www.dii.unipd.it

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

# *Relazione per la prova finale*
# *«Analisi per la riqualificazione energetica di un edificio residenziale»*

Tutor universitario: Prof. Angelo Zarrella

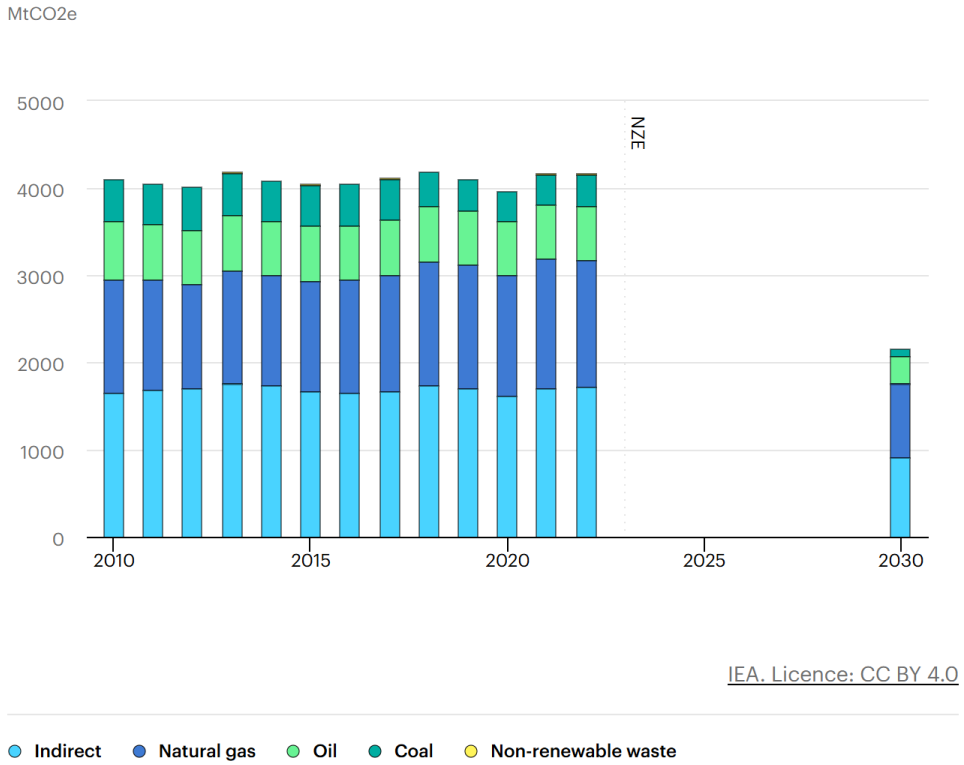
Laureando*: Stefano Frigo*

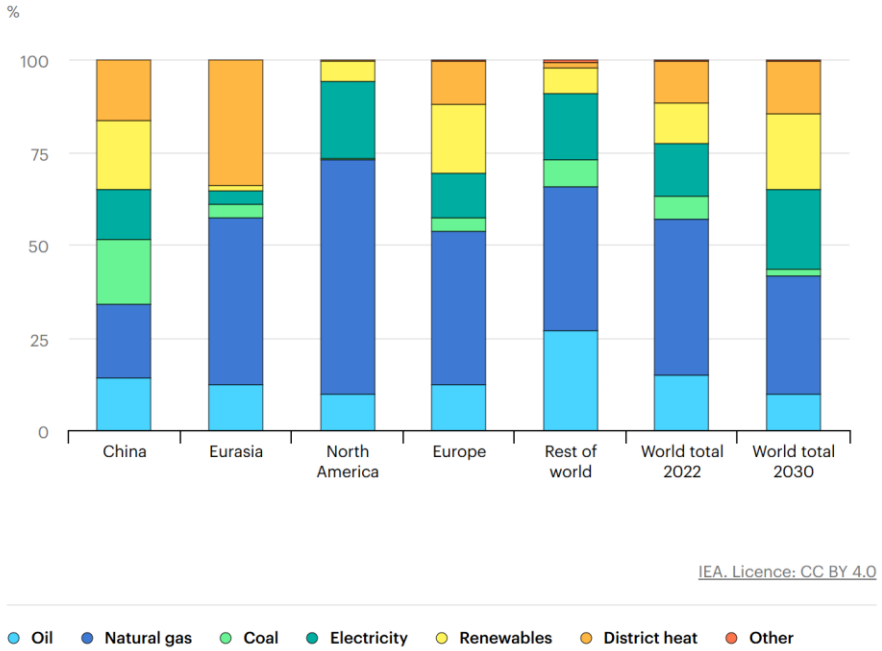
Padova, 15/09/2025

# INTRODUZIONE



www.dii.unipd.it




Nel 2022

- Il riscaldamento e la produzione di ACS hanno generato 4100 Mt di $CO_2$
- Il 42% della domanda globale di energia termica è stata ricoperta dal gas naturale

NZE (Net for Zero Emission)

