



Corso Efficienza Energetica

10 Marzo 2011

Pompe di Calore

*Prima parte*

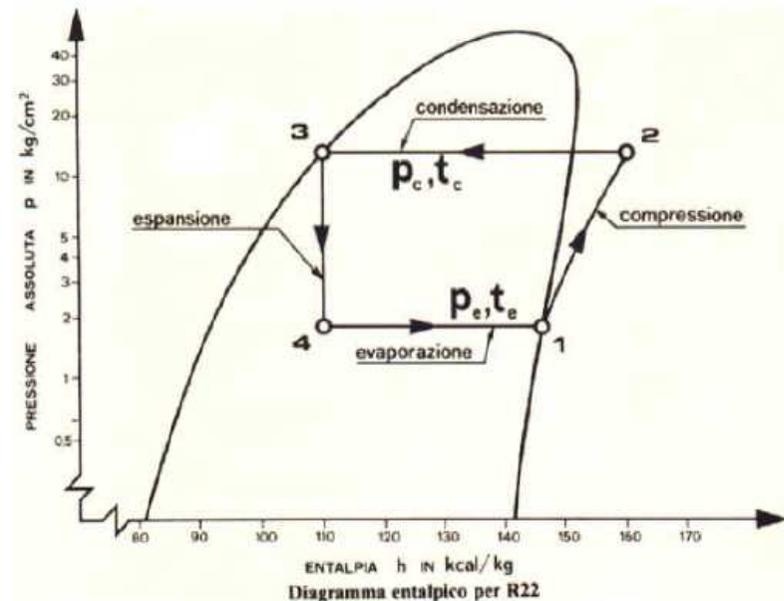
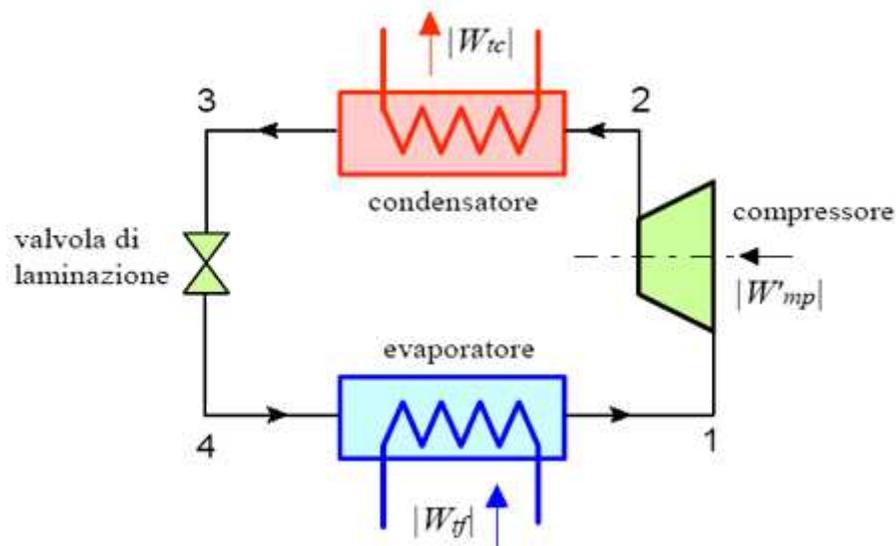


Tecnologie termotecniche



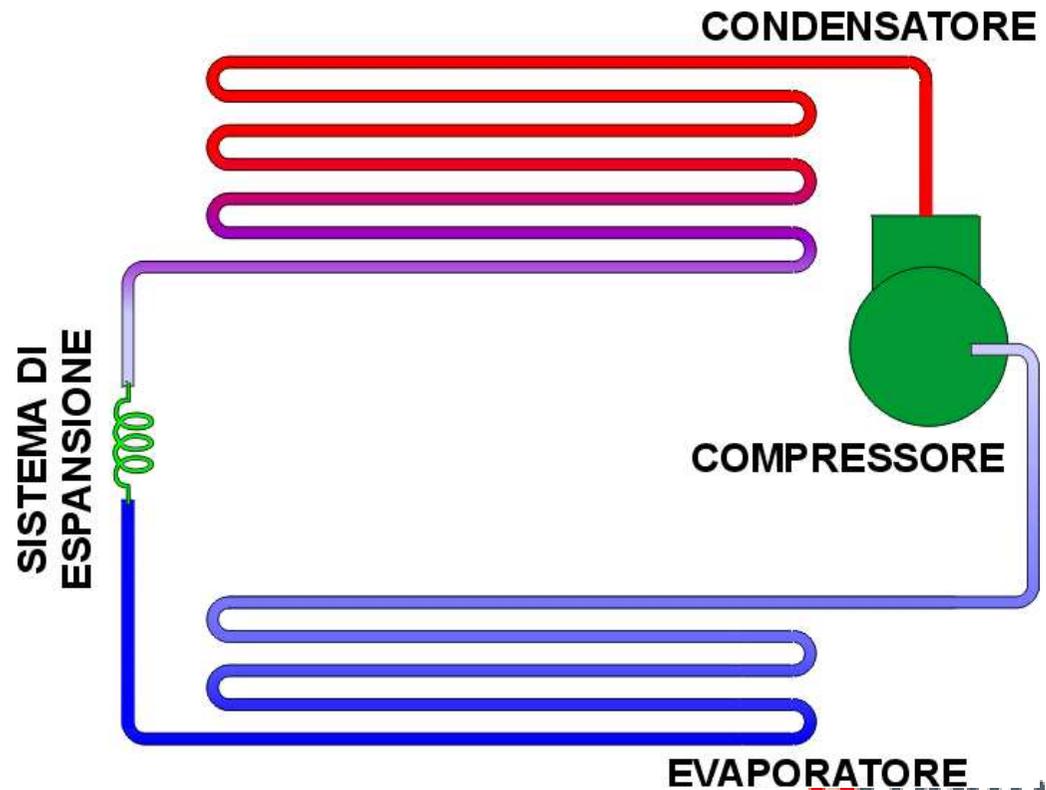
# Cos'è una POMPA DI CALORE

- La **pompa di calore** è una macchina in grado di trasferire calore da un corpo a temperatura più bassa ad un corpo a temperatura più alta, utilizzando energia elettrica.
- Il principio di funzionamento che sta alla base della pompa di calore è un ciclo termodinamico chiamato ciclo frigorifero
- Il ciclo frigorifero è rappresentato nel diagramma semi-logaritmico pressione - entalpia



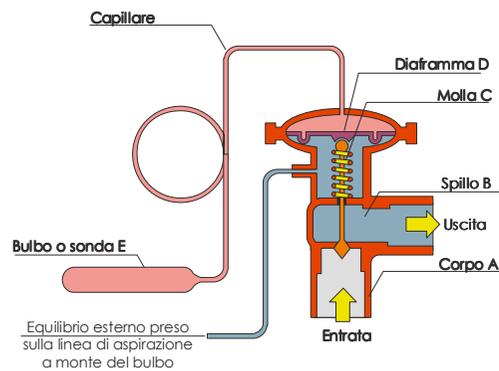
# Componenti di una POMPA DI CALORE

- La Pompa di calore è costituita da un circuito chiuso percorso da uno speciale fluido frigorifero che a seconda delle condizioni di temperatura e di pressione in cui si trova, assume lo stato di liquido o di vapore.
- Il circuito chiuso è costituito essenzialmente da:
  - Un compressore;
  - Un condensatore
  - Una valvola di espansione
  - Un evaporatore



