

**A-CLASS**  
by ROCKWOOL Learning

POLITECNICO DI MILANO



**BEES**

➔ **Soluzioni impiantistiche in edifici ad alta efficienza energetica**

Prof. Livio Mazzarella – Dipartimento di Energia

Buildings' Environment and Energy Systems Group

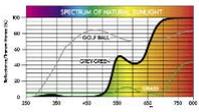
**A-CLASS**  
by ROCKWOOL Learning

## I requisiti degli impianti negli edifici

Gli impianti per la climatizzazione invernale ed estiva degli edifici e gli impianti di illuminazione devono rispondere ai seguenti requisiti:

- ✓ mantenere condizioni di **benessere termoigrometrico** all'interno degli ambienti al variare delle condizioni climatiche e delle modalità di utilizzazione dell'edificio
- ✓ mantenere la **qualità dell'aria** non solo a livelli igienicamente accettabili ma anche tali da assicurare il comfort
- ✓ mantenere illuminamento naturale e artificiale a livelli che assicurino il **benessere visivo**
- ✓ non immettere, per quanto possibile, rumore negli ambienti in modo da mantenere il livello sonoro ad un valore compatibile con il **benessere acustico**.






Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

## I requisiti degli impianti negli edifici

Gli impianti per la climatizzazione invernale ed estiva degli edifici e gli impianti di illuminazione devono quindi essere progettati e realizzati per assicurare e mantenere:

- ✓ il benessere termoigrometrico
- ✓ la qualità dell'aria,
- ✓ il benessere visivo
- ✓ il benessere acustico

con i seguenti vincoli:

- ✓ **minimo costo economico**
- ✓ **minimo consumo di energia**
- ✓ **minimo impatto ambientale**



<http://whisperofthewind.wordpress.com>

Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

## Quali tecnologie per gli edifici ad alta efficienza energetica

- Due distinte possibilità spesso sinergiche:
  - - **sull'involucro:**
    - ottimizzare l'involucro dell'edificio per ottenere la minima richiesta di energia termica e il massimo comfort termico, igrometrico, acustico e luminoso;
  - - **sull'impianto:**
    - utilizzare tecnologie che consentano il controllo della qualità dell'aria
    - ottimizzare le tecnologie di conversione di energia da combustibile fossile in energia termica
    - introdurre tecnologie che impieghino le fonti di energia rinnovabili

Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

## Impianti per edifici ad alta efficienza energetica

Il risparmio energetico legato agli impianti per la climatizzazione invernale ed estiva degli edifici può essere ottenuto attraverso:

- ✓ uso di tecnologie per il controllo della qualità dell'aria:
  - ventilazione meccanica controllata
- ✓ uso ed ottimizzazione delle migliori tecnologie esistenti:
  - caldaie a condensazione
  - pompe di calore
  - poligenerazione
  - regolazione intelligente
- ✓ introduzione delle fonti rinnovabili di energia per
  - produzione acqua calda sanitaria
  - riscaldamento ambientale
  - raffrescamento ambientale

## Controllo della qualità dell'aria

**Ventilazione meccanica controllata**

## Perché la ventilazione?

### Per mantenere un desiderato stato dell'aria ambiente:

qualità (assenza inquinanti), temperatura e umidità devono essere mantenute all'interno di intervalli specifici perché si abbia benessere

### Funzionalità di base della ventilazione:

- rimozione di:
  - ⇒ CO<sub>2</sub>
  - ⇒ umidità
  - ⇒ inquinanti
- eliminazione fumi

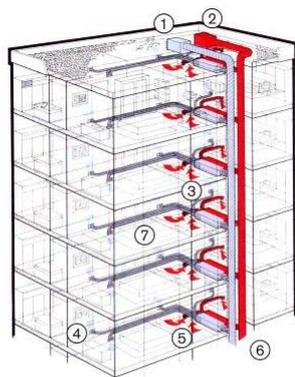
### Altre possibili funzioni (termodinamiche):

