



**ANIMA**<sup>®</sup>  
CONFINDUSTRIA  
MECCANICA VARIA



mce

mostra convegno  
exocomfort

*L'idrogeno per il riscaldamento residenziale.  
Una via alternativa alla transizione verso la  
sostenibilità*

PRESTAZIONI ENERGETICHE E AMBIENTALI  
DINAMICHE E STAGIONALI DI GENERATORI  
TERMICI ANCHE NON CONVENZIONALI IN EDIFICI  
RESIDENZIALI DI RIFERIMENTO

15/10/2021

Relazione Tecnica Conclusiva

Gruppo di lavoro: Prof. Daniele Testi  
Prof.ssa Chiara Galletti  
Prof. Walter Grassi  
Ing. Paolo Conti  
Ing. Rachele Lamioni  
Ing. Eva Schito

# Prestazioni energetiche e ambientali dinamiche e stagionali di generatori termici anche non convenzionali in edifici residenziali di riferimento

Prof. Daniele TESTI, Prof.ssa Chiara GALLETTI, Prof. Walter GRASSI,  
Ing. Paolo CONTI, Ing. Rachele LAMIONI, Ing. Eva SCHITO

UNIFI – Dipartimento di Ingegneria dell’Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni  
UNIFI – Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale



IN COLLABORAZIONE CON



CON IL CONTRIBUTO DI



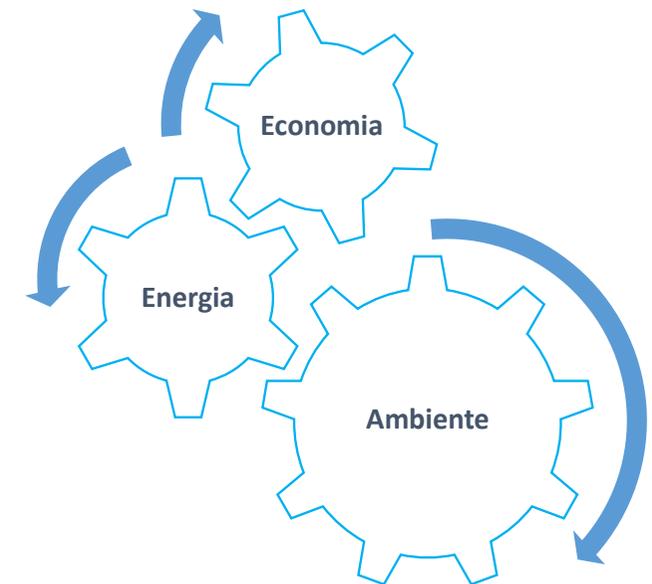
MEDIA PARTNER



# Obiettivi del lavoro

Valutazione delle **prestazioni energetiche, ambientali ed economiche dinamiche e stagionali** di generatori termici anche non convenzionali in edifici residenziali

- Minimizzazione consumi **energia primaria non rinnovabile**
- Minimizzazione **emissioni**
- Minimizzazione **bolletta energetica (€)**



## 72 casi studio rappresentativi del parco edilizio residenziale italiano

- **Tre zone climatiche**
  - Zona C
  - Zona D
  - Zona E
- **Quattro tipologie edilizie**
  - Appartamento autonomo
  - Condominio con impianto centralizzato
  - Villetta monofamiliare
  - Villetta monofamiliare «alte prestazioni»
- **Sei tipologie di impianti di riscaldamento, comprendenti:**
  - **Tre vettori energetici:**
    - Gas naturale (CH<sub>4</sub>)
    - Energia elettrica
    - Miscela arricchita ad idrogeno «verde» (G222, CH<sub>4</sub>+H<sub>2</sub>)

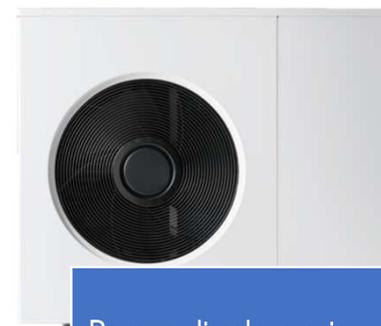
# Tecnologie analizzate



Caldia tradizionale ( $\text{CH}_4$ )



Caldia a condensazione  
( $\text{CH}_4$ )



Pompa di calore aria – acqua



Sistema ibrido pompa di  
calore – caldaia a  
condensazione ( $\text{CH}_4$ )



Caldia a condensazione  
( $\text{CH}_4 + \text{H}_2$ )

