

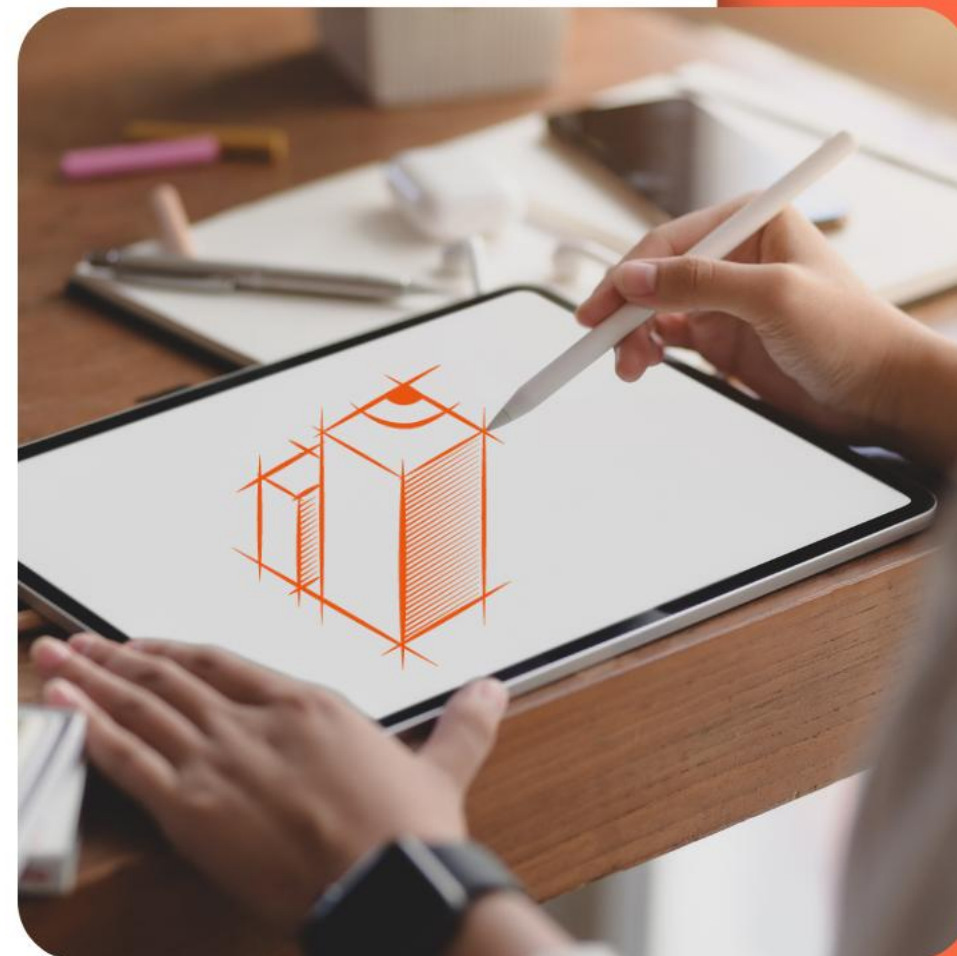


DECARBONIZZARE GLI EDIFICI: IL RUOLO DELLE POMPE DI CALORE E DEGLI ACCUMULI INNOVATIVI

Simone Buffa · R2M Solution · Webinar · 26 ottobre 2026



WWW.PROSPECTAFORMAZIONE.IT



INDICE

01

Introduzione

02

Perché la flessibilità?

03

Accumuli innovativi nei sistemi a pompa di calore

04

**Utilizzare un edificio come batteria?
Il caso studio ad uso uffici di ClimaFLex**

05

Risultati e conclusioni

Chi siamo

R2M SOLUTION

RESEARCH TO MARKET



Consulenza
sull'Innovazione

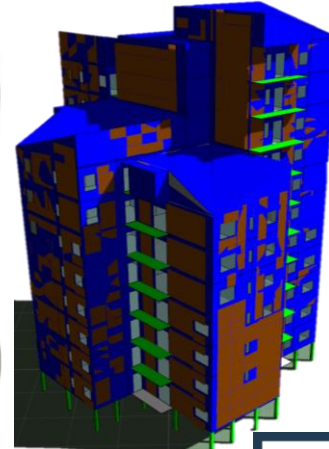


Consulenza sulla Sostenibilità
e Servizi Energetici



Prodotti Innovativi

R2M
REGOLO



IES



BRAINBOX AI

IL RUOLO DELLA TECNOLOGIA E LA NECESSITÀ FLESSIBILITÀ

La pompa di calore è molto efficiente, ma funziona solo su richiesta. Con accumulo e controllo intelligente l'edificio diventa flessibile: sposta l'energia nel tempo, usa più il proprio solare e riduce le bollette.

1

L'elettificazione dei consumi è ormai la via da percorrere

Obiettivo dell'**Electrification Action Plan dell'EU**: raddoppiare in EU la quota di energia elettrica nel consumo finale di energia, passando dall'attuale 23% al 46% entro il 2040. Le direttive EPBD spingono le pompe di calore nel nuovo e nelle ristrutturazioni.

2

Autoconsumo e comunità energetiche incentivano l'utilizzo dell'energia prodotta localmente da fotovoltaico

L'accumulo permette di caricare quando l'energia costa poco o è autoprodotta, e di usarla dopo.

3

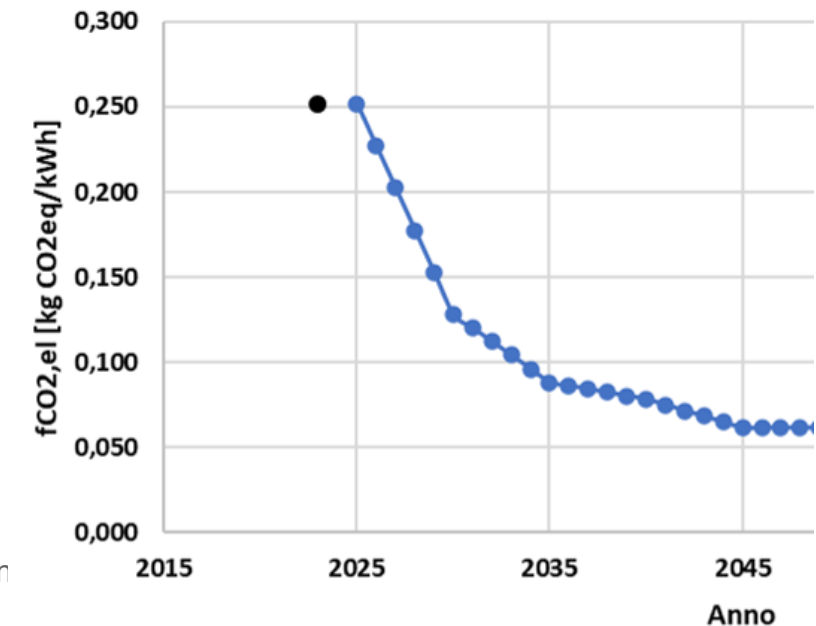
La flessibilità ha un valore crescente grazie anche ai **Mercati della Flessibilità Locale**

Peak shaving, spostamento dei carichi e autoconsumo trasformano un consumatore passivo in un attore attivo che supporta la rete e fa risparmiare.

4

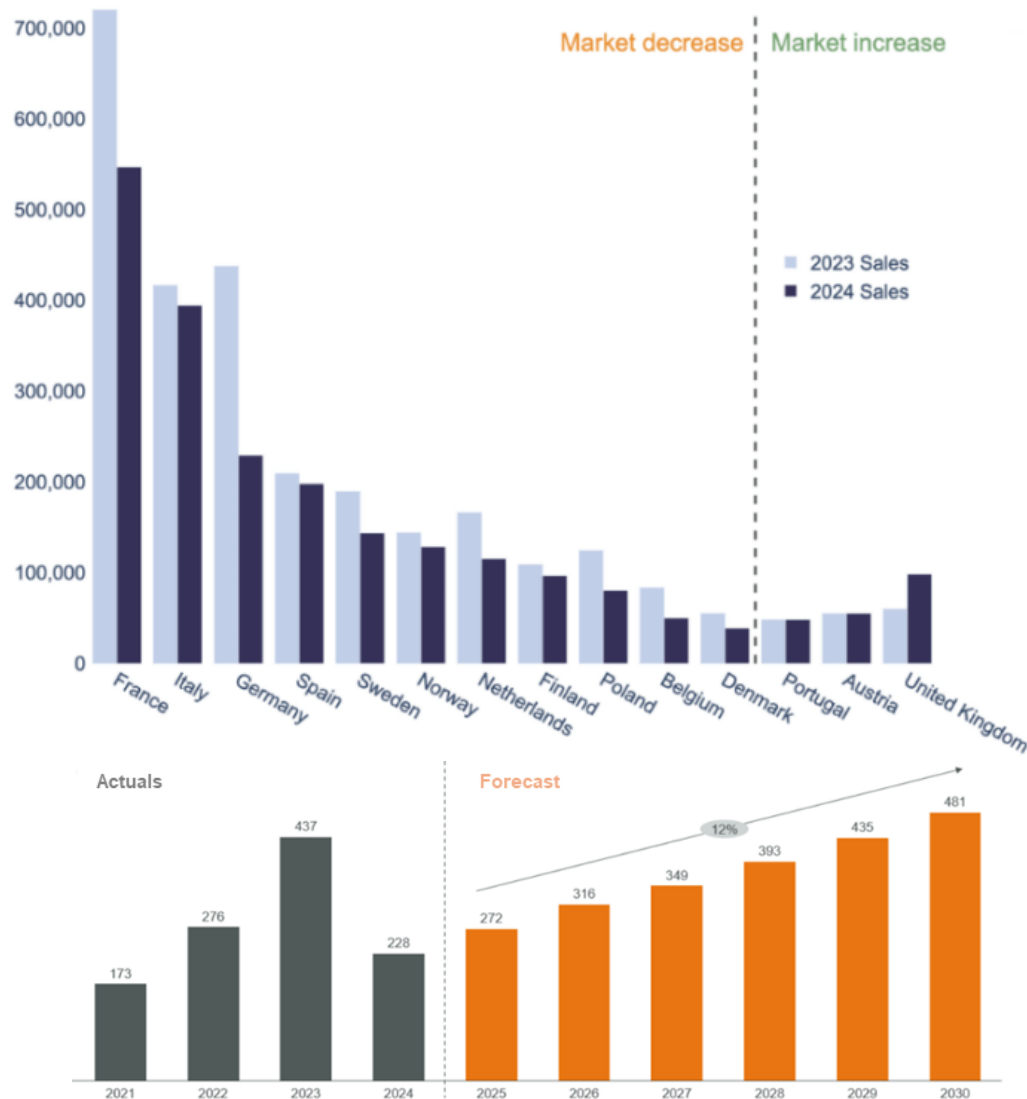
La penetrazione delle rinnovabili potrebbe permettere di **abbassare l'impronta di carbonio dell'elettricità di 5 volte da qui al 2050.**

