



SEMINARIO DI AGGIORNAMENTO TECNICO

INNOVAZIONE, BENESSERE, COMFORT NELLA PROGETTAZIONE DI IMPIANTI TECNOLOGICI

PARTE SECONDA OTTIMIZZAZIONE DELL'EFFICIENZA DELLE POMPE DI CALORE

Palazzo delle Professioni di Prato – Sala del Teatro
Via Pugliesi 26 – Prato



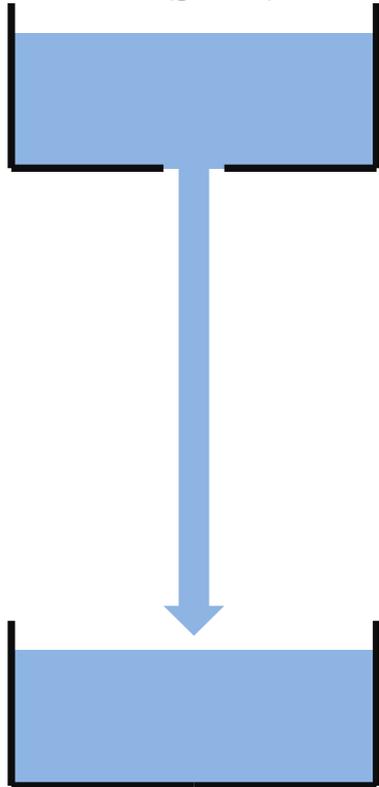
- Principio di funzionamento delle pompe di calore.
- Tipologie di pompe di calore
- Efficienza delle pompe di calore
- Seasonal performance Factor SPF
- Energy Label
- Criteri di progettazione per l'ottimizzazione dell'efficienza energetica delle pompe di calore
- Casi reali

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DELLA POMPA DI CALORE

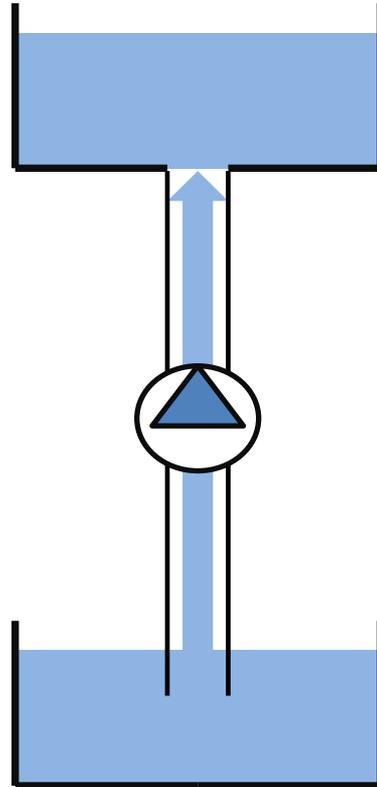
La pompa di calore: principio di funzionamento

La **pompa di calore** è un dispositivo che permette di estrarre calore da una sorgente a bassa temperatura (l'ambiente esterno, il terreno, l'acqua di falda) e trasferirlo ad un fluido a temperatura maggiore della sorgente stessa. Come dice il termine, il dispositivo "pompa" calore dal basso verso l'alto, quindi da basse temperature ad alte temperature. Per analogia idraulica:

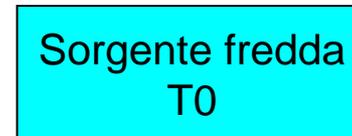
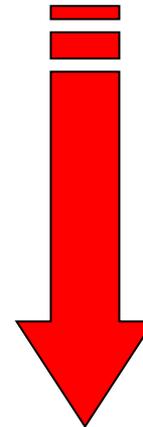
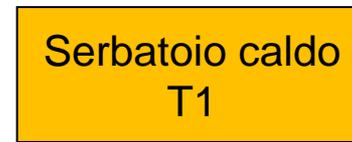
Flusso spontaneo di un liquido
(da quota maggiore a quota minore)
(gravità)



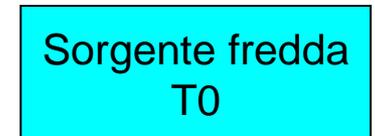
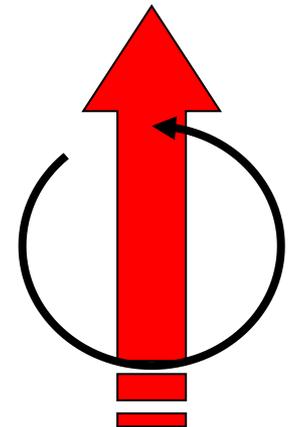
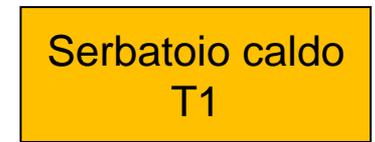
Pompa idraulica



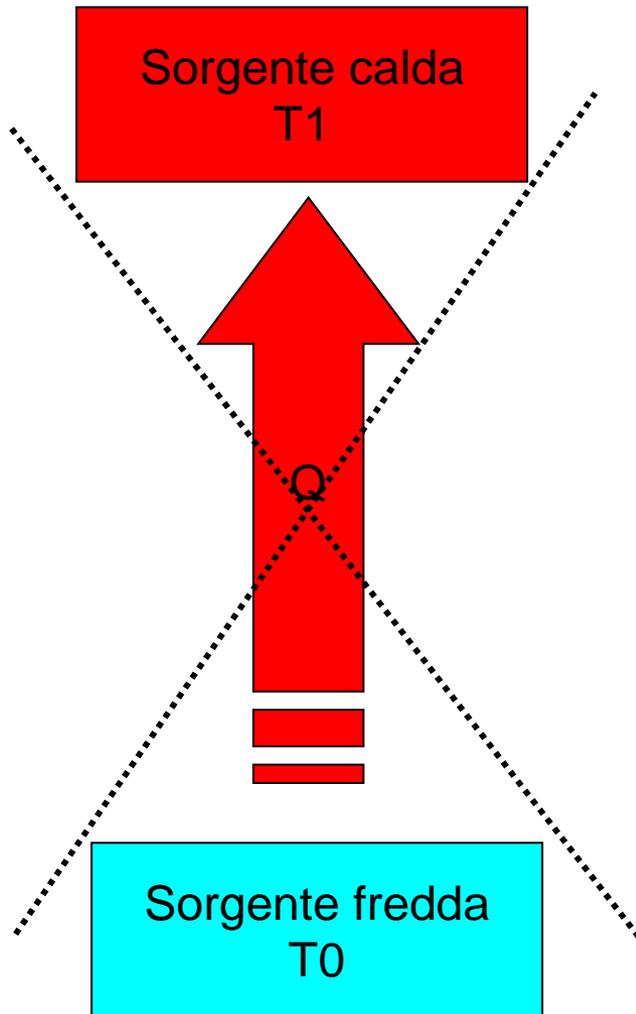
Flusso spontaneo del calore
(da temperature maggiori a minori)



Pompa di calore

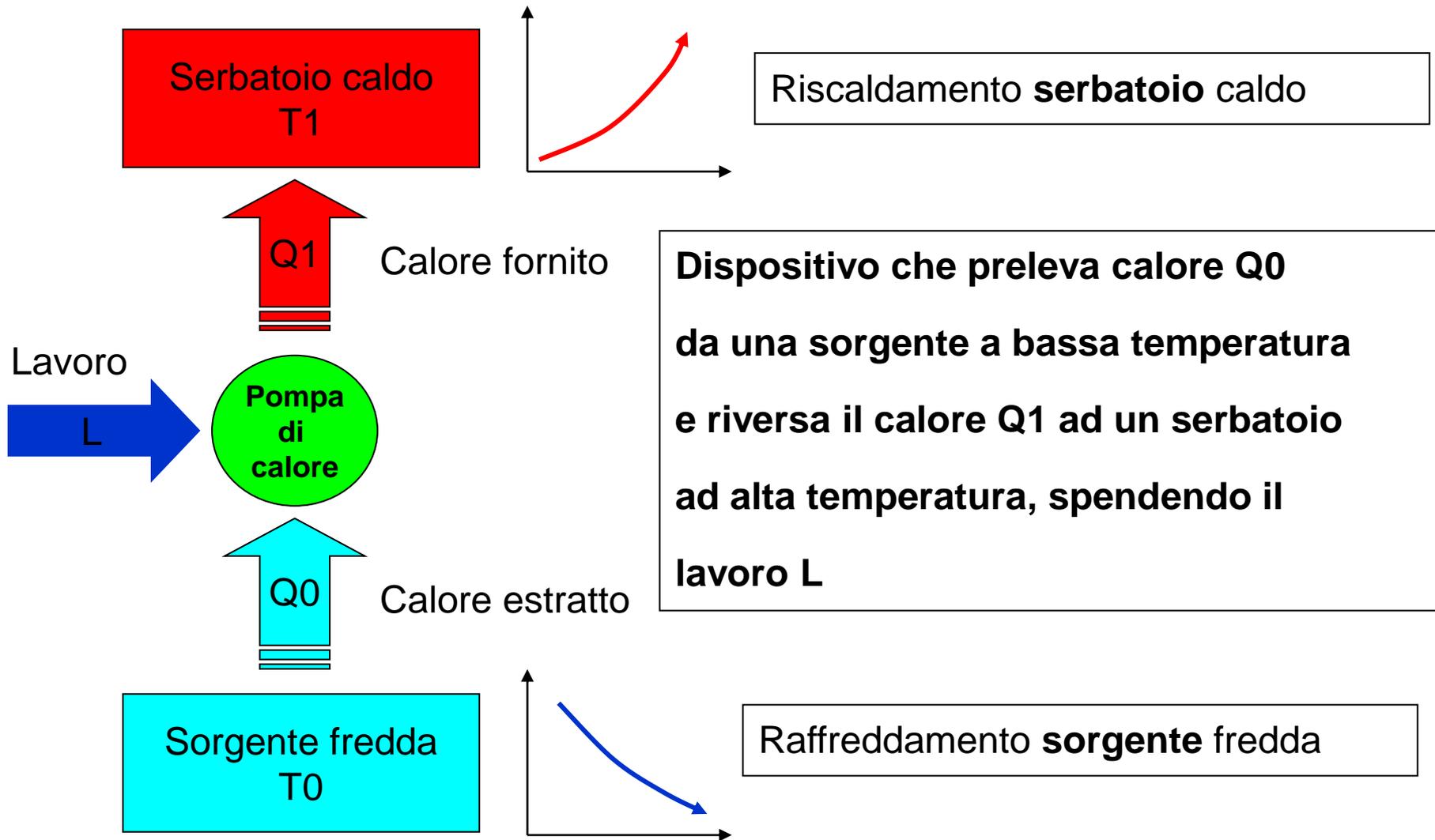


2° principio della termodinamica

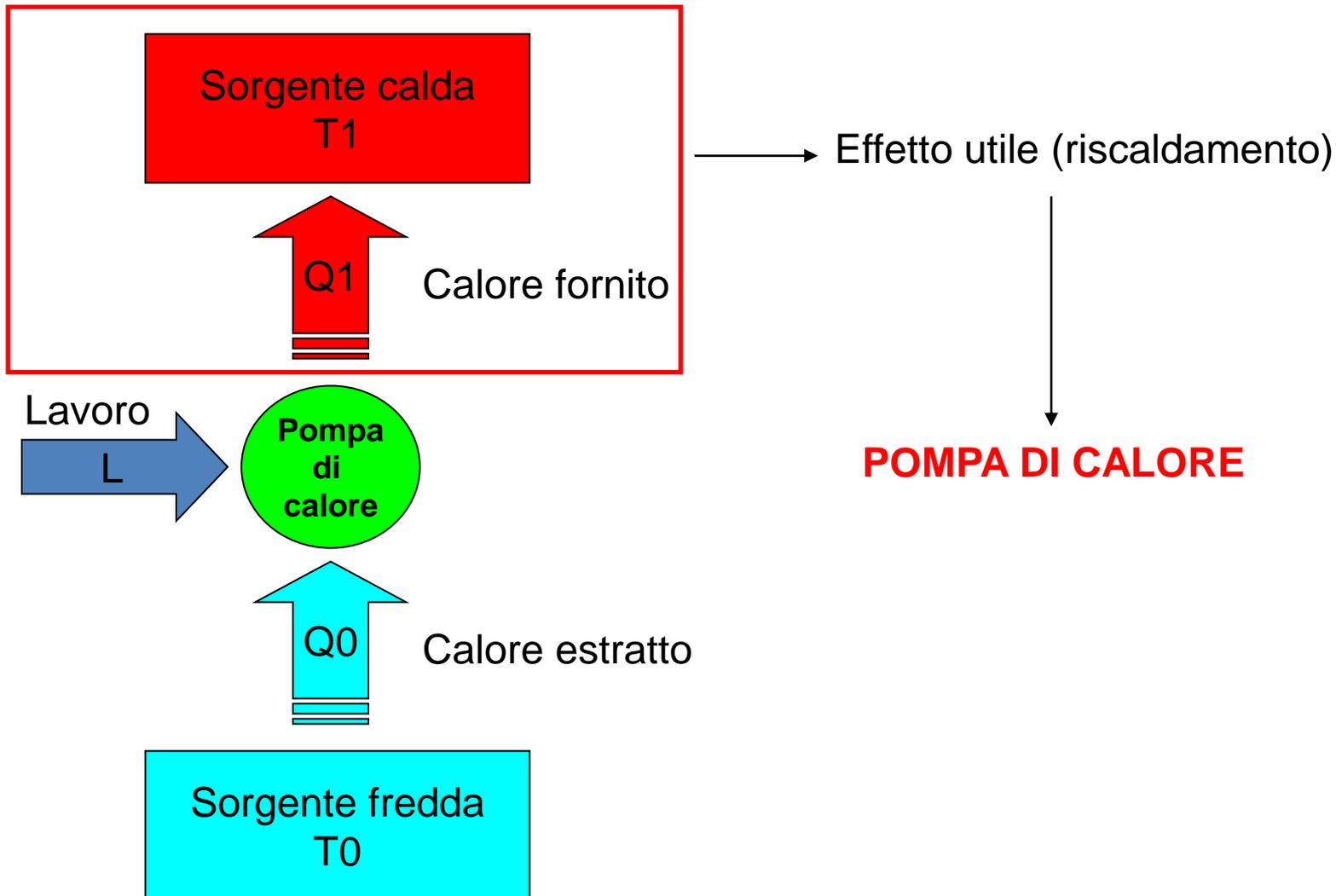


Il passaggio di calore da una sorgente a bassa temperatura ad una ad alta temperatura non avviene spontaneamente (2° principio della termodinamica)

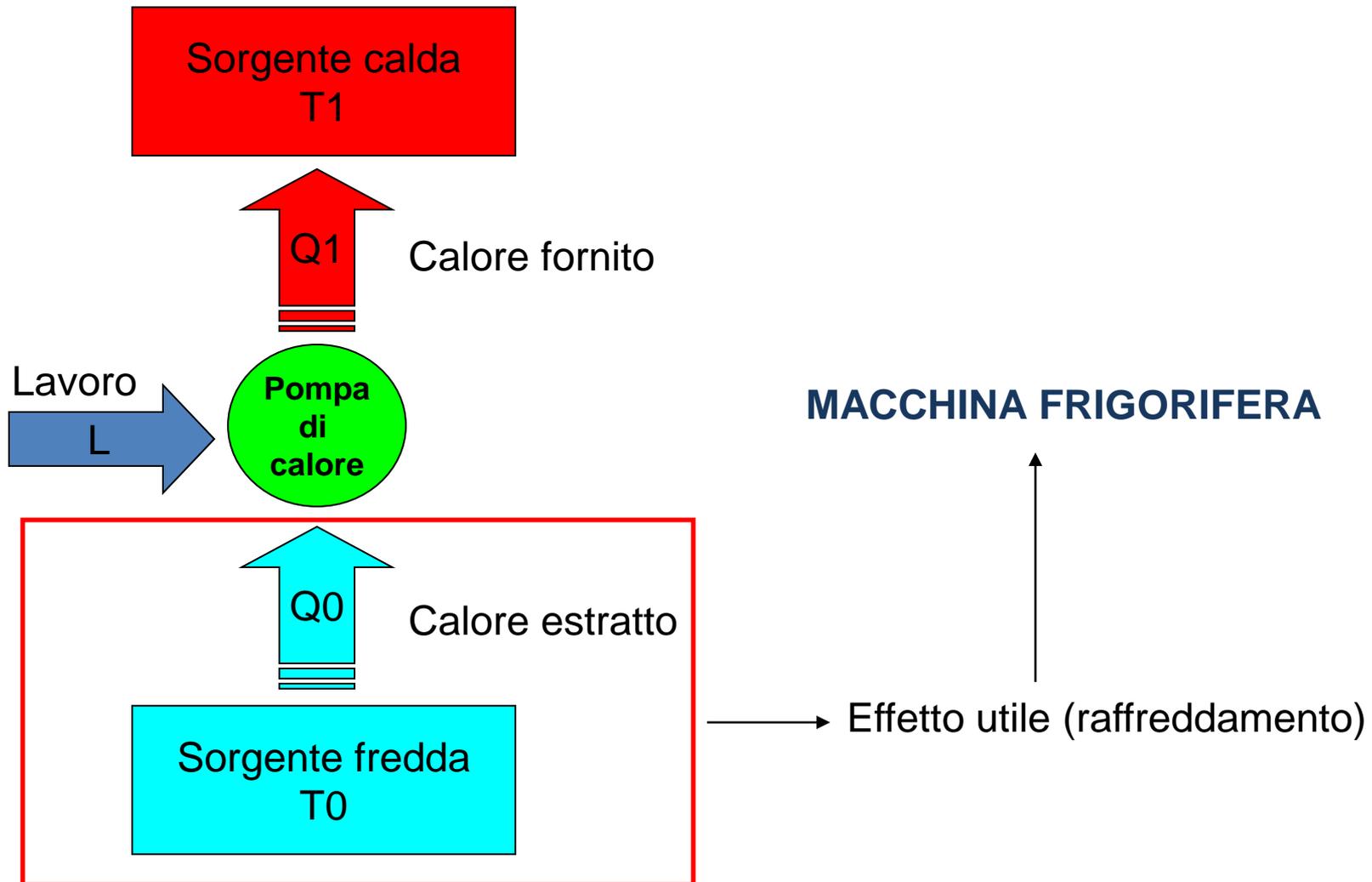
Definizione “formale” di pompa di calore



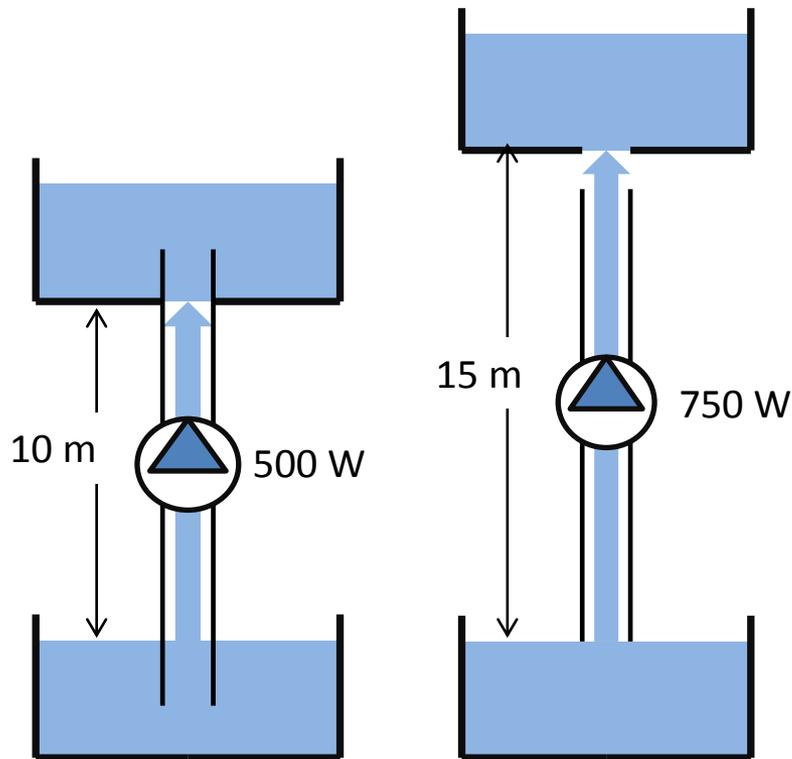
Funzionamento come pompa di calore



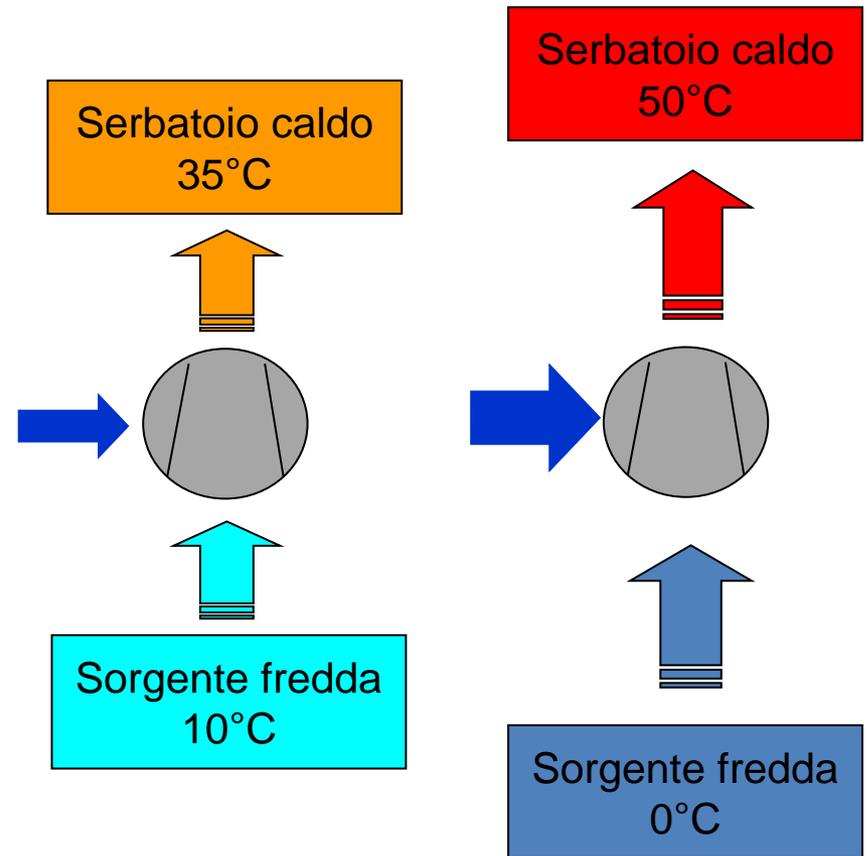
Funzionamento come macchina frigorifera (chiller)



Tornando all'analogia idraulica...

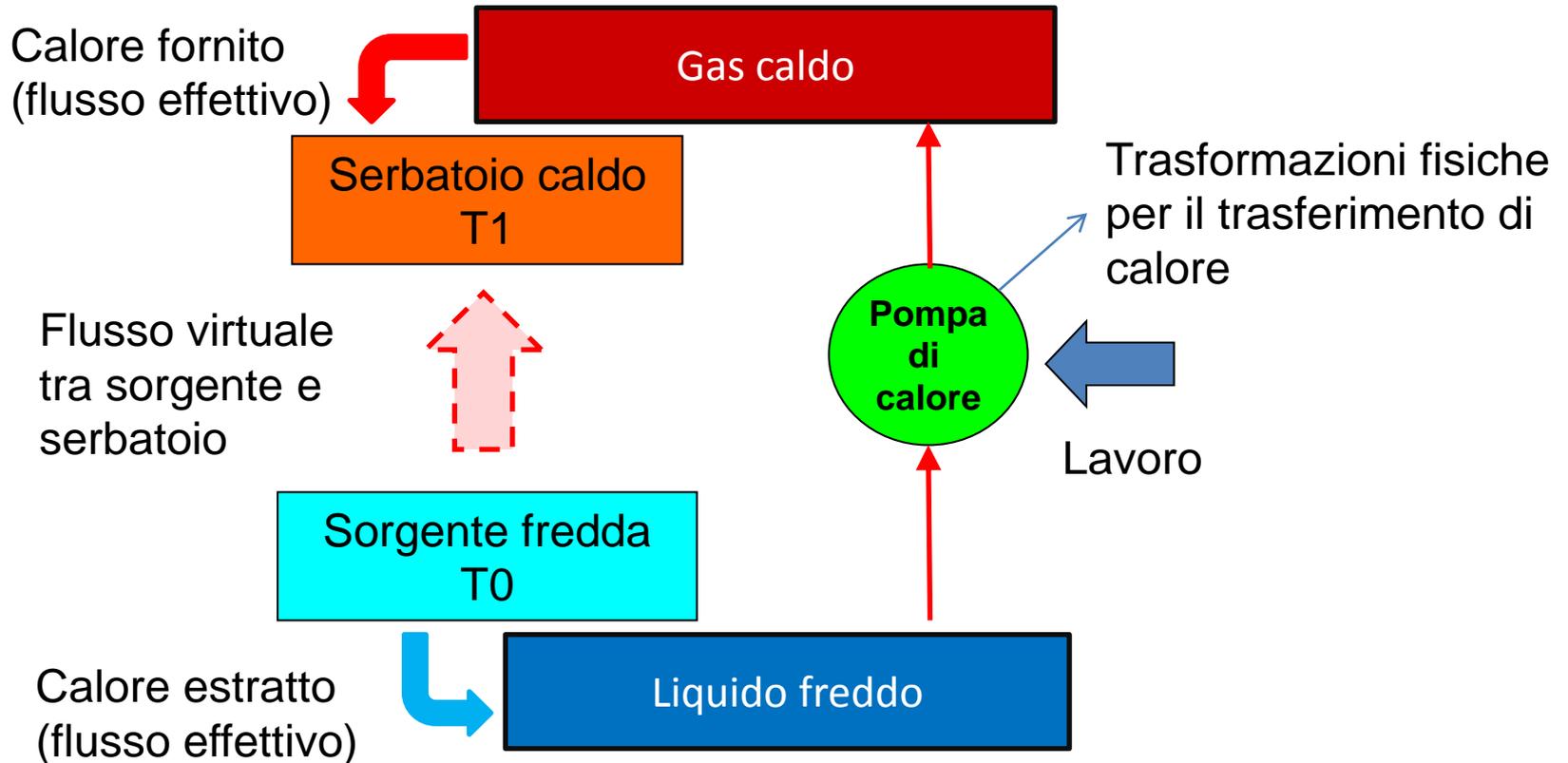


Maggior dislivello \Rightarrow Maggiore potenza



Maggior salto termico \Rightarrow Maggiore lavoro

Flussi di calore effettivi e virtuali nella pompa di calore



Fenomeni fisici alla base del funzionamento della pompa di calore:

Per consentire il passaggio "inverso" di calore (quindi da un sistema a bassa temperatura ad uno a più alta temperatura), la pompa di calore utilizza un **gas refrigerante** che esegue un **ciclo termodinamico di evaporazione a bassa pressione e condensazione ad alta pressione**.

In particolare:

- il gas **evapora a bassa pressione** e a bassa temperatura assorbendo calore dal sistema a bassa temperatura (la sorgente di calore)
- condensa ad alta pressione e ad alta temperatura cedendo calore al sistema ad alta temperatura.

Il passaggio dalla bassa pressione alla alta pressione avviene in un **compressore**, azionato da un motore elettrico. Il passaggio dalla alta pressione alla bassa pressione avviene in una **valvola di espansione**.

Fenomeni fisici alla base del funzionamento della pompa di calore:

1. Effetto Joule- Thompson

Gas compresso si riscalda - Gas espanso si raffredda

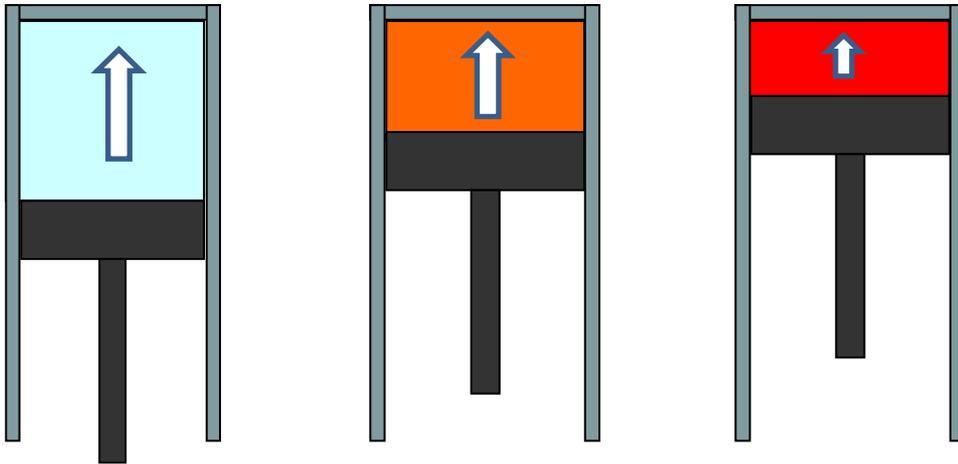
2. Calore latente di condensazione e di evaporazione

3. Temperature di evaporazione e condensazione dipendenti dalla pressione

La pompa di calore: principio di funzionamento

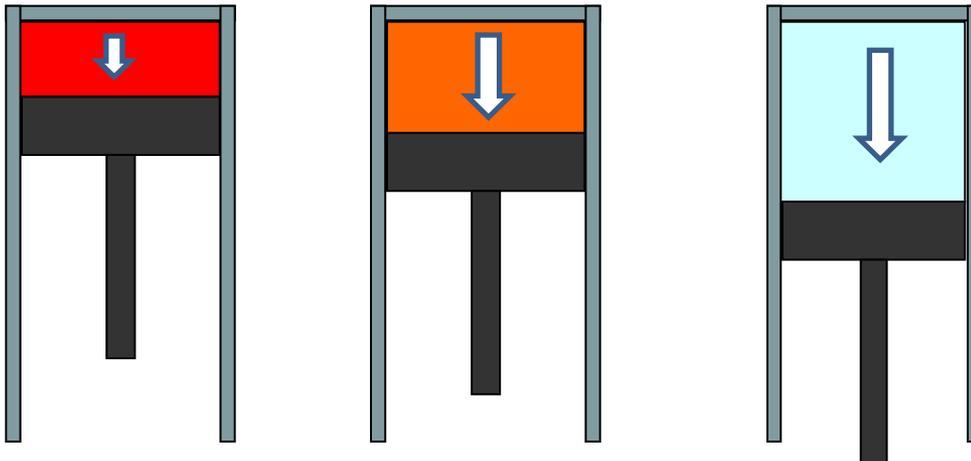
1. Compressione ed espansione di un gas (effetto Joule Thompson)

Comprimendo un gas, esso aumenta la sua temperatura



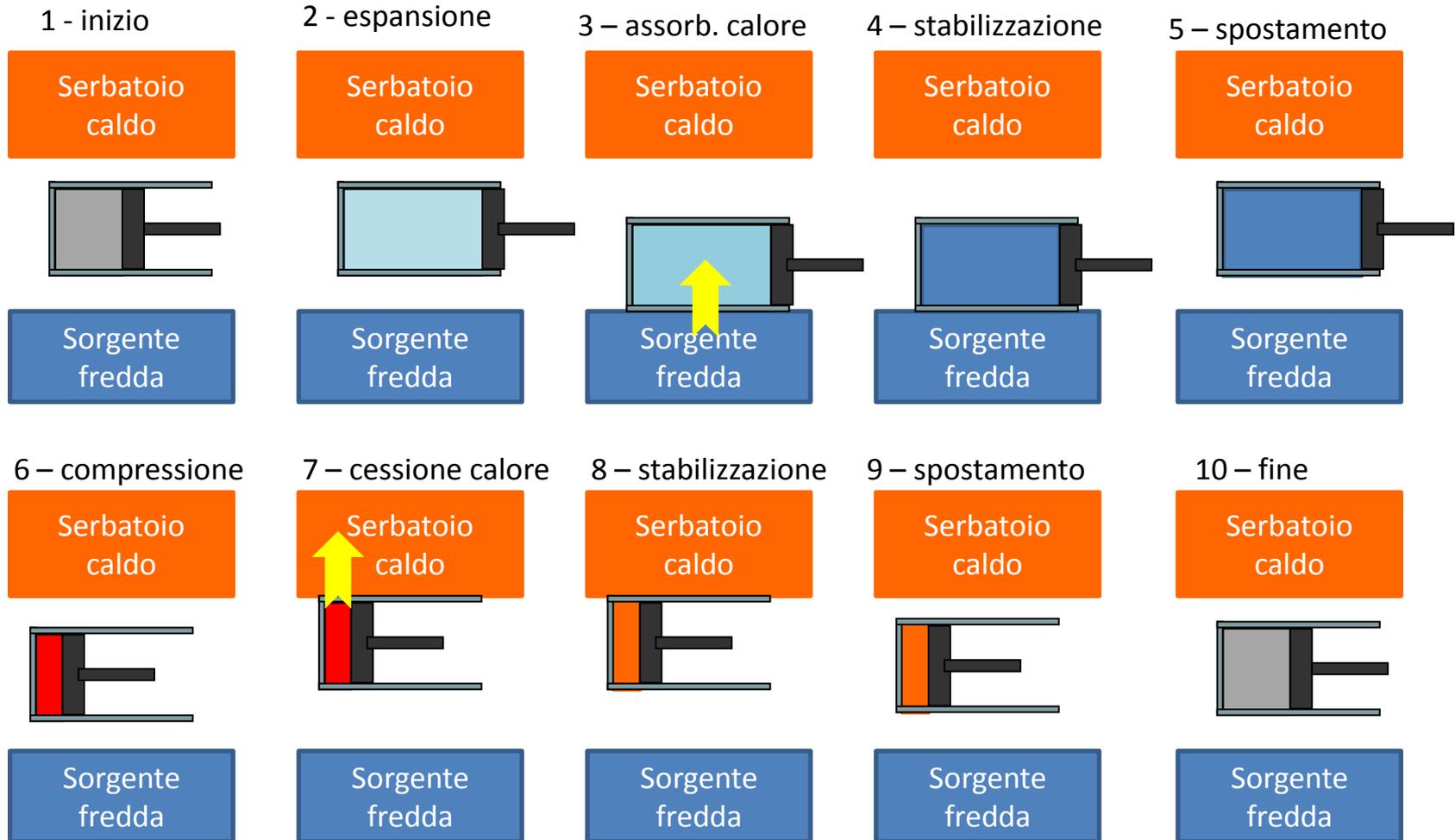
La pompa della bicicletta si scalda per la compressione dell'aria

Espandendo un gas, esso diminuisce la sua temperatura



Il contenuto di una bomboletta spray si raffredda per l'espansione del gas

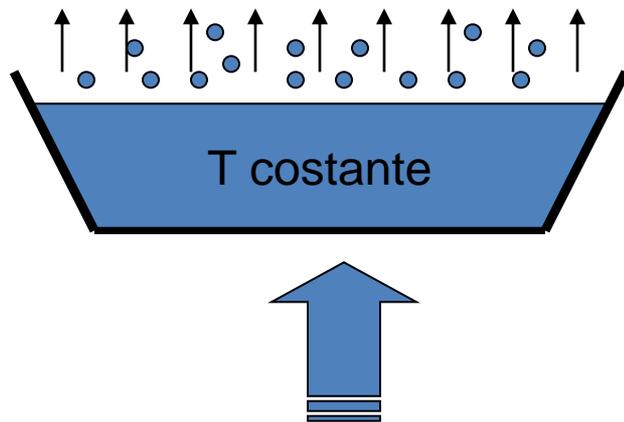
Primo tentativo di pompa di calore



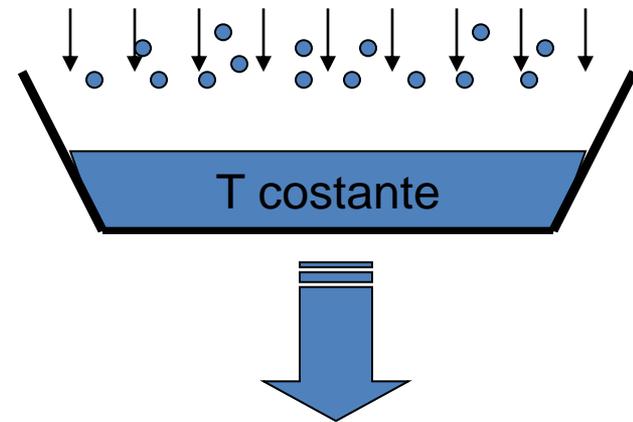
2. Calore latente di condensazione e di evaporazione

Durante un passaggio di stato, anche se la temperatura non aumenta, avviene comunque uno scambio di calore.

Nel caso della evaporazione il fluido continua ad assorbire energia e rimane a T costante. Tale quantità di energia è chiamata calore latente di vaporizzazione.



Nel caso della condensazione la quantità di energia è chiamata calore latente di condensazione.

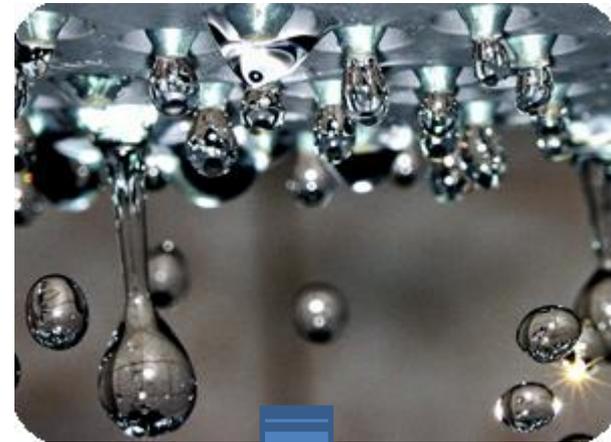
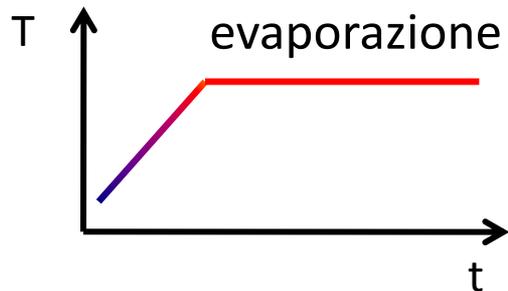


Latente significa <che non si vede> perché l'assorbimento di calore non si manifesta con un aumento della temperatura.