- riscaldamento/condizionamento dell'aria
- de-umidificazione

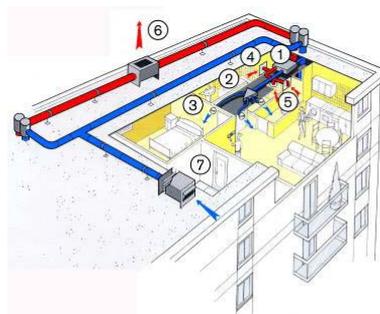
Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

## Ventilazione meccanica controllata

Fonte: Aldes



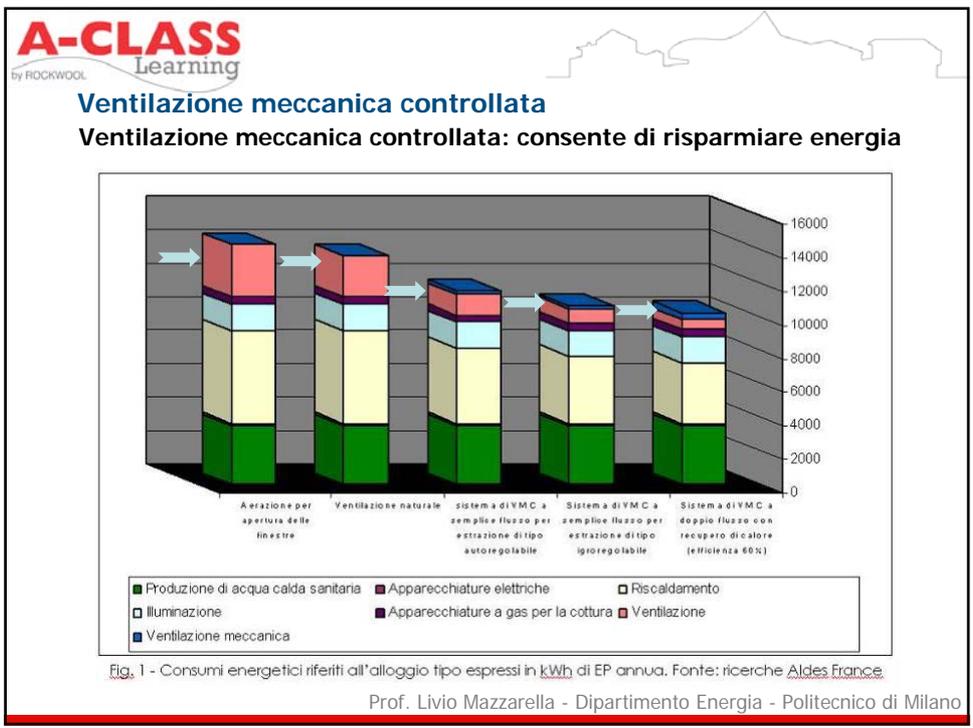
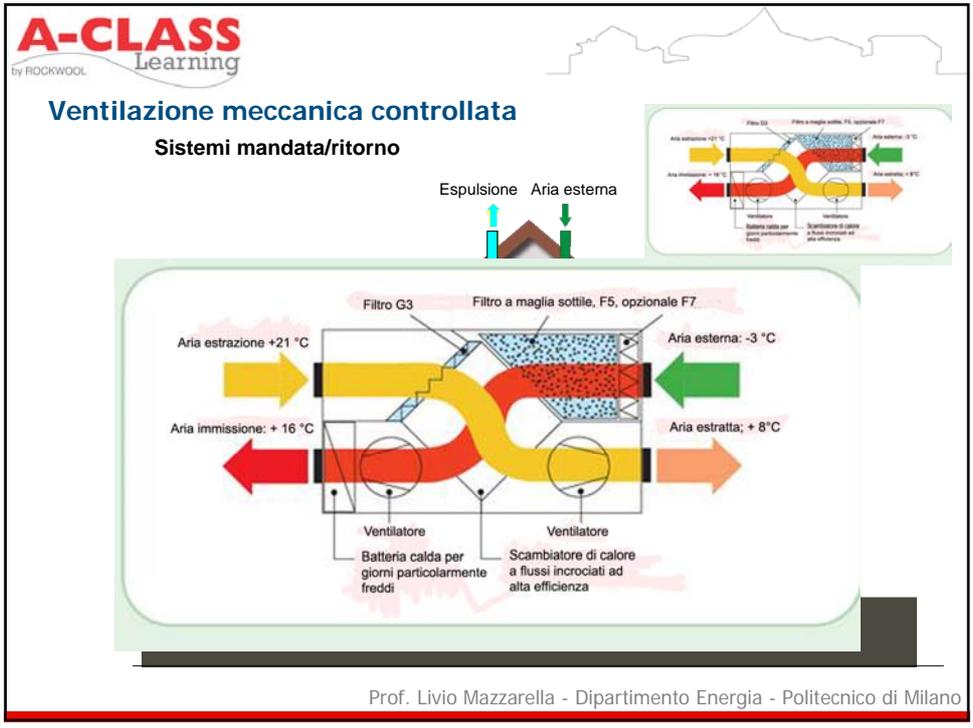
- 1 - Ventilatore di immissione centralizzato
- 2 - Ventilatore di estrazione centralizzato
- 3 - Recuperatore di calore autonomo
- 4 - Terminale di immissione aria nuova
- 5 - Terminale di estrazione
- 6 - Canalizzazioni principali
- 7 - Condotti di distribuzione interna