Previsione dell'impronta di carbonio dell'elettricità in Italia



Rif. CRREM

I TREND DI MERCATO



MERCATO DELLE POMPE DI CALORE E DELL'ACCUMULO TERMICO

~9-12%

Crescita media annua del mercato

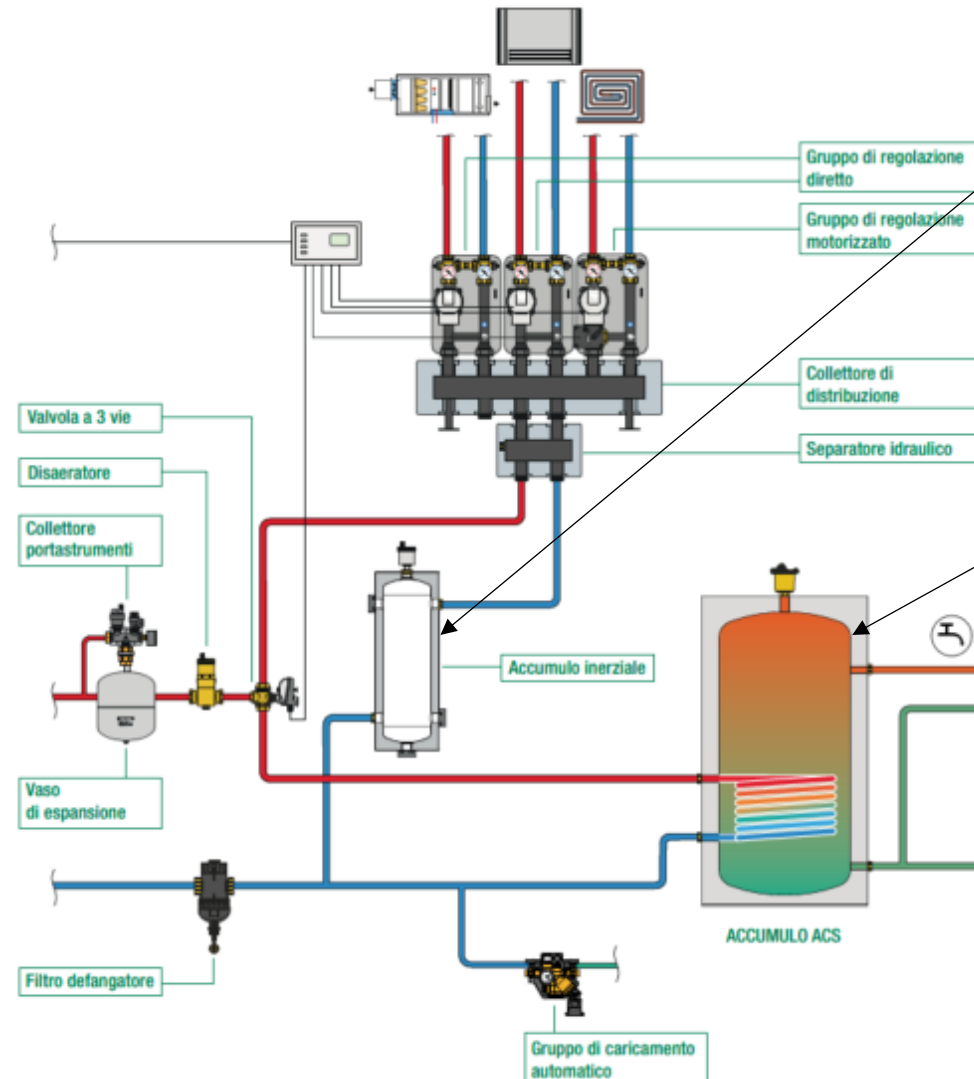
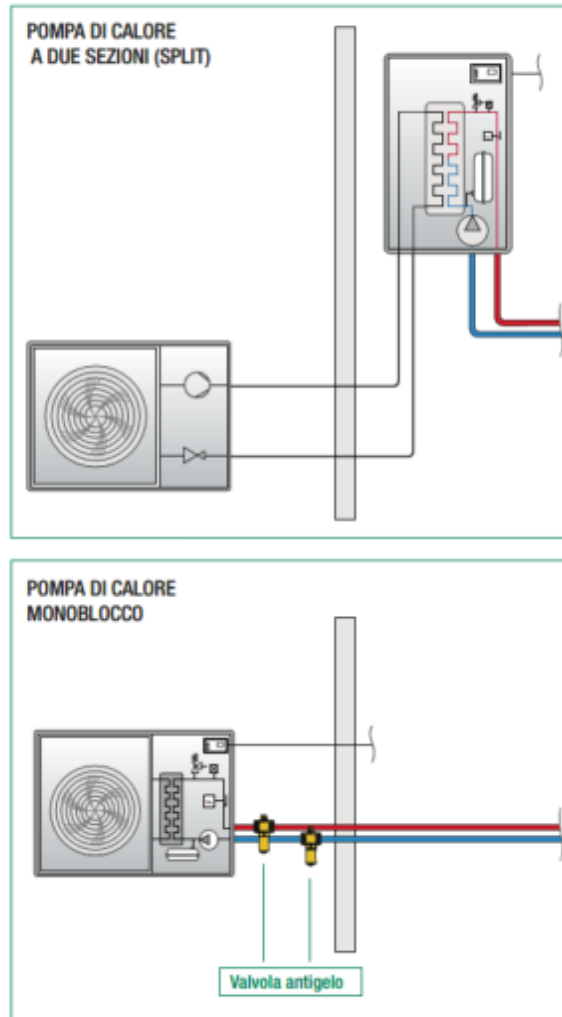
~38%

Quota europea del mercato TES globale, leader di mercato

2026-30

Pompa di calore + accumulo + FV portano il PCM sul mercato

LAYOUT DI UN IMPIANTO A POMPA DI CALORE



Buona regola per pompe di calore ON-OFF: volano dimensionato per circa 20 lt per ogni kW termico della pompa di calore

Dimensionamento secondo la norma **UNI 9182**.