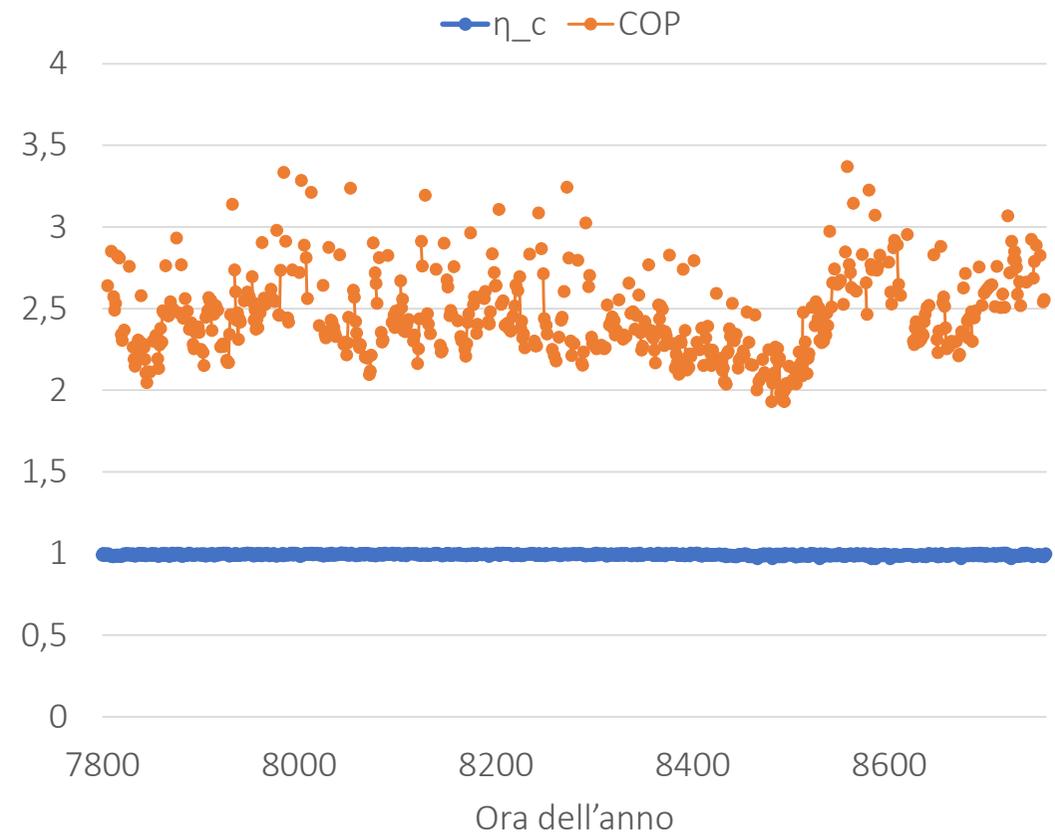
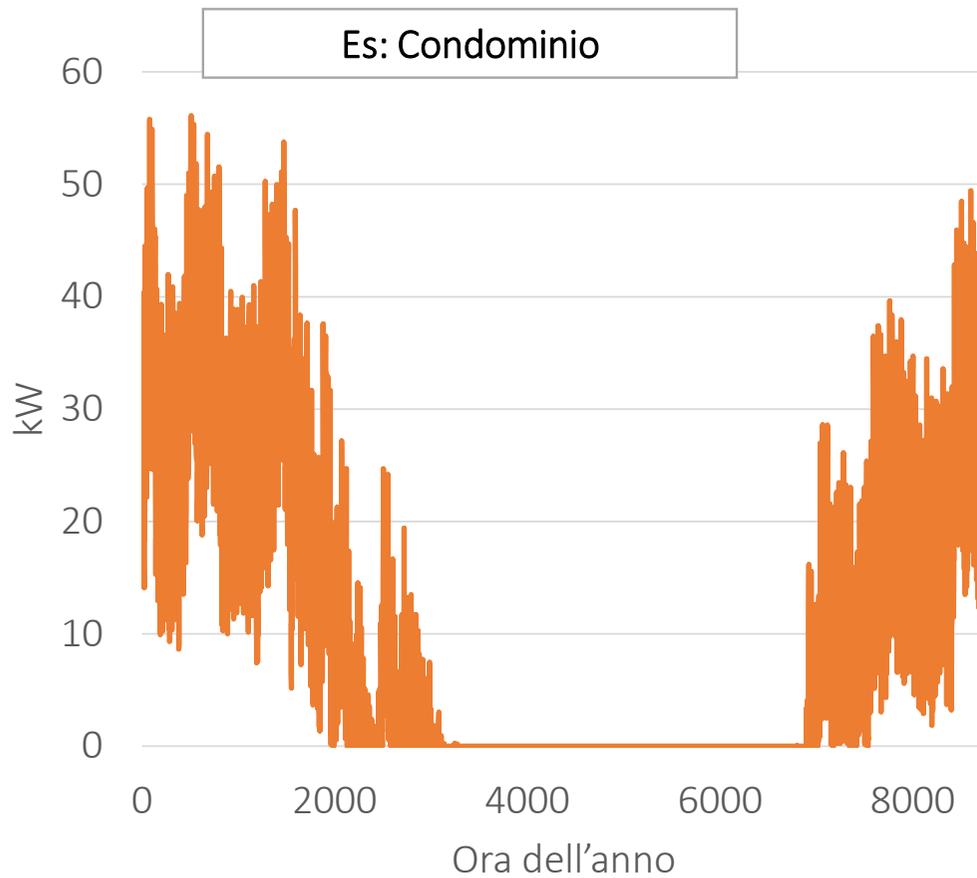