# Le fasi del ciclo frigorifero

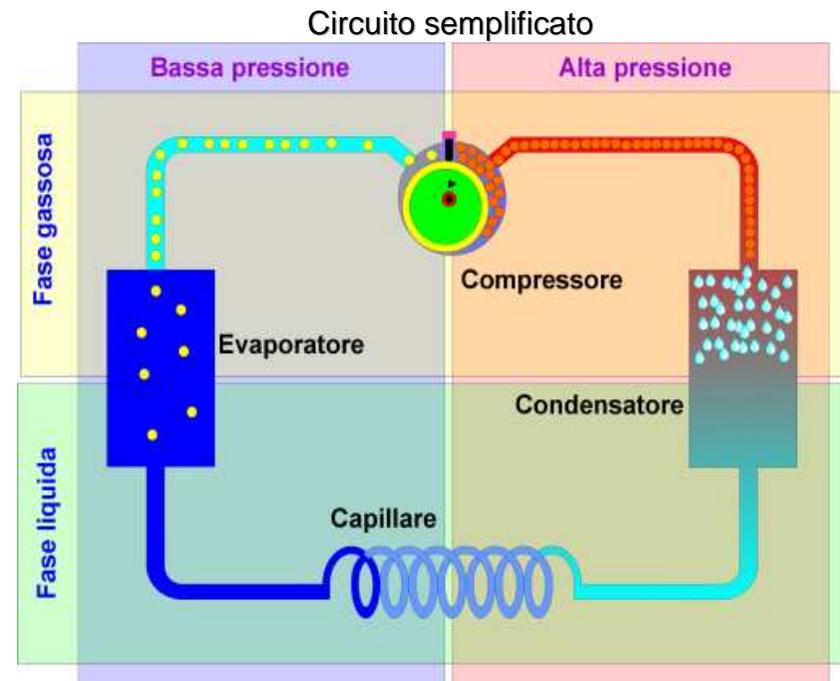
- **Compressione:** il fluido refrigerante allo stato gassoso e a bassa pressione, proveniente dall'evaporatore, viene portato ad alta pressione; nella compressione si riscalda assorbendo una certa quantità di calore;
- **Condensazione:** il fluido refrigerante proveniente dal compressore passa dallo stato gassoso a quello liquido cedendo calore all'esterno;
- **Espansione:** passando attraverso la valvola di espansione il fluido refrigerante liquido si trasforma parzialmente in vapore e si raffredda;
- **Evaporazione:** il fluido refrigerante assorbe calore dall'esterno ed evapora completamente;
- L'insieme di queste trasformazioni termodinamiche costituisce il ciclo della pompa di calore: nell'evaporatore assorbe calore dal mezzo circostante e tramite il condensatore lo cede al mezzo da riscaldare.



Valvola Termostatica



Compressore



# Il ciclo frigorifero

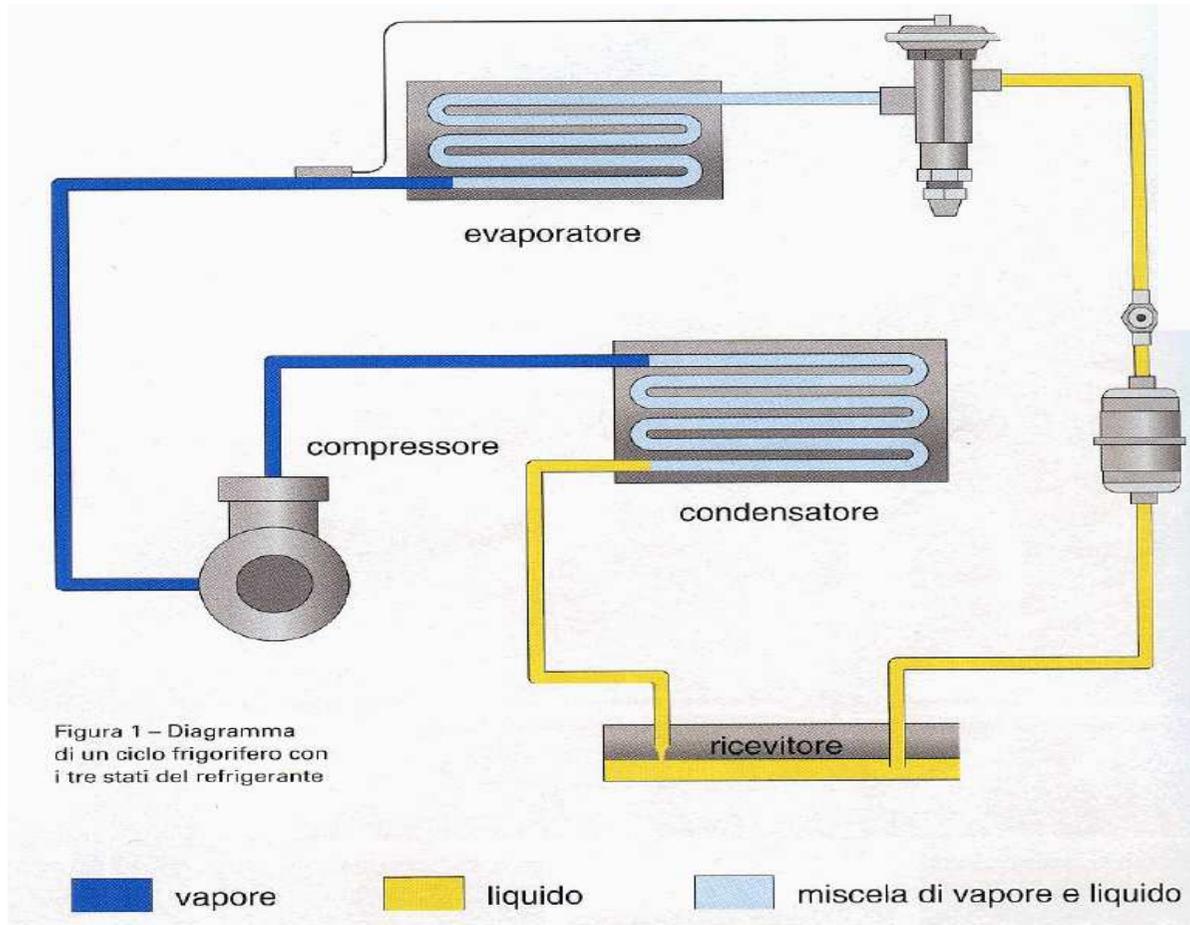
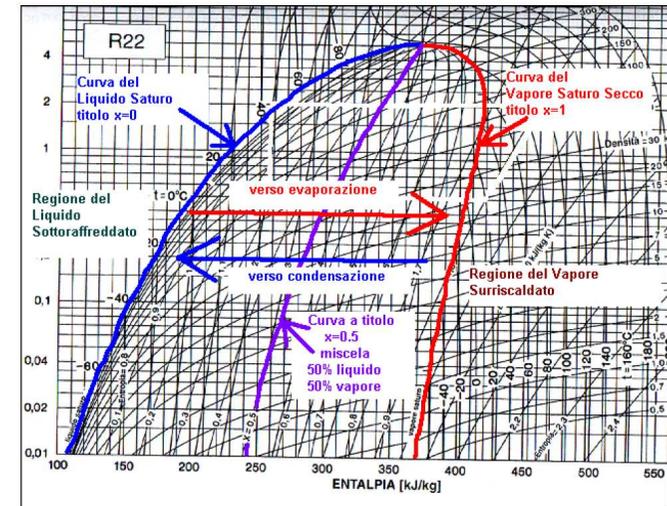


Figura 1 – Diagramma di un ciclo frigorifero con i tre stati del refrigerante



# Indici di efficienza istantanea

- In refrigerazione:

EER Energy Efficiency Ratio

$$P_{\text{evap}} / P_{\text{el}}$$

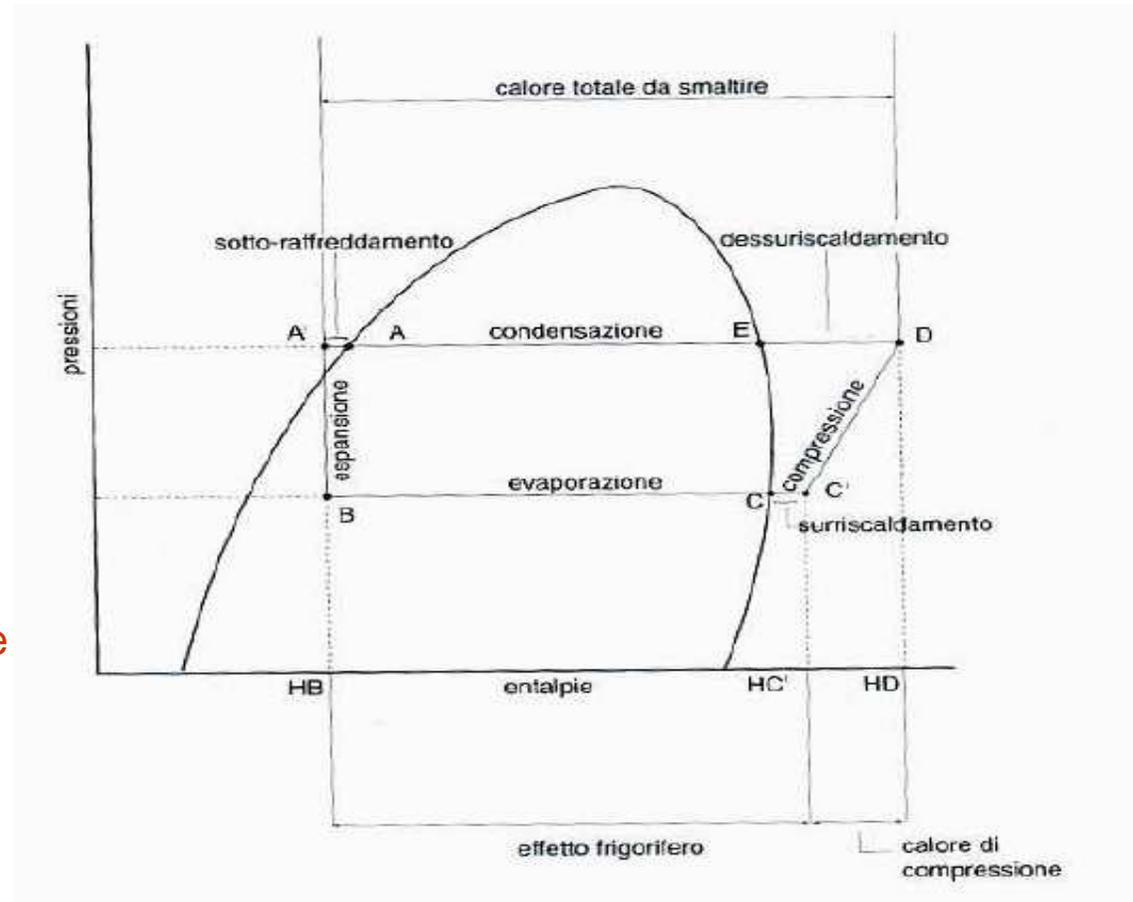
- $EER = (HC' - HB) / (HD - HC')$

- In riscaldamento:

COP Coefficient of Performance

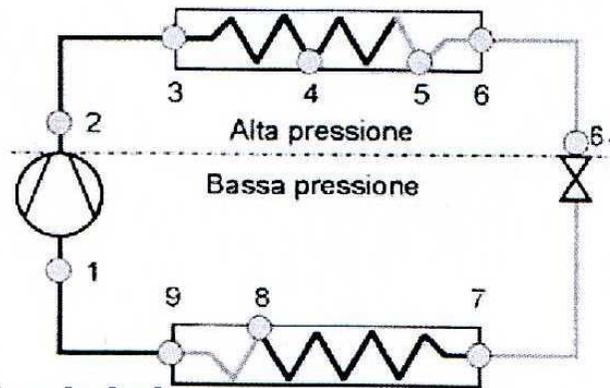
$$P_{\text{cond}} / P_{\text{el}}$$

- $COP = (HD - HB) / (HD - HC')$

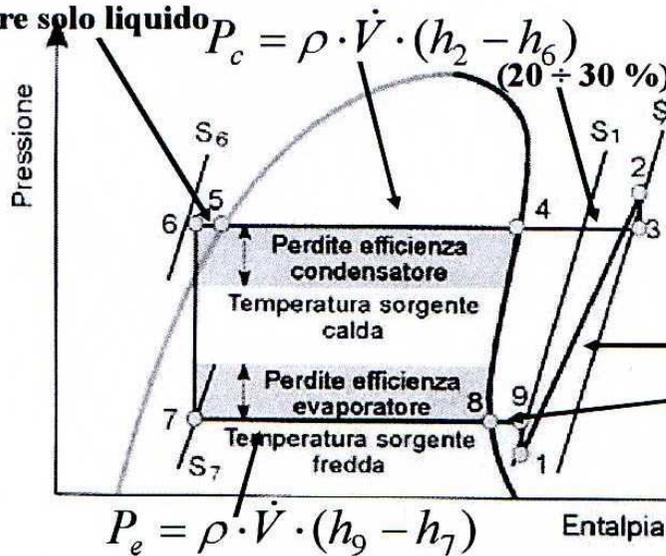


# Ciclo frigorifero reale

## Il diagramma p-h



Serve perché la valvola deve aspirare solo liquido



Fondamentale per la salvaguardia del compressore

$$P_m = \rho \cdot \dot{V} \cdot (h_2 - h_1)$$

— Refrigerante in fase vapore  
 — Refrigerante in fase liquido

Trasformazioni:

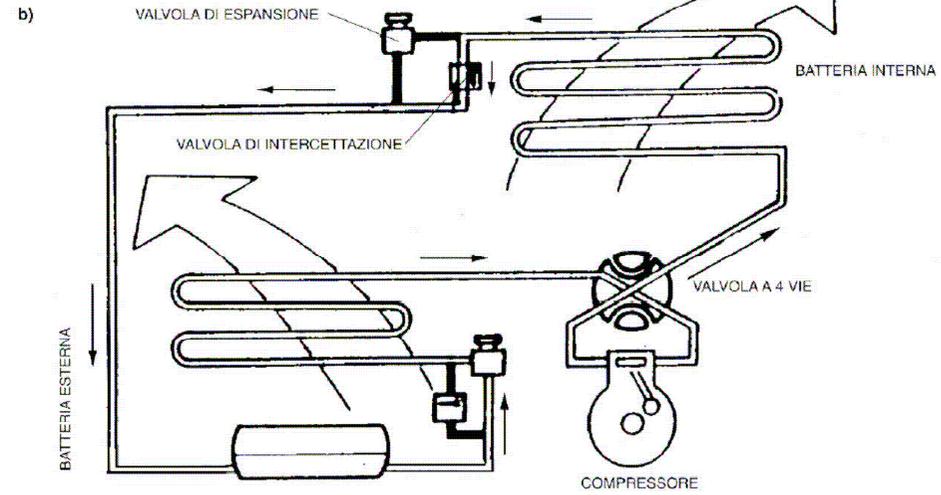
- 1-2 Compressione
- 2-3 Perdite linea di mandata
- 3-4 desurriscaldamento
- 4-5 condensazione
- 5-6 sottoraffreddamento
- 6-7 espansione
- 7-8 evaporazione
- 8-9 surriscaldamento
- 9-1 perdite linea di aspirazione