LA PROTEZIONE ANTILEGIONELLA NEGLI IMPIANTI A POMPA DI CALORE

Fig. A: RESISTENZA ELETTRICA INTEGRATIVA

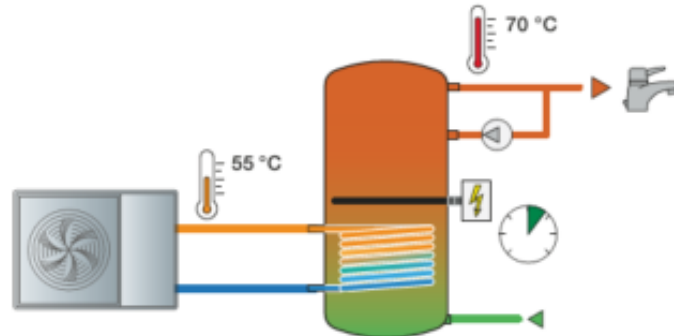


Fig. C: DISINFEZIONE NON TERMICA

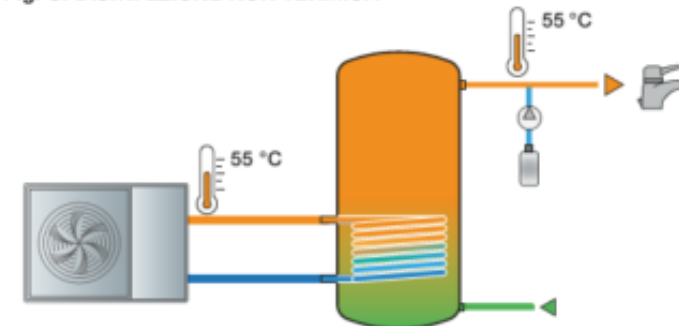


Fig. B: PDC ALTA TEMPERATURA

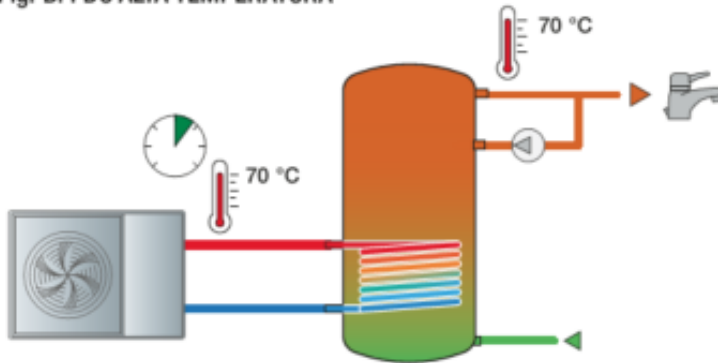
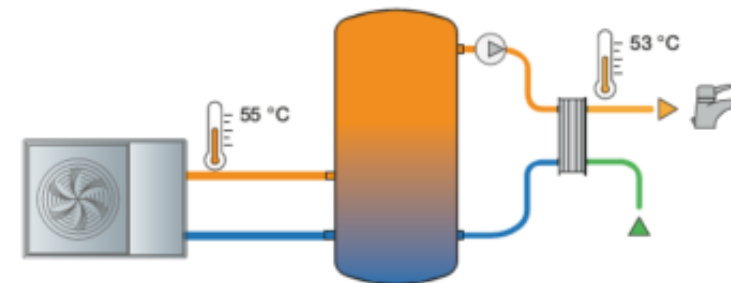
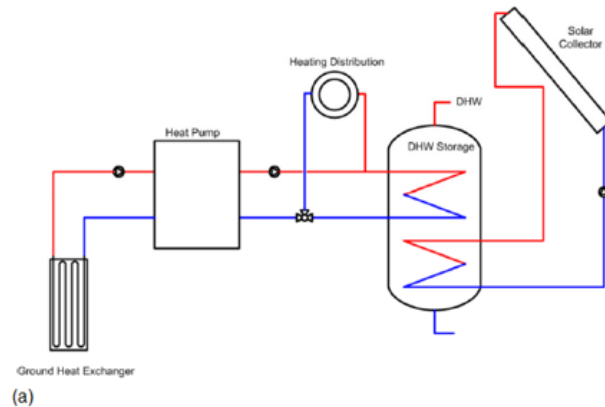


Fig. D: SCAMBIATORE ESTERNO

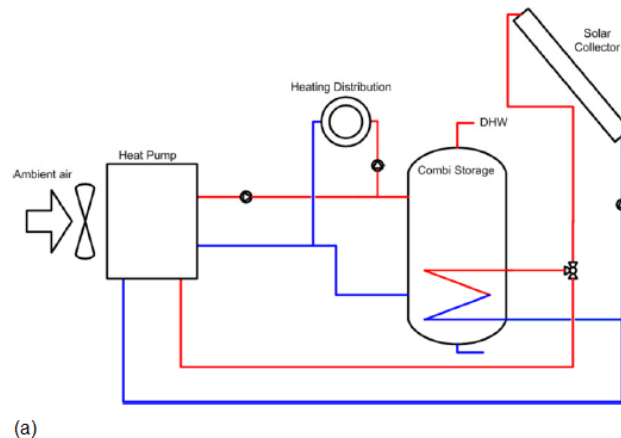


VERSO LA PREFABBRICAZIONE PER RIDURRE GLI ERRORI E GLI INGOMBRI

Sistema solar assisted heat pump (SAHP) in parallelo per la fornitura di ACS



Concetti di “seriale” e “parallelo” combinati



02

PERCHÉ LA FLESSIBILITÀ

Curva del carico residuo e prezzi negativi

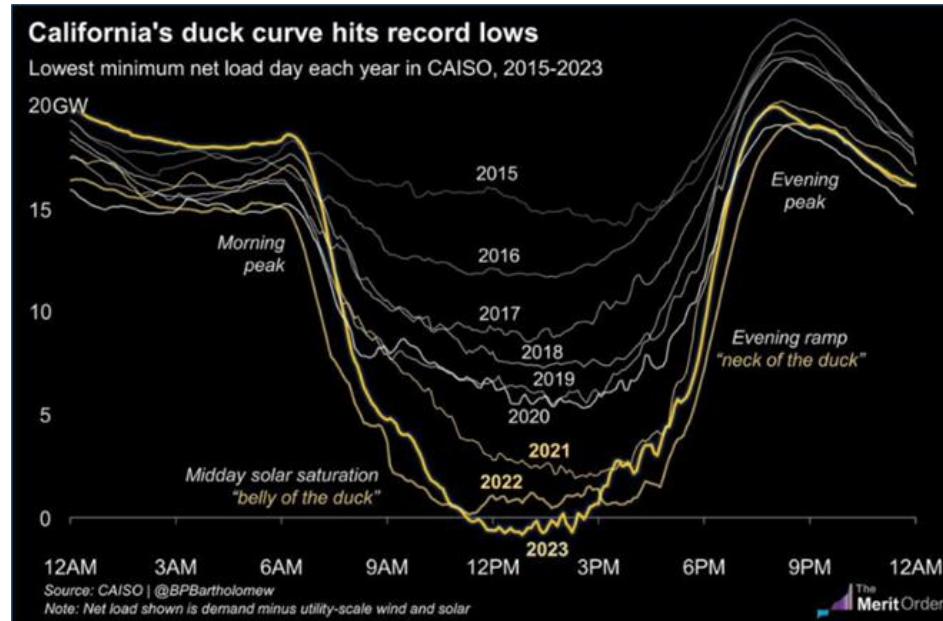
Flussi inversi nella rete di distribuzione

Dalla flessibilità energetica agli edifici flessibili

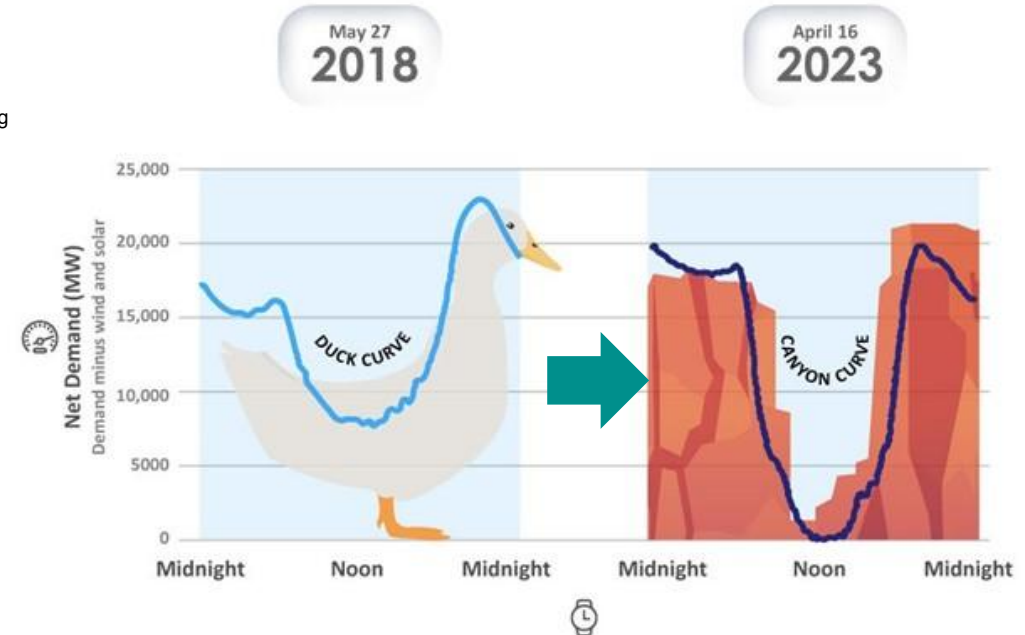
Casi di successo nei mercati locali

CARICO RESIDUO E PREZZI NEGATIVI

Curva del **carico residuale minimo** in California (2015-2023)



Fonte: Bloomberg



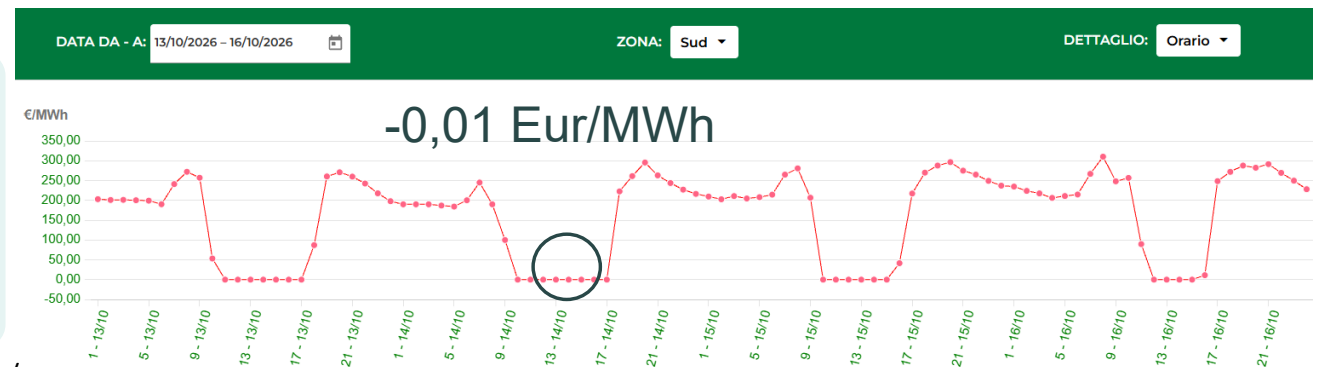
Il **curtailment** ha raggiunto circa **802 GWh** persi nel solo **2025**, più del doppio rispetto all'anno precedente. (perdita fino al 10% dei ricavi annuali per gli impianti)