Sistema ibrido pompa di  
calore – caldaia a  
condensazione ( $\text{CH}_4 + \text{H}_2$ )

# Metodologia

1. Calcolo del fabbisogno orario di riscaldamento degli edifici di riferimento nei diversi contesti climatici per una stagione tipo (**simulazione dinamica**)
2. Calcolo delle **temperature operative e dell'efficienza di impianto** di riscaldamento in funzione della tipologia di terminali e generatore
3. Calcolo del **consumo orario di combustibile** in ingresso al generatore (CH<sub>4</sub>, CH<sub>4</sub> + H<sub>2</sub>, En Elettrica)
4. Calcolo dell'**energia primaria non rinnovabile, emissioni di CO<sub>2</sub> e bollette energetiche** in tutti i casi studio

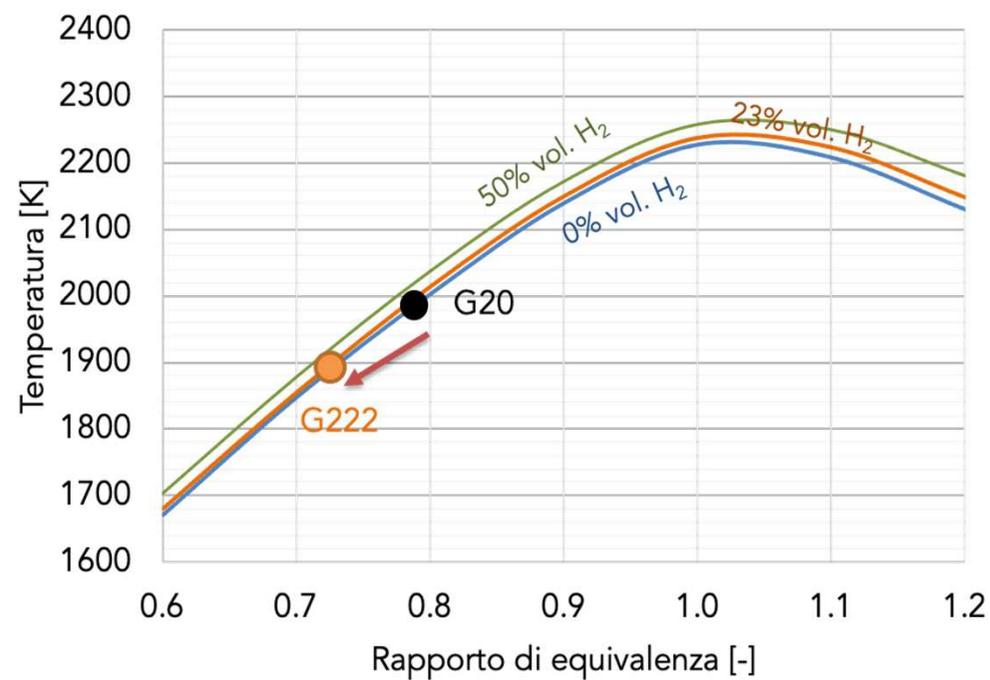
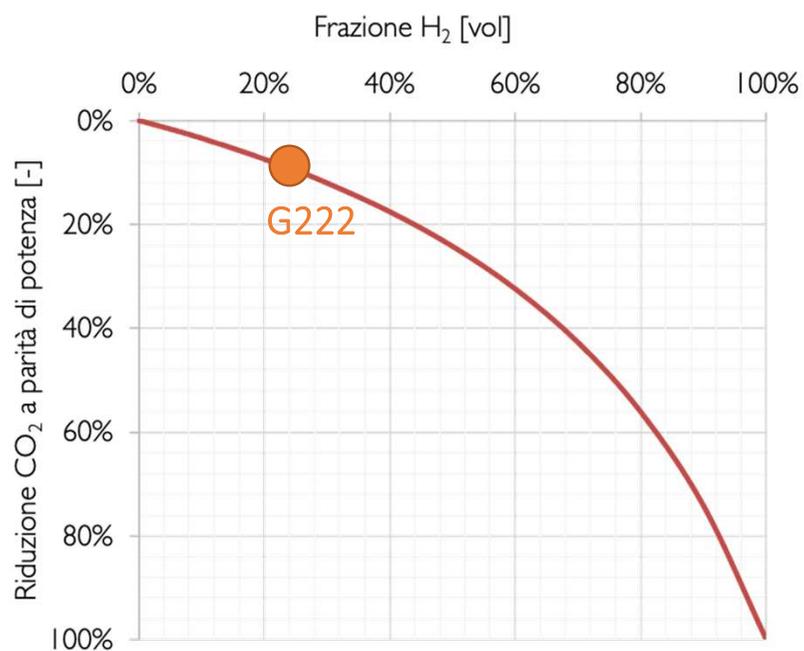
# Esempi risultati simulazione dinamica



