



*Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile*

## **GIORNATA STUDIO VISSMAN**

*Le pompe di calore*

*I refrigeranti naturali nelle pompe di calore: l'R744 (CO<sub>2</sub>)*

*Aspetti Legislativi: Dlgs 28/2011 e D.M. 28 dicembre 2012*



**C.R. ENEA di CASACCIA, 22 gennaio 2013**

Referente scientifico:

Ing. Andrea Calabrese  
andrea.calabrese@enea.it

[www.climatizzazioneconfontirinnovabili.enea.it](http://www.climatizzazioneconfontirinnovabili.enea.it)

## L'ENEA IN ITALIA...e non solo:

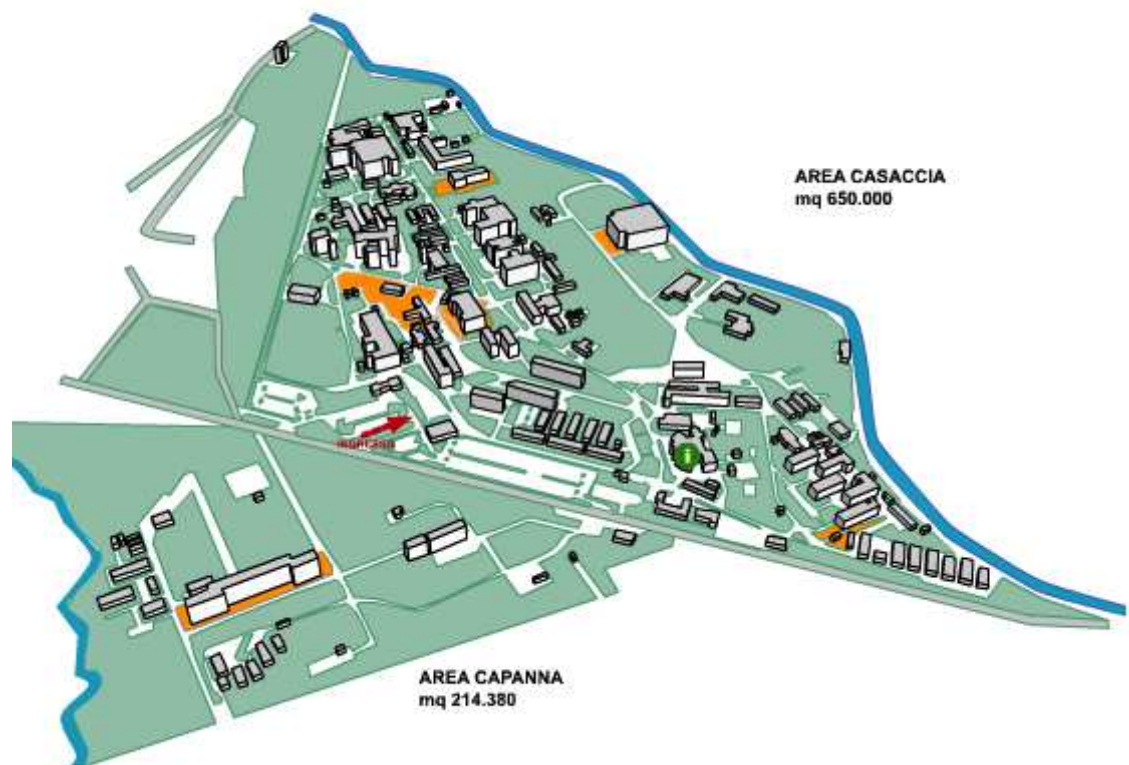


## Il C.R. ENEA di Casaccia:

Il Centro Ricerche della Casaccia è il più grande Centro di Ricerca dell'ENEA e si caratterizza per il complesso di laboratori e impianti sperimentali e dimostrativi a supporto dei programmi di ricerca. Si estende su una superficie di circa **90 ettari**, suddivisi in due aree separate dalla via Anguillarese, e conta **190 edifici** destinati a uffici, laboratori, impianti e infrastrutture di servizio per un **volume complessivo di circa 720.000 m<sup>3</sup>**.

I **dipendenti** ENEA con sede di lavoro nel Centro Casaccia sono **1185** (401 donne, 784 uomini).

Oltre al personale ENEA, **ogni giorno** sono presenti in media **altre 250-300 persone** tra: borsisti e laureandi italiani, borsisti stranieri, visitatori italiani e stranieri, personale di ditte appaltatrici.



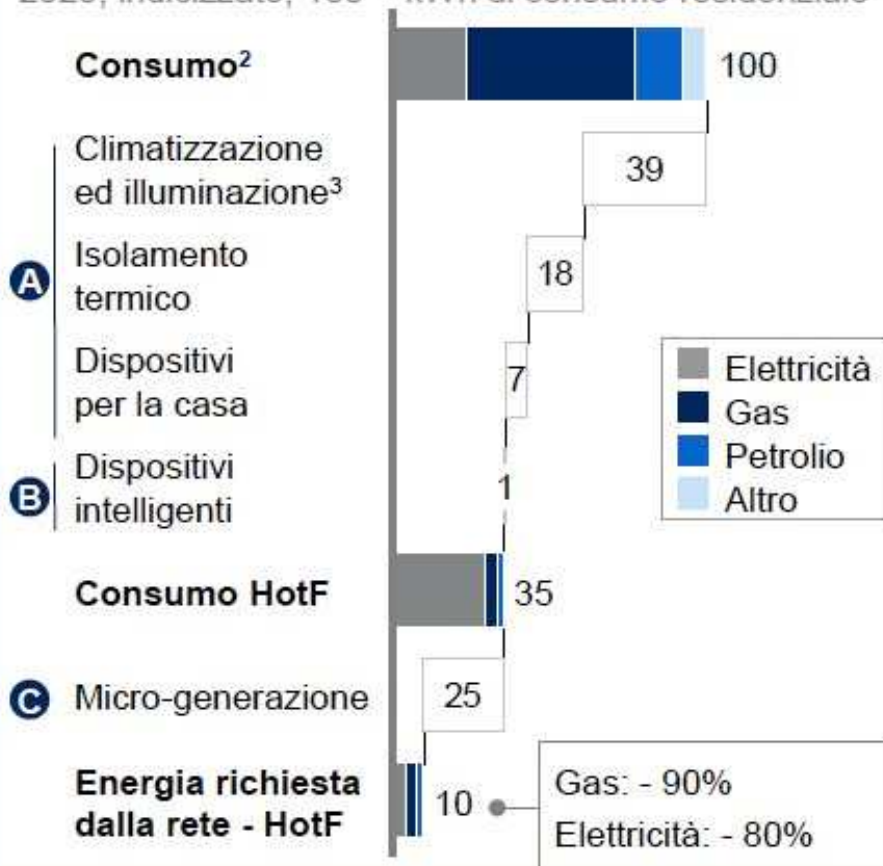
# “Nuove apparecchiature per la climatizzazione”

## La “Home of the Future”: esempio di una nuova casa



## Riduzione del fabbisogno energetico dalla rete per la “Home of the Future”

2020, indicizzato, 100 = kWh di consumo residenziale<sup>1</sup>



<sup>1</sup> Include tutte le fonti energetiche

<sup>2</sup> Ipotizzando stesso volume/mix come 2010

<sup>3</sup> Climatizzazione: 35%; Illuminazione: 4%

## TIPOLOGIE DI POMPE DI CALORE:

- **A COMPRESSIONE**

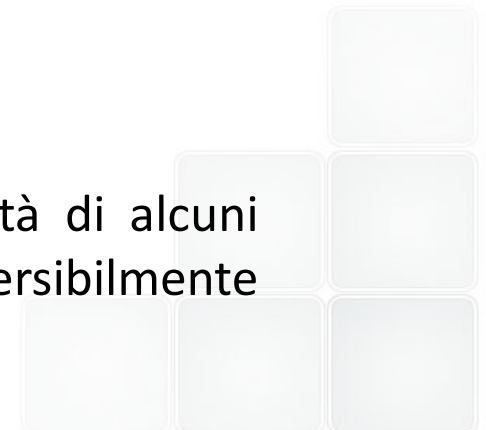
- **Elettriche** in cui il compressore è azionato da **motore elettrico**
- **A gas** in cui il compressore è azionato da un **motore a gas**

- **AD ASSORBIMENTO**

- Le pompe di calore ad assorbimento, analogamente agli impianti frigoriferi ad assorbimento, sfruttano la solubilità e l'elevata affinità tra due sostanze, di cui una funziona da refrigerante e l'altra da assorbente, per realizzare un ciclo dove l'**energia introdotta è prevalentemente termica**. Il lavoro meccanico della pompa è infatti pari a circa l'1% del calore introdotto nel generatore.

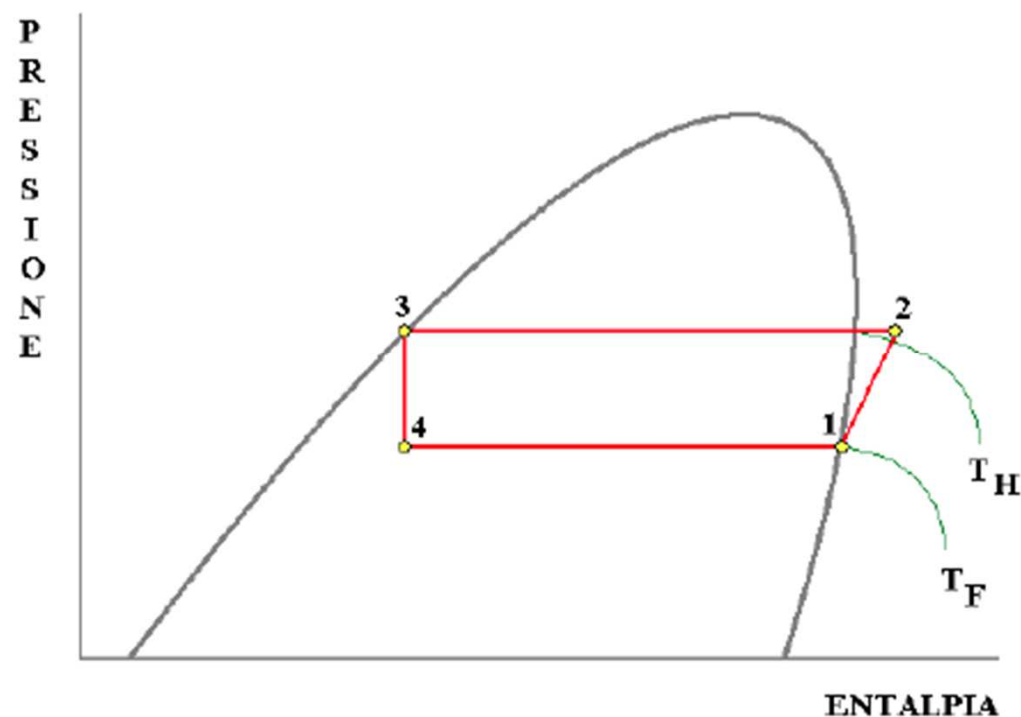
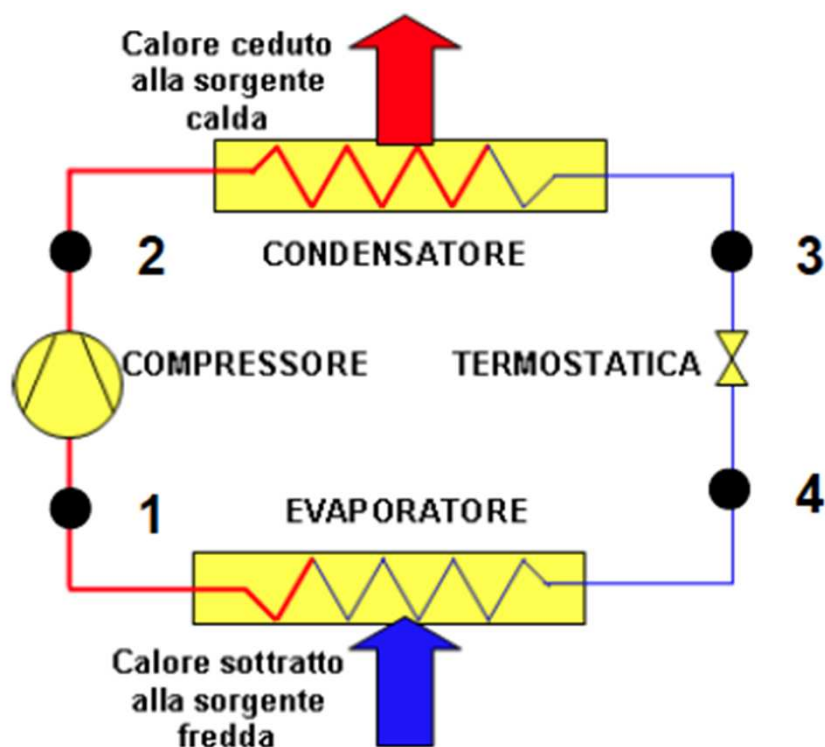
- **AD ADSORBIMENTO**

- Il funzionamento di questi sistemi è basato sulla capacità di alcuni solidi porosi (es. zeoliti, gel di silice, ecc.) di assorbire reversibilmente vapori non dannosi per l'ambiente (es. acqua).



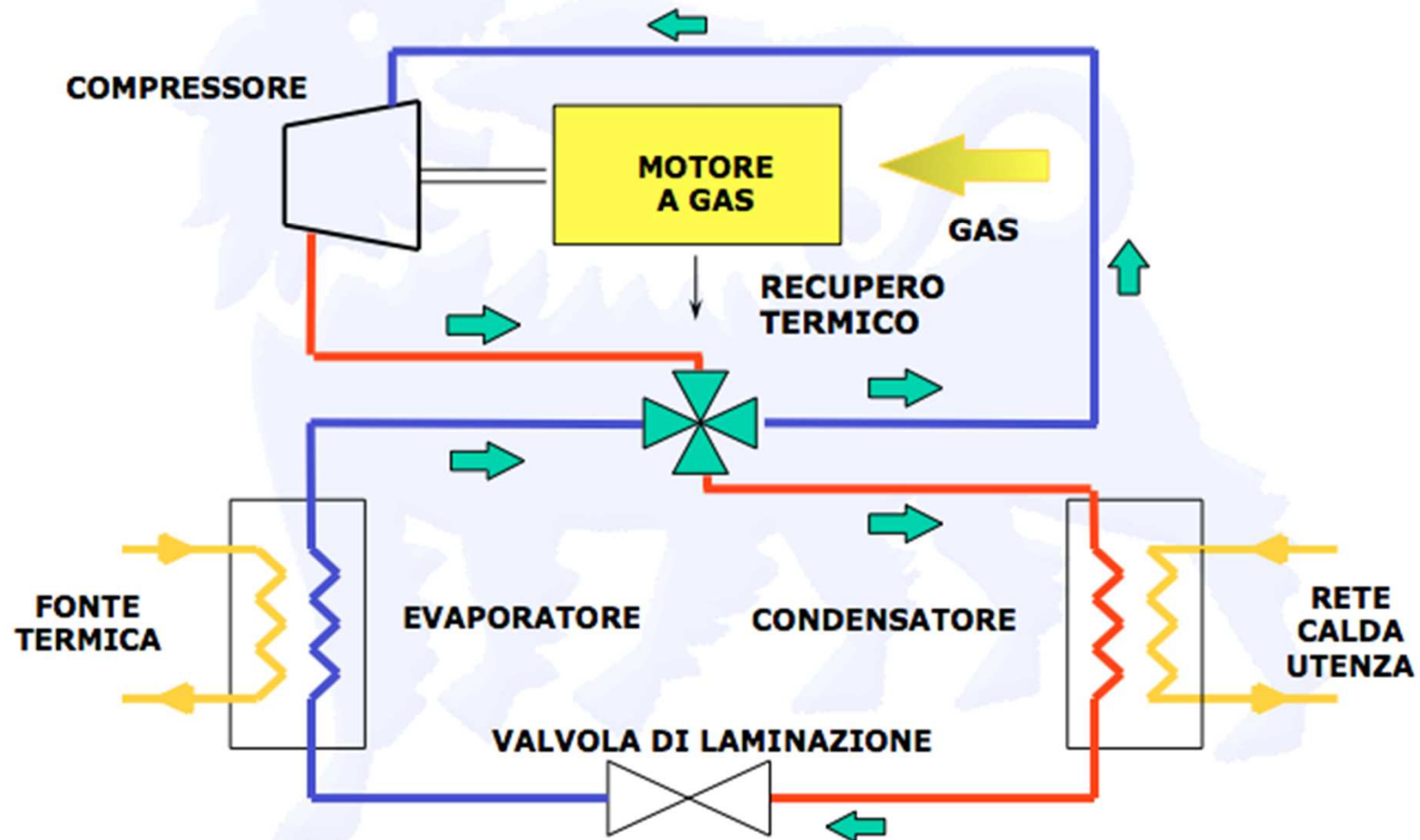
## LA POMPA DI CALORE A COMPRESSIONE elettrica:

- È una macchina che consente di trasferire energia termica
  - Da un corpo a bassa temperatura (**sorgente fredda**)
  - Ad un corpo a temperatura maggiore (**sorgente calda**)
- Per effettuare questo trasferimento è necessario spendere, in alternativa:
  - **energia meccanica (elettrica)**, che viene trasformata in calore

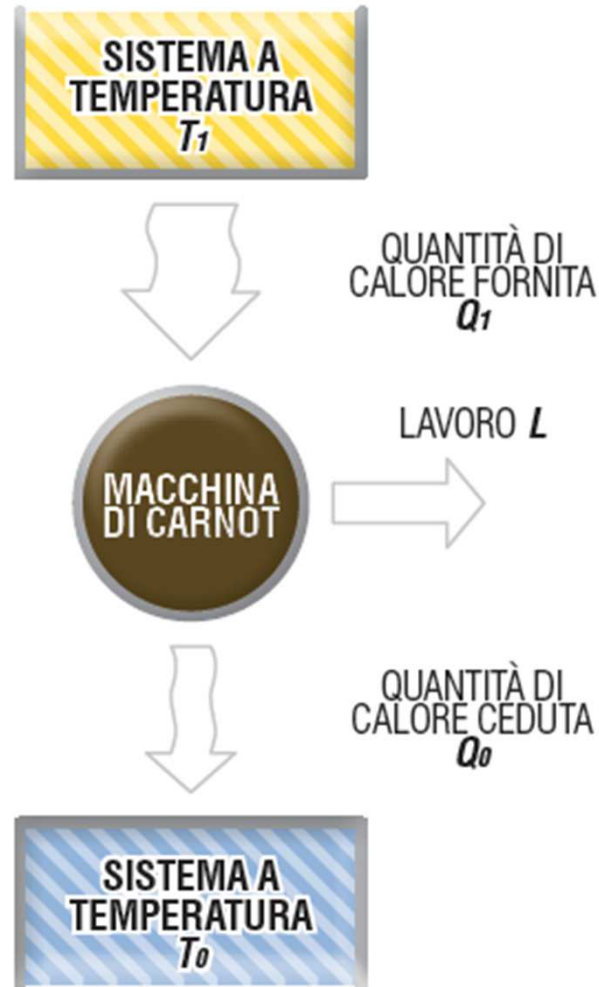


## LA POMPA DI CALORE A COMPRESSIONE con motore a gas:

### Funzionamento Invernale



## MACCHINA DI CARNOT A CICLO DIRETTO:



Rappresentazione a blocchi del funzionamento di una macchina a ciclo diretto: il sistema a più alta temperatura fornisce alla macchina una quantità di calore che viene in parte trasformata in lavoro ed in parte ceduta al sistema a più bassa temperatura. Scambiando calore fra sistemi a due temperature il massimo rendimento si può ottenere con una macchina di *Carnot*: il suo rendimento, vale a dire il rapporto fra il lavoro utile fornito dalla macchina e la quantità di calore ceduta dal sistema a più alta temperatura, è funzione delle sole temperature assolute dei due sistemi.

$$\eta = \frac{L}{Q_1} = \frac{T_1 - T_0}{T_1} = 1 - \frac{T_0}{T_1}$$

Il teorema di *Carnot* si riferisce ad una macchina reversibile, intendendo con ciò una macchina per la quale sia possibile invertire il senso di tutte le trasformazioni.



## MACCHINA DI CARNOT A CICLO INVERSO:



In altri termini, se la macchina a ciclo diretto riceve la quantità di calore  $Q_1$  dalla sorgente a temperatura  $T_1$  e cede la quantità di calore  $Q_0$  alla sorgente a temperatura  $T_0$ , trasformando in lavoro la quantità  $L=Q_1-Q_0$ , la macchina inversa riceve il lavoro  $L$ , sottrae la quantità di calore  $Q_0$  dalla sorgente a temperatura più bassa, trasferendo la quantità di calore  $Q_1=L+Q_0$  alla sorgente a temperatura più alta. Nel caso della pompa di calore, il risultato che interessa è la quantità di calore ottenuta dalla sorgente a più alta temperatura. Il comportamento della pompa di calore è allora qualificato dal coefficiente di effetto utile o COP:

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

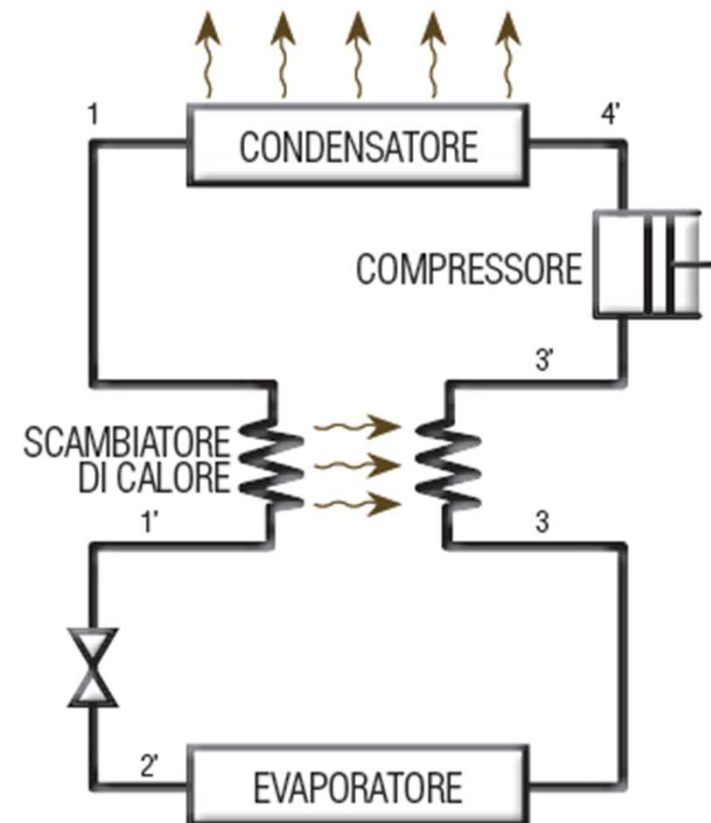
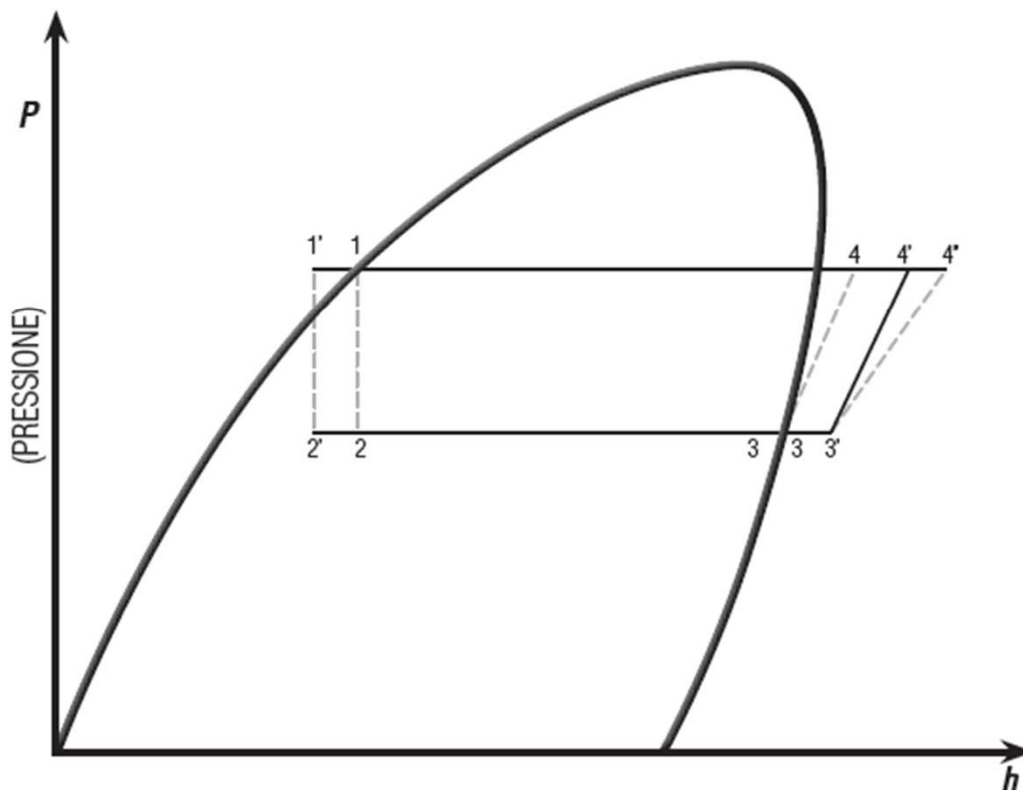
Es.  $T_0=0^\circ \text{ C}$  e  $T_1=40^\circ \text{ C}$

$$COP = \frac{Q_1}{L} = \frac{313}{313-273} = 7,8$$

## PERCHE' IL COP SI RIDUCE:

1) Le prestazioni del compressore sono caratterizzate dal suo rendimento isentropico, che è il rapporto fra il lavoro ideale di compressione (processo isentropico) e quello reale:

$$\eta_{is} = \frac{h_{4'} - h_{3'}}{h_4 - h_{3'}}$$

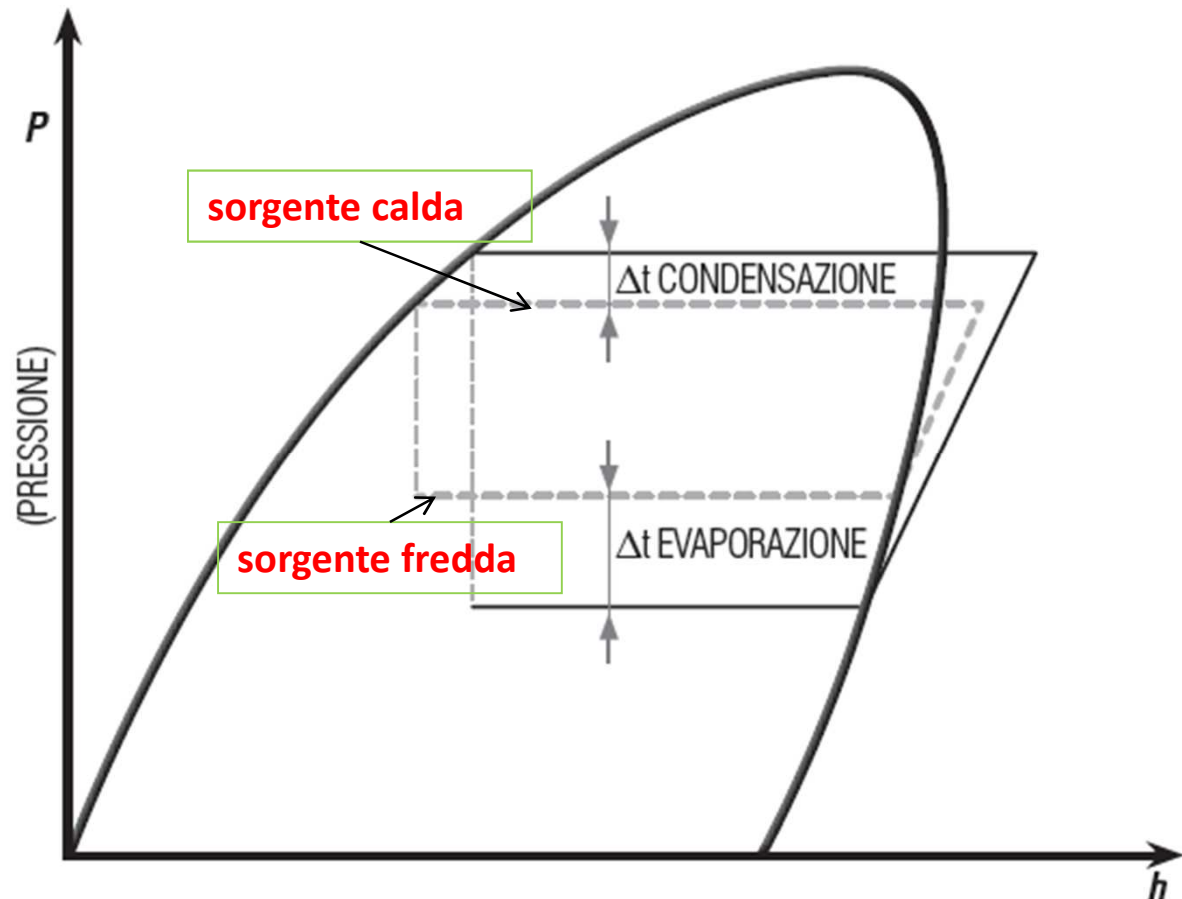


## PERCHE' IL COP SI RIDUCE:

2) La trasmissione del calore da un sistema ad un altro può avvenire soltanto se esiste una differenza di temperatura fra i due sistemi. La potenza termica scambiata  $Q$  è proporzionale alla differenza di temperatura  $T$  ed all'area di scambio  $S$ :

$$Q = KS\Delta T$$

Nella pompa di calore si avrà quindi che la sorgente fredda deve trovarsi a temperatura superiore a quella dell'evaporatore, perché possa cedere calore ad esso e la sorgente calda deve trovarsi a temperatura inferiore a quella del condensatore per ricevere calore. Si avrà quindi un maggior lavoro del compressore ed una minore quantità di calore sottratta alla sorgente fredda.