Per la **prima volta** il **Mercato del giorno prima (MGP)** italiano ha **registrato prezzi negativi**, contemporaneamente in tre delle sette zone di mercato nazionali. I prezzi fissati ieri per oggi, 14 ottobre, tra le 13 e le 16:15

Credit: <https://www.rivistaenergia.it/2024/05/anatre-canyon-mercato-elettrico/>

Gestore Mercati Energetici

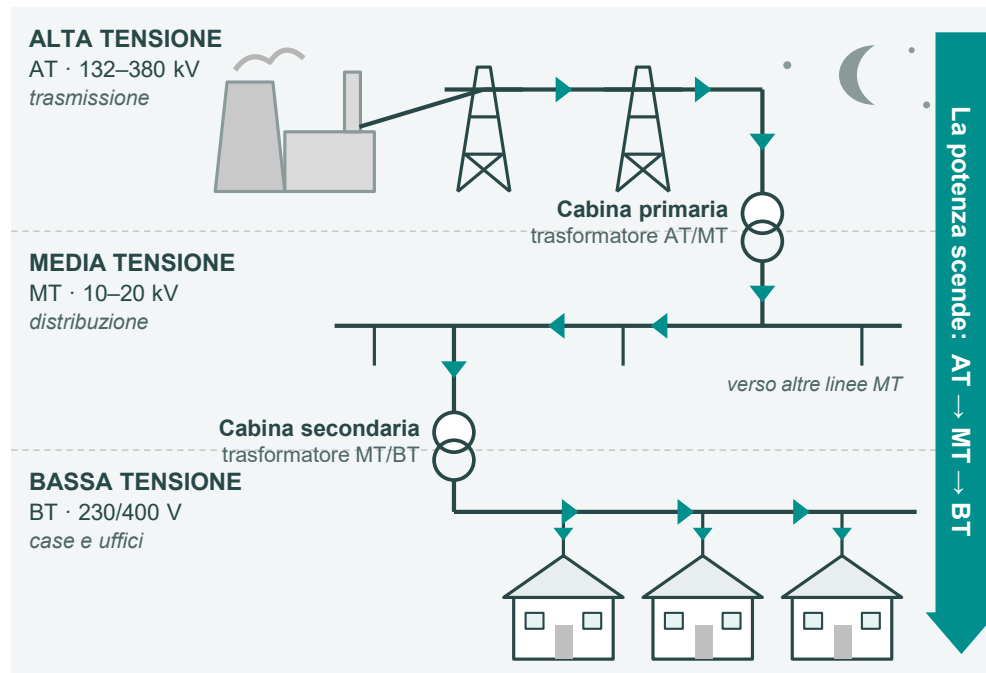
ClimaFlex · www.climaflex.it · 10



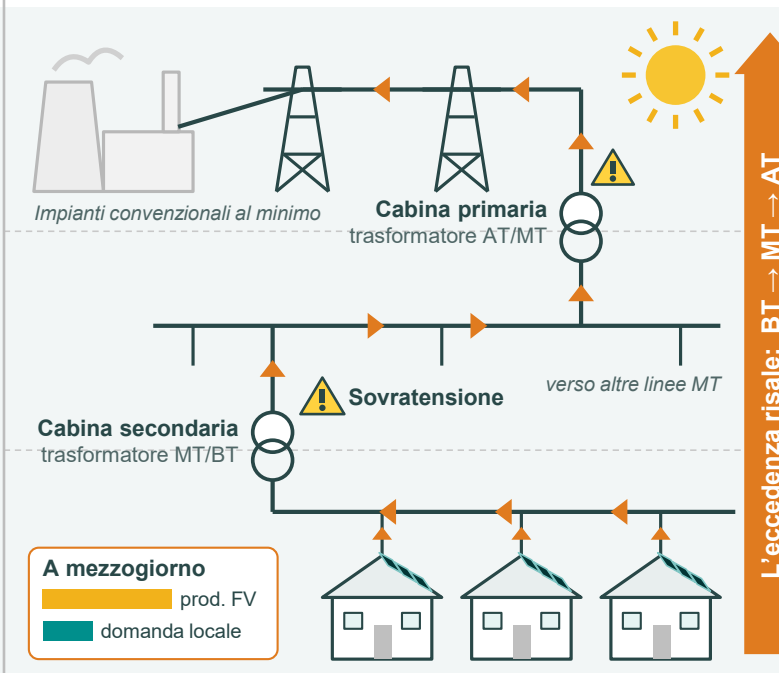
PERCHÉ LA FLESSIBILITÀ?

Più rinnovabili, più bisogno di flessibilità: l'obiettivo italiano al 2030 (PNIEC) è il 70 % di elettricità da fonti rinnovabili.

■ **Rete tradizionale** (sera, senza FV): flusso AT → MT → BT



■ **Mezzogiorno, molto FV** (FV > domanda): flusso BT → MT → AT



Perché è un problema

1 Sovratensione

la tensione BT può superare i limiti (EN 50160: $\pm 10\%$) e gli inverter si disconnettono

2 Congestione

trasformatori e linee si sovraccaricano in una direzione per cui non sono dimensionati

3 Protezioni

relè e regolatori di tensione sono progettati per un flusso unidirezionale

4 Costi e sprechi

taglio della produzione FV o costosi potenziamenti di rete

Italia: sezioni con flusso inverso

9 % → 42 %

2010 → 2024, almeno 7 h/mese

Fonte: E-Distribuzione, Piano di Sviluppo 2025

DALLA FLESSIBILITÀ ENERGETICA AGLI EDIFICI FLESSIBILI

Flessibilità energetica

La capacità del sistema elettrico di adattarsi alle fluttuazioni di generazione e consumo e alle esigenze della rete, nelle finestre temporali di mercato rilevanti.



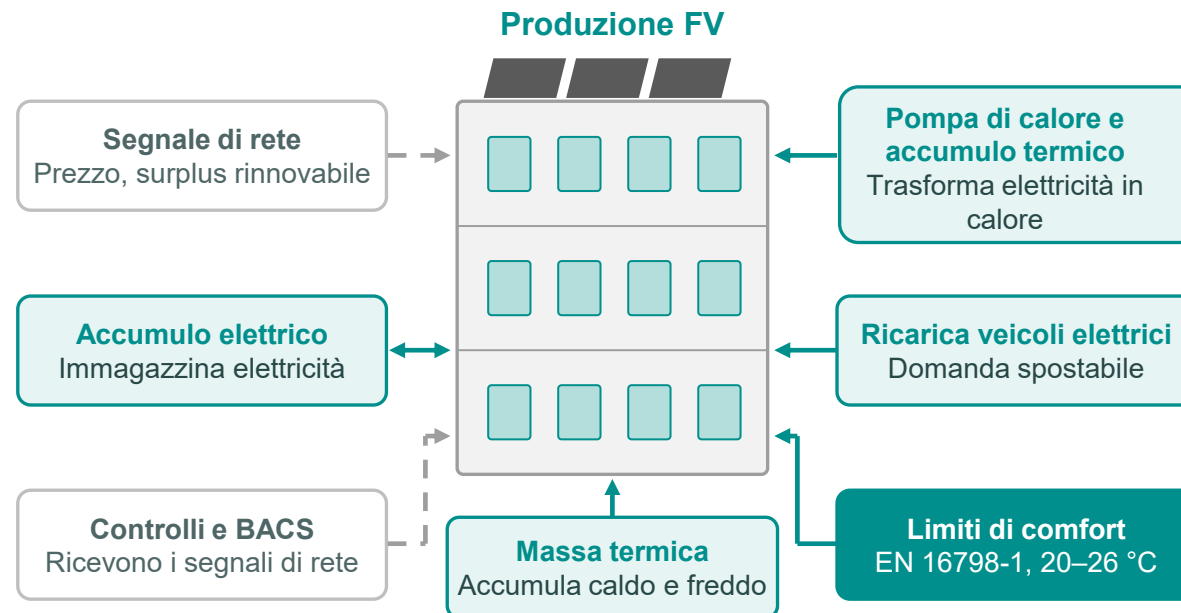
Chi può fornirla?

Il lato domanda: spostando i consumi nel tempo, ad esempio assorbendo il surplus solare di mezzogiorno.



Flessibilità negli edifici

La capacità di rimodulare nel tempo la domanda elettrica di un edificio, agendo sulle risorse che controlla e tutelando il comfort degli occupanti.