- 1 - Scambiatore termodinamico
- 2 - Plenum di distribuzione
- 3 - Bocchetta di immissione
- 4 - Bocchetta di estrazione
- 5 - Modulo di regolazione a portata variabile
- 6 - Ventilatore centralizzato di estrazione
- 7 - Ventilatore centralizzato di immissione con filtrazione dell'aria esterna

**I sistemi a doppio flusso consentono di installare dei recuperatori statici o termodinamici**

Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano



## Generatori termici innovativi

### Caldaie a condensazione

Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

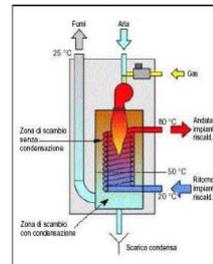
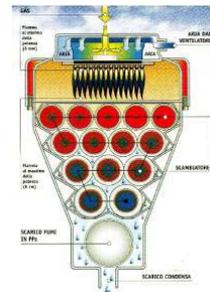
## Generatori di calore a condensazione

Nei generatori di calore tradizionali esistono due limiti all'aumento del rendimento medio stagionale:

- ✓ la temperatura non può scendere sotto determinati valori, se deve essere garantito il corretto funzionamento del camino.
- ✓ la temperatura dell'acqua non può scendere sotto determinati valori indicati dal costruttore per evitare pericoli di condensazione (incrostazioni e corrosione dei materiali dovuti all'acidità della condensa stessa)

I generatori di calore a condensazione sono progettati per superare questi limiti:

- ✓ un scambiatore di calore fumi-acqua molto abbondante abbassa la temperatura dei fumi fino a valori poco superiori a quelli della temperatura di ritorno
- ✓ il vapore d'acqua contenuto nei fumi condensa abbondantemente, se in misura variabile con l'eccesso d'aria e con la temperatura di acqua di ritorno, cedendo del generatore il suo calore latente.
- ✓ la temperatura dei fumi è tipicamente 50-60°C invece di 120°C-180°C per una caldaia standard.



Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

## Generatori di calore a condensazione

Il rendimento utile di una caldaia dato da

$$\eta_{tu} = \frac{Q_{tu}}{Q_c} = \frac{Q_{tu}}{m \cdot H_l}$$

dove :  $Q_{tu}$  = l'energia termica prodotta dal generatore

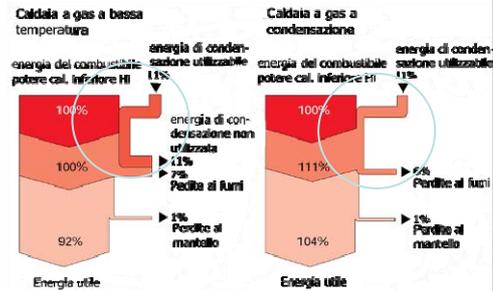
$Q_c$  = l'energia potenziale del combustibile

$H_l$  = il "potere calorifico inferiore" PCI del combustibile

$m$  = la massa di combustibile bruciato

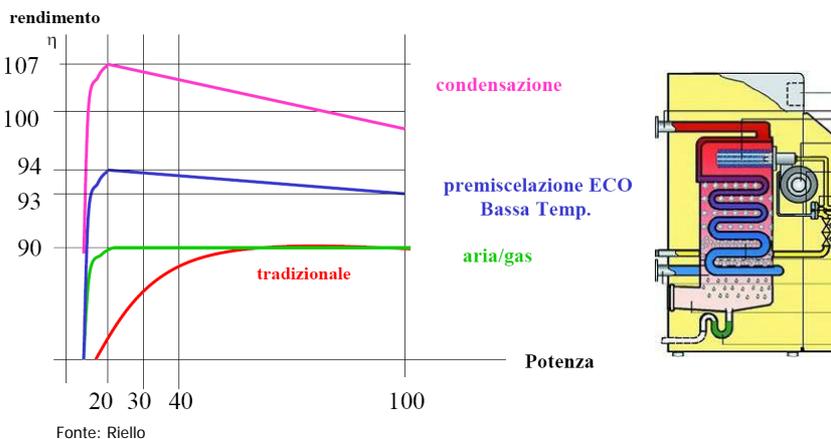
Per il gas naturale in Italia, differenza media tra PCI e PCS circa 11%.

Consuetudine misurare il rendimento utile di un generatore facendo riferimento al PCI il che comporta avere rendimenti superiori al 100%..



## Caldaie a condensazione

Recupero d'energia contenuta nel vapore d'acqua dei fumi facendolo condensare



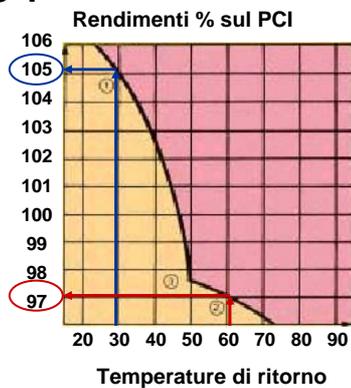
Fonte: Riello

## Caldaie a condensazione

### Caldaie a condensazione ?

#### ATTENZIONE !

- ⇒ Condensa solo se la si fa funzionare con temperature di ritorno (e mandata) basse !  
**Necessità di terminali a bassa temperatura**
- ⇒ Altrimenti funziona come una normale caldaia standard!



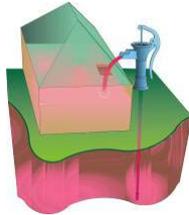
I rendimenti dichiarati sono per temperature mandata/ritorno di 50/30 °C max

## Generatori termici innovativi

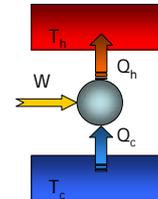
**Pompe di calore**

## Pompe di calore

È questa?