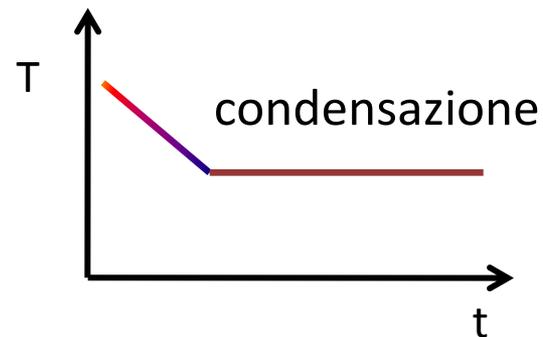
2. Calore latente di condensazione e di evaporazione



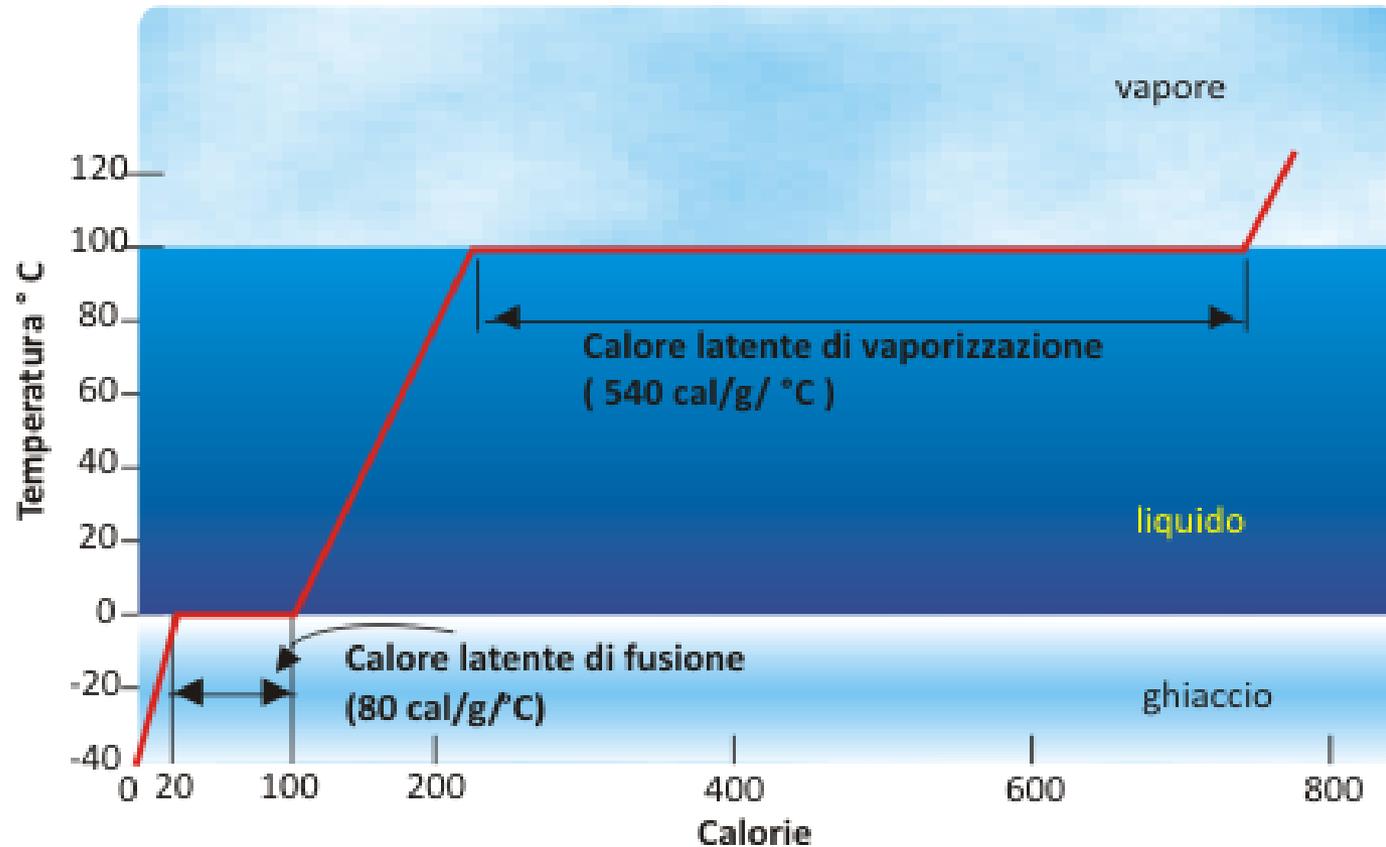
Calore latente di
vaporizzazione



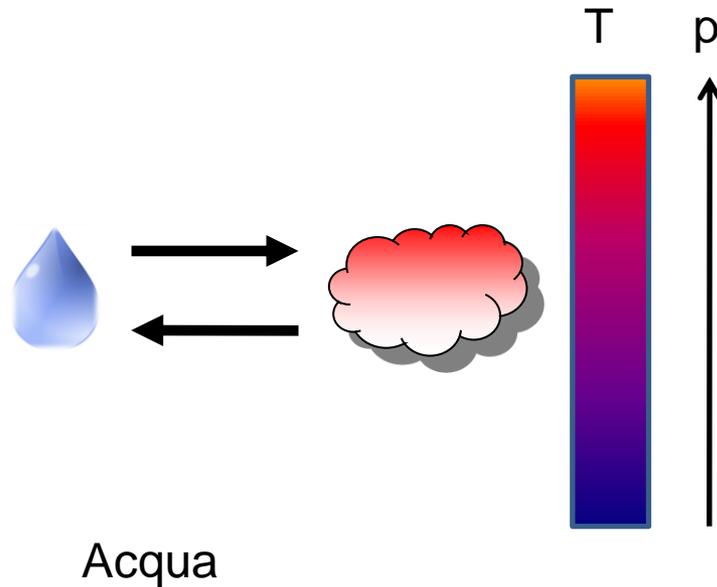
Calore latente di
condensazione



2. Calore latente di condensazione e di evaporazione

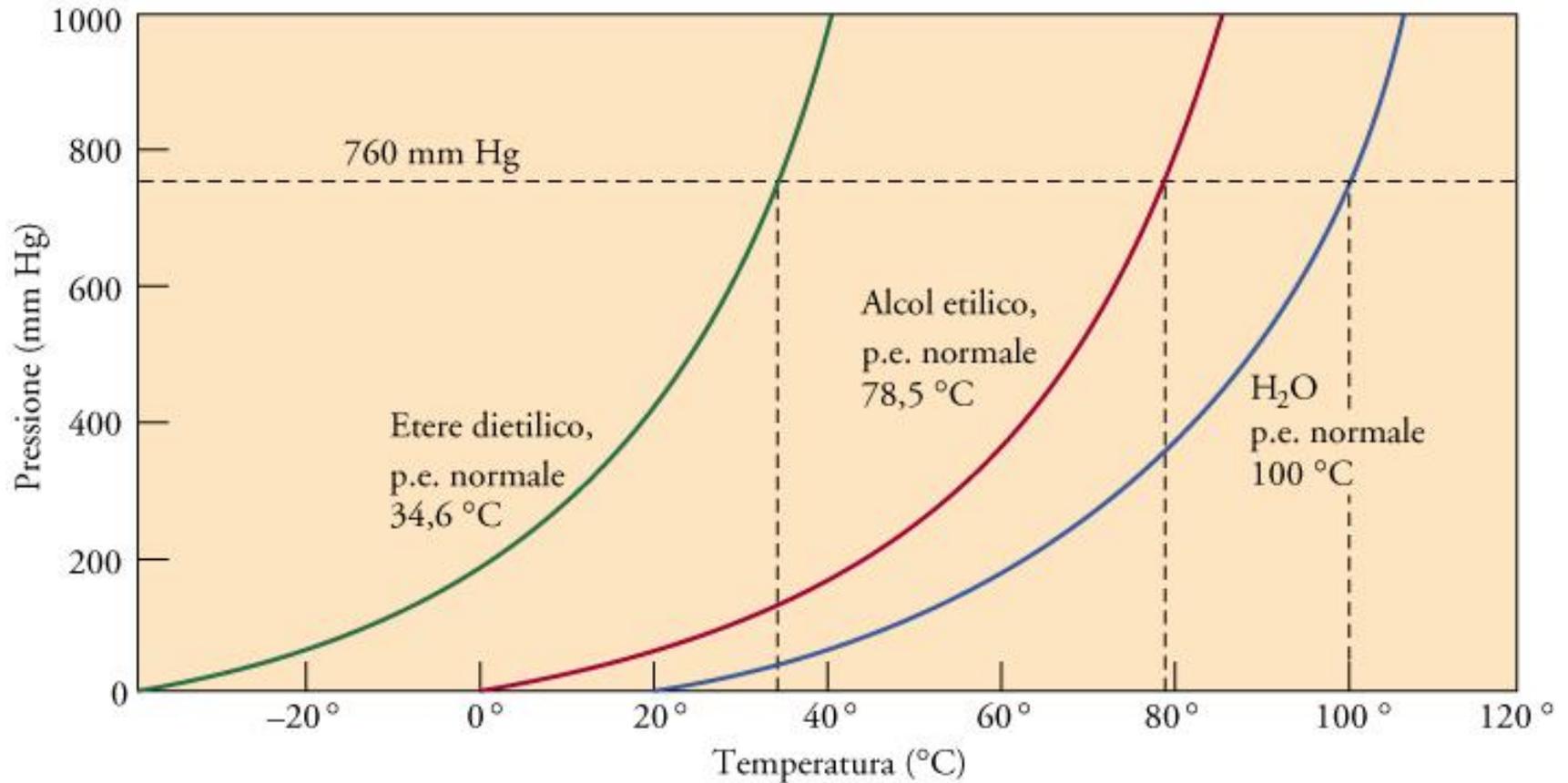


3. Temperature di evaporazione e condensazione dipendenti dalla pressione

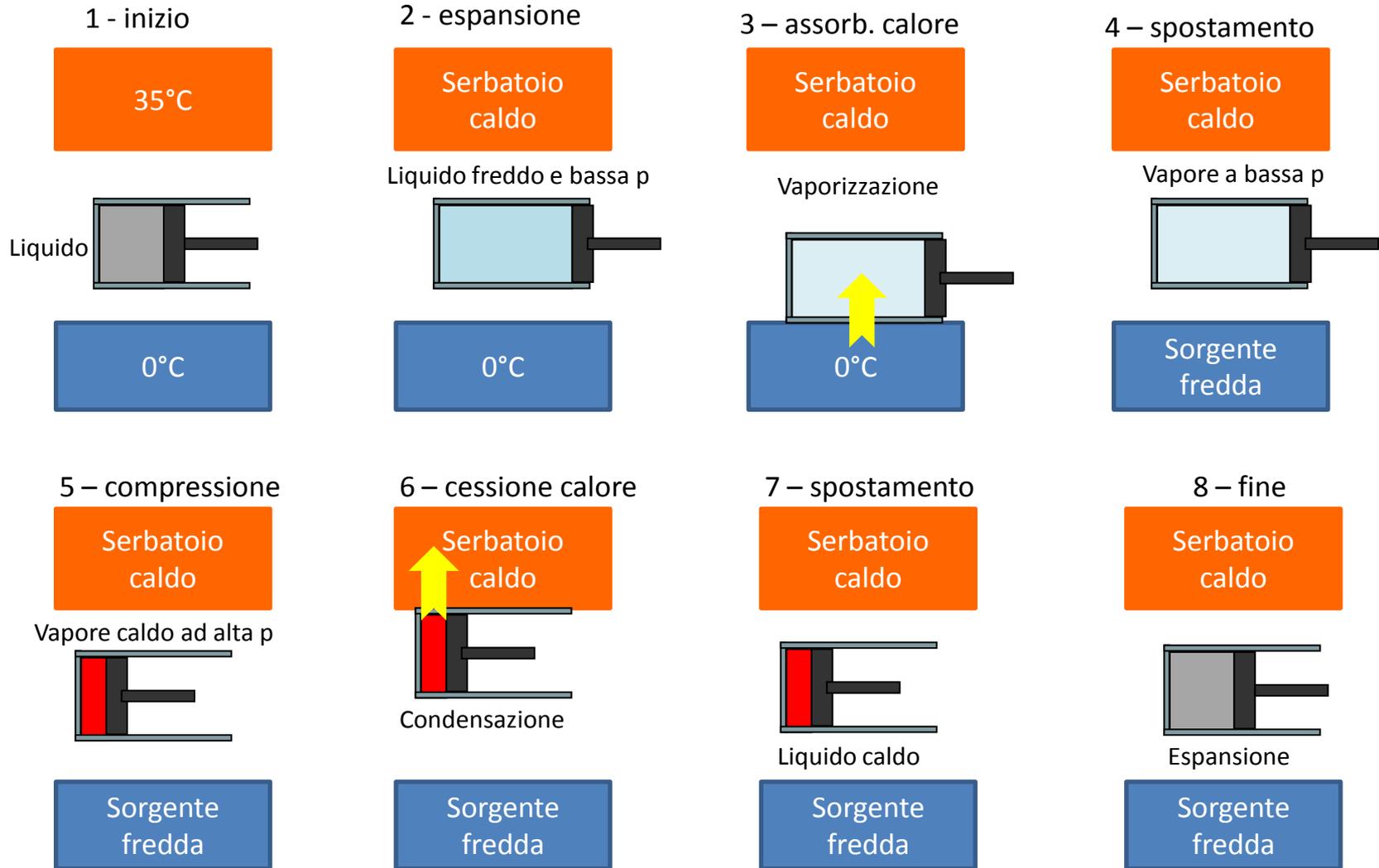


Pressione	T evap./cond.
1 bar	100 °C
0,5 bar	81 °C
0,2 bar	60 °C

3. Temperature di evaporazione e condensazione dipendenti dalla pressione



Funzionamento completo della pompa di calore

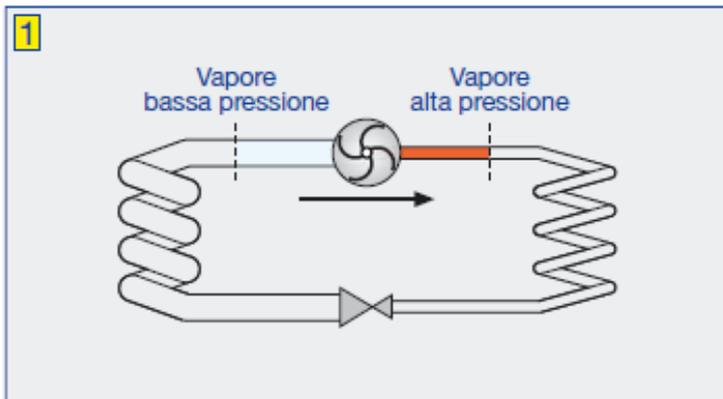




Macchina ciclica

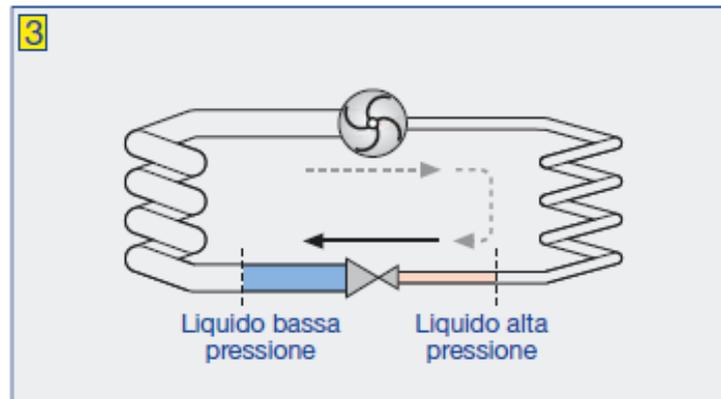
Compressore:

comprime il fluido intermedio innalzandone la temperatura.



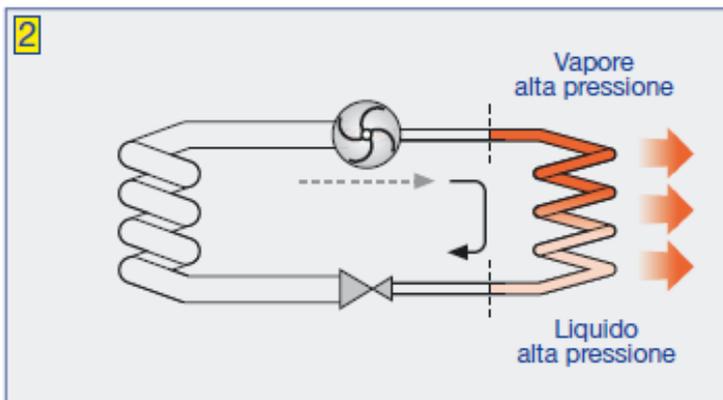
Valvola di espansione:

fa espandere il fluido intermedio abbassandone la temperatura.



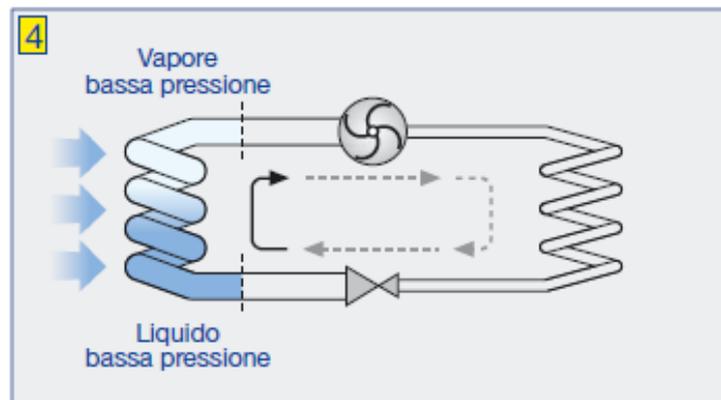
Condensatore:

consente al fluido intermedio (che passa da vapore a liquido) di cedere calore al fluido caldo.



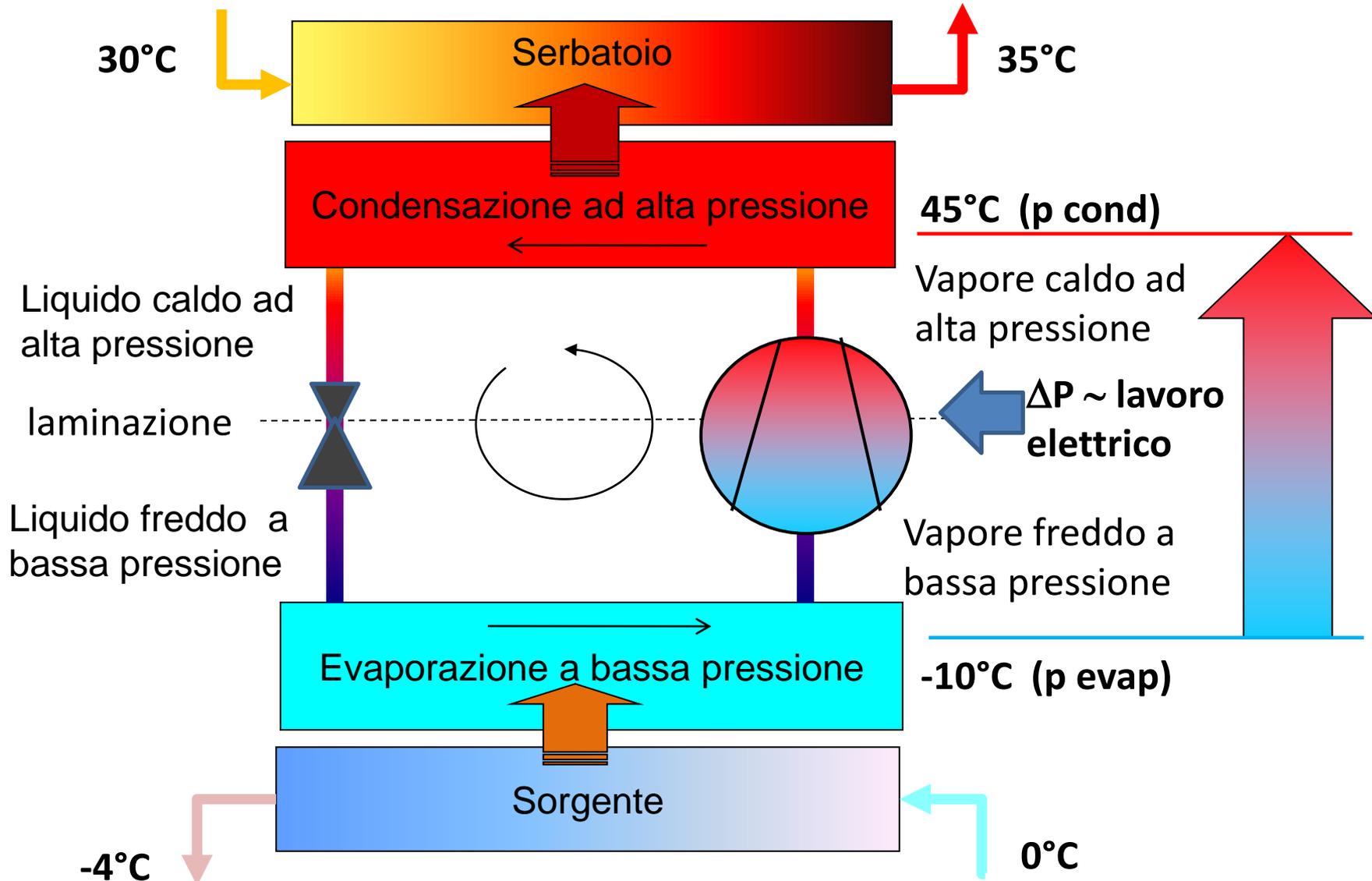
Evaporatore:

consente al fluido intermedio (che passa da liquido a vapore) di assorbire calore dal fluido caldo.

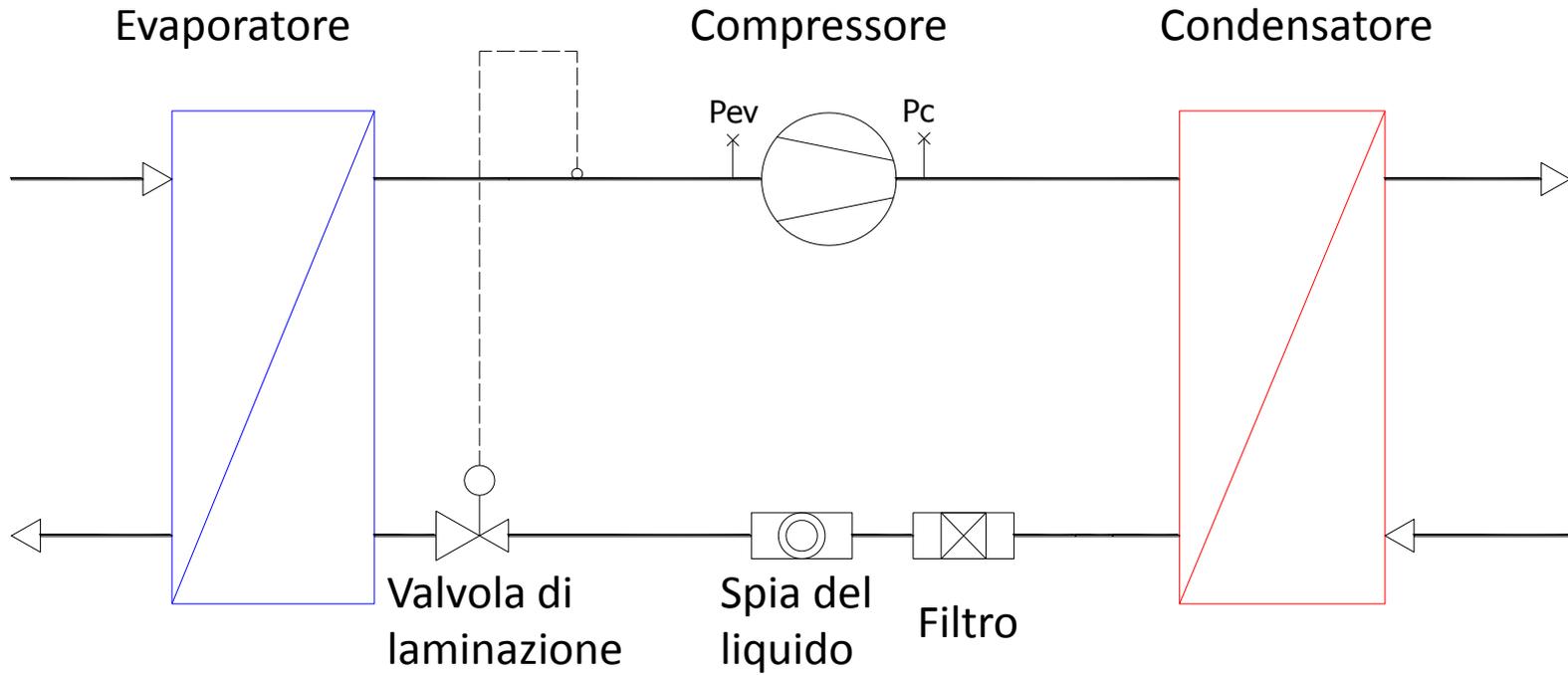


La pompa di calore: principio di funzionamento

Macchina ciclica



Schema circuito frigorifero



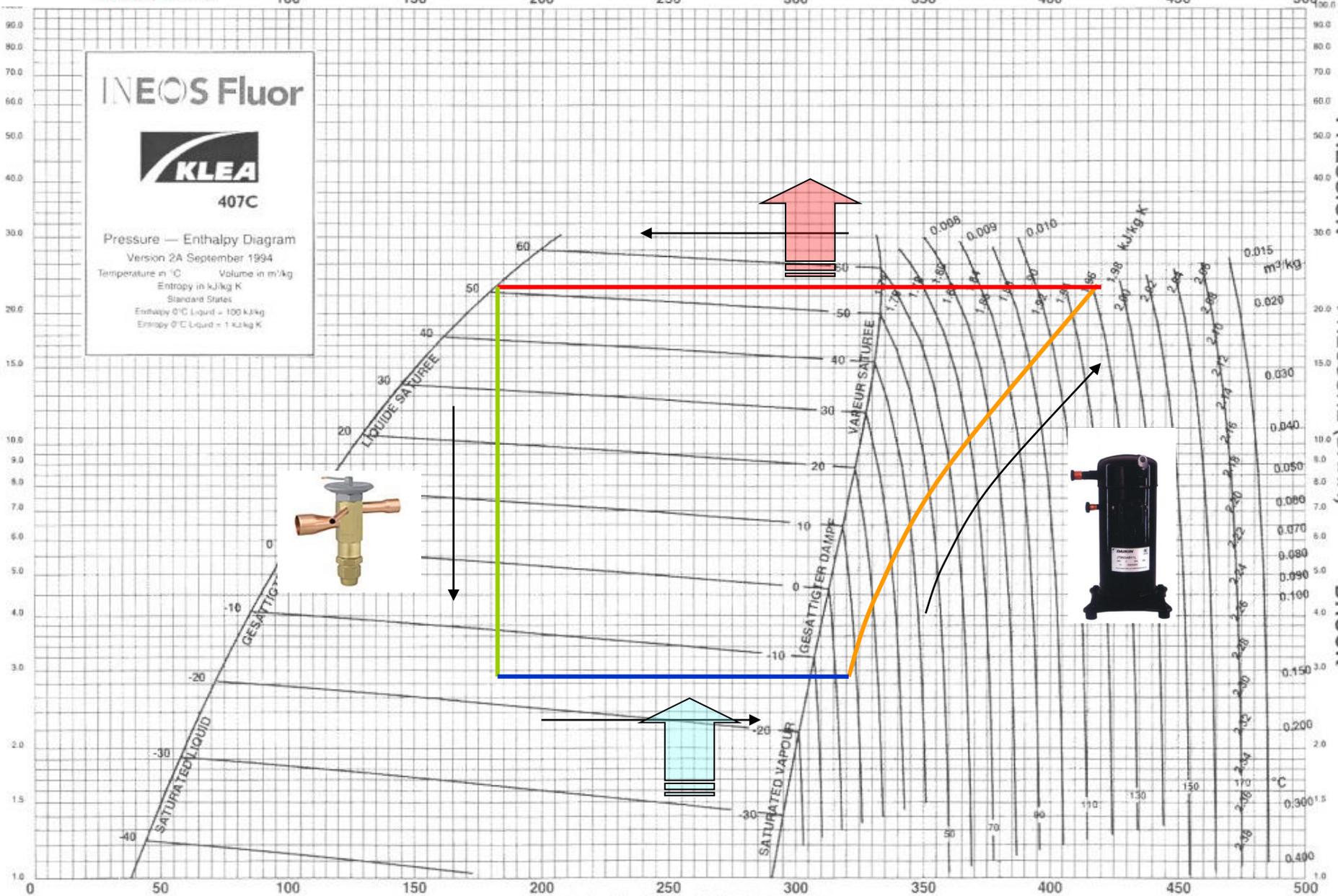


INEOS Fluor



407C

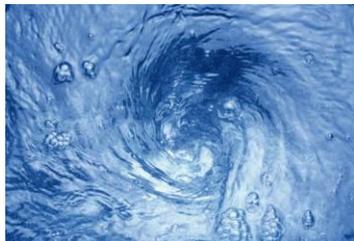
Pressure — Enthalpy Diagram
 Version 2A September 1994
 Temperature in °C Volume in m³/kg
 Entropy in kJ/kg K
 Standard States
 Enthalpy 0°C Liquid = 100 kJ/kg
 Entropy 0°C Liquid = 1 kJ/kg K



TIPOLOGIE DI POMPE DI CALORE

Classificazione in base alla tipologia di fonte di calore e la modalità di scambio in ambiente

Sorgente fredda = ambiente freddo
da cui viene estratto il calore

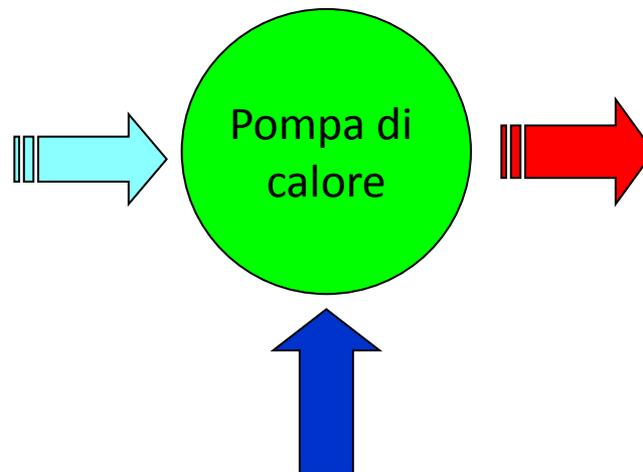


Serbatoio caldo = fluido termovettore
a cui viene ceduto il calore

Espansione diretta



Idronico

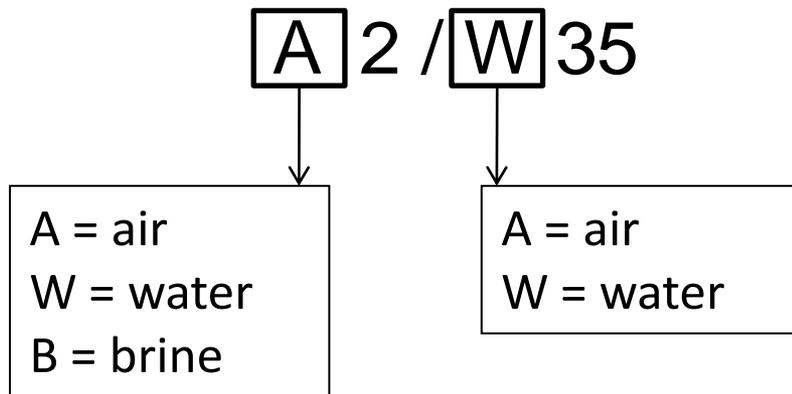


In modalità riscaldamento!

DENOMINAZIONE UNI EN 14511

UNI EN 14511-1: 2008 "condizionatori, refrigeratori di liquido e pompe di calore con compressore elettrico per il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti –

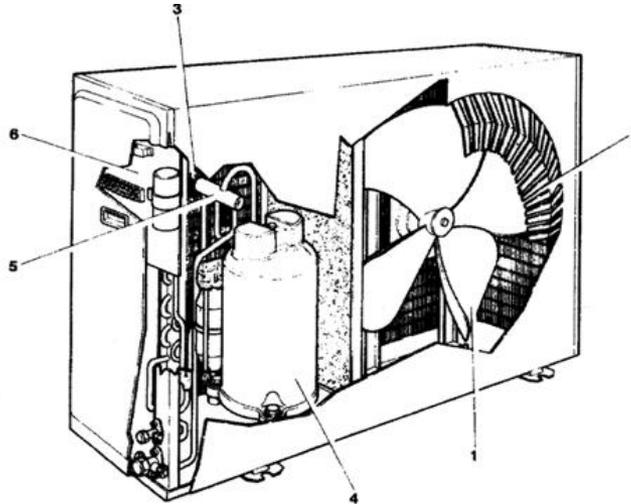
Parte 1: Termini e definizioni



POMPE DI CALORE ARIA/ARIA

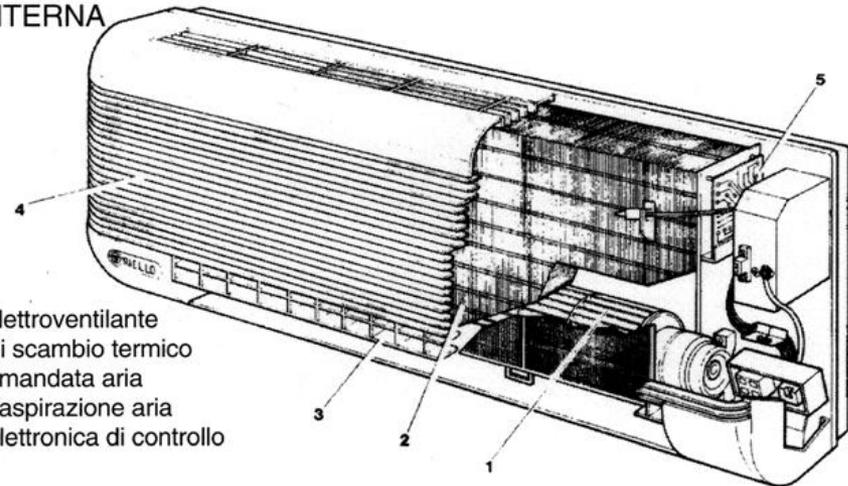
UNITÀ ESTERNA

- 1 Gruppo elettroventilante
- 2 Griglia di protezione
- 3 Batteria di scambio termico
- 4 Compressore
- 5 Valvola di inversione ciclo (H)
- 6 Controlli elettrici

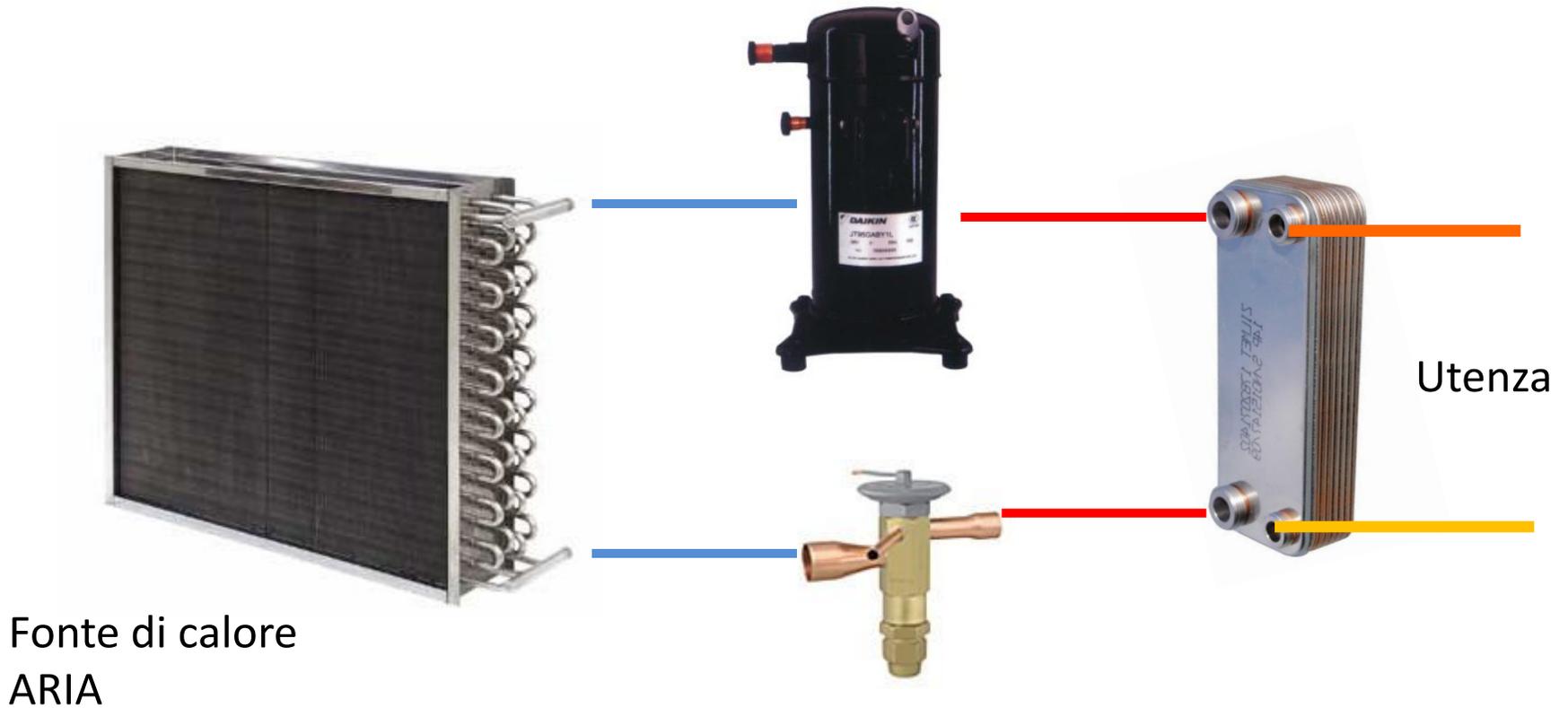


UNITÀ INTERNA

- 1 Gruppo elettroventilante
- 2 Batteria di scambio termico
- 3 Griglia di mandata aria
- 4 Griglia di aspirazione aria
- 5 Scheda elettronica di controllo