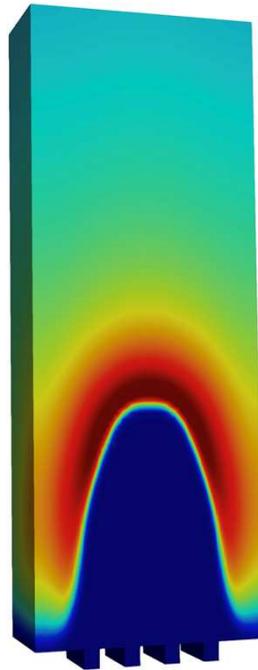
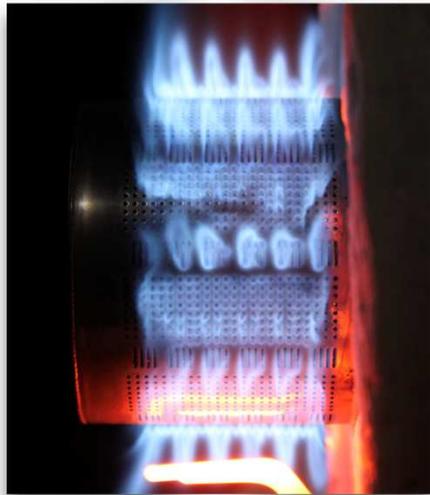
# Approfondimenti dello studio

1. Utilizzo di miscele arricchite  $\text{CH}_4 + \text{H}_2$  nei generatori di calore
  - Analisi delle **condizioni operative** di combustione
  - Analisi delle **caratteristiche di combustione**
  - Impatto in termini di **riduzione della  $\text{CO}_2$  ed emissioni di  $\text{NO}_x$**
2. Sistemi ibridi pompa di calore e generatori a combustione
  - Ottimizzazione del **dimensionamento** della pompa di calore
  - Ottimizzazione della **gestione** oraria di ciascun generatore

# Caratteristiche di combustione



# Caratteristiche combustione



Modellistica numerica con tecniche di FLUIDODINAMICA COMPUTAZIONALE

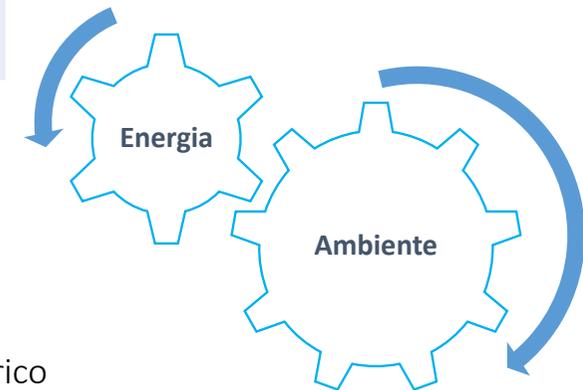
- fluidodinamica
- reazioni chimiche
- scambio termico
- geometrie complesse

Gas	H <sub>2</sub> [vol]	NO <sub>x</sub> [ppm]
G20	0%	13
G222	23%	8
50H <sub>2</sub> -50NG	50%	5

L'aumento dell'eccesso d'aria limita l'aumento della temperatura, che risulta addirittura minore di quella con il gas naturale, limitando gli ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>.)

# Analisi multi-obiettivo sistemi ibridi

	CH <sub>4</sub>	En Elettrica	CH <sub>4</sub> + H <sub>2</sub>
Energia primaria non rinnovabile, $f_{nren}$	1.05	1.95	0.96
Emissioni equivalenti CO <sub>2</sub> , $f_{co_2}$ [gCO <sub>2</sub> /kWh]	202.4	289.9	184.8



