

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

***Relazione per la prova finale
Impianti a pompa di calore negli
edifici residenziali***

Tutor universitario: Prof. Zarrella Angelo

Laureando: *Bertuola Gianmarco*

Padova, 10/03/2022

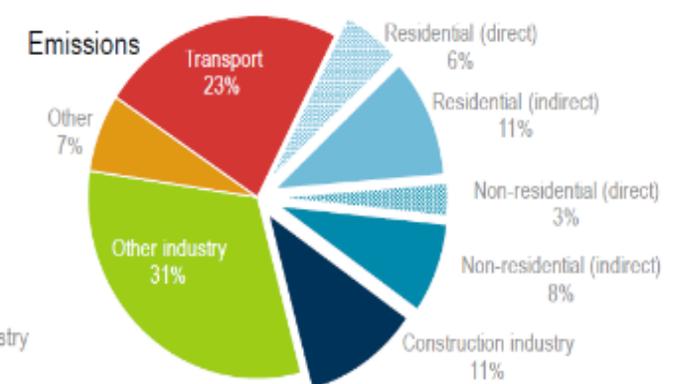
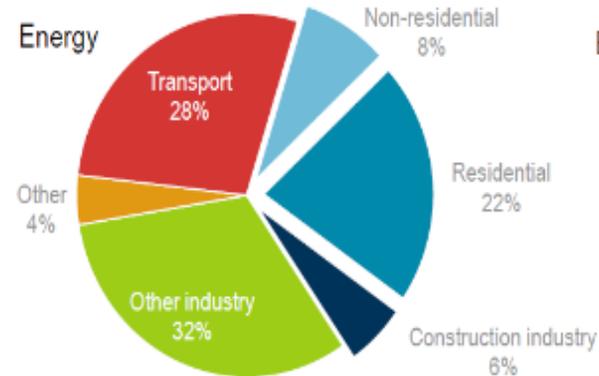
Pompe di calore

- Ciclo frigorifero
- Utilizzo di un vettore energetico pulito
- Sfruttamento di risorse termiche alternative
- Adattamento agli impianti degli edifici residenziali
- Mercato in crescita



Edifici residenziali

- 36% di energia consumata
- 39% di emissioni di gas serra
- 80% edifici costruiti 45 anni fa
- Incentivi per ristrutturazioni



IEA (2019). All rights reserved.

Generalità sulle Pompe di Calore

- Ciclo termodinamico
- Principio di funzionamento
- Efficienza COP
- Fluido refrigerante

Tipologia di Pompe di Calore

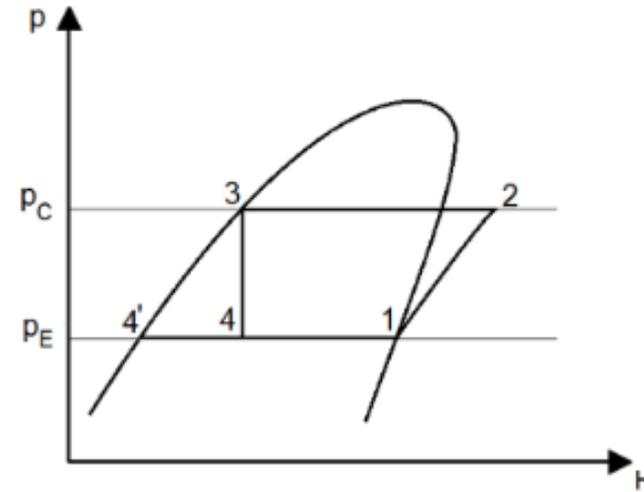
- Aria – Aria
- Aria – Acqua
- Acqua – Acqua

Abbinamento Pompa di Calore ad edifici residenziali

- Fabbisogno energetico abitazione reale
- Sostituzione caldaia a metano con pompa di calore Aria – Acqua
- Isolamento abitazione e sostituzione impianto di riscaldamento
- Combinazione pompa di calore con impianto fotovoltaico

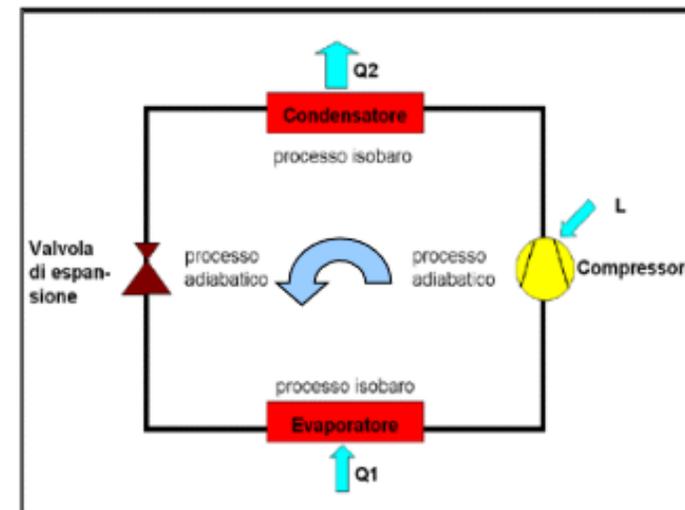
Ciclo Termodinamico

- 1-2 Compressione isoentropica
- 2-3 Condensazione isobara
- 3-4 Laminazione isoentalpica
- 4-1 Evaporazione isobara