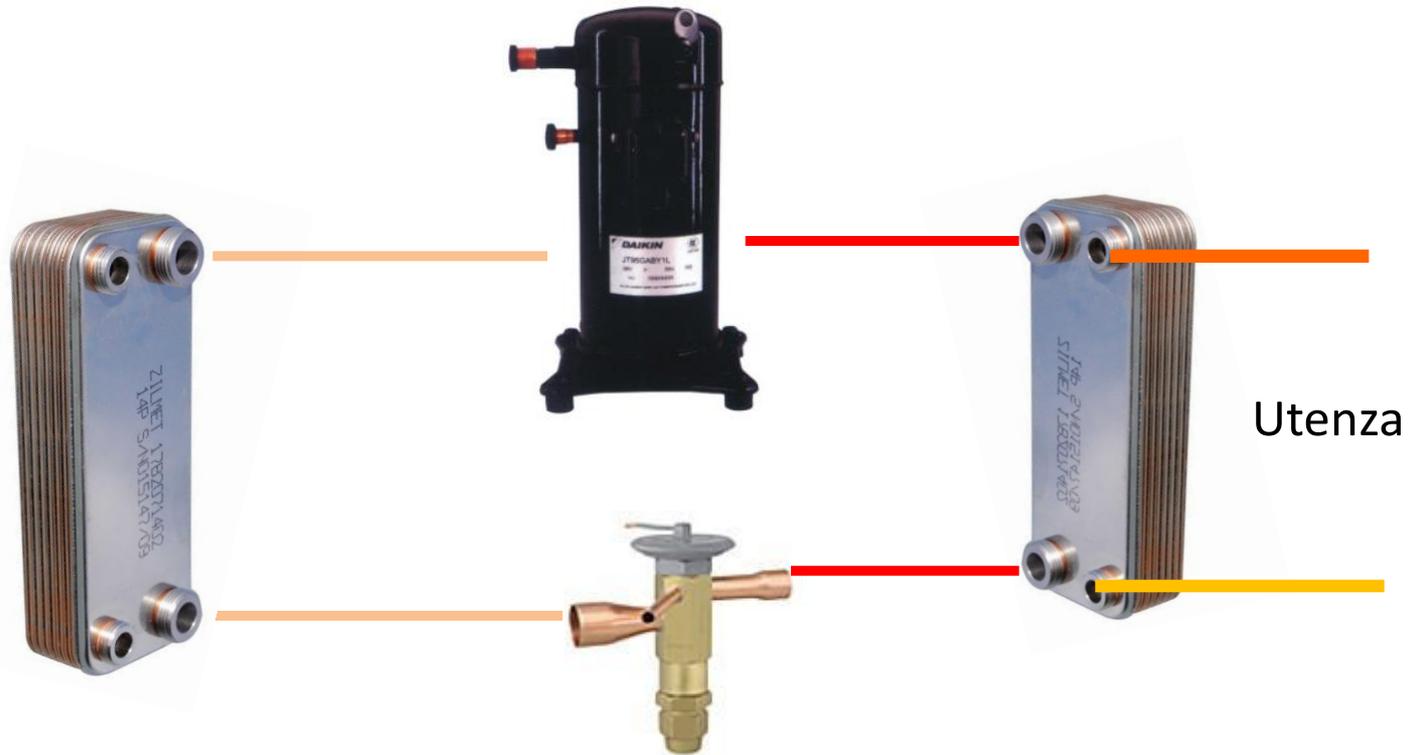


POMPE DI CALORE ARIA/ACQUA



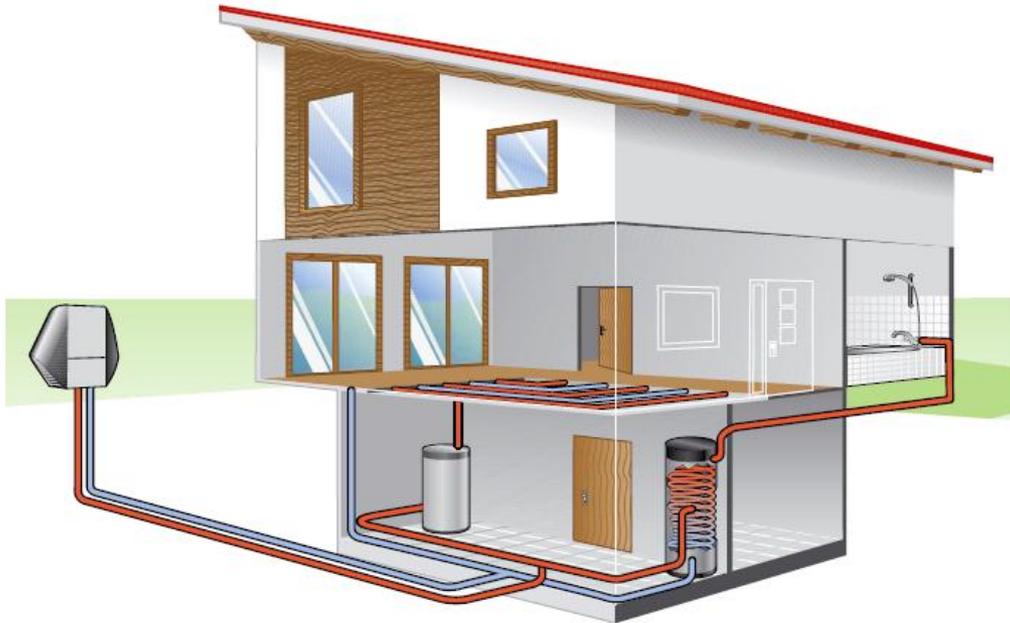
TIPOLOGIE DI POMPE DI CALORE

POMPE DI CALORE ACQUA/ACQUA





FONTE ARIA



Pro

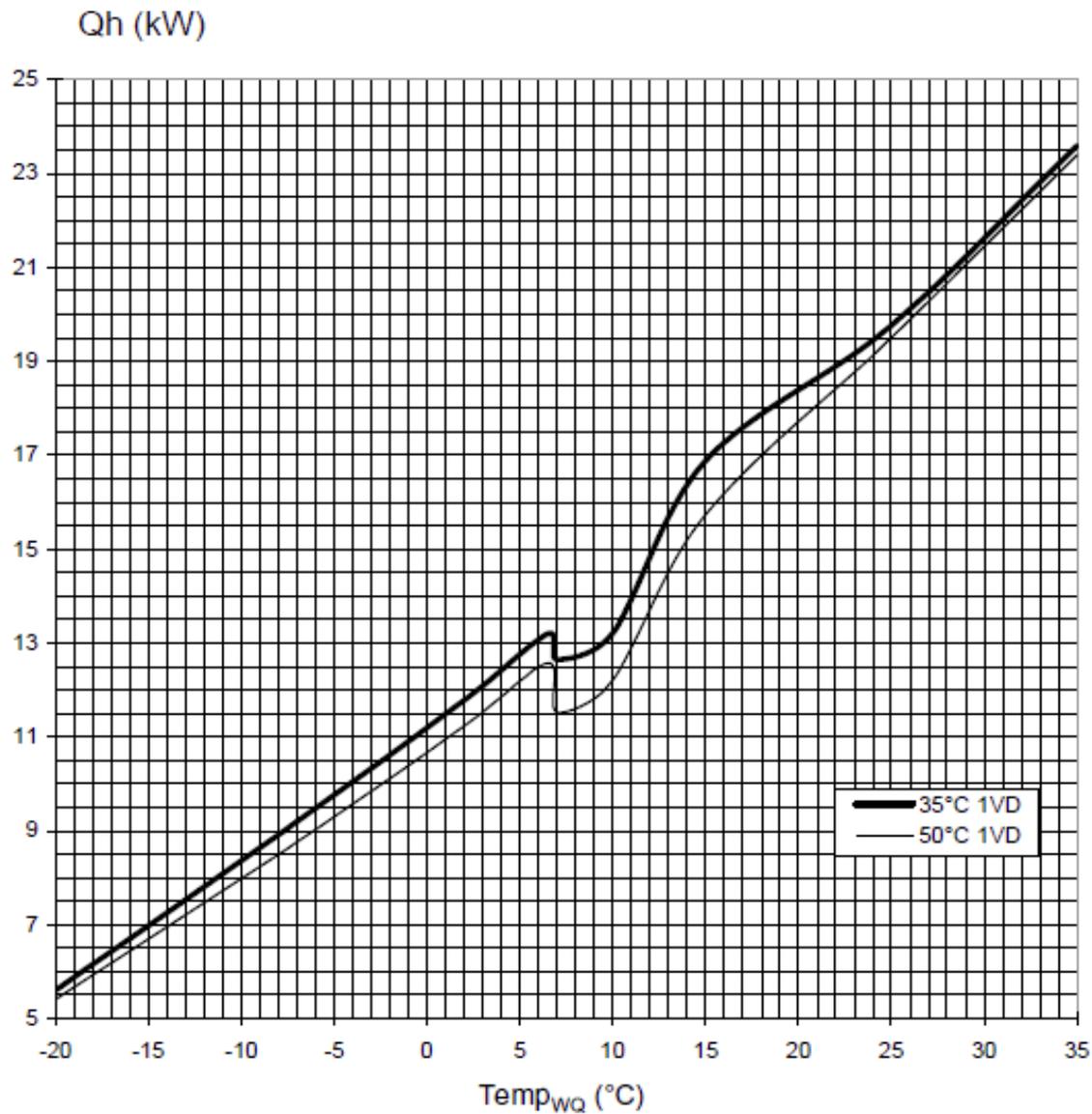
- Fonte di energia gratuita e disponibile ovunque
- Costi di investimento ridotti
- Utilizzabile anche con ristrutturazioni
- Nessuna autorizzazione

Contro

- Al ridursi della temperatura dell'aria si abbassa il rendimento
- Con fabbisogni elevati si richiede una resistenza elettrica integrativa
- Sbrinamento

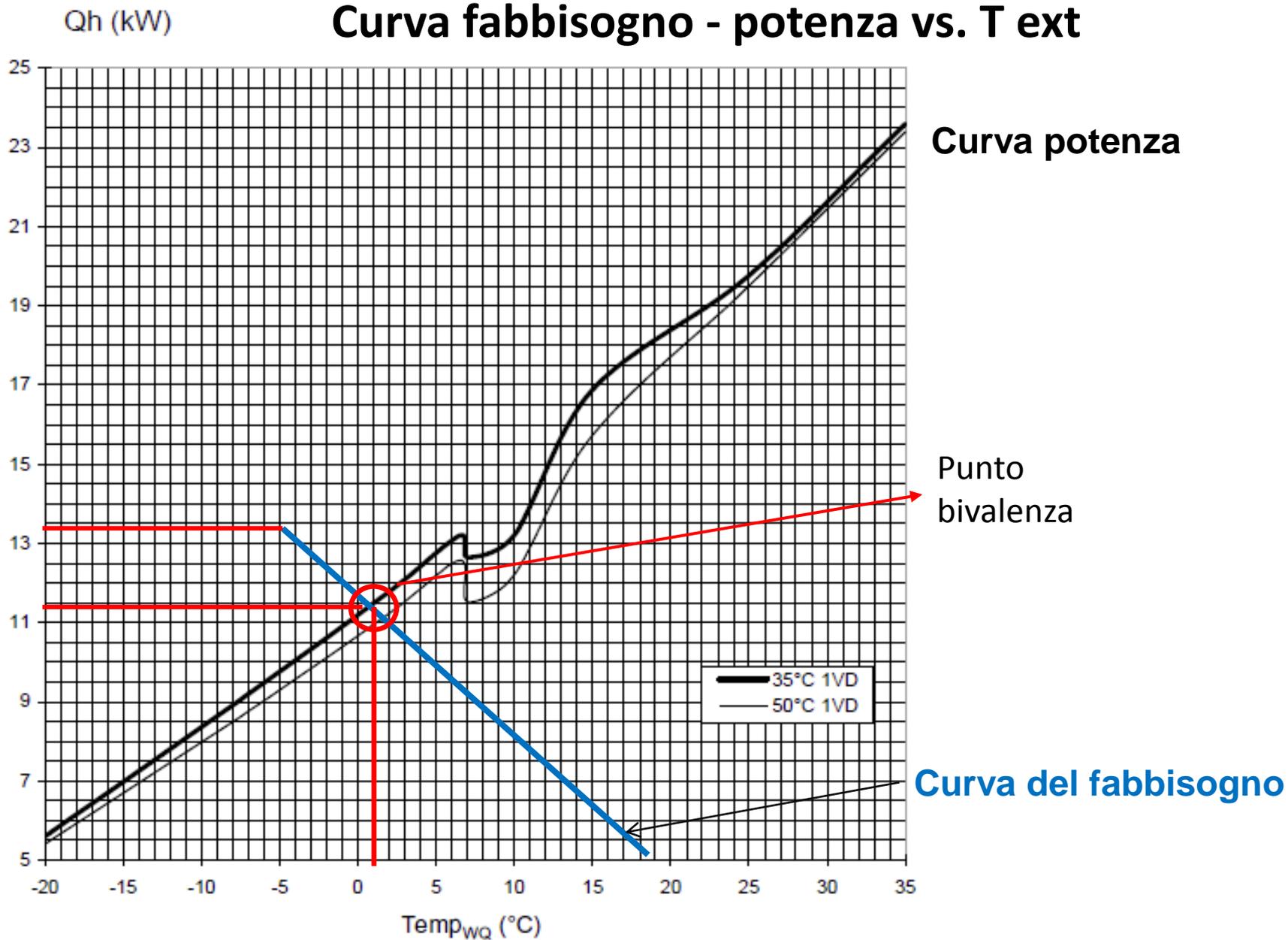


Curva potenza vs. T ext



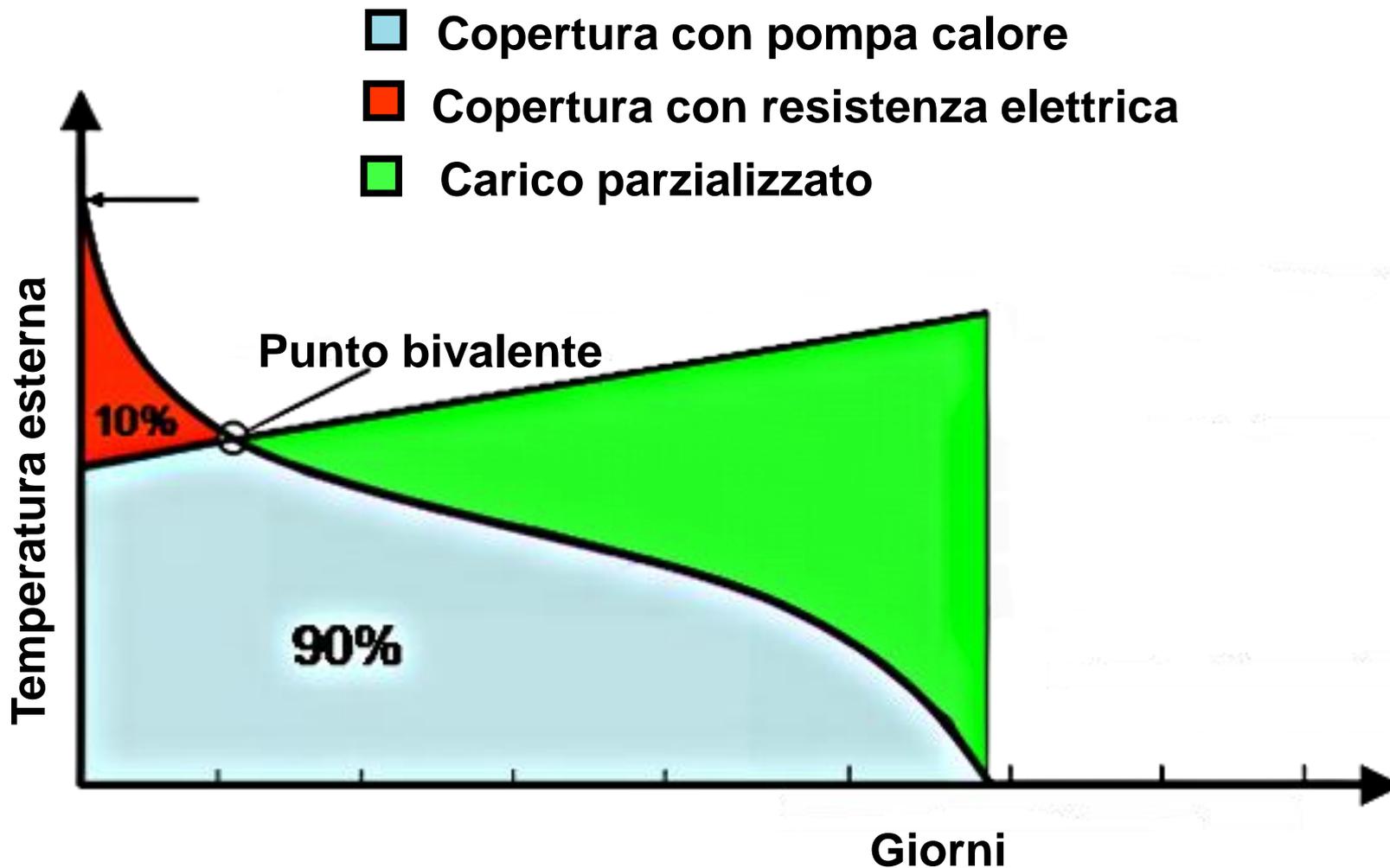


Curva fabbisogno - potenza vs. T ext





Funzionamento in bivalenza





Sbrinamento

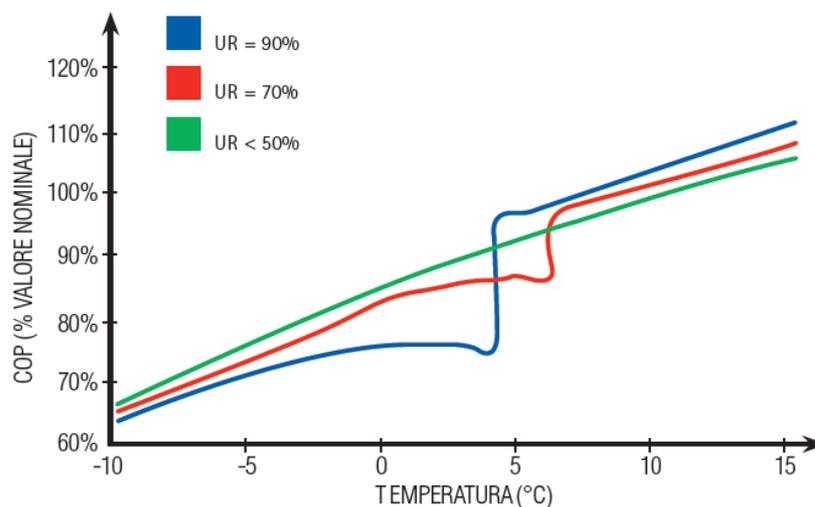
Le pompe di calore ad aria sono soggette al fenomeno della formazione di ghiaccio sulla batteria di scambio termico con l'aria in funzionamento invernale (evaporatore).

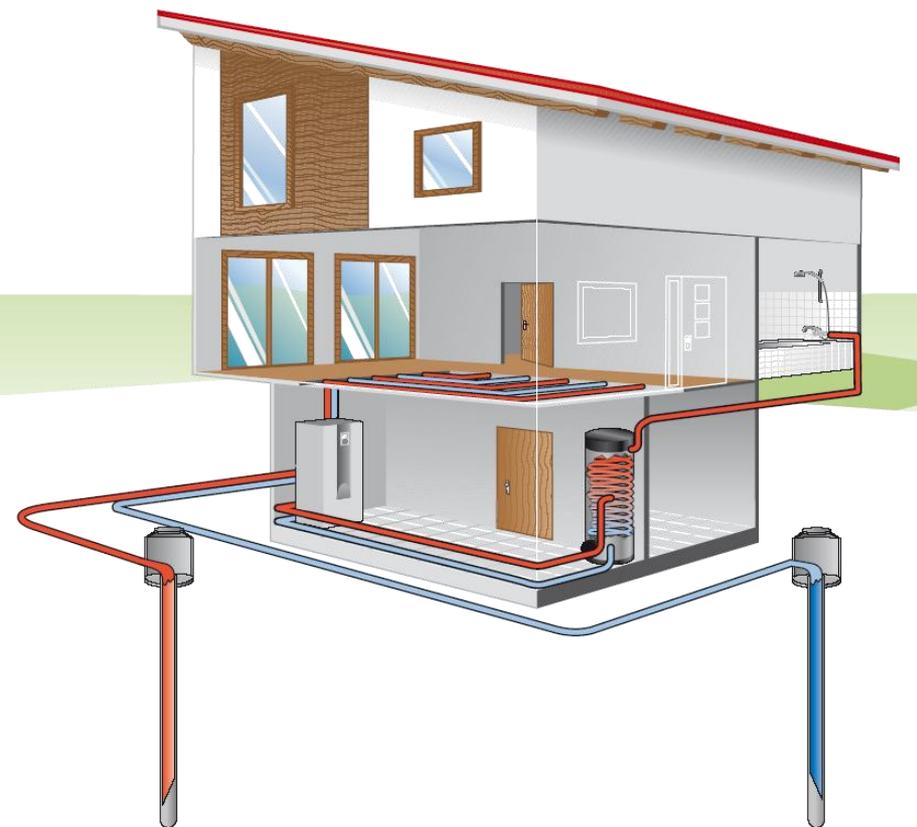
Il fenomeno dipende in modo sensibile dall'umidità dell'aria esterna e dalla sua temperatura.

Periodicamente, la pompa di calore deve eliminare il ghiaccio formatosi all'esterno, tramite la funzione di **sbrinamento (defrost)**, che ha effetti sulla efficienza della pompa di calore.



Andamento del COP di una pompa di calore ad aria in funzione della temperatura dell'aria esterna per tre diverse umidità relative



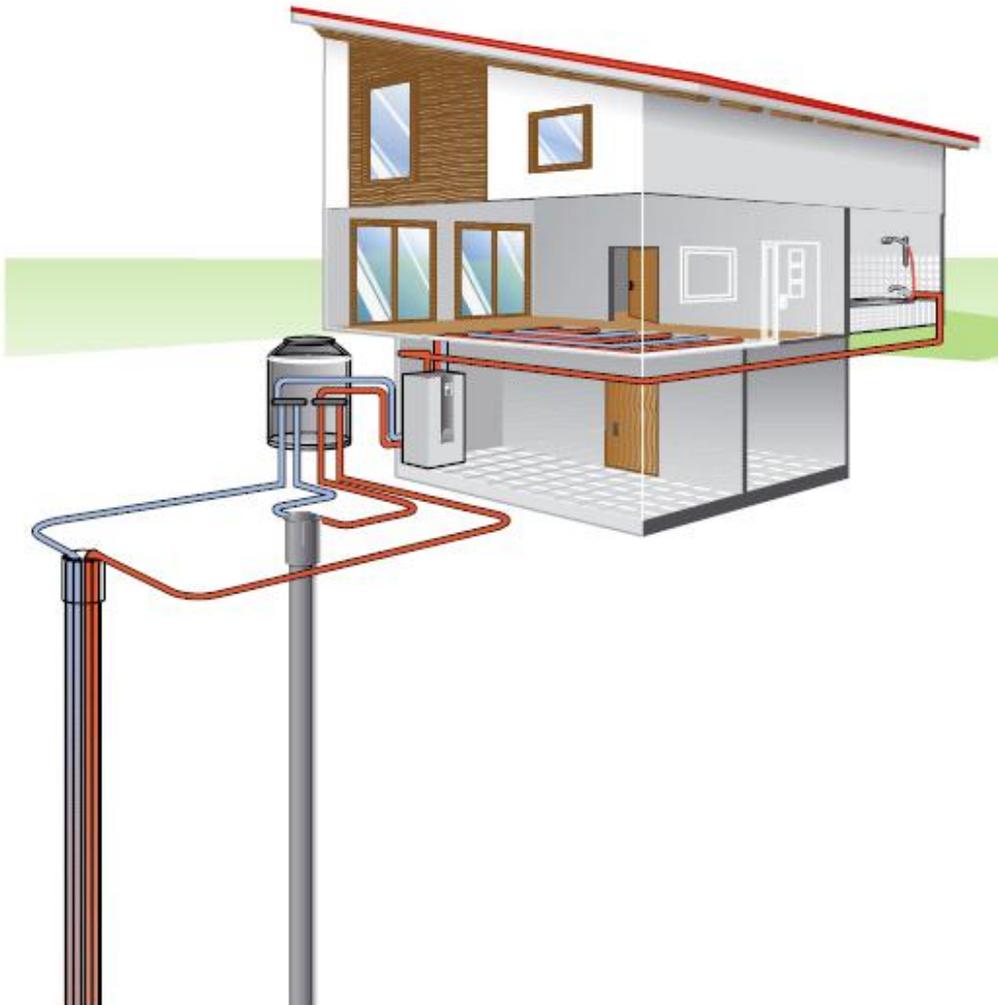


Pro

- Temperature di sorgente maggiori
- Migliore scambio termico
- Maggiore resa

Contro

- Acqua di falda non sempre disponibile
- Qualità dell'acqua di falda
- Richiesto permesso dalle autorità
- Manutenzione pozzo
- Energia spesa per pompare l'acqua



Pro

- Livello di temperatura della fonte di calore costante
- Spazio ridotto
- Elevato COP

Contro

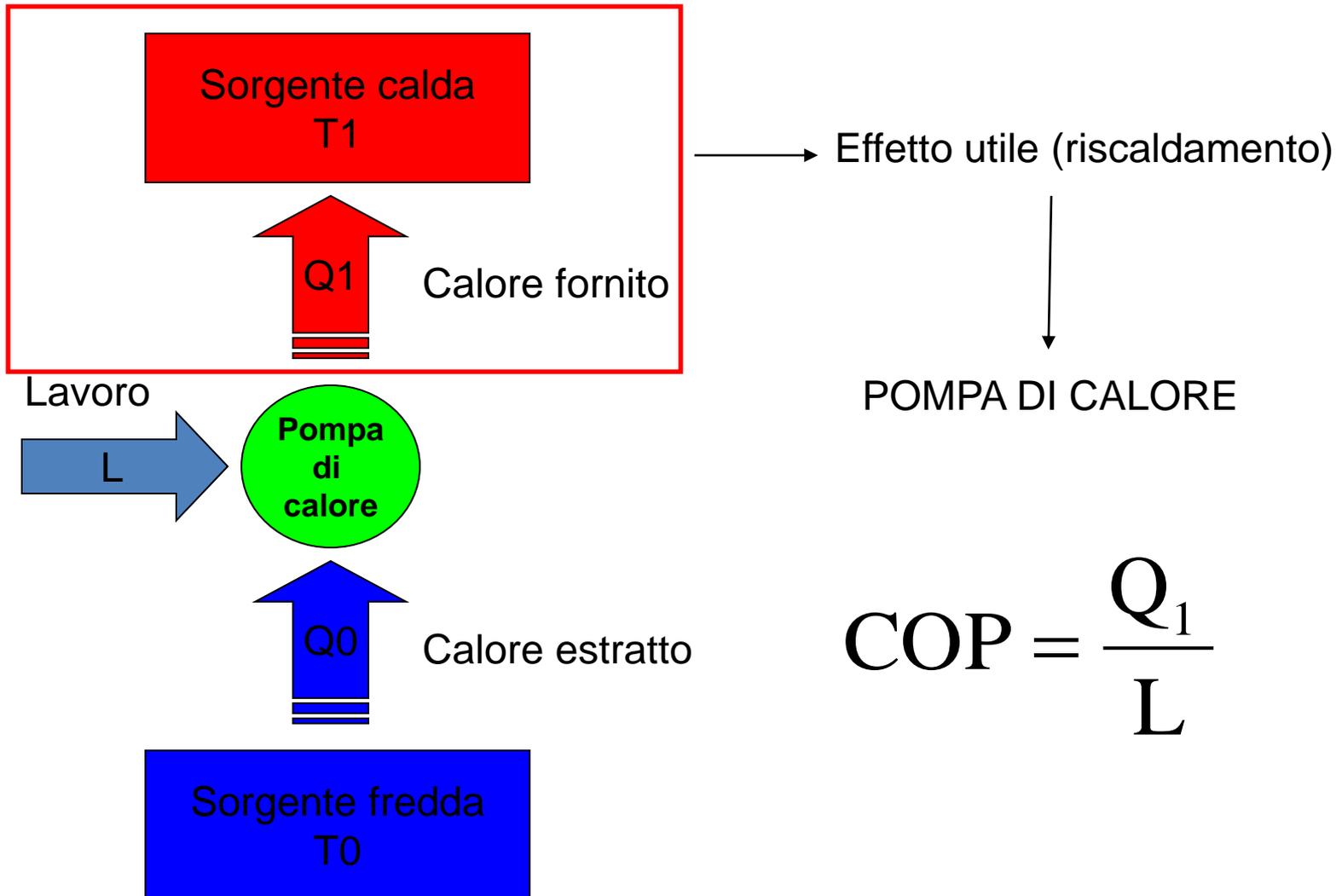
- Costi investimento elevati

EFFICIENZA DELLE POMPE DI CALORE

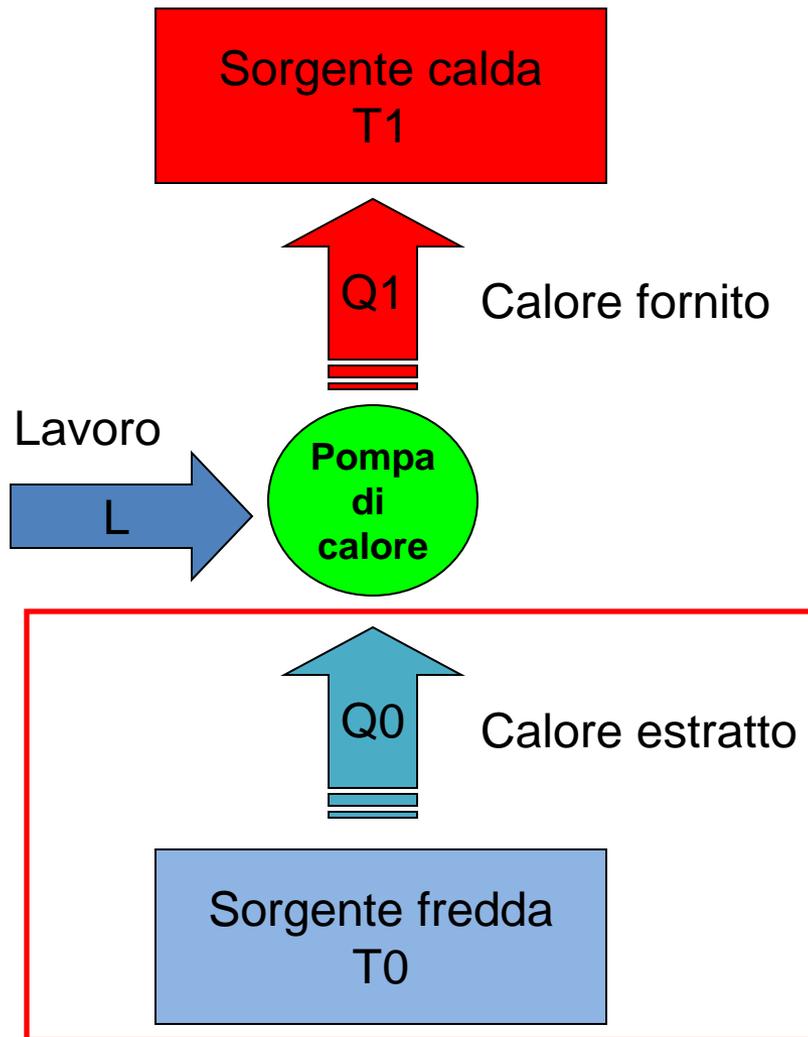
COP = Coefficient of Performance

$$\text{COP} = \frac{\text{Effetto utile}}{\text{Lavoro speso}}$$



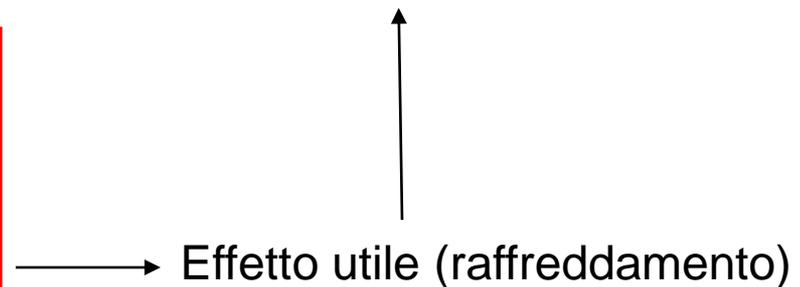


$$\text{COP} = \frac{Q_1}{L}$$



$$EER = \frac{Q_0}{L}$$

MACCHINA FRIGORIFERA

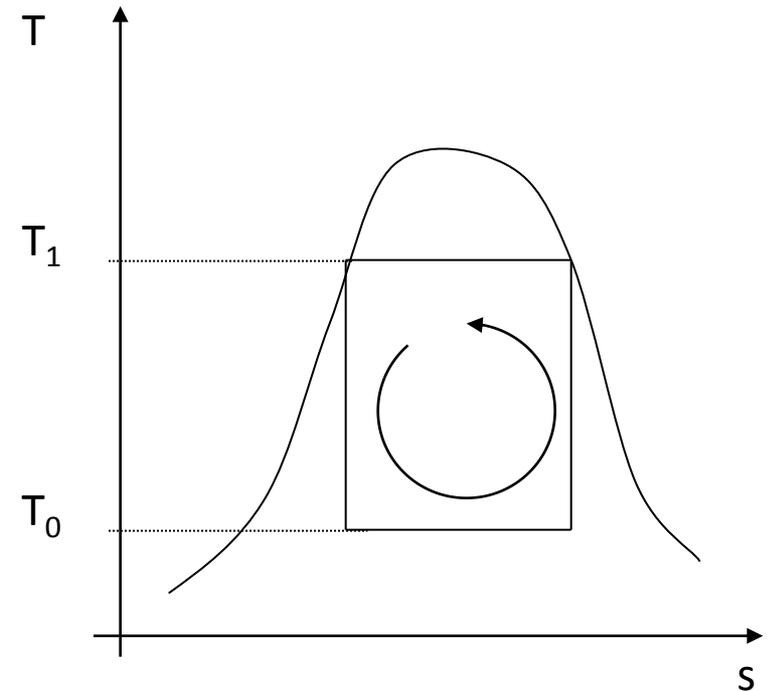


COP TEORICO

COP massimo teorico (Ciclo di Carnot reversibile)

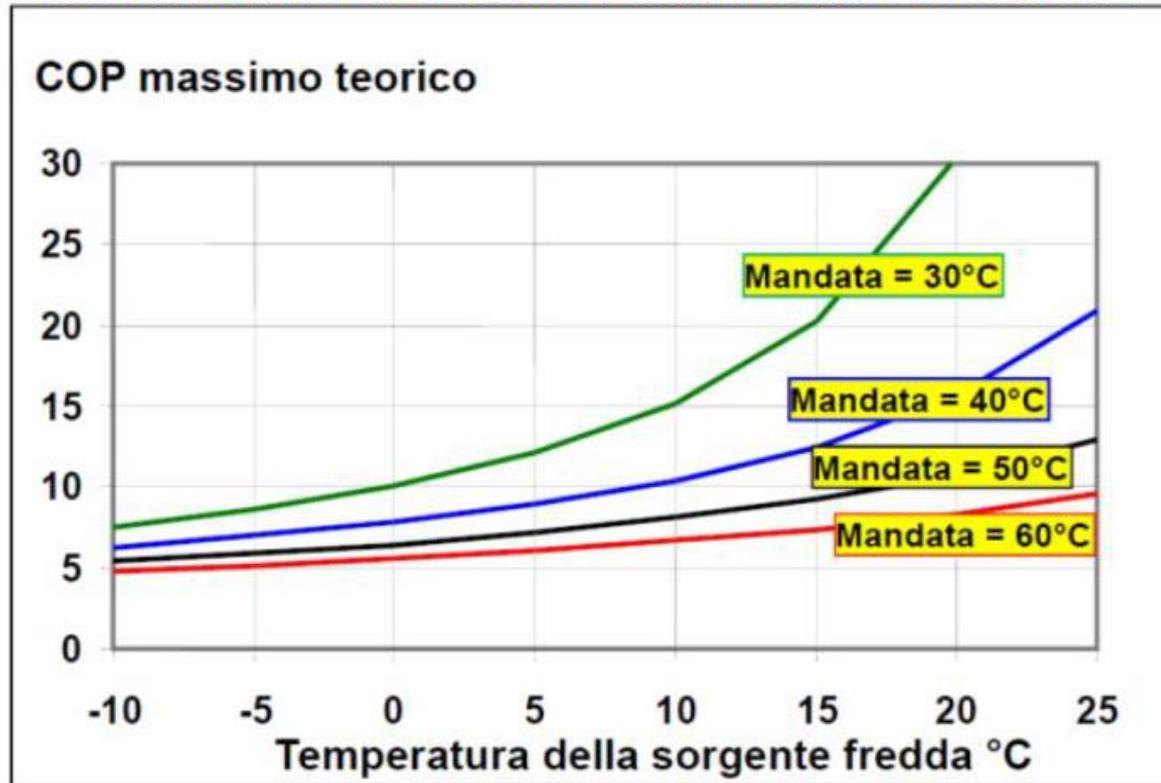
$$\text{EER} = \frac{Q_0}{L} = \frac{Q_0}{Q_1 - Q_0} = \frac{T_0}{T_1 - T_0}$$

$$\text{COP} = \frac{Q_1}{L} = \frac{Q_1}{Q_1 - Q_0} = \frac{T_1}{T_1 - T_0}$$



COP massimo teorico (Ciclo di Carnot reversibile)

COP MASSIMO TEORICO DI UNA POMPA DI CALORE



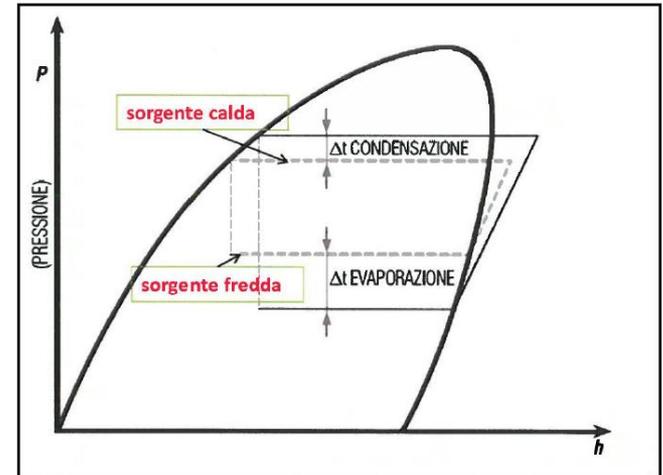
Temperatura della sorgente fredda: 5 [°C] = 268 [K].
 Temperatura della sorgente calda: 55 [°C] = 328 [K].

$$\text{COP}_{\text{MAX}} = \frac{T_2}{T_2 - T_1} = \frac{328}{328 - 268} = 5,46$$

COP reale

Il COP reale differisce da quello teorico per effetto di:

- Differenze di temperatura tra il gas refrigerante e fonte di calore/fluido termovettore per consentire lo scambio termico
- Compressione non reversibile e con perdite meccaniche
- Diminuzione di pressione tramite trasformazione non reversibile di dissipazione (laminazione)
- Assorbimento elettrico dei dispositivi che permettono lo scambio termico tra gas e fonte di calore/fluido termovettore (ventilatori, circolatori)





ENTHALPY (kJ/kg) ENTHALPIE

100 150 200 250 300 350 400 450 500

DRUCK

PRESSURE (BARA)

PRESSURE (BARA)

DRUCK

PRESSION

PRESSURE (BARA)

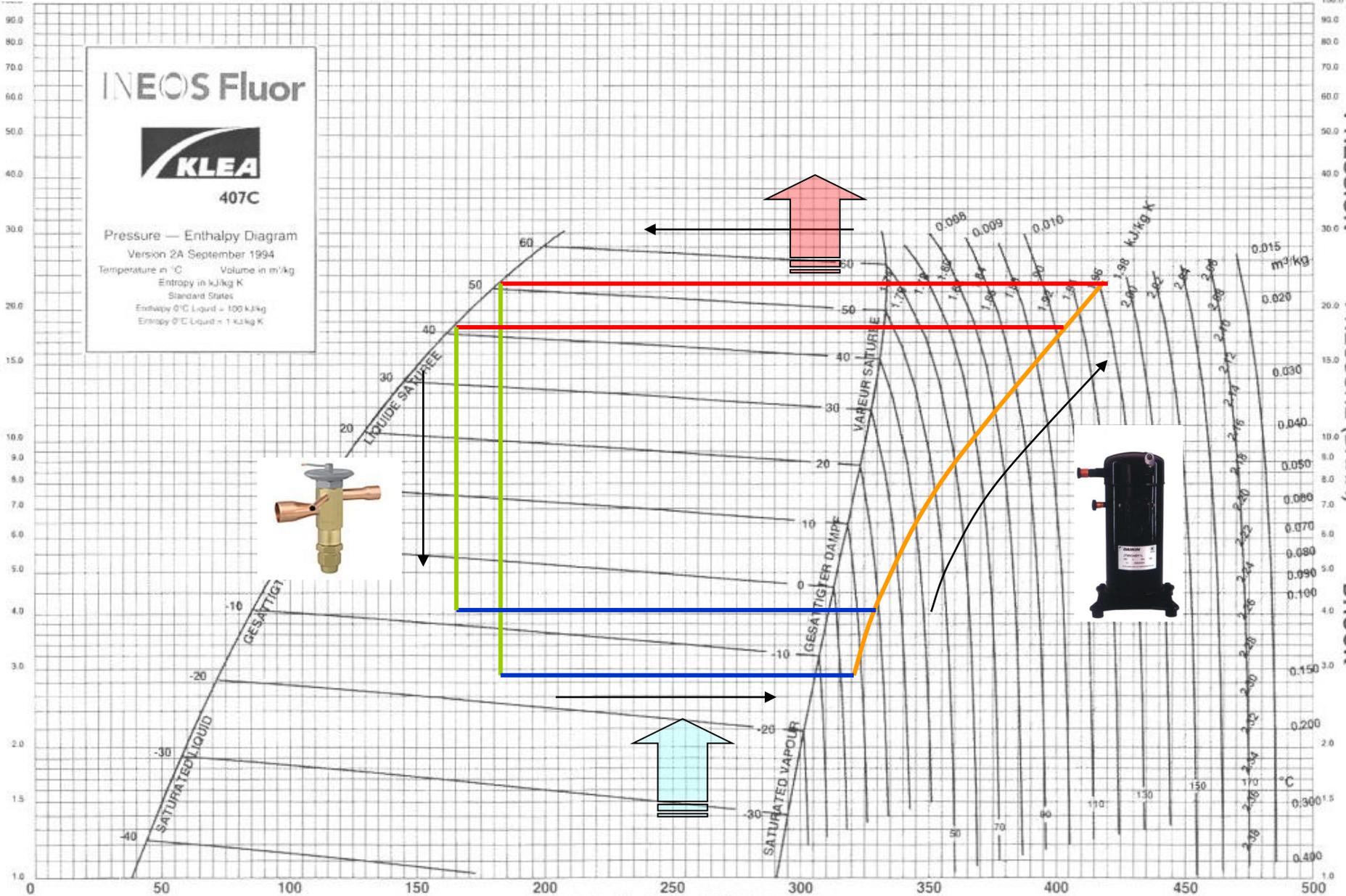
DRUCK

INEOS Fluor



407C

Pressure — Enthalpy Diagram
Version 2A September 1994
Temperature in °C Volume in m³/kg
Entropy in kJ/kg K
Standard States
Enthalpy 0°C Liquid = 100 kJ/kg
Entropy 0°C Liquid = 1 kJ/kg K



FATTORI CHE INFLUENZANO L'EFFICIENZA DELLA POMPA DI CALORE

IL RENDIMENTO DIPENDE DA:

➤ **TEMPERATURA RICHIESTA DALL'IMPIANTO**

(>TEMPERATURA DI CONDENSAZIONE ⇒ > PRESSIONE ⇒ > LAVORO ELETTRICO)