## PERCHE' IL COP SI RIDUCE:

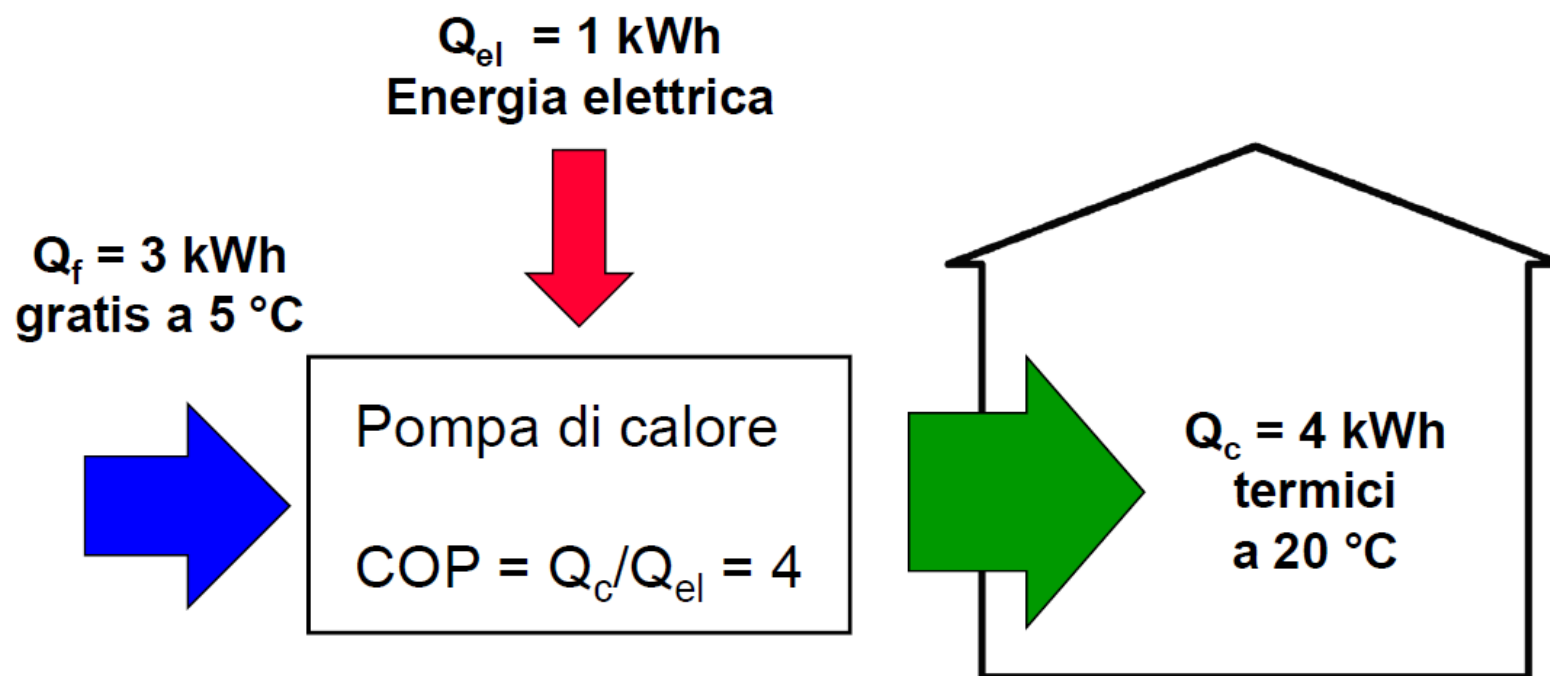
- 3) L'energia di pressione posseduta dal fluido è degradata nel processo irreversibile che avviene nella valvola di laminazione, con una perdita netta di energia utilizzabile;
- 4) Si ha un lavoro necessario a portare a contatto evaporatore e condensatore con le sorgenti termiche. Ad esempio, in una pompa di calore che lavora con l'aria esterna, l'aria viene fatta passare attraverso la batteria dell'evaporatore con un ventilatore. Questo richiede un lavoro che va a sommarsi a quello del compressore, riducendo il COP. Se invece la sorgente fredda è acqua sotterranea, bisogna azionare una pompa;
- 5) L'efficienza del motore elettrico che aziona la pompa di calore non è unitaria;
- 6) Si ha anche un rendimento volumetrico del compressore. Viene definito come il rapporto fra volume aspirato  $V_a$  e volume generato  $V_g$ :

$$\eta_v = \frac{V_a}{V_g}$$

Per un basso rendimento volumetrico un compressore di data cilindrata dovrà compiere più corse per comprimere un certo volume di gas. Ne derivano maggiori perdite per attrito ed una maggiore dimensione della macchina per una data potenza.

All'aumentare del rapporto delle pressioni (Mandata-Aspirazione) si riduce sempre di più il volume aspirato fino a portarsi a valori davvero molto bassi che suggeriscono in quel caso di attuare la compressione almeno in due stadi.

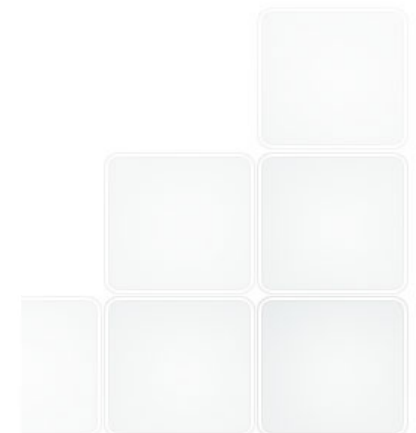
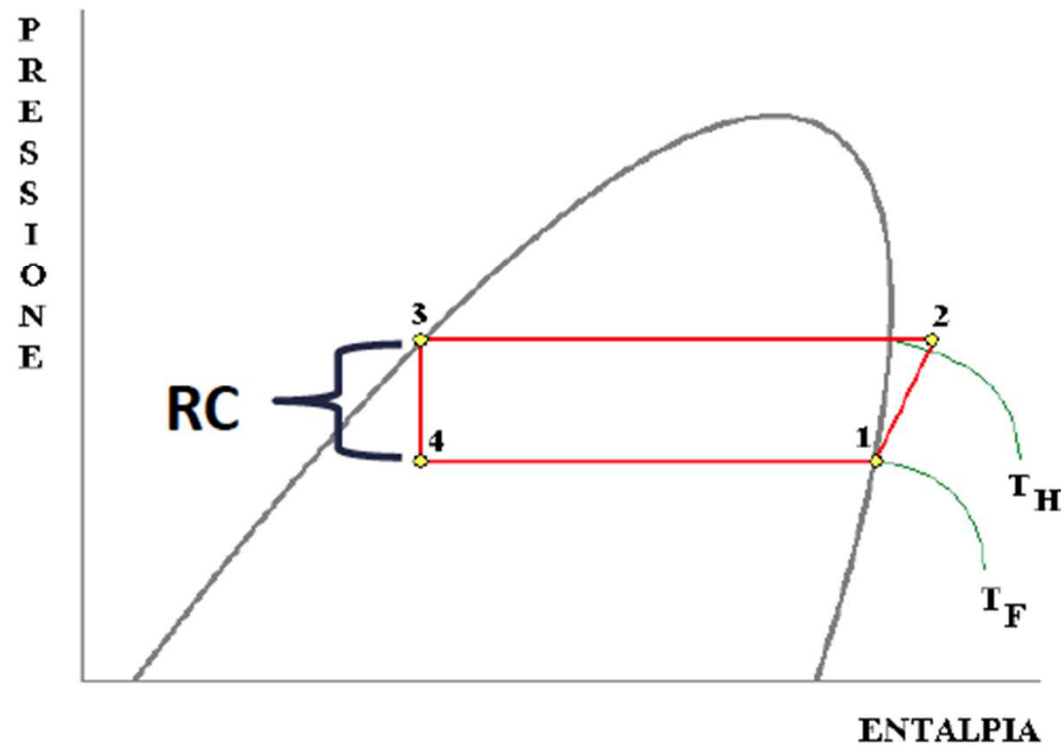
## POMPA DI CALORE: FUNZIONAMENTO INVERNALE



COP: rapporto fra il calore trasferito al pozzo caldo  
e l'energia assorbita

## POMPA DI CALORE: FUNZIONAMENTO INVERNALE RAPPORTO DI COMPRESSIONE

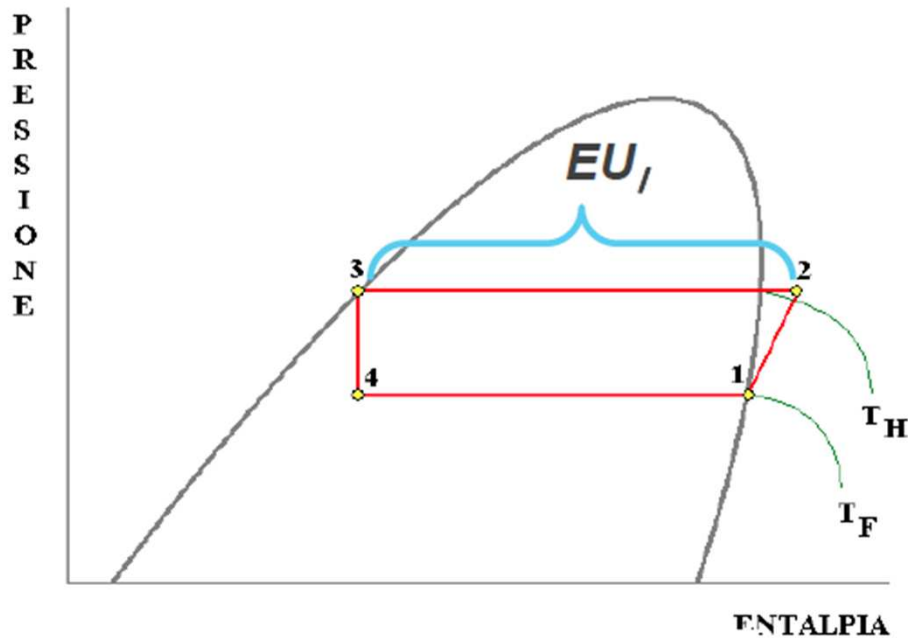
$$RC = \frac{\text{pressione condensazione}}{\text{pressione evaporazione}} = \frac{p_C}{p_E}$$



## POMPA DI CALORE: FUNZIONAMENTO INVERNALE

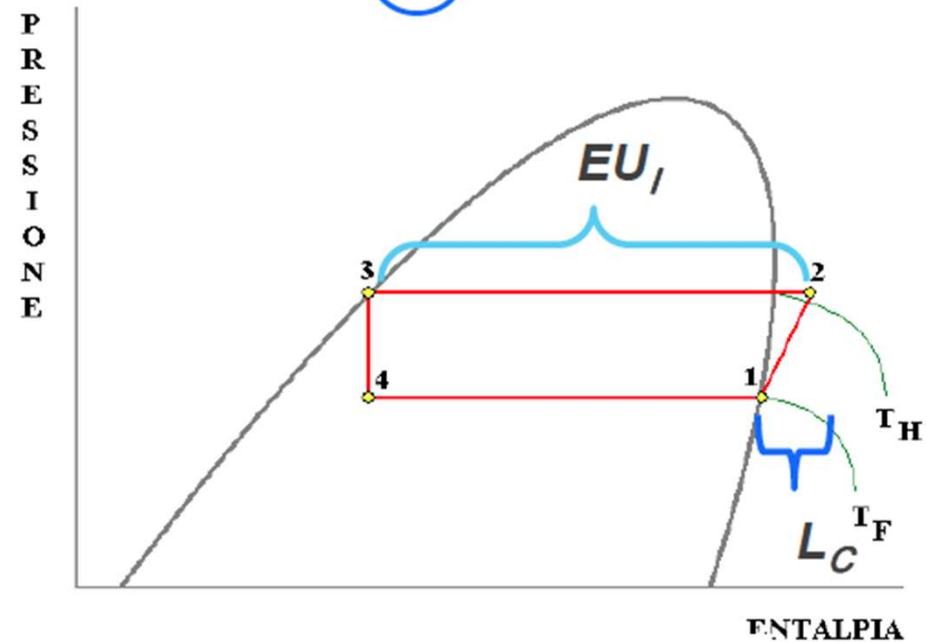
POTENZA IN CICLO INVERNALE

$$P_I = M \boxed{EU_I} = M(h_2 - h_3)$$



COP: EFFICIENZA ENERGETICA INVERNALE

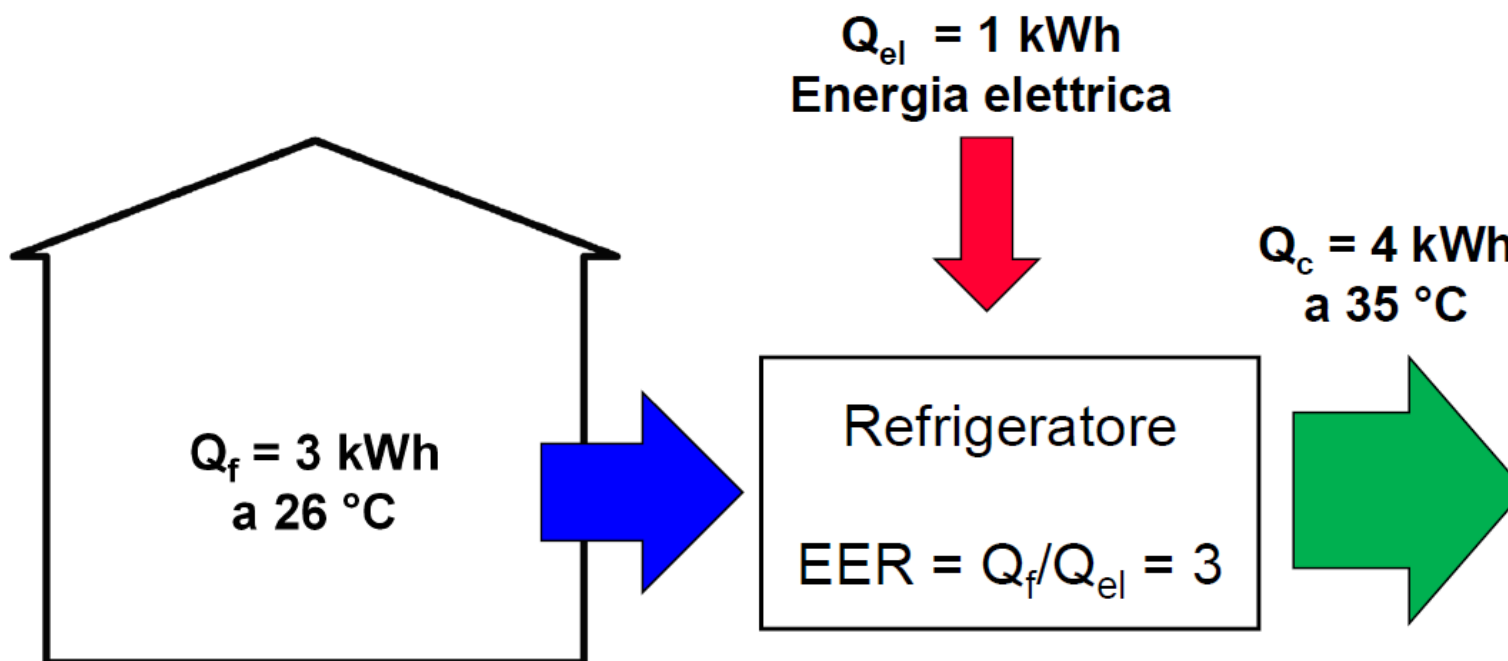
$$COP_{TH} = \frac{\boxed{EU_I}}{\textcircled{L_C}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$



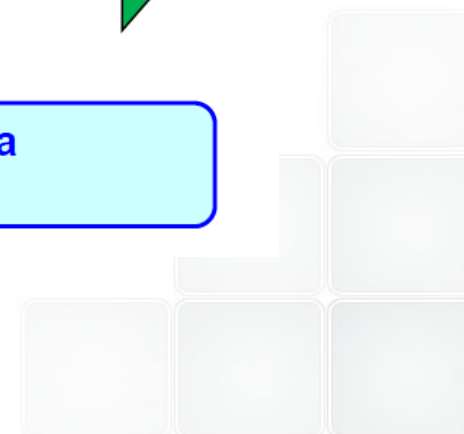
**IL LAVORO DEL COMPRESSORE CONCORRE ALL'EFFETTO UTILE**



## POMPA DI CALORE: FUNZIONAMENTO ESTIVO

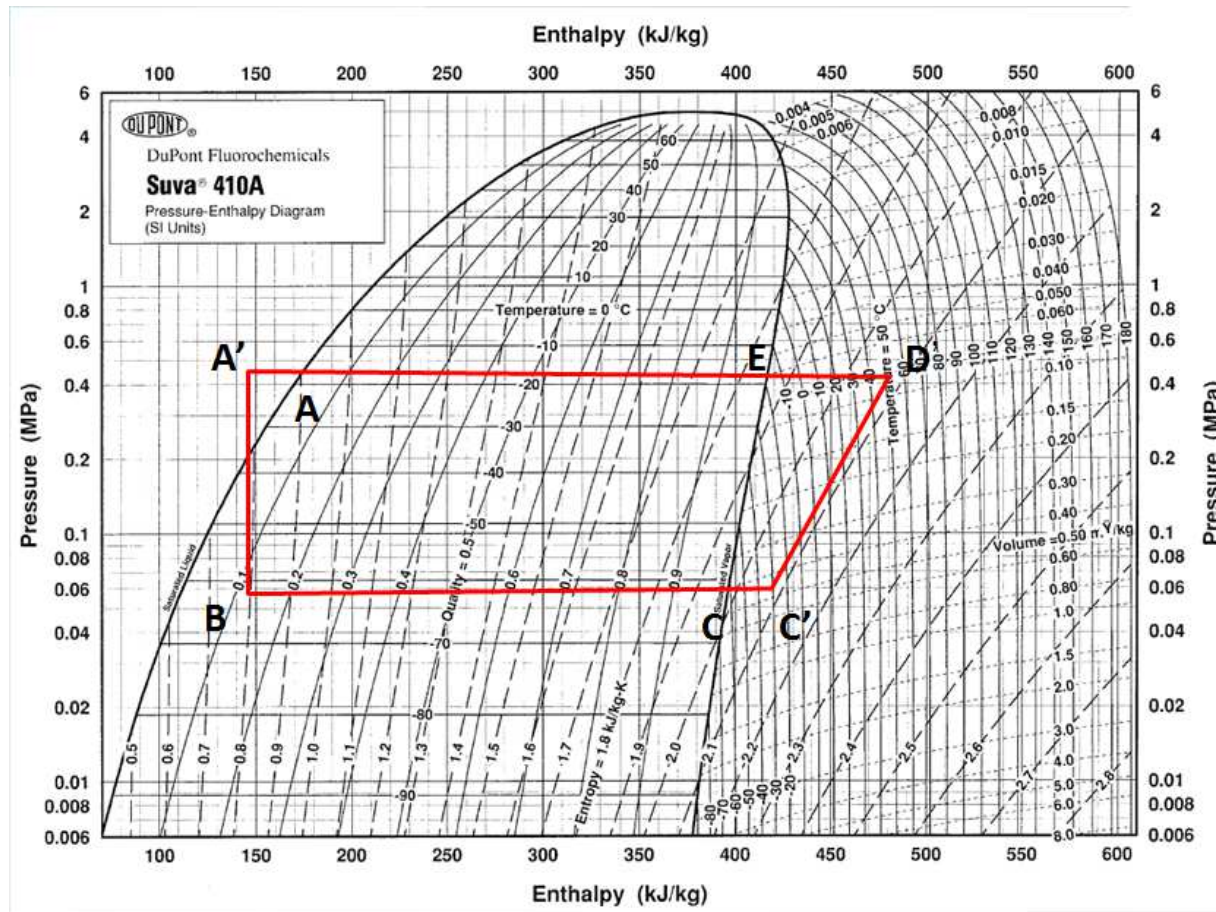


EER: rapporto fra il calore estratto dalla sorgente fredda e l'energia assorbita



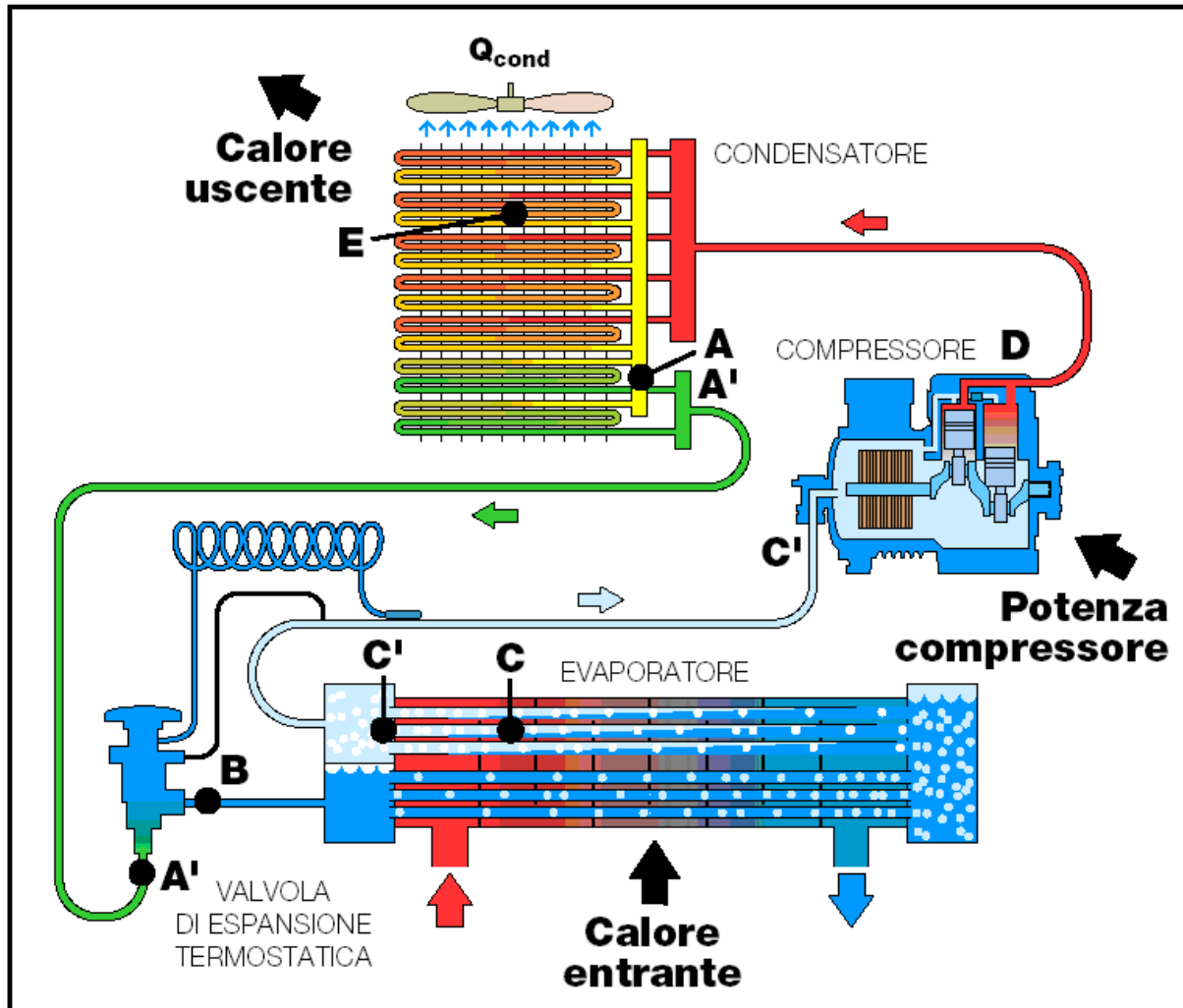


## CICLO FRIGORIFERO DI UN GRUPPO FRIGO ELETTRICO A COMPRESIONE:

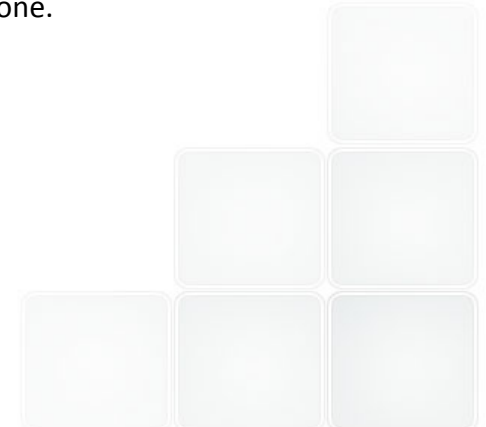


Nel punto A' il fluido è allo stato di liquido sottoraffreddato e si trova in corrispondenza dell'uscita del condensatore. Il passaggio verso l'evaporatore è reso possibile per effetto della diminuzione di pressione da A' a B realizzata attraverso una valvola di laminazione. Per effetto della differenza di pressione tra A' e B una parte del liquido evapora nel passaggio attraverso la valvola, sottraendo calore al liquido immediatamente a monte. Nell'evaporatore, il miscuglio liquido-vapore inizia a sottrarre calore dall'aria da raffreddare. Così facendo tutto il refrigerante allo stato liquido passa nella condizione di vapore saturo (punto C). Si verifica quindi una rimozione di calore latente. Dal punto C a C' si effettua un surriscaldamento del vapore, con lo scopo di far evaporare eventuali goccioline di liquido rimaste, che altrimenti potrebbero danneggiare il compressore. L'effetto frigorifero è dato dalla differenza di entalpia rappresentata dal tratto C'B. All'uscita dall'evaporatore il vapore viene aspirato dal compressore nel quale subisce un aumento di pressione e temperatura (tratto C'D).

## CICLO FRIGORIFERO DI UN GRUPPO FRIGO ELETTRICO A COMPRESIONE:



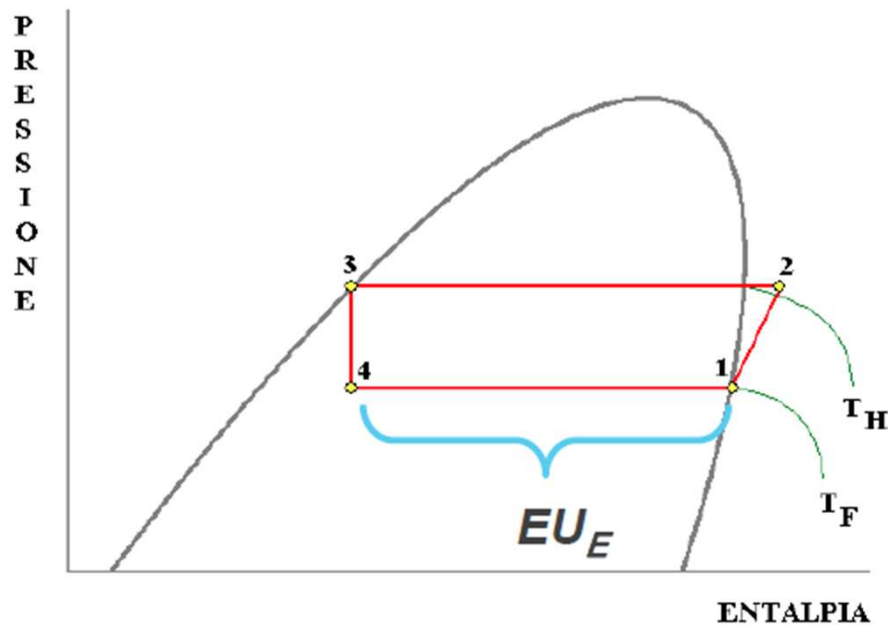
All' uscita dal compressore il gas ha un quantitativo di calore costituito dalla somma di quello asportato nell' evaporatore e di quello corrispondente al lavoro meccanico del compressore. Il gas surriscaldato ed a pressione elevata, passa dal compressore nel condensatore dove inizia a cedere il proprio calore. Si verifica un abbassamento di temperatura fino alla temperatura di saturazione sulla curva (tratto DE). Successivamente il refrigerante condensa (tratto EA). Infine si effettua un sottoraffreddamento del fluido allo scopo di ottenere un maggior effetto frigorifero (tratto AA'). L' efficienza del ciclo frigorifero è definita dall' Energy Efficiency Ratio (EER) pari al rapporto tra l' effetto frigorifero e il lavoro di compressione.



## POMPA DI CALORE: FUNZIONAMENTO ESTIVO

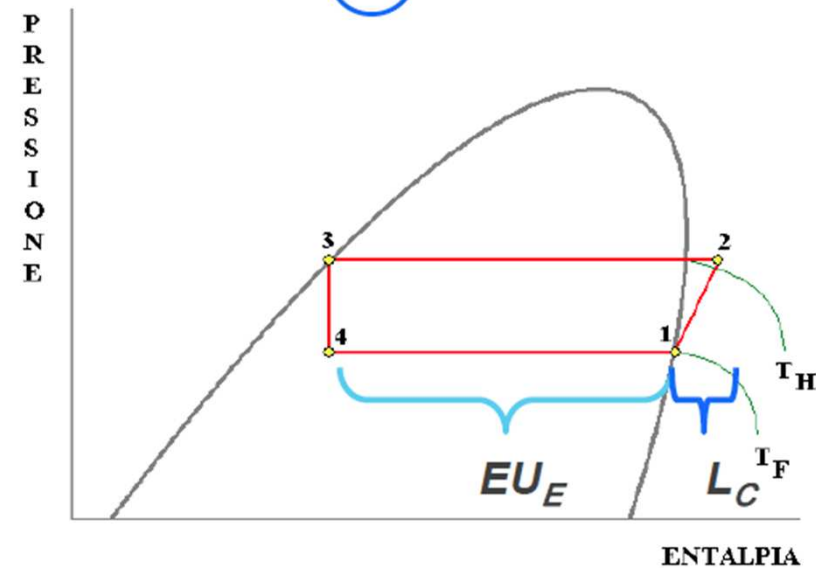
POTENZA IN CICLO ESTIVO

$$P_E = M EU_E = M(h_1 - h_4)$$



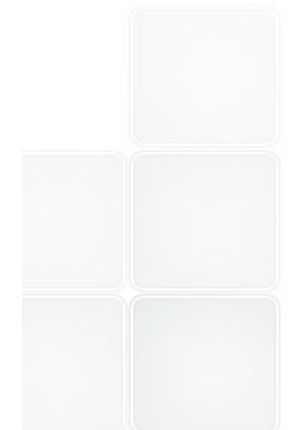
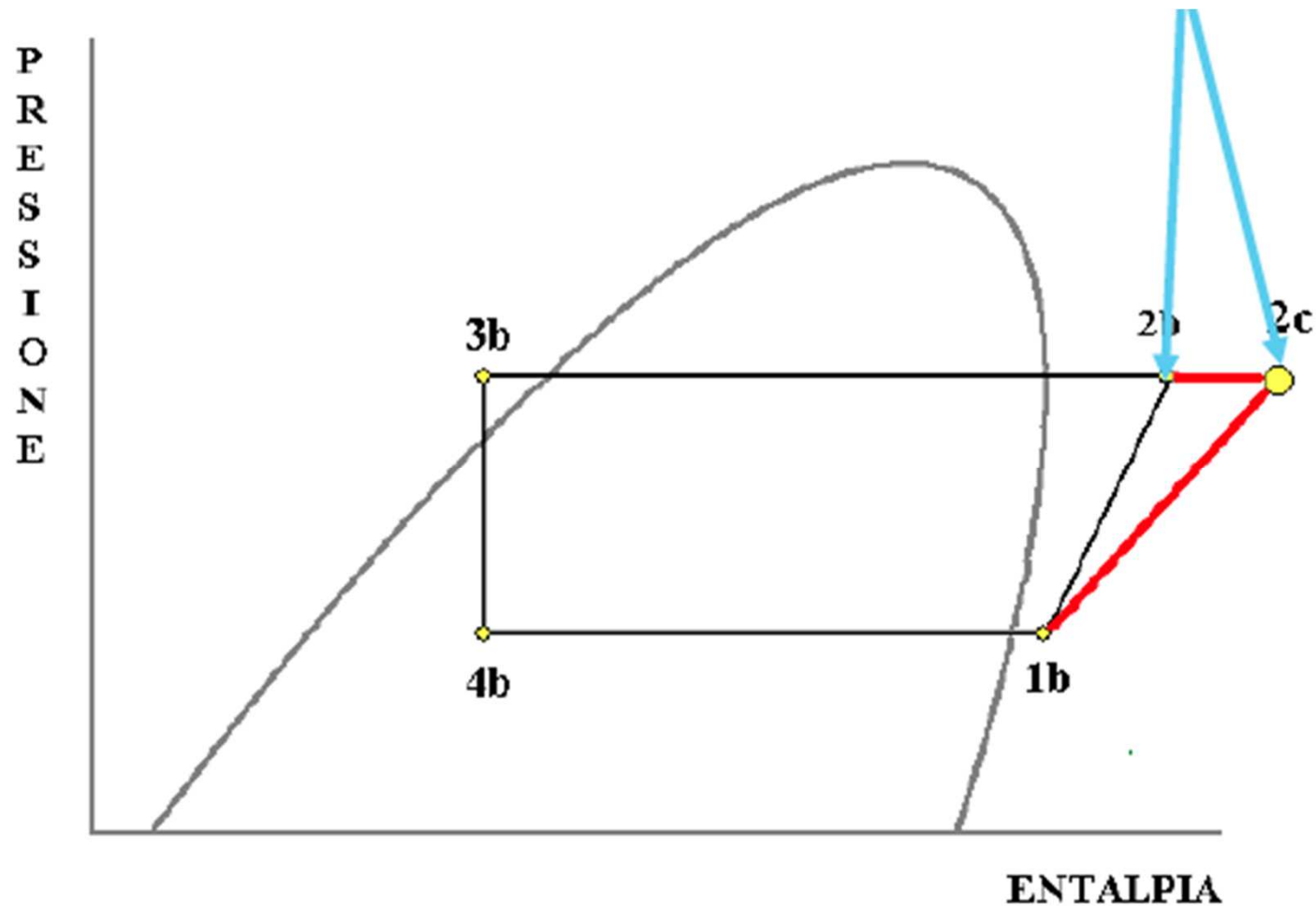
EER: EFFICIENZA ENERGETICA ESTIVA

$$EER_{TH} = \frac{EU_E}{L_C} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$