Principio di Funzionamento

- Evaporatore
- Compressore
- Condensatore
- Valvola di laminazione o tubo capillare



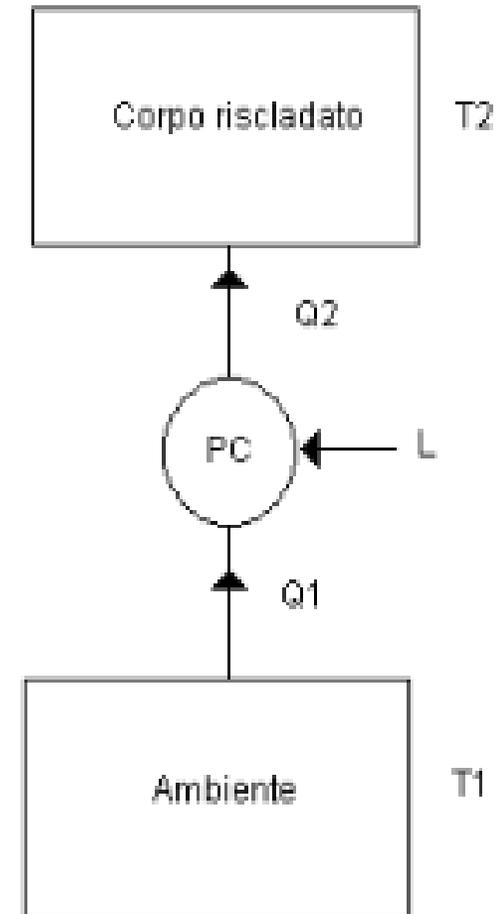
COP (Coefficient of Performance)

$$COP = \frac{Q_2}{L} = \frac{Q_2}{Q_2 - Q_1} = (Carnot) = \frac{T_2}{T_2 - T_1}$$

Coefficiente adimensionale sempre maggiore di 1

Fluido refrigerante

- Elevata entalpia di vaporizzazione alla temperatura di condensazione
- Elevato calore specifico del liquido per avere dopo la laminazione un titolo più basso
- Mantenere la propria pressione maggiore di quella atmosferica in tutte le fasi del ciclo per non premettere infiltrazioni d'aria esterna
- Non deve essere tossico, infiammabile ed esplosivo



ARIA – ARIA

- Sorgente esterna ed interna aria
- Macchine ad espansione diretta (Split, Rooftop)
- Utilizzate più spesso per il raffrescamento degli ambienti
- COP basso quando la temperatura esterna è bassa

ARIA –ACQUA

- Sorgente esterna aria ed interna acqua
- $COP = 3,5 \div 4$
- Facilità di installazione
- Rumorosità macchina esterna
- Brinamento batteria esterna
- Diverse tipologie di installazione:
 - Monoblocco esterno
 - Monoblocco interno

ACQUA – ACQUA

- Sorgente esterna ed interna acqua
- $COP = 4 \div 4,5$
- Difficoltà nello sfruttamento dell'acqua (fiumi, falde...)
- Macchina silenziosa
- Costi elevati
- Sfruttamento calore del terreno ($COP = 4,5 \div 6$)

Abitazione di 100 m² situata a Padova al piano terra in un palazzo a più piani nella stagione invernale con una temperatura interna da mantenere a 20°C. L'abitazione è stata costruita 40 anni fa.

Dati:

Temperatura interna: $T_i = 20^\circ\text{C}$

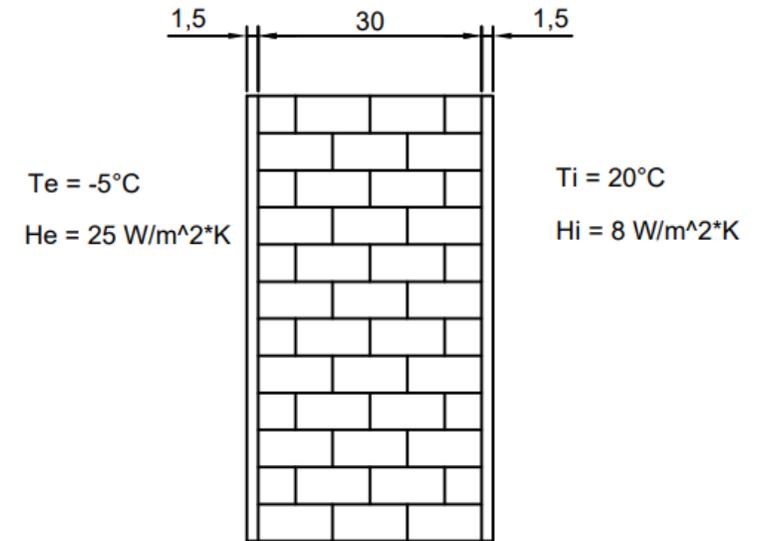
Temperatura esterna: $T_e = -5^\circ\text{C}$

Coeff. di convez. parete int.: $H_i = 8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$

Coeff. di convez. parete est.: $H_e = 25 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$

Temperatura terreno: $T_{\text{terreno}} = 13^\circ\text{C}$

Coeff. di convez. pavimento: $H_{\text{pavimento}} = 5,88 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$



PARETE			
materiale	s [m]	λ [w/mK]	R[m ² *K/W]
malta	0,015	0,9	0,017
mattoni	0,3	0,25	1,200
malta	0,015	0,9	0,017

TERRENO			
materiale	s [m]	λ [w/mK]	R[m ² *K/W]
piastrelle	0,015	1	0,015
massetto	0,05	0,6	0,083
isolante	0,08	0,04	2,000
solaio	0,3	0,8	0,375

$Q_{tot} = 5,2 \text{ KW}$



$$E_{elettrica} = \frac{7488}{3} = 2496 \text{ kWh}$$

$$m_{metano}^3 = \frac{\text{Consumo}}{PCI_{metano} * \eta_{caldaia}} = \frac{7488}{9,95 * 0,8} = 941 \text{ m}^3$$

ANALISI ENERGETICA

$$\Delta E = 9363 - 5426 = \mathbf{3937 \text{ kWh (42,05\%)}}$$

ANALISI IMPATTO AMBIETALE

$$\Delta M = 1872,6 - 1198 = \mathbf{674,6 \text{ kg}_{CO_2} (36\%)}$$

ANALISI ECONOMICA

$$\Delta \text{€} = 658,7 - 450 = \mathbf{208,7 \text{ € (31,68\%)}}$$

ADATTAMENTO DELL'ABITAZIONE ALLA POMPA DI CALORE

Impianto di riscaldamento

Le abitazioni datate utilizzano dei termosifoni per scaldare gli ambienti, purtroppo questa tecnologia richiede alte temperature di mandata (70°-80°) che la pompa di calore non riesce a fornire. In alternativa ci sono:

- **Impianto a pavimento radiante:** temperatura di funzionamento 30°C, comfort ambientale, alti costi e difficoltà di realizzazione.
- **Impianto radiante a soffitto o a parete:** temperatura di funzionamento 30°C, problemi stratificazione dell'aria più calda, facile installazione per ristrutturazioni.
- **Impianto a fan-coil:** temperatura di funzionamento 40°C, facile installazione per ristrutturazioni.

Isolamento pareti

Per risparmiare energia la soluzione è l'isolamento delle pareti e la sostituzione degli infissi. Nell'abitazione presa in considerazione si procede a sostituire i serramenti con una vetrocamera e isolare le pareti con un cappotto di **15 cm** in polistirolo con conducibilità termica **$\lambda=0,04 \text{ W/mK}$** . Il risparmio ottenuto è il seguente:

ENERGIA RISPARMIATA

$$\Delta E = 9363 - 2291 = \mathbf{7072 \text{ kWh (75, 5%)}}$$

CO₂ NON EMESSA

$$\Delta M = 1872,6 - 505,92 = \mathbf{1366 \text{ kg}_{CO_2} (72, 9%)}$$

RISPARMIO DI DENARO

$$\Delta \text{€} = 658,7 - 189,72 = \mathbf{468,98 \text{ € (71, 2%)}}$$

IMPIANTO FOTOVOLTAICO

L'impianto fotovoltaico è costituito da una serie di pannelli fotovoltaici che captano la radiazione solare diretta e diffusa e producono corrente elettrica. L'impianto fotovoltaico però produce energia in limitati periodi della giornata e per sfruttare l'energia prodotta bisogna dotare l'edificio di sistemi di accumulo dell'energia:

- **Batterie di accumulo:** Le batterie più utilizzate sono quelle a litio, le quali possono durare circa 7-8 anni e non richiedono particolari manutenzioni e hanno come vantaggio la compattezza e la leggerezza.
- **Scambio sul posto:** vendita di energia elettrica quando l'impianto fotovoltaico ne produce in eccesso
- **Accumulo inerziale:** serbatoio contenente un fluido tecnico con il quale accumula energia prodotta dai generatori di calore e la rende disponibile quando è necessario
- **Inerzia termica edificio:** proprietà fisica dei materiali che costituiscono l'edificio che incide sulla velocità con cui questi cambiano la propria temperatura. Accumulo termico nelle pareti dell'edificio.