Non proprio! ...  
È quest'altra



Schema di funzionamento macchina a compressione

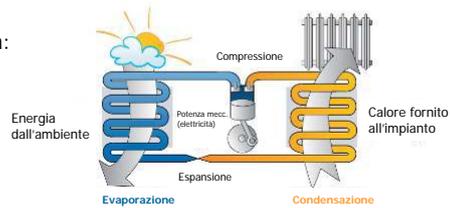
Il bilancio energetico ci dice che:

$$Q_h = W + Q_c$$

L'efficienza energetica è definita da:

$$COP = \frac{\dot{Q}_h}{\dot{W}} \quad \text{potenze}$$

$$EER = \frac{Q_h}{W} \quad \text{energie}$$

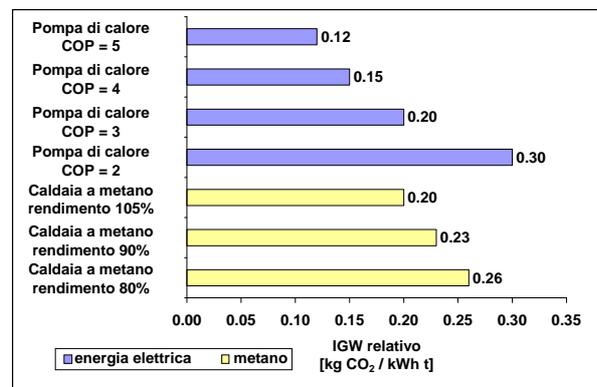


Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

## Pompe di calore

### Consumano meno energia primaria e inquinano meno

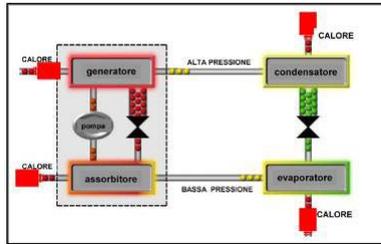
Emissioni di CO<sub>2</sub> in grammi per 1 kWh termico prodotto



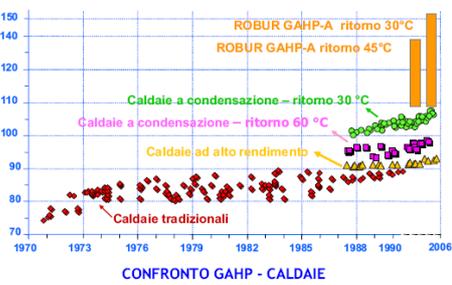
Fonte: CDA -n.5 maggio 2005

Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

## Pompe di calore .... anche a gas



### Efficienza delle Pompe di Calore ad Assorbimento



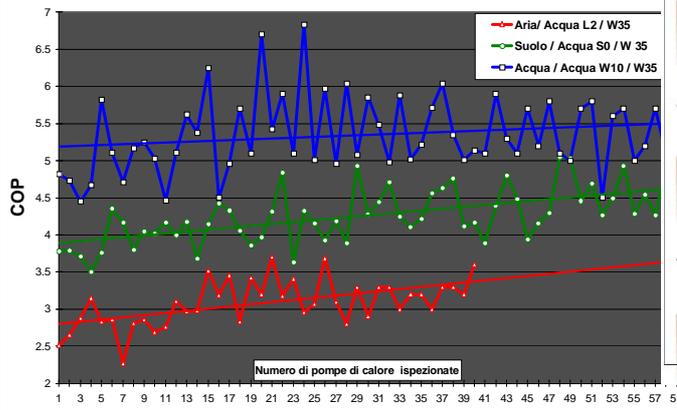
Macchine ad assorbimento con bruciatore direttamente inserito nel corpo macchina

Fonte: ROBUR

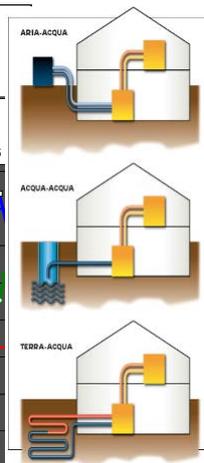
Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

## L'impiego di sorgenti diverse da prestazioni differenti

### Confronto tra pompe di calore Incremento di efficienza COP tra 1993 e 1998



Fonte: Wärmepumpen-Testzentrum WPZ - CH



Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano



## Circuito chiuso con scambiatori verticali

Sonda a Singola U  
Sonda a Doppia U  
Sonde Concentriche



Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

## Pali Energetici

Le palificazioni adottate nel caso di terreno "molle" o per elevati carichi strutturali possono fungere da supporto per sonde geotermiche