## Fonti:

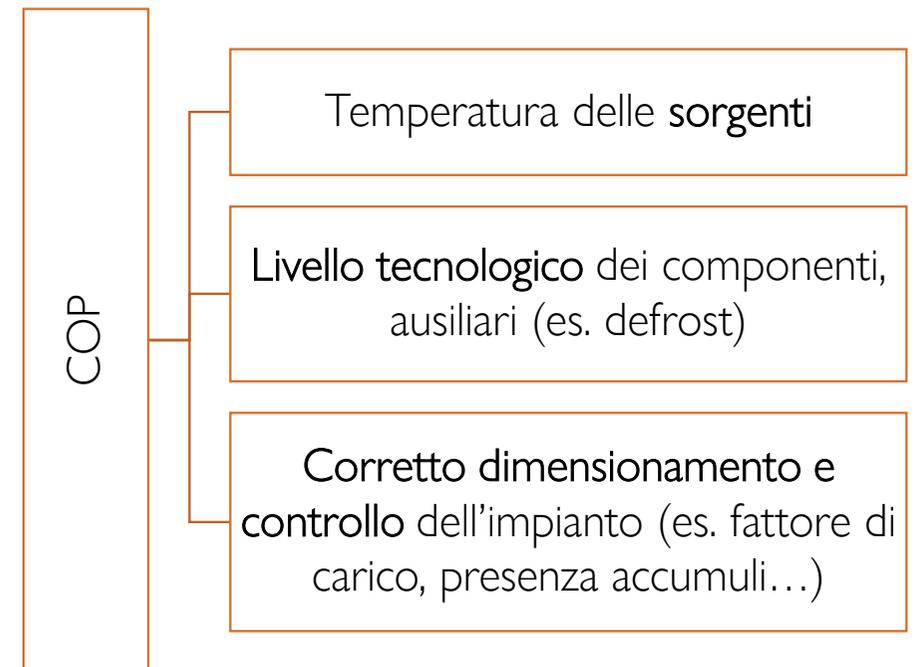
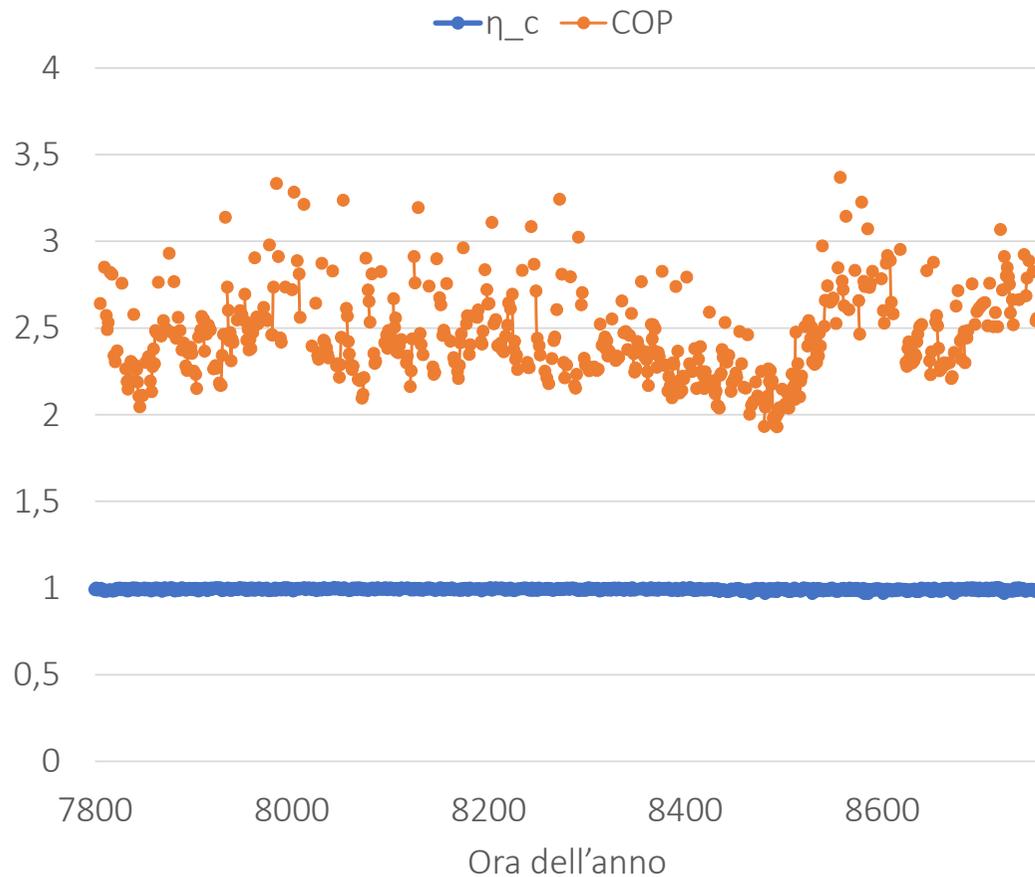
- Decreto Interministeriale 26 giugno 2015, «Adeguamento linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici»
- ISPRA, Rapporto 317/2020, «Fattori di emissione atmosferica di gas a effetto serra nel settore elettrico nazionale e nei principali Paesi Europei»,