Edifici con pompe di calore

La loro massa termica e i sistemi di accumulo permettono di accumulare energia e spostare nel tempo i consumi elettrici.

MERCATI LOCALI DELLA FLESSIBILITÀ

Storie di successo

Casi reali di partecipazione ai programmi



Equivale ad uno **sconto del 16%** ca. sulla componente energia annua



Equivale ad uno **sconto del 16%** ca. sulla componente energia annua



Equivale ad uno **sconto del 20%** ca. sulla componente energia annua

*Denominazione aziendale fittizia. I dati si riferiscono ad un caso reale, anonimizzato per ragioni di riservatezza

**Ipotesi di durata annuale

***Cliente aggiudicatario EDGE 2026, ipotesi di prelievo anno in linea con storico 2025. Margine da sola disponibilità

Fonte: ENEL - Monetizzare la flessibilità energetica: Mercati Locali della Flessibilità, nuove opportunità per PMI e risorse distribuite

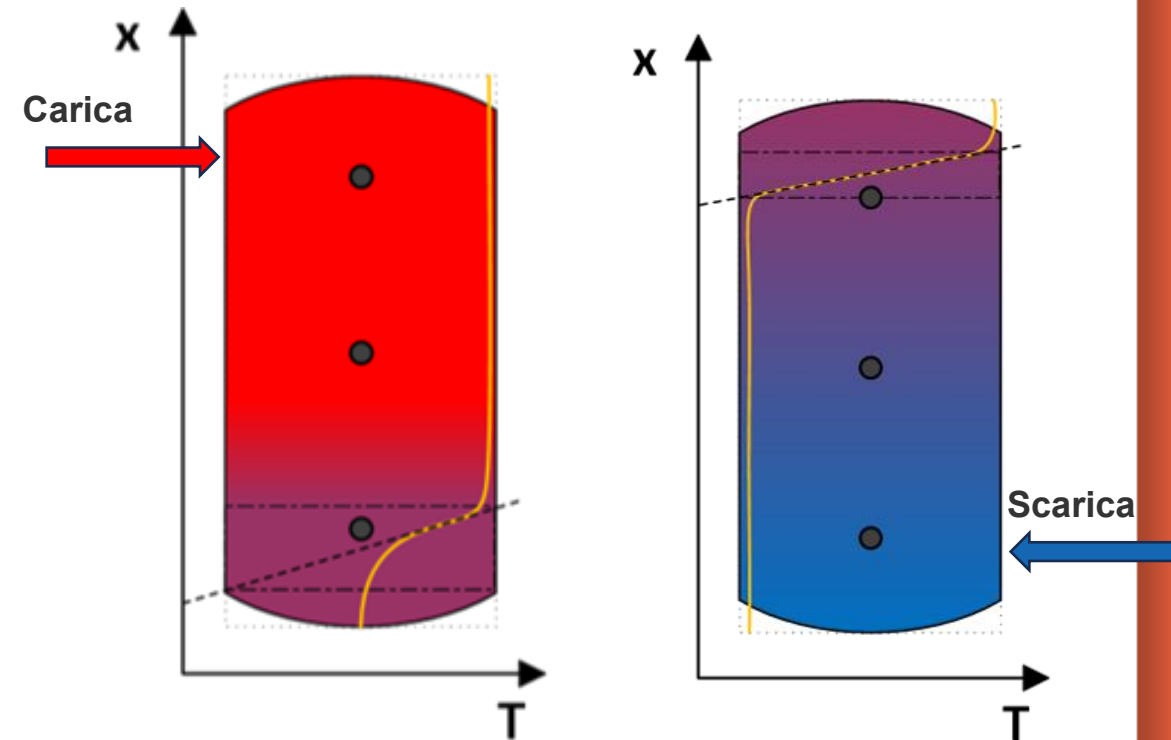
L'ACCUMULO SEPARA PRODUZIONE E CONSUMO

Il controllore fa produrre la pompa di calore quando conviene, nelle ore economiche di rete o con il surplus FV, e accumula quell'energia fino a quando l'edificio ne ha bisogno.

Caso più semplice: Fotovoltaico + Batteria



Accumulo ad acqua



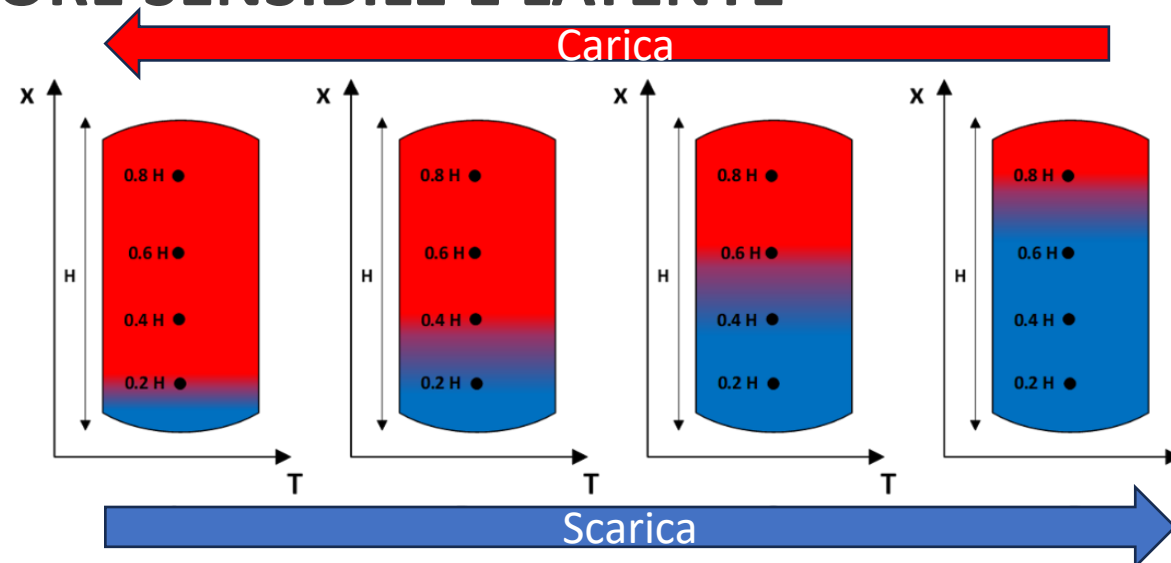
IL CONCETTO

CALORE SENSIBILE E LATENTE

Funzionamento di un accumulo ad acqua



Credit: Cordivari



Funzionamento di un accumulo a cambiamento di fase (Phase change Material – PCM) - il “ghiaccio al contrario”



Credit: Sunamp

Credit: <https://www.impiantinews.it/rci/aziende-mercato/gli-accumuli-termici-a-cambio-di-fase/>

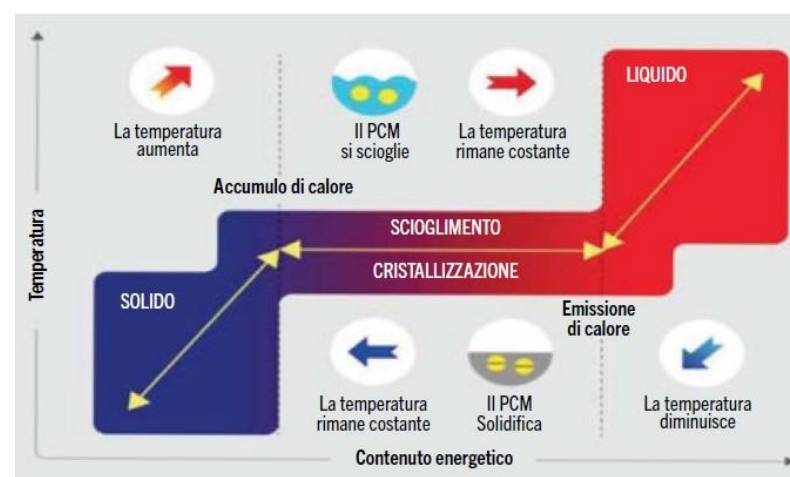


Fig. 1 - Il principio di funzionamento degli accumuli a cambio di fase (Sunamp)

MATERIALI A CAMBIO DI FASE (PCM)

INORGANICI

- Ampio intervallo di temperature
- Basso costo
- Alta conduttività termica
- Scarsa stabilità
- Può essere corrosivo e tossico
- Alto sottoraffreddamento

ORGANICI

PARAFFINICI

- Basso sottoraffreddamento
- Stabilità
- Buona compatibilità
- Bassa conduttività termica
- Potrebbe essere infiammabile
- Non adatto per alte temperature

NON PARAFFINICO

- Basso sottoraffreddamento
- Stabilità
- Può essere di origine biologica e biodegradabile
- Bassa conduttività termica
- Può essere costoso
- Potrebbe avere problemi di compatibilità

Fig. 2 - I più diffusi materiali a cambio di fase (Petronas)

DUE MODI DI ACCUMULARE CALORE PER LA POMPA

Le pompe di calore forniscono acqua a circa 35-60 C. L'accumulo deve adattarsi a questa finestra di temperatura.

H₂O

Calore sensibile - serbatoio ad acqua (lo standard)

Accumula calore riscaldando l'acqua. Economico e familiare, ma ingombrante e disperde calore nel tempo.