➤ **TEMPERATURA E TIPOLOGIA DI FONTE DI CALORE**

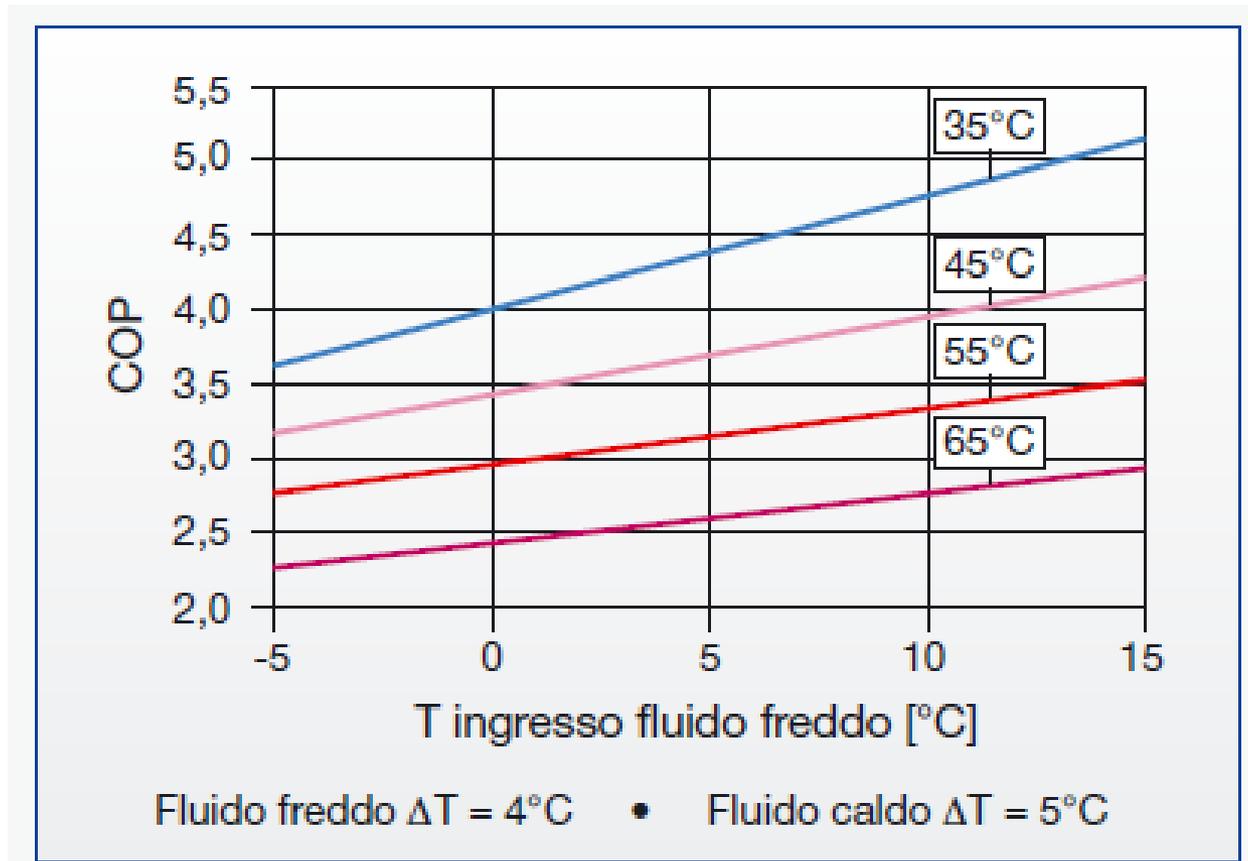
➤ **FATTORE DI UTILIZZO (DIMENSIONE DELLA MACCHINA RISPETTO AL CARICO)**

➤ **CONDIZIONI DI FUNZIONAMENTO DELLA POMPA DI CALORE**

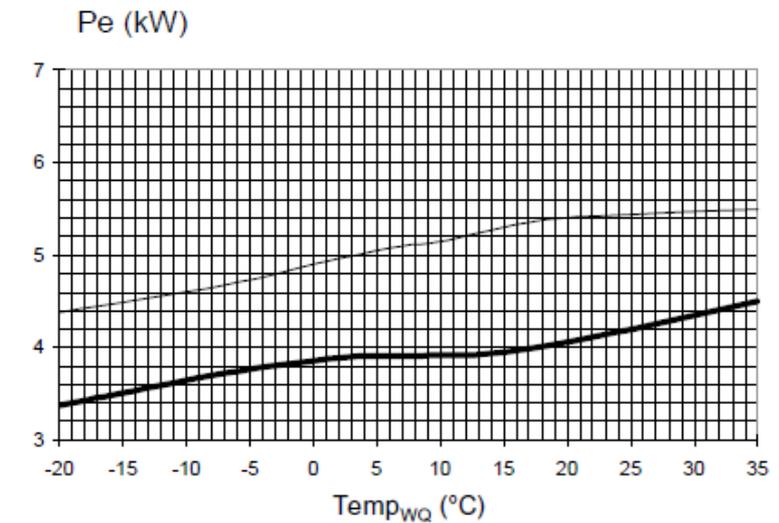
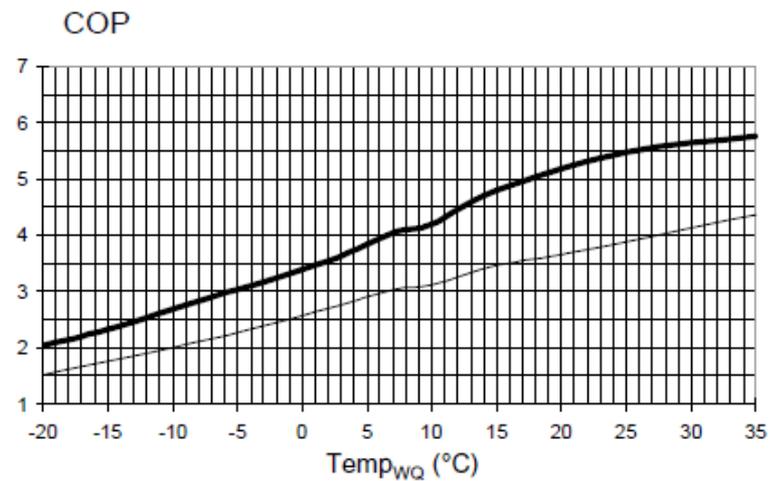
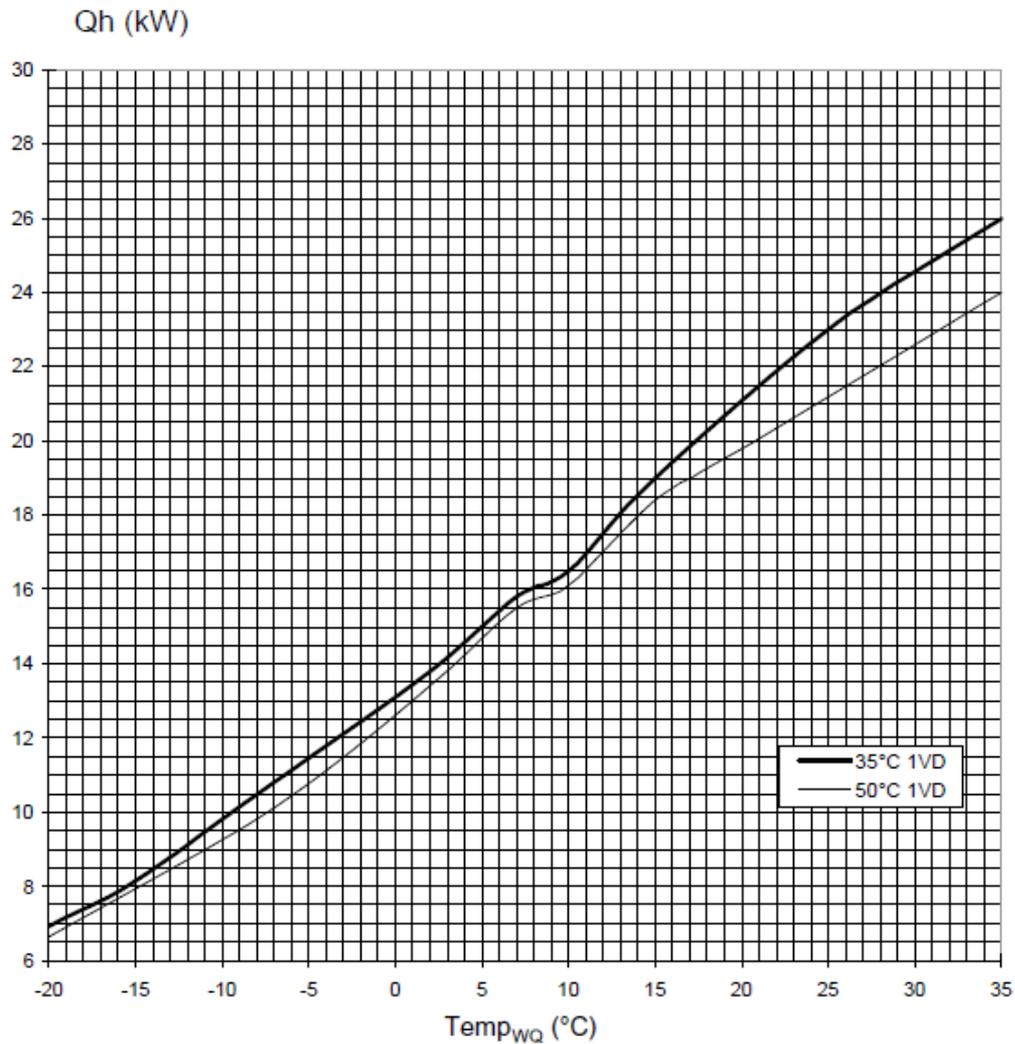
➤ **CORRETTO INSERIMENTO DELLA MACCHINA NEL SECONDARIO D'IMPIANTO**

La pompa di calore: efficienza

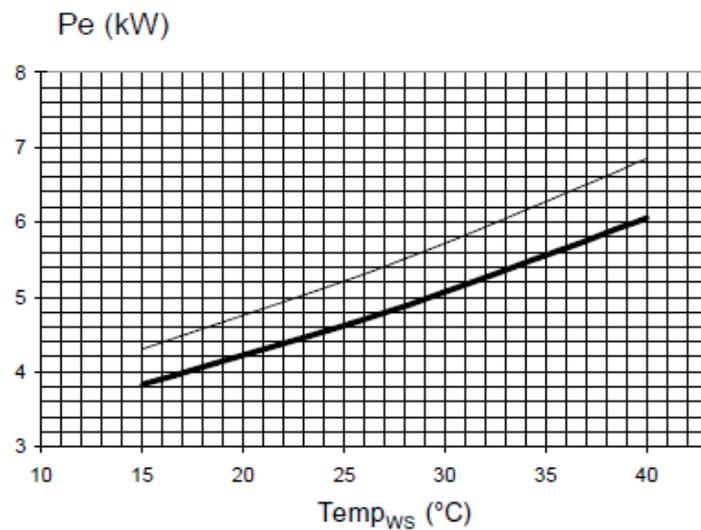
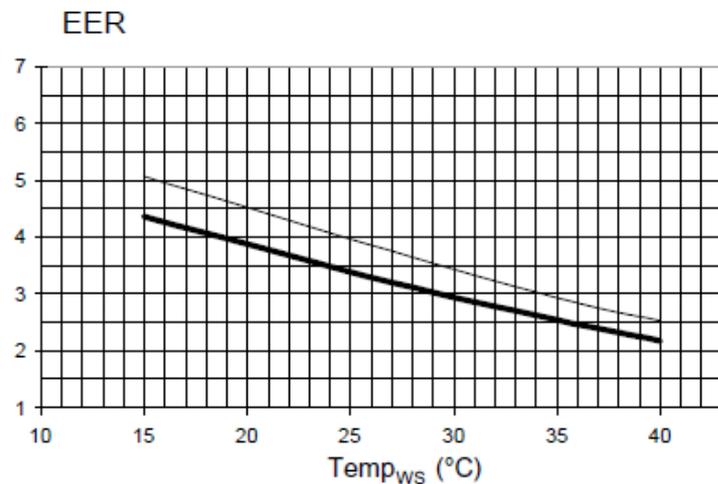
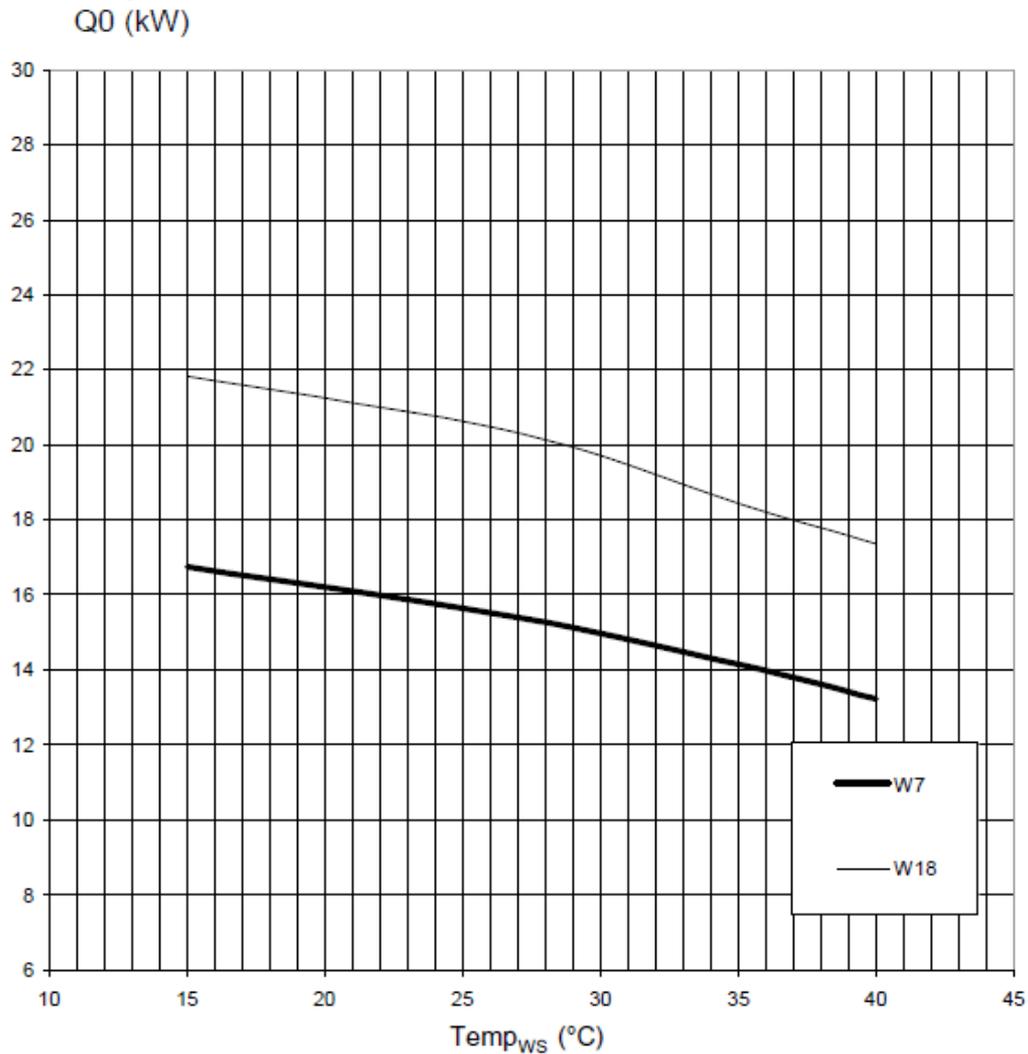
COP delle pompe di calore: effetto della temperatura di condensazione e di evaporazione



Diagrammi di resa, COP e assorbimento elettrico in f(T) - riscaldamento



Diagrammi di resa, COP e assorbimento elettrico in f(T) - raffrescamento



EFFICIENZA DELLE POMPE DI CALORE

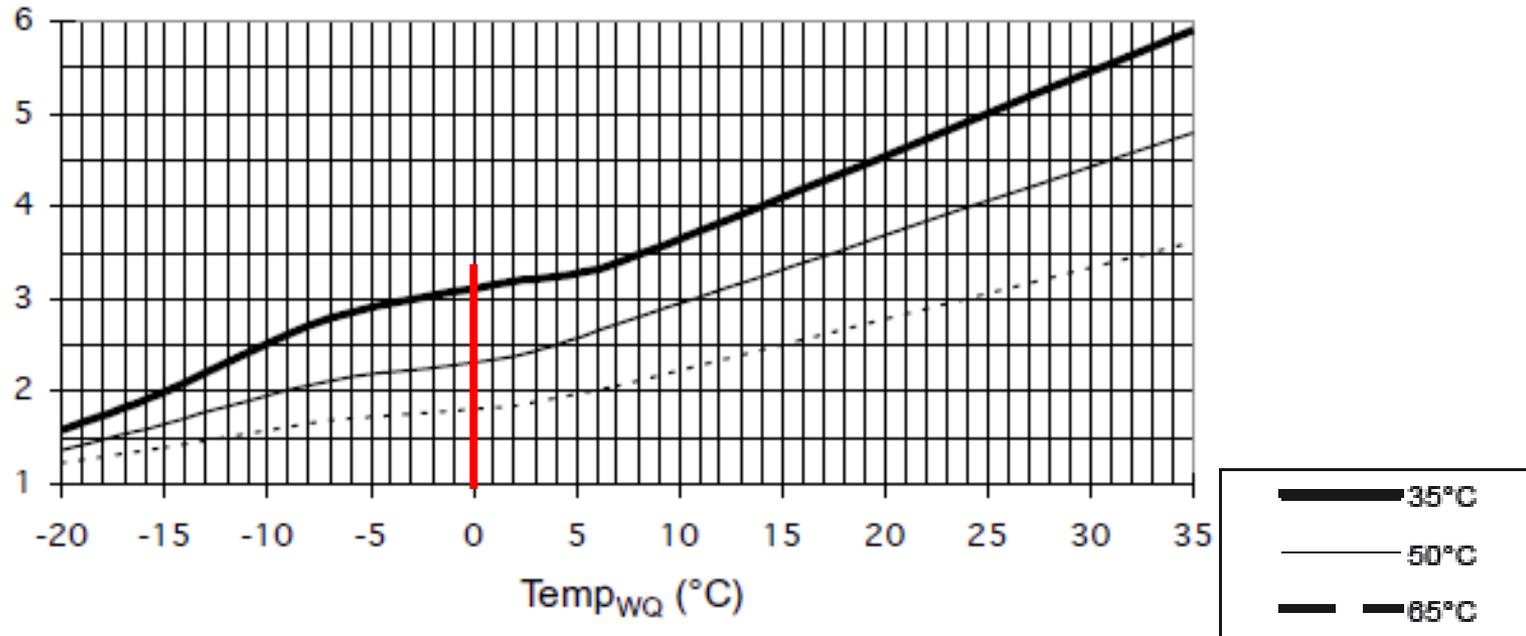
COP

CONFRONTO PDC GEOTERMICA E ARIA/ACQUA

ARIA/ACQUA

COP = 3,1

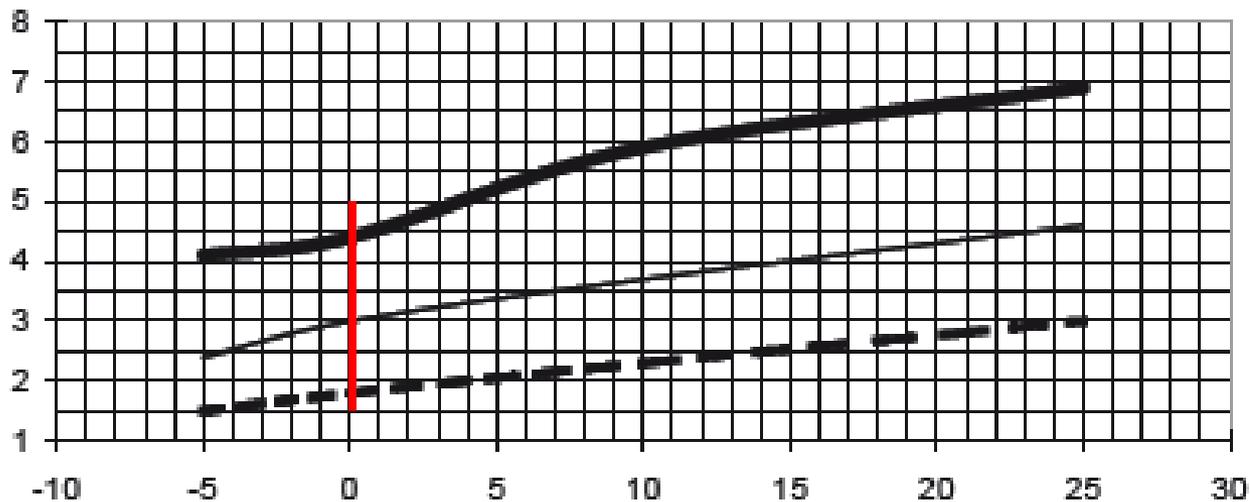
A0/W35



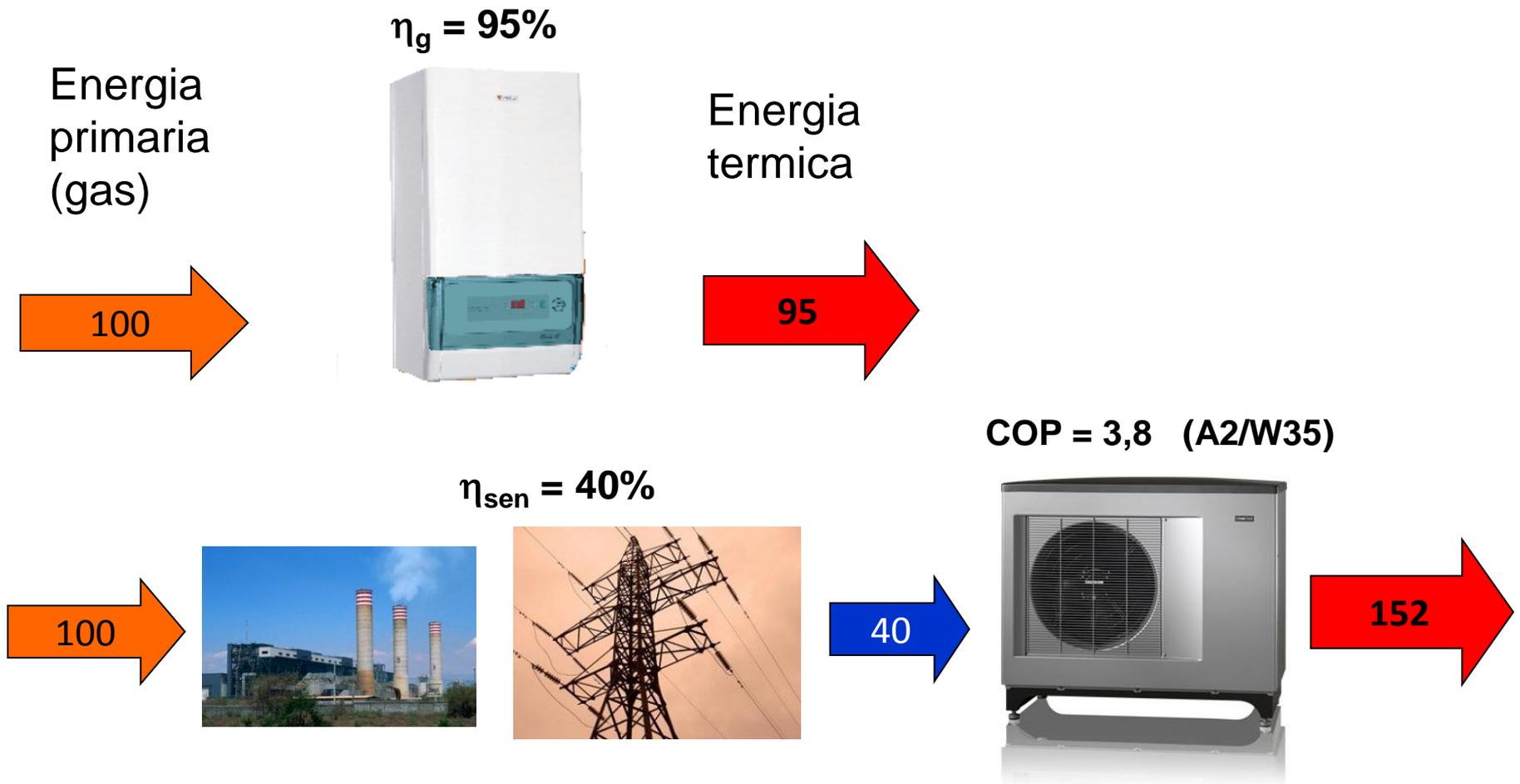
GEOTERMICA

COP = 4,5

B0/W35



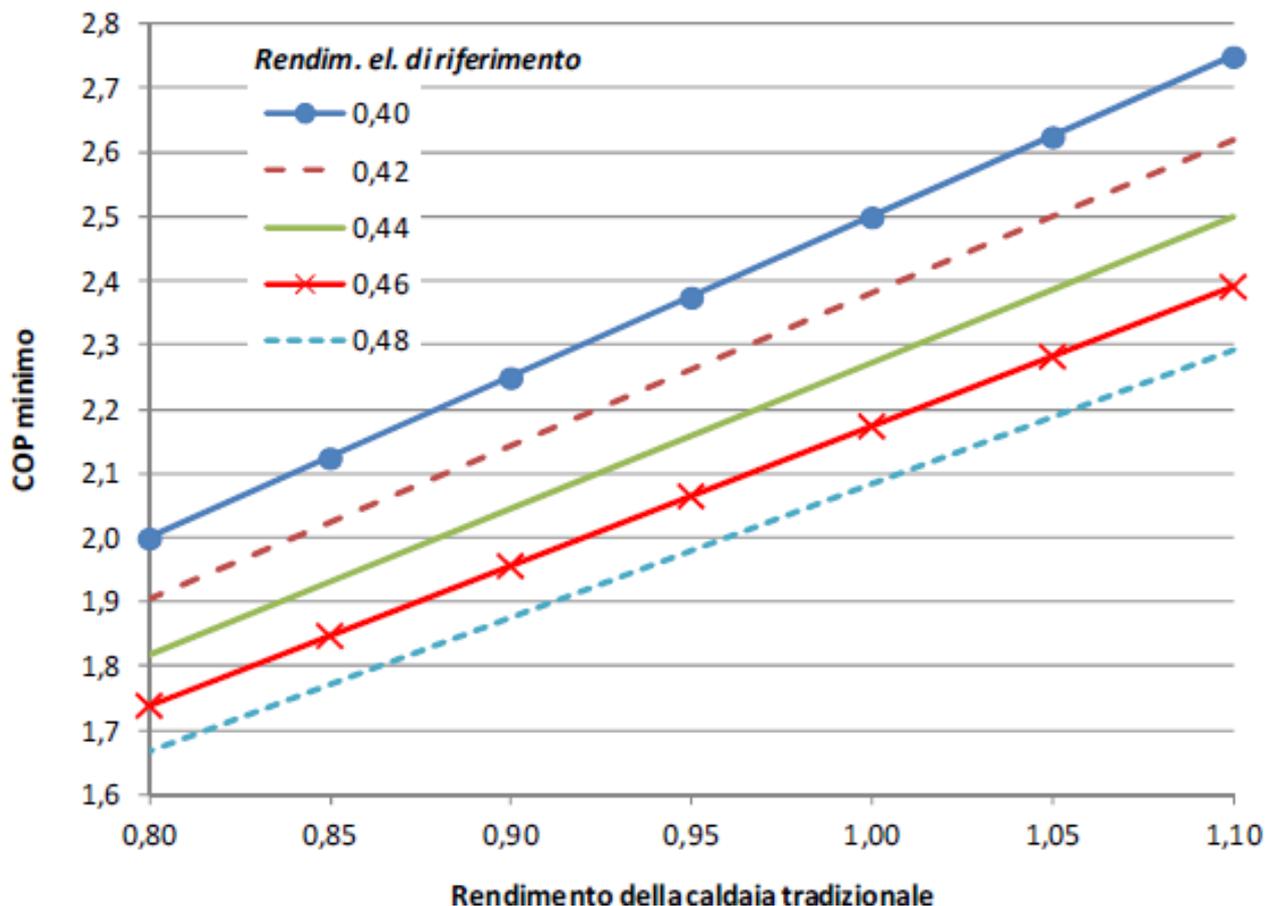
EFFICIENZA DI UNA POMPA DI CALORE E RAFFRONTO CON UNA CALDAIA



Equivalenza energetica tra caldaia con $\eta=100\%$ e pompa di calore con COP = 2,5

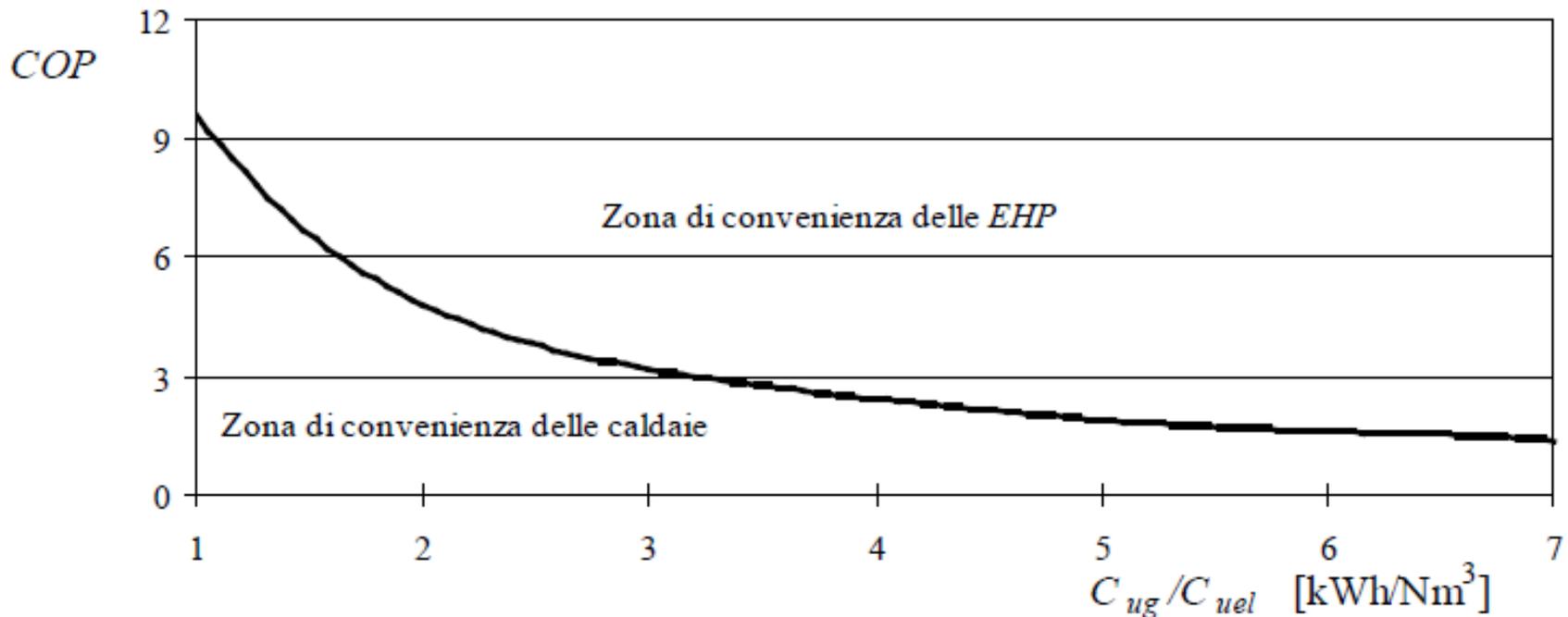
CONFRONTO ENERGETICO POMPA DI CALORE - CALDAIA

COP minimo necessario affinché la pompa di calore sia più efficiente rispetto ad una caldaia, in funzione del rendimento di caldaia, per vari valori del rendimento di conversione per la produzione di energia elettrica



CONFRONTO ECONOMICO POMPA DI CALORE - CALDAIA

Curva di indifferenza tra i due sistemi dal punto di vista dei costi di esercizio avendo fissato i tipici valori: $\eta_c = 0,9$, $\eta_{me} = 0,9$ ed avendo considerato come combustibile il gas naturale ($P_{Cl} = 9,59 \text{ kWh/Nm}^3$).

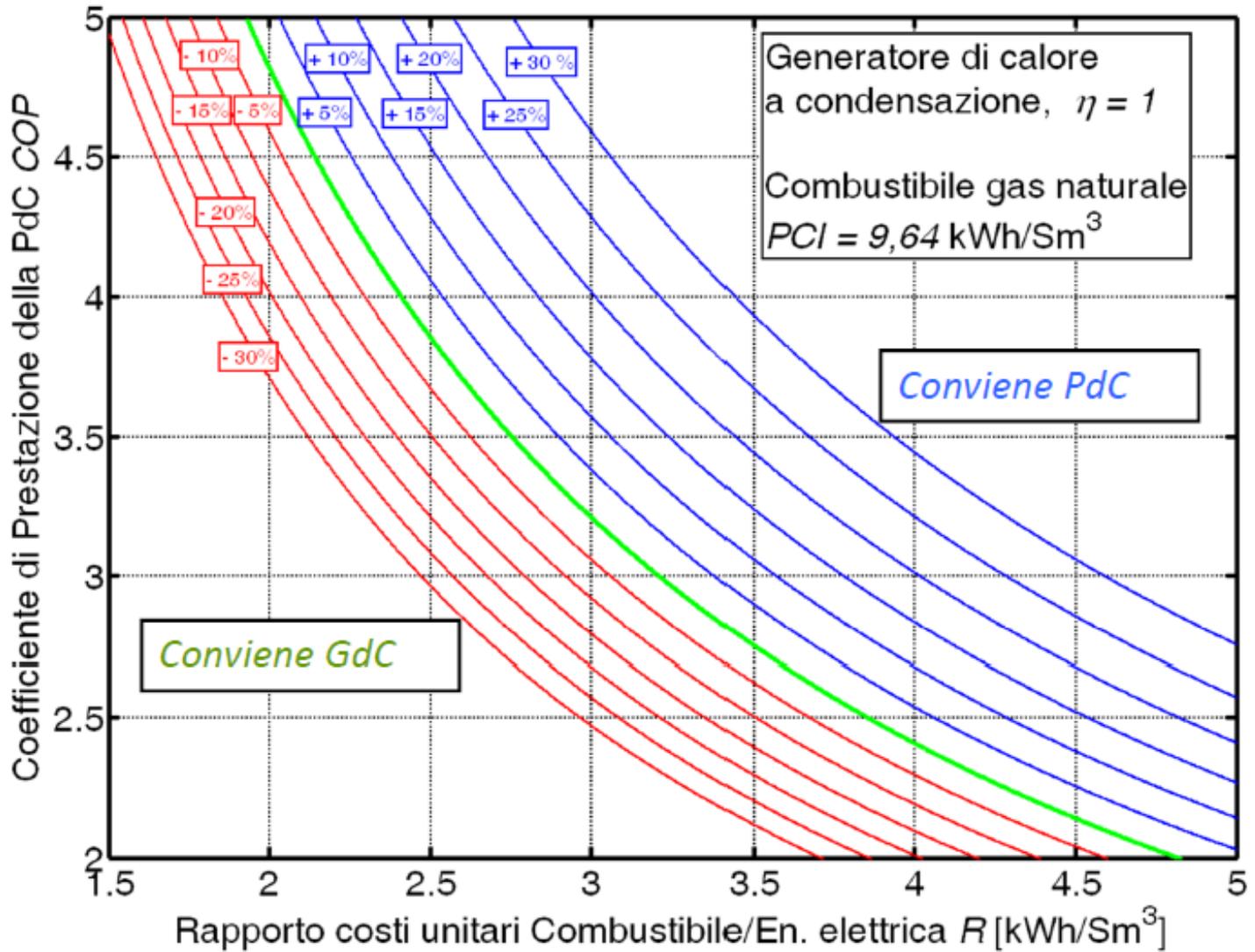


C_{ug} = costo unitario gas (€ /Nm³)

C_{uel} = costo unitario energia elettrica (€/kWh)

EFFICIENZA DELLE POMPE DI CALORE

Confronto economico costi di gestione PdC vs. Caldaia a Condensazione



SEASONAL PERFORMANCE FACTOR

SPF – DEFINIZIONE

Il Seasonal Performance Factor (SPF) corrisponde al COP medio stagionale (SCOP) o all'EER medio stagionale (SEER), ed è definito come :

$$\text{SPF} = E_{\text{pdc}} / E_{\text{ass}}$$

Dove:

E_{pdc} = energia complessivamente fornita dalla pompa di calore nella stagione di utilizzo

E_{ass} = energia complessivamente assorbita dalla pompa di calore nella stagione di utilizzo

E' un parametro di notevole importanza per poter effettuare confronti tra sistemi impiantistici diversi ed è il parametro che caratterizza **l'etichettatura energetica**.

SPF – VALORI LIMITE DI LEGGE

Il D.Lgs. 28/2011 definisce la quota di energia rinnovabile utilizzata dalla pompa di calore con la seguente formula:

$$E_{RES} = Q_{usable} * (1 - 1/SPF)$$

Dove Q_{usable} = calore totale prodotto dalla pompa di calore

Il **D.Lgs. 28/2011** definisce il **valore limite di SPF** che permette di considerare la pompa di calore come dispositivo che utilizza **fonte rinnovabile**:

$$SPF_{Min} > \frac{1,15}{\eta}$$

dove η = rendimento di produzione del sistema termoelettrico, pari a 0,40 secondo Eurostat

Si ricava un SPF minimo (ai fini della valutazione di fonte rinnovabile) di **2.875**.

Il valore di SPF viene calcolato con i metodi definiti dalla norma UNI TS 11300/4 (paragrafo 9.4.4) e la norma EN 14825:2012

SPF – DA COSA DIPENDE

Il valore di SPF dipende da diversi fattori:

- Dal COP nominale della pompa di calore (dalla qualità costruttiva della macchina).
- Dal fattore di carico climatico PLR
- Dal fattore di utilizzo della macchina (rapporto tra potenza termica e dispersioni).
- Dalle condizioni di funzionamento della macchina in termini di temperature di lavoro.
- Dalla località di installazione (in particolare per le macchine ad aria).
- **Da altri fattori legati alle scelte progettuali (accumuli tecnici, modalità produzione ACS)**

ENERGY LABEL DIRETTIVA UE 2010/30/UE



DIRETTIVA UE 2010/30/UE

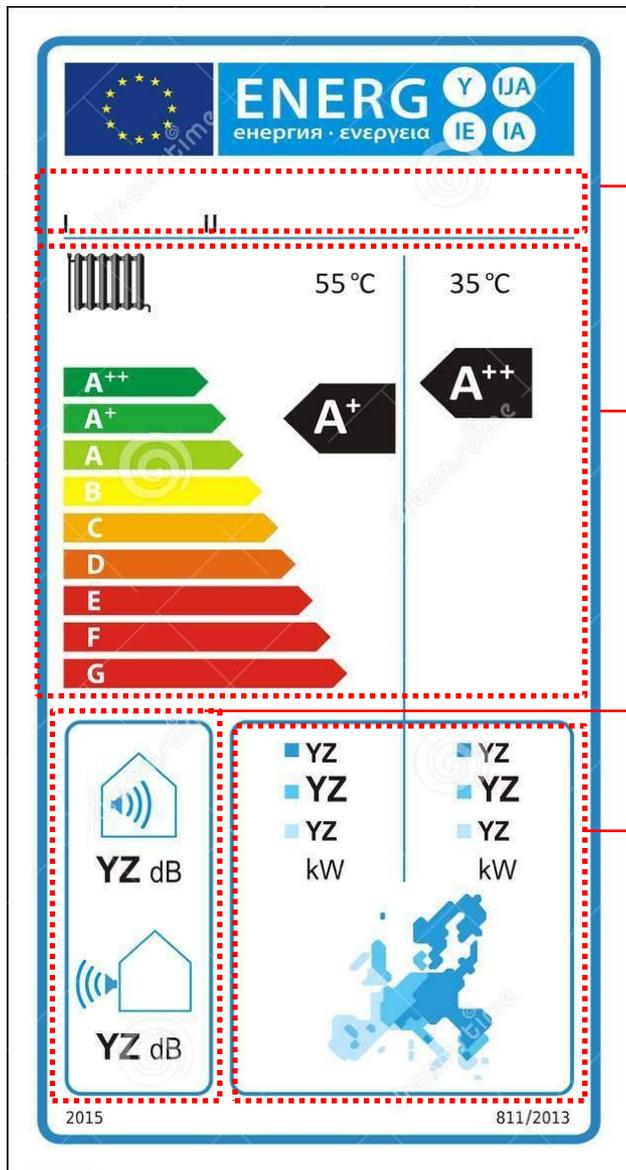
Dal 26 Settembre 2015, tutte le pompe di calore per installazione fino a 70 kW devono essere dotate di una **etichetta energetica** per consentire al consumatore di confrontare l'efficienza energetica dei prodotti.