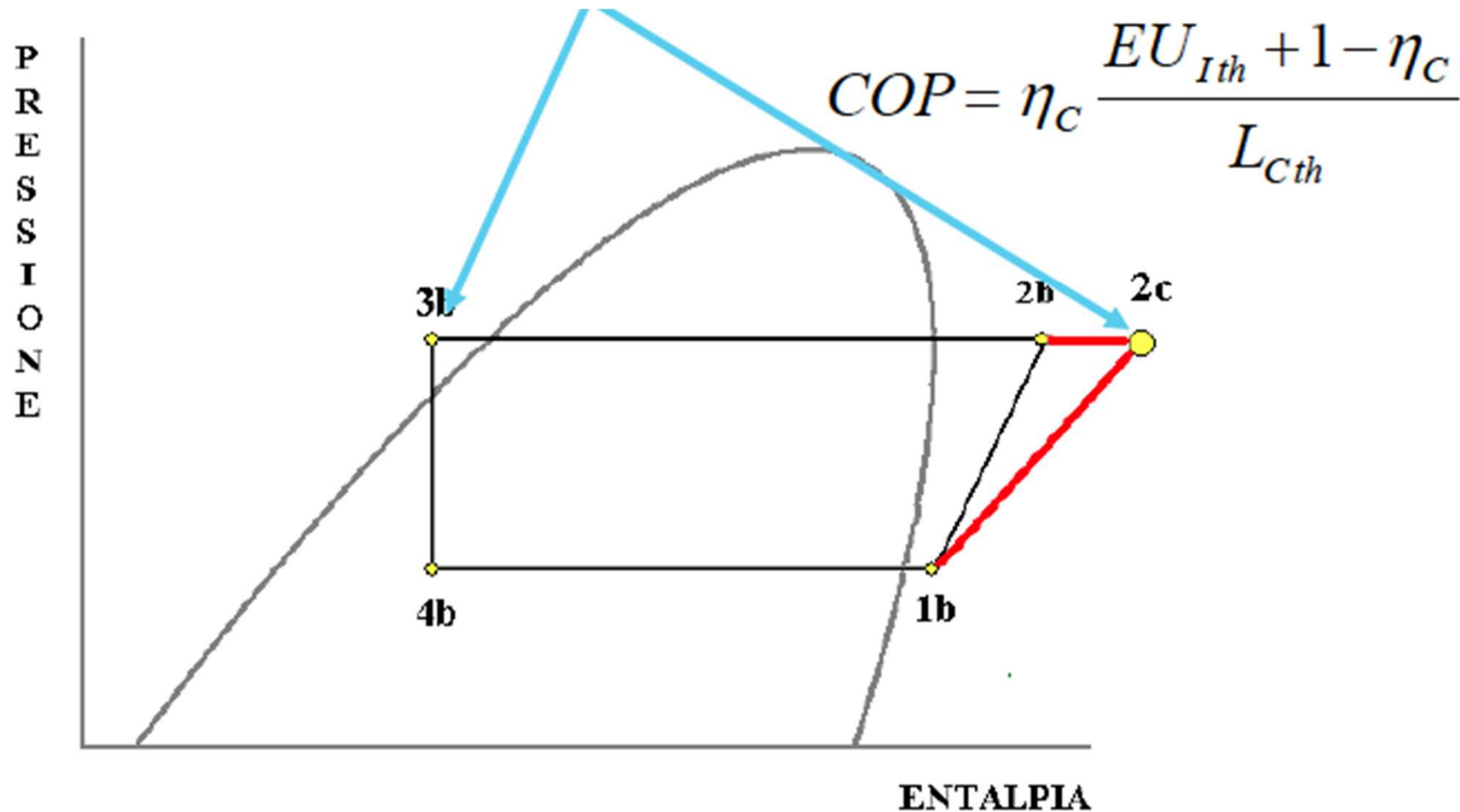
## RENDIMENTO ISOENTROPICO DEL COMPRESSORE

Il peggioramento del rendimento isoentropico del compressore fa aumentare il lavoro del compressore



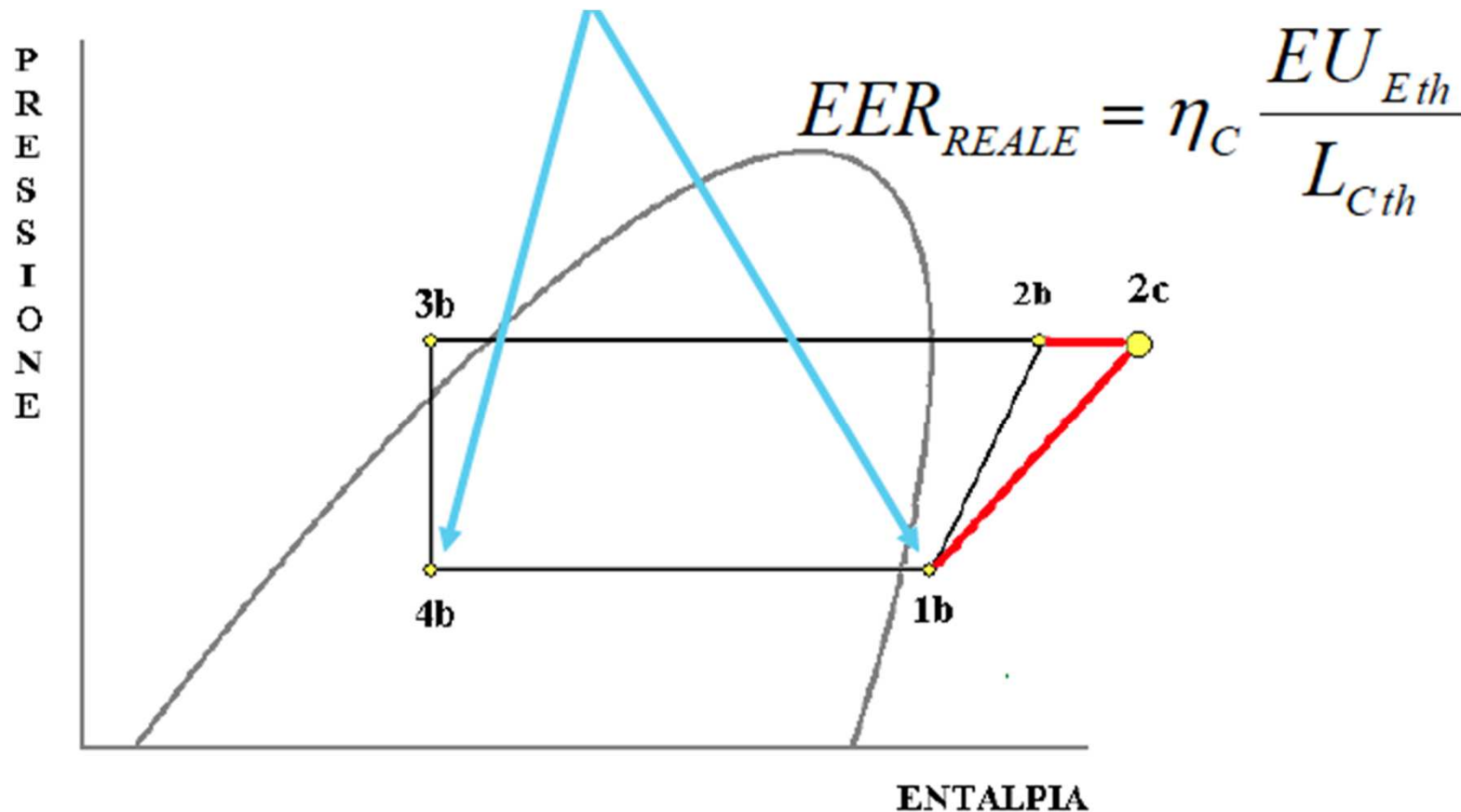
## RENDIMENTO ISOENTROPICO DEL COMPRESSORE

L'effetto utile invernale aumenta per cui il COP non peggiora di molto

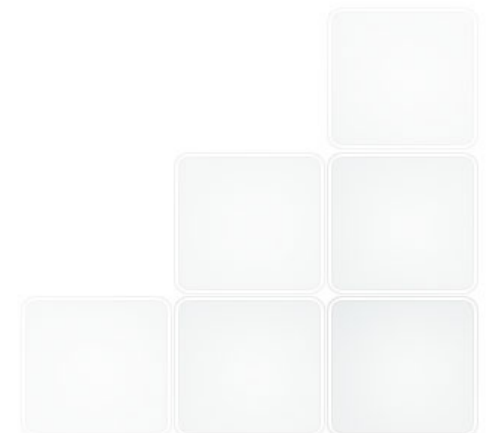


## RENDIMENTO ISOENTROPICO DEL COMPRESSORE

L'effetto utile estivo rimane inalterato per cui EER peggiora molto



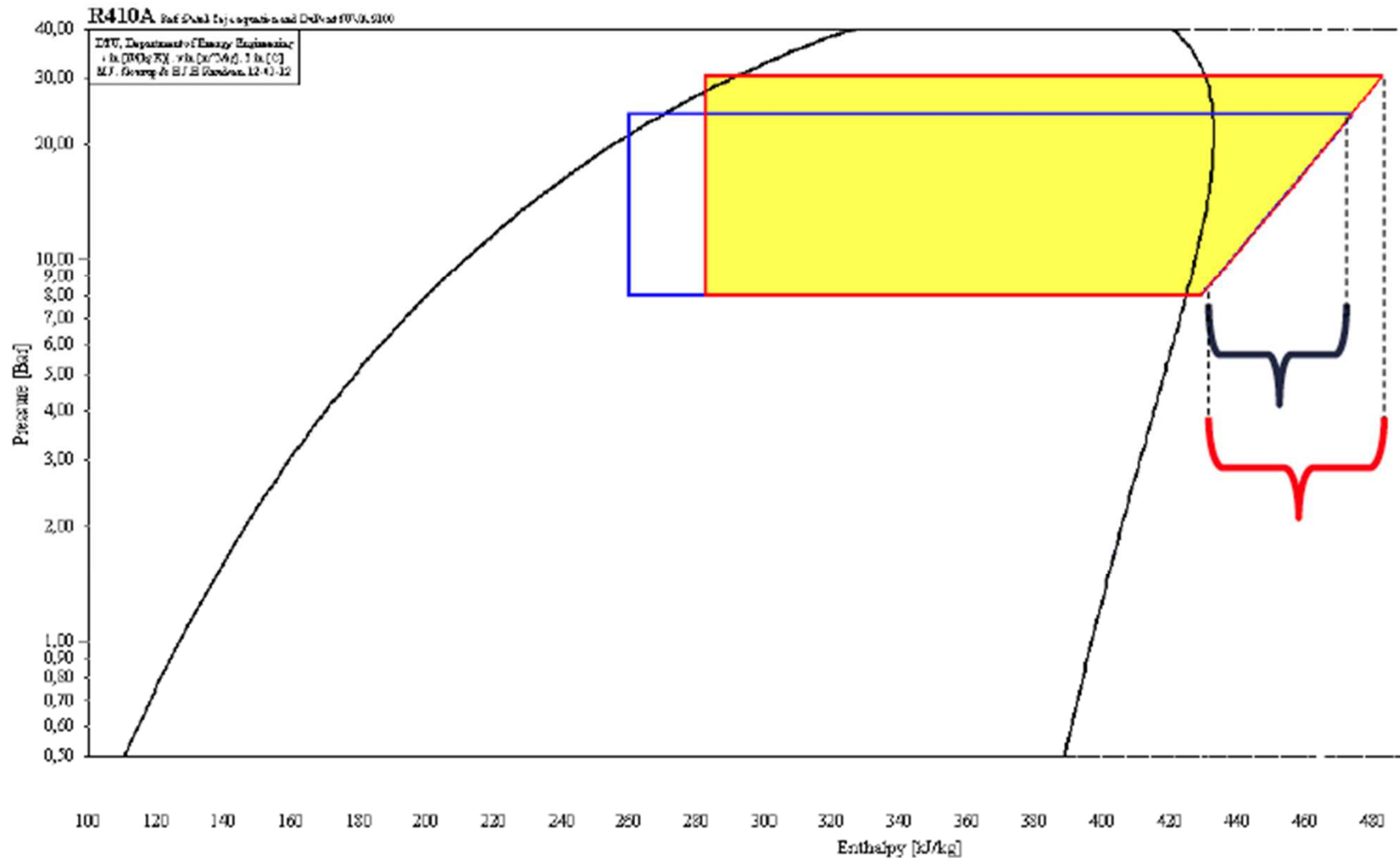
**PERCHE' ALL'AUMENTARE DELLA TEMPERATURA DI  
PRODUZIONE DELL'ACQUA CALDA DIMINUISCE LA  
POTENZA E SI RIDUCE IL COP?**



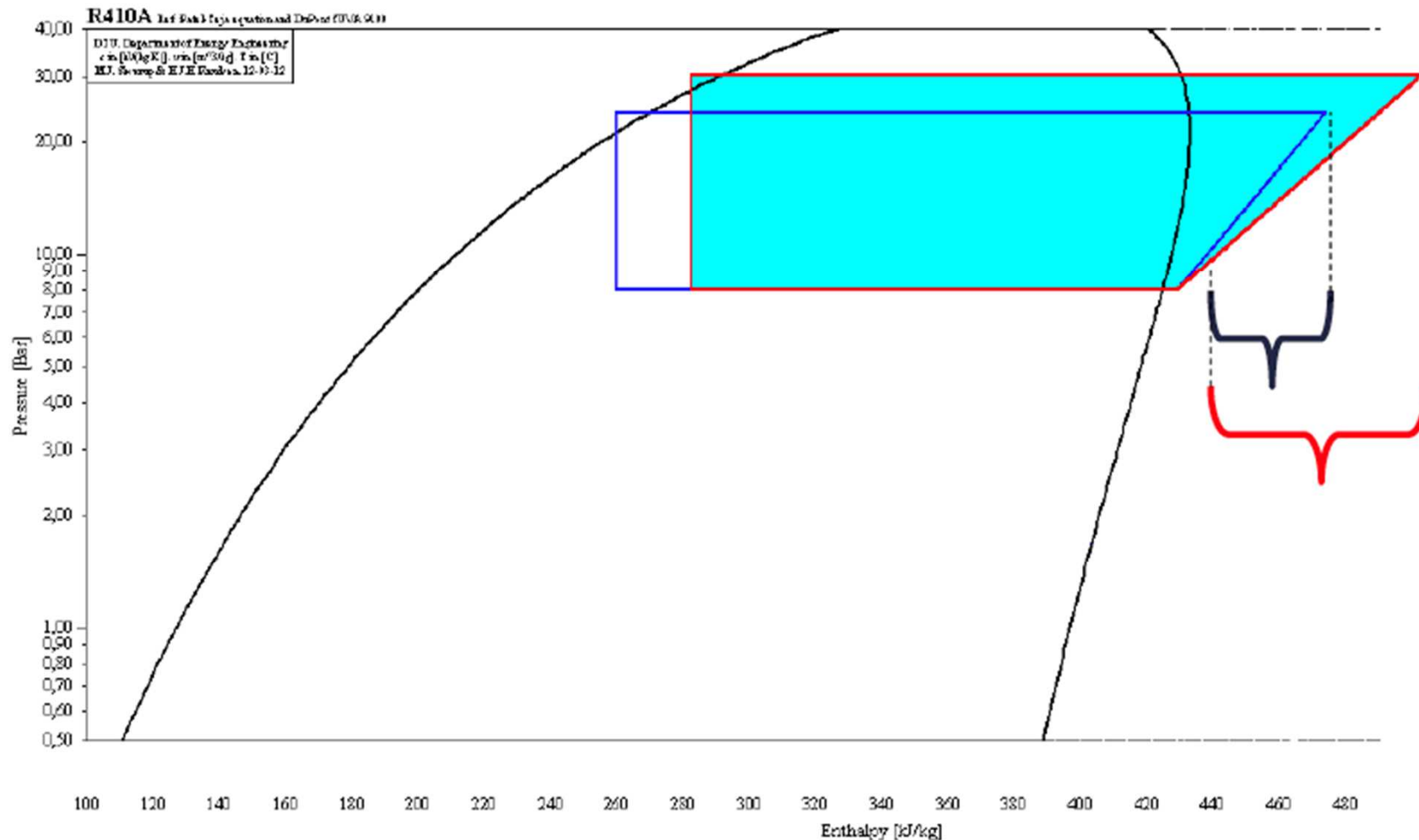




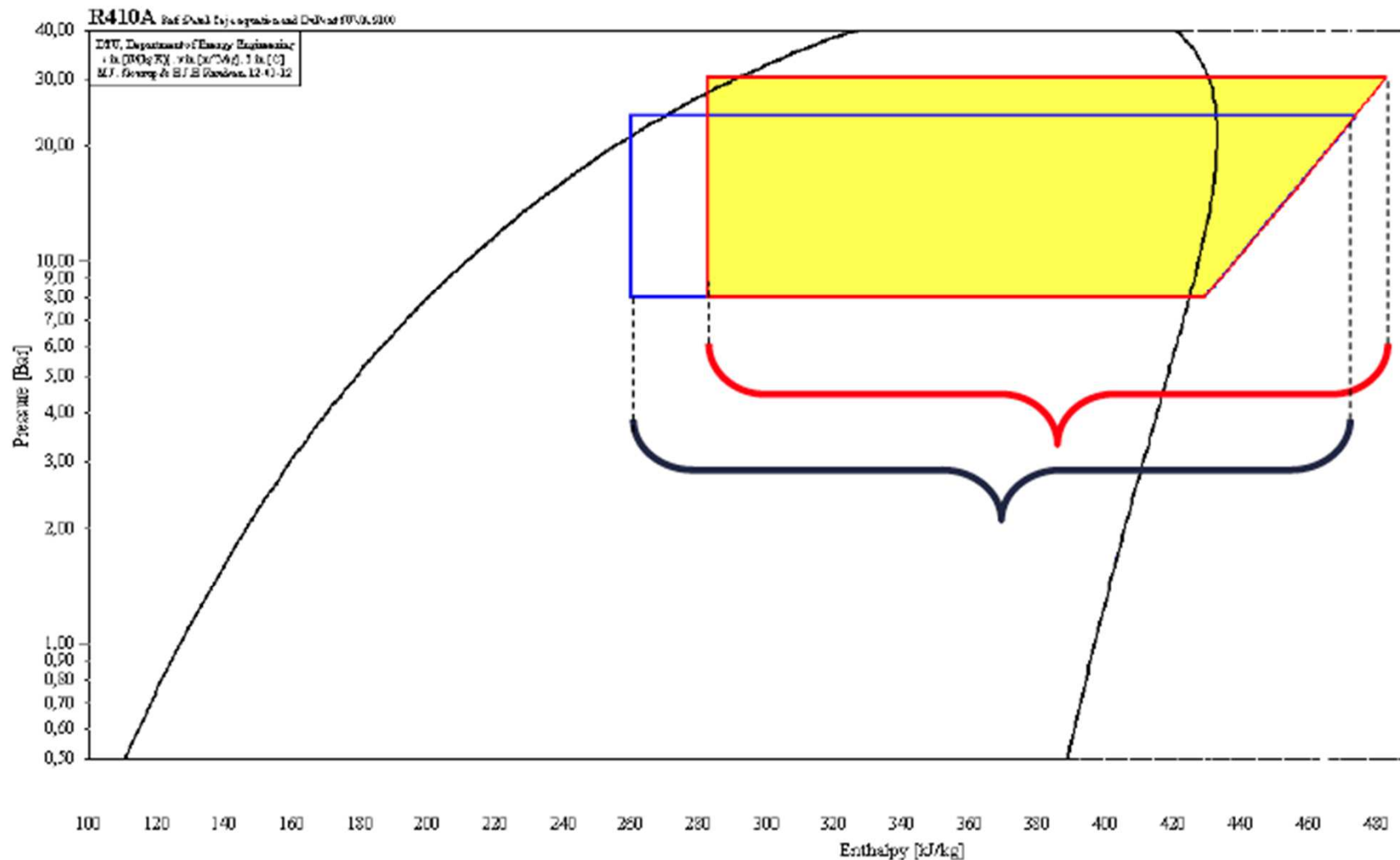
## L'aumento della temperatura di condensazione aumenta $L_c$ :



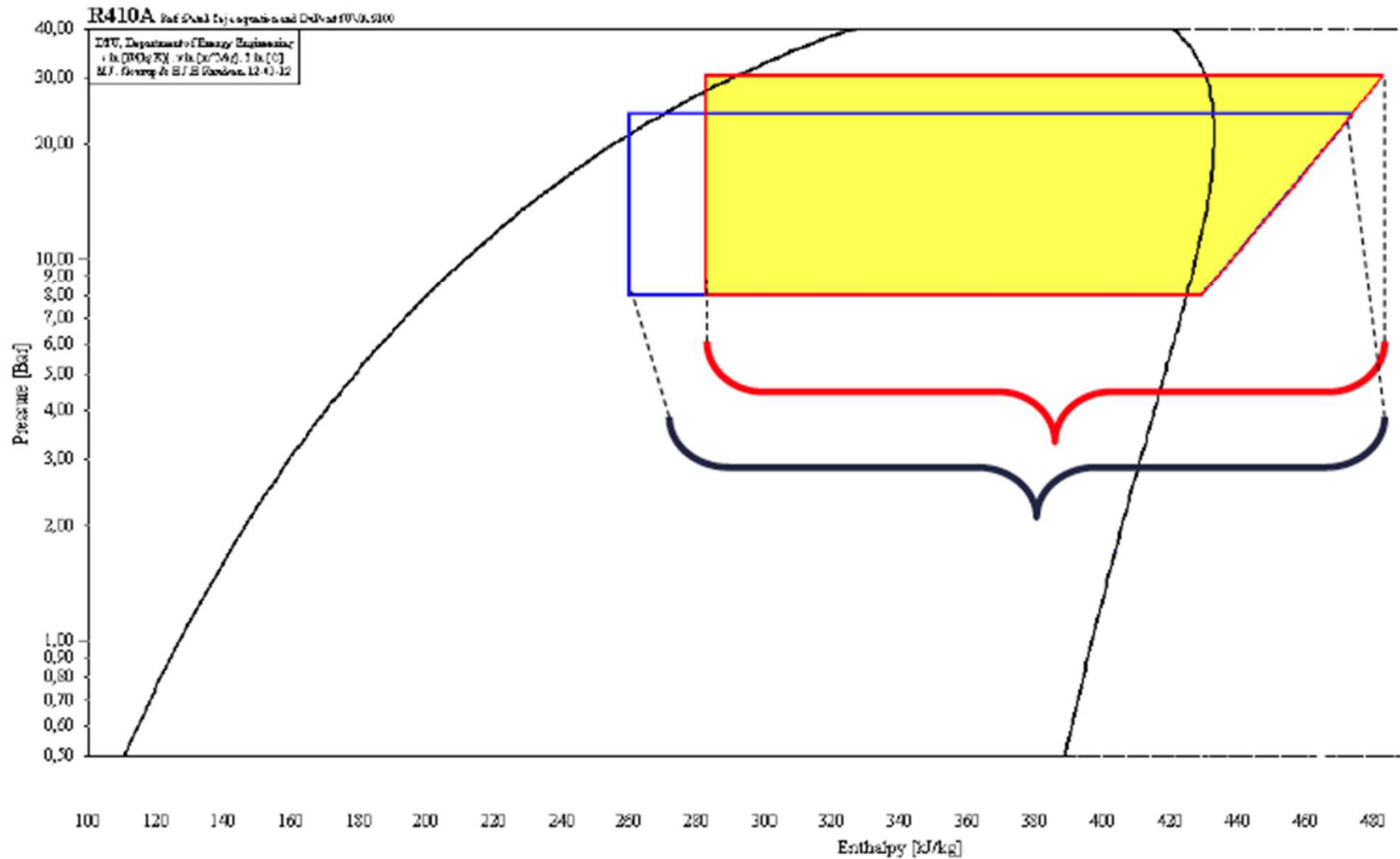
L'aumento di  $L_c$  è ancora maggiore se peggiora il rendimento del compressore:



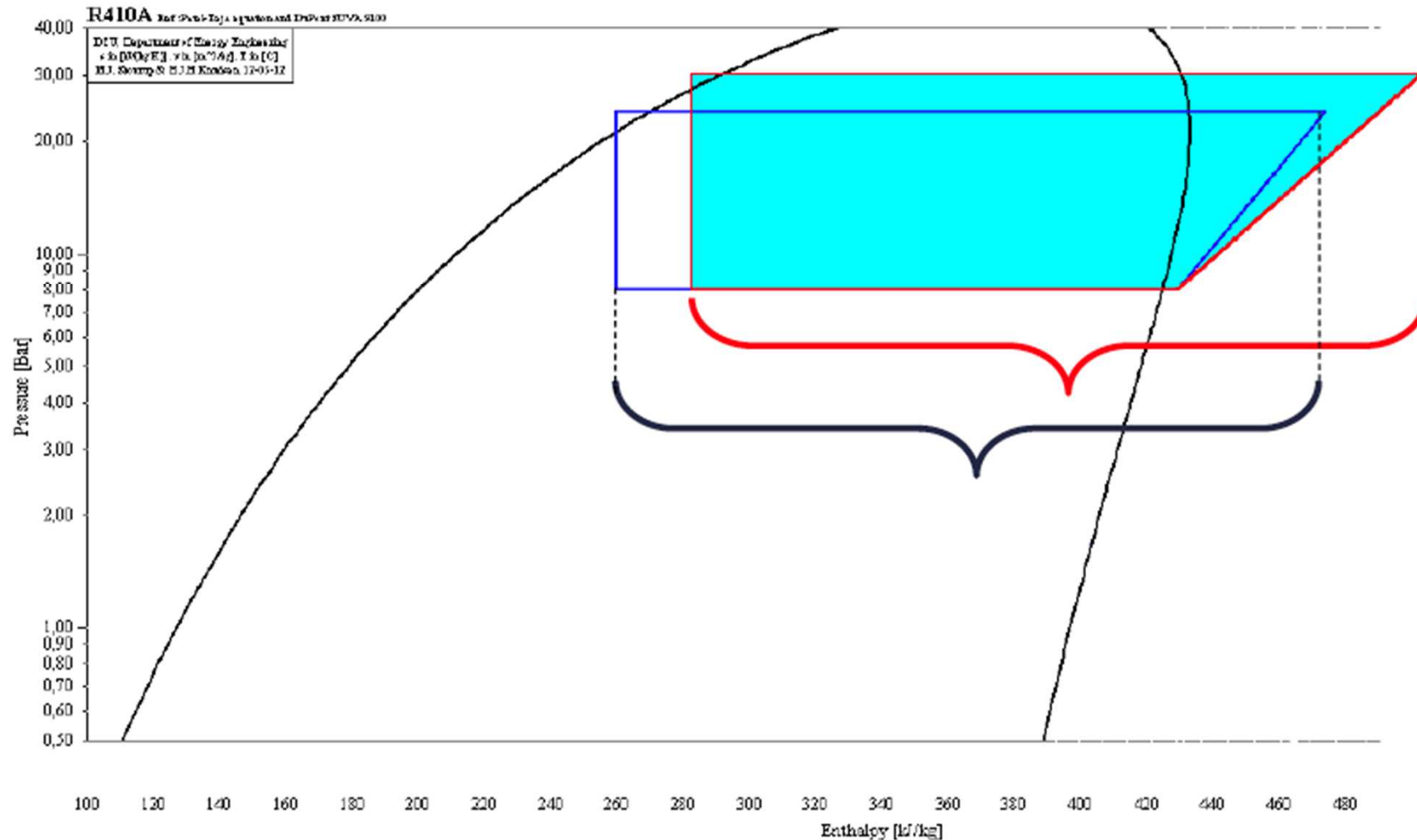
## A parità di rendimento del compressore diminuisce $EU_i$ :



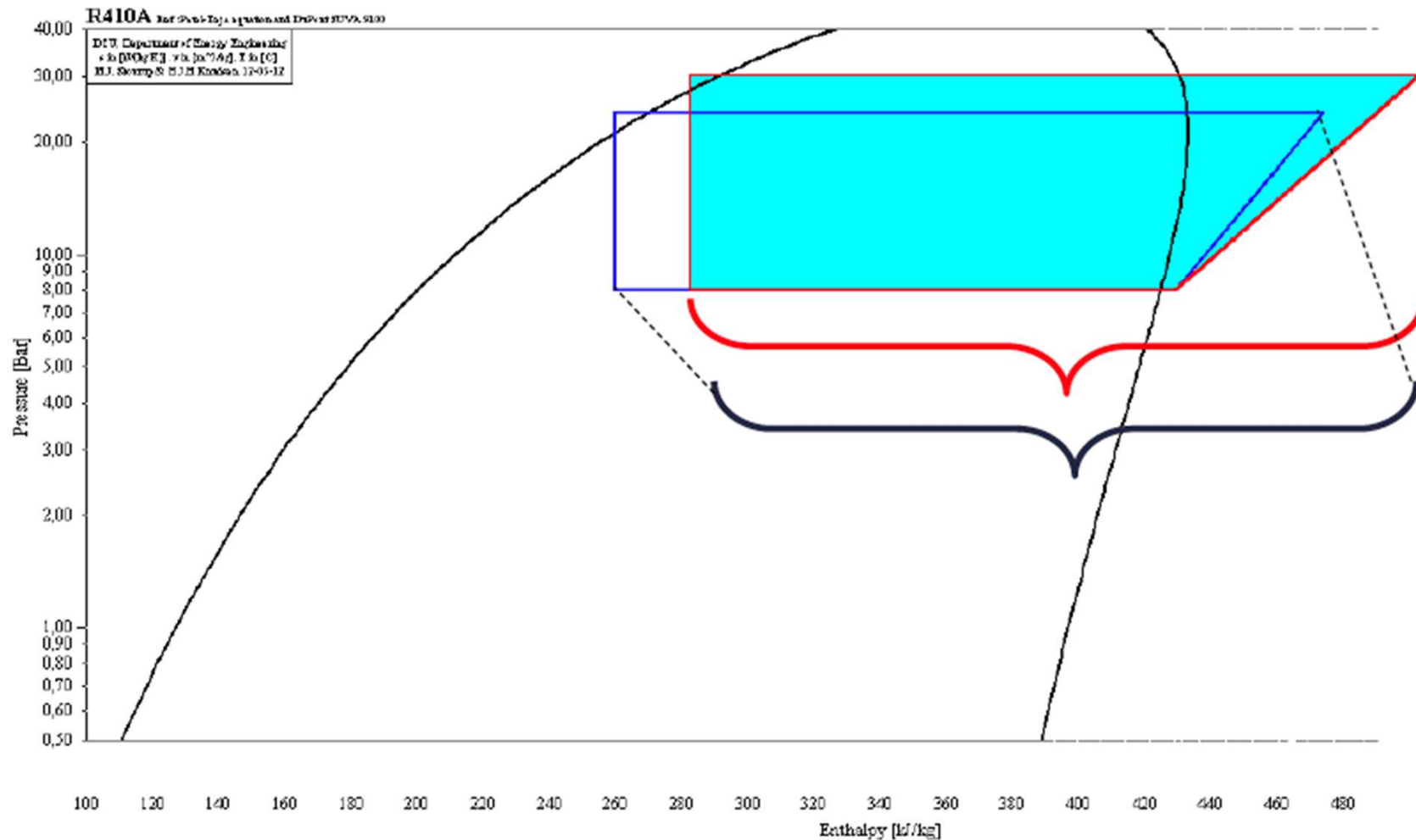
A parità di rendimento del compressore diminuisce  $EU_i$ :



