALORE + CALDAIA

B - Esempio di calcolo con utilizzo della max temperatura ammessa in uscita dalla PdC (Foglio 3)

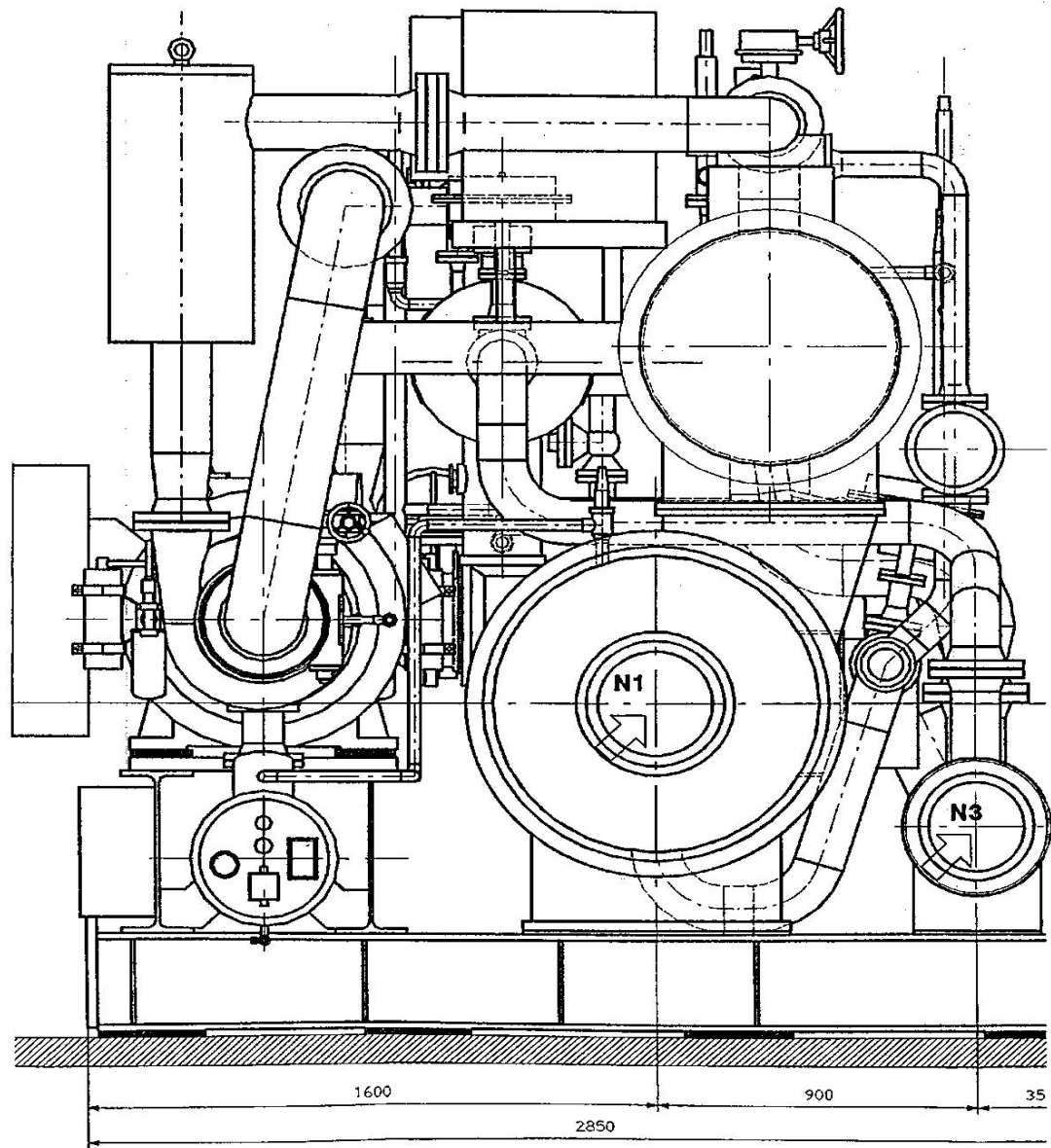






N7	VALVOLA DI SICUREZZA EVAPORATORE	DN 32/40 PN 25	
N8	VALVOLA DI SICUREZZA CONDENSATORE	DN 25/25 PN 40	
N9	VALVOLA DI SICUREZZA SERBATOIO INTERMEDIO	DN 25/25 PN 40	