L'etichetta energetica si compone di:

- **Product label:** fornisce informazioni sulla classe di efficienza energetica, fabbisogno di potenza e rumorosità. L'etichetta ha anche una mappa che divide l'Europa in tre diverse zone climatiche. Un fabbisogno di potenza adatto è specificato per ogni clima. La classe di efficienza energetica visualizzata in etichetta è basata sulle condizioni climatiche medie.
- **Package Label:** mostra il consumo energetico dell'intero impianto di riscaldamento e tiene anche conto della regolazione del sistema, di una eventuale caldaia ausiliaria esterna e se è combinato con il riscaldamento solare. Poiché la maggior parte delle pompe di calore hanno già un sistema di controllo integrato, molti di loro avranno un'etichetta pacchetto dal produttore.



PRODUCT LABEL



Costruttore e modello

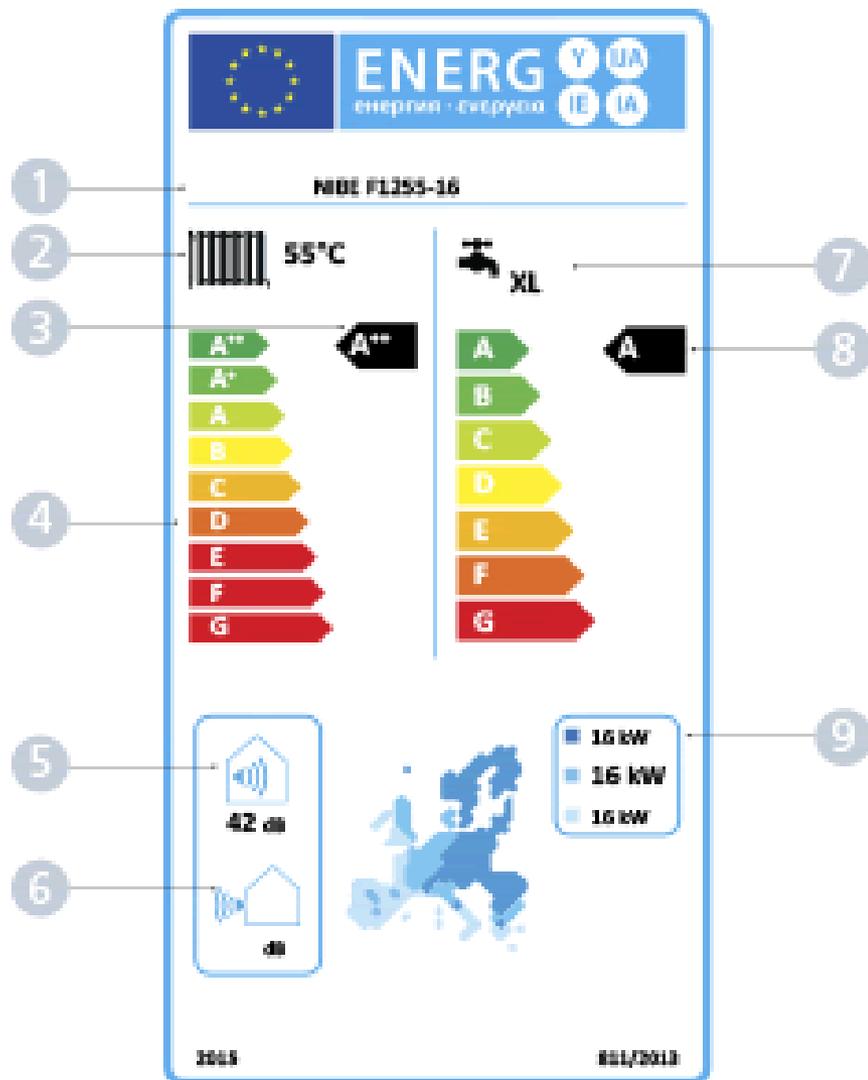
Dati di efficienza per 2 livelli di temperatura del fluido termovettore o per le funzioni del dispositivo se con funzione riscaldamento e acqua calda.

Potenza sonora LwA indoor e outdoor

Potenza termica nominale nelle diverse zone climatiche



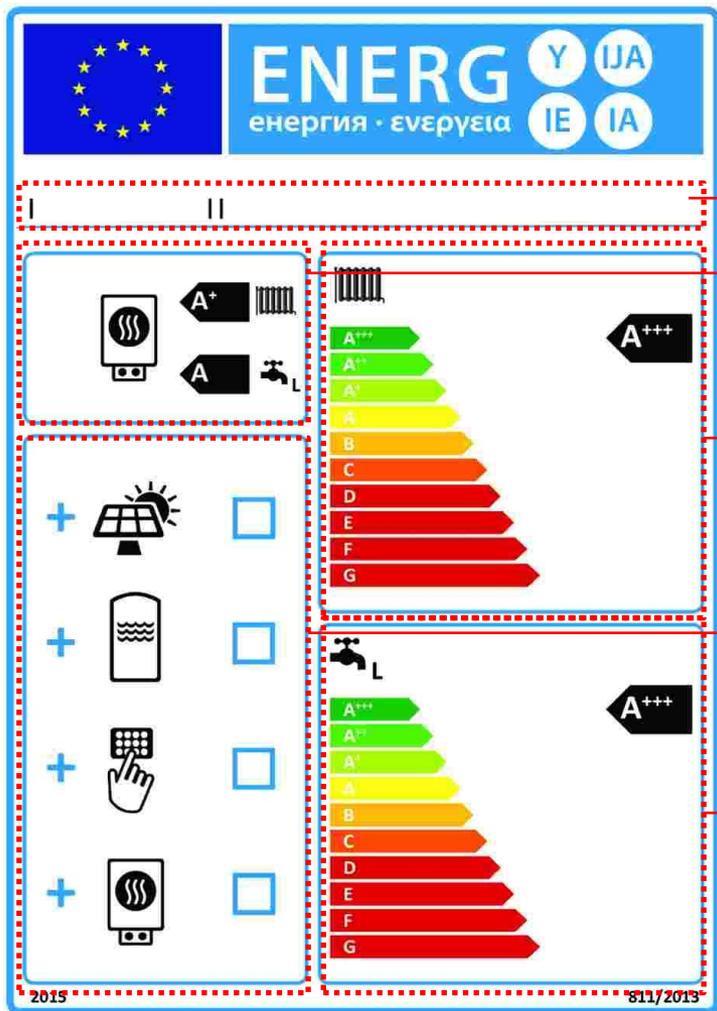
PRODUCT LABEL



1. Supplier make and model
2. Heating
3. Energy class heating
4. Scale of efficiency classes
5. Sound power level indoors
6. Sound power level outdoors
7. Hot water profile used
8. Energy class hot water
9. Rated heat output at their different climate zone



PACKAGE LABEL



I, II → Costruttore e identificativo modello

IV, III → Funzioni del package, con indicazione del profilo di carico per il bollitore sanitario

VI → Classe di efficienza energetica in riscaldamento

V → Indicazione se un collettore solare, serbatoio di accumulo dell'acqua calda, il controllo della temperatura e / o riscaldatore supplementare, può essere incluso nel pacchetto

III → Classe di efficienza energetica in acqua calda

Classi di efficienza energetica e indice di efficienza energetica (Direttiva UE 2010/30/UE)

Table 1

Medium temperature applications (55°C)

Seasonal space heating energy efficiency class	Seasonal space heating energy efficiency η_s in %
A+++	$\eta_s \geq 150$
A++	$125 \leq \eta_s < 150$
A+	$98 \leq \eta_s < 125$
A	$90 \leq \eta_s < 98$
B	$82 \leq \eta_s < 90$
C	$75 \leq \eta_s < 82$
D	$36 \leq \eta_s < 75$
E	$34 \leq \eta_s < 36$
F	$30 \leq \eta_s < 34$
G	$\eta_s < 30$

Table 2

Low temperature applications (35°C)

Seasonal space heating energy efficiency class	Seasonal space heating energy efficiency η_s in %
A+++	$\eta_s \geq 175$
A++	$150 \leq \eta_s < 175$
A+	$123 \leq \eta_s < 150$
A	$115 \leq \eta_s < 123$
B	$107 \leq \eta_s < 115$
C	$100 \leq \eta_s < 107$
D	$61 \leq \eta_s < 100$
E	$59 \leq \eta_s < 61$
F	$55 \leq \eta_s < 59$
G	$\eta_s < 55$

CRITERI DI PROGETTAZIONE PER L'OTTIMIZZAZIONE DELL'EFFICIENZA

CRITERI PER OTTIMIZZAZIONE DELL'EFFICIENZA

1. DIMENSIONAMENTO DELLA MACCHINA IN RELAZIONE AL CARICO
2. DIMENSIONE DEL CONTENUTO D'ACQUA
3. IDRAULICA DI CENTRALE TERMICA
4. MODALITA' DI PRODUZIONE ACQUA CALDA
5. REGOLAZIONE DELLA MACCHINA

Curva di carico termico e di potenza termica delle pompe di calore

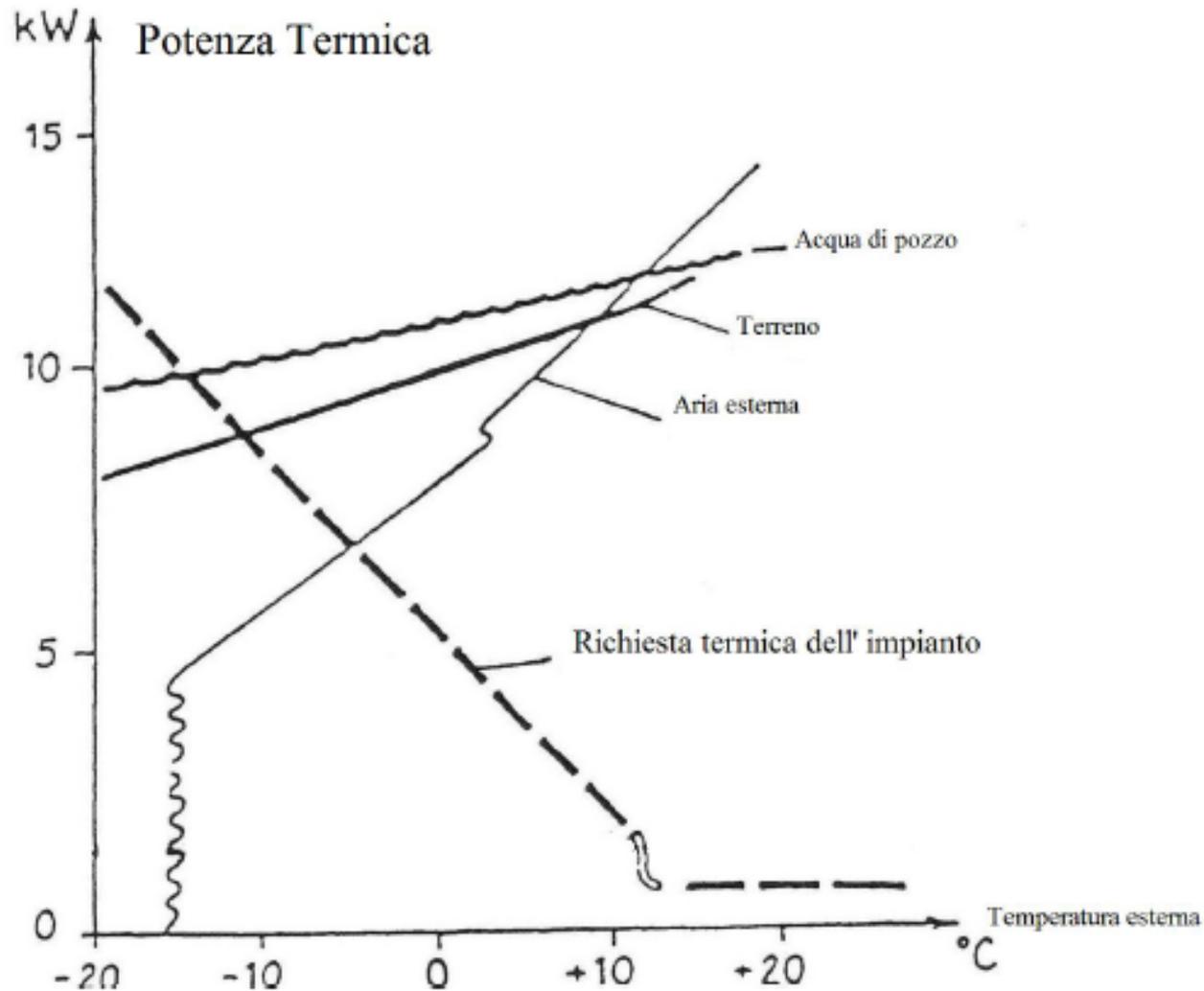
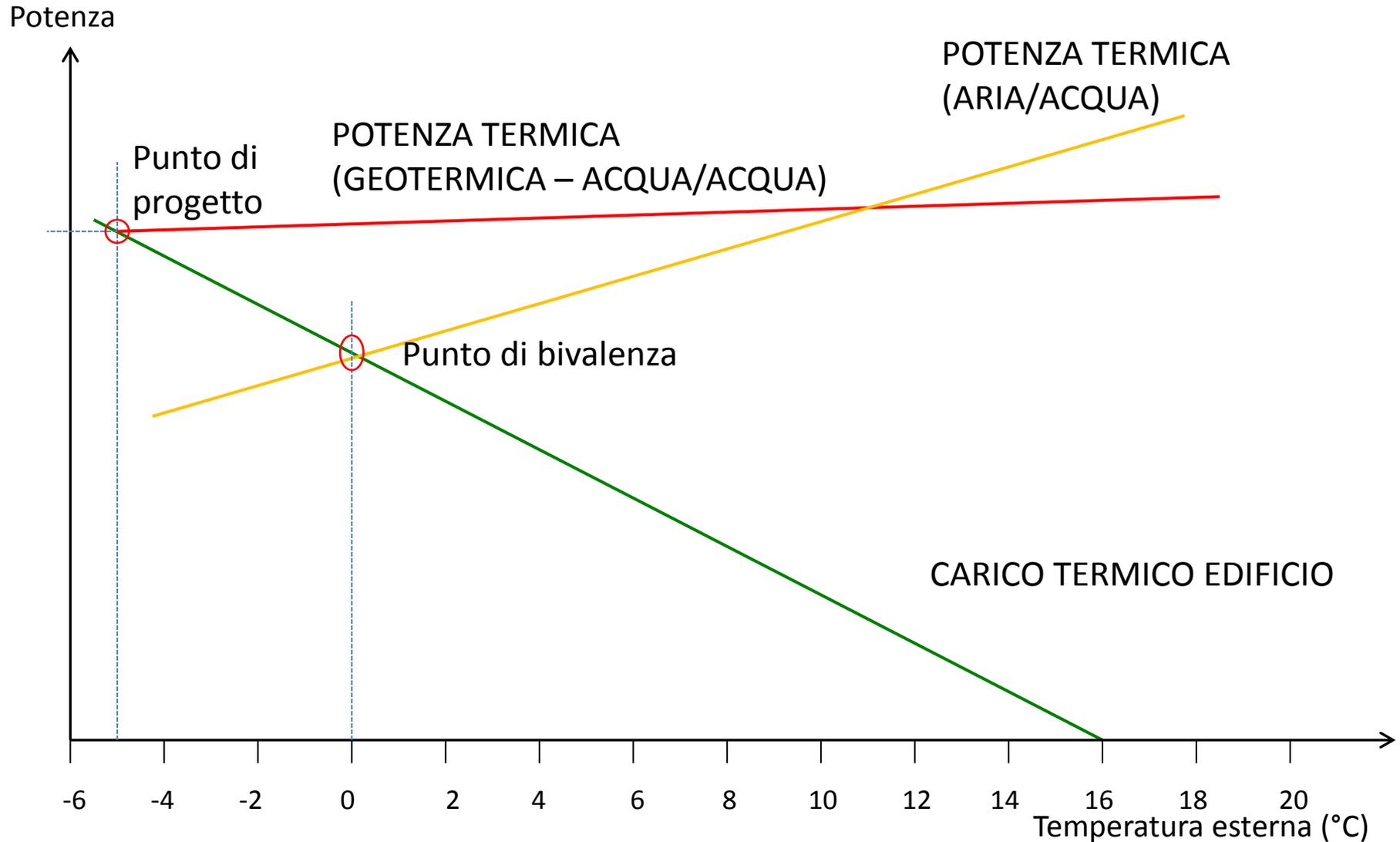
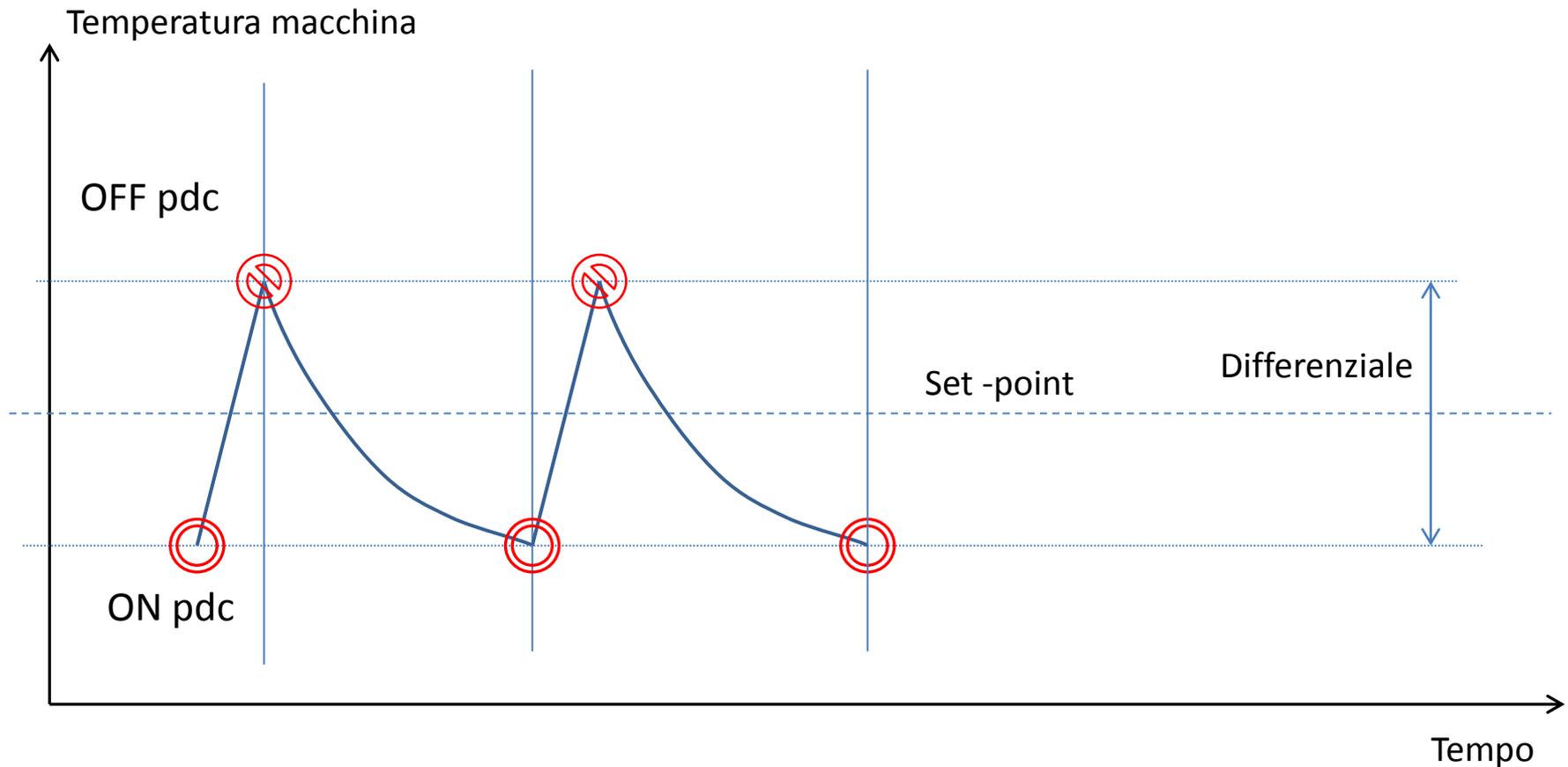


Figura 3.1. Potenza fornita e richiesta dell'impianto al variare della temperatura esterna. (da Refrigerating Engineering, KTH, Stockholm, 2011).

Curva di carico termico e di potenza termica delle pompe di calore

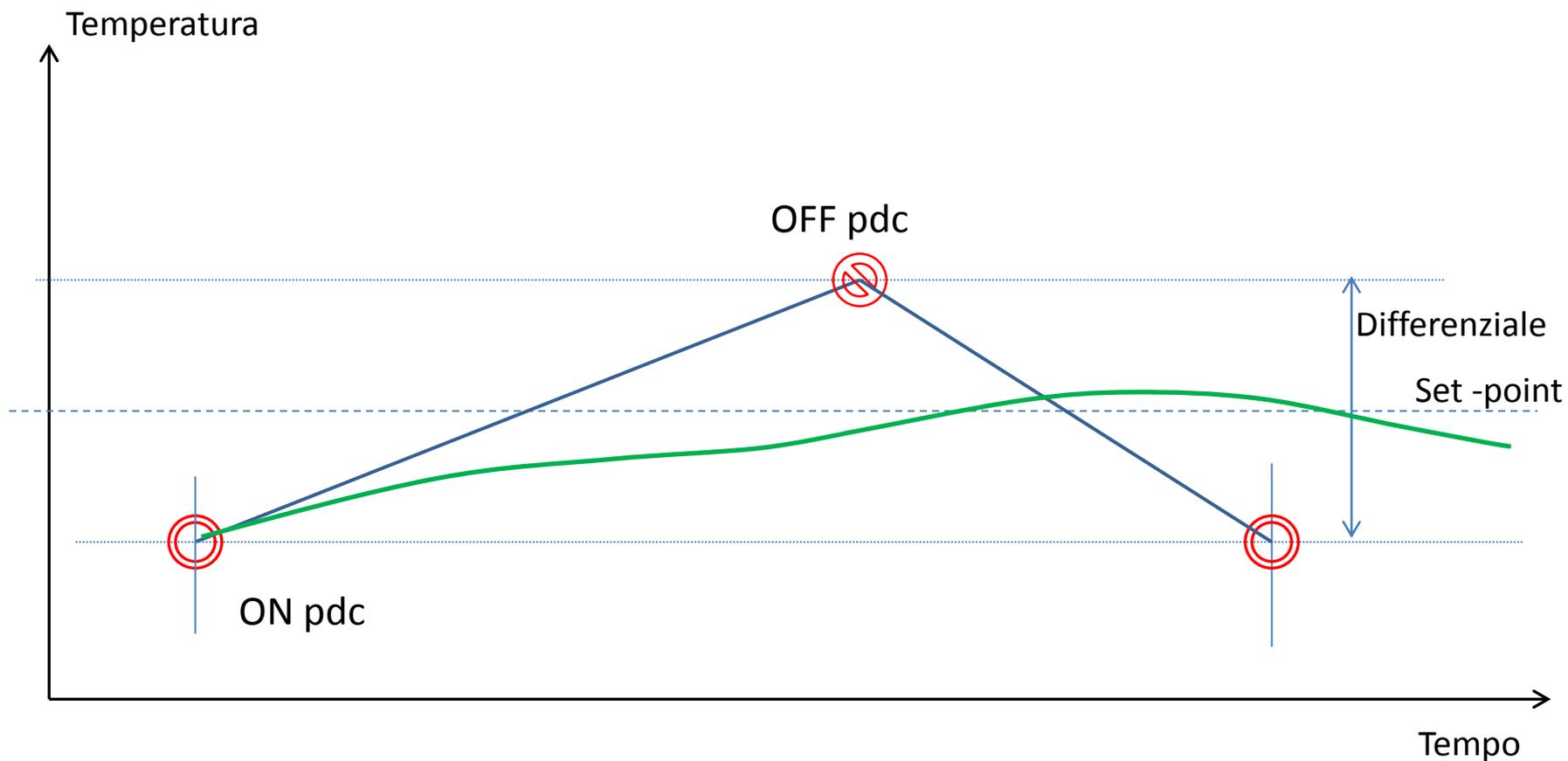


Condizione di esercizio di una macchina sovradimensionata rispetto al carico termico:



Condizione di esercizio di una macchina correttamente dimensionata rispetto al carico termico.

In condizioni ideali, la macchina deve rimanere accesa continuamente nelle condizioni di progetto (potenza emessa = carico termico).





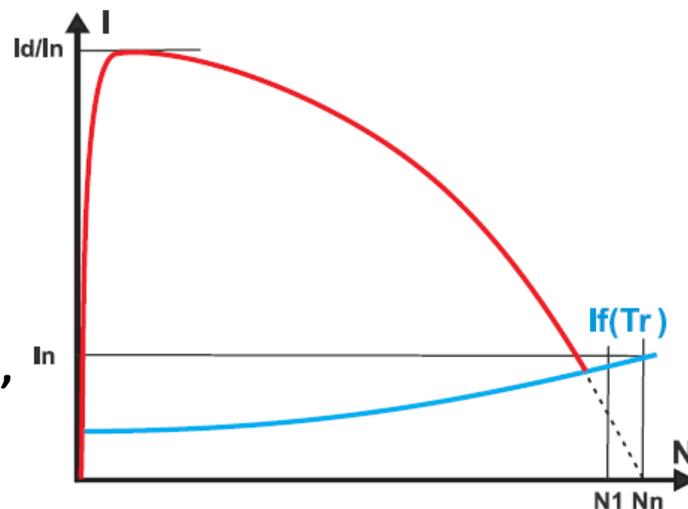
Macchina sovradimensionata → maggiori assorbimenti elettrici

Si potrebbe pensare che il consumo annuale di una macchina sia dato dal rapporto tra l'energia da fornire all'edificio e l'efficienza media stagionale, indipendentemente dalla dimensione della macchina

Corrente di spunto di un motore elettrico.

La corrente di spunto ha un valore pari a 5/8 volte il valore di corrente nominale.

Se la macchina ha continui accensioni e spegnimenti, il peso relativo degli spunti sugli assorbimenti elettrici diventa rilevante.



Una misura del dimensionamento della macchina rispetto al carico è data dal **rapporto tra le ore di funzionamento e il numero di accensioni** (durata media di funzionamento del compressore in un ciclo).

Macchine sovradimensionate hanno valori bassi di tempi di funzionamento medio.

Variazione del COP ai carichi parziali

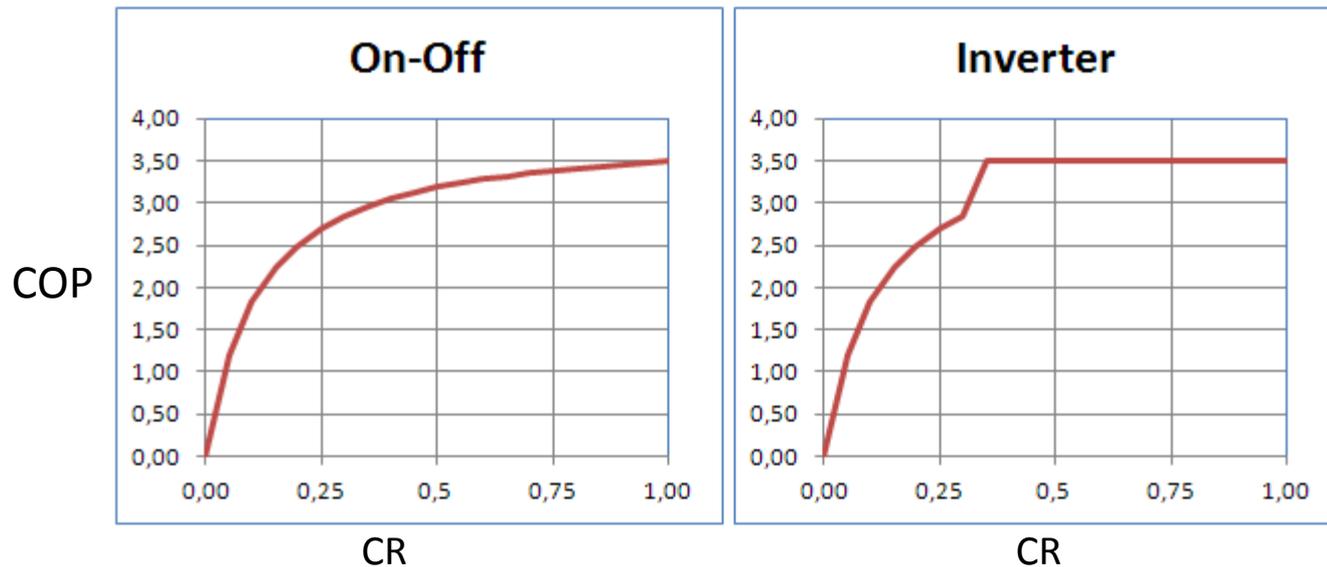
Le pompe di calore sono soggette ad una modifica del rendimento nel caso in cui il carico applicato sia inferiore alla potenza massima che il generatore può fornire.

$$\text{COP}_{\text{PL(A,B,C,D)}} = \text{COP}_{\text{DC}} \times (\text{CR} / (\text{Cc} \times \text{CR} + (1-\text{Cc})))$$

Dove: COP_{DC} = COP a condizioni nominali

CR = fattore di carico

Cc = fattore correttivo dichiarato dal costruttore (in caso non sia indicato pari a 0,9)



Norme di riferimento: UNI TS 11300/4 punto 9.4.4 - EN 14825

CONTENUTO D'ACQUA E DINAMICA DELL'IMPIANTO

Contenuto d'acqua e dinamica dell'impianto

Il contenuto d'acqua dell'impianto determina la velocità di variazione di temperatura del fluido termovettore riscaldato dalla pompa di calore (inerzia termica).

Questo deriva dal bilancio energetico:

$$E = (P_f - P_c) \cdot t = V \cdot c \cdot \rho \cdot \Delta T$$

E = energia termica fornita o sottratta all'acqua del circuito nel tempo t

$P_f - P_c$ = potenza istantaneamente ceduta o sottratta all'acqua dall'impianto

t = tempo

V = volume (contenuto d'acqua) dell'impianto

c = calore specifico dell'acqua

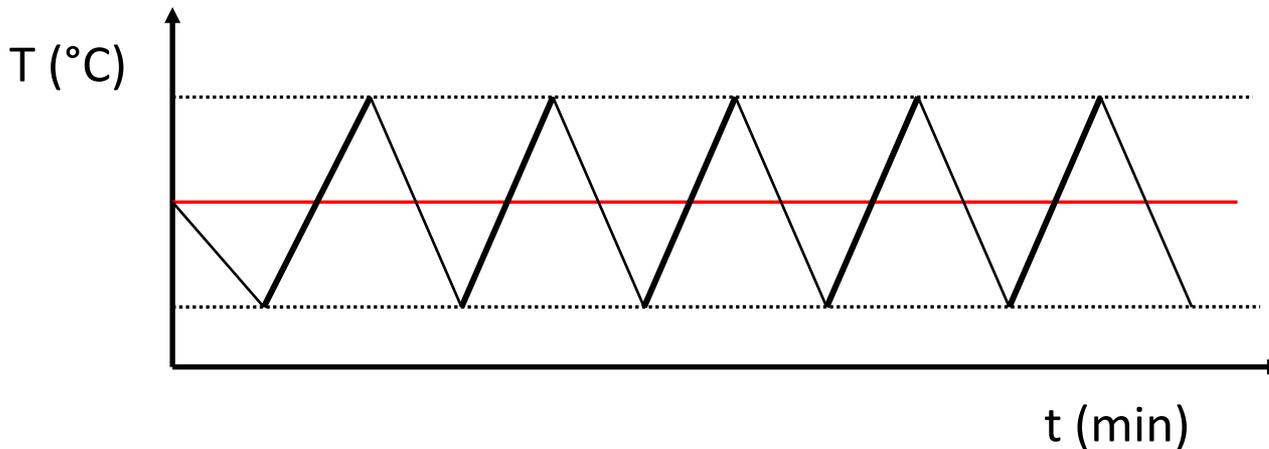
ρ = densità del fluido

$$\Delta T/t = (P_f - P_c) / V \cdot c \cdot \rho$$

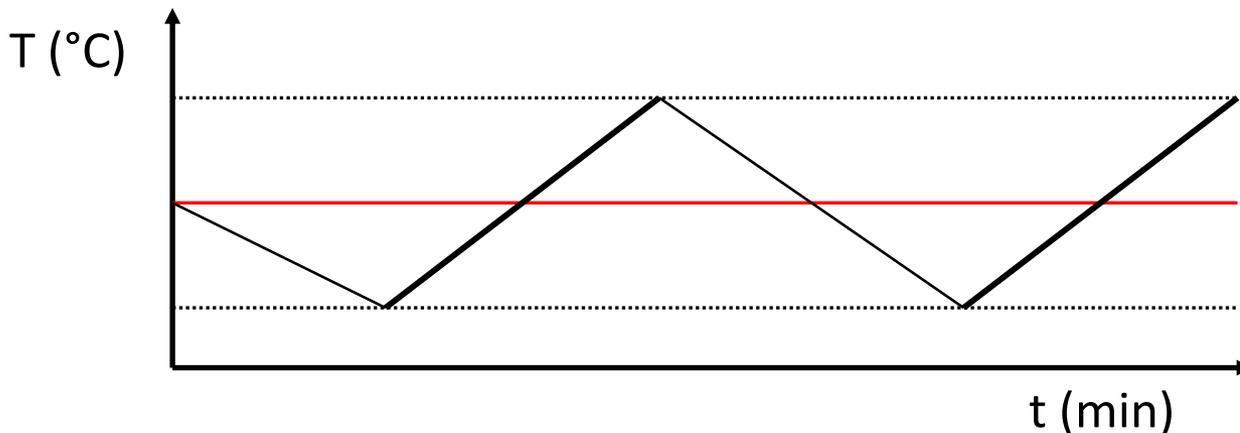
La relazione mostra come la velocità di variazione del fluido dipenda dalla potenza scambiata e dal volume d'acqua dell'impianto.

Contenuto d'acqua e dinamica dell'impianto

Variazione della temperatura del fluido in funzione del contenuto d'acqua
(grafici validi in caso di fattore di carico al 50%)



Impianto con basso
contenuto d'acqua
(2,5 l/kW)



Impianto con elevato
contenuto d'acqua
(10 l/kW)

Relazioni di calcolo per la determinazione del contenuto d'acqua

Formule per il dimensionamento degli accumuli inerziali per il corretto funzionamento delle pompe di calore derivano dalle relazioni sviluppate dall'ing. Domenico Portoso per il dimensionamento degli accumuli per gruppi frigoriferi.

$$V_{MIN} = \frac{P_{CON}}{20 DR} \quad V_{OTT} = \frac{P_{CON}}{7 DR}$$

P_{con} = potenza della macchina

DR = differenziale di regolazione

Se si assume DR = salto termico

$$V_{MIN} = \frac{Q_{CON}}{17} \quad V_{OTT} = \frac{Q_{CON}}{7}$$

Q_{con} = portata al condensatore espressa in m³/h

DIMENSIONAMENTO DEL CONTENUTO D'ACQUA

Relazioni di calcolo per la determinazione del contenuto d'acqua

Contenuto d'acqua ottimale e minimo per pompe di calore acqua/acqua

POTENZA [kW]	Salto termico					
	4K		5K		6K	
	ottimale	minimo	ottimale	minimo	ottimale	minimo
5	0,09	0,04	0,07	0,03	0,06	0,02
10	0,18	0,07	0,14	0,06	0,12	0,05
15	0,27	0,11	0,22	0,09	0,18	0,07
20	0,36	0,14	0,29	0,11	0,24	0,10
25	0,45	0,18	0,36	0,14	0,30	0,12
30	0,54	0,22	0,43	0,17	0,36	0,14
40	0,72	0,29	0,57	0,23	0,48	0,19
50	0,90	0,36	0,72	0,29	0,60	0,24
60	1,08	0,43	0,86	0,34	0,72	0,29
70	1,25	0,50	1,00	0,40	0,84	0,33
80	1,43	0,57	1,15	0,46	0,96	0,38
90	1,61	0,65	1,29	0,52	1,08	0,43
100	1,79	0,72	1,43	0,57	1,19	0,48
150	2,69	1,08	2,15	0,86	1,79	0,72
200	3,58	1,43	2,87	1,15	2,39	0,96
250	4,48	1,79	3,58	1,43	2,99	1,19
300	5,38	2,15	4,30	1,72	3,58	1,43
350	6,27	2,51	5,02	2,01	4,18	1,67
400	7,17	2,87	5,73	2,29	4,78	1,91
450	8,06	3,23	6,45	2,58	5,38	2,15
500	8,96	3,58	7,17	2,87	5,97	2,39
600	10,75	4,30	8,60	3,44	7,17	2,87
700	12,54	5,02	10,03	4,01	8,36	3,34
800	14,33	5,73	11,47	4,59	9,56	3,82
900	16,13	6,45	12,90	5,16	10,75	4,30
1000	17,92	7,17	14,33	5,73	11,94	4,78

DIMENSIONAMENTO DEL CONTENUTO D'ACQUA

Relazioni di calcolo per la determinazione del contenuto d'acqua

Contenuto d'acqua ottimale e minimo per pompe di calore aria/acqua

POTENZA [kW]	Salto termico al condensatore					
	4K		5K		6K	
	ottimale	minimo	ottimale	minimo	ottimale	minimo
5	0,18	0,06	0,14	0,05	0,12	0,04
10	0,36	0,13	0,29	0,10	0,24	0,08
15	0,54	0,19	0,43	0,15	0,36	0,13
20	0,72	0,25	0,57	0,20	0,48	0,17
25	0,90	0,32	0,72	0,25	0,60	0,21
30	1,08	0,38	0,86	0,30	0,72	0,25
40	1,43	0,51	1,15	0,40	0,96	0,34
50	1,79	0,63	1,43	0,51	1,19	0,42
60	2,15	0,76	1,72	0,61	1,43	0,51
70	2,51	0,89	2,01	0,71	1,67	0,59
80	2,87	1,01	2,29	0,81	1,91	0,67
90	3,23	1,14	2,58	0,91	2,15	0,76
100	3,58	1,26	2,87	1,01	2,39	0,84
150	5,38	1,90	4,30	1,52	3,58	1,26
200	7,17	2,53	5,73	2,02	4,78	1,69
250	8,96	3,16	7,17	2,53	5,97	2,11
300	10,75	3,79	8,60	3,04	7,17	2,53
350	12,54	4,43	10,03	3,54	8,36	2,95
400	14,33	5,06	11,47	4,05	9,56	3,37
450	16,13	5,69	12,90	4,55	10,75	3,79
500	17,92	6,32	14,33	5,06	11,94	4,22
600	21,50	7,59	17,20	6,07	14,33	5,06
700	25,08	8,85	20,07	7,08	16,72	5,90
800	28,67	10,12	22,93	8,09	19,11	6,75
900	32,25	11,38	25,80	9,11	21,50	7,59
1000	35,83	12,65	28,67	10,12	23,89	8,43

CONTENUTO D'ACQUA E VOLANO TERMICO

Considerare il contenuto d'acqua dell'accumulo come un volano termico che permette di far fronte a richieste di potenza maggiore (rispetto a quelle espresse dalla macchina) è un errore.

Per quanto l'accumulo sia effettivamente un serbatoio di energia pronta, le dimensioni di tale accumulo come normalmente disponibili non costituiscono un serbatoio sufficiente a fornire energia all'impianto in caso di maggiore richiesta.

Date infatti le formule di dimensionamento viste in precedenza e considerando un volume pari a 1/10 della portata della macchina, si ottiene:

$$\text{portata} = 10.000 \text{ l/h}; V = 1000 \text{ l}; \Delta T = 5 \text{ }^\circ\text{C}$$

- Ogni 6 minuti (1/10 di un'ora), il contenuto d'acqua dell'accumulo scende di temperatura almeno del salto termico espresso dall'impianto
- In un'ora l'accumulo scende di temperatura di almeno 30°C.