- Riduzione di riscaldamento da fonti fossili dal 63% al 45% entro il 2030
- Riduzione delle emissioni di $CO_2$ del 50% entro il 2030, azzeramento delle emissioni entro il 2050

- Elettrificazione del riscaldamento (pompe di calore)
- Uso di sistemi a fonte rinnovabile

# OBIETTIVI DEL LAVORO: PROCESSO DI ANALISI, ANALISI ENERGETICA



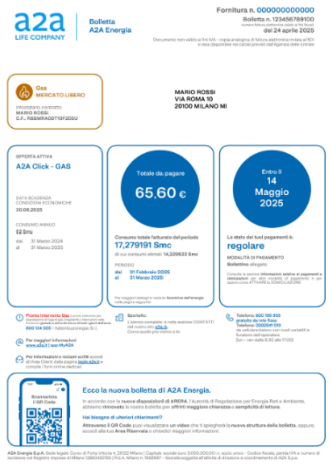
www.dii.unipd.it

**Processo di analisi:**

1. Analisi Energetica → 2. Interventi di riqualificazione → 3. Analisi economica e ambientale

**1. Analisi energetica:**

Fabbisogno ricavato dai consumi




+

**Fabbisogno annuo di energia termica per l'abitazione**

Fabbisogno ricavato dalla simulazione

University of Siegen
Division of Building Physics & Solar Energy

CASAnova
(Version 3.3.08a)
An Educational Software for Heating and Cooling Energy Demand as well as the Temperature Behaviour in Buildings

# OBIETTIVI DEL LAVORO: INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE, ANALISI ECONOMICA E AMBIENTALE

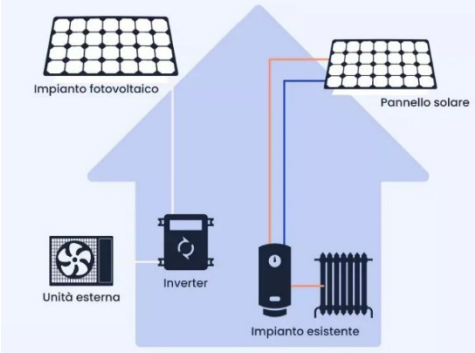


www.dii.unipd.it

**2. Interventi di riqualificazione:**

- **Sostituzione della caldaia a gas con pompa di calore aria-acqua e sostituzione dei fornelli a gas con piano ad induzione**