# Il circuito frigorifero delle pompe di calore

- Funzionamento in riscaldamento



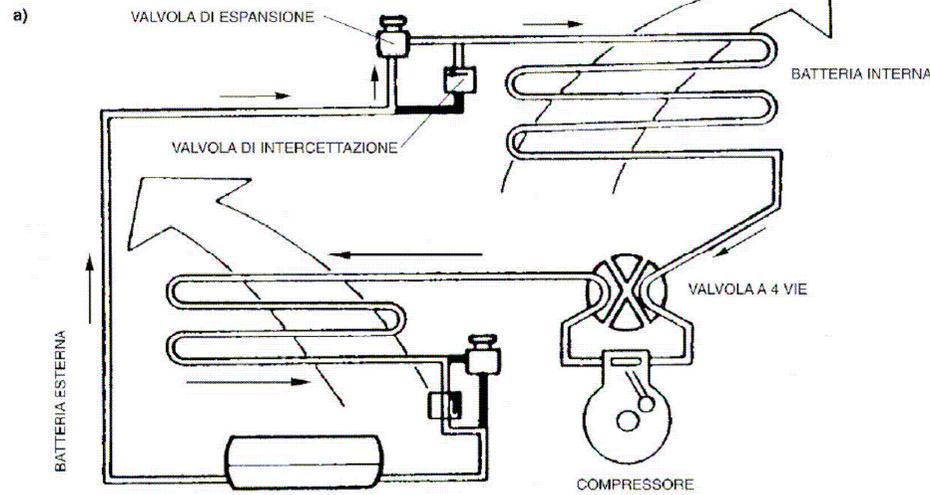
## RISCALDAMENTO



- Funzionamento in raffreddamento



## RAFFREDDAMENTO



## Il concetto di energia primaria (1/3)

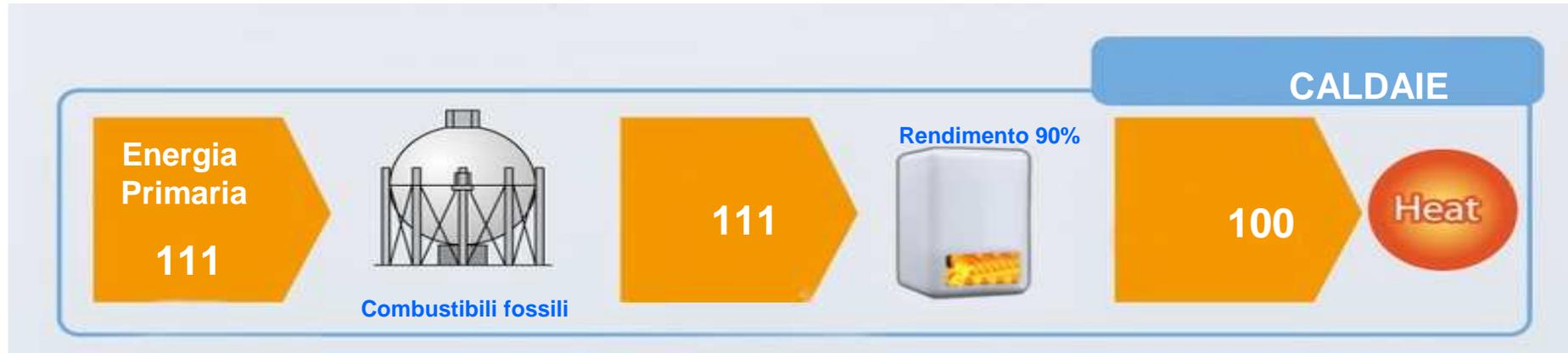
- Una fonte di energia viene definita **primaria** quando è presente in natura e quindi non deriva dalla trasformazione di nessuna altra forma di energia
- Si differenziano dalle fonti di energia **secondaria** in quanto queste ultime possono essere utilizzate solo a valle di una trasformazione di energia. È il caso dell'energia elettrica che talvolta viene anche definita “vettore energetico”
- Il concetto di energia primaria viene introdotto al fine di poter **confrontare impianti che utilizzano fonti energetiche diverse** (primarie e secondarie) come ad esempio il gas (per le caldaie) e l'energia elettrica (per le pompe di calore a compressione di vapore)

### Il concetto di energia primaria (2/3)

- L'energia elettrica viene prodotta con un mix di fonti primarie grazie ad impianti che convertono tali fonti in elettricità
- A livello nazionale è stato definito un **rendimento del sistema elettrico nazionale** ( $\eta_{SEN}$ ) che è il rapporto tra:
  - L'energia elettrica resa alle utenze
  - L'energia primaria assorbita da tutto il parco di centrali (tenendo conto anche delle perdite di trasmissione)
- Recentemente l'Autorità per l'Energia Elettrica ed il Gas, sulla base del bilancio energetico nazionale, ha stimato il rendimento del sistema elettrico nazionale pari al **46 %** (talvolta espresso attraverso il suo reciproco, definito rapporto di conversione, e pari a **2.17**)

# Energia primaria

## Il concetto di energia primaria (3/3)



Riduzione - 41% consumo  
Energia primaria

Riduzione - 50% delle  
Emissioni di CO<sub>2</sub>



# Confronto con tecnologie tradizionali

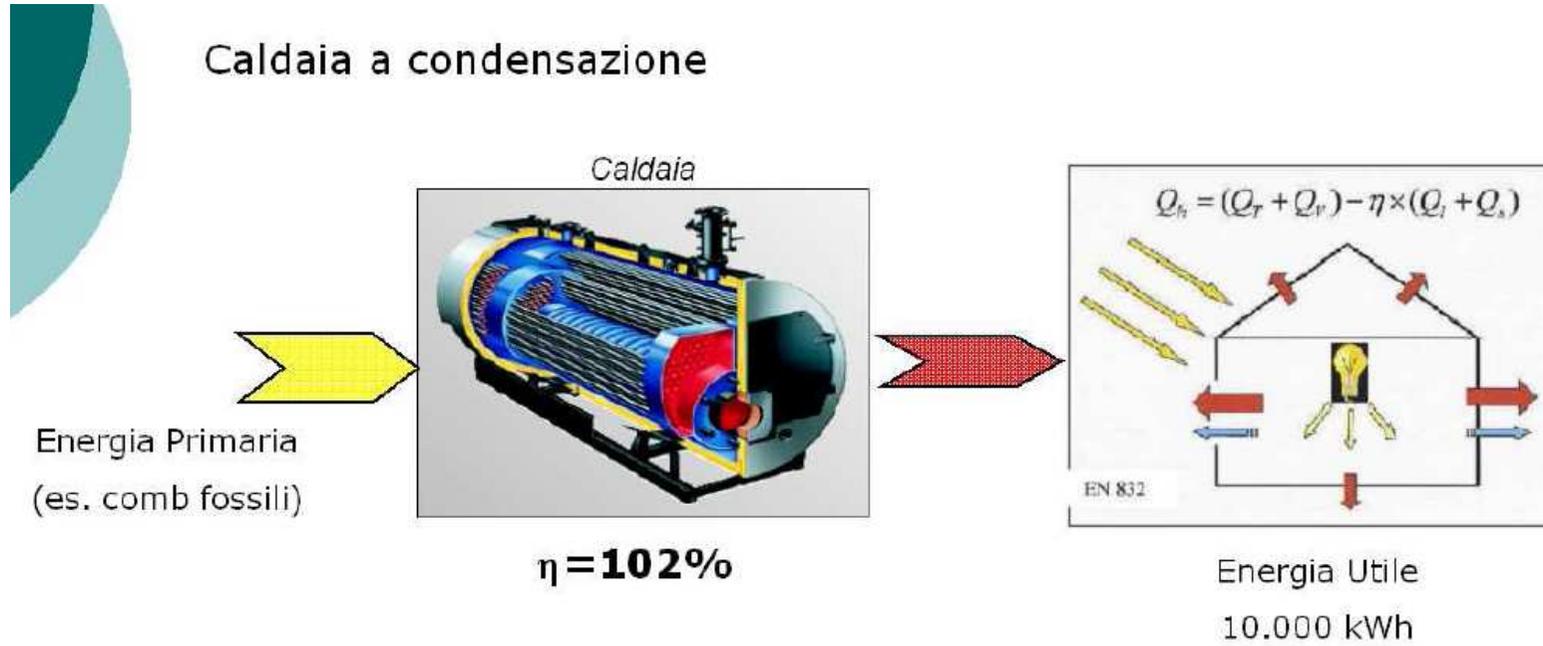
---

- Il confronto tra tecnologie diverse deve essere fatto sulla stessa base di confronto: l'indice impiegato è il rapporto tra Energia utile e Energia primaria necessaria per produrla

$$\text{REP} = \text{Energia Utile} / \text{Energia Primaria necessaria per produrla}$$