Diverso è il caso di accumuli per la produzione di acqua calda sanitaria (che vedremo)



ELEMENTI PRINCIPALI

- GENERATORE (POMPA DI CALORE)
- SISTEMA DI DISTRIBUZIONE FLUIDO TERMOMETTORE AI TERMINALI
- SISTEMA DI PRODUZIONE ACS

- Tipo di sistema di distribuzione
 - Senza accumulo (diretto)
 - Accumulo sulla mandata
 - Accumulo sul ritorno
 - Accumulo in separazione idraulica

- Produzione acqua calda sanitaria
 - Bollitore con serpentino interno
 - Scambiatore esterno e accumulo di acqua sanitaria
 - Scambiatore esterno per produzione istantanea

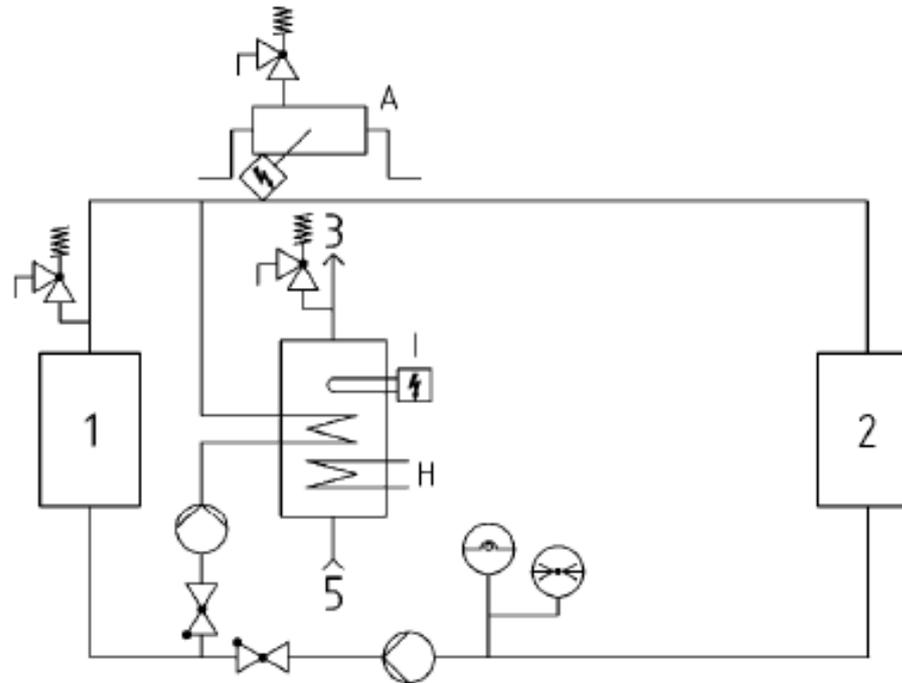


NORMA DI RIFERIMENTO UNI EN 15450:2008

- Schemi di collegamento tra pompa di calore e impianto
- Posizione dell'accumulo d'impianto

SCHEMI DI CENTRALE TERMICA E OTTIMIZZAZIONE DELL'EFFICIENZA

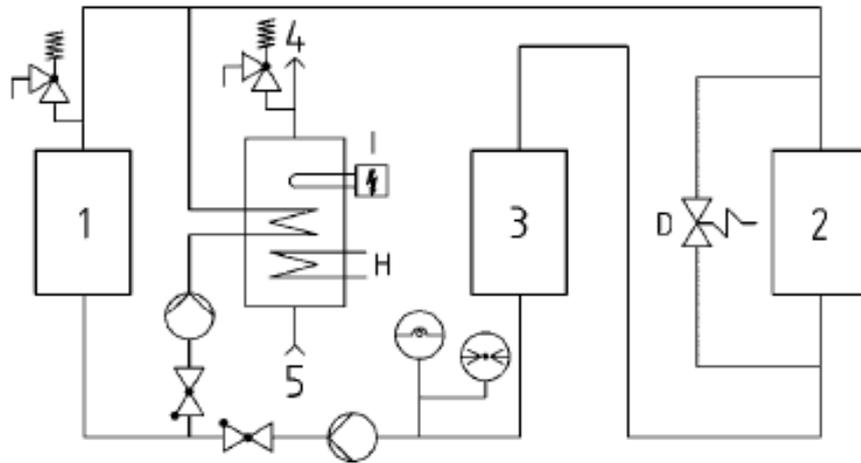
Pompa di calore collegata direttamente al sistema di emissione



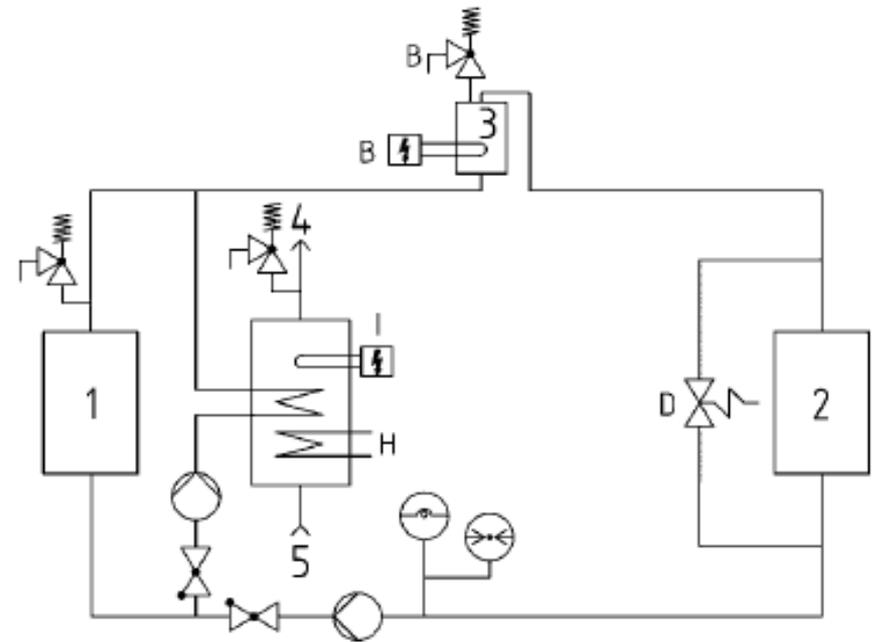
Key

- 1 heat pump using outdoor air or ground (bore hole heat exchanger) as heat source
- 2 heat distribution, emission system
- 3 domestic hot water storage
- 5 cold water supply
- A: optional electrical backup heating with safety valve
- G optional external heat exchanger for domestic hot water production
- H optional solar collector (only with Figure B.2.a)
- I optional electrical backup heating for domestic hot water production

Accumulo di acqua tecnica in serie



Accumulo sul ritorno

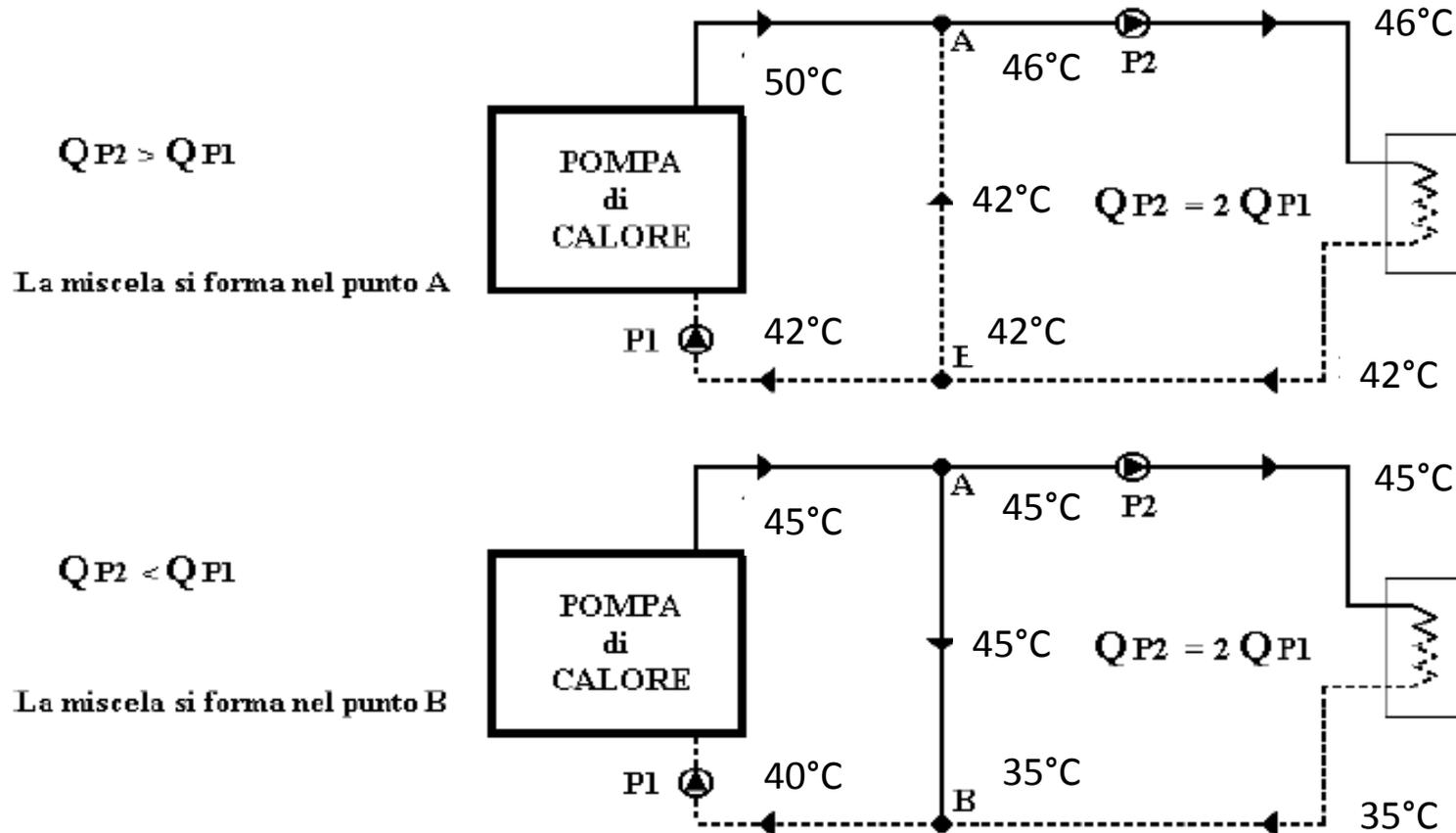


Accumulo sulla mandata

Key:

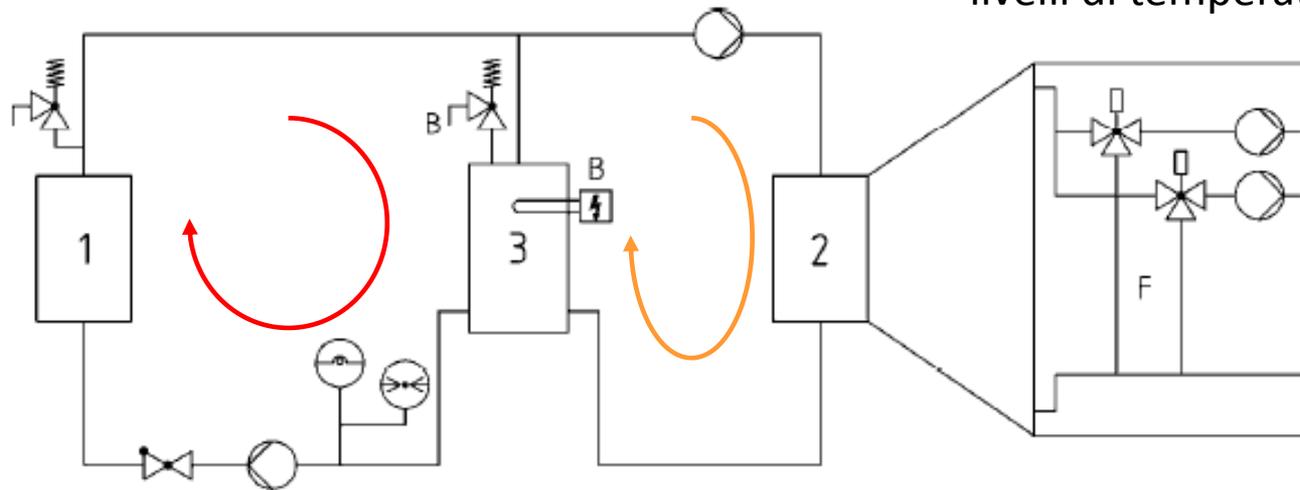
- 1 heat pump using outdoor air or ground (bore hole heat exchanger) as heat source
- 2 heat distribution, emission system
- 3 water buffer storage for space heating
- 4 domestic hot water storage
- 5 cold water supply
- B optional electrical backup heating with safety valve (only with Figures B.4.c and B.4.d)
- D optional overflow valve to use with thermostatic valves in heat emission system
- G optional external heat exchanger for domestic hot water production
- H optional solar collector (only with Figures B.4.a and B.4.c)
- I optional electrical backup heating for domestic hot water production

Sistemi in separazione idraulica



La formazione di miscela porta ad una inefficienza

Sistemi in separazione idraulica - Accumulo verticale

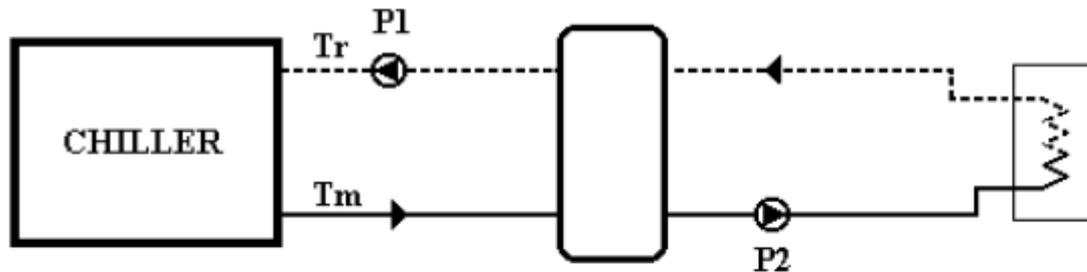


Secondario con più
livelli di temperatura

Sistemi in separazione idraulica – Accumulo verticale

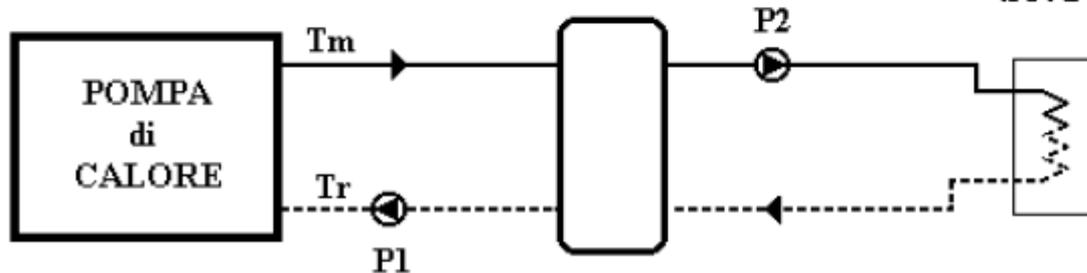
Formazione di miscela nell'accumulo in relazione alle portate tra primario e secondario

Stratificazione da considerare in caso di raffreddamento a basse temperature (privilegiare funzionamento estivo)



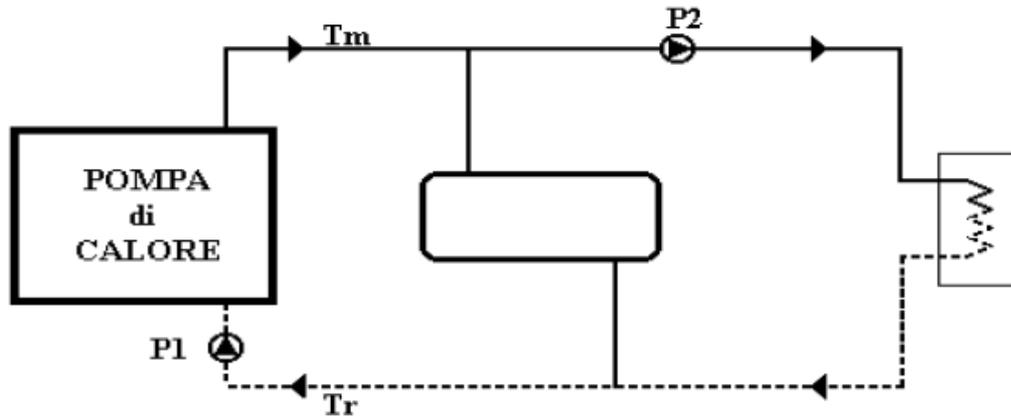
Se $P1 > P2$ l'accumulo si trova alla temperatura Tm

Se $P1 < P2$ l'accumulo si trova alla temperatura Tr



Sistemi in separazione idraulica – Accumulo orizzontale

Accumulo orizzontale con funzione di disconnettore idraulico



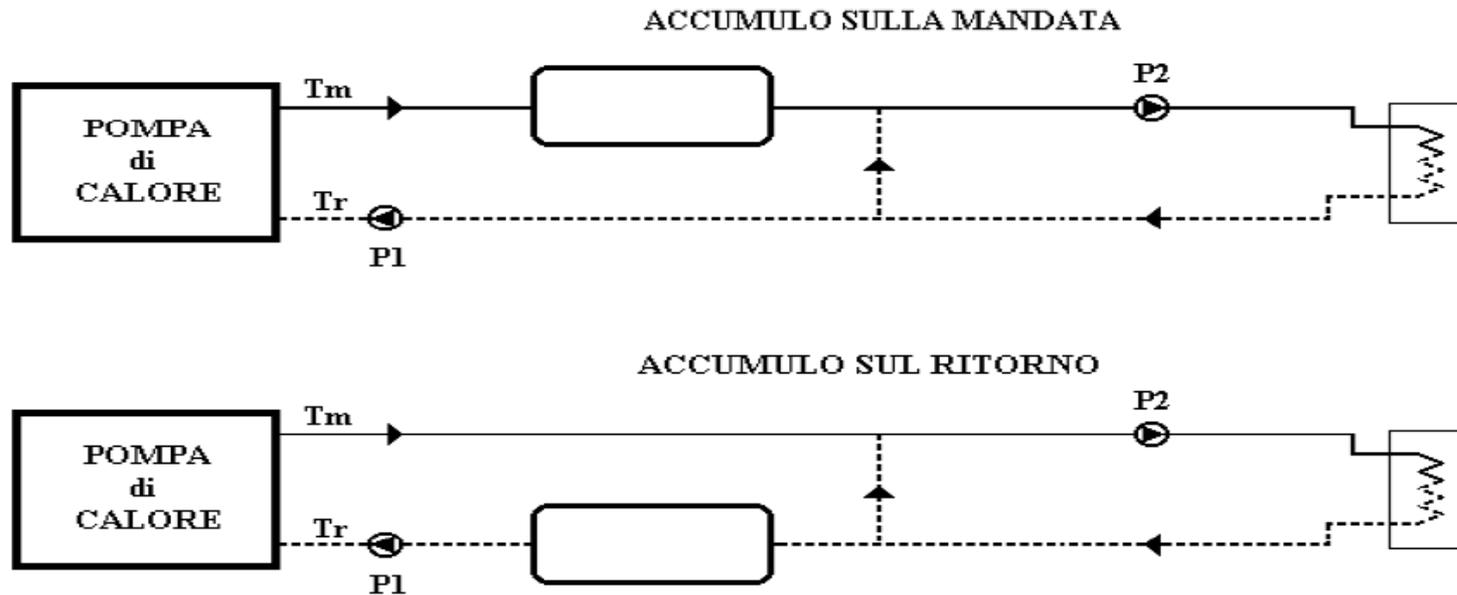
Se $P1 > P2$ l'accumulo si trova alla temperatura Tm

Se $P1 < P2$ l'accumulo si trova alla temperatura Tr

Il sistema è consigliato per le pompe di calore che svolgono anche il raffrescamento, perché, rispetto all'accumulo verticale, riduce le perdite per stratificazione dovute alla mancata inversione idraulica nel cambio di stagione.

E', tuttavia, da evitare, nel caso in cui le portate delle due pompe siano uguali tra loro: infatti, la circolazione attraverso l'accumulo sarebbe pressoché nulla, fatta salva una minima circolazione naturale, assolutamente irrilevante, e il volume del serbatoio sarebbe ininfluenza ai fini dell'inerzia dell'impianto

Sistemi in separazione idraulica – accumulo in serie e tubo compensatore



Sintesi

La pompa di calore con accumulo in serie ha efficienze più elevate, dato che la temperatura di mandata al condensatore è direttamente quella in utilizzo all'impianto, a scapito di una minore flessibilità dell'impianto.

L'accumulo d'impianto ha la funzione, come detto in precedenza, di aumentare l'inerzia del sistema e allungare quindi i tempi di funzionamento e di spegnimento della macchina.

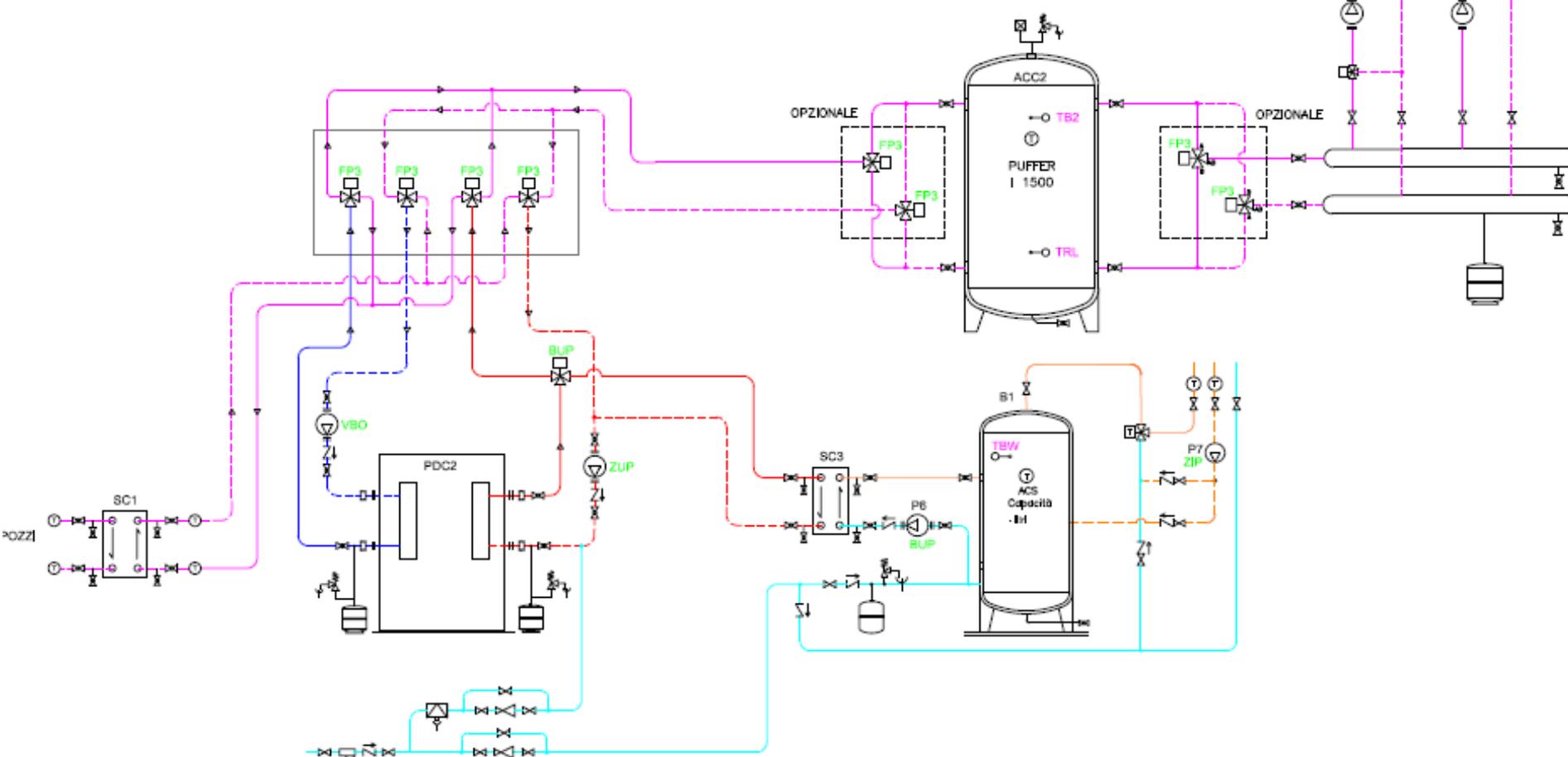
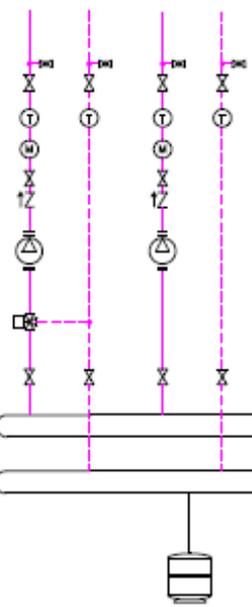
REVERSIBILITA' DI CICLO

Reversibilità di ciclo idraulica

IMPIANTO AD ACQUA DI FALDA
RAFFRESCAMENTO SOLO ATTIVO
CIRCUITO INTERMEDIO SENZA GLICOLE

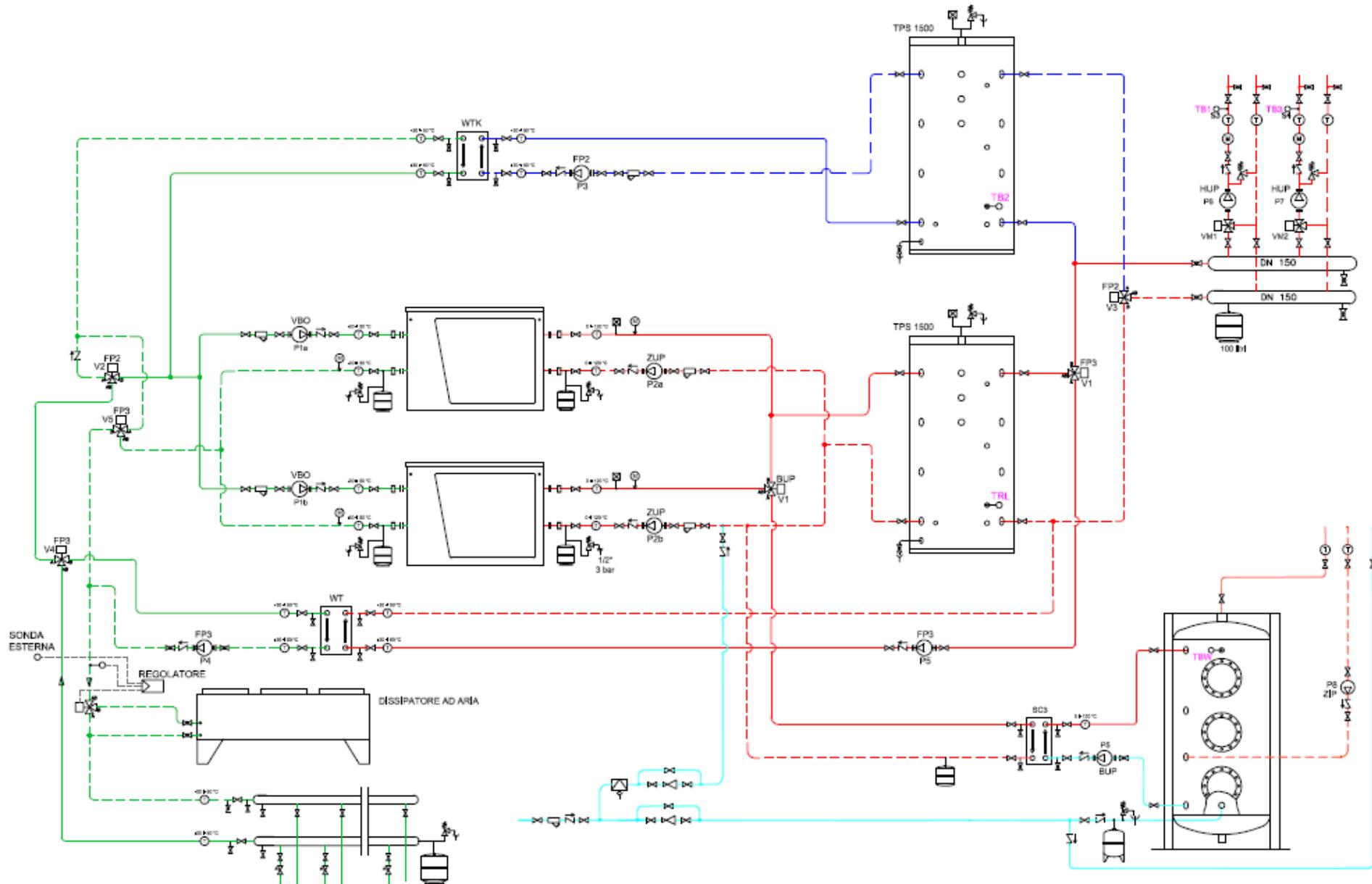


CIRCUITO MISCELATO
CIRCUITO TRIFASICO

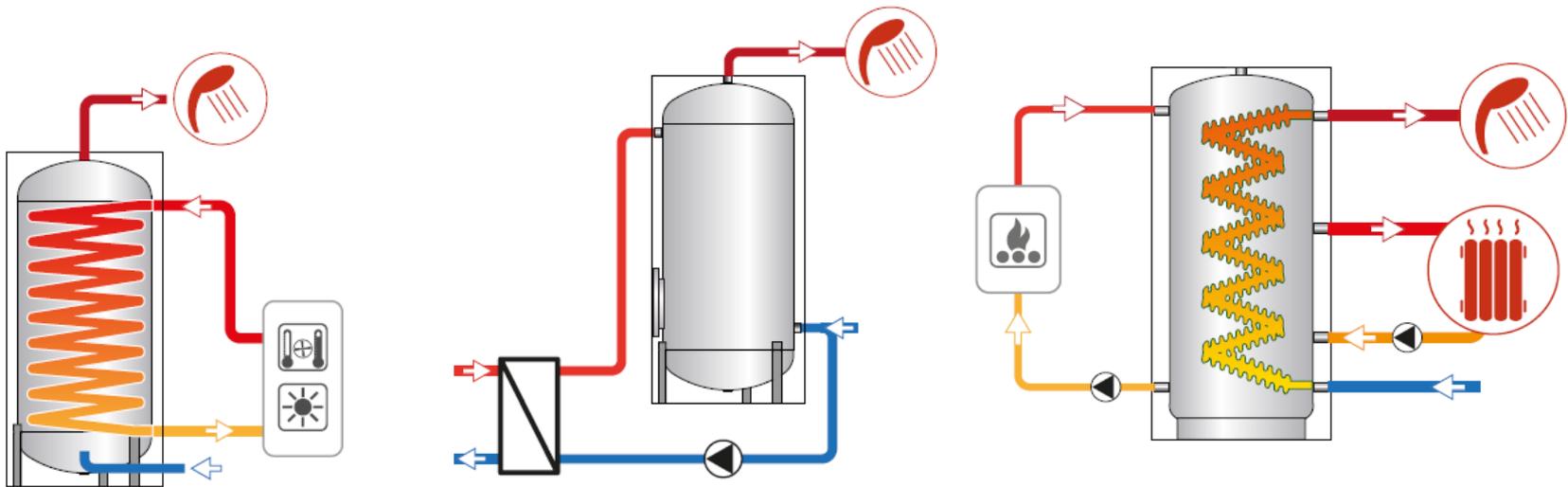




Reversibilità di ciclo idraulica



LA PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA CON LE POMPE DI CALORE



LA PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA CON LE POMPE DI CALORE

- Produzione acqua calda sanitaria
 - Bollitore con serpentino interno
 - Scambiatore esterno e accumulo di acqua sanitaria
 - Produzione istantanea con scambiatore interno
 - Produzione istantanea con scambiatore esterno

Bollitore con serpentino interno – calcolo della superficie di scambio

Superficie di scambio del serpentino

$$S = Q / (U \times \Delta T_{ml})$$

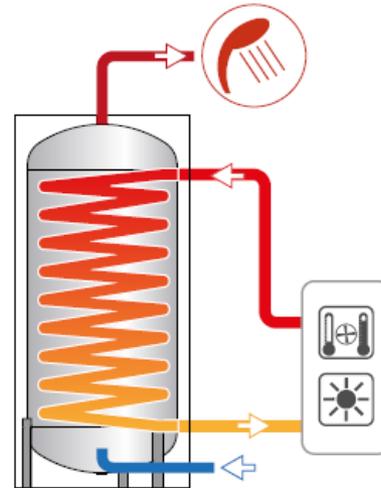
Con $U = 581 \text{ W/m}^2\text{K}$ per tubi in ferro

$U = 605 \text{ W/m}^2\text{K}$ per tubi in rame

$$\Delta T_{ml} = (\Delta T1 - \Delta T2) / \ln (\Delta T1 / \Delta T2)$$

$\Delta T1$ = salto termico fluido scaldante

$\Delta T2$ = salto termico fluido riscaldato



Bollitore dedicato all'utilizzo con pompe di calore con serpentino maggiorato (rispetto ai bollitori tradizionali per caldaie)

Esempio:

Pompa di calore 12 kW

$$\Delta T1 = 7 \text{ K (55 - 48)}$$

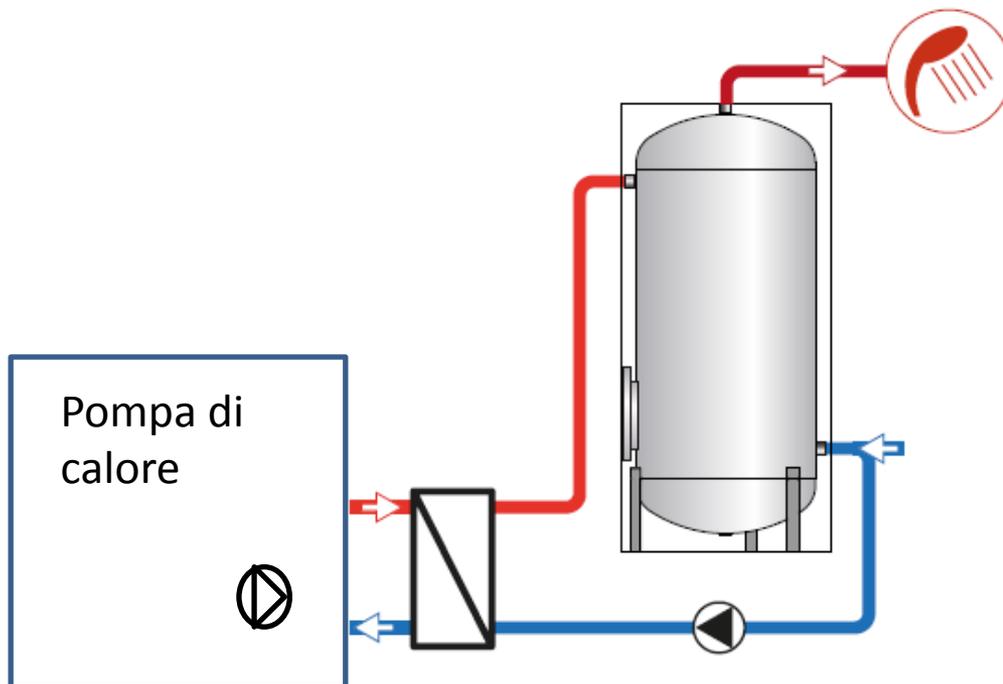
$$\Delta T2 = 5 \text{ K (50 - 45)}$$

$$U = 581 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\rightarrow S = 3,47 \text{ m}^2$$

Dimensioni (*)		
Id	u.m.	300
D	mm	590
d	mm	480
H	mm	1820
E - S	pollici	1"
AS1 - AS2	pollici	1 1/4"
EK - UK	pollici	1"
SD	pollici	3/4"
R	pollici	2"
A	pollici	1 1/4"
An	pollici	--
T	pollici	1/2"
U	pollici	1"
ISP	mm	Ø 120
Superficie scambiatore elicoidale maggiorato	mq	4,2
Peso a vuoto (**)	kg	120

Bollitore con scambiatore esterno



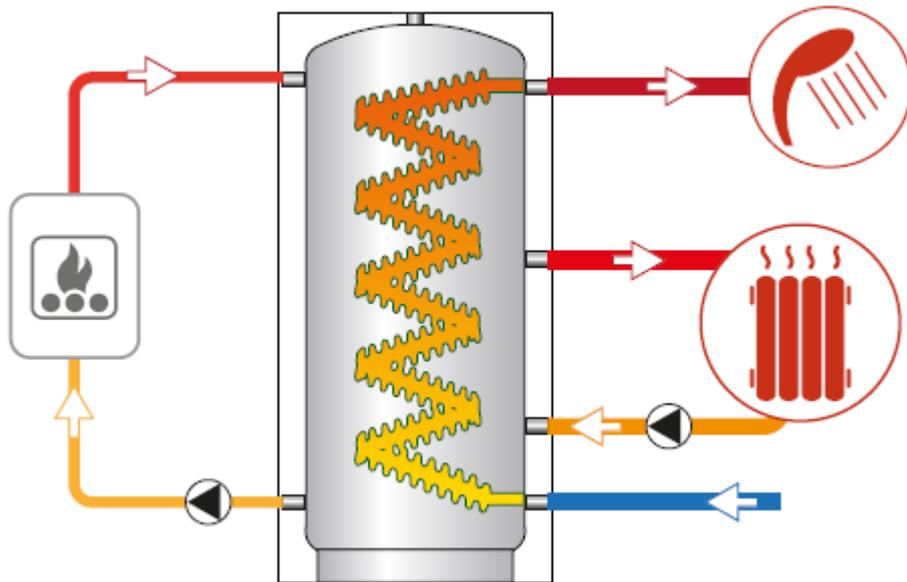
Pro:

- Superficie di scambio indipendente dal bollitore
- Possibilità di adeguamento delle superficie di scambio
- Agevole pulizia delle superfici di scambio termico

Contro:

- Necessità di pompa di circolazione aggiuntiva
- Maggior costo
- Maggior ingombro

Produzione istantanea con serpentino immerso in accumulo di acqua tecnica



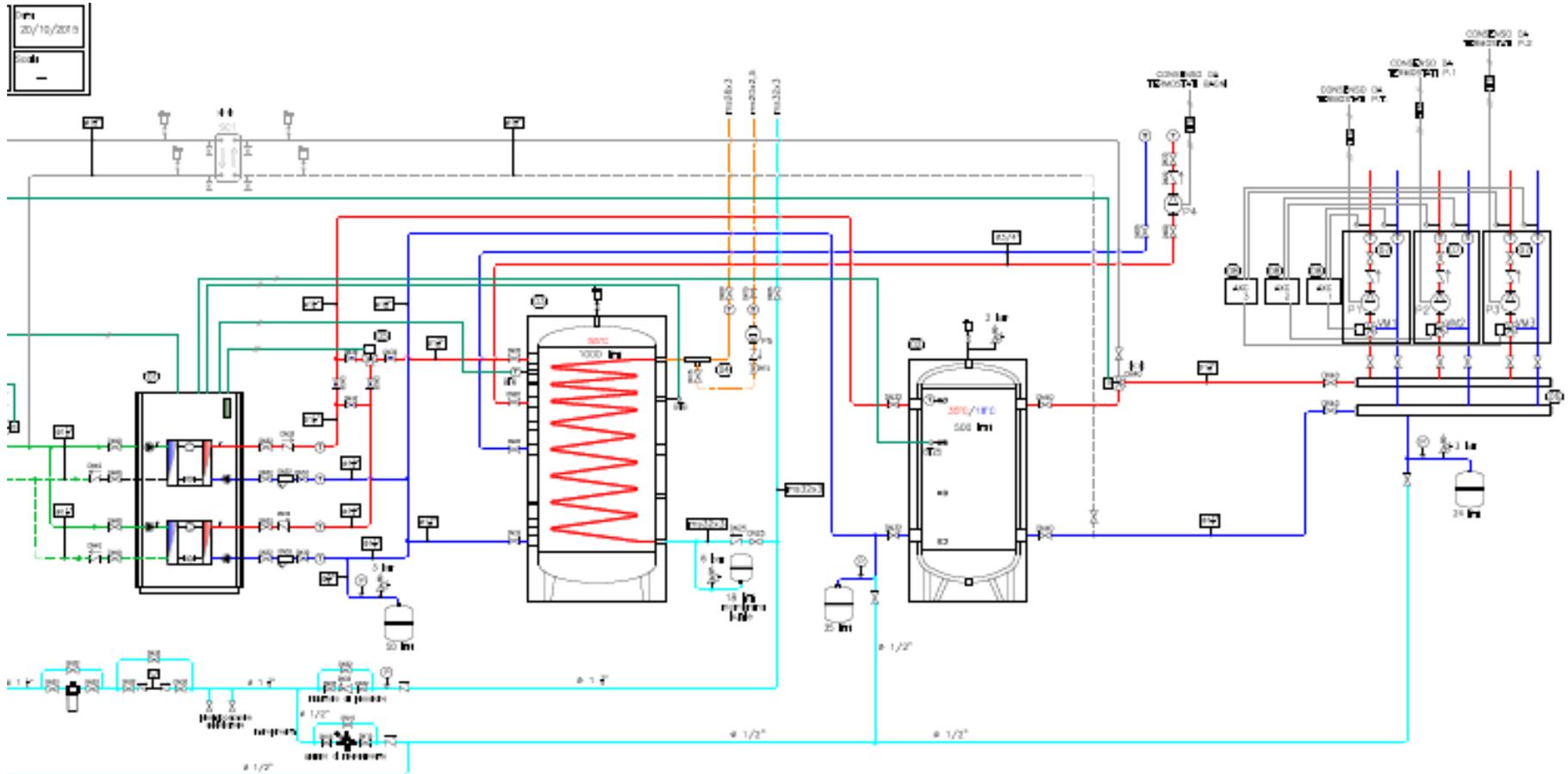
Pro:

- Produzione istantanea → minori necessità di trattamento antilegionella
- Possibilità di utilizzo dell'accumulo per alimentare utenze ad alta temperatura.