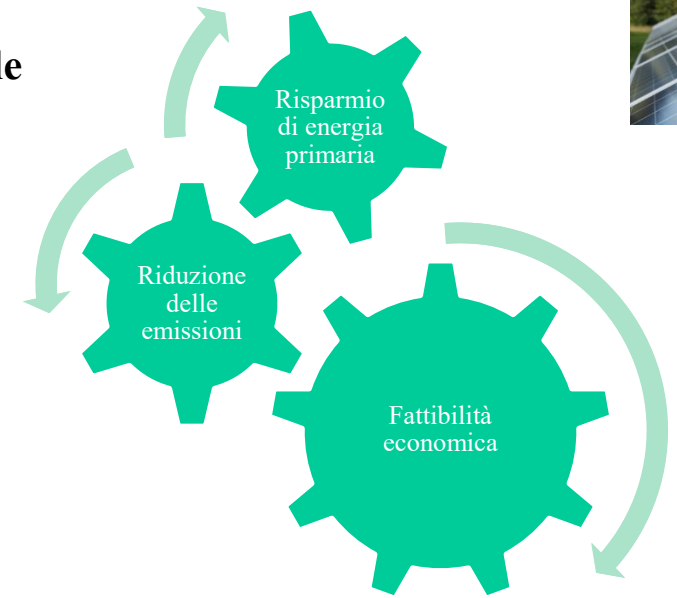
  → Indipendenza dalla fornitura di gas




- **Installazione dell'impianto fotovoltaico e batterie di accumulo**

  → Riscaldamento a fonte rinnovabile

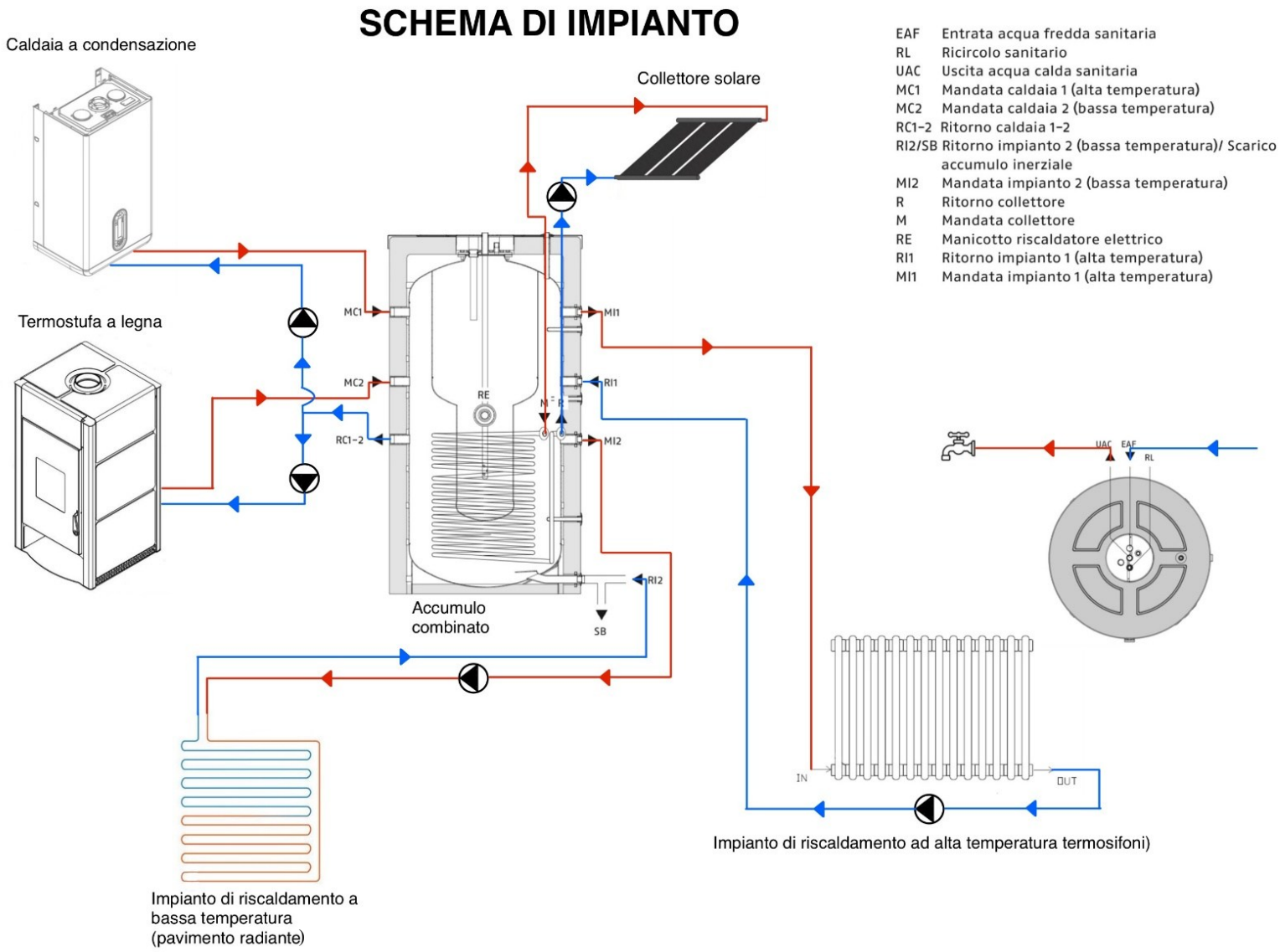
**3. Analisi economica e ambientale**



# 1.1 ANALISI ENERGETICA: IMPIANTO ATTUALE DI RISCALDAMENTO



www.dii.unipd.it




| | |
|---|---|
| EAF | Entrata acqua fredda sanitaria |
| RL | Ricircolo sanitario |
| UAC | Uscita acqua calda sanitaria |
| MC1 | Mandata caldaia 1 (alta temperatura) |
| MC2 | Mandata caldaia 2 (bassa temperatura) |
| RC1-2 | Ritorno caldaia 1-2 |
| RI2/SB | Ritorno impianto 2 (bassa temperatura)/ Scarico accumulo inerziale |
| MI2 | Mandata impianto 2 (bassa temperatura) |
| R | Ritorno collettore |
| M | Mandata collettore |
| RE | Manicotto riscaldatore elettrico |
| RI1 | Ritorno impianto 1 (alta temperatura) |
| MI1 | Mandata impianto 1 (alta temperatura) |

## GENERATORI NELL'IMPIANTO:

- Stufa a legna: 16,5kW (6,5kW resi all'aria, 10kW resi all'acqua)
- Caldaia a condensazione 25kW
- Collettore solare termico 4m$^2$

## DISTRIBUZIONE DEL CALORE:

- Pavimento radiante + irraggiamento stufa (AL PIANO INFERIORE)
- Radiatori (AL PIANO SUPERIORE)