Se il rendimento del compressore peggiora,  $E_{u_i}$  potrebbe rimanere inalterato o addirittura aumentare



Se il rendimento del compressore peggiora,  $E_{u_i}$  potrebbe rimanere inalterato o addirittura aumentare

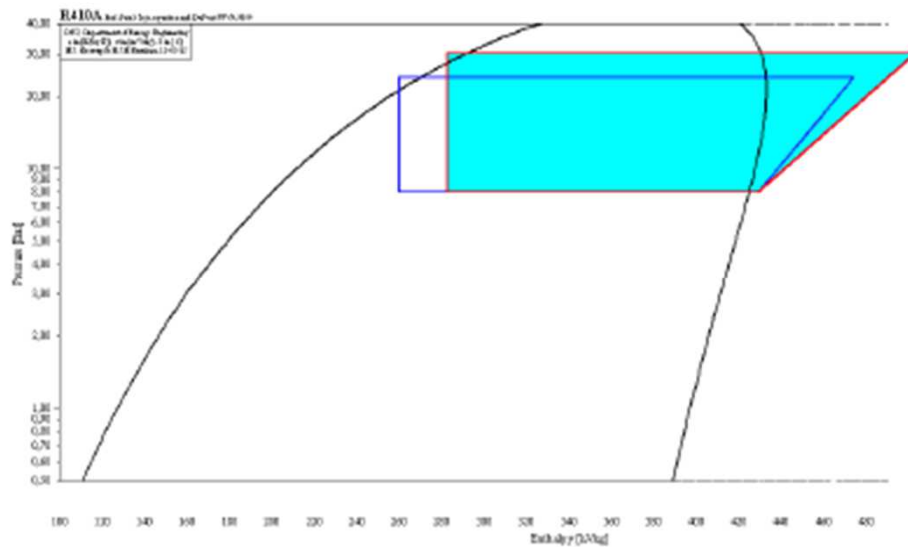


# “Nuove apparecchiature per la climatizzazione”

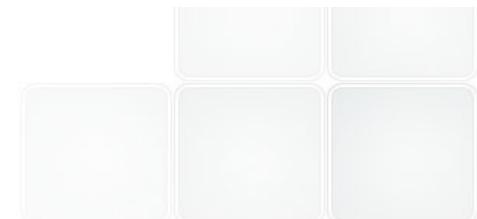
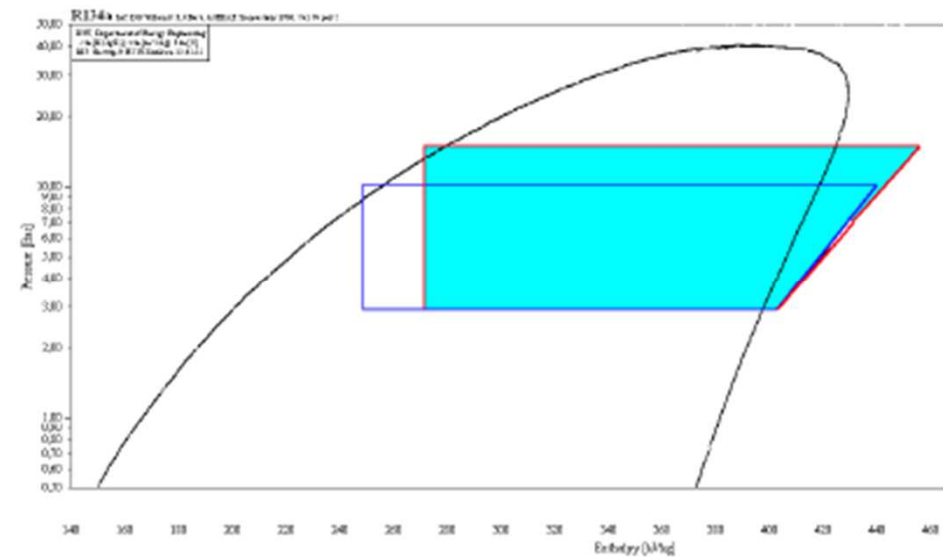


La variazione di  $Eu_j$  dipende anche dal refrigerante: è leggermente più marcata con R410A rispetto a R134a a causa della forma della campana

### R410A

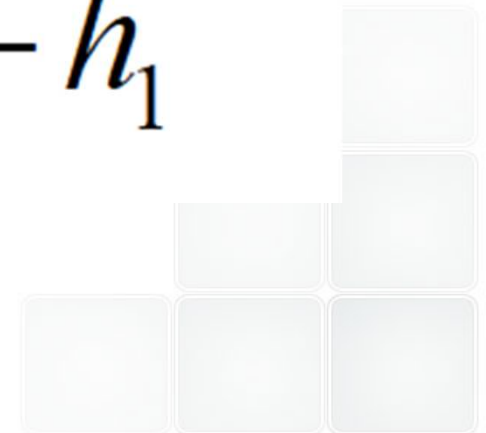


### R134a



All'aumentare della temperatura di produzione dell'acqua il COP peggiora sempre, perché  $L_c$  aumenta mentre  $EU_i$  diminuisce o rimane inalterato, a seconda del rendimento isoentropico del compressore:

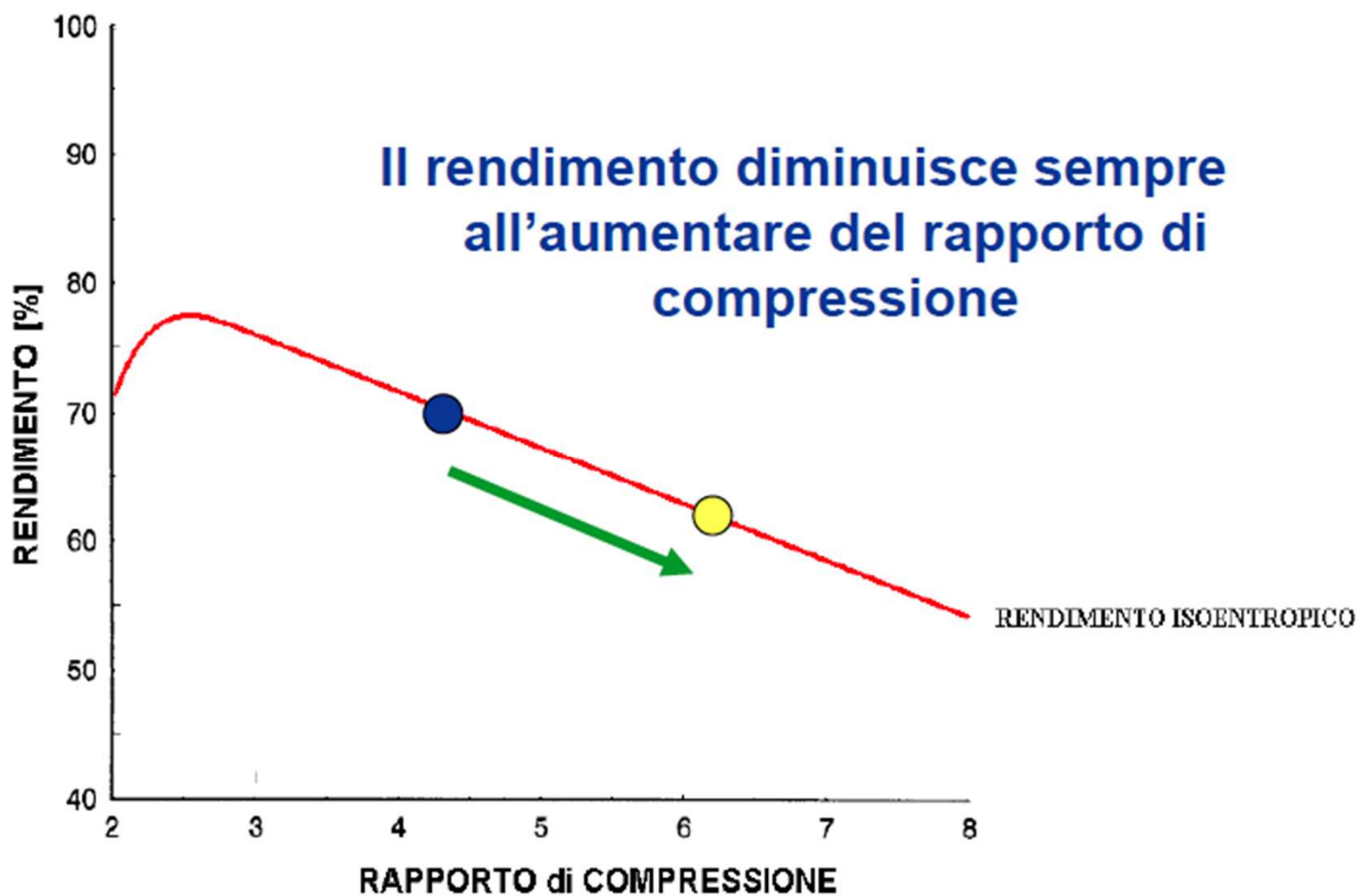
$$COP_{TH} = \frac{EU_I}{L_C} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$



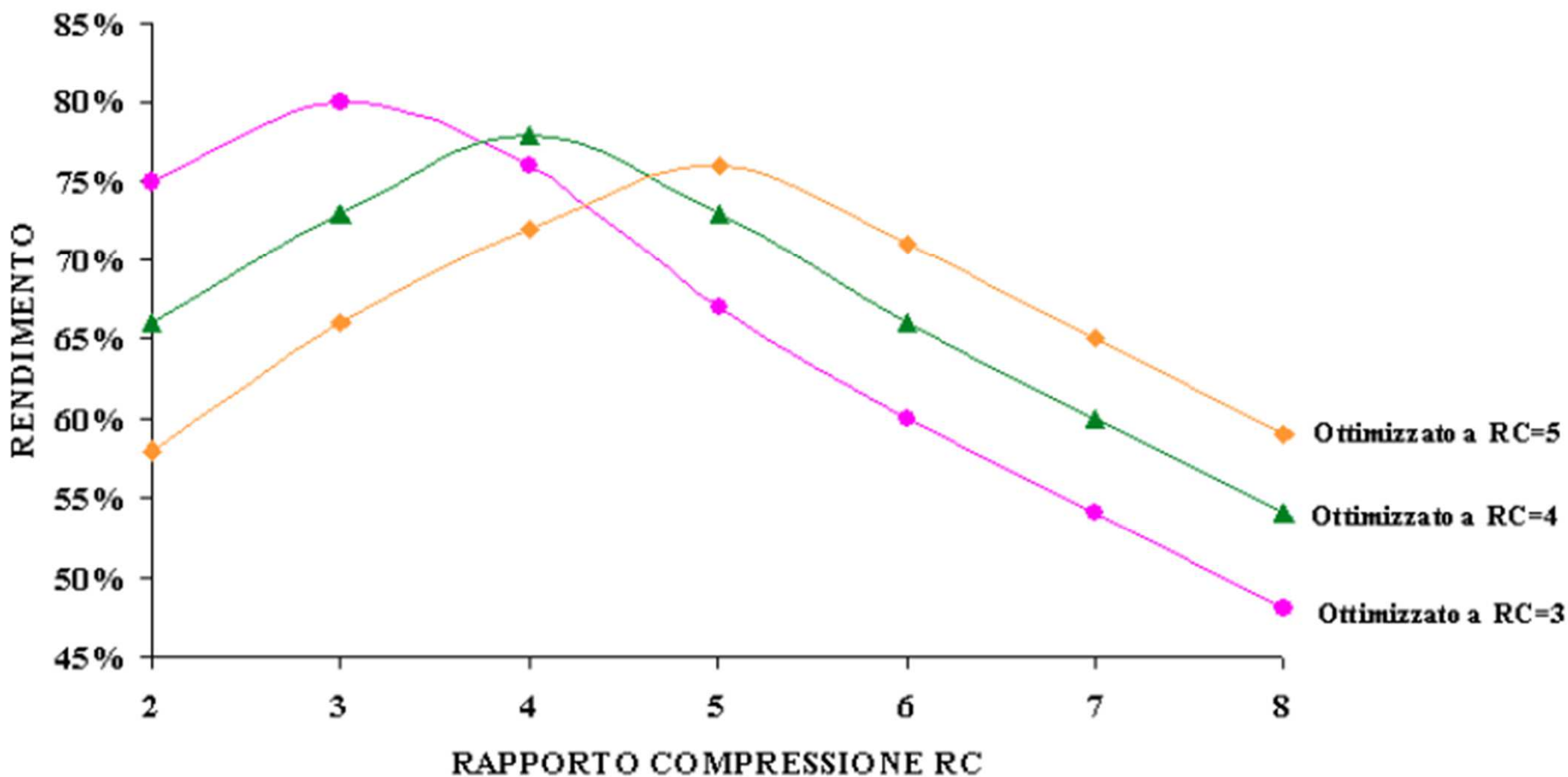


## RENDIMENTO ISOENTROPICO DEL COMPRESSORE

### COMPRESSORI SCROLL



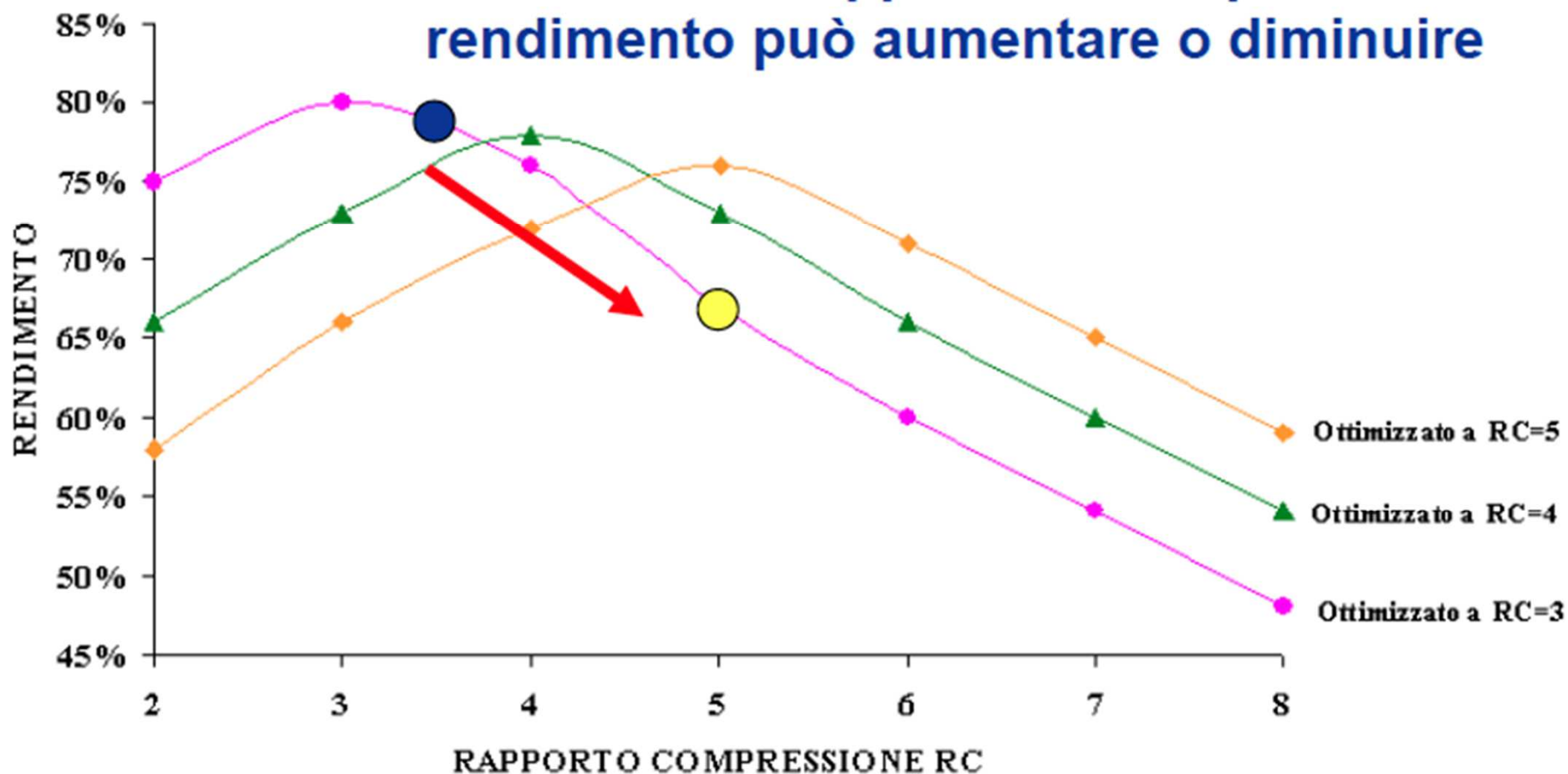
## RENDIMENTO ISOENTROPICO DEL COMPRESSORE COMPRESSORI A VITE



## RENDIMENTO ISOENTROPICO DEL COMPRESSORE

### COMPRESSORI A VITE

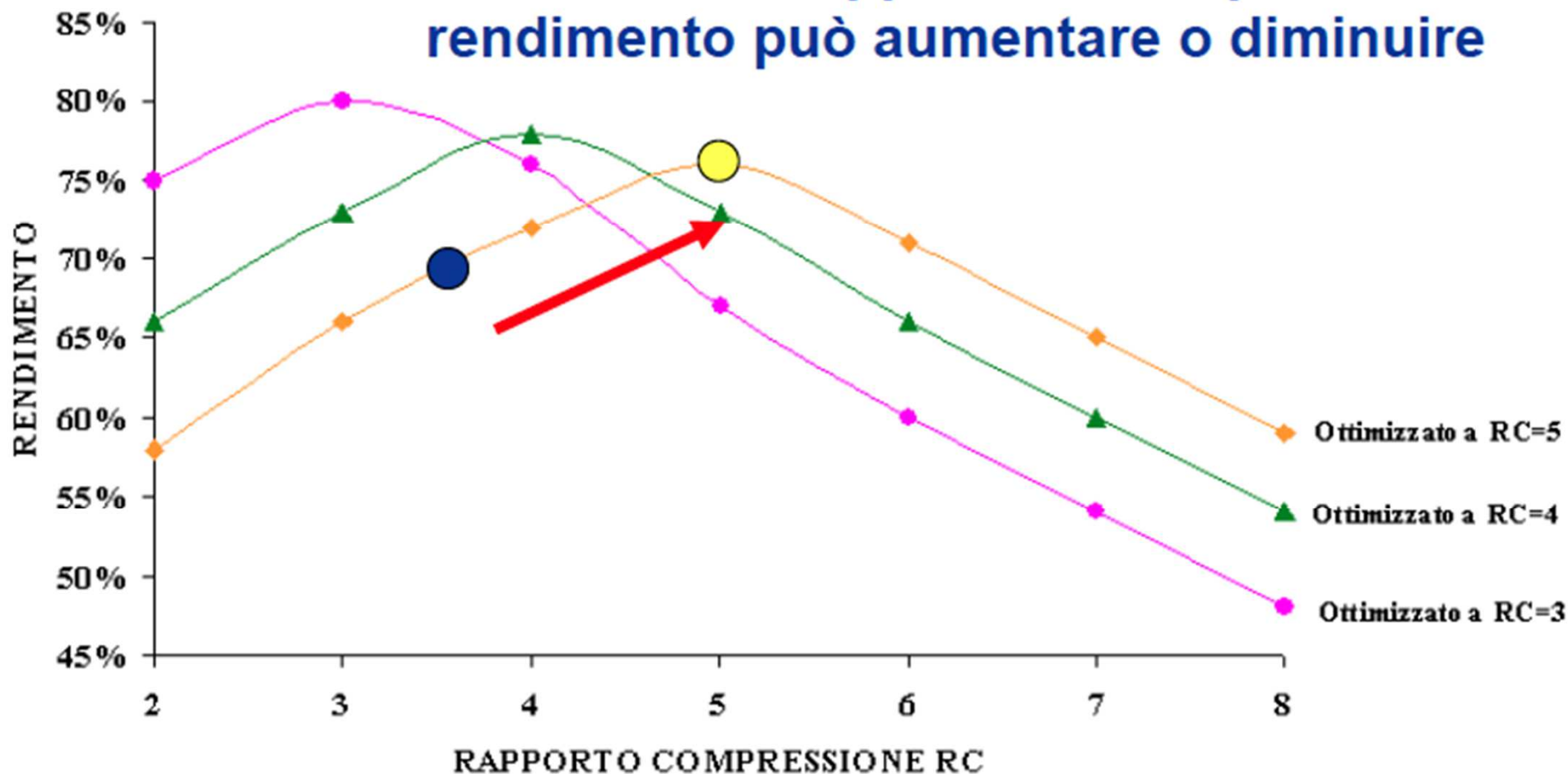
All'aumentare del rapporto di compressione il rendimento può aumentare o diminuire



## RENDIMENTO ISOENTROPICO DEL COMPRESSORE

### COMPRESSORI A VITE

All'aumentare del rapporto di compressione il rendimento può aumentare o diminuire



## RENDIMENTO VOLUMETRICO DEL COMPRESSORE

La potenza dipende anche dalla massa di refrigerante spostato M

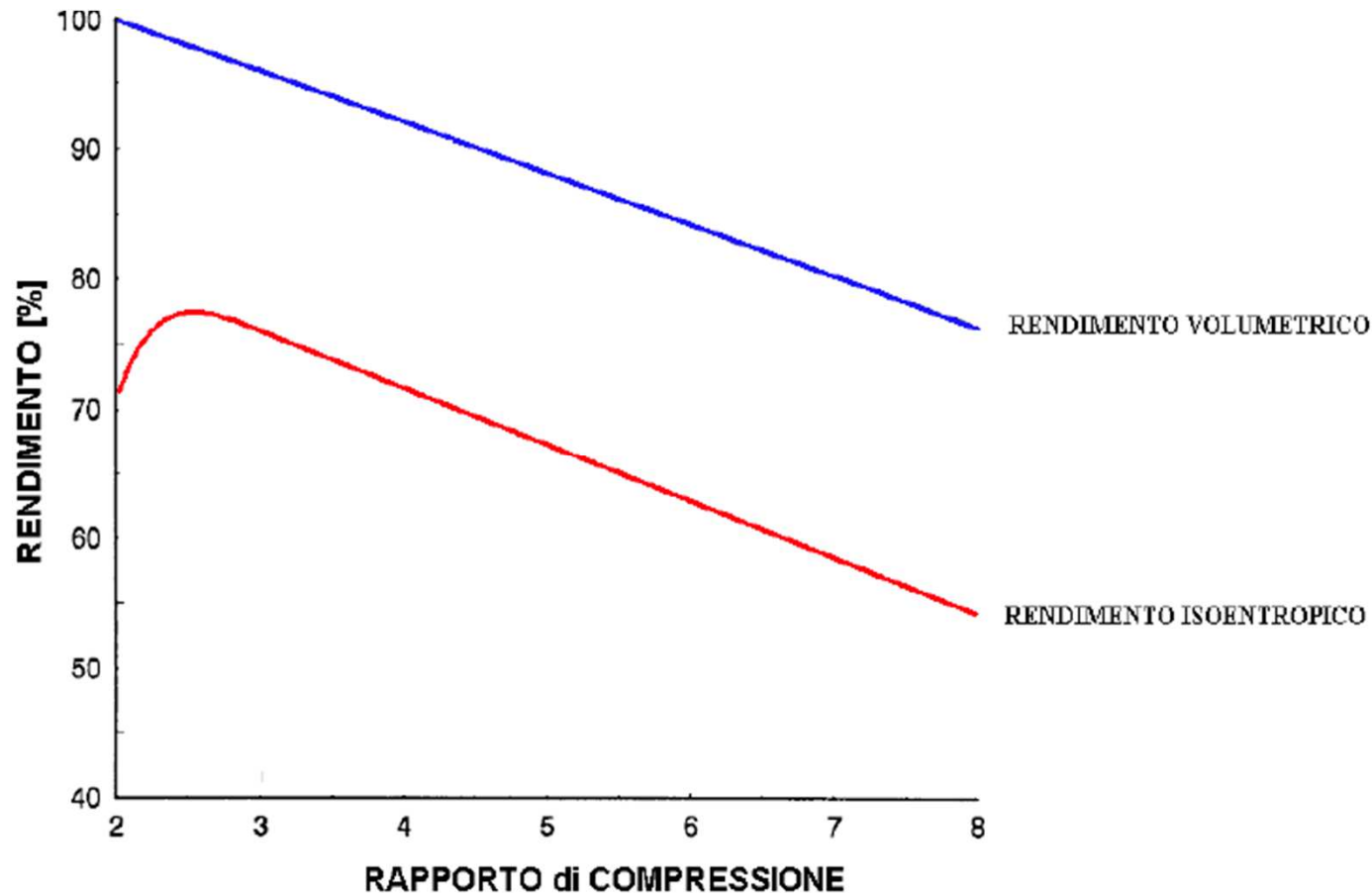
$$P_C = M(h_2 - h_4) = Q \rho \eta_V (h_2 - h_4)$$

Entra in gioco il rendimento volumetrico del compressore



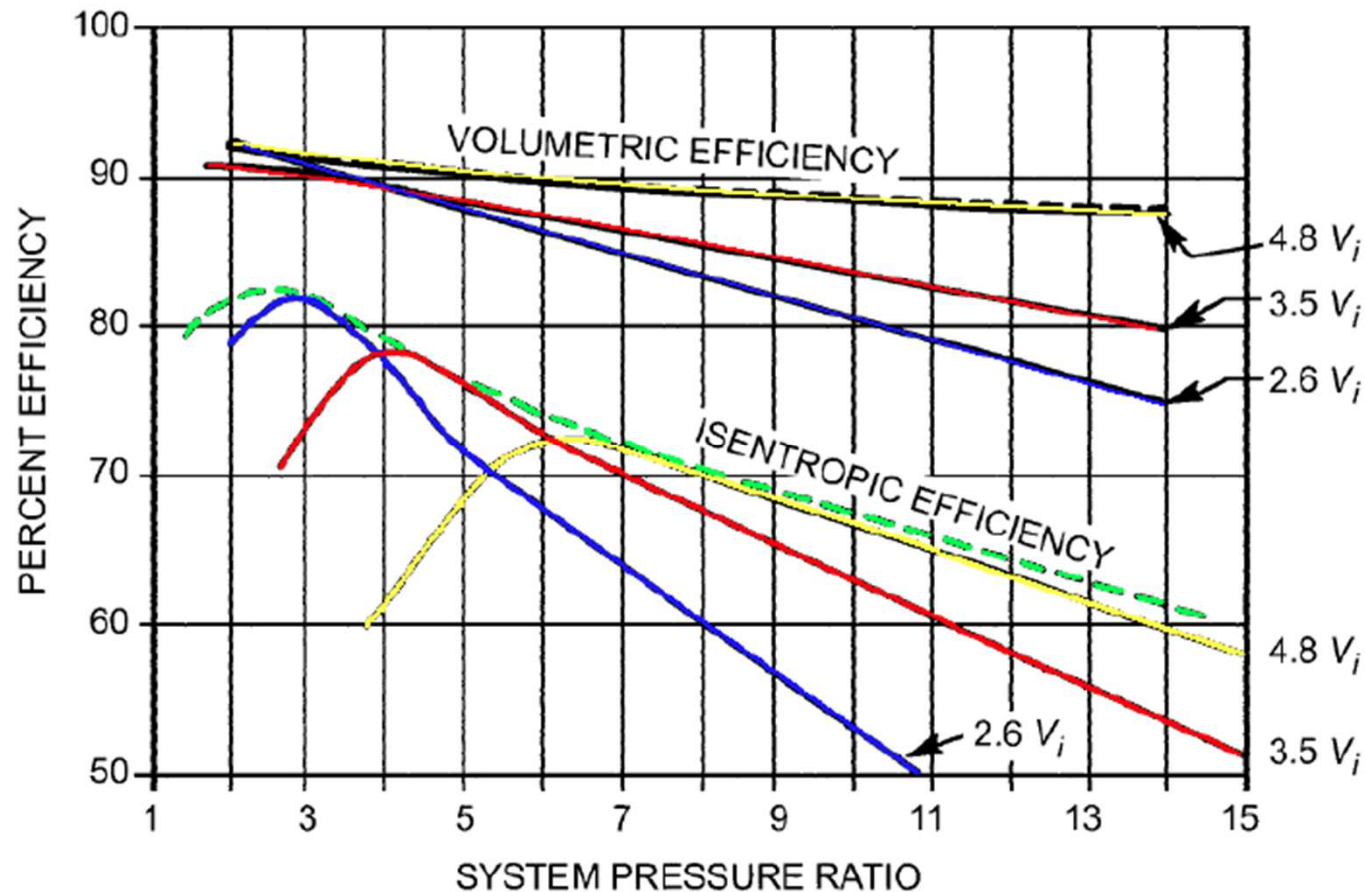
## RENDIMENTO VOLUMETRICO DEL COMPRESSORE