Contro:

- Produzione ACS limitata
- Dimensioni notevoli dell'accumulo per avere una superficie di scambio termico adeguata

Produzione istantanea con serpentino immerso in accumulo di acqua tecnica



Produzione istantanea con serpentino immerso in accumulo di acqua tecnica

			VOLUME ACCUMULO INTERAMENTE RISCALDATO		VOLUME ACCUMULO RISCALDATO SOLO NELLA PARTE SUPERIORE	
Modello	Volume circuito sanitario	Superficie scambiatore sanitario corrugato	Portata massima acqua sanitaria producibile in continuo da 10 a 45°C con accumulo a 65°C e generatore in funzione	Prelievo unico di ACS da 10 a 45°C da accumulo a 65°C e generatore spento	Portata massima acqua sanitaria producibile in continuo da 10 a 45°C con accumulo a 65°C e generatore in funzione	Prelievo unico di ACS da 10 a 45°C da accumulo a 65°C e generatore spento
	[litri]	[m ²]	[lt/min]	[litri]	[lt/min]	[litri]
500	26,6	4,5	29	10 lt/min: 354 lt	15	10 lt/min: 102 lt
				25 lt/min: 227 lt		25 lt/min: 75 lt
600	31	5,3	34	10 lt/min: 400 lt	18	10 lt/min: 115 lt
				25 lt/min: 257 lt		25 lt/min: 85 lt
800	33,4	5,8	37	10 lt/min: 587 lt	23	10 lt/min: 218 lt
				25 lt/min: 377 lt		25 lt/min: 160 lt

Potenza disponibile: **15 KW**

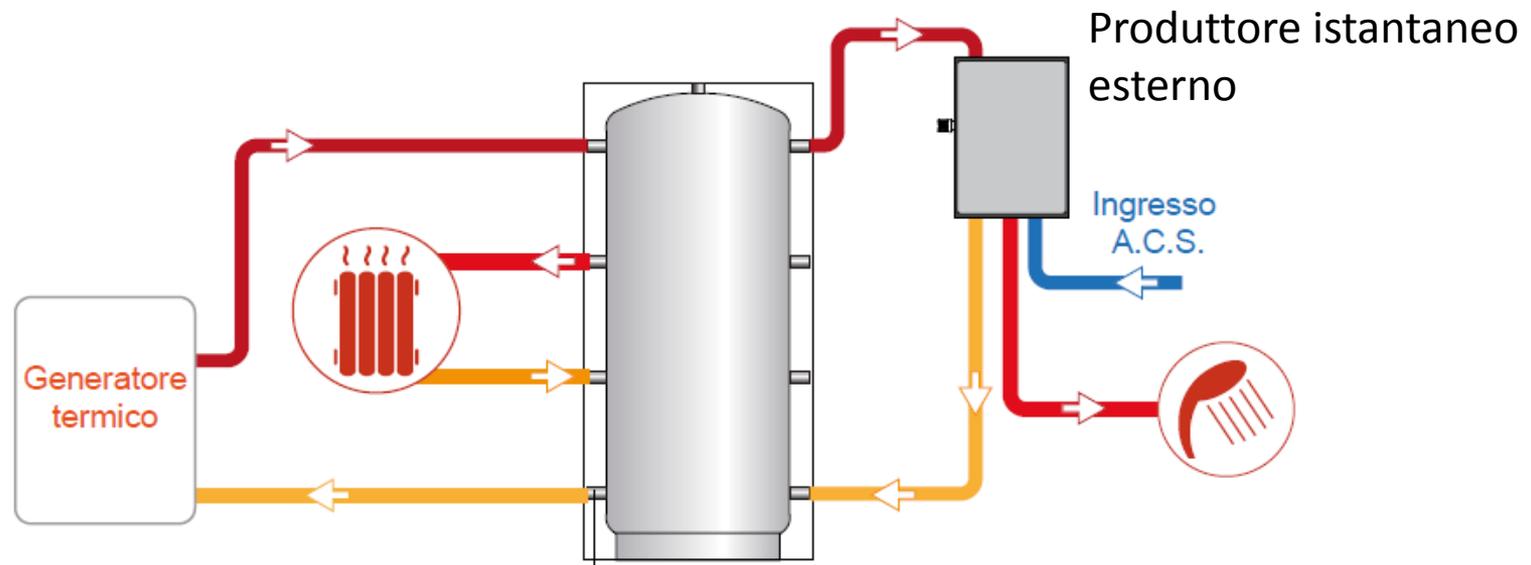
Produzione continua: 390 lt/h

Accumulo 52°

Primario 55°/45° ; Secondario 12°/45° Portata primario: 1290 lt/h

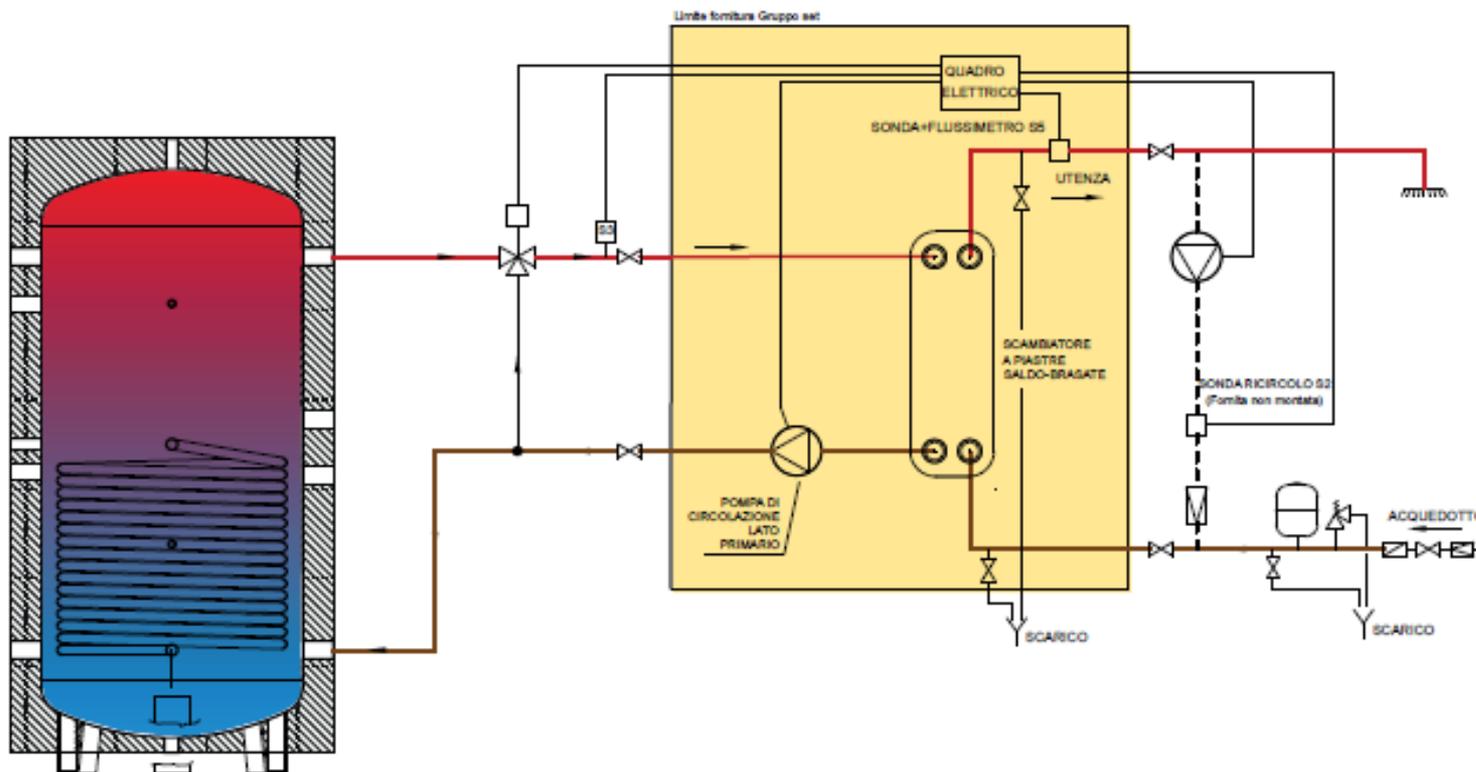
Modello (lt)	Prelievo primi 10 min.	Prelievo prima ora	Tempo regime
800	72 lt	549 lt	2 h 07 min
1000	72 lt	580 lt	2 h 34 min
1250	72 lt	623 lt	3 h 23 min
1500	78 lt	673 lt	4 h 01 min
2000	78 lt	738 lt	5 h 17 min

Scambiatore esterno per produzione istantanea



Scambiatore esterno per produzione istantanea

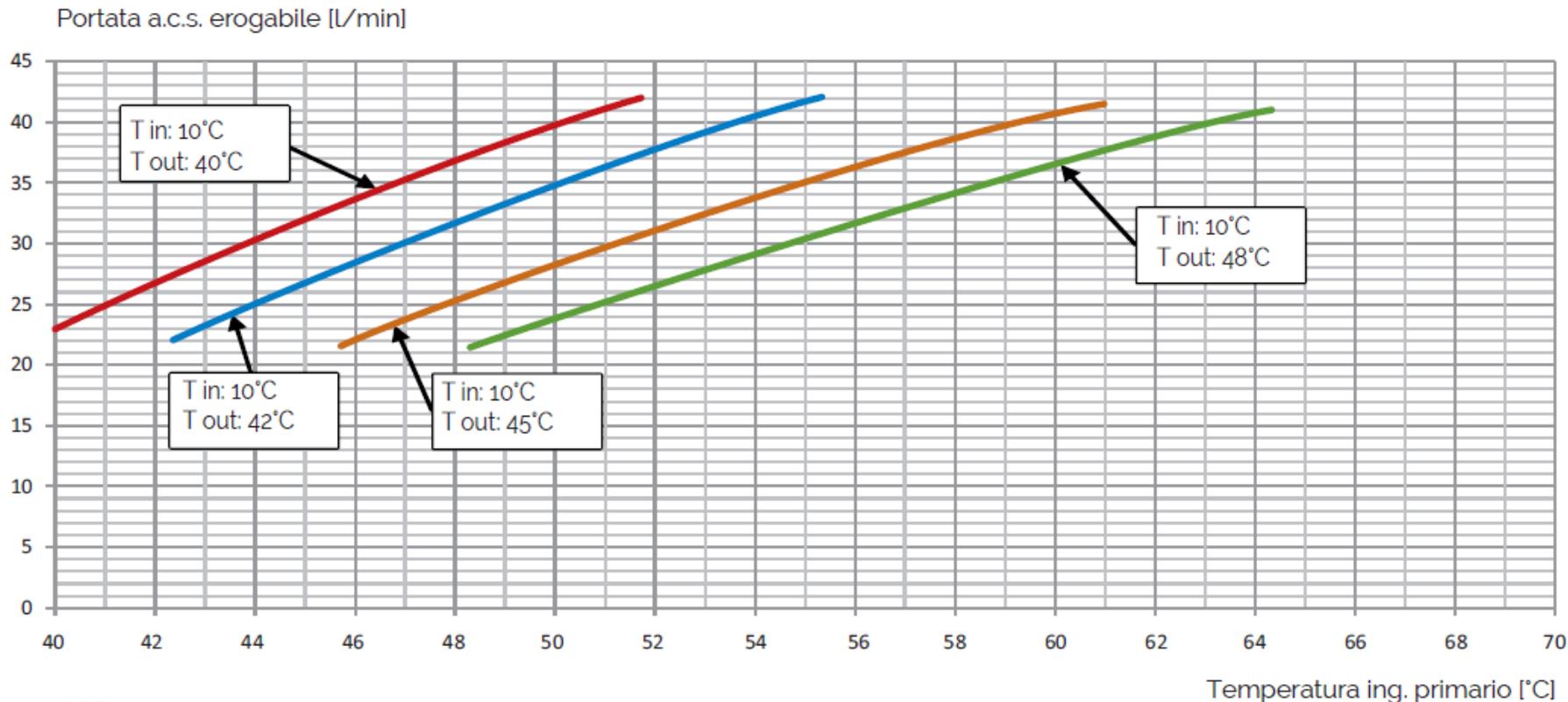
Schema di dettaglio



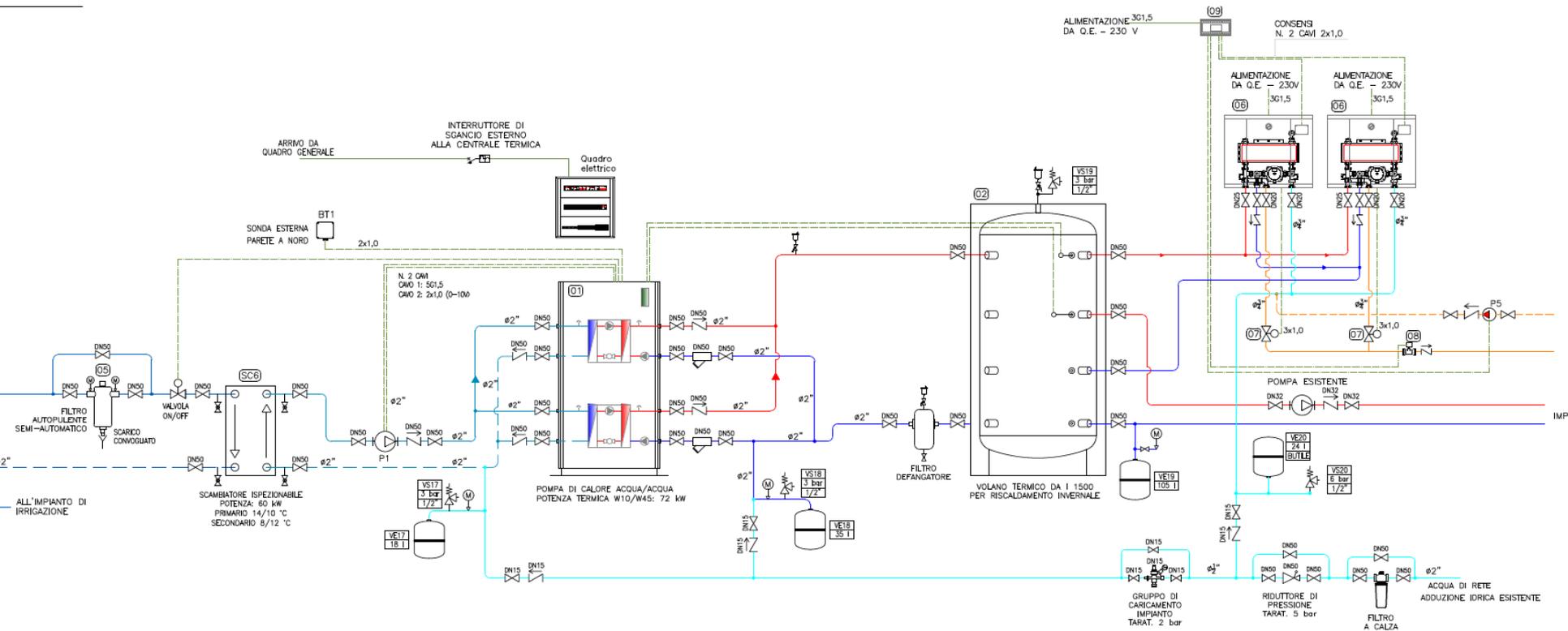
Scambiatore esterno per produzione istantanea

Soluzione preferibile per il funzionamento della macchina

Verificare le rese dello scambiatore



Scambiatore esterno per produzione istantanea



LA REGOLAZIONE DELLA MACCHINA

FUNZIONI DELLA REGOLAZIONE

FUNZIONI BASE DELLA REGOLAZIONE

- Mantenere una temperatura di set-point del fluido termovettore, con il minimo pendolamento.
- Minimizzare il consumo di energia.
- Ottimizzare il funzionamento del compressore per aumentarne la vita utile.

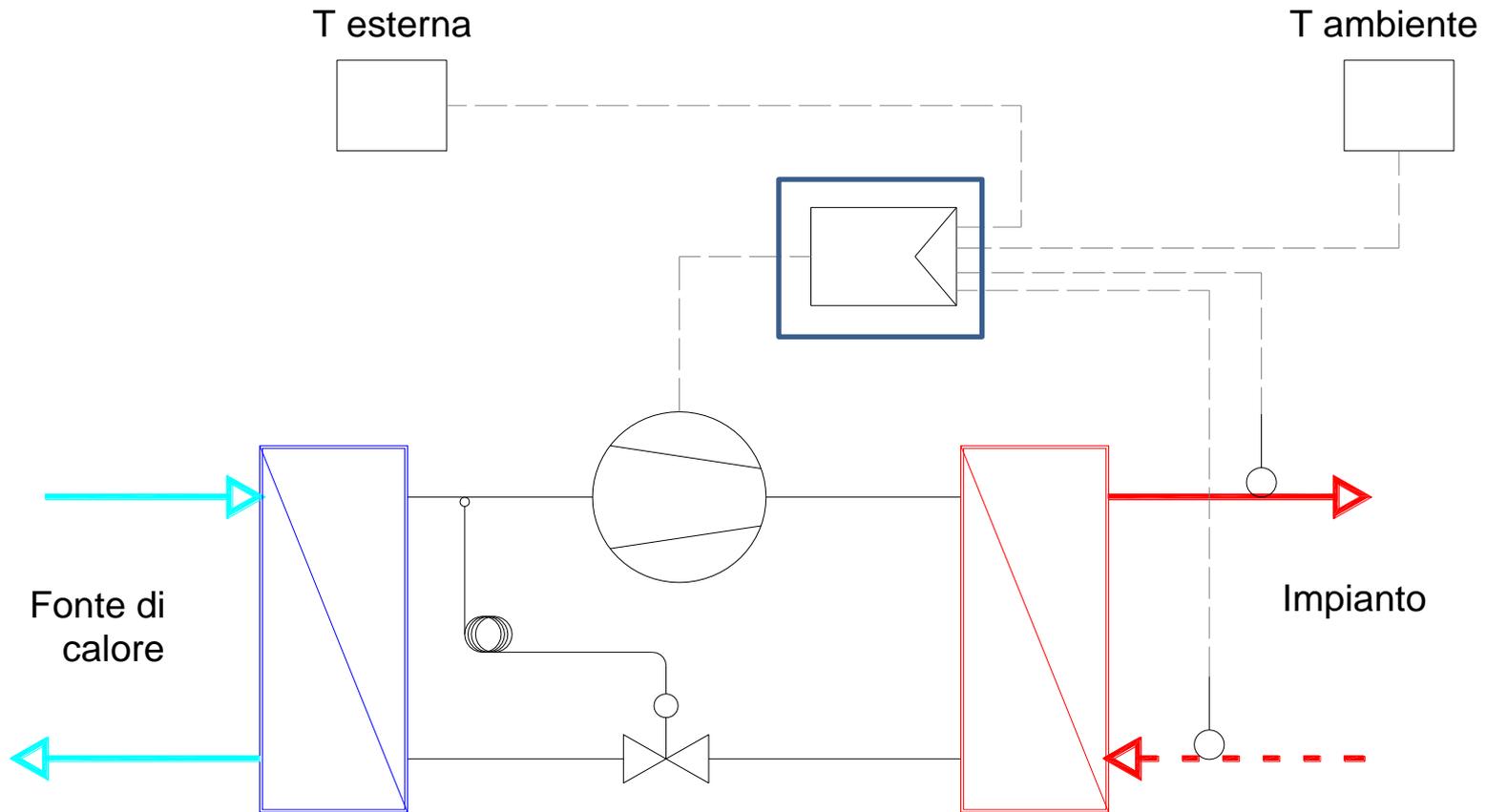
FUNZIONI E CARATTERISTICHE AGGIUNTIVE

- Controllo di dispositivi esterni alla pompa di calore
- Interfaccia agevole per l'utente
- Disponibilità di funzioni e informazioni utili alla diagnostica e assistenza tecnica

REGOLAZIONE DELLA MACCHINA

REGOLAZIONE DELLA MACCHINA

Componenti principali di un regolatore per pompe di calore



REGOLAZIONE DEL FUNZIONAMENTO DELLA POMPA DI CALORE

→ REGOLAZIONE DELLA TEMPERATURA DEL FLUIDO TERMOVETTORE

➤ Regolazione climatica o regolazione a punto fisso

➤ Regolazione in base a:

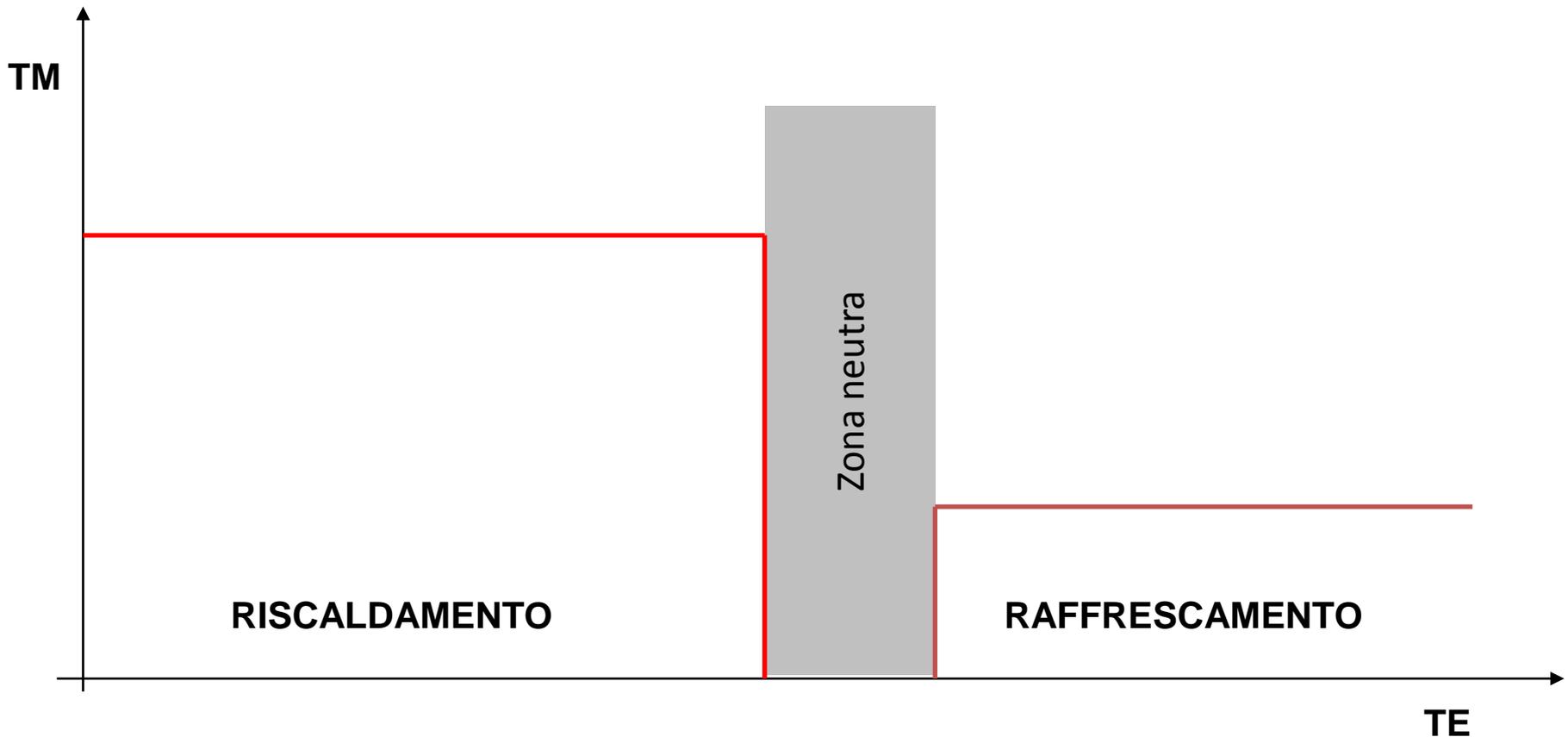
- temperatura di mandata impianto
- temperatura di ritorno impianto

⇒ **La regolazione determina le accensioni del compressore (on-off)**

⇒ **La regolazione determina le accensioni del compressore e la modulazione del numero di giri (inverter)**

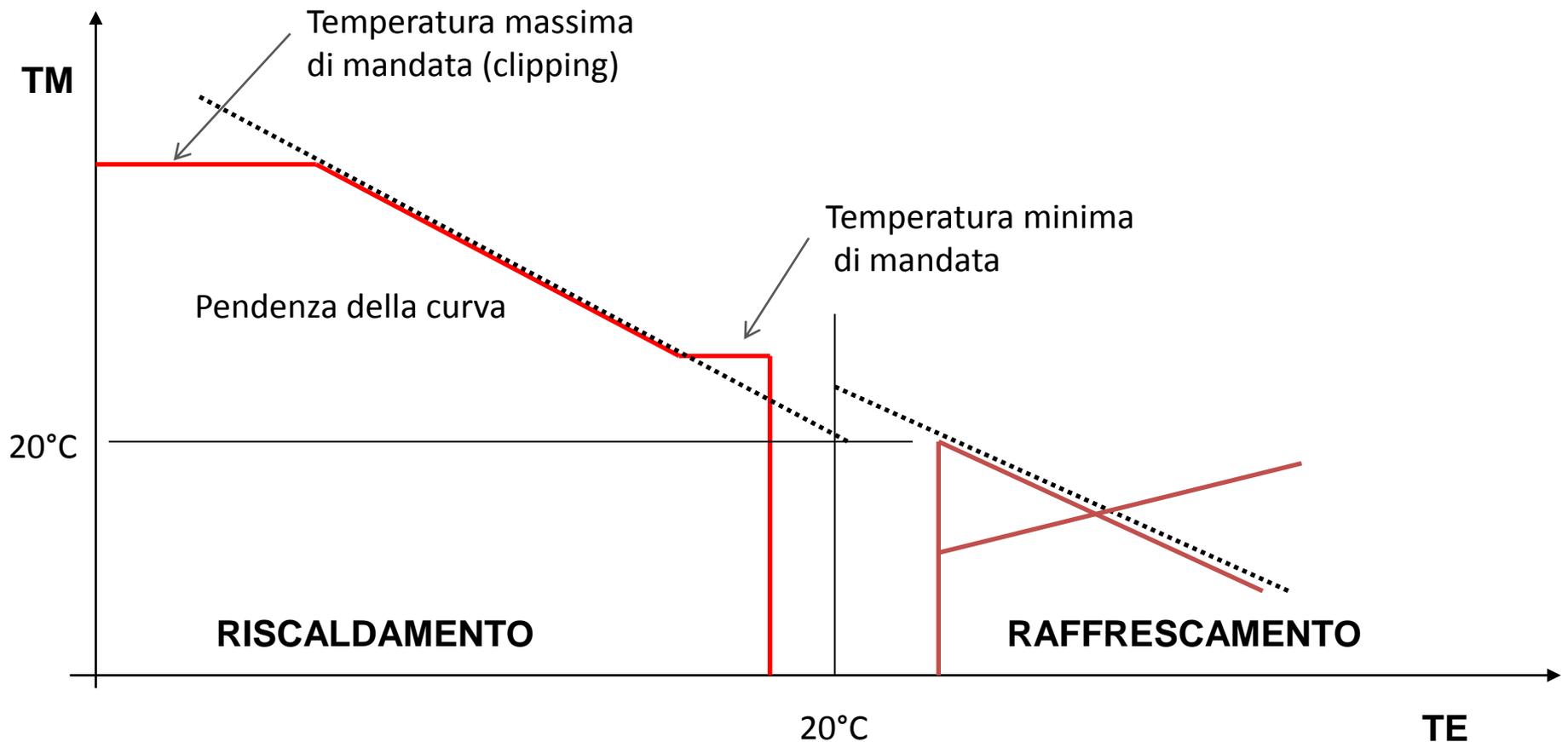
REGOLAZIONE A PUNTO FISSO

- Regolazione della temperatura (mandata o ritorno) indipendente dalla temperatura esterna.
- Indipendenza dal carico termico.

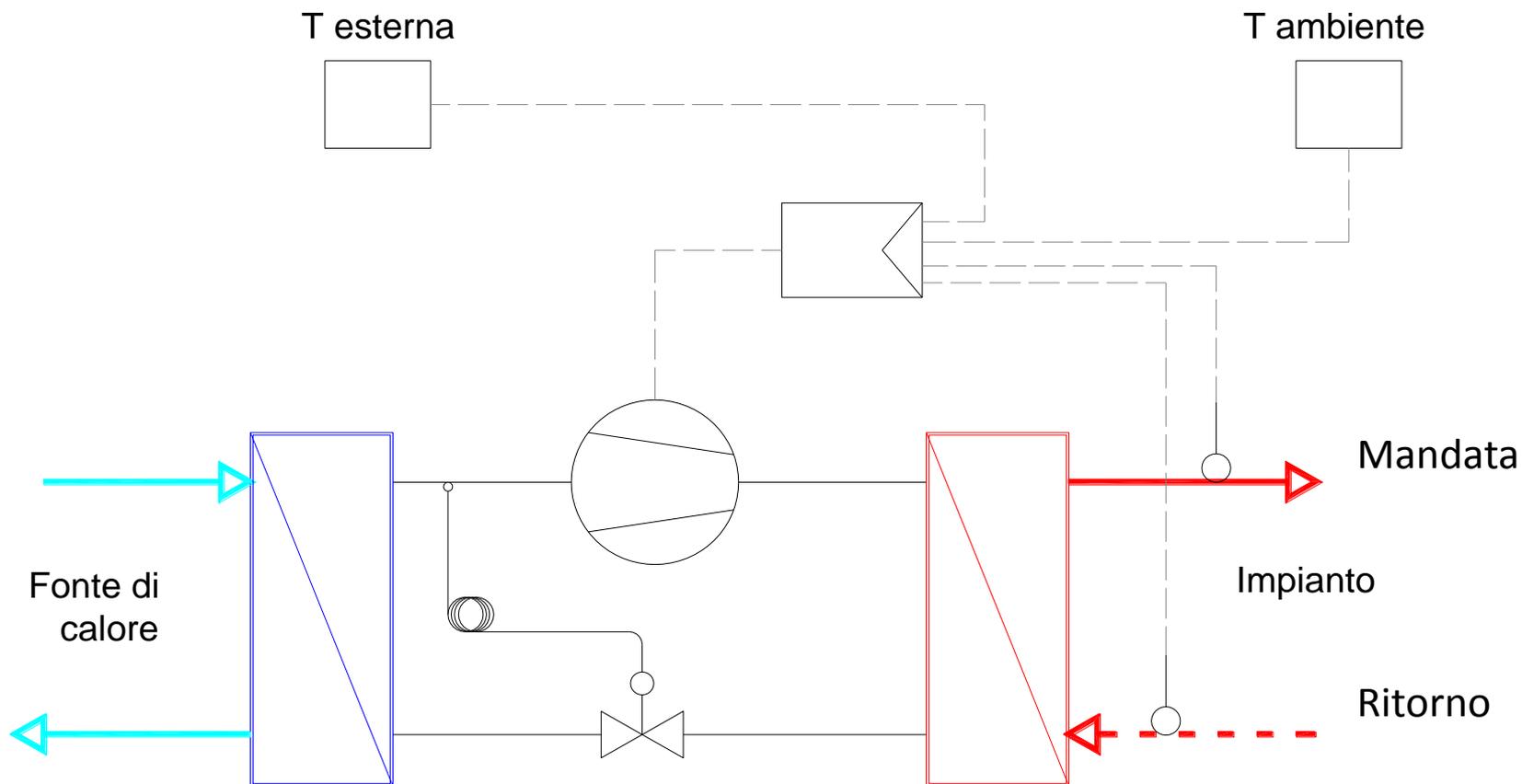


REGOLAZIONE CLIMATICA

- Regolazione della temperatura (mandata o ritorno) in funzione della temperatura esterna.
- Inseguimento del carico termico.