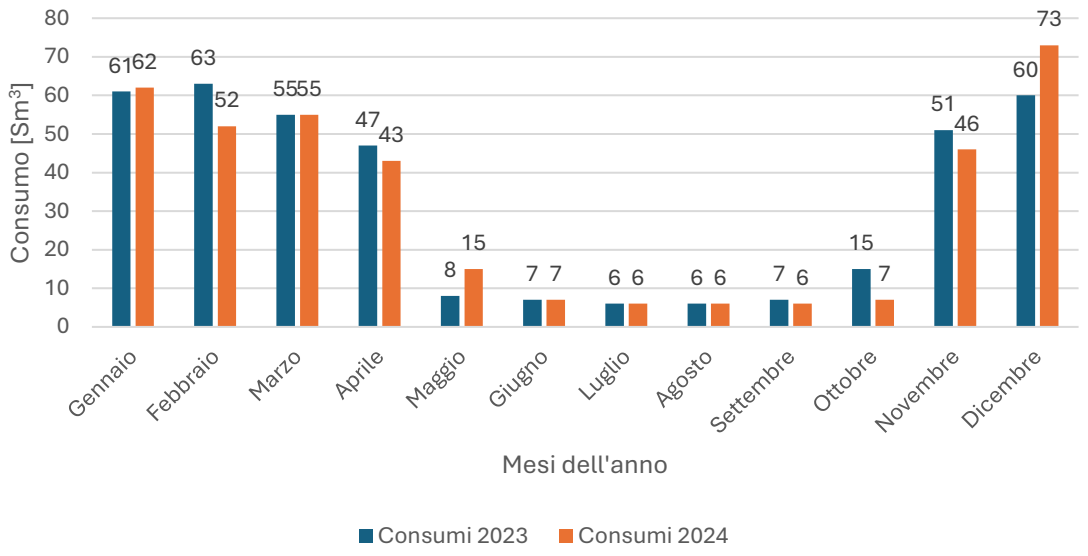
Accumulo da 550 litri (160 accumulo sanitario+388 accumulo inerziale)

# 1.2 Analisi energetica: Calcolo del fabbisogno tramite i consumi



www.dii.unipd.it

**Energia derivante dal consumo di gas:**




| Anno rilevazione | Consum annuale | Costo annuale | Consumo per cottura | Consumo netto riscaldamento | Energia per riscaldamento |
|---|---|---|---|---|---|
| | [Smc] | [€] | [Smc] | [Smc] | [kWh] |
| 2023 | 386 | 497 | 72 | 314 | 3468,740556 |
| 2024 | 378 | 563,28 | 72 | 306 | 3380,365 |

- Energia primaria: 3468,74kWh

  (riferimento 2023)

- η caldaia (al PCI):1,052

→ Energia utile: 3577kWh

**Energia derivante dal consumo di legna:**

**Ore di utilizzo**
- Novembre-aprile: 1800 ore
- Ottobre-maggio 180 ore

→ 1980 ore

**Potenza media**
- Fattore di utilizzazione: 0,5
- Potenza netta 16,5kW

→ 8,25kW

**Energia utile**
- 8,25kWx1980 ore

→ 16335kWh

**Energia primaria**
- Energia utile: 16335kWh
- Rendimento caldaia: 0,835

→ ~20000kWh

**Consumo di legna**
- Energia primaria: 20000kWH
- Pot. Cal. Medio: 4kWh/Kg

→ 50 quintali/anno

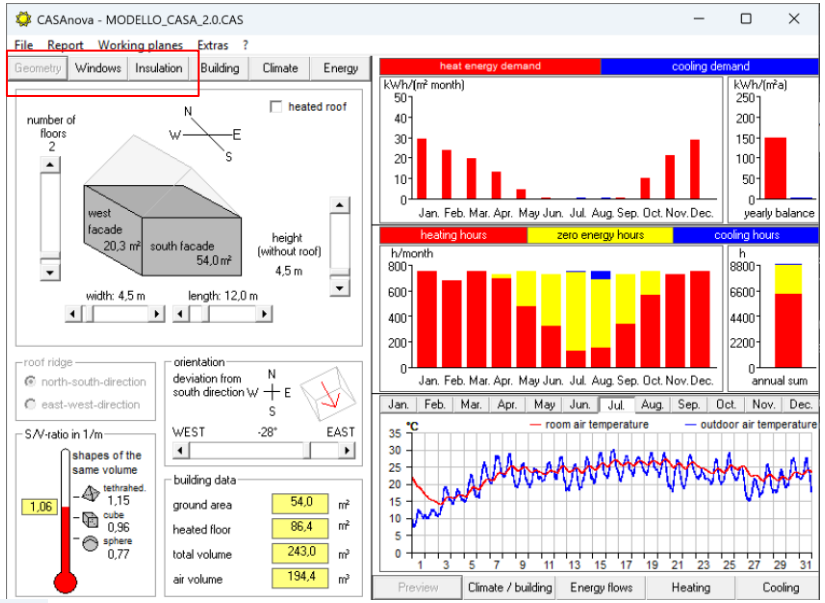
Fabbisogno annuo (legna+ gas): ~20000kWh
(82% legna, 18% gas)