- **Edificio preso a riferimento**
- Località Milano, zona climatica E (2404 GG)
- Tipologia edilizia. Residenza unifamiliare
- Superficie di pavimento: 150 m<sup>2</sup> – Volume lordo riscaldato 450 m<sup>3</sup> – Superficie disperdente 360 m<sup>2</sup> – Rapporto S/V 0,8<sup>-1</sup>
- Isolamento involucro conforme ai valori di trasmittanza limite di legge:
- $U_{\text{pareti}} = 0,34$ ;  $U_{\text{copertura}} = 0,30$ ;  $U_{\text{basamento}} = 0,33$ ;  $U_{\text{infissi}} = 2,2 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
- Il fabbisogno di energia utile richiesto dall'involucro derivato dalle perdite di calore per ventilazione e trasmissione, e considerati gli apporti gratuiti è pari a:  $Q_h = 10.000 \text{ kWh}$
  
- **Confrontiamo due tipologie di sistemi di generazione dell'energia termica per la climatizzazione invernale:**
- Caldaia a condensazione con rendimento medio di produzione stagionale pari al 102%
- Pompa di calore con SCOP rendimento medio stagionale 3,5

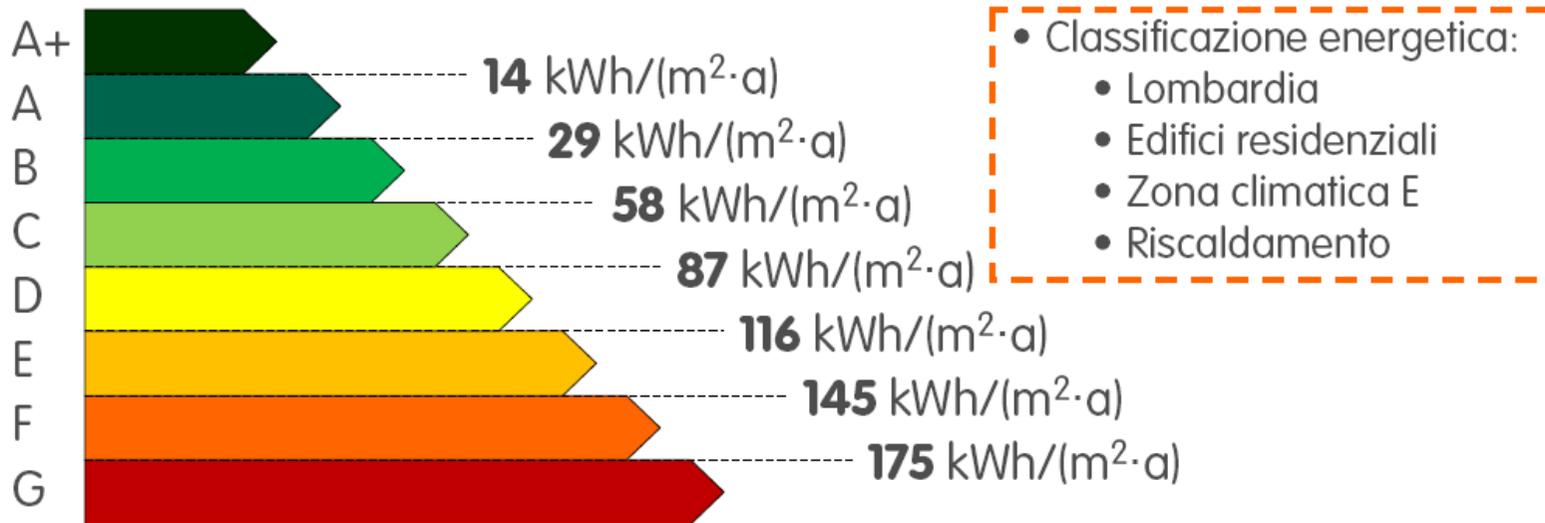
# Confronto con tecnologie tradizionali



$$\text{Energia Primaria} = \frac{Q_h}{\eta} = \frac{10000}{102\%} = 9804 \text{ kWh}$$

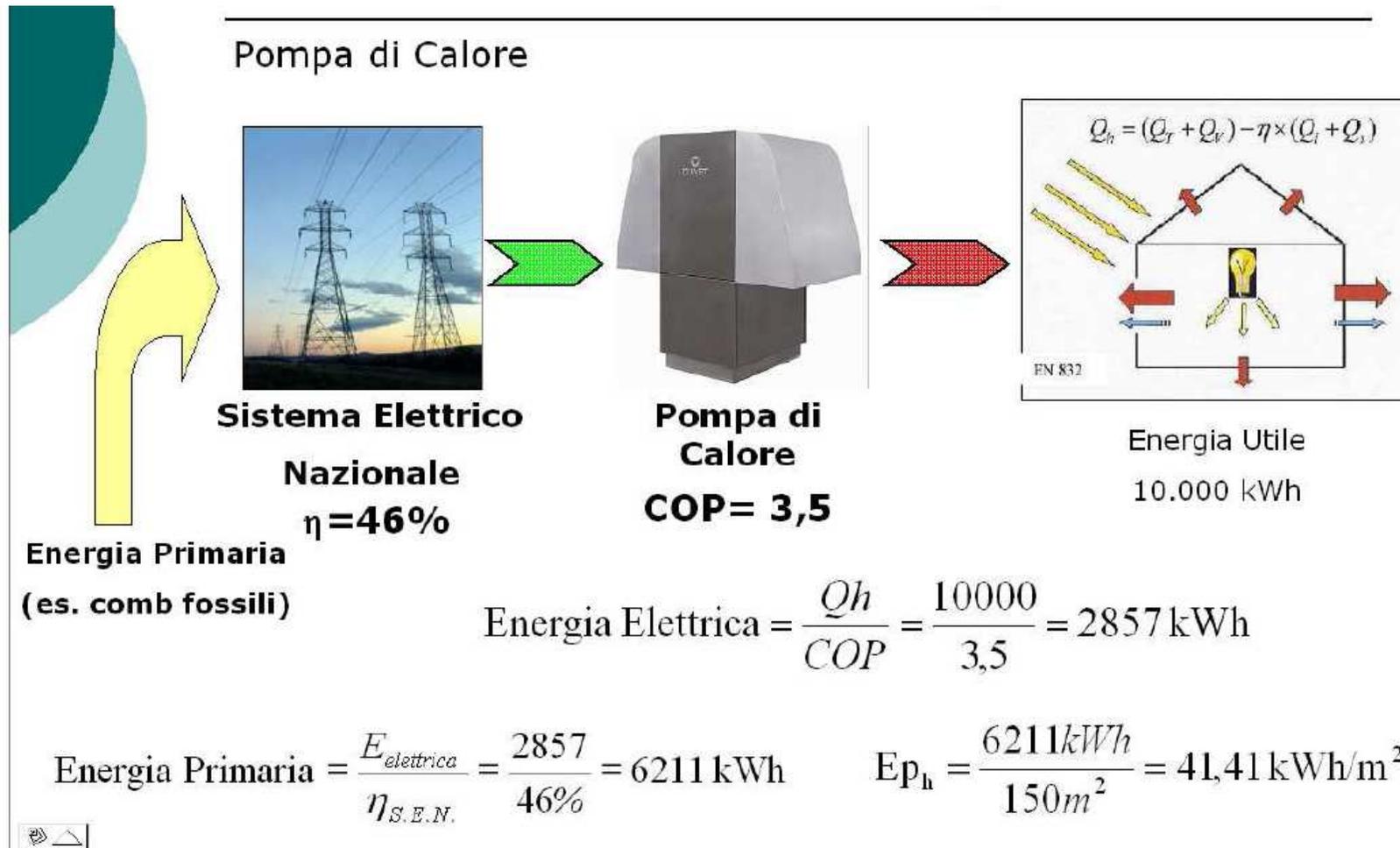
$$E_{p_h} = \frac{9804 \text{ kWh}}{150 \text{ m}^2} = 65,36 \text{ kWh/m}^2$$