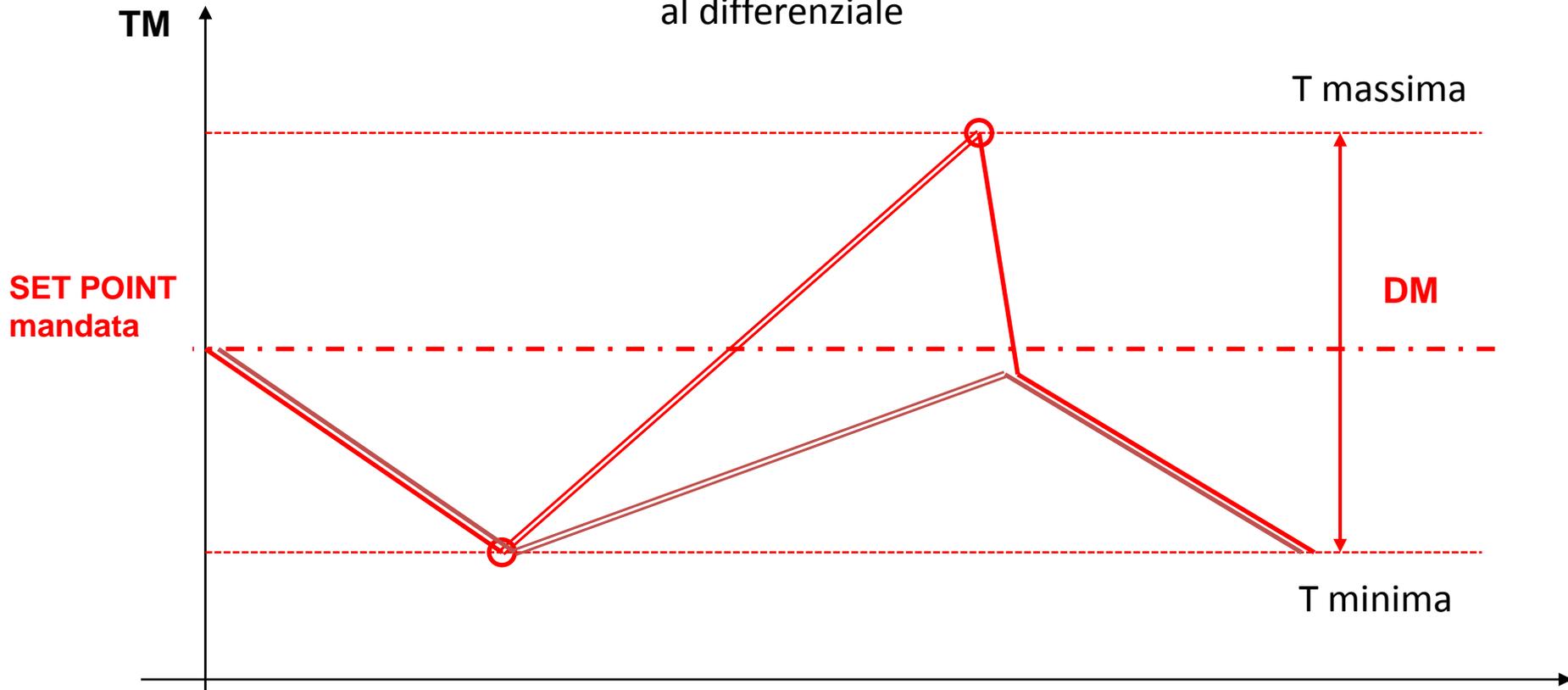
REGOLAZIONE SULLA T MANDATA O T RITORNO



REGOLAZIONE SULLA T MANDATA O T RITORNO

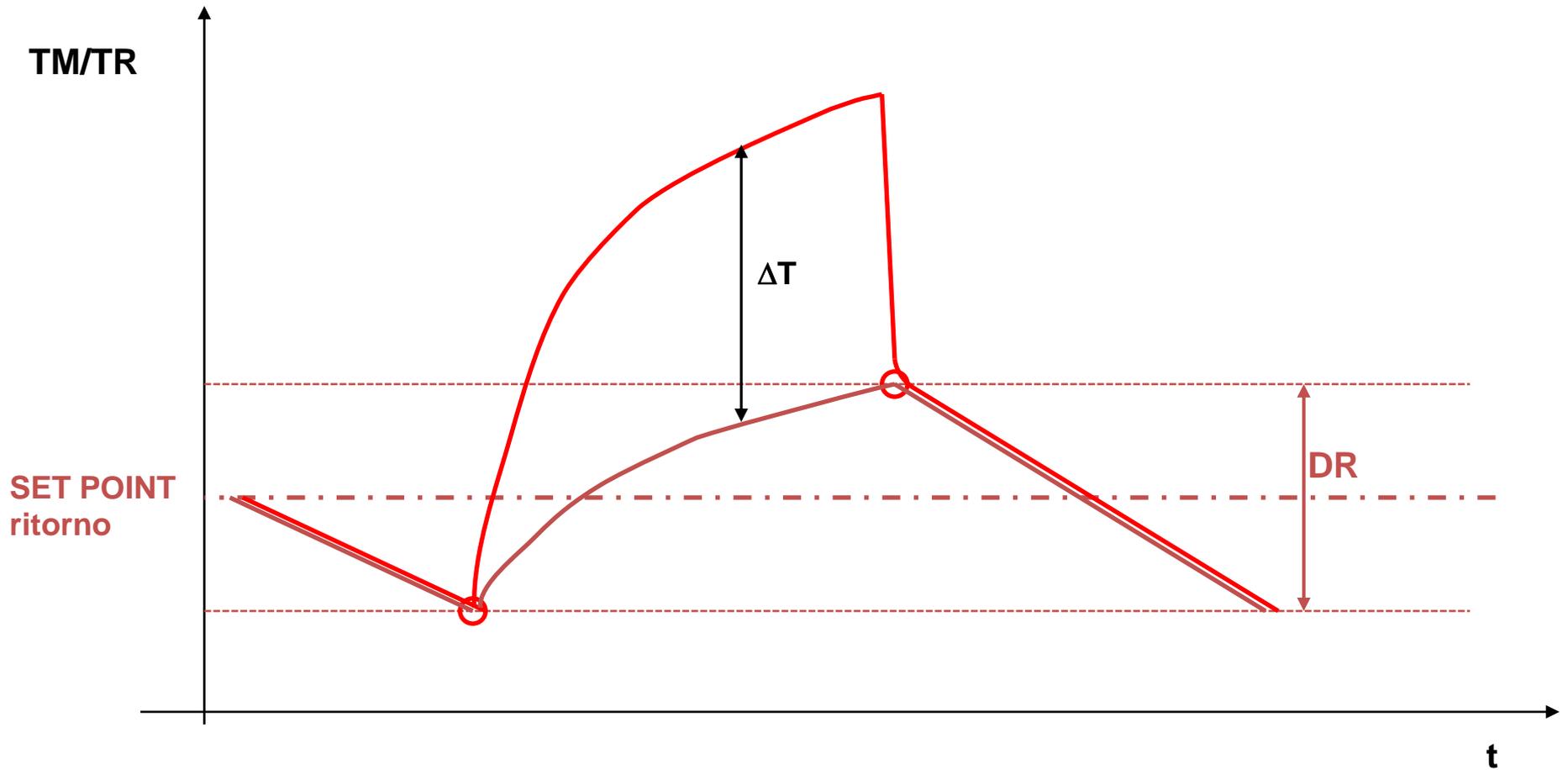
Regolazione sulla T mandata

Differenza tra T massima e T minima impianto pari al differenziale



REGOLAZIONE SULLA T MANDATA O T RITORNO

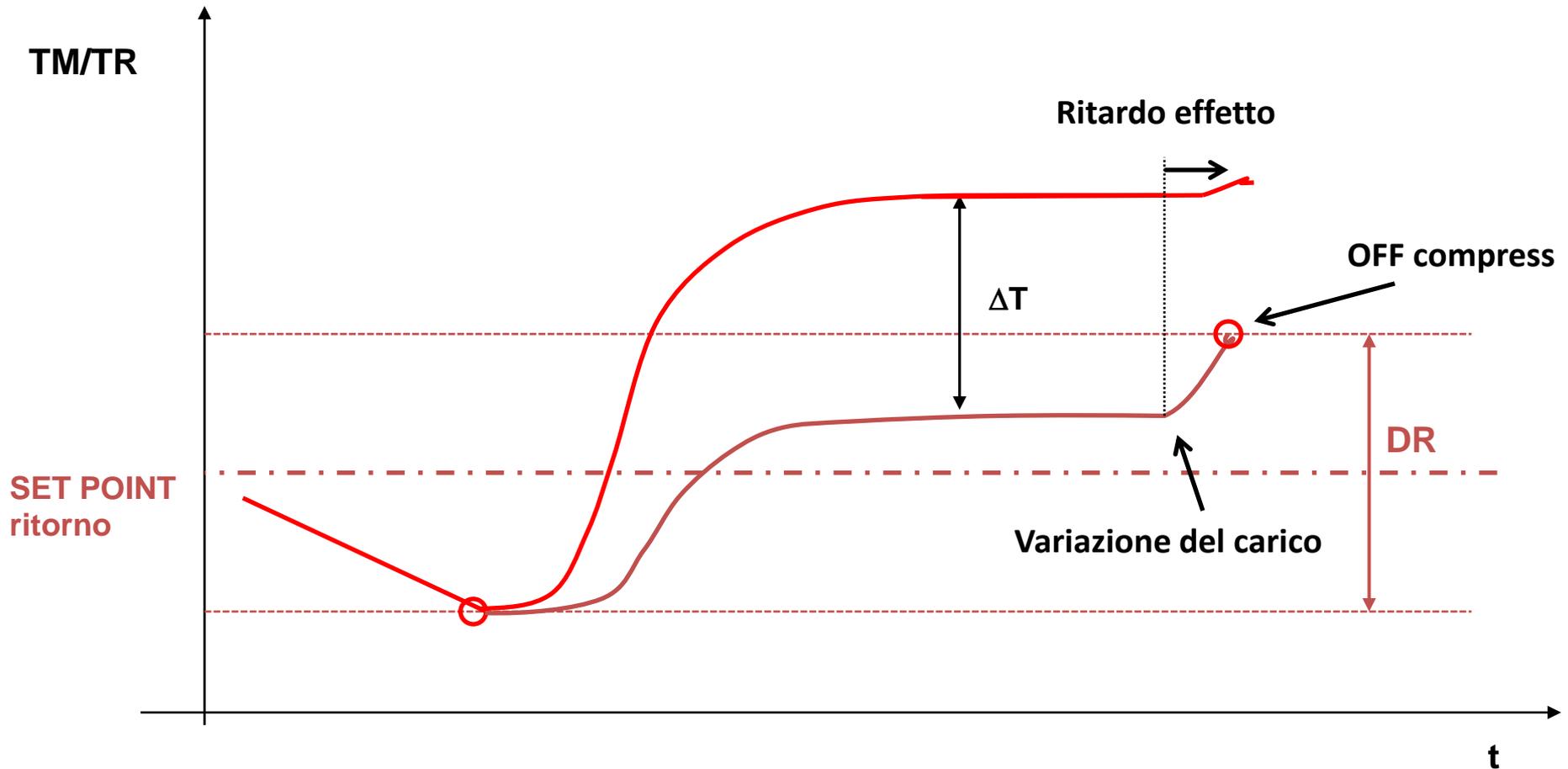
Regolazione sulla T di ritorno



REGOLAZIONE DELLA MACCHINA

REGOLAZIONE SULLA T MANDATA O T RITORNO

Regolazione sulla T di ritorno – sensibilità alla variazione del carico



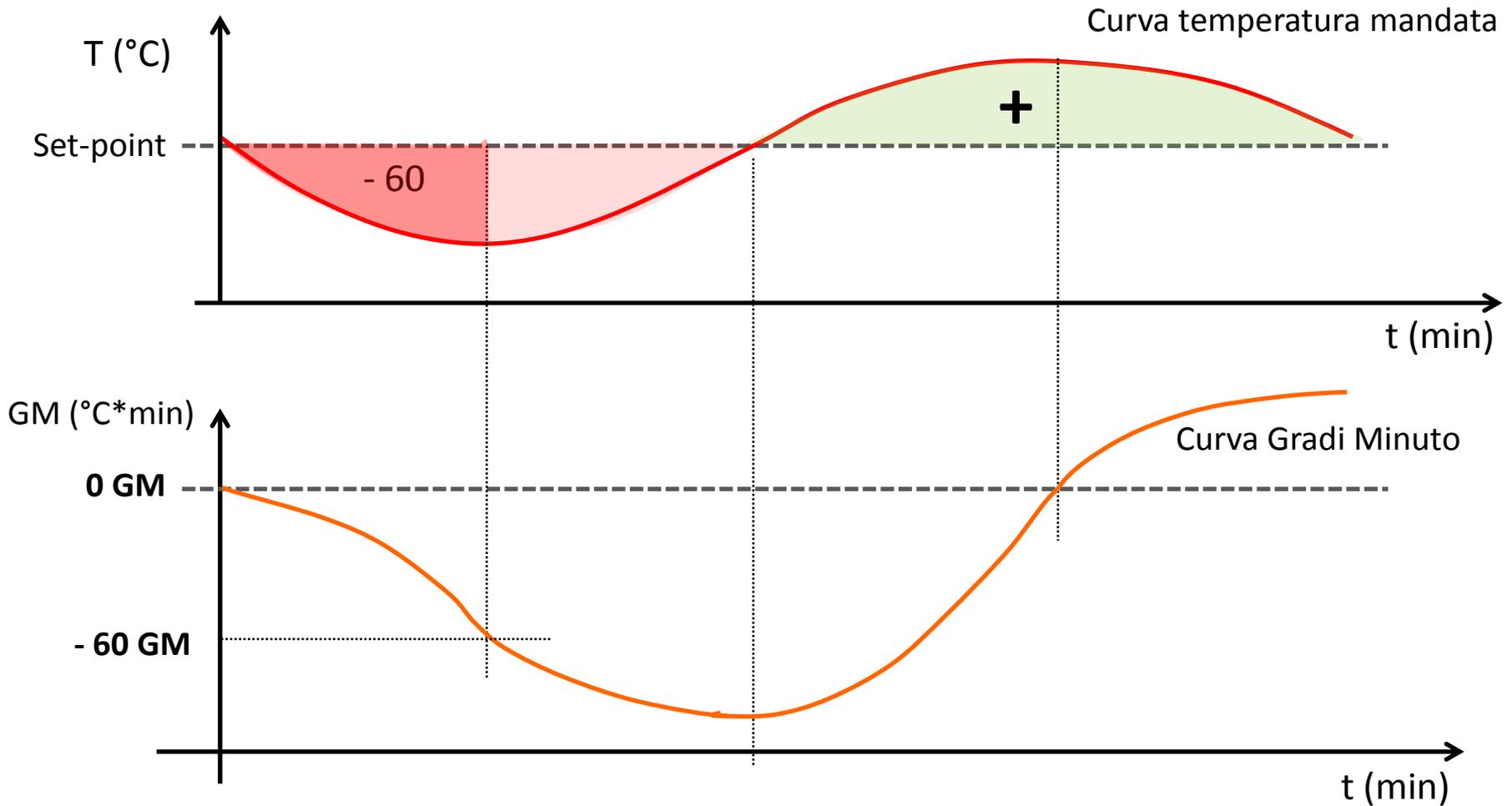
REGOLAZIONE DELLA MACCHINA

REGOLAZIONE SU T MANDATA vs REGOLAZIONE SU T RITORNO

REGOLAZIONE SUL RITORNO	REGOLAZIONE SULLA MANDATA
VANTAGGI	
+ Correlazione diretta tra variazione del carico e temperatura di ritorno (sensibilità agli apporti in ambiente)	+ Controllo della temperatura massima in mandata all'impianto
	+ Regolazione più intuitiva
SVANTAGGI	
- Regolazione meno intuitiva	- Necessario preciso posizionamento della sonda di temperatura (temperatura non stabile in uscita dallo scambiatore).
- Necessità di conoscere il salto termico al condensatore	
- Deriva termica del set-point nel caso di più compressori, in caso di differenziale impostato in modo non corretto.	

REGOLAZIONE SUI GRADI MINUTO

Definizione di Gradi Minuto: $\Sigma (T_{reale} - T_{set}) * t$



REGOLAZIONE SUI GRADI MINUTO

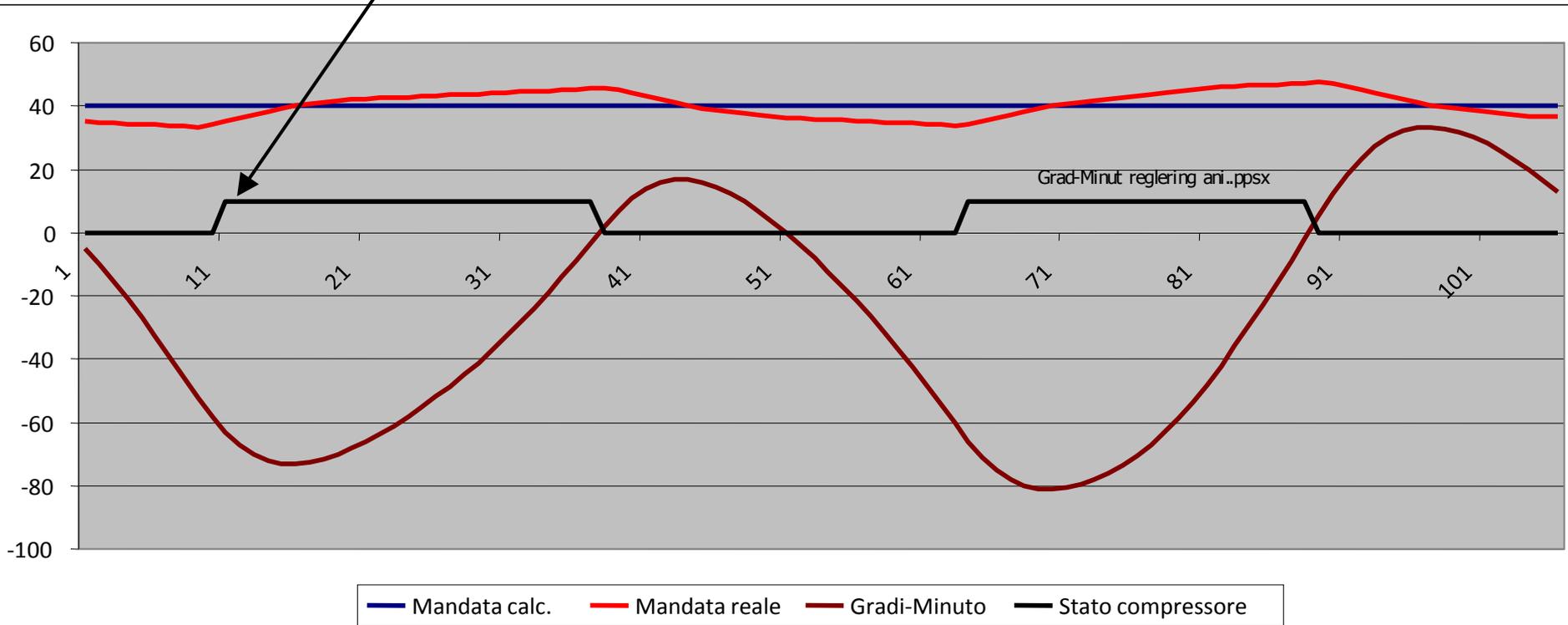
→ Temperatura di mandata calcolata

→ Temperatura di mandata reale

→ Gradi-Minuto

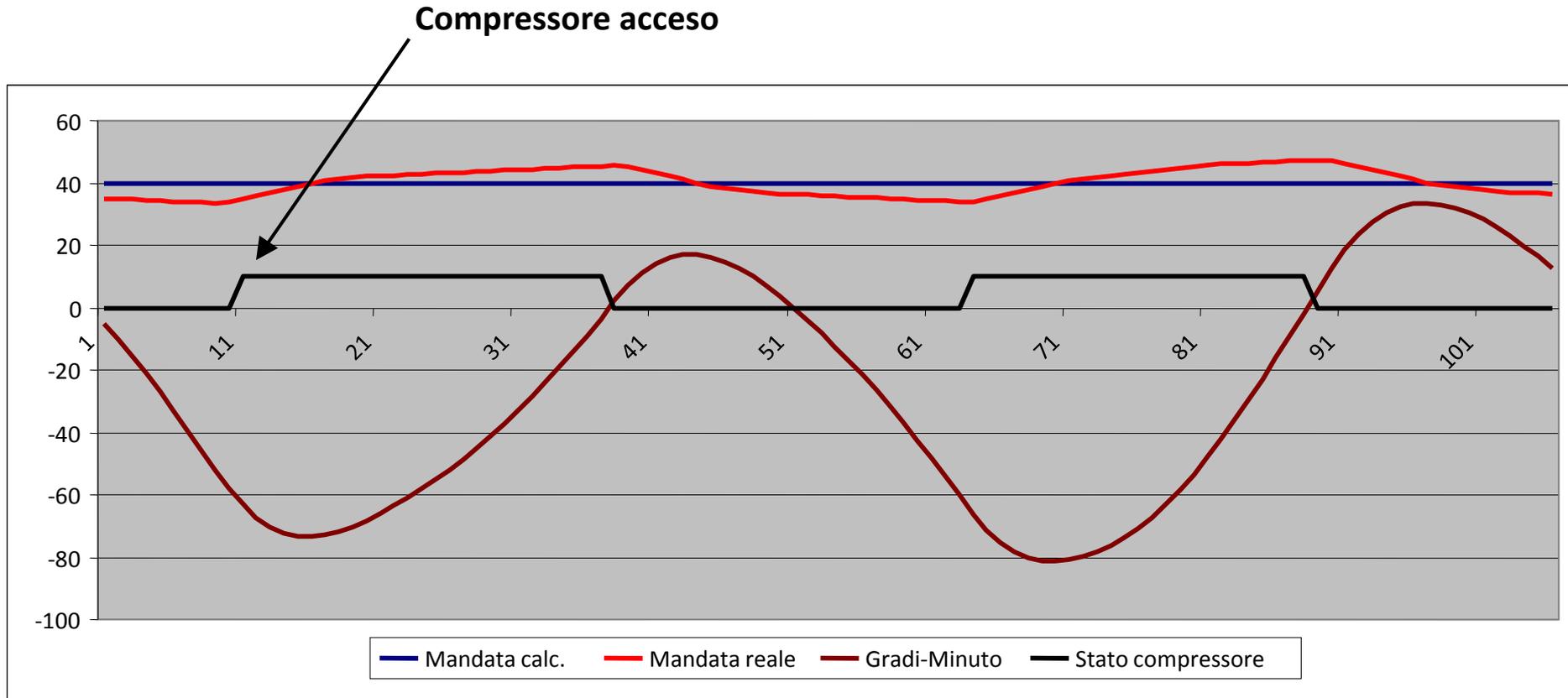
→ Stato compressore

Compressore acceso

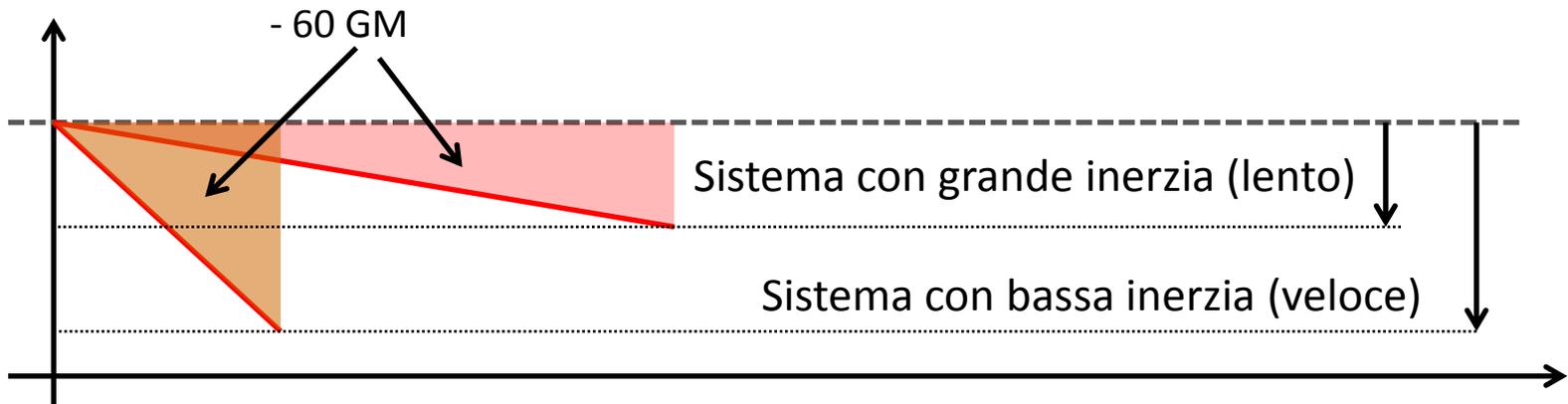


REGOLAZIONE SUI GRADI MINUTO

→ Tutti insieme in tempo reale



Gradi minuto e dinamica del sistema



- Differenziale variabile in base alla velocità del sistema
- Adattamento automatico della regolazione al contenuto d'acqua dell'impianto

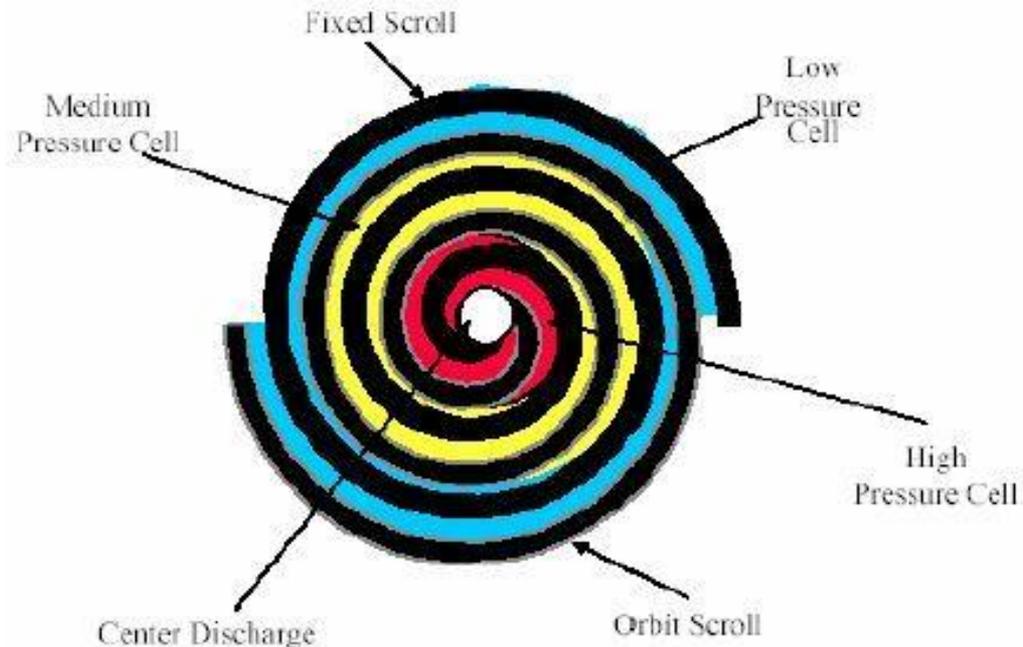
POMPE DI CALORE E INVERTER

USO DELL'INVERTER NEI COMPRESSORI SCROLL

Compressore scroll → compressore volumetrico

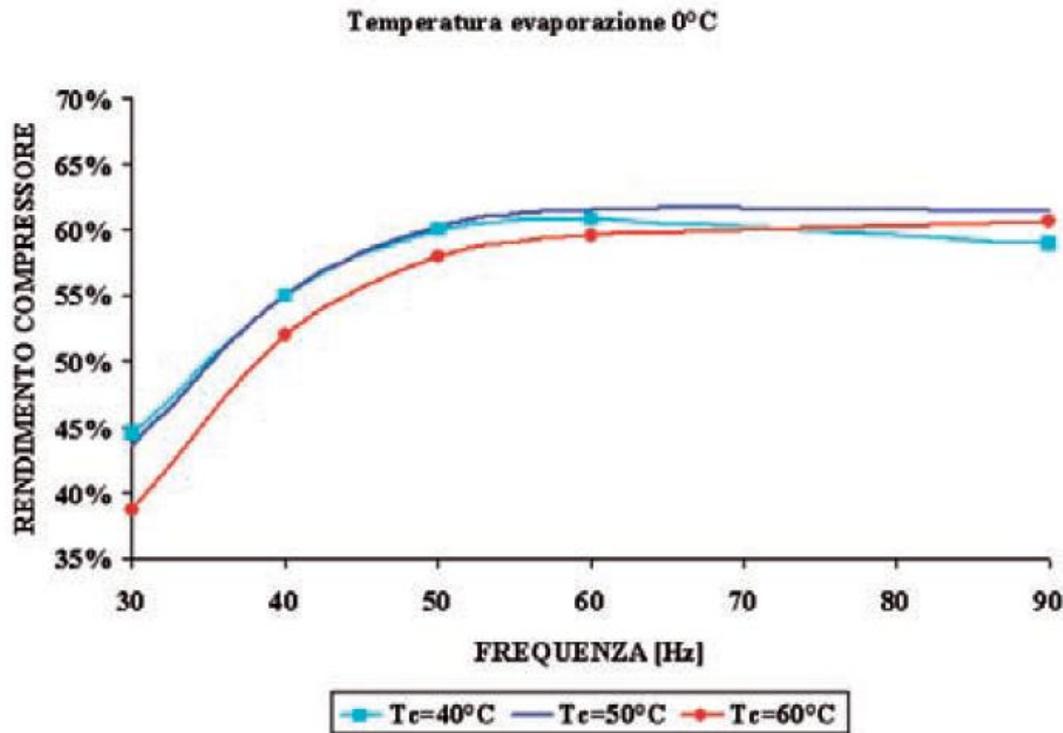
La variazione del numero di giri determina una variazione di portata e non di rapporto di compressione.

Questa evenienza è vantaggiosa per la regolazione della potenza, ma....



USO DELL'INVERTER NEI COMPRESSORI SCROLL

Il rendimento dei compressori volumetrici è molto influenzato dalla variazione del numero di giri.



- All'aumentare del numero di giri, aumenta la portata di refrigerante, per cui aumentano le perdite dovute al passaggio del refrigerante stesso negli orifizi di aspirazione e di scarico. Aumentano anche gli attriti dovuti alla maggiore velocità di rotazione.

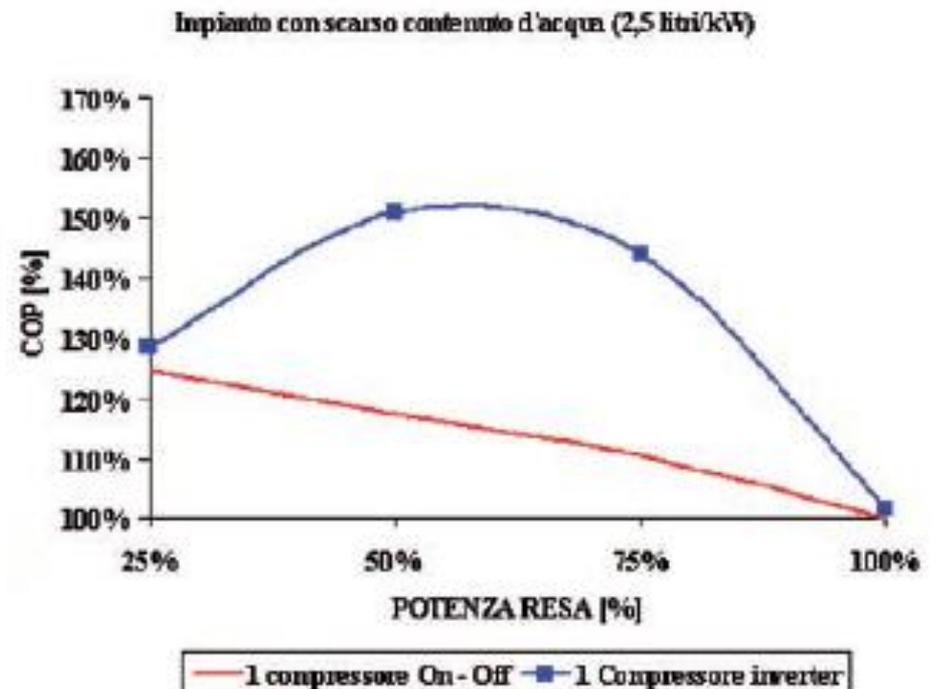
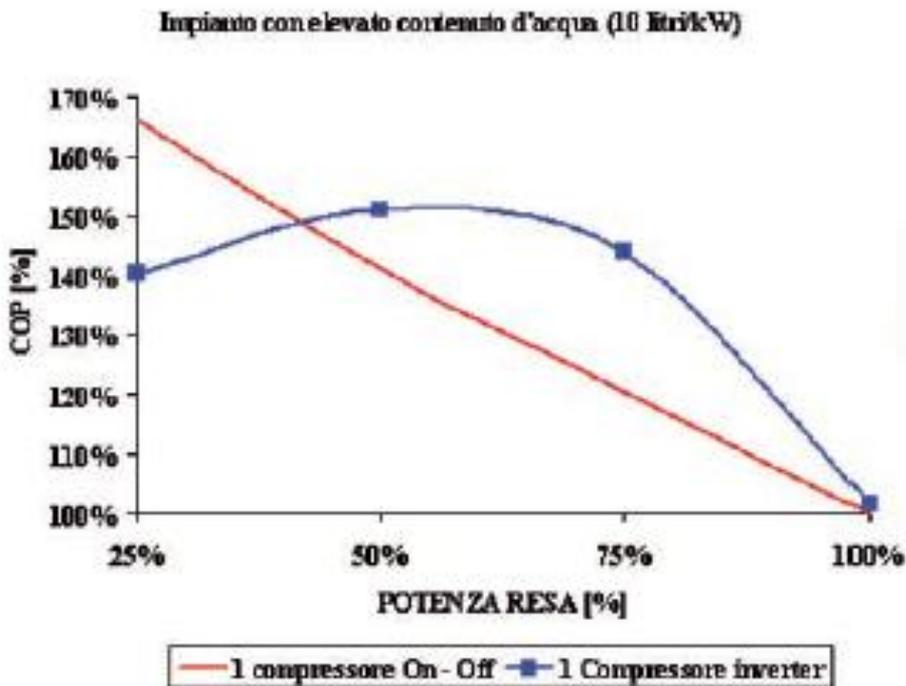
- Al diminuire del numero di giri, diminuiscono le perdite per il passaggio del refrigerante e per attrito.

- Tuttavia peggiora la tenuta tra aspirazione e mandata, che nelle macchine volumetriche è sempre legata, anche se in modi diversi, alla velocità di rotazione.

Rendimento di un compressore scroll con R410A al variare della temperatura di condensazione e della frequenza

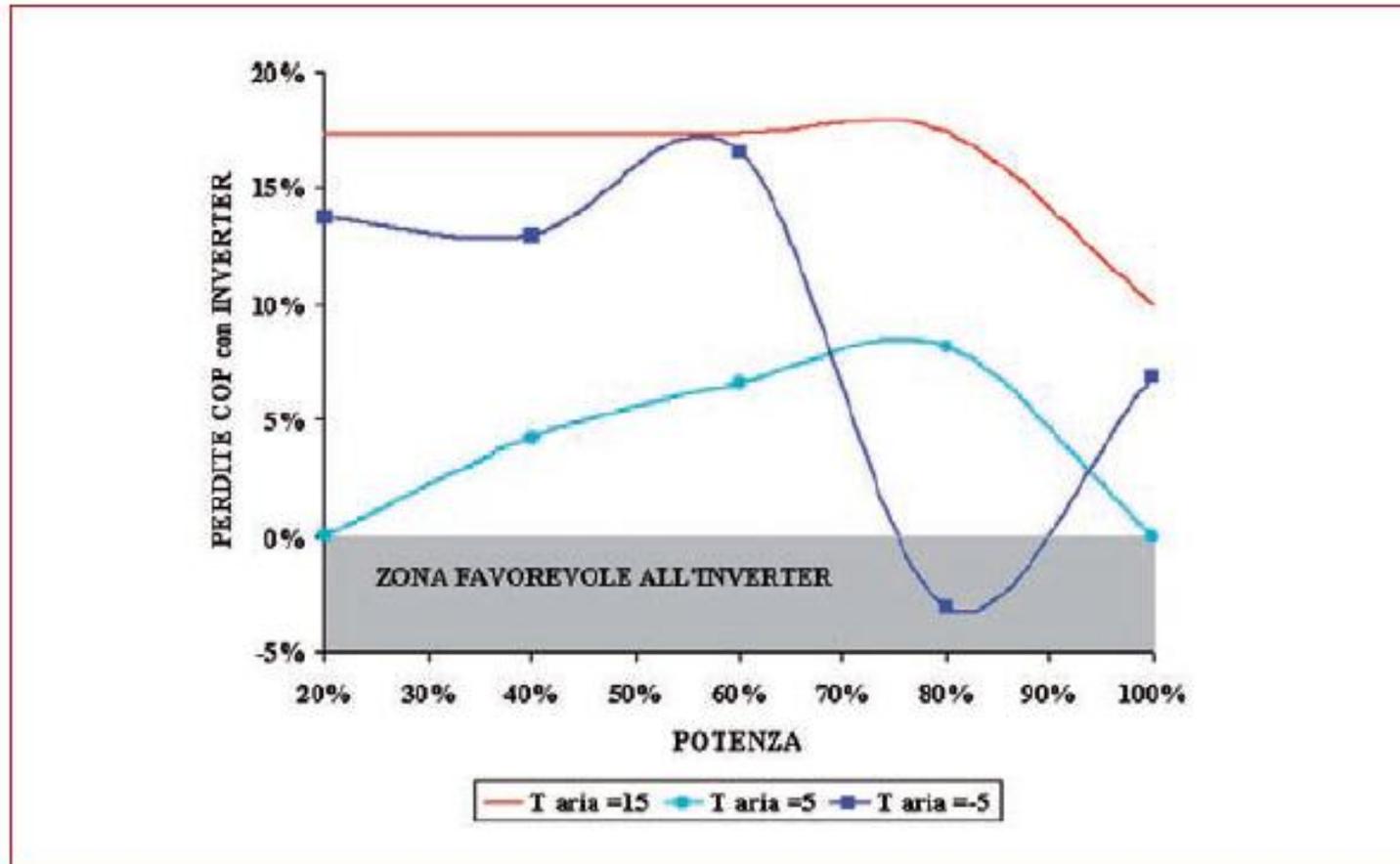
USO DELL'INVERTER NEI COMPRESSORI SCROLL

Al diminuire del contenuto d'acqua d'impianto, il funzionamento con inverter porta un beneficio nel COP



Confronto variazione del COP con inverter e senza inverter al variare del carico e per diversi contenuti d'acqua

USO DELL'INVERTER NEI COMPRESSORI SCROLL



**Perdite di efficienza dovute all'utilizzo dell'inverter (pompe di calore in regime invernale).
 La figura tiene conto anche dello sbrinamento**

USO DELL'INVERTER NEI COMPRESSORI SCROLL

CONCLUSIONI

Nelle pompe di calore in regime invernale con elevato contenuto d'acqua, l'inverter porta ad un peggioramento delle prestazioni energetiche, a causa della diminuzione del rendimento del compressore ad alti rapporti di compressione e bassi numero di giri.

Il minor rendimento di compressione è però in parte compensato dalla migliore efficienza degli scambiatori di calore gas/acqua, che si trovano ad operare con potenza più bassa rispetto alle condizioni nominali, quindi con una maggiore superficie di scambio.

Nel caso di bassi contenuti d'acqua, l'inverter porta comunque ad un beneficio nella resa della pompa di calore.

CASI STUDIO E CASI REALI



TEMP. SORGENTE (°C)	TEMP. MANDATA (°C)	POTENZA RESA (kW)	COP
7	35	8,83	4,21
15	35	10,58	5,08
7	40	8,58	3,44
15	40	10,19	4,44

Dati della pompa di calore

Descrizione	Simbolo	Valore
Tipo generatore		a condensazione
potenza termica utile nominale	P_{pn}	12 kW
potenza termica utile a carico intermedio	P_{pint}	2 kW
dati di rendimento*	$h_{gn,pn}$	97,6 % **
	$J_{gn,W,test,pn}$	70 °C
	$h_{gn,pint}$	107,5% **
	$J_{gn,W,test,pint}$	30 °C
pot. elettrica degli ausiliari a pieno carico	$W_{aux,Pn}$	145 W **
pot. elett. ausiliari a carico intermedio	$W_{aux,Pint}$	49,5 W ***
pot. elett. ausiliari a carico nullo	$W_{aux,P0}$	15 W ***
combustibile utilizzato		gas metano
tipo di bruciatore		a modulazione con ventilatore
ubicazione generatore		in centrale termica
tipo regolazione		climatica compensata
tipologia circuito		diretto in caldaia

* determinati in prove termiche come richiesto dalla Direttiva 92/42/CEE
 ** dichiarato dal costruttore - *** calcolato secondo il prospetto B.4



TEMP. SORGENTE (°C)	TEMP. MANDATA (°C)	POTENZA RESA (kW)	COP
7	35	8,83	4,21
15	35	10,58	5,08
7	40	8,58	3,44
15	40	10,19	4,44

Dati della POMPA DI CALORE ARIA/ACQUA

Descrizione	Simbolo	Valore
Tipo generatore		a condensazione
potenza termica utile nominale	P_{pn}	12 kW
potenza termica utile a carico intermedio	P_{pint}	2 kW
dati di rendimento*	$h_{gn,pn}$	97,6 % **
	$J_{gn,W,test,pn}$	70 °C
	$h_{gn,pint}$	107,5% **
	$J_{gn,W,test,pint}$	30 °C
pot. elettrica degli ausiliari a pieno carico	$W_{aux,Pn}$	145 W **
pot. elett. ausiliari a carico intermedio	$W_{aux,Pint}$	49,5 W ***
pot. elett. ausiliari a carico nullo	$W_{aux,P0}$	15 W ***
combustibile utilizzato		gas metano
tipo di bruciatore		a modulazione con ventilatore
ubicazione generatore		in centrale termica
tipo regolazione		climatica compensata
tipologia circuito		diretto in caldaia

* determinati in prove termiche come richiesto dalla Direttiva 92/42/CEE
 ** dichiarato dal costruttore - *** calcolato secondo il prospetto B.4

Dati della CALDAIA



DATI RELATIVI ALL'IMPIANTO DI RISCALDAMENTO

sistema di emissione: pannelli radianti a pavimento
 limite superiore di temperatura esterna per il riscaldamento: 15 °C
 temperatura di progetto esterna: -2 °C (UNI 5364)
 temperatura di progetto interna: 20 °C (appendice B UNI 10379)
 temperatura interna attenuata: 16 °C
 temperatura di mandata alla temperatura esterna di -2 °C: 40 °C
 temperatura di mandata alla temperatura esterna di 20 °C: 20 °C
 portata acqua circuito caldaia: 560 l/h

Dati dell'impianto

	Pompa di calore aria-acqua	Caldaia a condensaz.
Fabbisogno termico [kWh]	18.431,5	18.431,5
Energia elettrica pdc(tot) [kWh]	4.461,5	/
Eprim (tot) [kWh]	11153,7	17.325,2
COP stagionale	4,13	/
Rendimento di produzione globale stagionale [%]	165,2	107,2
Spesa annua (euro)	950,3	1403,9
Prezzo generatore (euro)	4981	1930
Tempo di rientro non attualizzato (anni)	6,7	

RISULTATI DI CONFRONTO

Dati utilizzati:

Costo energia = 0,213 €/kWh

Costo gas: 0,78 €/mc



INTERVENTO DI RIQUALIFICAZIONE DELLA CENTRALE TERMICA DI UN ALBERGO

Impianto esistente:

- n. 4 caldaie da 50 kW
- n. 2 gruppi frigoriferi ad assorbimento condensati ad acqua di falda
- Impianto solare termico ad integrazione della produzione acqua calda

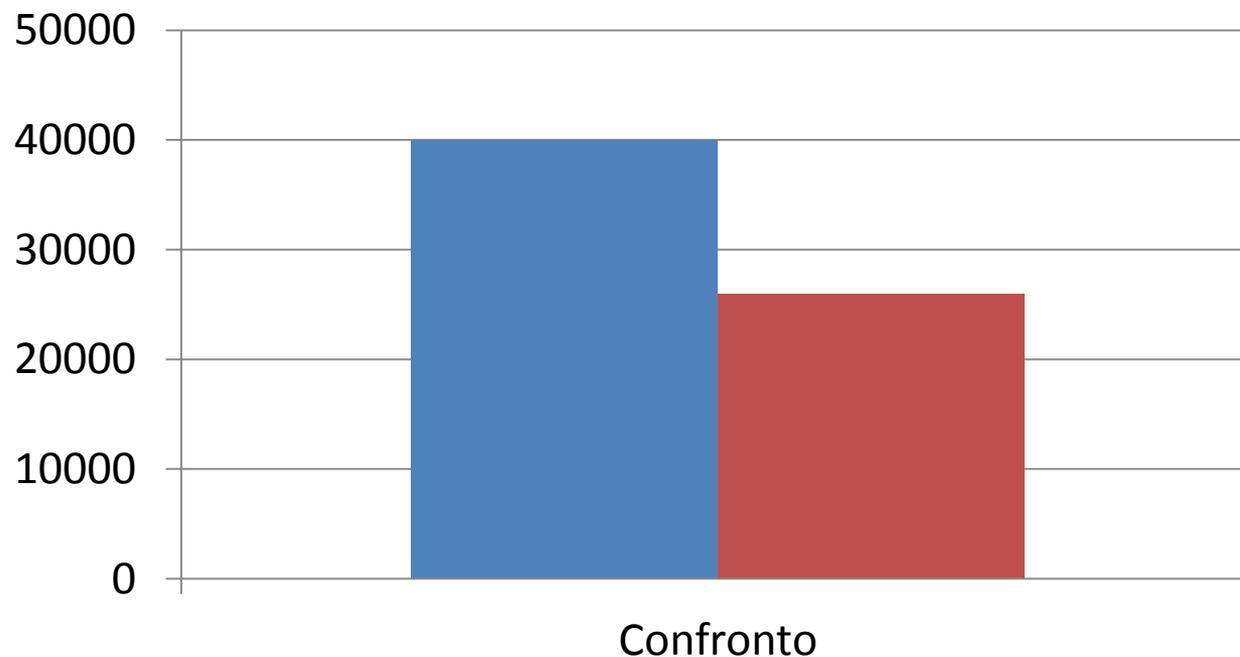
Impianto modificato

- n. 2 pompe di calore geotermiche da 60 kW nominali (B0/W35) alimentate ad acqua di falda (potenza resa 72 kW)
- reversibilità di ciclo idraulica

INTERVENTO DI RIQUALIFICAZIONE DELLA CENTRALE TERMICA DI UN ALBERGO

Dati economici

- Costo esercizio annuale pre – intervento: 40.000 € /anno
- Costo esercizio annuale post – intervento: 26.000 € /anno (senza solare termico)



Grazie per l'attenzione