**Il rendimento volumetrico diminuisce sempre all'aumentare di RC sia per gli scroll...**

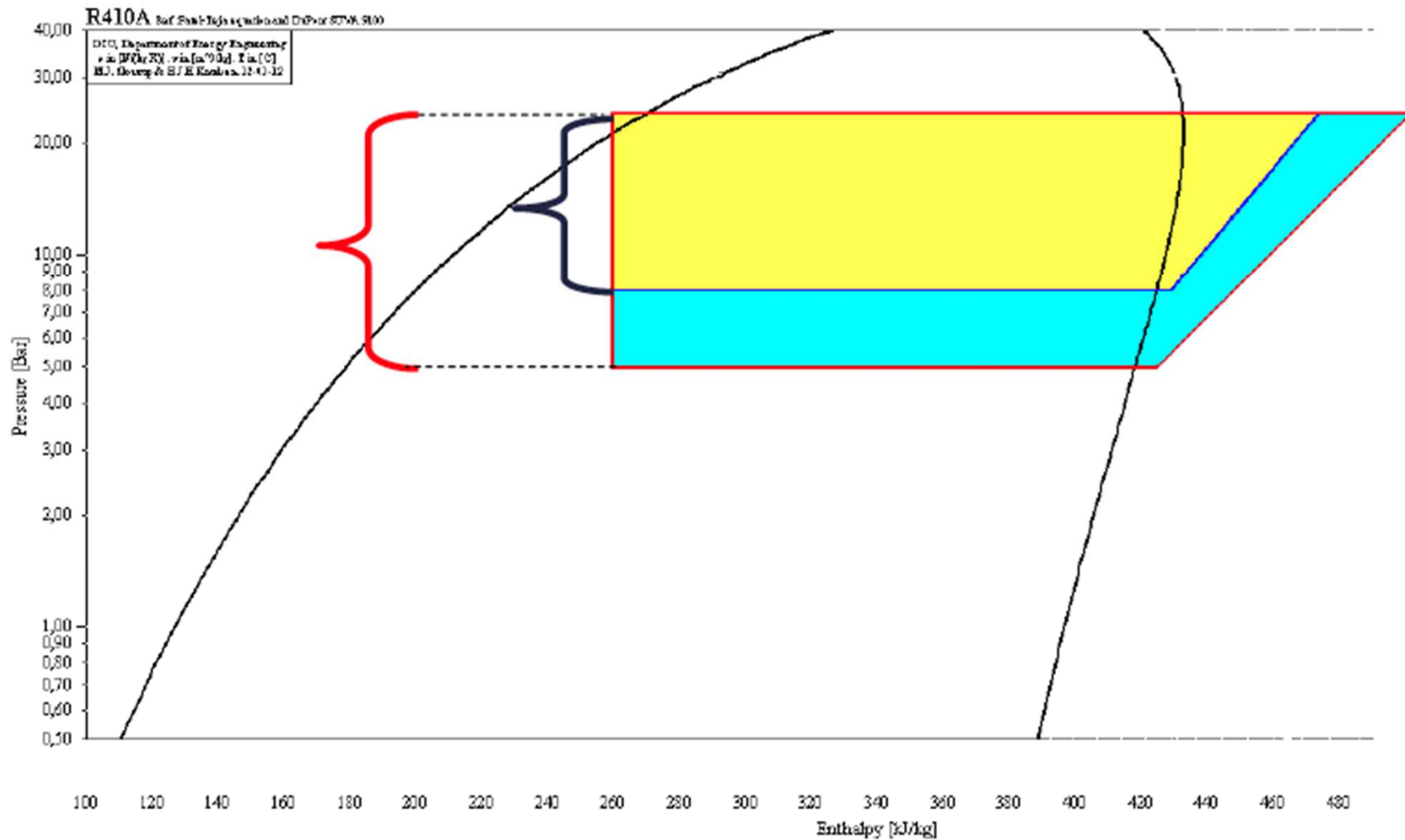


## RENDIMENTO VOLUMETRICO DEL COMPRESSORE

Il rendimento volumetrico diminuisce sempre all'aumentare di RC sia per gli scroll..che per i vite

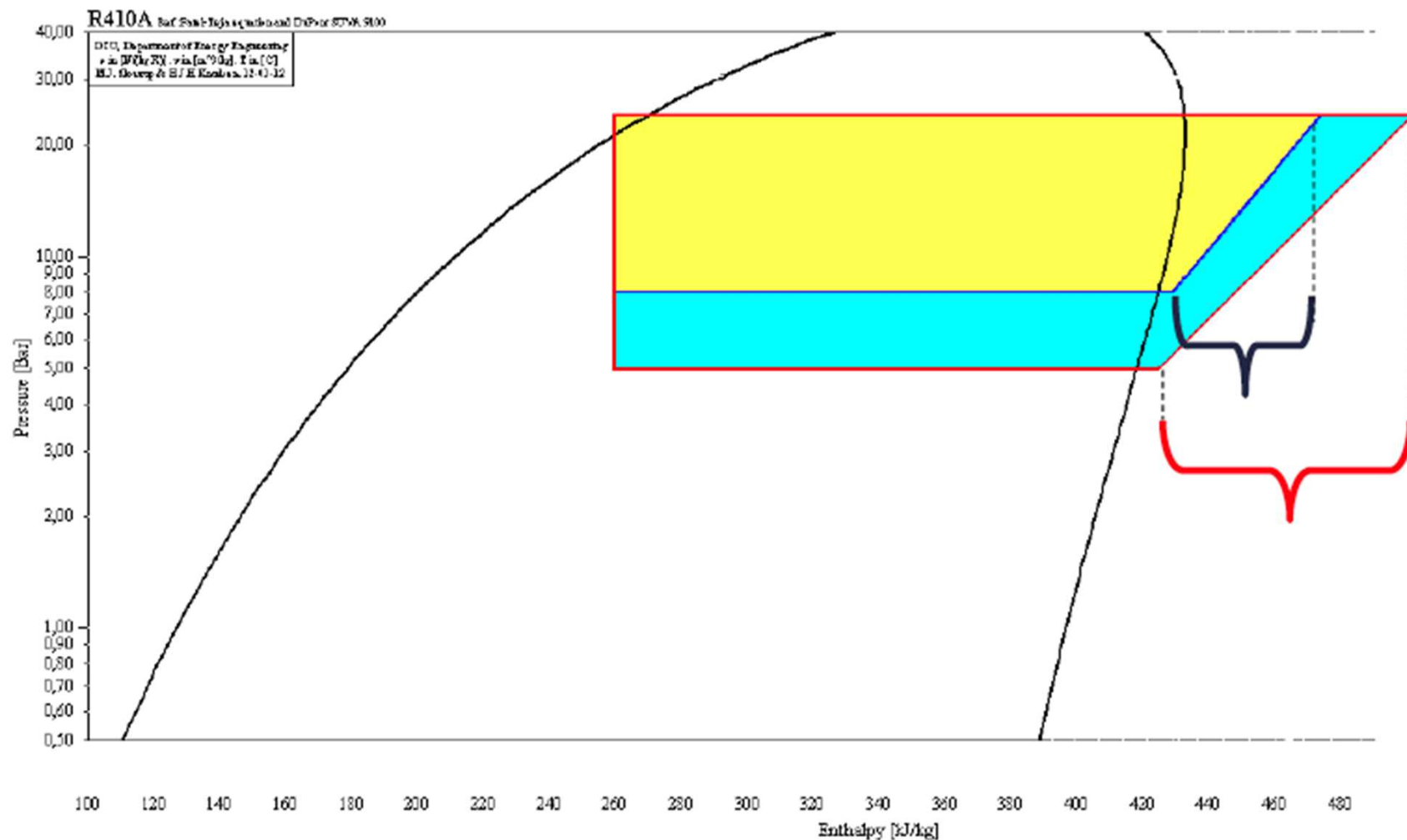


## La diminuzione della temperatura di evaporazione aumenta RC

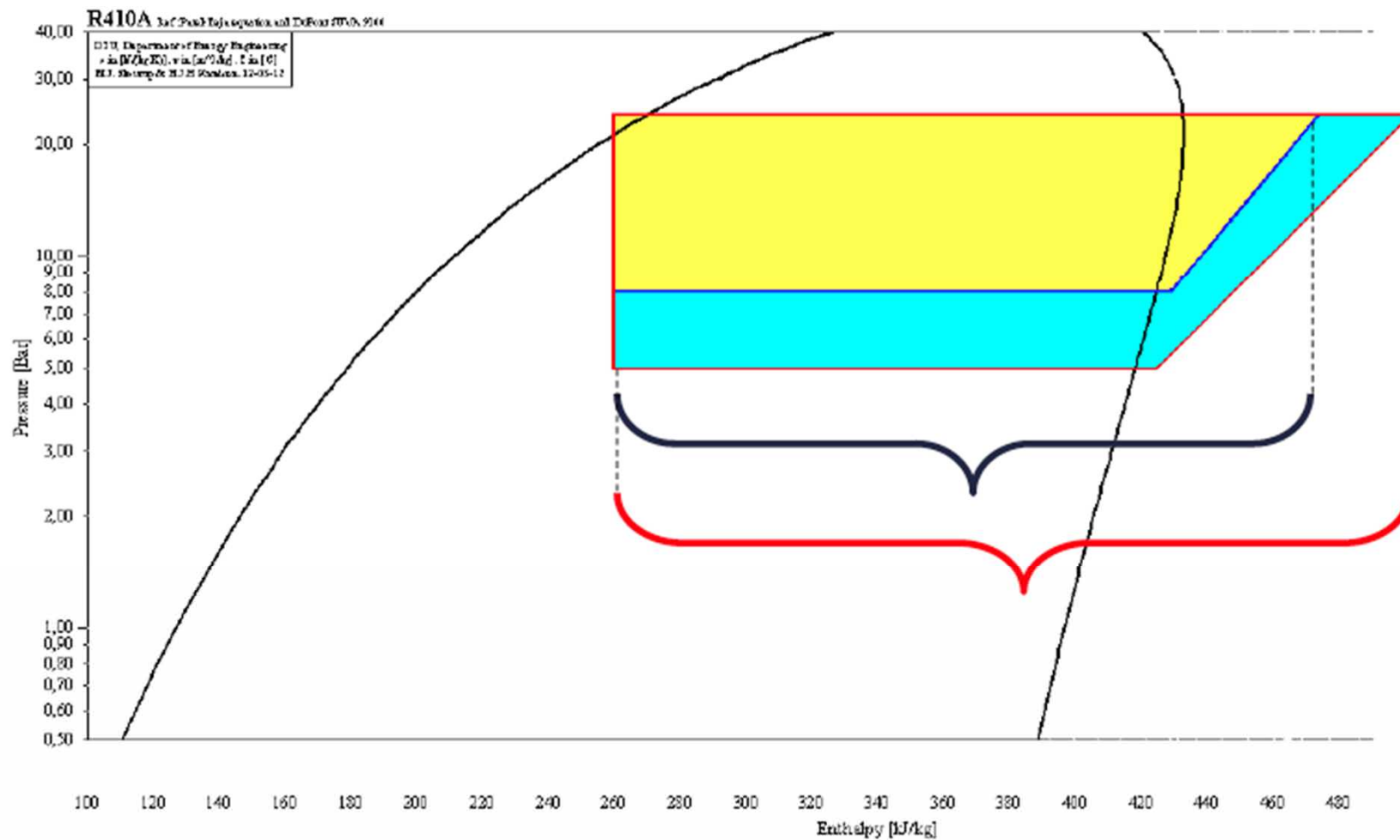




## La diminuzione della temperatura di evaporazione aumenta $L_c$

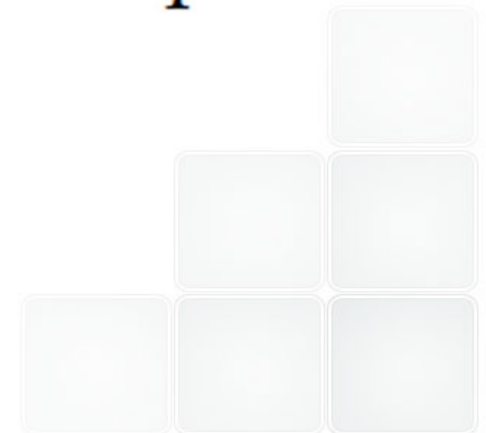


# La diminuzione della temperatura di evaporazione fa aumentare $EU_i$



Il COP peggiora sempre, perché  $L_c$  aumenta percentualmente sempre più di quanto aumenta  $Eu_i$ :

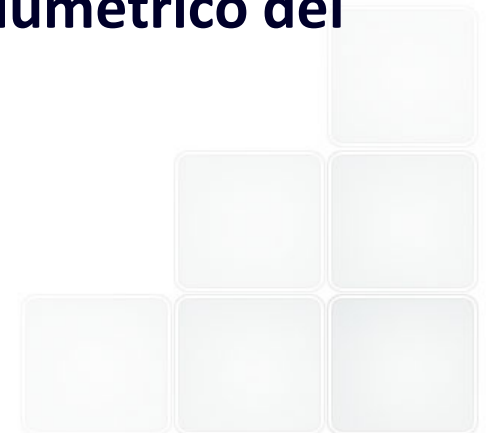
$$COP_{TH} = \frac{EU_I}{L_C} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$



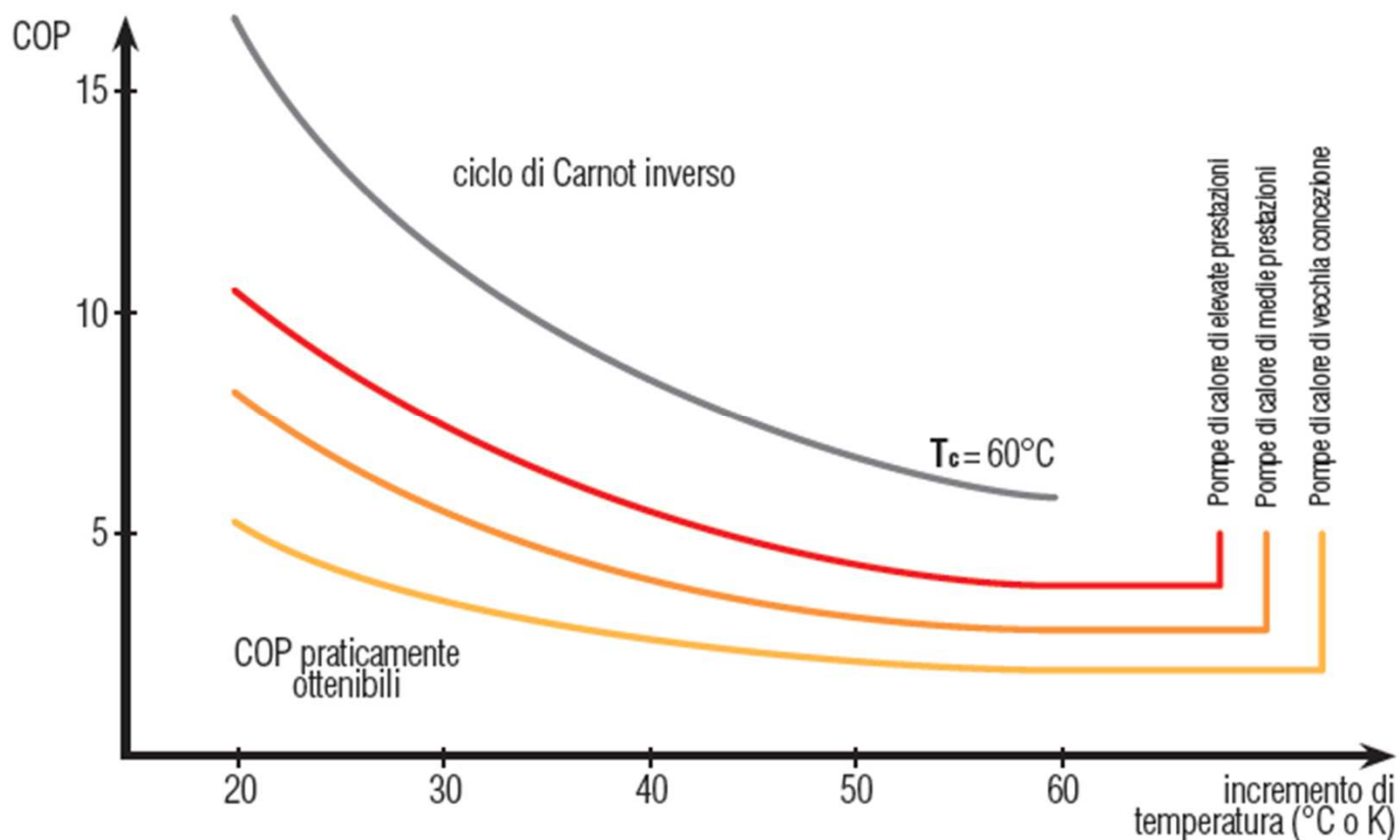
**La potenza dipende anche dalla densità del refrigerante che diminuisce con la temperatura di evaporazione:**

$$P_C = M(h_2 - h_4) = Q \rho \eta_V (h_2 - h_4)$$

**Ovviamente diminuisce anche il rendimento volumetrico del compressore!!**



**Vi è una forte dipendenza del COP dalla temperatura della sorgente fredda e da quella del calore utile prodotto:**



COP di pompe di calore di diversa qualità confrontate con il valore teorico in funzione della differenza fra le temperature di condensazione e di evaporazione (Temp. al condensatore = Temp. Utile =  $60^\circ\text{C}$ )

## PRESTAZIONI DI UNA POMPA DI CALORE

La quantità di calore trasferita è proporzionale alla massa di gas che viene fatta evaporare, compressa e fatta condensare

1. All' aumentare del **salto di temperatura**, aumenta il salto di pressione

→ il lavoro di compressione aumenta,

→ il COP diminuisce.

2. Il compressore è una macchina volumetrica: al diminuire della **temperatura di evaporazione** diminuisce la densità del gas

→ diminuisce la massa di gas trasferito,

→ diminuisce la potenza utile.

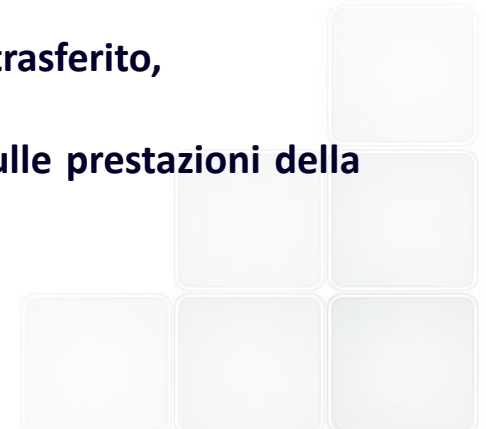
3. Il compressore è una macchina volumetrica: all' aumentare della **temperatura di condensazione** aumenta la pressione finale

→ aumenta il lavoro di compressione sull' unità di massa di gas trasferito,

→ aumenta la potenza assorbita dal compressore.

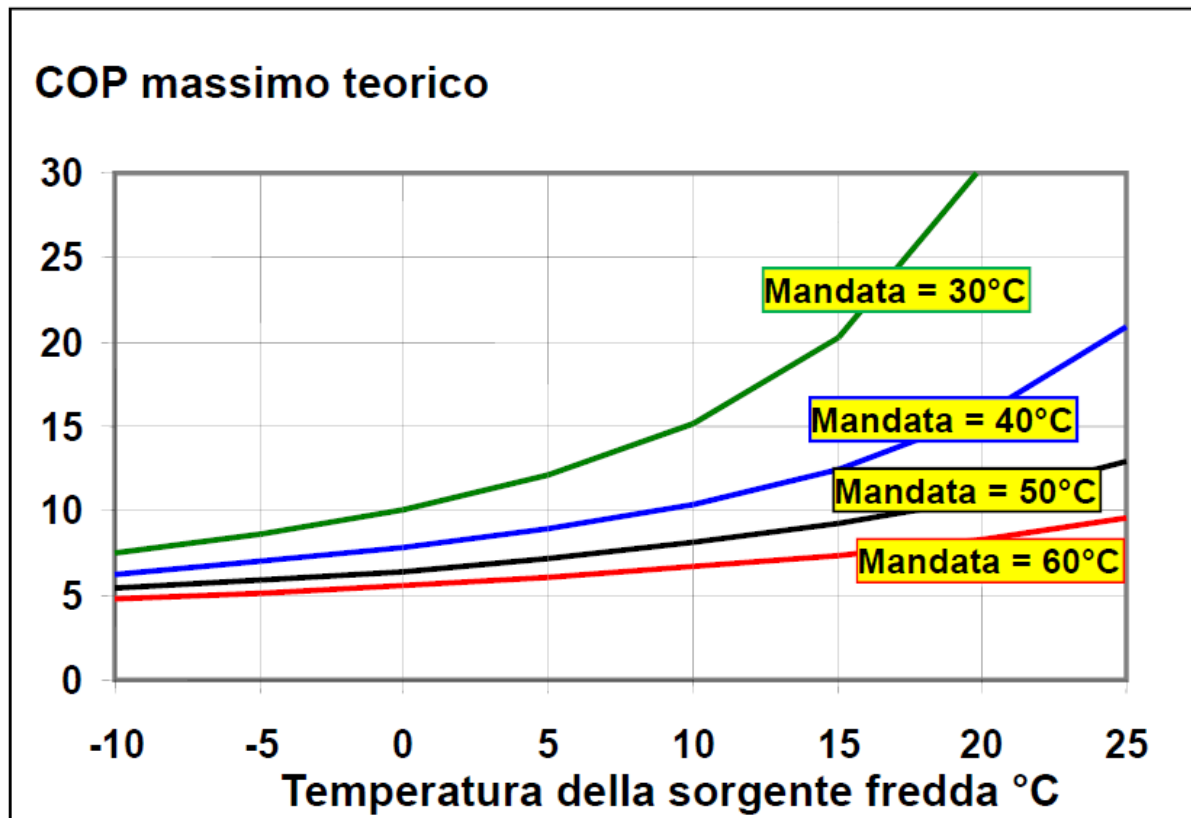
4. Le variazioni stagionali di temperatura delle sorgenti si ripercuotono sulle prestazioni della macchina:

→ SCOP, Seasonal Coefficient Of Performance.



## PRESTAZIONI DI UNA POMPA DI CALORE

### COP massimo teorico di una pompa di calore (macchina di Carnot a ciclo inverso):

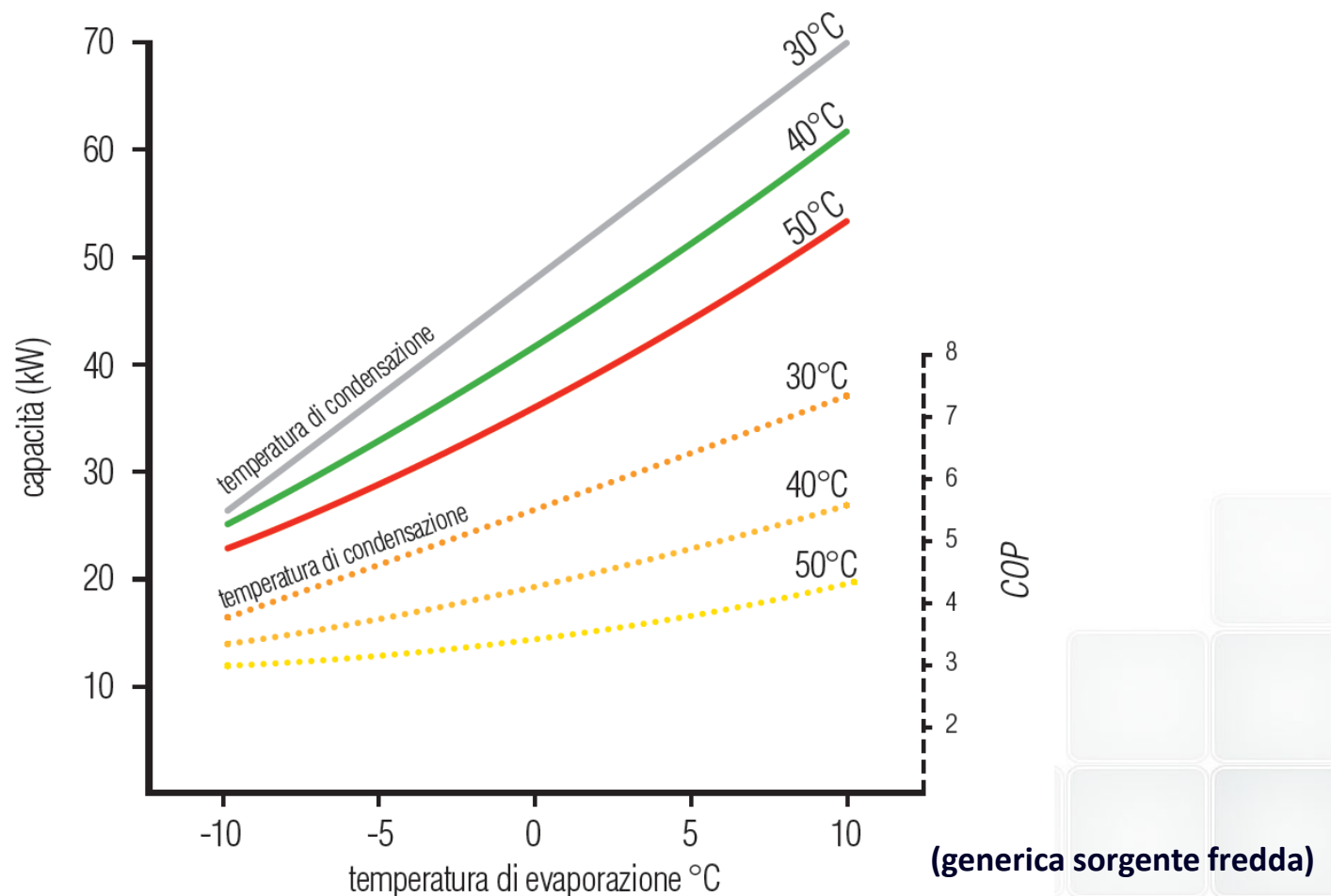


Temperatura della sorgente fredda: 5 [°C] = 268 [K].  
Temperatura della sorgente calda: 55 [°C] = 328 [K].

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

## PRESTAZIONI DI UNA POMPA DI CALORE

Prestazioni di una pompa di calore al variare delle temperature di condensazione e di evaporazione

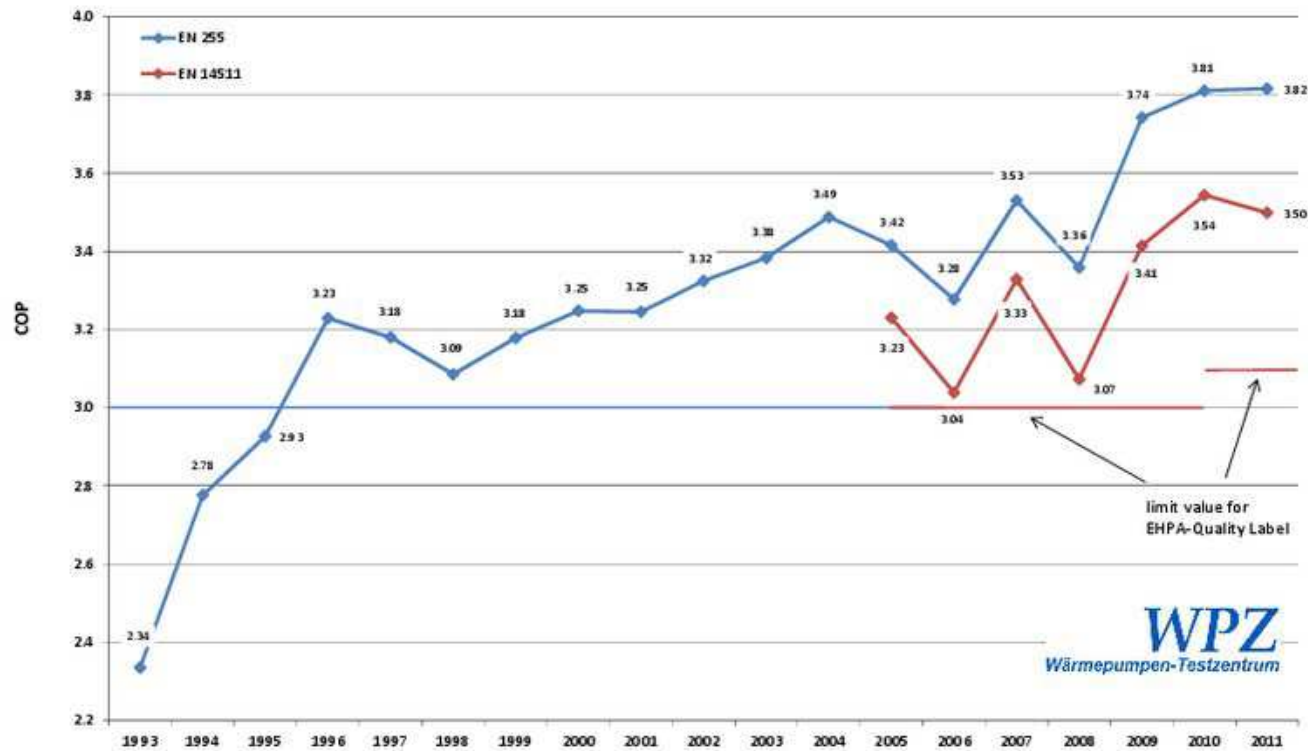




## PRESTAZIONI DI UNA POMPA DI CALORE

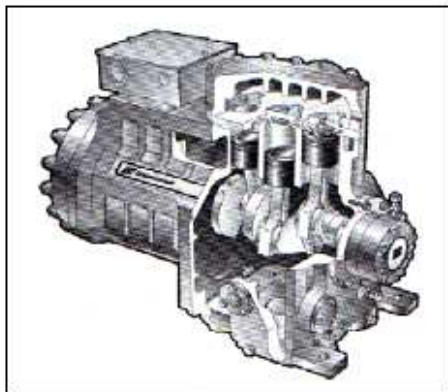
COP: rapporto fra il calore trasferito al pozzo caldo e l'energia assorbita

Air to water heat pump at A2 / W35 according EN 255 or EN 14511  
annual development of COP



## COMPONENTI PRINCIPALI DI UNA POMPA ELETTRICA A COMPRESIONE

**Compressore:** provvede ad aspirare il vapore di refrigerante a bassa pressione e a portarlo alla pressione più elevata necessaria alla condensazione a più alta temperatura.



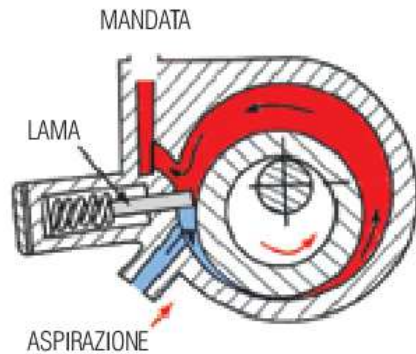
Compressore alternativo



Compressore a vite

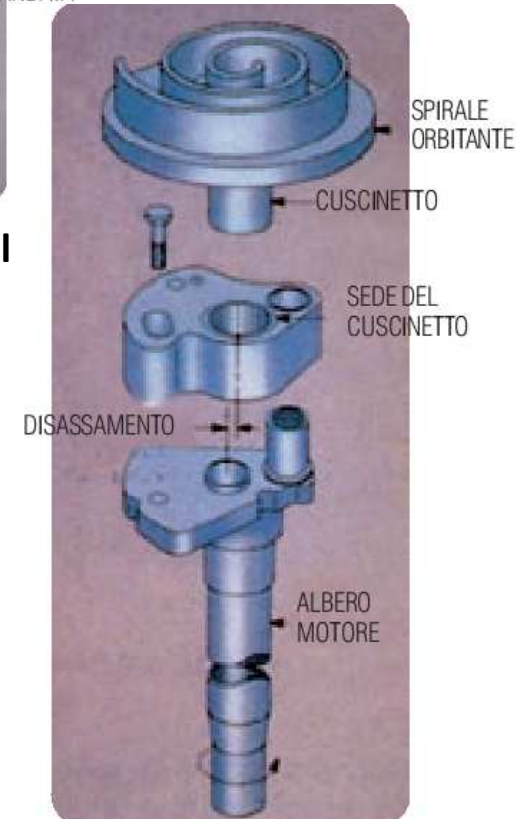


Compressore scroll



Compressore centrifugo a palette o rotativo

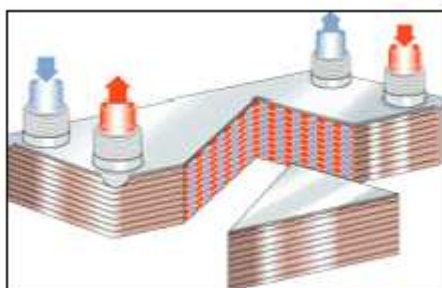
CAMPO DI POTENZA FRIGORIFERA RESA	TIPO DI COMPRESSORE
fino a 90 kW	alternativo - scroll
da 90 a 280 kW	alternativo - vite
da 280 a 700 kW	alternativo - vite - centrifugo
da 700 a 2800 kW	vite - centrifugo
da 2800 a 8400 kW	centrifugo



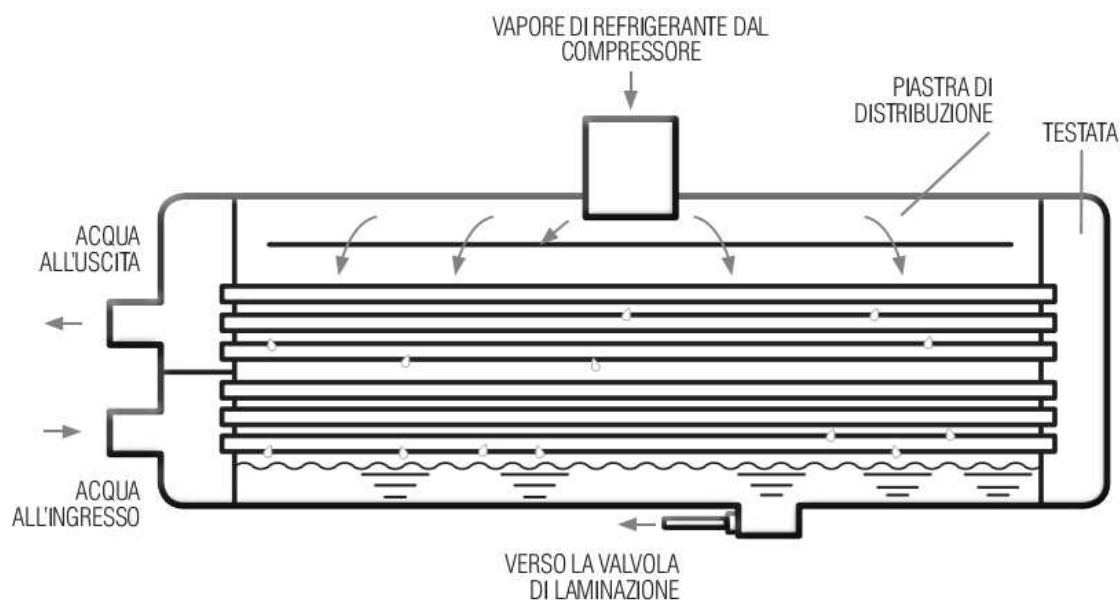
## COMPONENTI PRINCIPALI DI UNA POMPA ELETTRICA A COMPRESSIONE

**Condensatore:** in tale componente il refrigerante, ad alta pressione, condensa cedendo calore alla sorgente calda o pozzo caldo. Tipologie:

- Batterie alettate: la sorgente è l'aria;
- Scambiatori a fascio tubiero: la sorgente è l'acqua;
- Scambiatori di calore a piastre saldo brasate, per piccole potenze: la sorgente è un liquido (tipicamente acqua).