PCM

Calore latente - materiale a cambiamento di fase

Accumula calore mentre il materiale fonde e solidifica a temperatura fissa. Molto più compatto, con uscita stabile; paraffine e sali idrati coprono il campo 35-60 °C.



Regola pratica: *meno spazio c'è, più conviene un accumulo PCM compatto rispetto a un serbatoio ad acqua ingombrante.*

DIMENSIONARE SUL CARICO, NON SUL MASSIMO

Dimensionate sull'energia giornaliera da spostare e sul tempo per caricare; sovradimensionare aggiunge solo costi e perdite.

 kWh

Partire dall'energia giornaliera da spostare

Coprite il carico da spostare: l'acqua calda giornaliera o il picco serale di riscaldamento, non il massimo annuo.

 kW

Verificare il rapporto potenza/energia (kW/kWh)

Indica quanto rapidamente l'accumulo si carica e scarica. Un rapporto più basso significa un rilascio più lento e costante.

 h

Caricare nella finestra economica / solare

Caricate del tutto nella finestra disponibile (2-4 h di surplus FV o tariffa economica). L'unità ALL-IN-ONE (2-3 kW, 4-12 kWh) carica in 2-4 h: l'acqua calda giornaliera di una famiglia.

Evitare il sovradimensionamento dell'accumulo e della pompa di calore: *un accumulo troppo grande e raramente pieno, costa di più e perde più calore restando inutilizzato.*

COLLEGAMENTO: SEMPLICE, MODULARE, PER RETROFIT

Il modo in cui l'accumulo è collegato alla pompa decide quanto è facile, ed efficace, l'installazione.

A

Autonomo - una casa, un accumulo

Un accumulo compatto collegato direttamente alla pompa, per riscaldamento e acqua calda di una casa. Il caso più comune: nuovo o retrofit.

B

Decentralizzato - un accumulo per appartamento

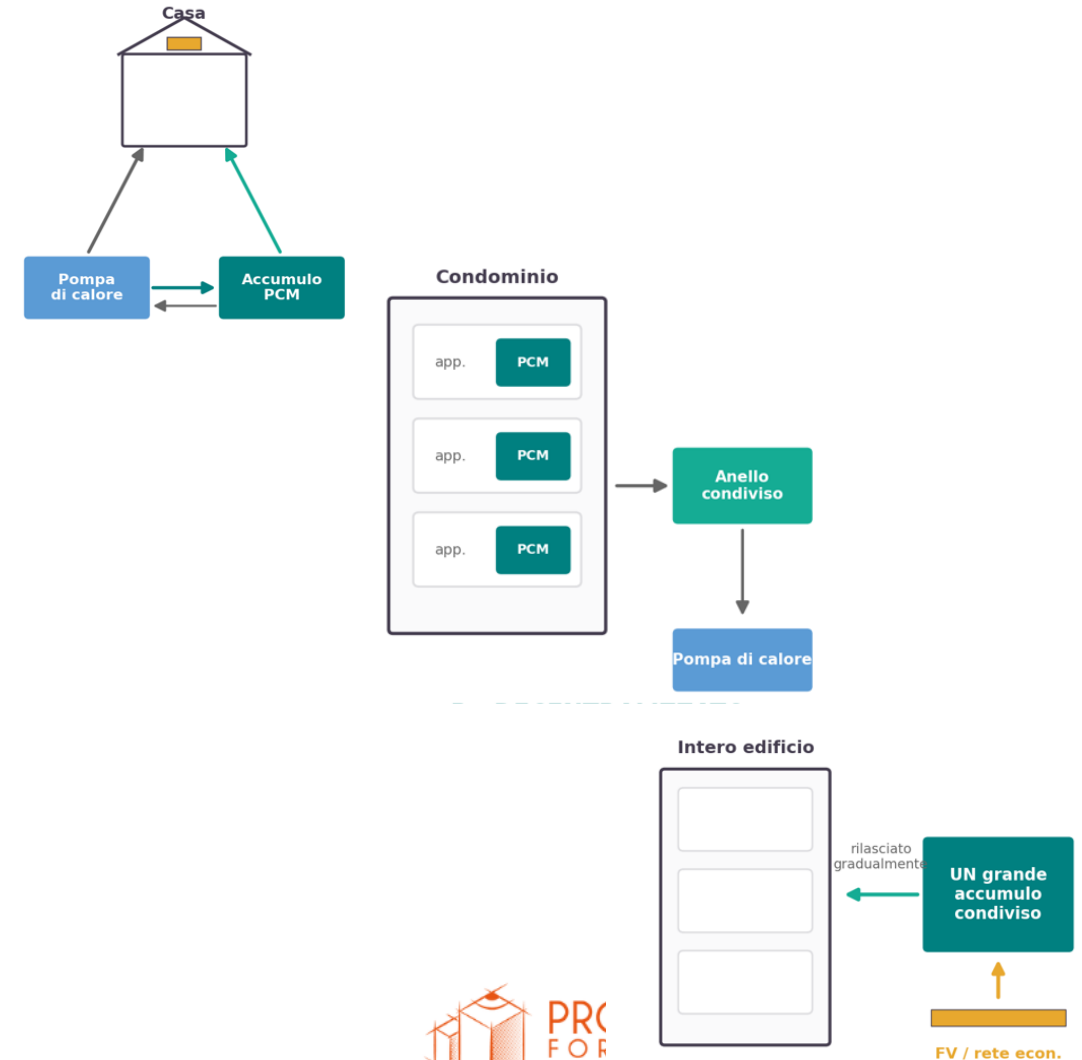
Un piccolo accumulo in ogni appartamento, su un anello condiviso a bassa temperatura. Ideale per i condomini.

C

Centralizzato - un accumulo condiviso

Un unico accumulo più grande per tutto l'edificio, caricato con surplus FV o energia economica e rilasciato gradualmente. A scala di edificio o distretto.

Progettare per l'installatore: *un separatore idraulico e solo due collegamenti alla pompa rendono l'integrazione rapida e il retrofit realistico.*



PERCHÉ IL PCM? SEI VANTAGGI SUL SERBATOIO AD ACQUA

L'accumulo a cambiamento di fase risolve i difetti classici del serbatoio ad acqua (dimensioni, perdite e risposta) restando sicuro e duraturo.

1

Densità energetica maggiore

Accumula più energia nello stesso volume, quindi l'unità è molto più compatta: entra dove un serbatoio non entra.

2

Perdite di stazionamento minori

Mantiene la carica a temperatura stabile, quindi disperde meno calore mentre attende di essere usato.

3

Risposta più rapida

Rilascia calore rapidamente quando l'edificio lo richiede, migliorando comfort e controllo.

4

Temperatura di uscita stabile

Il cambiamento di fase fornisce calore a temperatura quasi costante, ideale per il funzionamento della pompa.

5

Sicuro e pulito

Nessuna sostanza corrosiva o pericolosa: sicuro per persone e animali, facile da collocare in ambienti interni.

6

Vita lunga e duratura

Progettato per decine di migliaia di cicli; in HYSTORE il PCM è persino sostituibile per allungare la vita utile.

LE SOLUZIONI DI ACCUMULO PCM DI HYSTORE

HYSTORE (Horizon Europe, 18 partner, 4 impianti pilota) sta costruendo una famiglia di accumuli PCM compatti attorno alle pompe di calore, per riscaldamento e acqua calda.

ALL-IN-ONE PCM

Riscaldamento + ACS in un'unità

- Unità PCM modulare, 2-3 kW e 4-12 kWh
- Refrigerante naturale a basso GWP (propano, GWP=3)
- Cuore: scambiatore refrigerante-PCM-acqua

PCM RISCALDAMENTO

Edifici a prevalenza di riscaldamento

- Accumulo latente abbinato alla pompa di calore
- Circa 19 kWh, densità ~50 kWh/m³
- Aria o geotermico, nuovo o retrofit

PCM BASSA TEMP.

Riscaldamento a bassa temperatura, fino a 45 C

- Accumulo latente per sistemi a bassa temperatura
- In gran parte bio-based, componenti polimerici
- Design modulare per un'installazione facile

Fonte: Deliverable HYSTORE D1.2 e D3.2 (primo dispiegamento negli impianti pilota).

L'IMPATTO A CUI PUNTA HYSTORE

Rispetto a un serbatoio ad acqua tradizionale, le unità PCM di HYSTORE puntano a cambiare i numeri che contano in cantiere.

+120%

Densità energetica

molto più accumulo nello stesso
ingombro

-50%

CAPEX

costo d'investimento più basso per
unità di accumulo

=

Competitivo con le batterie

compete con le batterie per
l'autoconsumo FV

Inoltre: installazione più semplice, unità modulari pensate per un montaggio rapido e adatto al retrofit.

CASO STUDIO: UNA CASA CON FV SUL TETTO

Una casa unifamiliare simulata con pompa di calore e FV sul tetto: serbatoio ad acqua vs batteria per usare di più il solare. Stessa domanda, numeri reali.

Il contesto: Casa di 138 m², 4 persone, pompa di calore geotermica, 5,2 kWp di FV sul tetto (Svezia).