Pali in getto colato sul posto: i tubi sono fissati all'armatura prima della colata

Pali in cemento centrifugo: i tubi sono inseriti successivamente nella cava e poi annegati in cemento o bentonite; i pali hanno un diametro di circa 0.4÷1.5 m (distanze minime anche meno di 1 m e lunghezza da pochi metri a 25÷30 m) e possono dare da 30 a 50 W/m di energia termica



Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

## Pali Energetici

Devono essere concepiti sin dalla prima fase progettuale

Prevedere l'esame delle caratteristiche geologiche e idrogeologiche del terreno assieme a quelle meccaniche, per contenere i costi

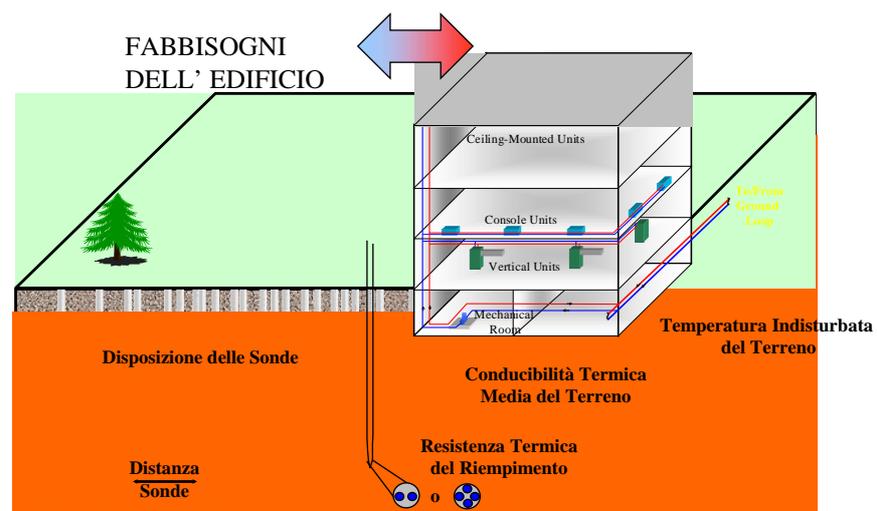
Mantenere sempre temperature del fluido superiori a quelle di congelamento, per non compromettere la stabilità delle palificazioni nel terreno ad opera di ghiaccio superficiale

Isolare adeguatamente i condotti, per evitare la formazione di condensa nelle cantine



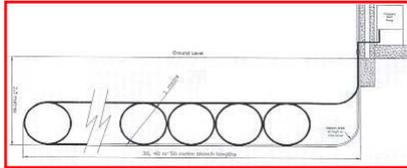
Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

## Parametri fondamentali



Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

## Sonde Orizzontali a Spirale



Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

## Annegamento nel magrone di sottofondazione

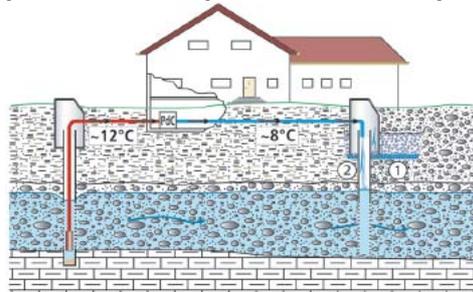
Un'applicazione simile è quella in cui i circuiti scambiatori vengono distribuiti nel magrone di sottofondazione; anche in questo caso vale il limite di temperatura.

E' importante isolare sul lato interno per evitare il rischio di condensa.



Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

## Impianti con acqua di falda o superficiale (fiume, lago, mare)



Utilizzo diretto con emungimento dalla falda o prelievo dal fiume, lago o mare

Utilizzo indiretto attraverso uno scambiatore intermedio immerso nell'acqua del fiume, lago o mare

Pozzo di prelievo

Pozzo di restituzione



CIRCUITO CHIUSO



CIRCUITO APERTO