**Condensatore a piastre**

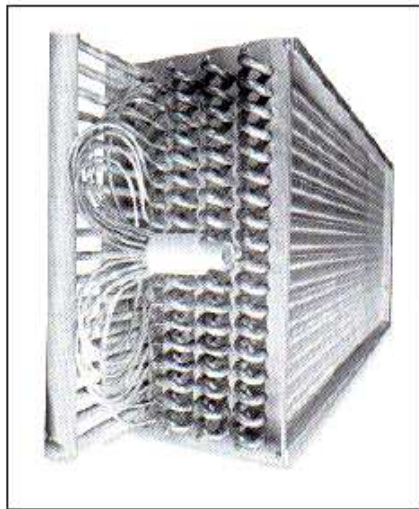


**Condensatore a fascio tubiero**

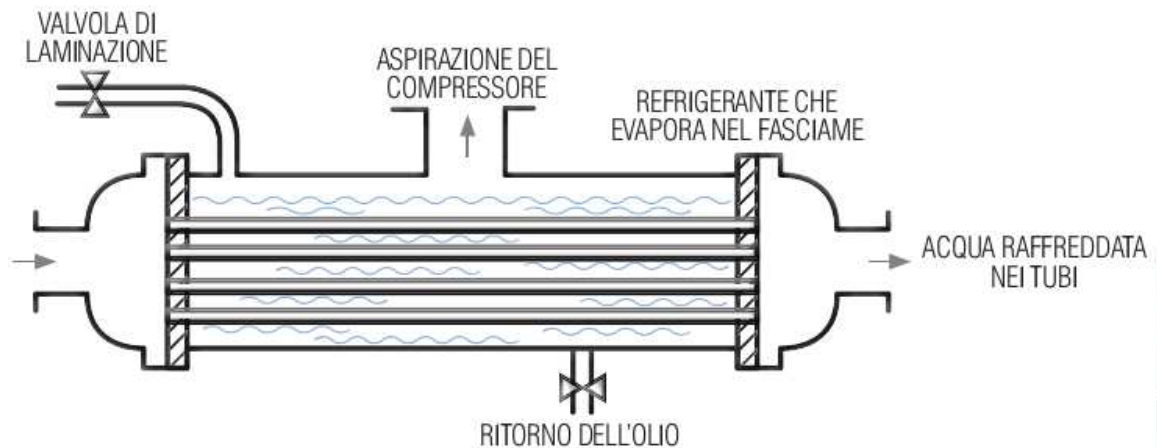
## COMPONENTI PRINCIPALI DI UNA POMPA ELETTRICA A COMPRESSIONE

**Evaporatore:** in tale componente il refrigerante evapora sottraendo calore dalla sorgente fredda. **Tipologie:**

- Batteria alettata: la sorgente è l'aria;
- Scambiatore a fascio tubiero: la sorgente è l'acqua.
- Scambiatori di calore a piastre saldo brasate, per piccole potenze: la sorgente è un liquido (tipicamente acqua).



**Evaporatore a tubi alettati**



**Evaporatore a fascio tubiero**

## COMPONENTI PRINCIPALI DI UNA POMPA ELETTRICA A COMPRESSIONE

**Organo di laminazione:** attraverso l'organo di laminazione il refrigerante si raffredda e diminuisce di pressione.

La resistenza che il refrigerante liquido incontra nell'attraversare l'organo di laminazione fa spendere ad una parte di refrigerante l'energia termica che possiede (ed in conseguenza di ciò esso si raffredda). Tale energia viene assorbita dalla restante parte di refrigerante che grazie ad essa vaporizza. Durante il processo di laminazione non si ha scambio di energia termica tra refrigerante ed ambiente esterno ma solo un trasferimento di tale energia all'interno del refrigerante stesso (processo adiabatico). **Tipologie:**

- Valvola termostatica;
- Valvola elettronica.



Valvola di laminazione elettronica



## COMPONENTI PRINCIPALI DI UNA POMPA ELETTRICA A COMPRESSIONE

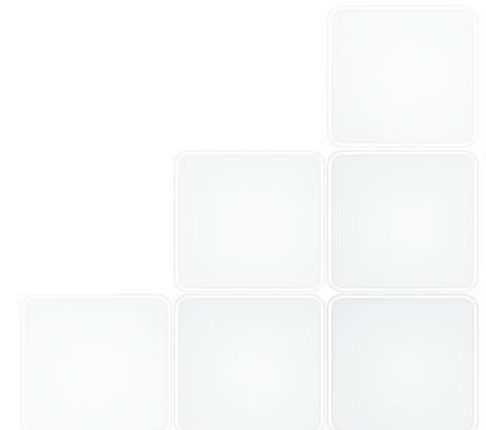
**Rigeneratori (surriscaldatori, sottoraffreddatori)**: effettuano un recupero di calore interno al ciclo con lo scopo di raffreddare il refrigerante in uscita dal condensatore e per riscaldare il fluido in aspirazione al compressore.

**Tipologie:**

- Scambiatori a piastre;
- Scambiatori a fascio tubiero.



**Scambiatore a fascio tubiero**



## SORGENTI TERMICHE:



Terreno



Aria

- Aria esterna;
- Flusso di scarto (aria di ventilazione).

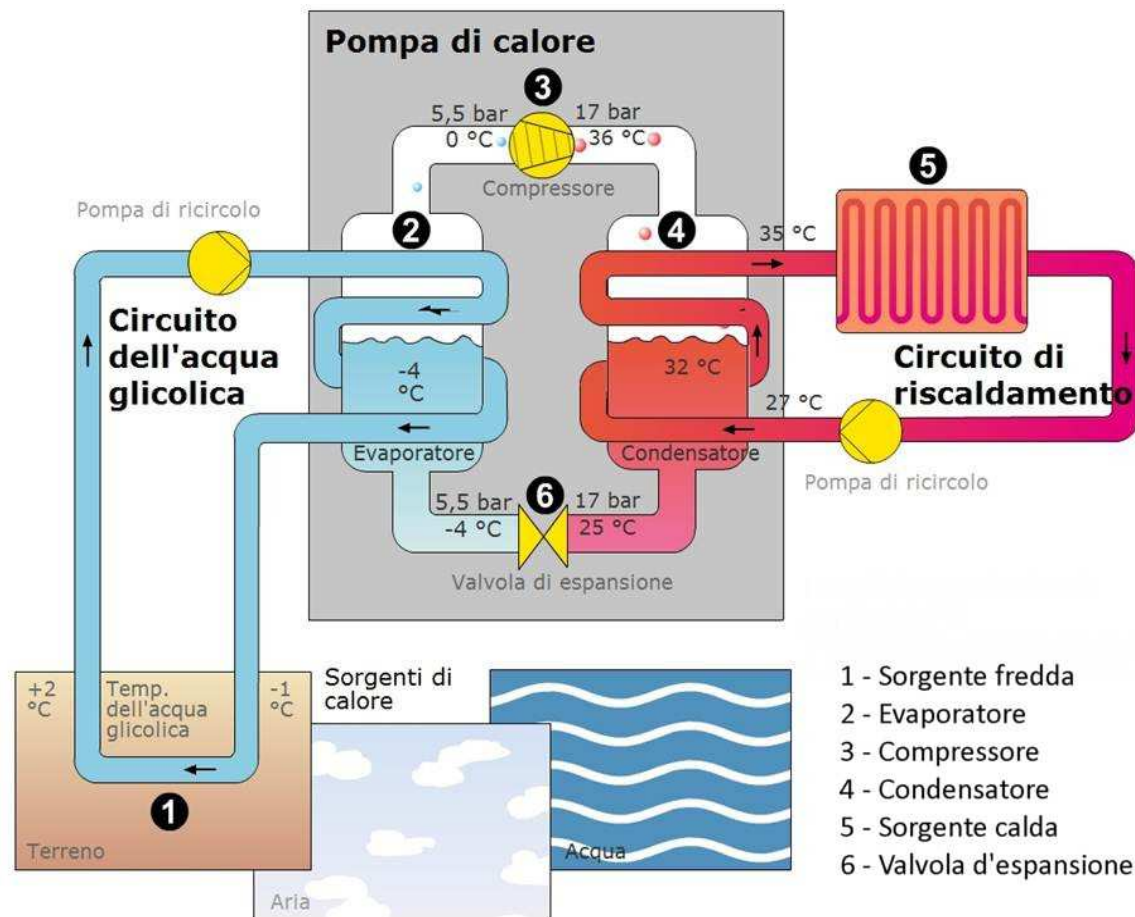


Acqua

- Acque superficiali (laghi, mare, corsi d'acqua);
- Acque sotterranee.

SORGENTE	ACCESSIBILITÀ	DISPONIBILITÀ NEL TEMPO	COSTO INIZIALE	COSTO OPERATIVO	LIVELLO TERMICO	VARIAZIONI NELLA TEMPERATURA	GRADO DI STANDARDIZZABILITÀ
Aria	****	****	****	*	**	*	****
Acque sotterranee	**	****	**	**	****	****	****
Acque superficiali	**	***	***	***	***	**	***
Terreno	***	****	**	**	***	***	***
Solare	**	**	*	***	***	*	**
Recupero	**	**	**	**	****	***	**

## SORGENTI TERMICHE:





## SORGENTI TERMICHE

### Aria esterna



- Liberamente ed immediatamente disponibile;
- Temperatura generalmente caratterizzata da oscillazioni non trascurabili durante l'anno;
- Movimentazione rumorosa e con costi energetici a volte elevati;
- La potenza della macchina deve essere determinata in relazione alla curva di frequenza della temperatura dell'aria esterna (*bin method*);
- Formazione di brina sulle alette della batteria esterna;
- Al diminuire della temperatura dell'aria esterna cresce il fabbisogno per il riscaldamento, mentre le prestazioni della pompa di calore decrescono.



## **SORGENTI TERMICHE**

### **Acqua**



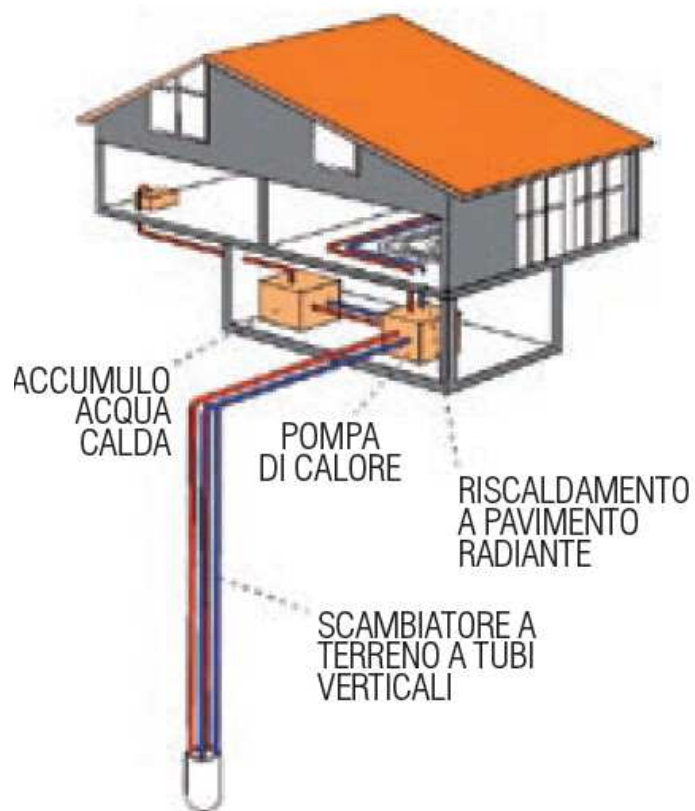
- **Caratteristiche di scambio termico migliori rispetto all' aria a parità di temperatura;**
- **Maggiore capacità termica rispetto all' aria a parità di temperatura;**
- **Largamente disponibile sul nostro territorio sia sotto forma di acque superficiali che di acque sotterranee;**
- **Temperatura generalmente caratterizzata da oscillazioni di rado superiori ai 10°C durante l' anno;**
- **Si necessita di un adeguato filtraggio delle acque utilizzate;**
- **Limiti di natura burocratico-amministrativa relativi al prelievo, allo scarico e alla reiniezione dell' acqua (salto termico massimo consentito);**
- **Problematiche relative alla variazione di portata della risorsa idrica utilizzata durante l' anno.**



## SORGENTI TERMICHE

### Terreno

Schema di massima di sistema a pompa di calore a terreno a tubi verticali per un'utenza monofamiliare



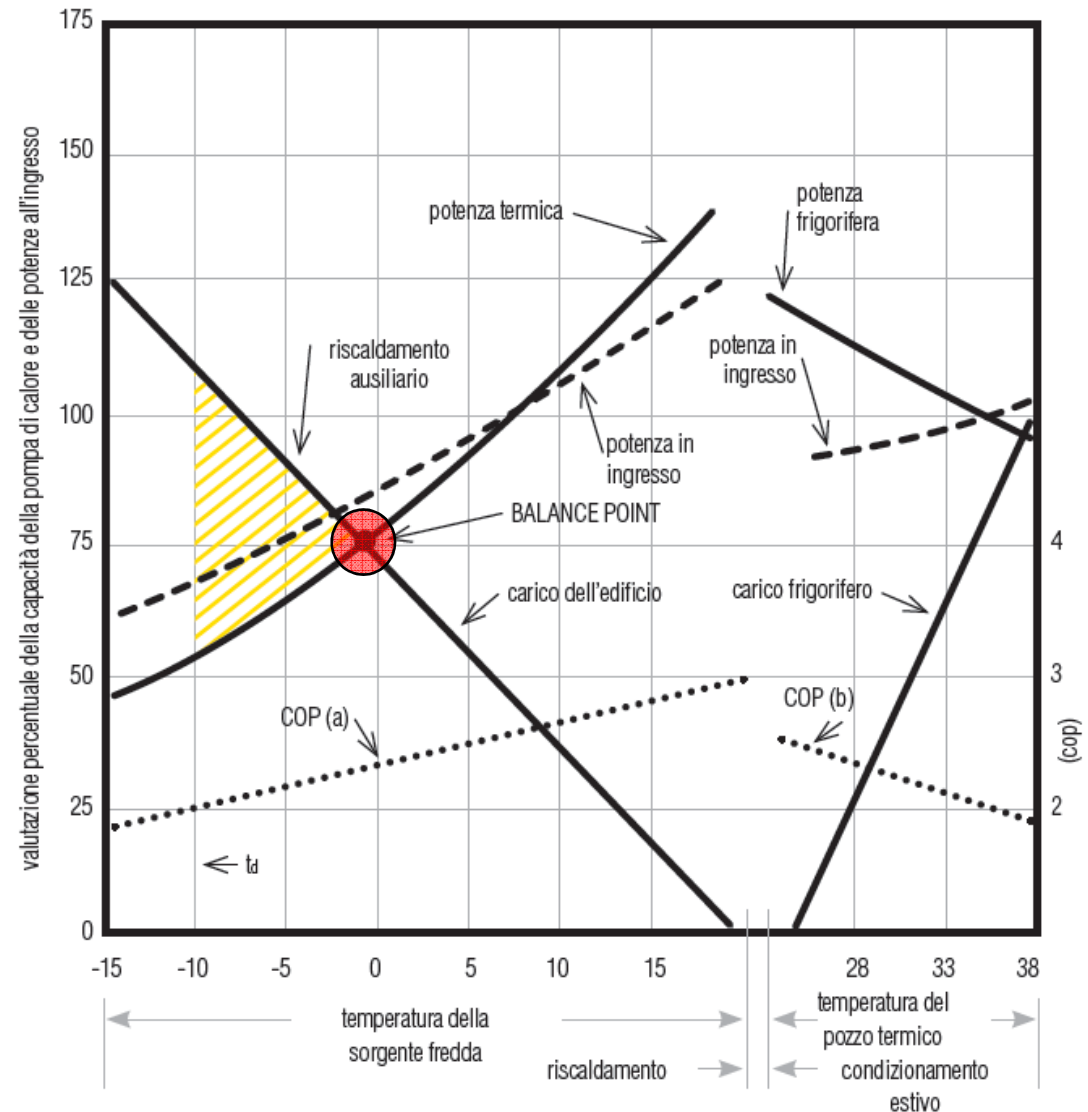
- Le macchine utilizzate sono costituite da pompe di calore geotermiche;
- Già a qualche metro di profondità la temperatura del terreno si stabilizza ad un valore prossimo alla media annuale della temperatura dell'aria esterna;
- Il terreno può essere impiegato come sorgente fredda della pompa di calore o come pozzo termico della macchina frigorifera con ampie possibilità all'inizio della stagione calda di lavorare in free-cooling;
- L'interfacciamento con il terreno può avvenire con scambiatori a tubi orizzontali o a tubi verticali, entrambe tecniche ormai largamente impiegate nel geotermico..

## PRESTAZIONI DI UNA POMPA DI CALORE AD ARIA

Curve di potenza termica, frigorifera ed assorbita, di COP invernale ed estivo e di fabbisogno in funzione della temperatura dell'aria esterna.

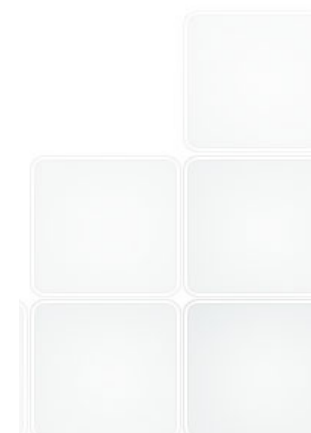
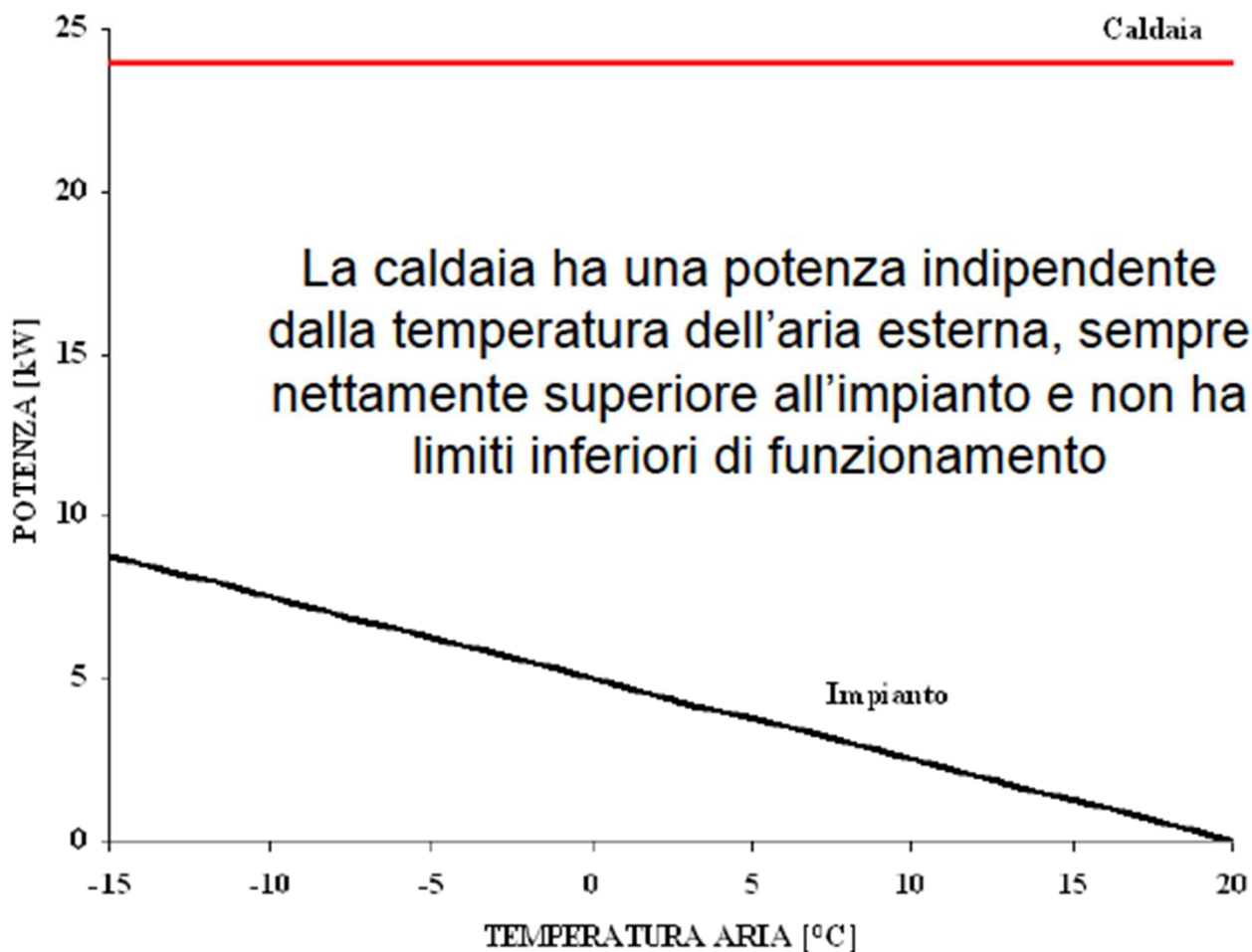
**BALANCE POINT:** punto di intersezione tra la curva di carico e la curva della potenza della macchina.

(Pompa di calore ad aria).



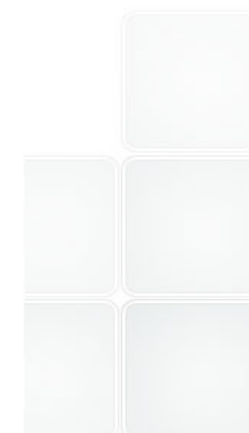
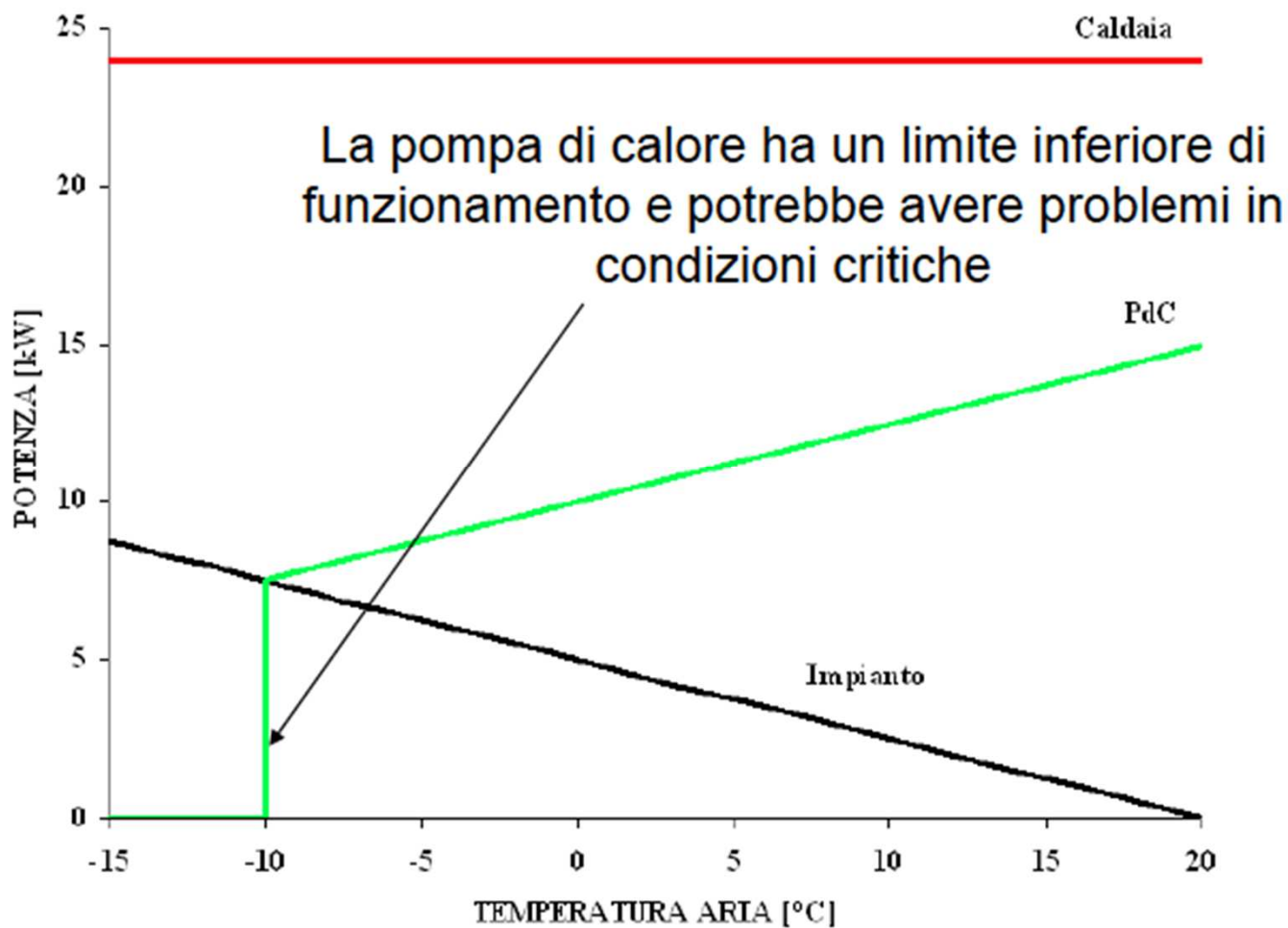
## DIMENSIONAMENTO IMPIANTO PdC

Scelta potenza PdC: differenze con caldaia



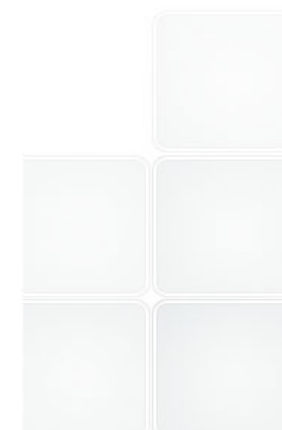
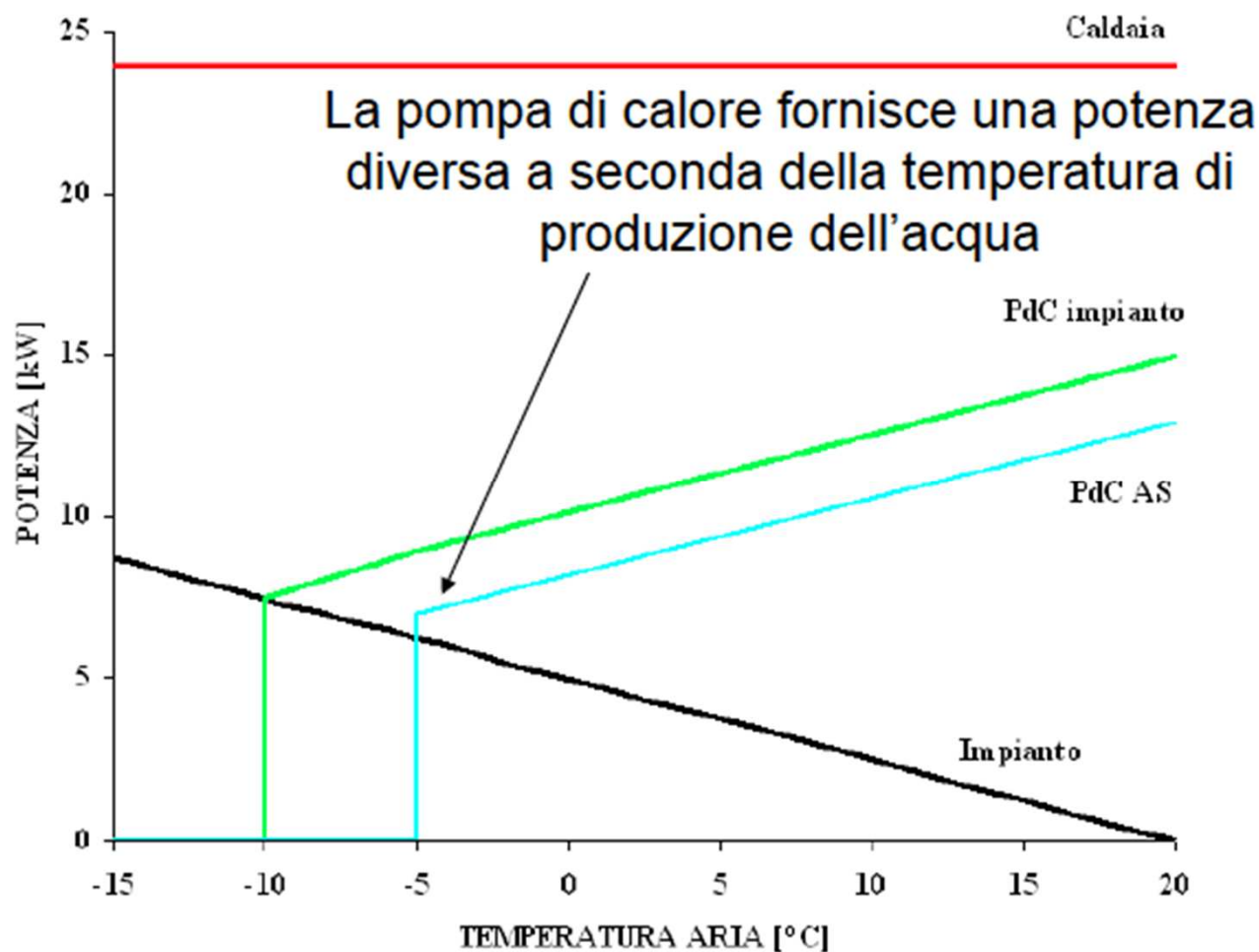
## DIMENSIONAMENTO IMPIANTO PdC