## Prezzo complessivo per un utente domestico tipo del mercato tutelato (fonte: ARERA)

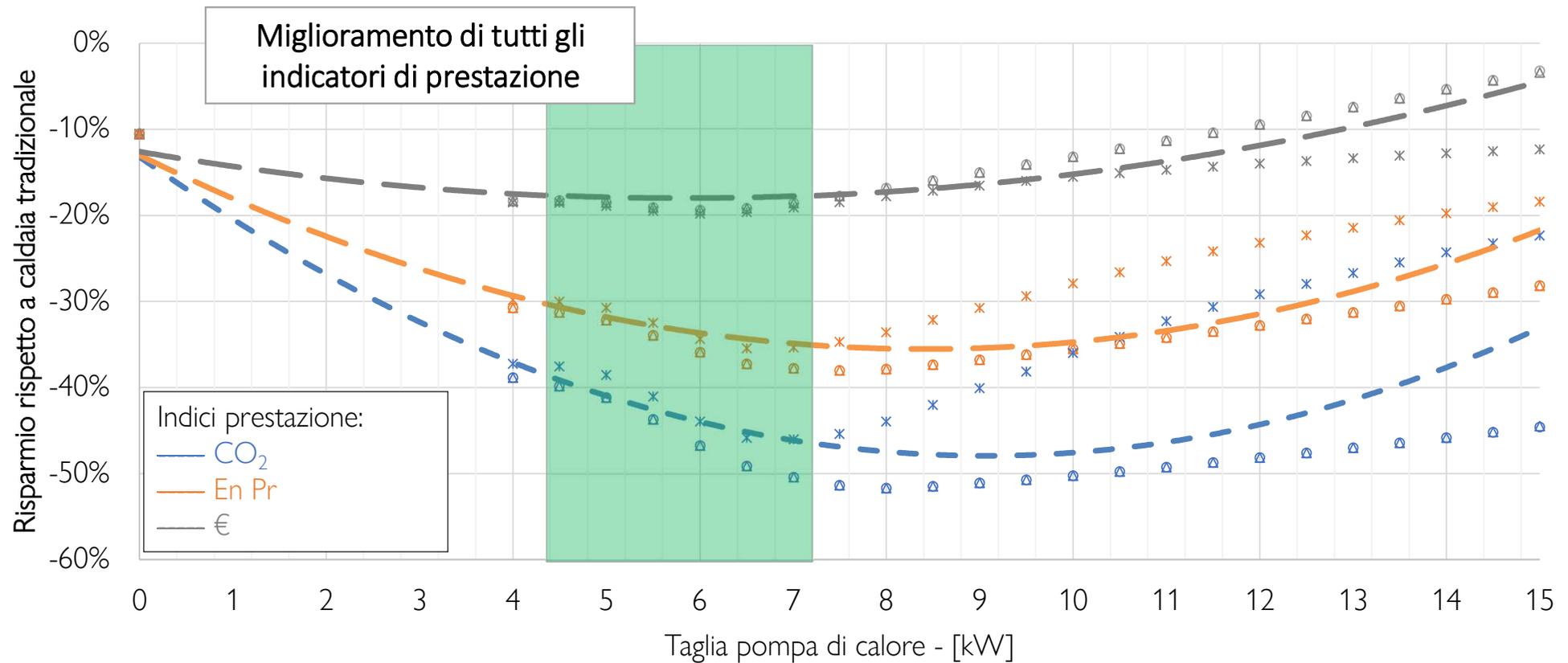
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Prezzo medio kWh elettrico, $c_{el}$	18.47	19.28	20.40	20.67	17.89	23.37	43.68
Prezzo medio kWh da gas naturale, $c_f$	7.22	7.32	7.76	7.67	6.66	8.14	13.04
Rapporto	2.56	2.63	2.63	2.69	2.69	2.87	3.34
$\langle COP \rangle_{GSHP}$ convenienza economica rispetto a caldaia	2.30	2.37	2.37	2.43	2.42	2.58	3.01