## Confronto con tecnologie tradizionali

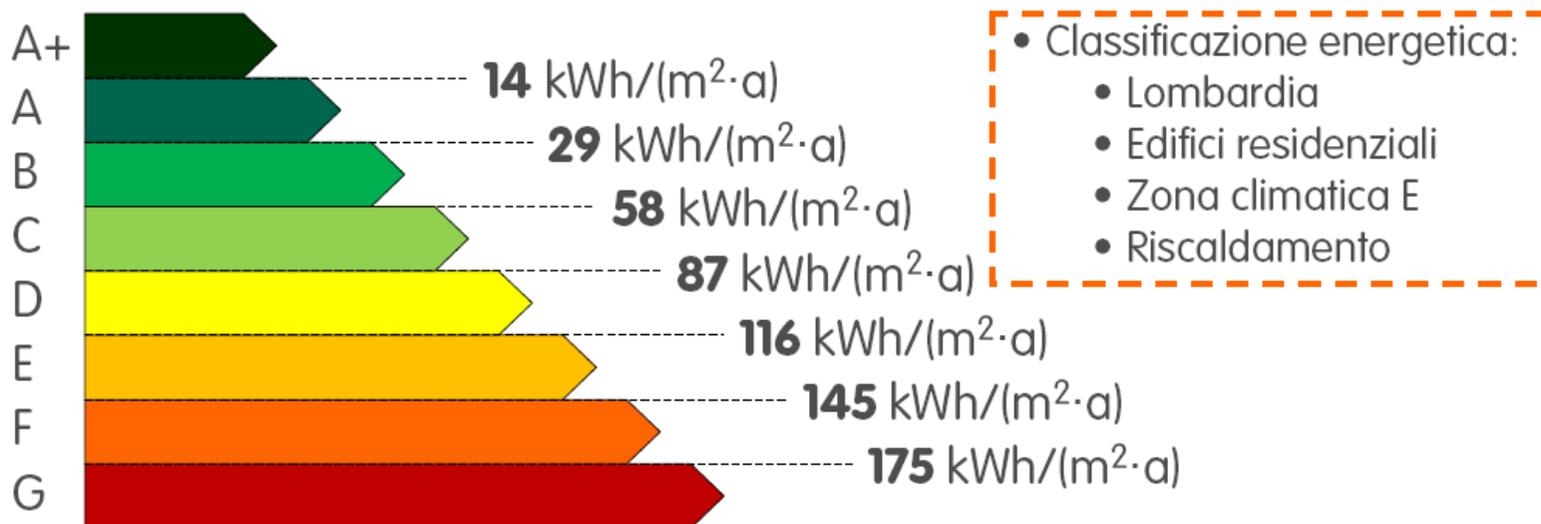


- Caldaia a condensazione: 65,36 kWh / m<sup>2</sup> a >> CLASSE C

# Confronto con tecnologie tradizionali



## Confronto con tecnologie tradizionali



- Pompa di calore: 41,41 kWh / m<sup>2</sup> a >> CLASSE B

## Confronto con tecnologie tradizionali

---

- **Confrontiamo ora il costo di esercizio stagionale fra le due soluzioni impiantistiche:**
- **Caldaia a condensazione con rendimento medio di produzione stagionale pari al 102%**
- Consumo stagionale: 9804 kWh – Costo di fornitura gas metano 0,80 €/m<sup>3</sup> – P.C.I. gas metano 8500 kcal/m<sup>3</sup> pari a 10 kWh/m<sup>3</sup>
- Costo stagionale soluzione con caldaia a condensazione: 784 €
  
- **Pompa di calore con SCOP rendimento medio stagionale 3,5**
- Consumo stagionale: 2857 kWh – Costo di fornitura energia elettrica 0,18 €/kWh
- Costo stagionale soluzione con pompa di calore elettrica: 515 €
  
- Risparmio stagionale : circa 25%
  
- **Si è più volte dimostrato che l'efficienza minima stagionale per la convenienza delle pompe di calore sia COP > 2,2**

# Panorama normativo a livello europeo

Febbraio 2007: **Obiettivi assegnati** dalla commissione Europea

Riduzione del **- 20%** dei consumi energetici

Riduzione del **- 20%** delle emissioni di gas serra

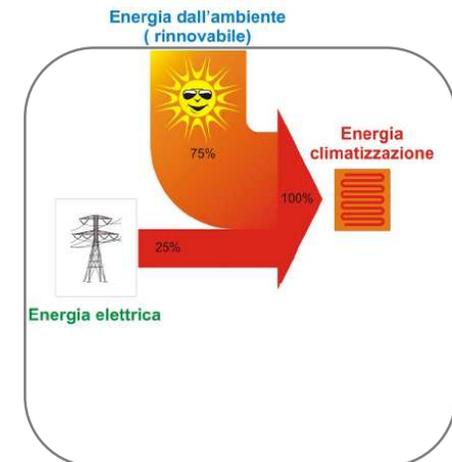
Utilizzo del **+ 20%** di energie rinnovabili



**Bruxelles 11 Dicembre 2008**

**“Climate-energy legislative package”** l’unione Europea ha decretato che il calore ambiente (sia esso contenuto nell’aria, nell’acqua o nel sottosuolo) utilizzato dalle pompe di calore viene ufficialmente riconosciuto come fonte di energia rinnovabile.

I consumi di energia dovranno essere valutati su base energia primaria



Novembre 2009: modifica alla direttiva CE-91-2002: dal 1°

Gennaio 2019 tutti i nuovi edifici costruiti dovranno produrre autonomamente l’energia che consumano (edifici ad impatto zero)



# L'evoluzione delle pompe di calore

## Anni '80



- COP 2,5
- Sbrinamento inefficiente
- Temperature risc. basse
- Rese non sempre certificate

## IERI

Sbrinamento  
Intelligente



Acqua 62°C  
Aria esterna  
- 8°C



Acqua 45°C  
Aria esterna  
- 5°C



Acqua 60°C  
Aria esterna  
- 10°C



COP 4,5



## OGGI

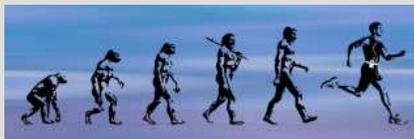


Aria esterna  
- 20°C

COP 4/5



Integrazione con tecnologie  
Solari e Radianti



La tecnologia negli ultimi 25 anni ha fatto passi da gigante,  
portando le pompe di calore ad efficienze doppie