Scelta potenza PdC: differenze con caldaia



## DIMENSIONAMENTO IMPIANTO PdC

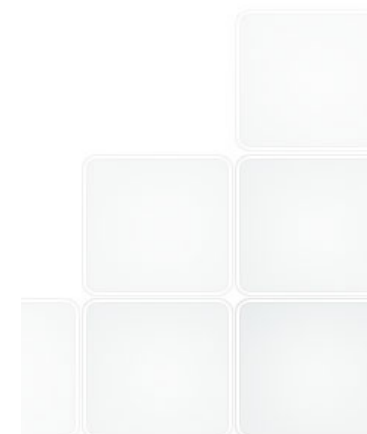
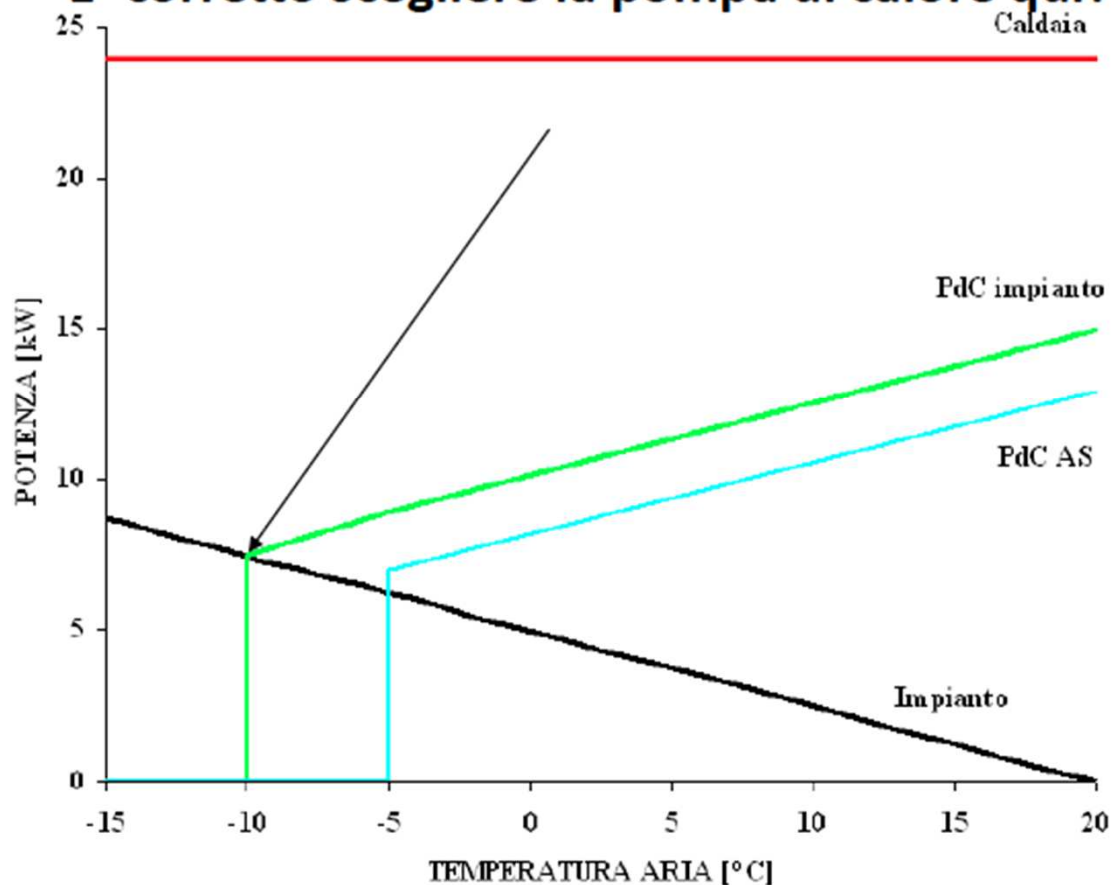
Scelta potenza PdC: differenze con caldaia



## DIMENSIONAMENTO IMPIANTO PdC

Scelta potenza PdC: impianto con sola PdC

**Esempio: temperatura progetto – 10 C**  
**E' corretto scegliere la pompa di calore qui?**

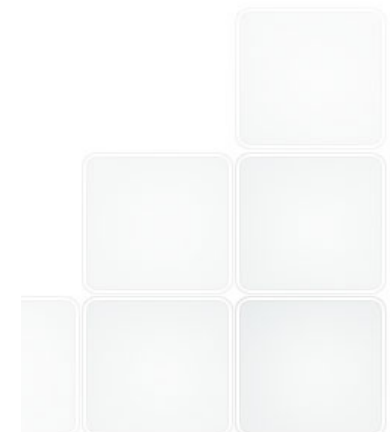
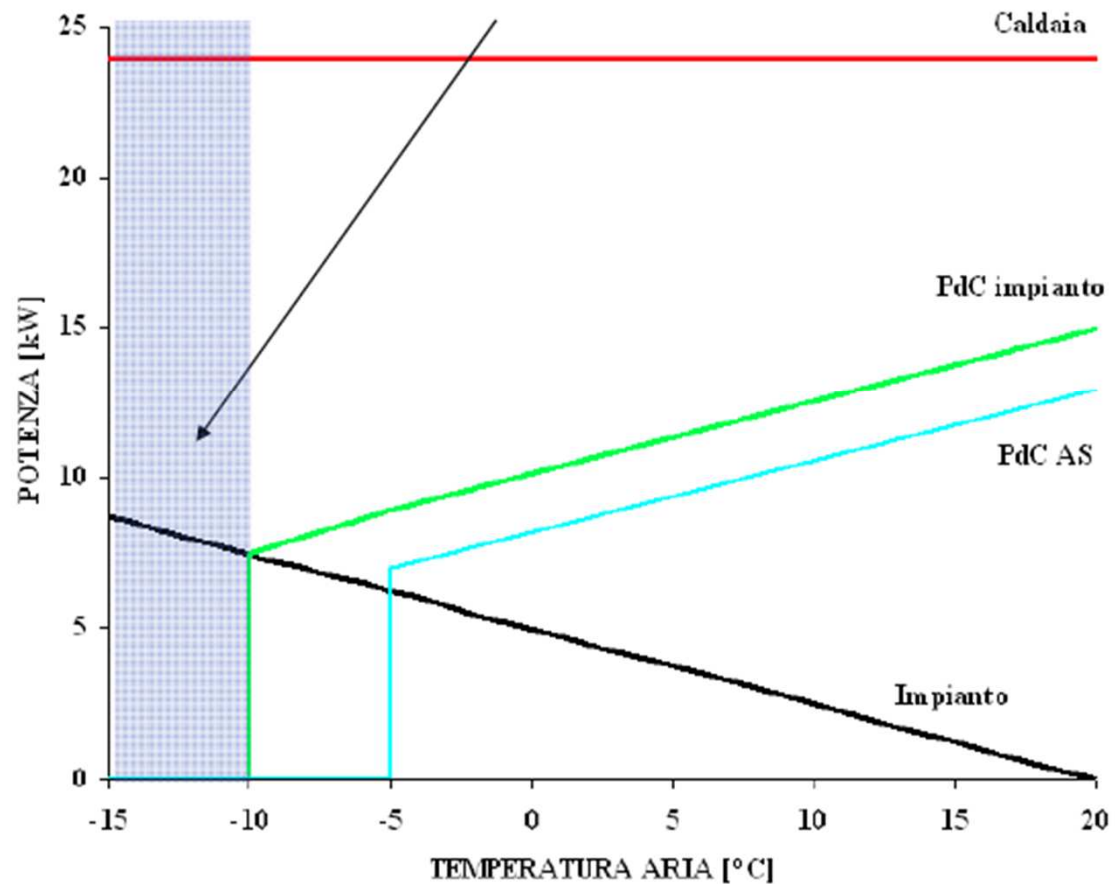




## DIMENSIONAMENTO IMPIANTO PdC

### NO – 3 ERRORI

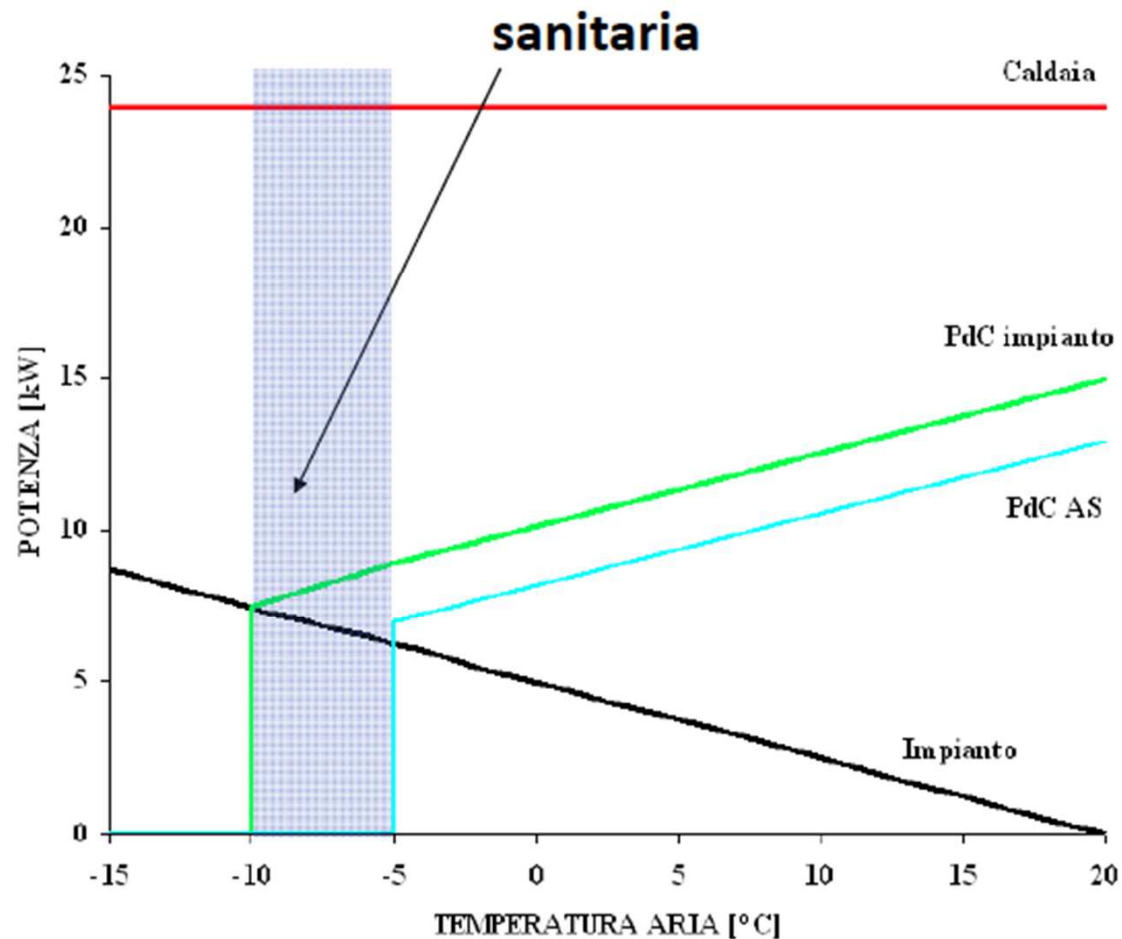
1<sup>^</sup> errore: in condizioni critiche la PdC non funziona



## DIMENSIONAMENTO IMPIANTO PdC

### NO – 3 ERRORI

2<sup>a</sup> errore: anche in condizioni di progetto la PdC non produce acqua sanitaria



## DIMENSIONAMENTO IMPIANTO PdC

### NO – 3 ERRORI

3<sup>^</sup> errore: la PdC brina e bisogna effettuare cicli di sbrinamento



## PRESTAZIONI DI UNA POMPA DI CALORE AD ARIA

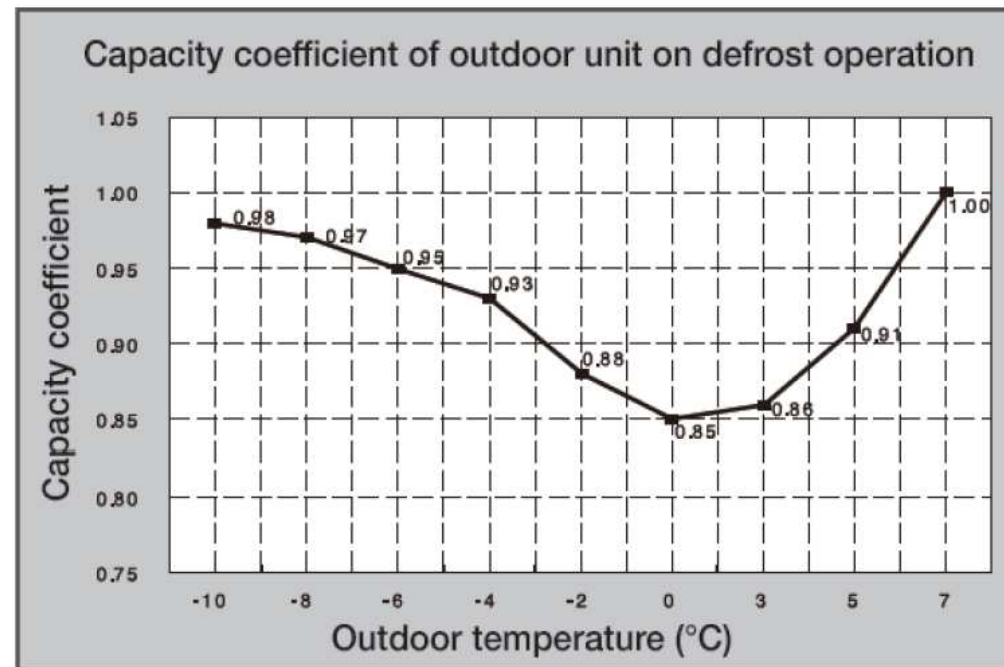
**Coefficienti correttivi:** Necessità di correggere il valore del COP per tener in considerazione i cicli di sbrinamento effettuati.

Quando la temperatura superficiale della batteria evaporante raggiunge valori minori di 0° C può formarsi brina sulla batteria e diventa necessario eseguire lo sbrinamento di quest'ultima. Per la pompa di calore la formazione di ghiaccio è decisamente negativa: la presenza di brina sull'alettatura della batteria diminuisce la potenza scambiata, fungendo da isolante; la brina causa l'aumento delle perdite di carico della batteria e quindi provoca una diminuzione di portata d'aria che attraversa la batteria stessa.

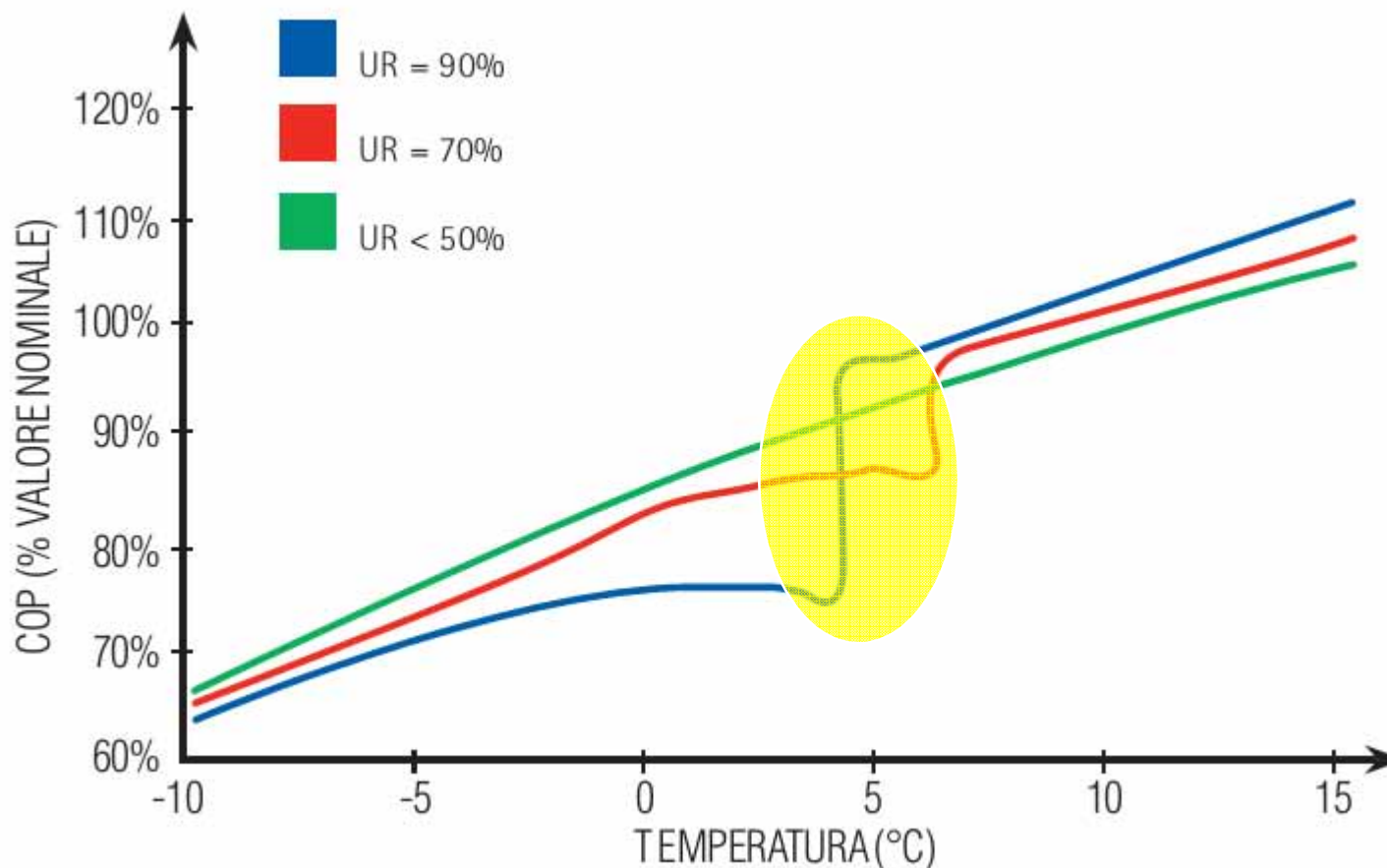
Durante i cicli di sbrinamento periodico, che interessa la batteria dell'unità esterna, si ha l'interruzione o la riduzione dell'energia termica prodotta lato "utilizzatore" a vantaggio della produzione di energia termica necessaria allo sbrinamento della batteria. L'effetto globale della formazione di brina è quindi la riduzione del COP della macchina: di seguito un grafico tipico che riporta il coefficiente correttivo della potenza termica erogata dalla macchina in funzione della temperatura esterna.

Outdoor temperature (°C, DB)	-10	-8	-6	-4	-2	0	3	5	7
Capacity coefficient	0.98	0.97	0.95	0.96	0.88	0.85	0.86	0.91	1.00

$$\text{Corrected Heating Capacity} = \text{heating Capacity} \times \text{Capacity coefficient}$$



## PRESTAZIONI DI UNA POMPA DI CALORE AD ARIA

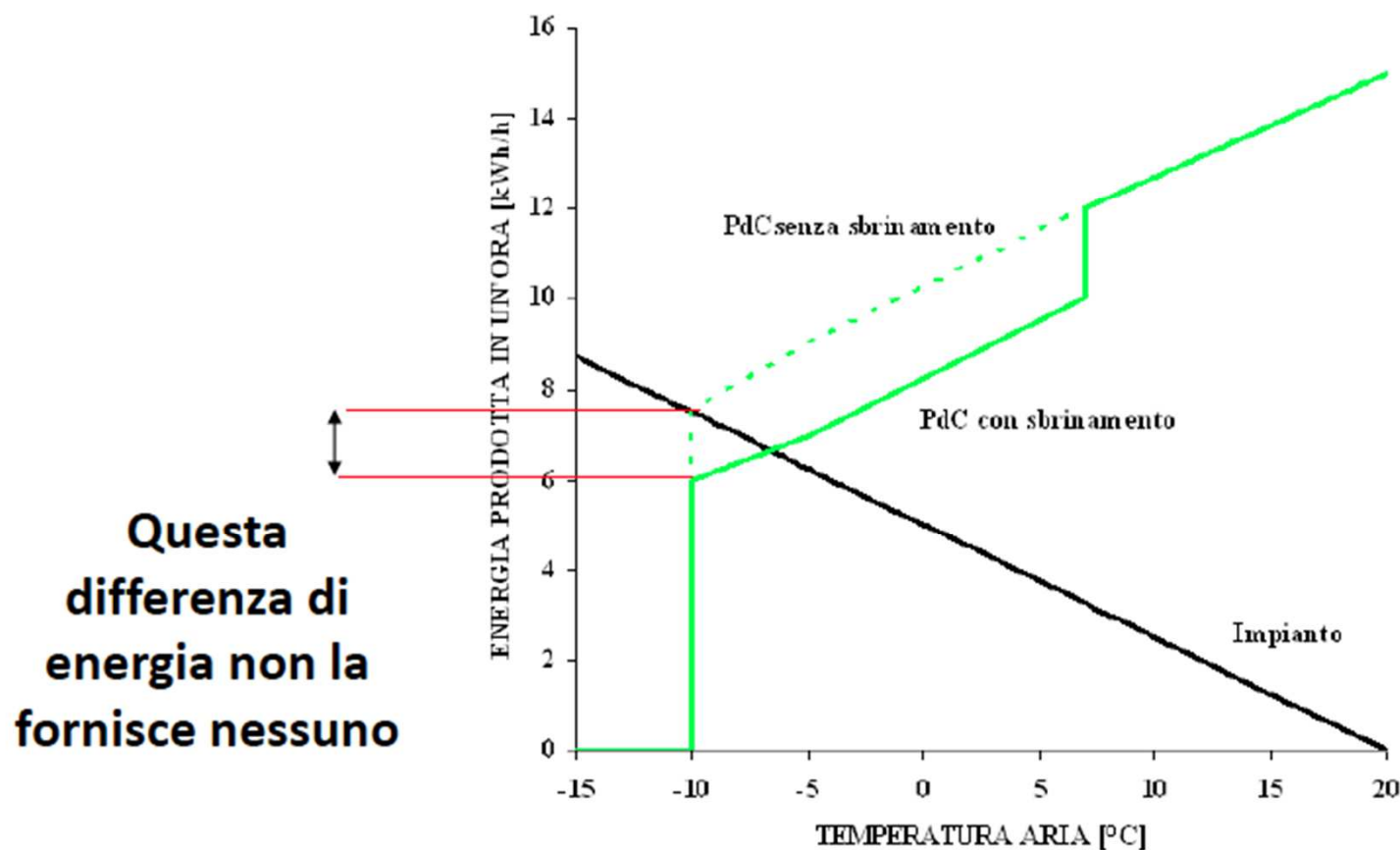


La presenza dei cicli di sbrinamento è rintracciabile attraverso il tipico «ginocchio» che presenta la curva del COP al variare della temperatura dell'aria esterna.

## DIMENSIONAMENTO IMPIANTO PdC

### NO – 3 ERRORI

3<sup>^</sup> errore: lo sbrinamento è un problema di energia, non di potenza

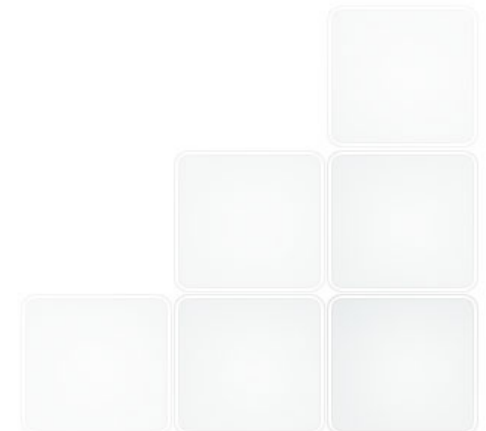


## DIMENSIONAMENTO IMPIANTO PdC

### CORREZIONE DEGLI ERRORI

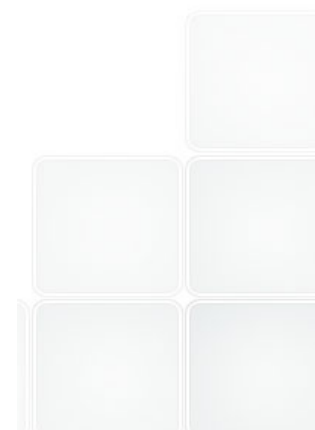
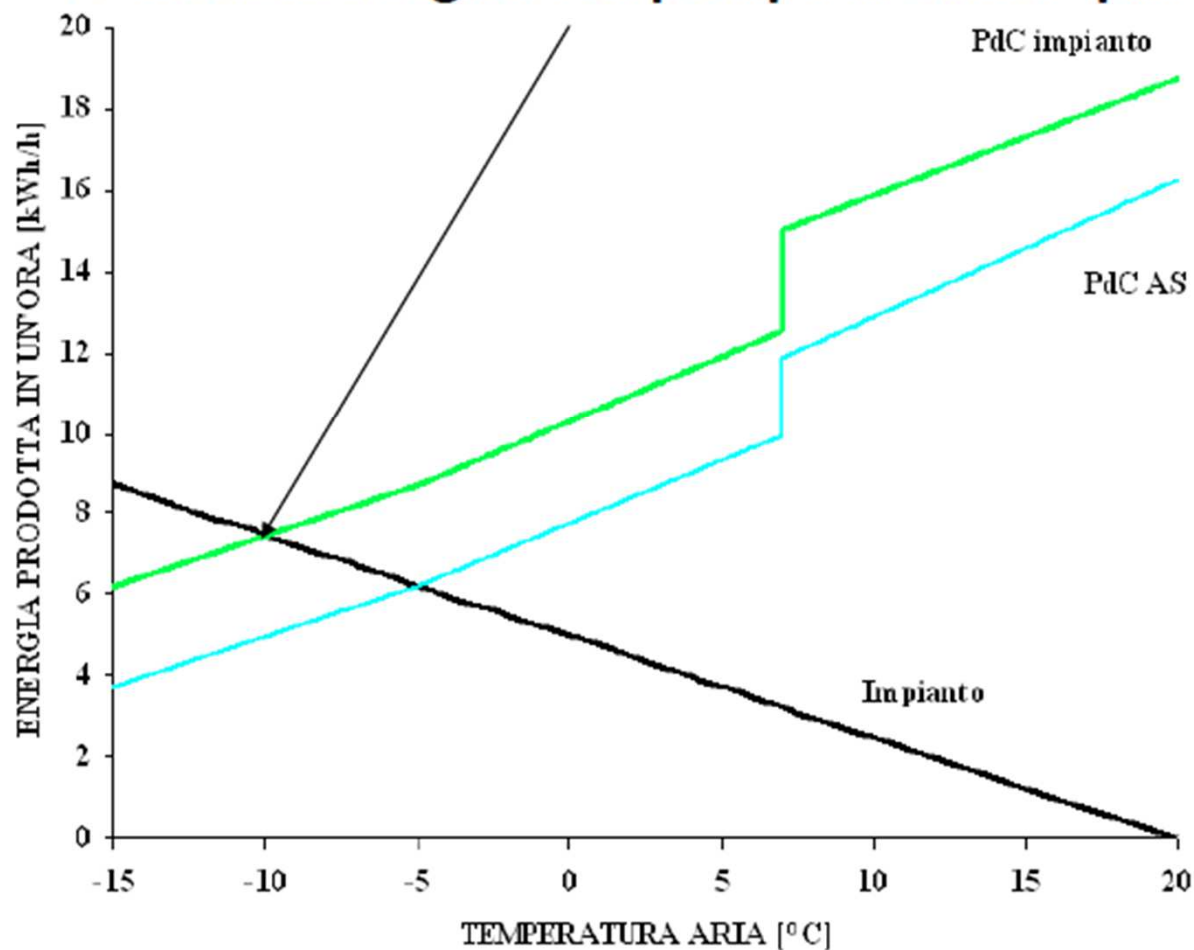
Si potrebbe pensare di risolvere i tre errori precedenti scegliendo una pompa di calore in grado di:

- Funzionare anche nelle condizioni più critiche;
- Produrre acqua calda sanitaria in tutte le condizioni;
- Fornire energia sufficiente anche sbrinando.



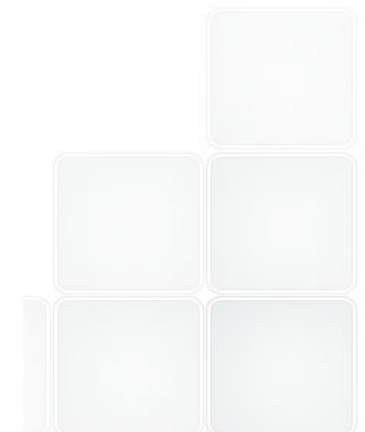
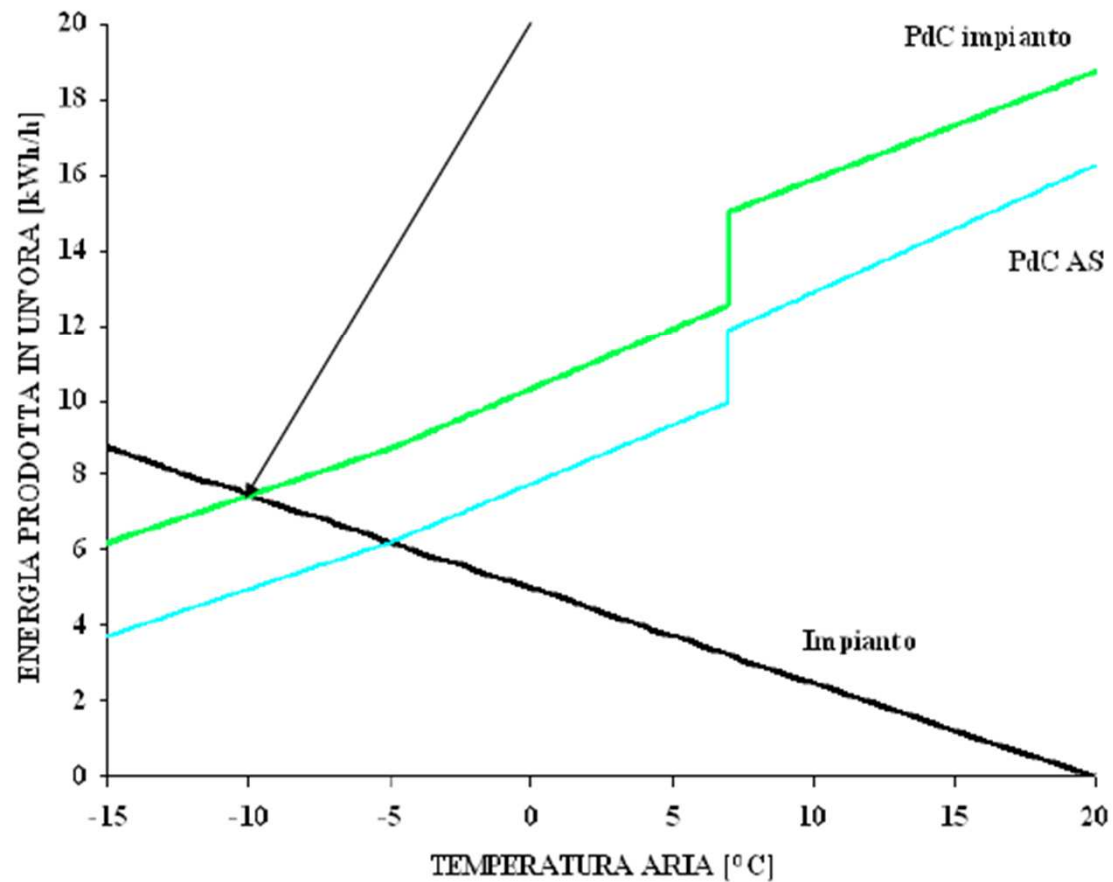
## DIMENSIONAMENTO IMPIANTO PdC

**Esempio: temperatura progetto – 10 C**  
**E' corretto scegliere la pompa di calore qui?**





## DIMENSIONAMENTO IMPIANTO PdC NO, perché ci stiamo dimenticando l'acqua calda



## DIMENSIONAMENTO IMPIANTO PdC

### PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA

Per produrre A.C.S. **per una doccia servono circa 25 kW**

Una doccia necessita di circa 10-12 litri al minuto, 600-700 litri all'ora, per circa 30° C di salto termico (le caldaie a produzione istantanea sono infatti da 24 kW). Se ci sono 2 bagni, serve una caldaia con un accumulo da 50-100 litri, perché comunque la potenza di una doccia è fornita istantaneamente.