N1	AGENTE FRIGOR. INTERMEDIO ENTRATA	DN 300 PN 10	DIN 2632 FORM C
N2	AGENTE FRIGOR. INTERMEDIO USCITA	DN 300 PN 10	DIN 2632 FORM C
N3	ACQUA PER RISCALDAMENTO ENTRATA	DN 250 PN 16	DIN 2633 FORM C
N4	ACQUA PER RISCALDAMENTO USCITA	DN 250 PN 16	DIN 2633 FORM C



POMPA DI CALORE - SORGENTI DI CALORE

TRA LE DIVERSE SORGENTI DI CALORE DISPONIBILI, QUELLE PIU' FACILMENTE ACCESSIBILI SONO COSTITUITE DALL'ARIA ESTERNA E DALL'ACQUA DI FIUME, DI LAGO, DI MARE O DI POZZO

SONO PERO' PIU' ATTRAENTI LE SORGENTI CHE FORNISCONO CALORE AD UN LIVELLO TERMICO ABBASTANZA ELEVATO, COME PER ESEMPIO I FLUIDI GEOTERMICI O LE ACQUA DI SCARTO DA PROCESSI INDUSTRIALI

INFATTI, MINORE E' IL SALTO TERMICO TRA LA SORGENTE FREDDA E QUELLA CALDA, MAGGIORE E' IL COP DELLA POMPA DI CALORE, CON CONSEGUENTE RIDUZIONE DELLE SPESE DI ESERCIZIO

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

PARAMETRI PER IL PROGETTO DELLA MACCHINA

PARAMETRI TERMODINAMICI

- TEMPERATURA DI MANDATA LATO SORGENTE CALDA
- TEMPERATURA DI RITORNO LATO SORGENTE CALDA
- TEMPERATURA DI INGRESSO DELLA FONTE FREDDA
- TEMPERATURA DI RITORNO MINIMA DELLA FONTE FREDDA (PER PREVENIRE FENOMENI DI FORMAZIONE DI GHIACCIO)

PARAMETRI PER IL PROGETTO DELLA MACCHINA

PARAMETRI TECNOLOGICI

- PRESSIONE DI EVAPORAZIONE $> P_{\text{ATMOSFERICA}}$
- PRESSIONE DI CONDENSAZIONE $\ll P_{\text{CRITICA}}$ DEL FLUIDO REFRIGERANTE
- TEMPERATURA MASSIMA DEL FLUIDO REFRIGERANTE DURANTE IL CICLO \ll DI QUELLA DI DECOMPOSIZIONE DEL FLUIDO PER EVITARE LA FORMAZIONE DI COMPOSTI PERICOLOSI
- PERDITE DI CARICO NELL'EVAPORATORE LATO SORGENTE FREDDA
- PERDITE DI CARICO NEL CONDENSATORE LATO SORGENTE CALDA

SCELTE IMPIANTISTICHE

- **NUMERO DI UNITA'**
- **TIPO DI COLLEGAMENTO DELL'EVAPORATORE**
- **TIPO DI COLLEGAMENTO DEL CONDENSATORE**

PARAMETRI ED ELEMENTI CHE INFLUENZANO IL COP

TEMPERATURA DI CONDENSAZIONE

AUMENTA QUANDO SI VUOLE AUMENTARE T_c OUT
PIU' E' ELEVATA, A PARITA' DI TEMPERATURA DI EVAPORAZIONE, TANTO MINORE RISULTERA' IL COP E VICEVERSA

TEMPERATURA DI EVAPORAZIONE

AUMENTA QUANDO SI VUOLE DIMINUIRE T_e OUT
PIU' E' BASSA, A PARITA' DI TEMPERATURA DI CONDENSAZIONE, TANTO MINORE RISULTERA' IL COP E VICEVERSA