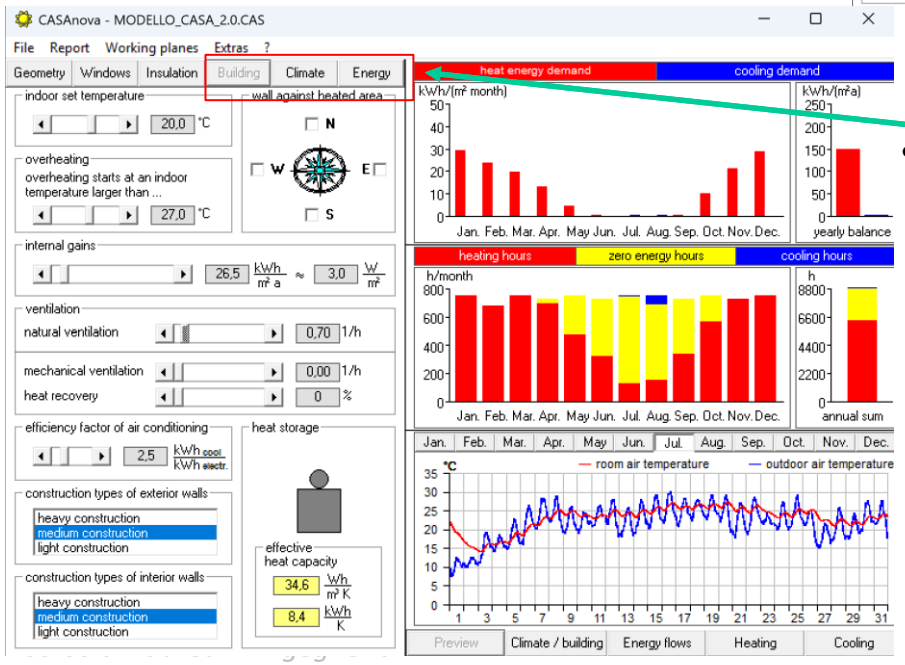
# 1.3 Analisi energetica: Calcolo del fabbisogno tramite I CASAnova



**Input:**

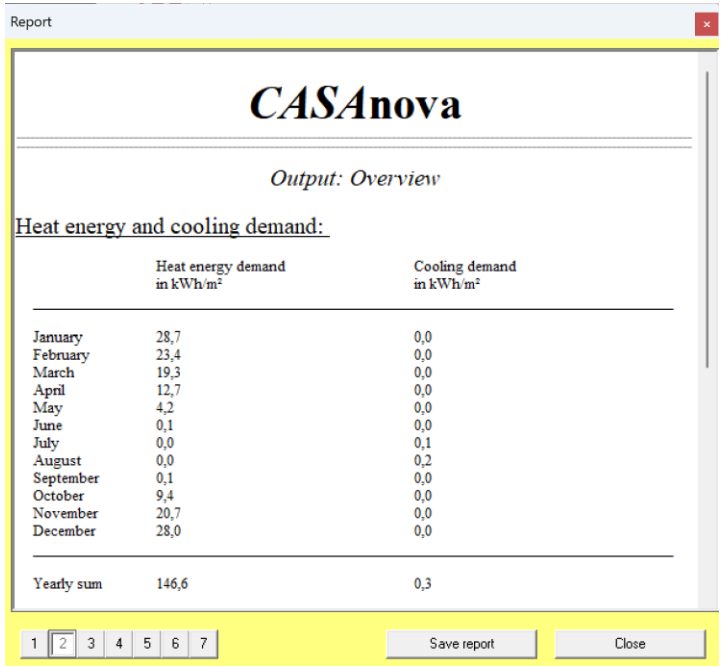
- Dati relativi alla struttura dell'edificio:
  - *Geometria (Geometry)*
  - *Serramenti (Windows)*
  - *Pareti (Insulation)*




- Dati relativi all'ambiente dell'edificio:
  - *Temperature interne, carichi interni e ricambio d'aria (Building)*
  - *Zona climatica (Climate)*
  - *Modalità di riscaldamento (Energy)*

**Output:** Report



Report

**CASAnova**

*Output: Overview*

Heat energy and cooling demand:

| | Heat energy demand in kWh/m² | Cooling demand in kWh/m² |
|---|---|---|
| January | 28,7 | 0,0 |
| February | 23,4 | 0,0 |
| March | 19,3 | 0,0 |
| April | 12,7 | 0,0 |
| May | 4,2 | 0,0 |
| June | 0,1 | 0,0 |
| July | 0,0 | 0,1 |
| August | 0,0 | 0,2 |
| September | 0,1 | 0,0 |
| October | 9,4 | 0,0 |
| November | 20,7 | 0,0 |
| December | 28,0 | 0,0 |
| Yearly sum | 146,6 | 0,3 |

1 2 3 4 5 6 7 Save report Close

- Fabbisogno per unità di superficie calcolato: 146,6 kWh/m²
- Superficie riscaldata: 125m²