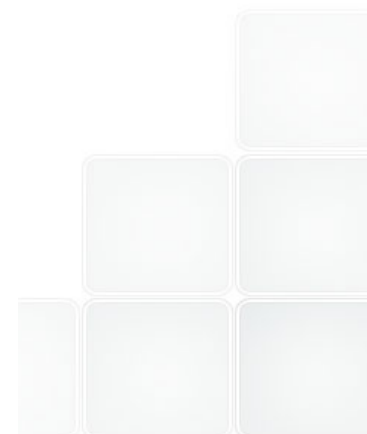
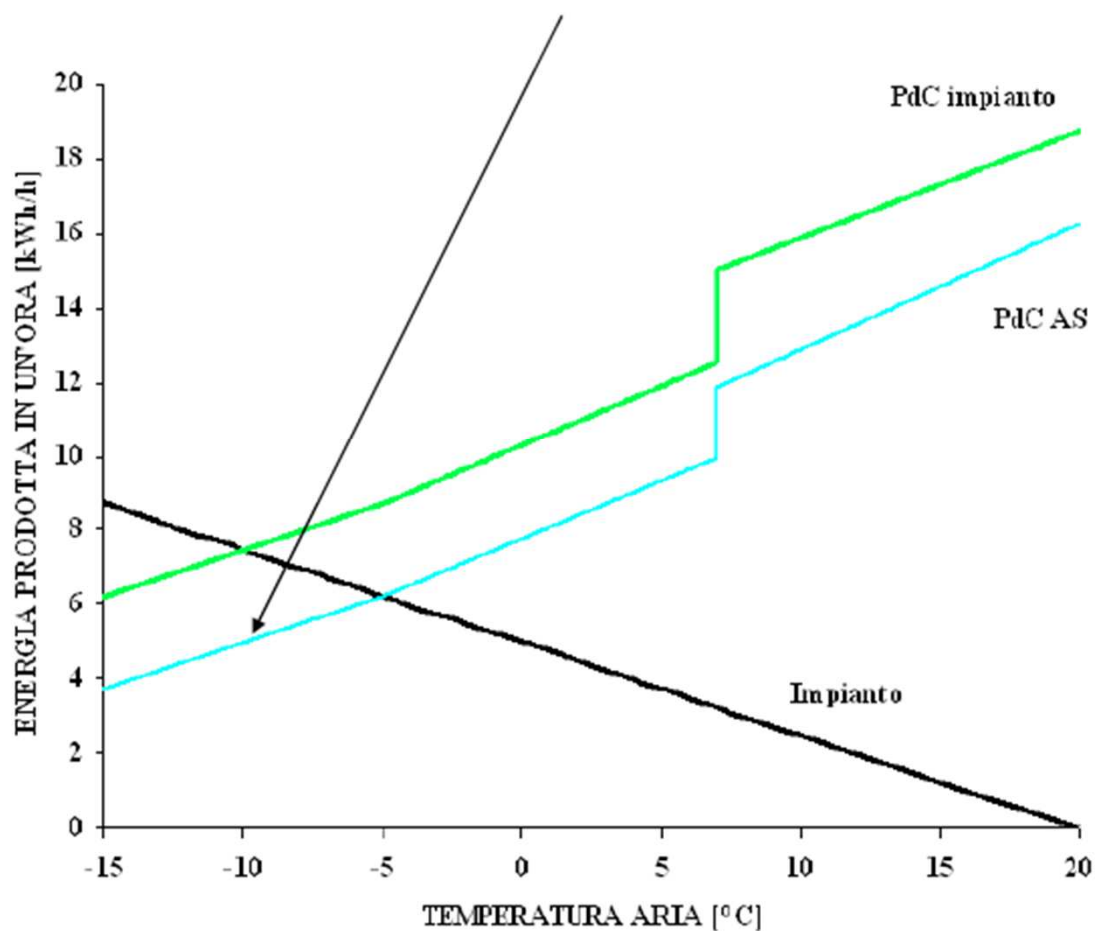
Una **caldaia da 24 kW** carica un **accumulo da 50 litri da 4 a 6 minuti** (dipende dalla temperatura d'accumulo), uno da 100 litri in un tempo doppio.

Per questo periodo la caldaia non alimenta il circuito di riscaldamento, ma l'energia persa è irrisoria e la potenza della caldaia è comunque molto superiore alla richiesta per cui l'impianto recupera.

## DIMENSIONAMENTO IMPIANTO PdC

### PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA

**A – 10 C la pompa di calore scelta fornisce 5 kW**



## DIMENSIONAMENTO IMPIANTO PdC

### PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA

Un accumulo da 150 litri a 60 C permette di alimentare una doccia per 11 minuti di fila. La pompa di calore carica l'accumulo in 95 minuti.

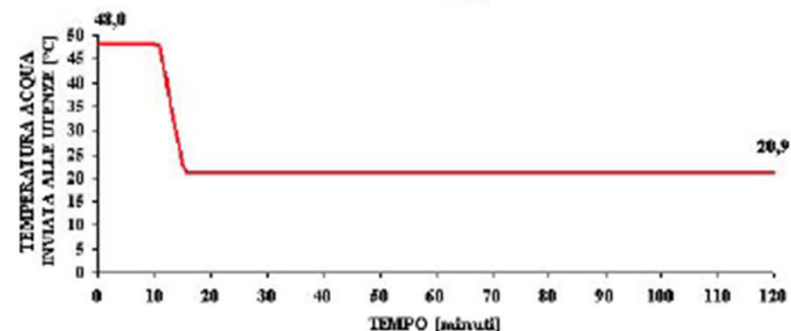
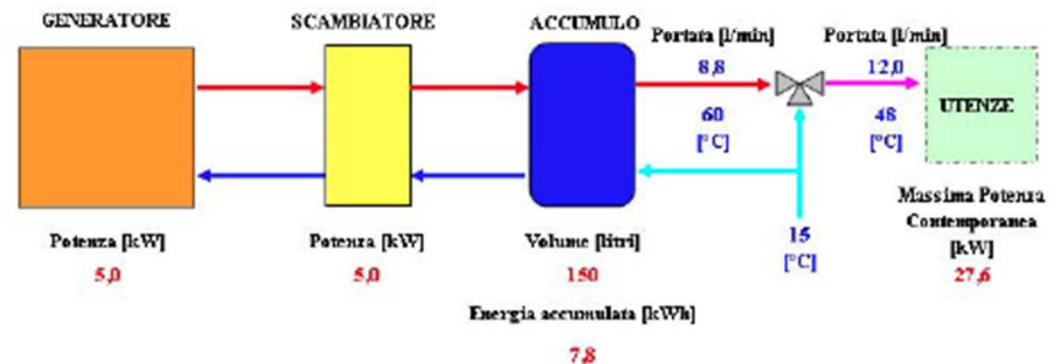


Numero bagni/apparecchi totale	1	<   >
Portata per bagno/apparecchio [litri/min]	12	<   >
Massima contemporaneità	100%	<   >
Massima portata acqua [litri/min]	12,0	
Temperatura utilizzo [°C]	48	<   >
Temperatura acquedotto [°C]	15	<   >
Temperatura produzione [°C]	60	<   >
Volume accumulo [litri]	150	<   >
inizio miscela a % caricamento accumulo	50%	<   >
Tempo in cui avviene la produzione [Minuti]	95	<   >

Temperatura di utilizzo alla max contemporaneità garantita per  
 10 [minuti]  
 55 [secondi]

INDIETRO

Valori  
contemporaneità  
suggeriti



## DIMENSIONAMENTO IMPIANTO PdC

### PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA

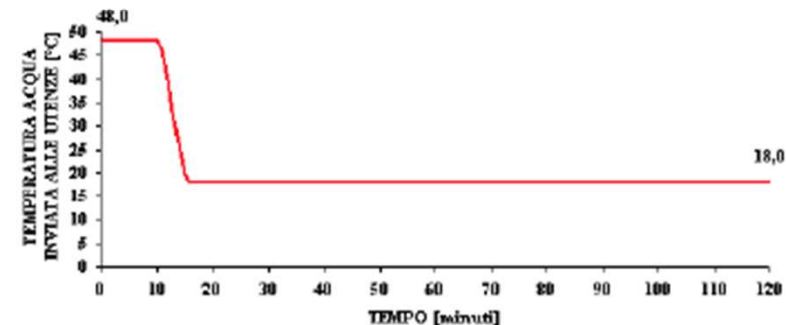
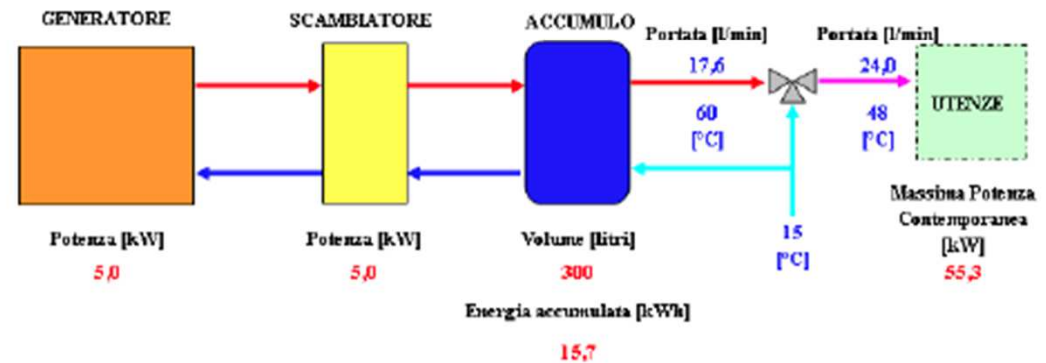
Se i bagni sono 2 l'accumulo diventa da 300 litri e il tempo di carica raddoppia (190 minuti)



Numero bagni/apparecchi totale	2	< >
Portata per bagno/apparecchio [litri/min]	12	< >
Massima contemporaneità	100%	< >
Massima portata acqua [litri/min]	24,0	< >
Temperatura utilizzo [°C]	46	< >
Temperatura acquedotto [°C]	15	< >
Temperatura produzione [°C]	60	< >
Volume accumulo [litri]	300	< >
Inizio miscela a % caricamento accumulo	50%	< >
Tempo in cui avviene la produzione [Minuti]	190	< >

Temperatura di utilizzo alla max contemporaneità garantita per  
10 [minuti]  
45 [secondi]

INDIETRO      Valori contemporaneità suggeriti



## DIMENSIONAMENTO IMPIANTO PdC

### PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA

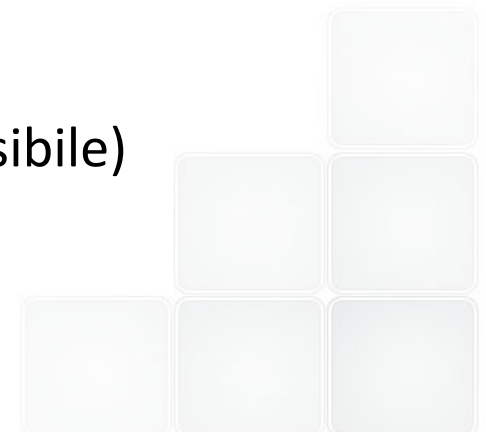
Per tutto il periodo in cui la pompa di calore lavora sul sanitario, non può fornire energia all'impianto.

Torna ad essere un problema energetico. Nel caso di un bagno, l'energia mancante è 11,9 kWh: nel caso di due bagni addirittura 23,8 kWh.

Questa energia qualcuno la DEVE fornire.

### **SOLUZIONI**

- 1) Si utilizza una caldaia di supporto
- 2) Si sfasa la produzione dell'acqua calda sanitaria (se possibile)
- 3) Si aumenta la potenza della pompa di calore



## DIMENSIONAMENTO IMPIANTO PdC

### PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA

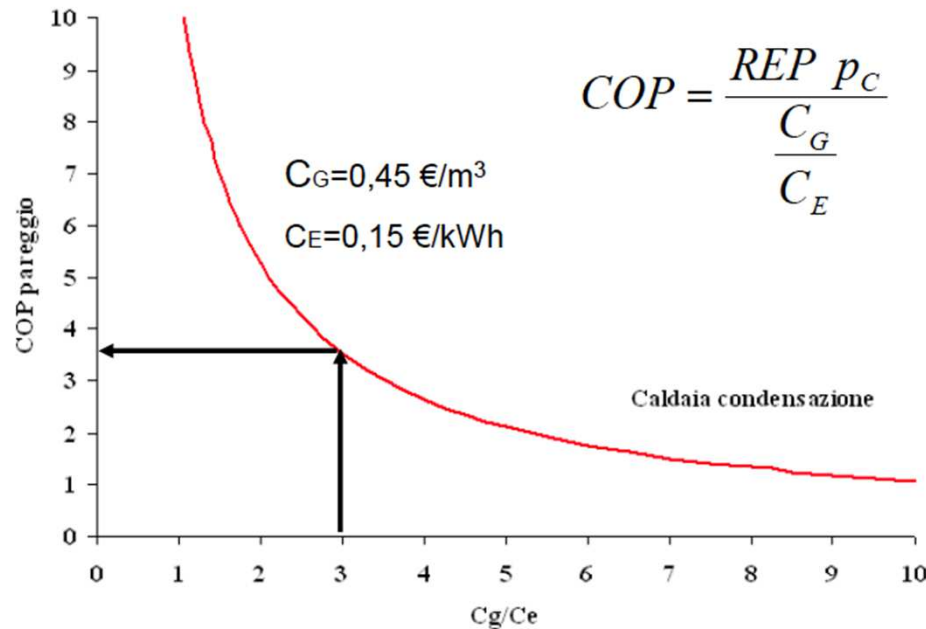
#### 1) CALDAIA DI SUPPORTO

Sempre consigliata nei climi più freddi

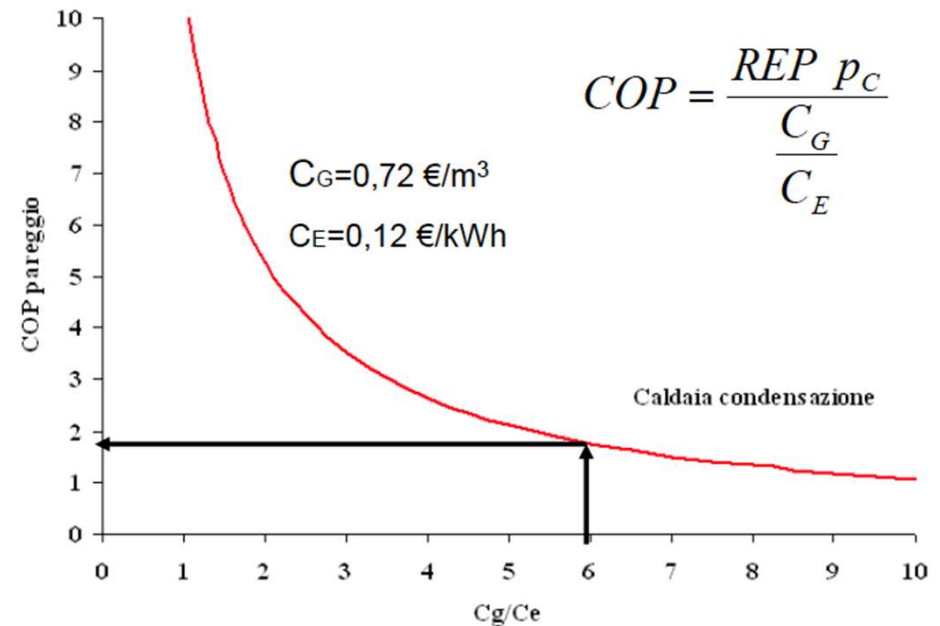
Inoltre dà la possibilità di scegliere il fornitore di energia più economico

**Convenienza economica:**

FUNZIONAMENTO INVERNALE



FUNZIONAMENTO INVERNALE



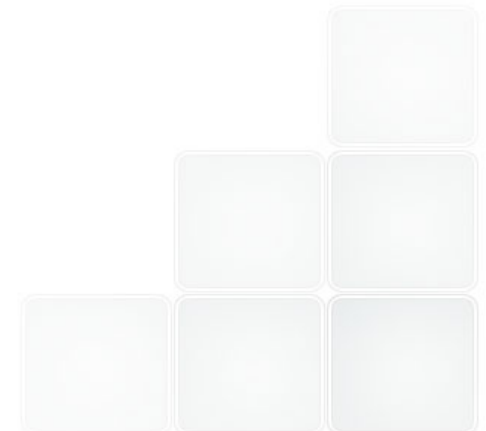
## DIMENSIONAMENTO IMPIANTO PdC

### PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA

#### 2) SFASAMENTO PRODUZIONE ACQUA CALDA SANITARIA

Il sistema non deve funzionare con priorità sull'acqua calda sanitaria, ma a tempo.

L'acqua calda sanitaria viene prodotta nelle ore più calde della giornata, quando la richiesta di riscaldamento è limitata. In questo modo aumenta anche il COP del sistema.





## DIMENSIONAMENTO IMPIANTO PdC

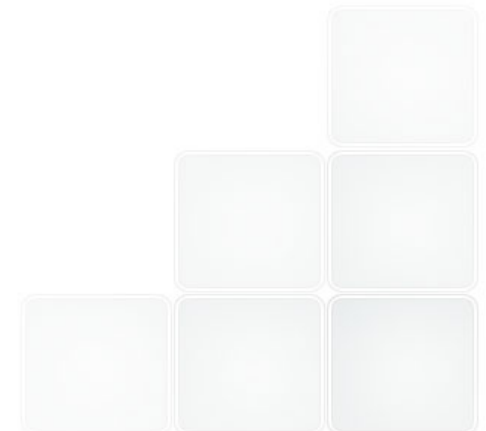
### PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA

#### 3) AUMENTO POTENZA POMPA DI CALORE E TERMINALI

L'ultima soluzione prevede l'aumento di potenza della pompa di calore e dei terminali d'impianto.

**Quest'ultimo aspetto è fondamentale, soprattutto nel caso di sistemi ad alta inerzia, come il pavimento radiante.**

**Bisogna sempre ragionare in termini di energia da fornire all'impianto.**



## CONFRONTO TRA POMPE DI CALORE E TECNOLOGIE TRADIZIONALI



Villetta unifamiliare di nuova costruzione nel Nord Italia

Si consideri un edificio residenziale, una villetta unifamiliare di nuova costruzione con una superficie di circa 260 m<sup>2</sup> situata nel Nord Italia. La potenza termica richiesta è di 8,5 kW, mentre quella frigorifera è di 6,2 kW.

**POMPA DI CALORE ELETTRICA  
ARIA/ACQUA**

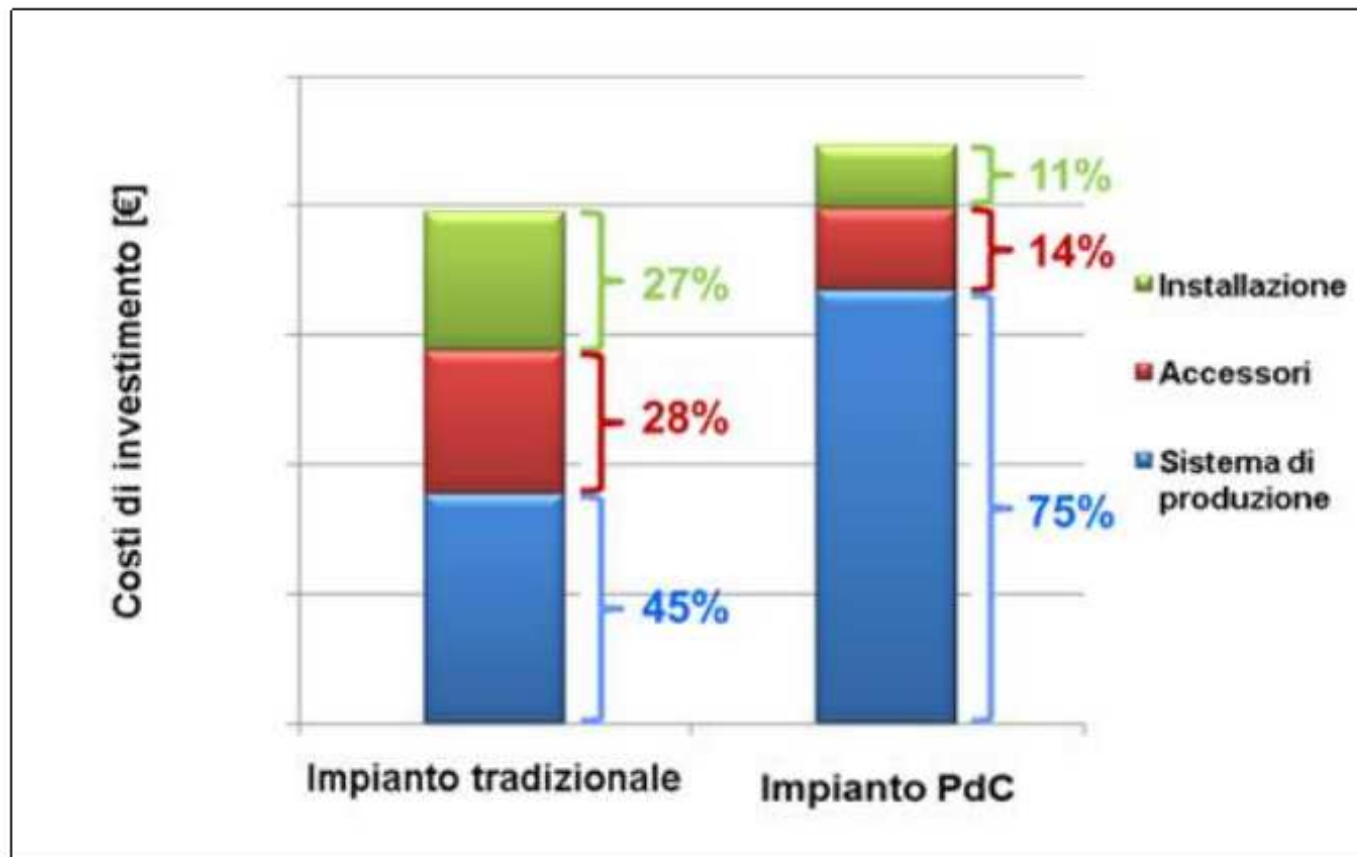


### **SISTEMA TRADIZIONALE**

Caldaia a gas metano abbinata ad un condizionatore di tipo split.

Si è scelto di installare un unico impianto a pompa di calore elettrica aria/acqua per il raffrescamento, il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria. Il sistema di distribuzione per la climatizzazione è stato realizzato con pannelli radianti a soffitto, mentre il rinnovo e la purificazione dell'aria avvengono con recupero di calore. È stato poi integrato un impianto solare termico. *(speciale tecnico CO.AER maggio 2012)*

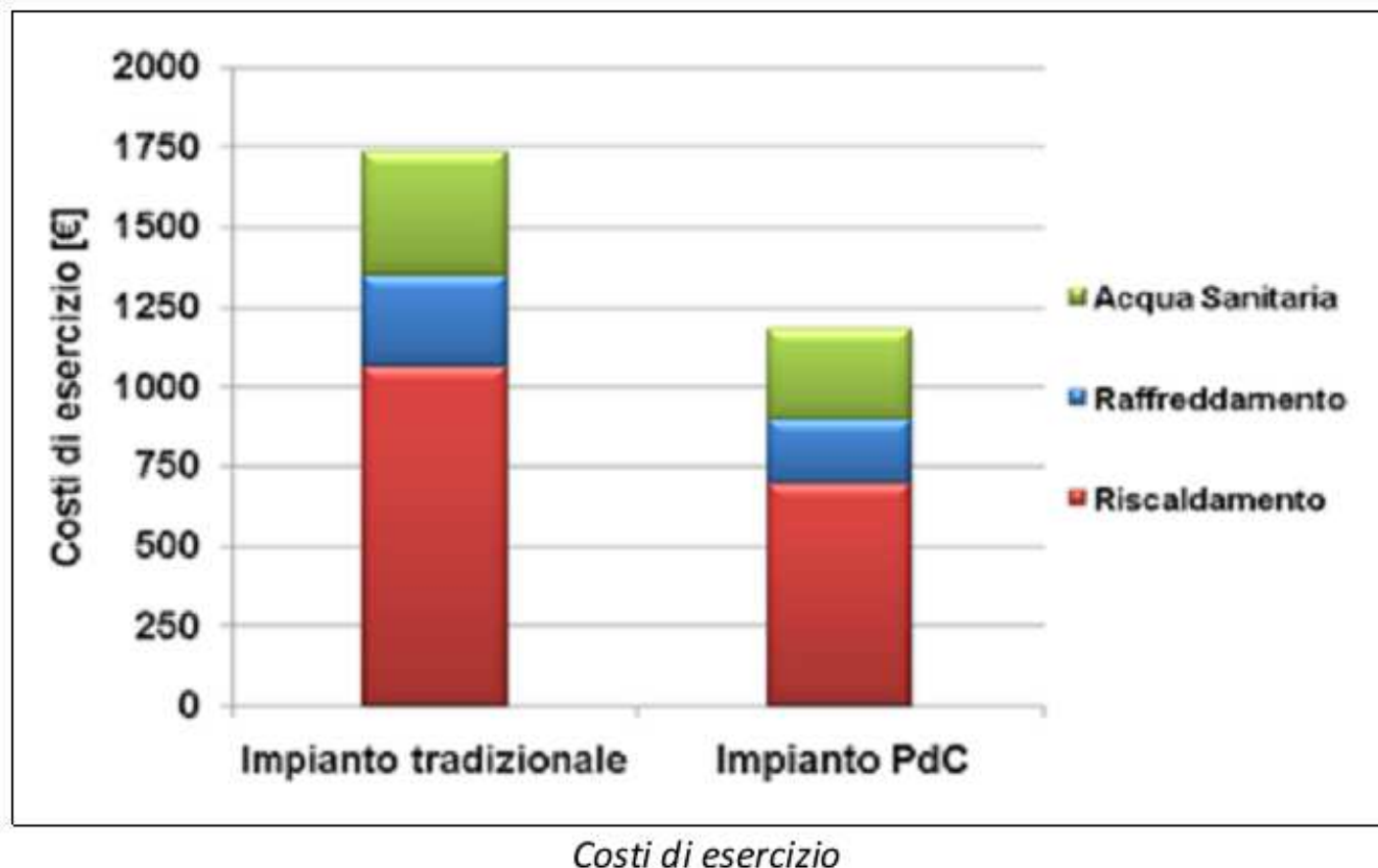
## CONFRONTO TRA POMPE DI CALORE E TECNOLOGIE TRADIZIONALI



*Investimento iniziale*

Rispetto ai costi di un impianto tradizionale costituito da una caldaia abbinata a un condizionatore split, il costo della pompa di calore come apparecchio è maggiore anche se i costi di accessori e di installazione si riducono poiché si tratta di un unico impianto. In ogni caso rimane un maggior costo di investimento, pari a circa **2.600 euro**.

## CONFRONTO TRA POMPE DI CALORE E TECNOLOGIE TRADIZIONALI



Se si analizzano i costi di esercizio dell'impianto con pompa di calore, si riscontra un risparmio di circa **1.200 euro/anno** rispetto al sistema tradizionale. I maggiori risparmi si hanno nella fase invernale di riscaldamento. Ciò significa che, nonostante un maggiore investimento iniziale di 2.600 euro rispetto all'impianto tradizionale, i risparmi annui di 1.166 euro consentono di avere un ritorno dell'investimento in soli **3 anni** e di risparmiare, per tutti gli altri anni di vita dell'impianto, un importo di **1.166 euro/anno**.

# “Nuove apparecchiature per la climatizzazione”



## La tariffa elettrica per usi Domestici

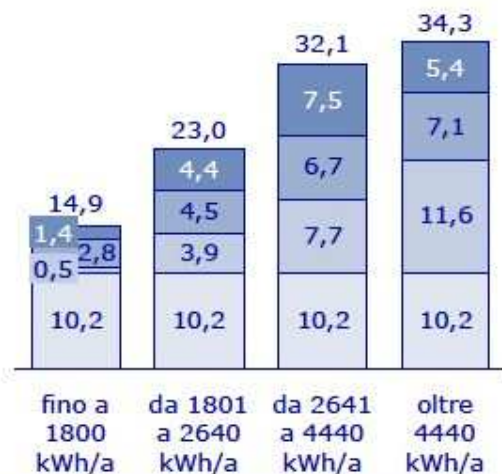
Prezzi inclusivi di IVA ed Imposte

Aggiornamento al IV trimestre 2012

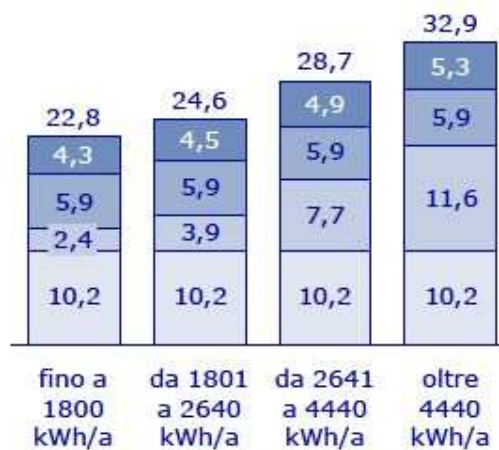
Quota fissa (€/anno): 24,7  
Quota potenza (€/kW/anno): 6,2

Quota fissa (€/anno): 49,0  
Quota potenza (€/kW/anno): 16,8

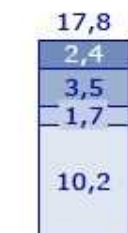
Quota fissa (€/anno): 24,7  
Quota potenza (€/kW/anno): 6,2



Tariffa D2



Tariffa D3



Cliente tipo\*

■ Imposte ed IVA ■ Oneri di Sistema + dispBT ■ Servizi di Rete ■ Servizi di Vendita

La tariffa D2 è applicata ai contratti stipulati nelle abitazioni di residenza con impegno di potenza non superiore ai 3 kW. La tariffa D3 è applicata ai contratti stipulati nelle abitazioni di residenza con impegno di potenza superiore a 3 kW e a quelli stipulati per le abitazioni non di residenza.

\* 2.700 kWh/anno, pot. 3kW residente (D2)