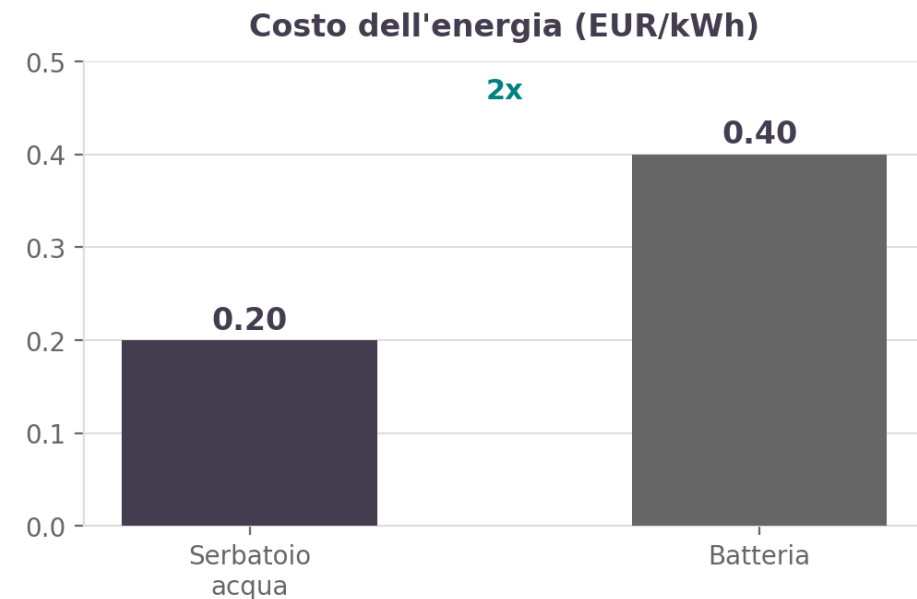
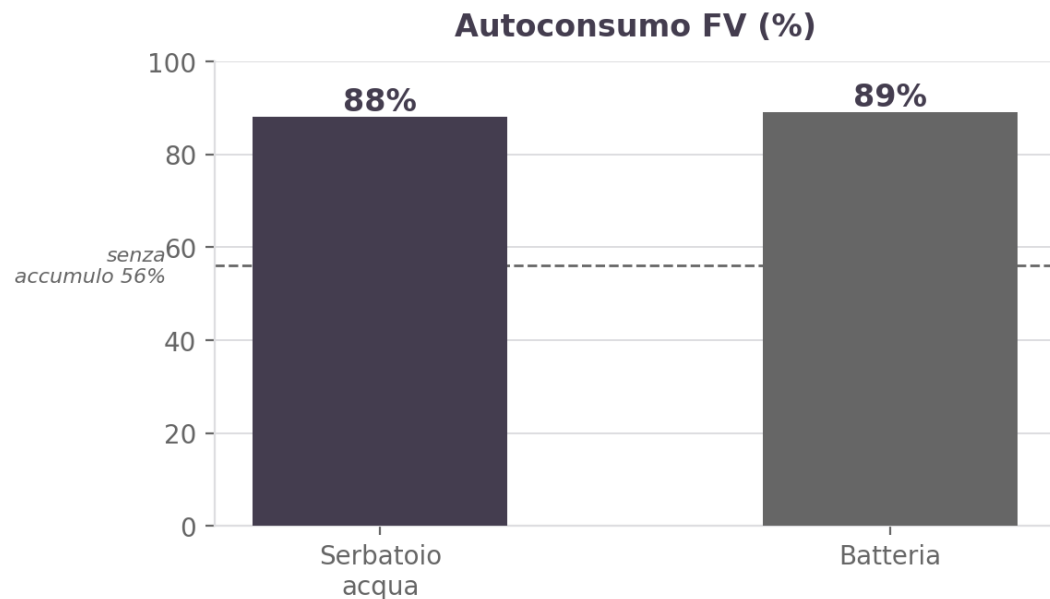
	Serbatoio acqua	Accumulo PCM	Batteria
Autoconsumo FV	88%	~88% (come acqua)	89%
Costo dell'energia (LCOE)	0,20 EUR/kWh	basso	0,40 EUR/kWh
Spazio a parità di capacità	1 m ³ (ingombrante)	~0,5 m ³ (metà)	Compatta
Investimento	Il più basso	Medio	~2x il serbatoio
Redditività (studio)	La più conveniente	n/d	Non redditizia

Il punto chiave: la batteria raggiunge l'89% di autoconsumo, ma un semplice serbatoio ad acqua arriva all'88% a metà del costo. Il PCM eguaglia il serbatoio nello stesso ruolo, in metà volume.

Fonte: Thygesen e Karlsson (2014), Solar Energy 103 (acqua vs batteria; lo studio riporta l'LCOE, non il ritorno in anni). Volume e densità del PCM dai Deliverable HYSTORE D1.2 / D7.2; autoconsumo e redditività del PCM non coperti dallo studio (n/d).

IL CASO STUDIO IN UN'IMMAGINE

Per la stessa casa, accumulare il solare come calore in un serbatoio ad acqua quasi eguaglia una batteria per l'autoconsumo, a metà del costo.



Il punto: la batteria arriva all'89% e il serbatoio all'88%, ma il costo per kWh della batteria è il doppio. Il PCM svolge il lavoro del serbatoio in metà dello spazio.

ACQUA, PCM O BATTERIA PER IL FV?

Se l'obiettivo è usare di più la propria energia solare, le tre opzioni si comportano in modo molto diverso.

	Serbatoio acqua	Accumulo PCM	Batteria
Spazio richiesto	● Ingombrante	● Compatto	● Compatto
Costo iniziale	● Il più basso	● Medio	● Il più alto per kWh
Perdite a riposo	● Alte	● Basse	● Molto basse
Aumenta autoconsumo FV	● Sì, per calore	● Sì, per calore	● Sì, ogni carico
Durata	● Molto lunga	● Decine di migliaia di cicli	● Degrada negli anni
Accumula...	● Solo calore	● Solo calore	● Elettricità

● Forte
 ● Discreto / dipende
 ● Debole

QUALE E QUANDO? GUIDA PER L'INSTALLATORE

Non c'è un vincitore unico: l'accumulo giusto dipende dall'edificio, dallo spazio e dall'obiettivo.

Serbatoio acqua

- C'è spazio disponibile
- La priorità è il budget
- Solo calore / acqua calda
- Semplice, collaudato, basso rischio

Accumulo PCM

- Spazio ridotto o retrofit
- Riscaldamento e acqua calda
- Più autoconsumo per m3
- Serve temperatura stabile

Batteria

- Servono carichi elettrici o backup
- Flessibilità di tutta la casa
- Si accetta un costo più alto
- Meglio insieme, non al posto

Idea chiave: per spostare calore e aumentare l'autoconsumo FV, l'accumulo termico è di solito più economico per kWh di una batteria: funzionano meglio insieme, non in competizione.

04

UTILIZZARE UN EDIFICIO COME BATTERIA?

Caso studio: sede HiRef S.p.A. (area uffici)

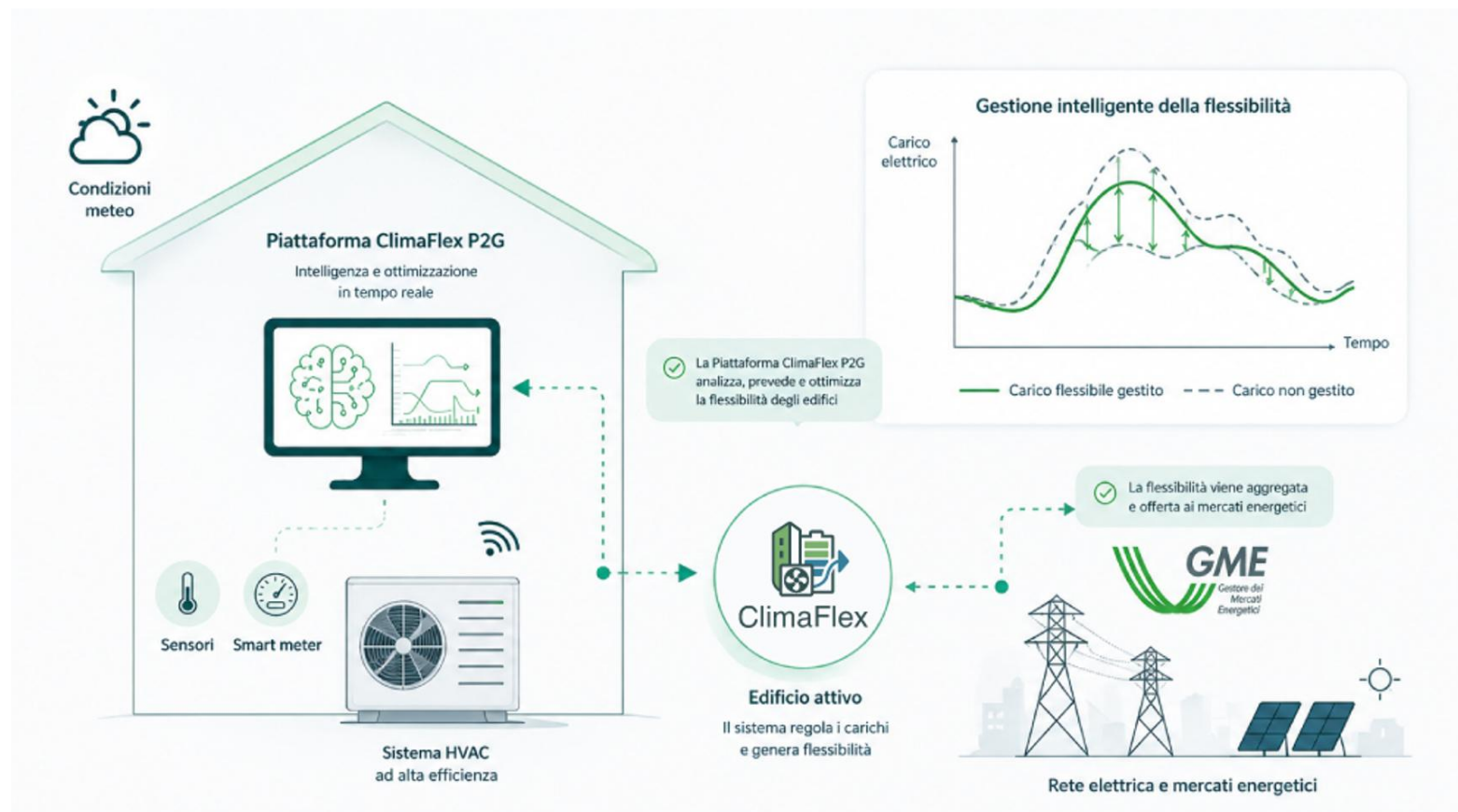
Modello dell'edificio, calibrazione e baseline