Fabbisogno annuo (simulato): 18335 kWh

Scostamento del 10% rispetto al fabbisogno basato sui consumi

www.dii.unipd.it

# 2 INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE

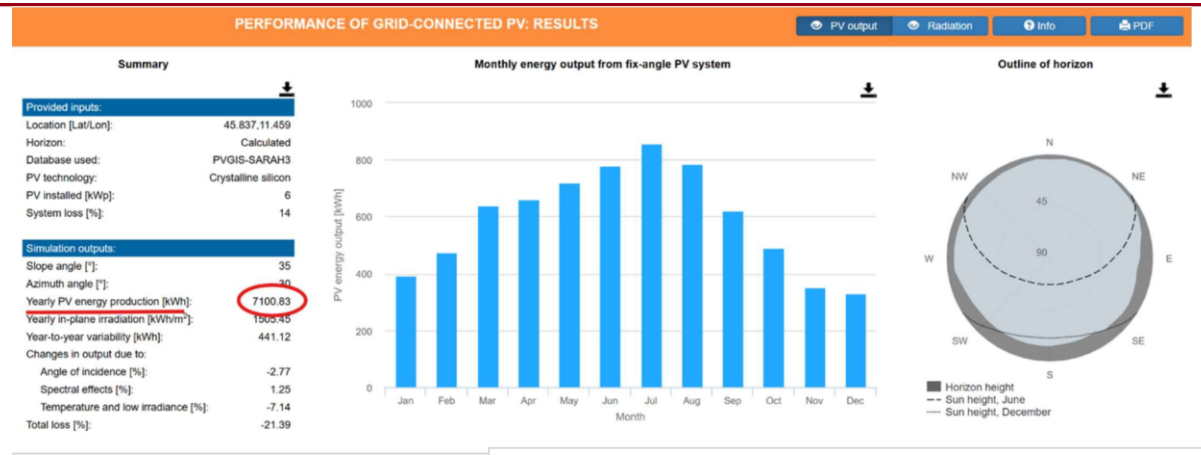


## 1) Dimensionamento FV:

- Superficie FV disponibile sul tetto di circa 30 $m^2$
- Orientamento: Sud-Est (30° da Sud)
- Inclinazione tetto di 35° (inclinazione tipica dei tetti in territorio montano)
- Rendimento moduli: 19–21%
- Località: Roana (VI), 1000 m s.l.m.

$$P_{FV} = 30m^2 \times 0{,}2\frac{kW}{m^2} = 6\ kWp$$

7100 kWh/anno (PVGIS)




## 2) Dimensionamento pompa di calore:

Building data:

| | |
|---|---|
| Mean U value: | 0,75 W/(m² K) |
| Specific transmission losses: | 192,4 W/K |
| Specific ventilation losses: | 48,8 W/K |
| Sum specific losses: | 241,1 W/K |
| Thermal inertia: | 34,9 hours |
| Maximum heating load: | 7,5 kW |
| Maximum specific heating load: | 80,4 W/m² |
| Maximum cooling load: | 1,6 kW |
| Maximum specific cooling load: | 18,7 W/m² |
| Limit temperature for heating: | 18,8°C |
| Effective heating days: | 260 Tage |

Pompa di calore: 8kW

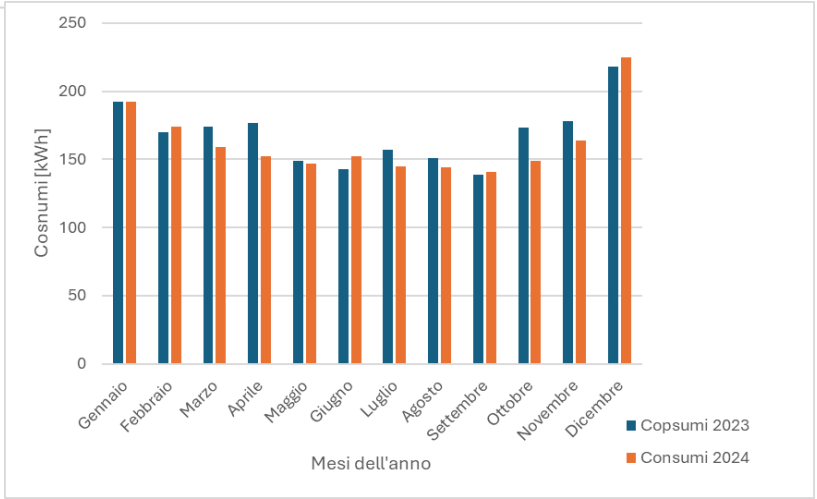
$$Q_{PDC} = 0{,}5 \cdot 20000 = 10000\ kWh/anno$$

$$E_{el,PDC} = \frac{Q_{PDC}}{COP} = \frac{10000}{3{,}5} = 2857\ kWh/anno$$

## 3) Dimensionamento accumulo:

Fabbisogno di energia elettrica:

- Pompa di calore: 2857 kWh/anno
- Utenze domestiche: 2000 kWh/anno
- Piano ad induzione: 400 kWh/anno




Totale di 5300 kWh/anno

$$E_{giorno} = \frac{5300}{365} = 14{,}5\ kWh/giorno$$

Opzioni per l'accumulo

- 5kWh: copertura del 30% del fabbisogno annuo
- 10kWh: compartirà del 60% del fabbisogno annuo

www.dii.unipd.it

# 3.1 ANALISI ECONOMICA: CASO SOLO POMPA DI CALORE



www.dii.unipd.it

Dati iniziali dell'analisi:

| Dati pompa di calore | |
|---|---|
| Potenza [kW] | 8 |
| COP | 3,5 |
| Fabbisogno elettrico annuo [kWh] | 2857 |
| Costo di installazione [€] | 10000 |