PRODUZIONE FOTOVOLTAICA E CONSUMO DI ENERGIA

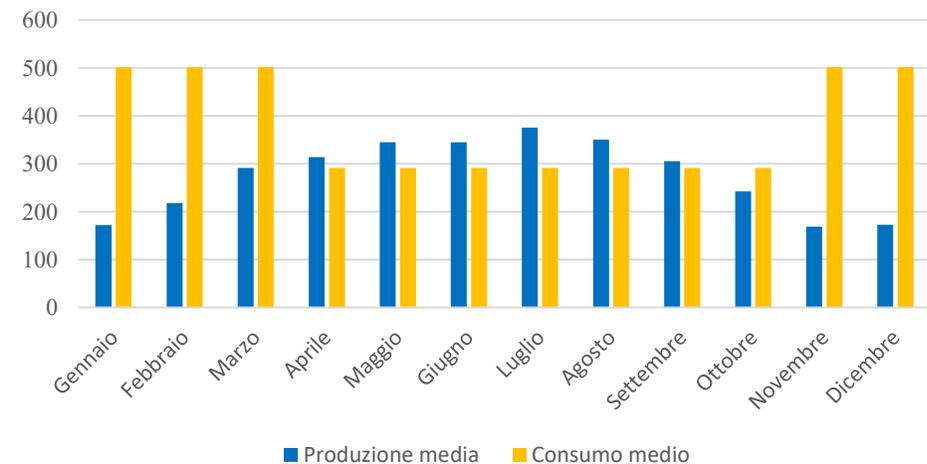
Dalla progettazione di massima di un impianto fotovoltaico per l'abitazione in questione:

- Località Padova
- Irraggiamento medio annuo **1400 kWh** su piano orizzontale
- Percentuale di integrazione **75%**
- Inclinazione ottimale **40° SUD**
- Fabbisogno energia famiglia media italiana **3500 kWh**
- Consumo pompa di calore nei mesi invernali **1054 kWh**
- **11 pannelli** per una superficie utile di 17,6 m²
- **2,53 kW** di picco

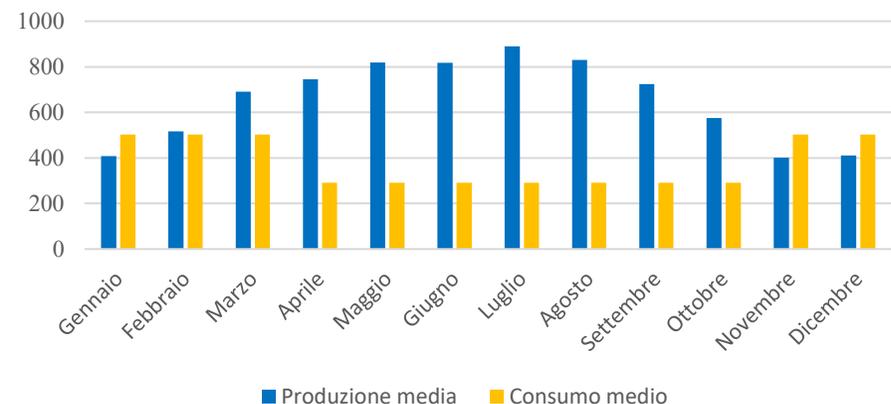
Per cercare di coprire la richiesta invernale di energia si tende a sovradimensionare l'impianto

- Potenza di picco **6 kW**
- **26 pannelli** per una superficie utile di 41 m²

Confronto produzione e consumo 2,53 kWp



Confronto produzione e consumo 6 kWp



Scelta della pompa di calore

- La scelta della pompa di calore deve essere mirata e adatta all'abitazione e al territorio circostante
- La pompa di calore deve essere dimensionata per l'edificio in modo da funzionare regolarmente
- L'impianto di riscaldamento dell'abitazione deve essere adatto al funzionamento con pompa di calore

Come incide l'installazione della PDC e gli interventi di adattamento dell'edificio

- Risparmio energetico del 75%
- Risparmio economico del 71%
- Circa 1300 kg di CO₂ non emessa

Impianto fotovoltaico

- Impianto adeguato non copre il fabbisogno energetico tutto l'anno
- Impianto sovradimensionato riesce a coprirlo in buona parte anche se i costi sono elevati

GRAZIE PER L'ATTENZIONE