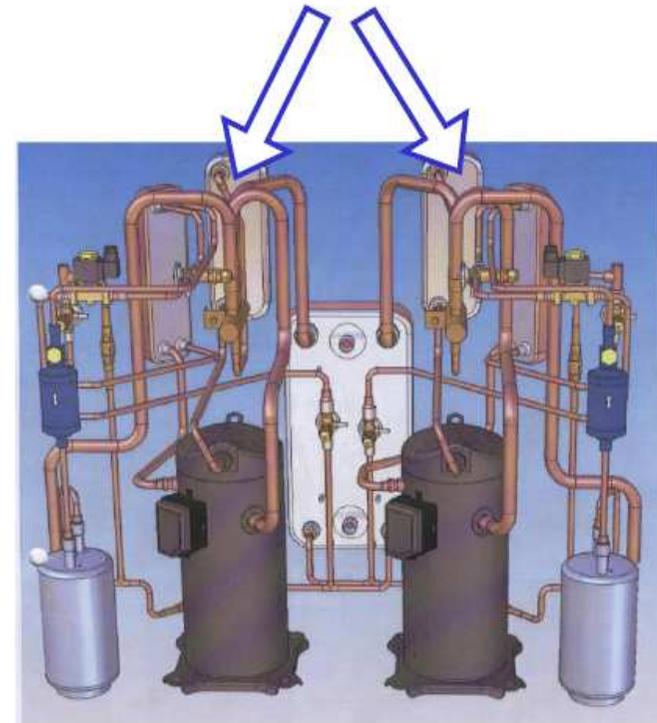
# 1° Vantaggio: Recupero calore

**Recupero parziale del calore di condensazione fino ad un 25%.**

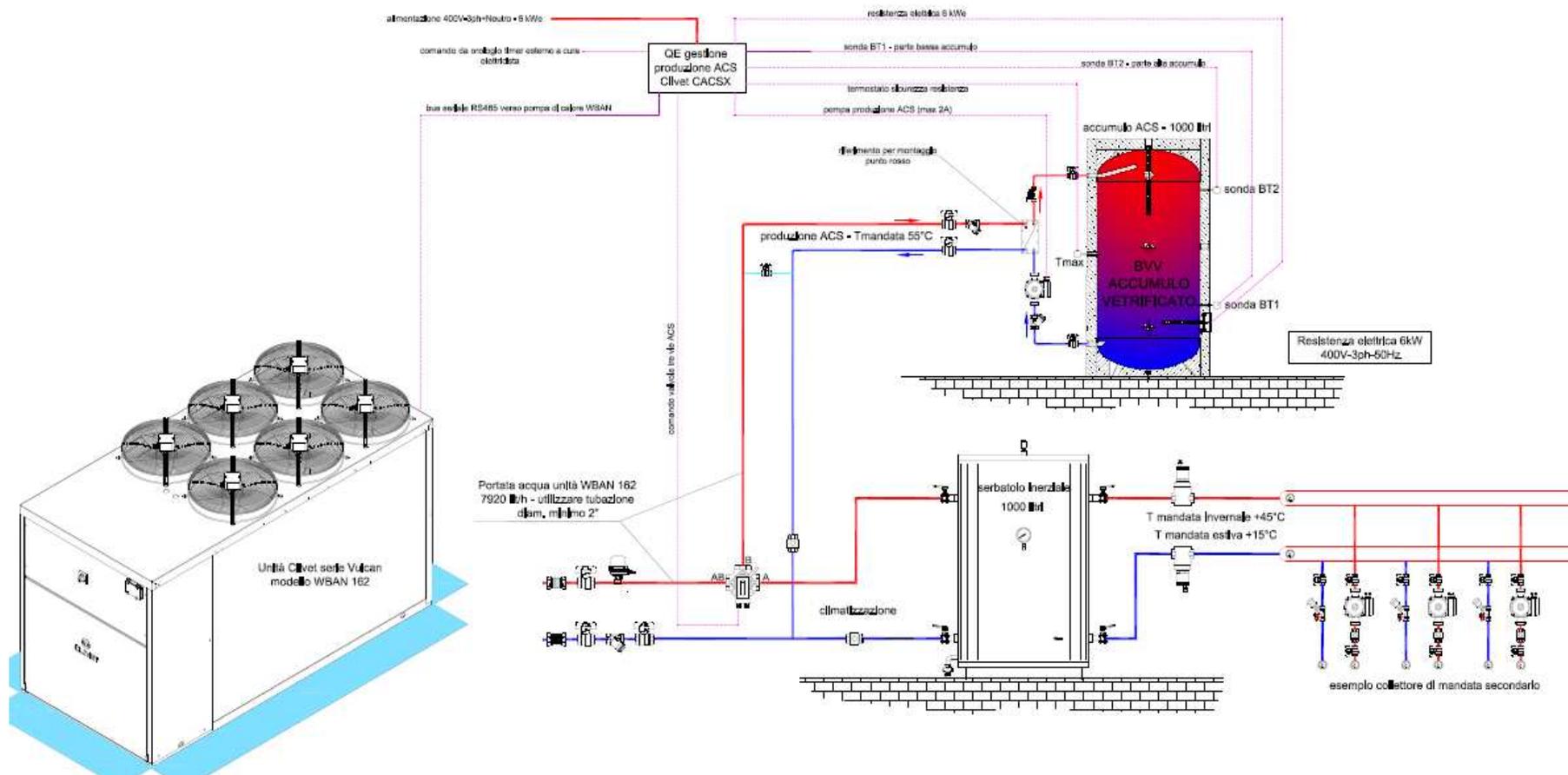
L'utilizzo del desurriscaldatore in un impianto sviluppato in funzione della massima efficienza energetica e con richiesta di acqua calda, è una scelta quasi obbligatoria per macchine di questa taglia perché permette di recuperare gratuitamente del calore altrimenti disperso in ambiente. Il recupero di calore parziale è composto da scambiatori a piastre idonei a recuperare il 25% della potenza termica dell'unità (potenza frigorifera + elettrica dei compressori).

Con il desurriscaldatore attivo le prestazioni dell'unità migliorano in quanto si ha un abbassamento della temperatura di condensazione. Indicativamente la potenza frigorifera aumenta del 3.2% e la potenza assorbita dai compressori cala del 3.6%. Se le temperature dell'acqua da riscaldare sono relativamente basse, è opportuno inserire nel circuito idraulico una valvola di regolazione per mantenere la temperatura in uscita al recupero maggiore di 35 C per evitare di condensare.