| | |
|---|---|
| Prezzo medio acquisto energia elettrica [€/kWh | 0,2 |
| Prezzo mdio vendita energia elettrica [€/kWh] | 0,08 |
| Prezzo medio gas [€/kWh] | 1,4 |
| Prezzo medi legna [€/quintale] | 15 |

| Dati fotovoltaico | |
|---|---|
| Potenza [kWp] | 6 |
| Produzione annua [kWh] | 7100 |
| Costo di installazione [€/kWp] | 1600 |
| Costo di installazione [€] | 9600 |

| Dati cottura ad induzione | |
|---|---|
| | |
| | |
| Fabbisogno elettrico annuo [kWh] | 400 |
| Costo di installazione [€] | 1500 |

| Caso solo pompa di calore | |
|---|---|
| | |
| Flussi energetici | [kWh/anno] |
| Domanda di energia termica | 20000 |
| Domanda di energia termica coperta dalla pompa di calore | 10000 |
| Fabbisogno elettrico annuo | 5300 |
| Cosnumo elettrico aggiuntivo | 3300 |
| | |
| Costi di intervento | [€] |
| Pompa di calore | 10000 |
| Induzione | 1500 |
| Costo totale di intervento | 11500 |
| | |
| | |
| Risparmio annuo | [€] |
| Bolletta gas (-380 Smc) | -530 |
| Legna (-20 q) | -300 |
| Consumo elettrico aggiuntivo | 660 |
| Risparmio totale | -170 |
| | |
| Payback period | [anni] |
| Senza incentivo | 67,64705882 |
| Con incentivo 50% | 33,82352941 |
| | |

# 3.2 ANALISI ECONOMICA: CASO POMPA DI CALORE + FV



www.dii.unipd.it

Dati iniziali dell'analisi:

| Dati pompa di calore | |
|---|---|
| Potenza [kW] | 8 |
| COP | 3,5 |
| Fabbisogno elettrico annuo [kWh] | 2857 |
| Costo di installazione [€] | 10000 |

| Dati cottura ad induzione | |
|---|---|
| | |
| | |
| Fabbisogno elettrico annuo [kWh] | 400 |
| Costo di installazione [€] | 1500 |

| | |
|---|---|
| Prezzo medio acquisto energia elettrica [€/kWh | 0,2 |
| Prezzo mdio vendita energia elettrica [€/kWh] | 0,08 |
| Prezzo medio gas [€/kWh] | 1,4 |
| Prezzo medi legna [€/quintale] | 15 |

| Dati fotovoltaico | |
|---|---|
| Potenza [kWp] | 6 |
| Produzione annua [kWh] | 7100 |
| Costo di installazione [€/kWp] | 1600 |
| Costo di installazione [€] | 9600 |

| Caso pompa di calore e fotovoltaico senza accumulo | | |
|---|---|---|
| | | |
| Flussi energetici | [kWh/anno] | |
| Energia prodotta | 7100 | |
| Fabbisogno totale | 5300 | |
| Autoconsumo diretto | 2130 | 30% dell'energia prodotta, 40,2 % del fabbisogno |
| Energia immessa in rete | 4970 | |
| Energia prelevata dalla rete | 3170 | |
| Prelievo elettrico aggiuntivo | 1170 | Differenza tra fabbisogno annuo e energia da autoconsumo+fabbisogno pre retrofit |
| | | |
| | | |
| | | |
| Costi di intervento | [€] | |
| Pompa di calore | 10000 | |
| Induzione | 1500 | |
| Fotovoltaico | 9600 | |
| Costo totale di intervento | 21100 | |
| | | |
| Risparmio annuo | [€] | |
| Bolletta gas (-380 Smc) | -530 | |
| Legna (-20 q) | -300 | |
| Immissione in rete | -397,6 | |
| Spese aggiuntive energia elettrica | 234 | |
| Risparmio totale | -993,6 | |
| | | |
| Payback period | [anni] | |
| Senza incentivo | 21,23590982 | |
| Con incentivo 50% | 10,61795491 | |

# 3.3 ANALISI ECONOMICA: CASO POMPA DI CALORE + FV + ACCUMULO



www.dii.unipd.it

## Accumulo 5 kWh:

- Riduzione acquisti e immissioni in rete, prevale l'autoconsumo
- Costo di investimento relativamente alto

| Caso pompa di calore e fotovoltaico con accumulo 5kWh | | |
|---|---|---|
| Flussi energetici | [kWh/anno] | |
| Energia prodotta | 7100 | |
| Fabbisogno totale | 5300 | |
| Autoconsumo diretto | 2130 | 30% dell'energia prodotta, 40,2 % del fabbisogno |
| Energia accumulata | 1250 | 250 cicli di ricarica all'anno, 0,7 cicli di carica al giorno |
| Energia totale da fotovoltaico | 3380 | 60% del fabbisogno |
| Energia immessa in rete | 3720 | Differenza tra produzione e utilizzo di energia da fotovoltaico |
| Energia prelevata dalla rete | 1920 | Differenza tra fabbisogno ed utilizzo di energia da fotovoltaico |
| Prelievo elettrico aggiuntivo | / | |
| | | |
| Costi di intervento | [€] | |
| Pompa di calore | 10000 | |
| Induzione | 1500 | |
| Fotovoltaico | 9600 | |
| Accumulo | 3500 | |
| Costo totale di intervento | 24600 | |
| | | |
| Risparmio annuo | [€/anno] | |
| Bolletta gas (-380 Smc) | -530 | |
| Legna (-20 q) | -300 | |
| Immissione in rete | -297,6 | |
| Spese aggiuntive energia elettrica | 0 | |
| Risparmio totale | -1127,6 | |
| | | |
| Payback period | [anni] | |
| Senza incentivo | 21,8162469 | |
| Con incentivo 50% | 10,90812345 | |