APPROCCI DI TEMPERATURA DI EVAPORATORE E CONDENSATORE

A PARITA' DI TEMPERATURA DI USCITA DAL CICLO DELLA SORGENTE FREDDA E DELLA SORGENTE CALDA, AL DIMINUIRE DEGLI APPROCCI DI TEMPERATURA SALE CORRISPONDENTEMENTE IL COP
LA DIMINUZIONE DEGLI APPROCCI, PERO', COMPORTA UN'AUMENTO DEL COSTO DEI DUE SCAMBIATORI DI CALORE

PARAMETRI ED ELEMENTI CHE INFLUENZANO IL COP

PRESENZA DI SOTTORAFFREDDATORE

LA PRESENZA DI UN SOTTORAFFREDDAMENTO DEL REFRIGERANTE LIQUIDO IN USCITA DAL CONDENSATORE CONSENTE DI INCREMENTARE IL VALORE DEL COP, PURCHE' IL CALORE LIBERATO IN FASE DI SOTTORAFFREDDAMENTO DEL REFRIGERANTE SIA RECUPERATO E CEDUTO ALLA SORGENTE CALDA

DIFFERENZA TRA LA TEMPERATURA DI INGRESSO E DI USCITA DELLA SORGENTE CALDA DALLA POMPA DI CALORE

INFLUENZA LE PRESTAZIONI DEL SOTTORAFFREDDATORE.

MAGGIORE E' LA DIFFERENZA DI TEMPERATURA CITATA E MAGGIORE RISULTA LA RESA DEL SOTTORAFFREDDATORE E QUINDI IL BENEFICIO PER IL COP DEL CICLO

PARAMETRI ED ELEMENTI CHE INFLUENZANO IL COP

TIPO DI FLUIDO FRIGORIGENO PRESCELTO

LE CARATTERISTICHE SALIENTI DEL FLUIDO FRIGORIGENO (FREON) CHE INFLUENZANO IL COP SONO COSTITUITE DAL CALORE LATENTE SPECIFICO DI CONDENSAZIONE E DI EVAPORAZIONE ALLE TEMPERATURE PRESCELTE E DALLA CONFIGURAZIONE DEL DIAGRAMMA DI STATO NEL CAMPO DELLE TEMPERATURE OPERATIVE DEL CICLO

NUMERO DI STADI DEL CICLO

UN AUMENTO DEL NUMERO DI STADI DEL CICLO PORTA AD UN AUMENTO DEL COP MA ANCHE UN AUMENTO DELLE COMPLICAZIONI IMPIANTISTICHE E DEL COSTO DI INVESTIMENTO

PARAMETRI ED ELEMENTI CHE INFLUENZANO IL COP

RENDIMENTO DEL COMPRESSORE, DEL MOLTIPLICATORE DI GIRI E DEL MOTORE ELETTRICO

UN AUMENTO DI TALI RENDIMENTI COMPORTA UN AUMENTO DEL COP

FATTORE DI SPORCAMENTO DELL'EVAPORATORE E DEL CONDENSATORE

ALL'AUMENTARE DEL FATTORE DI SPORCAMENTO DEI DUE SCAMBIATORI PEGGIORA OVVIAMENTE LO SCAMBIO TERMICO DEL CICLO E QUINDI IL COP

PERDITE DI CARICO ALL'ASPIRAZIONE DI OGNI STADIO DEL COMPRESSORE

UNA DIMINUZIONE DI TALI PERDITE COMPORTA UN AUMENTO DEL COP

SISTEMI DI CONTROLLO PRINCIPALI PER IL FUNZIONAMENTO DELLA POMPA DI CALORE

CONTROLLO DI TEMPERATURA (TIC) SULL'USCITA DELL'ACQUA CALDA DAL CONDENSATORE

LIMITE DI TEMPERATURA INFERIORE (TSL) SULL'USCITA DELL'ACQUA FREDDA DALL'EVAPORATORE

CONTROLLO DI PRESSIONE (PIC) SULLA FASE GASSOSA DEL FLUIDO FRIGORIGENO NEL CONDENSATORE

CONTROLLO DI PRESSIONE (PIC) SULLA FASE GASSOSA DEL FLUIDO FRIGORIGENO NELL'EVAPORATORE

CONTROLLO DI AMPERAGGIO (EIC) SUL MOTORE ELETTRICO DEL COMPRESSORE

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' **SIA 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:

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

LA POMPA DI CALORE **VERRA' INSTALLATA SE** IL RISPARMIO ANNUO SUL COSTO DEL CALORE E' IN GRADO DI CONSENTIRE IL RECUPERO DEL MAGGIOR INVESTIMENTO IN UN TEMPO SUFFICIENTEMENTE BREVE

COSTO DI PRODUZIONE DEL CALORE TRAMITE CALDAIE

ENERGIA TERMICA = 1 kWh



COSTO FINALE DEL CALORE

1 kWh = 0,0308 Euro

$1 \text{ kWh} / 85\% = 1,176 \text{ kWh}$

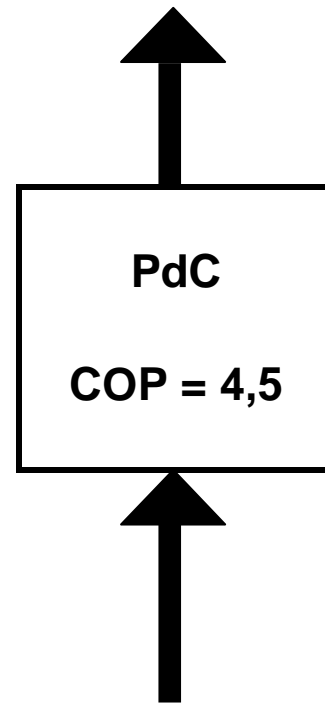
$1,176 \text{ kWh} / 9,59 \text{ kWh/Sm}^3 = 0,123 \text{ Sm}^3$

$0,123 \text{ Sm}^3 \times 0,25 \text{ Euro/Sm}^3 = 0,0308 \text{ Euro}$

IL COSTO FINALE DEL CALORE VARIA A SECONDA DEL PREZZO DEL GAS

**COSTO DI PRODUZIONE DEL CALORE TRAMITE POMPE DI CALORE
CASO: POMPE DI CALORE A BASSA TEMPERATURA (55°C)**

ENERGIA TERMICA = 1 kWh



**COSTO FINALE DEL CALORE
1 kWh = 0,0133 Euro**

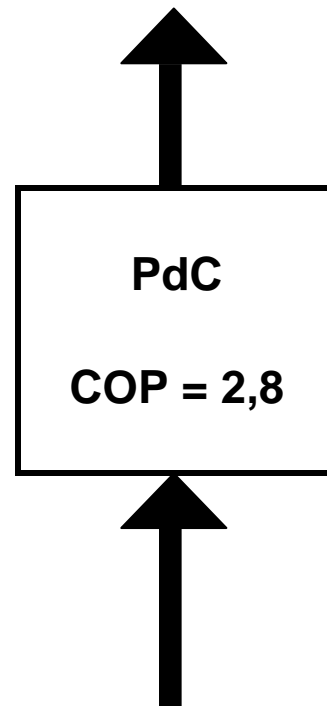
$$1 \text{ kWh t} / 4,5 = 0,222 \text{ kWh e}$$

ENERGIA ELETTRICA $0,222 \text{ kWh} \times 0,06 \text{ Euro/kWh} = 0,0133 \text{ Euro}$

**IL COSTO FINALE DEL CALORE VARIA A SECONDA DEL PREZZO
DELL'ENERGIA ELETTRICA E DEL COP DELLA PdC
QUESTO E' IL CASO A COSTO MINIMO (prezzo EE basso - COP alto)**

**COSTO DI PRODUZIONE DEL CALORE TRAMITE POMPE DI CALORE
CASO: POMPE DI CALORE AD ALTA TEMPERATURA (80°C)**

ENERGIA TERMICA = 1 kWh



**COSTO FINALE DEL CALORE
1 kWh = 0,0536 Euro**

$$1 \text{ kWh t} / 2,8 = 0,357 \text{ kWh e}$$

ENERGIA ELETTRICA $0,357 \text{ kWh} \times 0,15 \text{ Euro/kWh} = 0,0536 \text{ Euro}$