- $\eta_c = 0.9$

## Prestazioni dinamiche pompe di calore



# Sensibilità al variare del contributo elettrico

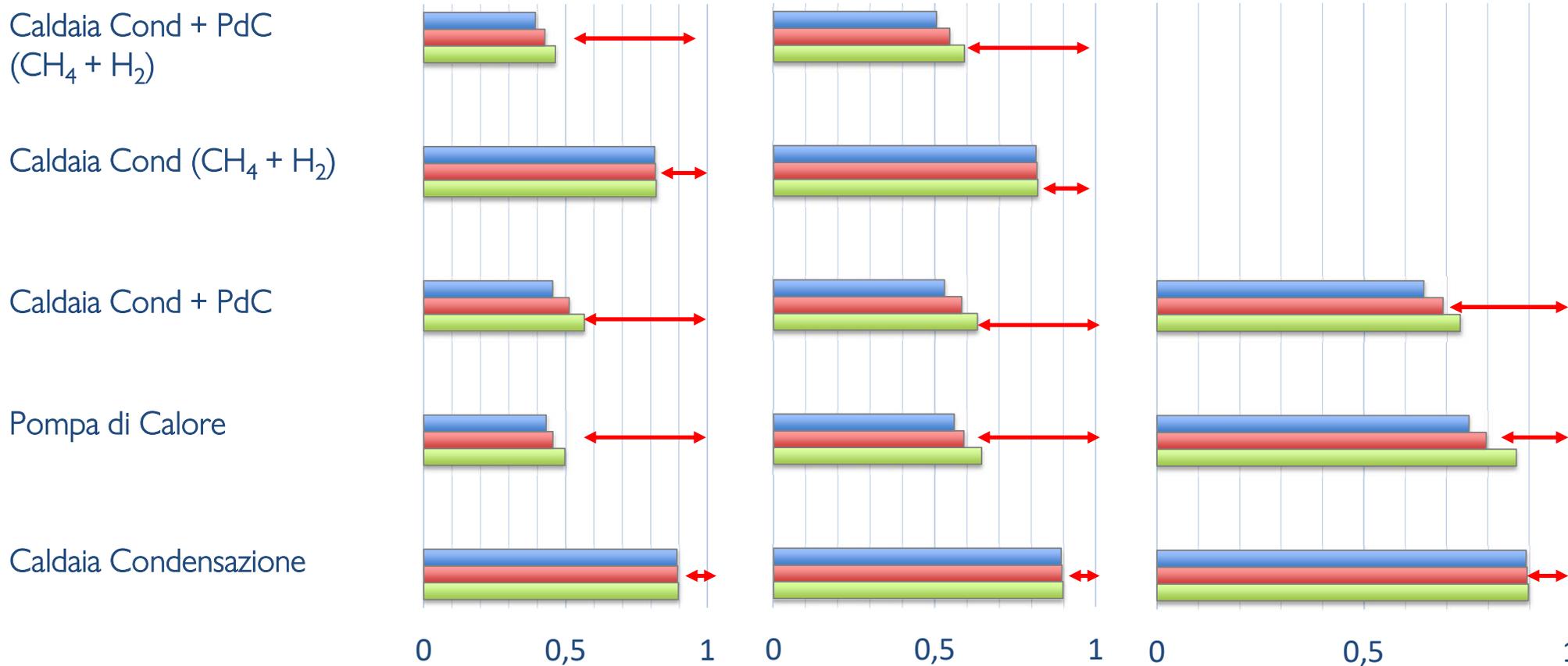


■ Zona C 
 ■ Zona D 
 ■ Zona E

### Emissioni CO2

### Energia Primaria non rinnovabile

### Bolletta energetica



# Conclusioni

- Esiste una **sinergia tra risparmi economici** per gli utenti e gli obiettivi della **transizione energetica**
- Le tecnologie ibride a pompa di calore si sono dimostrate **performanti su tutti i tre indicatori (multi obiettivo)**
- I **sistemi ibridi** permettono di unire i vantaggi delle soluzioni a pompa di calore e dei generatori di calore a combustione:
  - **Robustezza** rispetto all'oscillazione di prezzi, e coefficienti di conversione energetico e ambientale
  - **Disponibilità di potenza** utile per garantire benessere occupanti (es. transitori, produzione di ACS senza accumuli)
  - **Avvicinamento/accettazione** degli utenti delle nuove tecnologie
  - **Accesso** alle attuali forme di **incentivazione**
- La scelta della migliore soluzione non può prescindere **dall'analisi dell'utenza, del clima e da un'ottimizzazione di taglia e gestione**
- L'utilizzo di **miscele arricchite ad idrogeno verde (23%)** consente un **risparmio del 10% di CO<sub>2</sub>** rispetto alla combustione del gas naturale, **riducendo anche le emissioni di NO<sub>x</sub>**

## Ulteriori sviluppi e collaborazione Assotermica - UNIPI

- Analisi delle condizioni di impiego e dell'efficienza delle **pompe di calore ad assorbimento o a motore endotermico** (metano o miscela a idrogeno) in generatori singoli e ibridi
- Analisi dell'**accoppiamento ottimale** dei sistemi di generazione termica con **altre tecnologie** di produzione rinnovabili (es. solare termico e fotovoltaico), con sistemi di accumulo elettrico e termico e **altri servizi energetici** (es. acqua calda sanitaria)
- Combustibili alternativi: **idrogeno verde al 100%** o **miscela di biometano**
- Elaborazione di **linee guida per la corretta scelta e progettazione** dei sistemi di riscaldamento (riqualificazioni e nuovi edifici) per operatori professionali e governativi



PRESTAZIONI ENERGETICHE E AMBIENTALI  
DINAMICHE E STAGIONALI DI GENERATORI  
TERMICI ANCHE NON CONVENZIONALI IN EDIFICI  
RESIDENZIALI DI RIFERIMENTO

15/10/2021

Relazione Tecnica Conclusiva

Gruppo di lavoro: Prof. Daniele Testi  
Prof.ssa Chiara Galletti  
Prof. Walter Grassi  
Ing. Paolo Conti  
Ing. Rachele Lamioni  
Ing. Eva Schito

## Prestazioni energetiche e ambientali dinamiche e stagionali di generatori termici anche non convenzionali in edifici residenziali di riferimento