| Dati accumulo 5kWh | |
|---|---|
| Capacità di accumulo [kWh] | 5 |
| Cicli di ricarica annuali | 250 |
| Cicli di ricarica giornalieri | 0,7 |
| Energia accumulata annualmente [kWh] | 1250 |
| Costo di installazione [€/kWh] | 700 |
| Costo di installazione [€/kWh] | 3500 |

## Accumulo 10 kWh:

- Costo di investimento elevato
- Copertura di quasi tutto il fabbisogno e rilevante immissione in rete

| Caso pompa di calore e fotovoltaico con accumulo 10kWh | | |
|---|---|---|
| Flussi energetici | [kWh/anno] | |
| Energia prodotta | 7100 | |
| Fabbisogno totale | 5300 | |
| Autoconsumo diretto | 2130 | 30% dell'energia prodotta, 40,2 % del fabbisogno |
| Energia accumulata | 2500 | 250 cicli di ricarica all'anno, 0,7 cicli di carica al giorno |
| Energia totale da fotovoltaico | 4630 | 60% del fabbisogno |
| Energia immessa in rete | 2470 | Differenza tra produzione e utilizzo di energia da fotovoltaico |
| Energia prelevata dalla rete | 670 | Differenza tra fabbisogno ed utilizzo di energia da fotovoltaico |
| Risparmio sul prelievo | 1330 | Energia non prelevata dalla rete rispetto alla situazione pre retrofit |
| | | |
| Costi di intervento | [€] | |
| Pompa di calore | 10000 | |
| Induzione | 1500 | |
| Fotovoltaico | 9600 | |
| Accumulo | 7000 | |
| Costo totale di intervento | 28100 | |
| | | |
| Risparmio annuo | [€/anno] | |
| Bolletta gas (-380 Smc) | -530 | |
| Legna (-30 q) | -300 | |
| Immissione in rete | -197,6 | |
| Risparmio sul prelievo | -266 | |
| Risparmio totale | -1293,6 | |
| | | |
| Payback period | [anni] | |
| Senza incentivo | 21,72232529 | |
| Con incentivo 50% | 10,86116265 | |

| Dati accumulo 10kWh | |
|---|---|
| Capacità di accumulo [kWh] | 10 |
| Cicli di ricarica annuali | 250 |
| Cicli di ricarica giornalieri | 0,7 |
| Energia accumulata annualmente [kWh] | 2500 |
| Costo di installazione [€/kWh] | 700 |
| Costo di installazione [€/kWh] | 7000 |

# 3.4 ANALISI AMBIENTALE



www.dii.unipd.it

**Riduzione delle emissioni di $CO_2$** dopo aver reso indipendente l'abitazione dalla fornitura di gas:

- -380 $sm^3$ di gas all'anno
- 1,956 kg $CO_2/Sm^3$

→ -0,75 ton $CO_2$/anno

**Riduzione del consumo di legna** (20 quintali/anno)

↓

Riduzione delle emissioni di particolato PM10 e PM2.5, NOx e CO

**Risparmio di energia primaria:**

- 12180 kWh risparmiati (4180 kWh dal consumo di gas + 8000 kWh dal consumo di legna)
- Aumento di 2128 kWh nel caso senza accumulo (1170 kWh elettrici, con $\eta$=0,55 con produzione da centrale a C.C.), nessun aumento nel caso con accumulo a 5 kWh, decremento di 2420 kWh nel caso con accumulo a 10 kWh (risparmio di 1330 kWh elettrici)

# CONCLUSIONI



Considerazioni:

- L'elettrificazione dei sistemi di riscaldamento integrato a sistemi a fonte rinnovabile è un passo fondamentale per il **raggiungimento degli obiettivi climatici** (es. scenario NZE) perché permette di ridurre le emissioni di gas clima-alteranti e un risparmio di energia primaria.

- D'altra parte ciò permette anche un **minore impatto sulla qualità dell'aria** e quindi un maggior benessere per la società.

- L'esempio riportato riporta come gli **interventi di retrofit sono economicamente sostenibili** e possono risultare degli investimenti responsabili e mirati, con **diversi possibili gradi di intervento** in base al budget e agli obiettivi prefissati da progetto

www.dii.unipd.it

L'efficientamento nel settore residenziale è essenziale per un futuro più sostenibile, con meno emissioni e meggiore attenzione al comfort termico