**IL COSTO FINALE DEL CALORE VARIA A SECONDA DEL PREZZO
DELL'ENERGIA ELETTRICA E DEL COP DELLA PdC
QUESTO E' IL CASO A COSTO MASSIMO (prezzo EE alto - COP basso)**

POMPA DI CALORE – CAMPO DI IMPIEGO

IMPIANTI DI RISCALDAMENTO CIVILI

IMPIANTI INDUSTRIALI

IMPIANTI DI TELERISCALDAMENTO

POMPA DI CALORE – IMPIANTI DI RISCALDAMENTO CIVILI

SI PARLA DI IMPIANTI DA POCHE DECINE DI kW SINO A CENTINAIA DI kW

IN QUESTO CAMPO DI POTENZE LE TEMPERATURE DI MANDATA ($T_{C\ OUT}$) SONO DELL'ORDINE DI 50 – 60°C

PERTANTO, L'IDEALE È PROGETTARE INSIEME L'EDIFICIO E LA CENTRALE CON PDC, IN MODO CHE LE TEMPERATURE DI DISTRIBUZIONE NELL'EDIFICIO SIANO COMPATIBILI CON LA $T_{C\ OUT}$

LE SORGENTI FREDDE POSSONO ESSERE ARIA O ACQUA SUPERFICIALE (FALDA, LAGO, FIUME).

POMPA DI CALORE – IMPIANTI INDUSTRIALI

POSSIBILI SORGENTI FREDDE:

- FLUIDI CALDI SCARICATI DA PROCESSI INDUSTRIALI, CHE HANNO TEMPERATURE ABBASTANZA ELEVATE (30-40°C), CONSENTENDO DI OTTENERE UN ELEVATO COP
- ACQUE DI SCARICO DA DEPURATORI, CHE HANNO TEMPERATURE DI 15-20°C, QUINDI PIU' ELEVATE DI QUELLE OTTENIBILI DA ACQUE SUPERFICIALI
- CALORE DI RAFFREDDAMENTO; QUESTI CIRCUITI DI SOLITO HANNO TEMPERATURE DI 30-40°C
- ACQUE SUPERFICIALI

SI PARLA DI IMPIANTI DA CENTINAIA DI kW, IN CASI ECCEZIONALI QUALCHE MW

SU IMPIANTI DA OLTRE 1 MW, LE TEMPERATURE DI MANDATA ($T_{C\ OUT}$) POSSONO ARRIVARE ANCHE A 78°C

POMPA DI CALORE – IMPIANTI DI TELERISCALDAMENTO

IN QUESTI CASI SI TRATTA IN GENERE DI PDC DI ELEVATA POTENZA.

LE TEMPERATURE DI MANDATA ($T_{C\ OUT}$) POSSONO ARRIVARE A 78°C SU PDC DA QUALCHE MW E SALIRE A 90°C PER PDC DI MAGGIOR POTENZA

LE SORGENTI FREDDHE POSSONO ESSERE:

- ACQUA SUPERFICIALE (FALDA, LAGO, FIUME)
- FONTI GEOTERMICHE
- ACQUE DI SCARICO DA DEPURATORI
- CALORE DI RAFFREDDAMENTO DELLA CENTRALE COGENERATIVA

GLI SCHEMI DI INSERIMENTO DELLA PDC NELL'IMPIANTO SONO COMPLESSI E DIPENDONO DALLA PRESENZA, O MENO, DI ALTRI GRUPPI DI BASE (COGENERAZIONE) E DAL RAPPORTO FRA $T_{C\ OUT}$ E LA TEMPERATURA DI MANDATA DEL TELERISCALDAMENTO