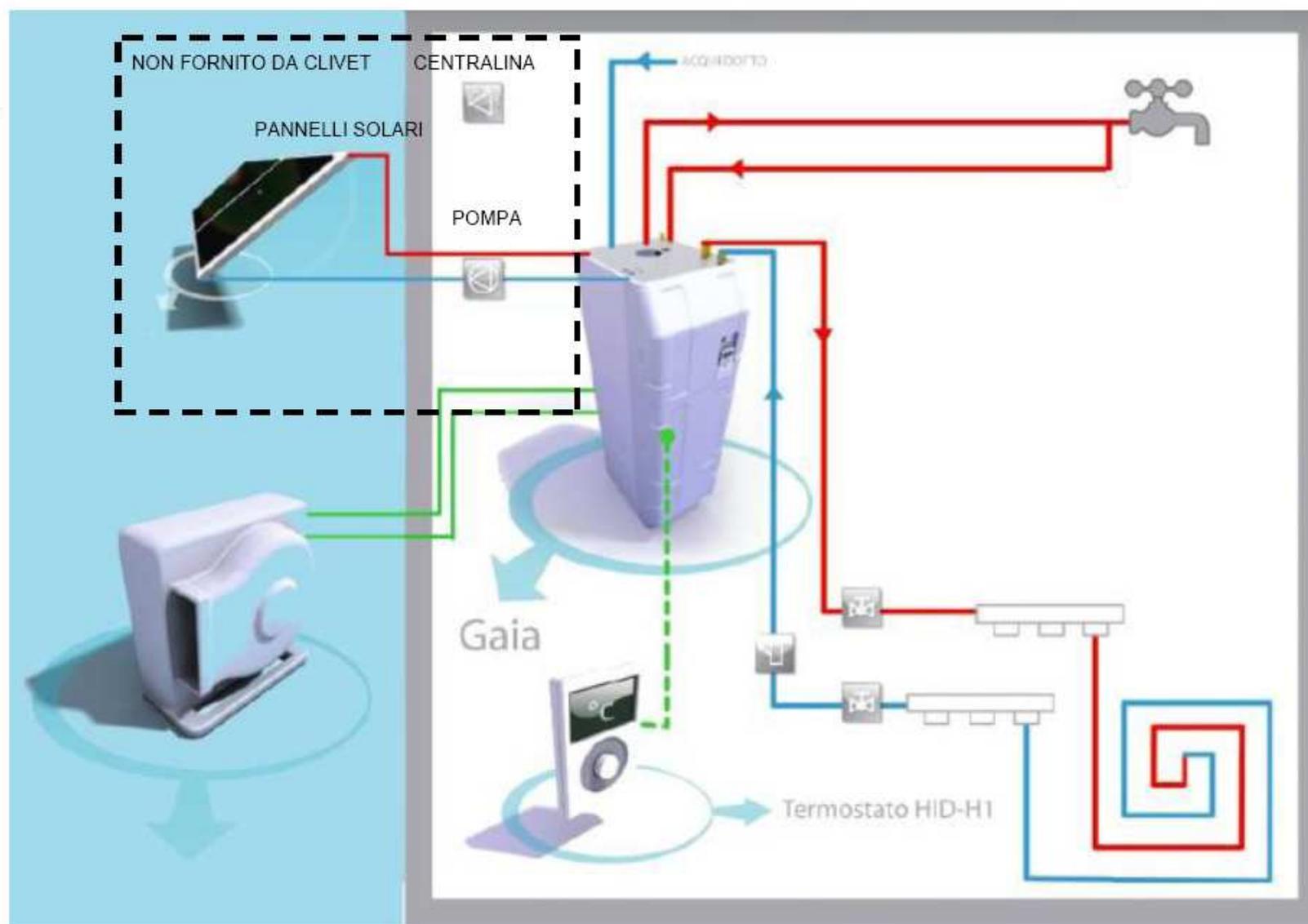
## DESURRISCALDATORI



## 2° Vantaggio: possibilità di produzione ACS



## 2° Vantaggio: possibilità di produzione ACS integrata



## 3° Vantaggio: Centralizzazione domotica

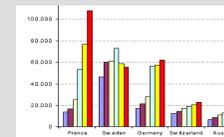
### ELFOControl

- CONTROLLO IMPIANTO COMPLETO
- PROGRAMMAZIONE ORARIA
- GESTIONE PERSONALIZZATA
- OTTIMIZZAZIONE DELL'ENERGIA
- DISPLAY TOUCH SCREEN



# Conclusioni

**1** Il mercato Europeo delle pompe di calore cresce ovunque  
La U.E. ne favorirà l'impiego con leggi comunitarie



**2** L'Italia dovrà presentare un piano d'azione per rientrare  
negli obiettivi del -20%. Incentivi alle pompe di calore



**3** Verifica COAER: Con solo il 30% di impianti a pompa di calore  
si raggiunge il rispetto dei parametri UE !!

Target 2020			
	2008	2020	Variazione
Riduzione dei consumi	34.3	28.15	-18%
Riduzione della CO <sub>2</sub>	78.9	64.7	-18%
Impiego di rinnovabile			22%

**4** La tecnologia negli ultimi 25 anni ha fatto passi da gigante,  
portando le pompe di calore ad efficienze doppie

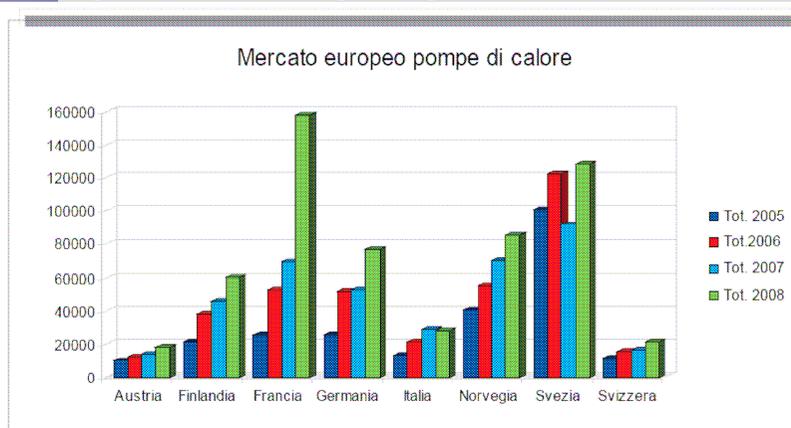
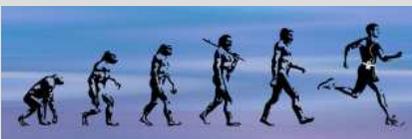


Grafico 1 : Mercato europeo Pompe di Calore - unità (fonte "OUTLOOK 2009" EHPA )

# Conclusioni: motivazioni per la scelta dell'impianto

## I valori di un impianto

Le scelte impiantistiche devono essere volte a:



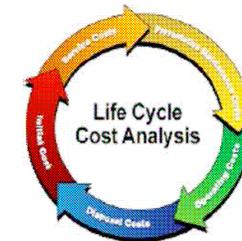
**Garantire il comfort all'interno degli ambienti...**



**...con un ridotto consumo energetico...**



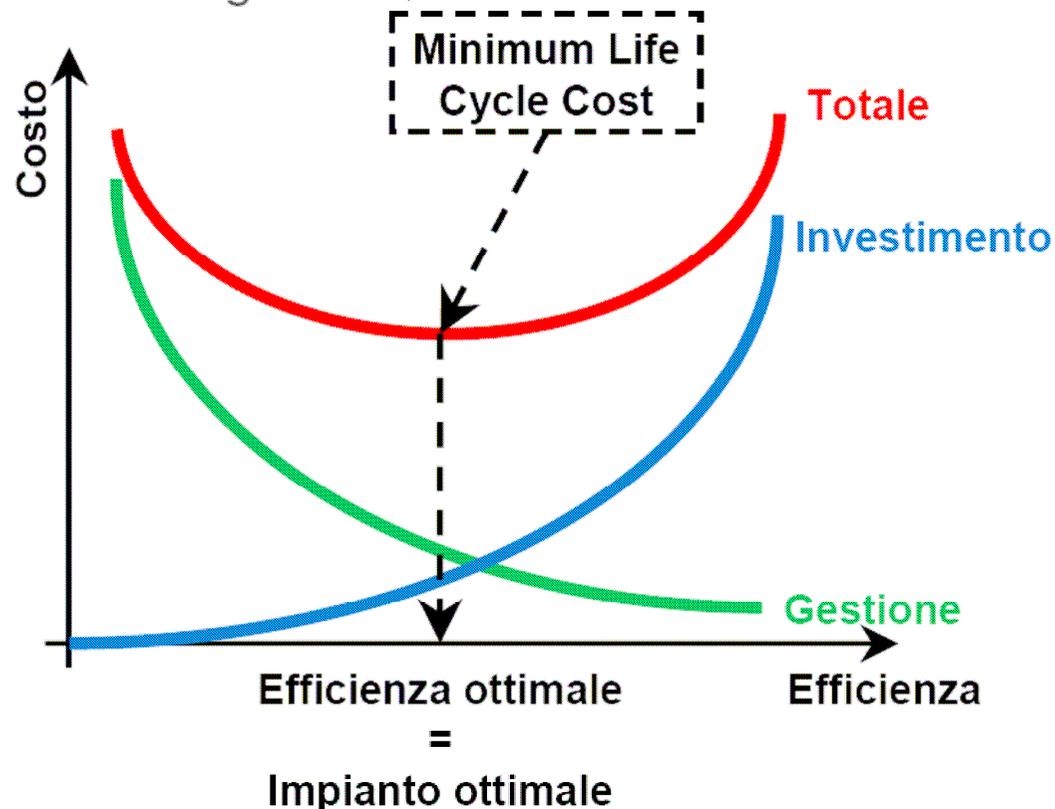
**...con il minimo costo nel ciclo di vita (total life cycle cost)**



## Conclusioni: motivazioni per la scelta dell'impianto

### Costi di investimento e di gestione

- La ricerca del minimo costo globale nel ciclo di vita (costo di investimento + di gestione)



# Pompe di Calore CLIVET per il residenziale



**VULCAN**  
ARIA/ACQUA  
DA  
ESTERNO



**HORUS**  
ARIA/ACQUA  
DA  
ESTERNO



**SMALL**  
ARIA/ACQUA  
DA INTERNO



**EXTENDE  
D**  
ARIA/ACQUA  
DA  
ESTERNO



**HORUS+**  
ARIA/ACQUA  
DA  
ESTERNO



**GROUND**  
ACQUA/ACQUA  
DA INTERNO



**COMPACT**  
ARIA/ACQUA  
DA  
ESTERNO



**GAIA con ACS**  
integrato



**MEDIUM**  
ARIA/ACQUA  
DA  
ESTERNO