Prof. Daniele TESTI, Prof.ssa Chiara GALLETTI, Prof. Walter GRASSI, Ing. Paolo CONTI, Ing. Rachele LAMIONI, Ing. Eva SCHITO

# GRAZIE PER L'ATTENZIONE



IN COLLABORAZIONE CON



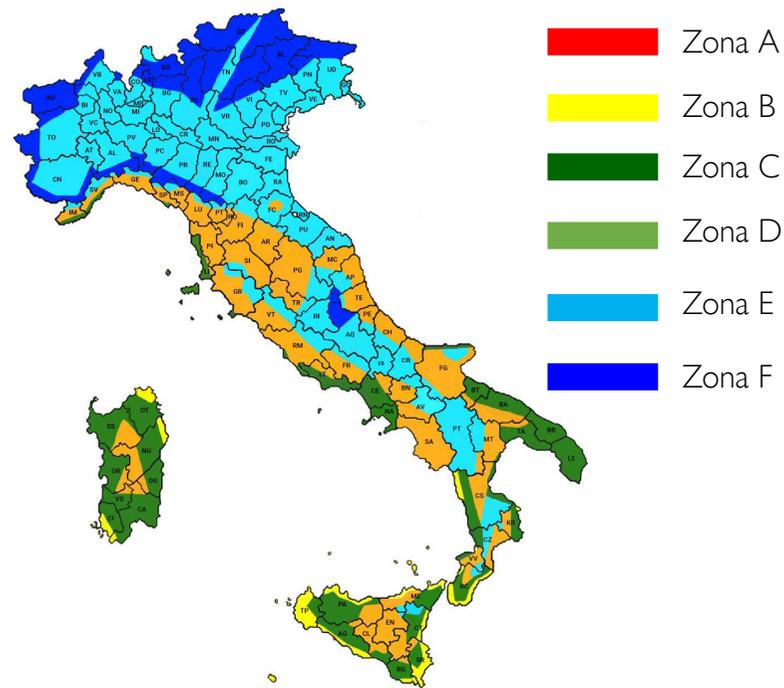
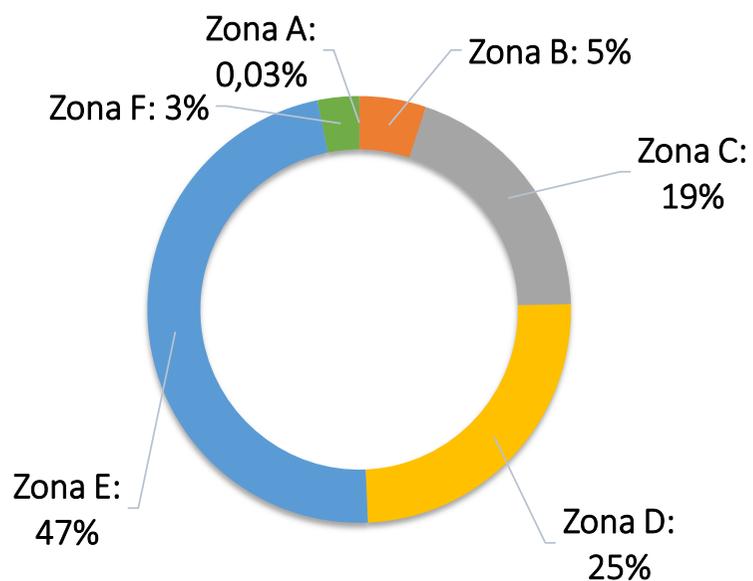
CON IL CONTRIBUTO DI



MEDIA PARTNER



### Ripartizione del parco edilizio residenziale per fascia climatica [%]

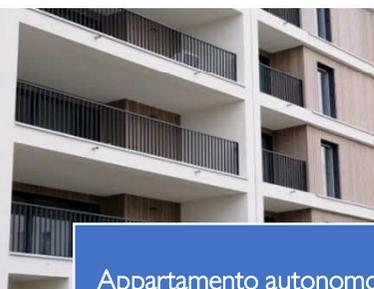


### Ripartizione per tipologia di abitazione

Appartamento	Casa monofamiliare	Altro (bifamiliare...)
57%	30%	13%

### Ripartizione per tipologia di edifici

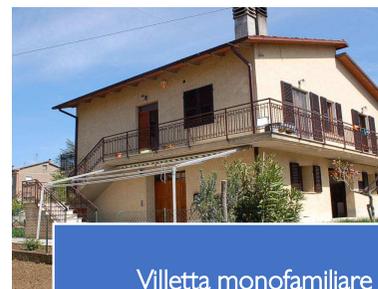
Case		Condomini	
Monofamiliari	Altro (bifamiliare...)	Da 3 a 8 interni	Più di 8 interni
52%	23%	20%	5%



Appartamento autonomo



Condominio con impianto centralizzato (12 interni, 4 piani)



Villetta monofamiliare



Villetta monofamiliare di recente costruzione («isolata»)