POMPA DI CALORE – ABBINAMENTO ALLA COGENERAZIONE

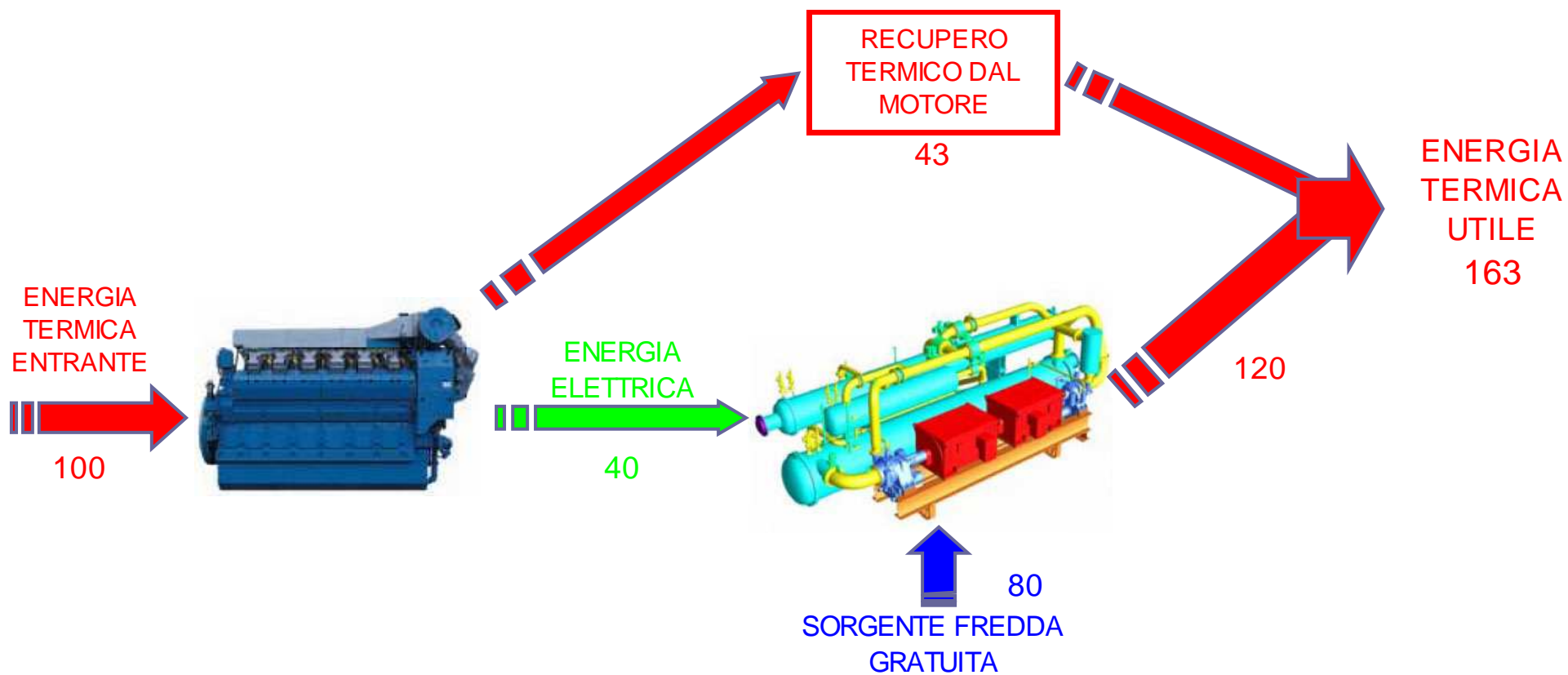
È TIPICO DI IMPIANTI DI TELERISCALDAMENTO

IL GRUPPO DI COGENERAZIONE, MOLTO SPESSO COSTITUITO DA UN MOTORE A GAS, PRODUCE ENERGIA ELETTRICA (UTILIZZATA PER ALIMENTARE LA POMPA DI CALORE) E ENERGIA TERMICA PER IL TLR

CON UNA DISPOSIZIONE IN SERIE RISPETTO ALLA POMPA DI CALORE, È POSSIBILE INNALZARE, SE NECESSARIO, IL LIVELLO TERMICO DELL'ACQUA CALDA PRODOTTA

IL RENDIMENTO TOTALE DEL SISTEMA COMPLESSIVO RISULTA MOLTO ELEVATO

SISTEMA INTEGRATO POMPA DI CALORE + MOTORE A GAS



POMPA DI CALORE – ABBINAMENTO ALLA COGENERAZIONE

LO SCHEMA E' RIFERITO AD UN CASO DI POMPA DI CALORE DA 3 MWT E MOTORE A GAS COGENERATIVO DA 1 MWE

LA PRODUZIONE TERMICA NETTA È PARI AL 163% DELL'ENERGIA TERMICA DA COMBUSTIBILE BRUCIATA

L'APPLICAZIONE IN ESAME PERMETTE ALL'INCIRCA DI DIMEZZARE IL FABBISOGNO DI COMBUSTIBILE IN CONFRONTO AD UN SISTEMA CONVENZIONALE CON CALDAIA

POMPA DI CALORE – ABBINAMENTO ALLA COGENERAZIONE

NELLA REALTÀ LA PRODUZIONE ELETTRICA DEL MOTORE NON COINCIDERÀ ESATTAMENTE COL CONSUMO DELLA PDC ED OLTRE A QUESTO BISOGNA CONSIDERARE ANCHE I CONSUMI ELETTRICI DI TUTTI GLI ALTRI AUSILIARI DELL'IMPIANTO

PERTANTO, VI SARÀ UN BILANCIAMENTO CON LA RETE ELETTRICA (ESPORTAZIONE O IMPORTAZIONE, A SECONDA DEI CASI)

INDIPENDENTEMENTE DALLA PRESENZA, O MENO, DELLA COGENERAZIONE, È POSSIBILE IPOTIZZARE UN FUNZIONAMENTO PREVALENTEMENTE NOTTURNO DELLA POMPA DI CALORE (AL FINE DI MINIMIZZARE IL COSTO DELL'ENERGIA ELETTRICA ASSORBITA) IN ABBINAMENTO AD UN SISTEMA DI ACCUMULO TERMICO PER LA COPERTURA DEL CARICO TERMICO DIURNO

POMPA DI CALORE – INCENTIVI

CERTIFICATI BIANCHI

CONTRIBUTO GEOTERMICO

POMPA DI CALORE – INCENTIVI

CERTIFICATI BIANCHI

CONTRIBUTO EROGATO DAL GME (GESTORE DEL MERCATO ELETTRICO), DI CIRCA 10 EURO/MWH DI RISPARMIO ENERGETICO OTTENUTO (RISPARMIO CHE VIENE CERTIFICATO DALLA AEEG = AUTORITÀ PER L'ENERGIA ELETTRICA E IL GAS). È OTTENIBILE DA QUALUNQUE TIPO DI IMPIANTO (CIVILI, INDUSTRIALI, DI TELERISCALDAMENTO)

VIENE EROGATO (A CONSUNTIVO DI OGNI ANNO) PER I PRIMI 5 ANNI DI ESERCIZIO DELL'IMPIANTO

POMPA DI CALORE – INCENTIVI

CONTRIBUTO GEOTERMICO

IN BASE ALLA LEGGE 896 DEL 1986, VENGONO CONCESSI DUE CONTRIBUTI, ENTRAMBI SOTTO FORMA DI CREDITO D'IMPOSTA (DA FAR VALERE IN SEDE DI DICHIARAZIONE DEI REDDITI):

- IN CONTO CAPITALE, ALL'ATTO DELLA COSTRUZIONE DELL'IMPIANTO, 20,66 EURO/KW DI POTENZA TERMICA SOTTRATTA AL FLUIDO GEOTERMICO (CIOÈ LA POTENZA DELL'EVAPORATORE)
- IN CONTO ESERCIZIO, 25,80 EURO/MWH DI ENERGIA TERMICA SOTTRATTA AL FLUIDO GEOTERMICO (CIOÈ TRAMITE L'EVAPORATORE), PER TUTTA LA VITA DELL'IMPIANTO

L'UTILIZZO DI ACQUE DI FALDA, PRELEVATE DAL SOTTOSUOLO, È EQUIPARATO ALL'IMPIEGO DI FONTI GEOTERMICHE E CONSENTE DI OTTENERE TALI CONTRIBUTI