Prontezza tecnologica: Smart Readiness Indicator (SRI)

Eventi di flessibilità: modulazione al rialzo dei set-point

IL PROGETTO CLIMAFLEX

Il progetto affronta le barriere tecniche e normative che impediscono ai sistemi HVAC di partecipare ai **mercati della flessibilità** e ne sviluppa delle **tecnologie abilitanti**.



CHiRef

REM
RESEARCH TO MARKET
SOLUTION

MiPU



OBIETTIVO DEL LAVORO

Diagnosi energetica (UNI CEI EN 16247)

Quanta energia consuma l'edificio, e dove?



Flexibility Audit (questo lavoro)

Quanto consumo elettrico si può spostare nel tempo, e a quale costo?

Applicato all'edificio pilota HiRef (uffici) del progetto ClimaFlex, con quattro obiettivi:

1

Prontezza tecnologica

Smart Readiness Indicator (SRI) e classe BACS, prima e dopo l'intervento ClimaFlex

2

Capacità di flessibilità

energia e potenza spostate agendo sui set-point di riscaldamento / raffrescamento, con la massa termica come accumulo

3

Effetti degli eventi

energia recuperata dopo l'evento, efficienza della pompa di calore, consumo totale, comfort termico

4

Valore economico

risparmi con lo schema di remunerazione del mercato locale della flessibilità e condizioni di accesso

SEDE HIREF S.P.A. (AREA UFFICI)

1 Raccolta dati

4

3

4

5

6

7



Sede HiRef, Tribano (Padova), inaugurata a maggio 2025.

Palazzina uffici di circa 1800 m² su tre piani; il capannone industriale adiacente è escluso dall'analisi.

Zona climatica E: circa 2380 gradi giorno [K·giorno].

1125 m²

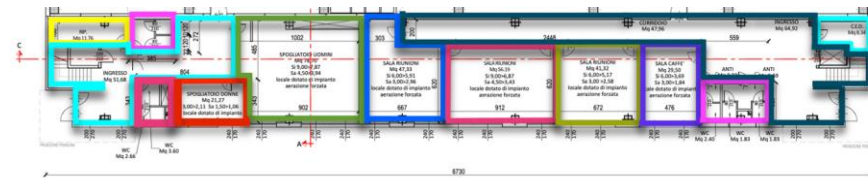
superficie climatizzata
(19 di 29 zone termiche)

132 / 158 kW

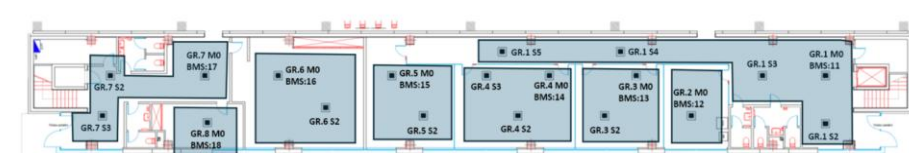
pompa di calore aria-acqua (NPA131),
potenza in riscaldamento /
raffrescamento

Modello dinamico dell'edificio (TRNSYS)

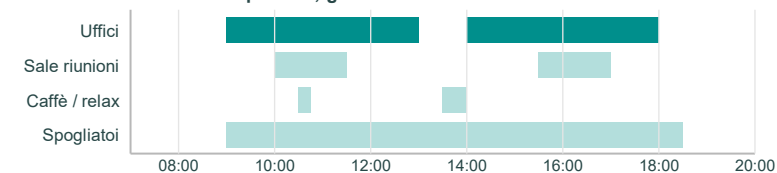
Zone termiche, piano terra:



Ventilconvettori, piano terra:



Profili di occupazione, giorni feriali



Riscaldamento / raffreddamento, giorni feriali (fuori orario: 14 °C / 30 °C)



CALIBRAZIONE E BASELINE

1

2 Modello dinamico

3

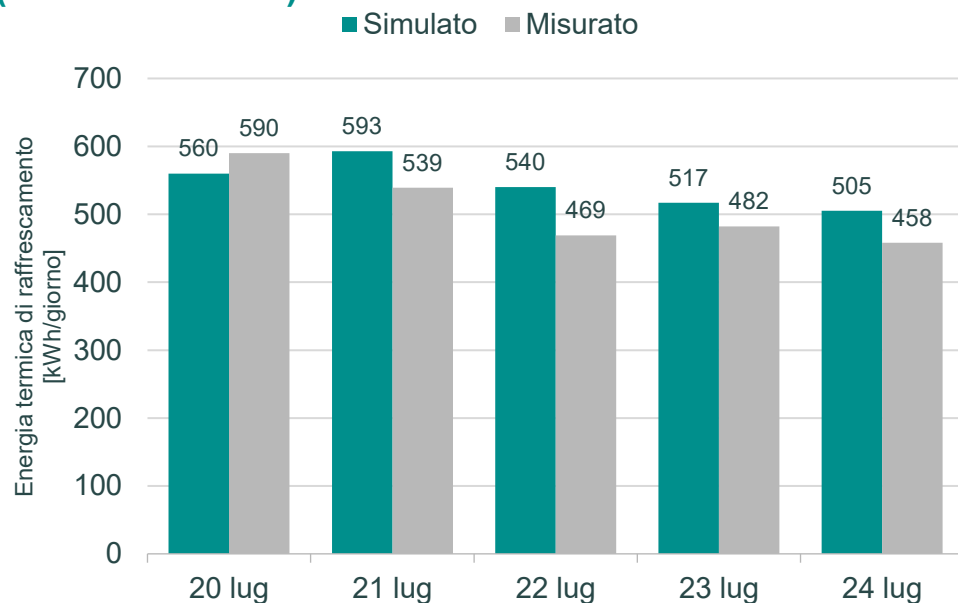
4

5

6

7

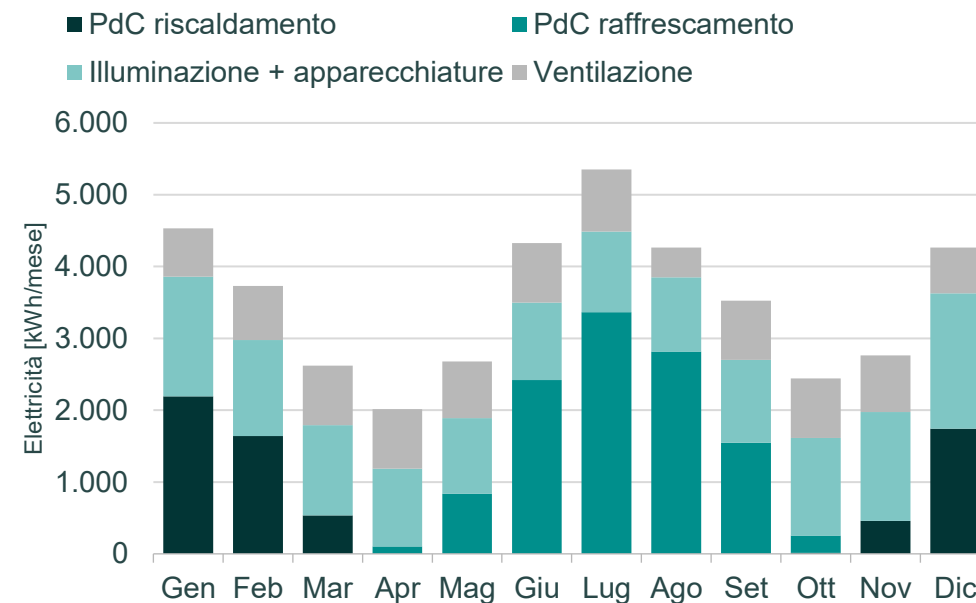
Settimana di calibrazione 20-24 luglio 2026 (raffrescamento)



Scostamento medio giornaliero: 7,6 %

sotto la soglia del 10 % adottata; TRNSYS, 29 zone termiche, passo di 15 min

Anno simulato: consumi elettrici mensili



42,5 MWh

17,9 MWh

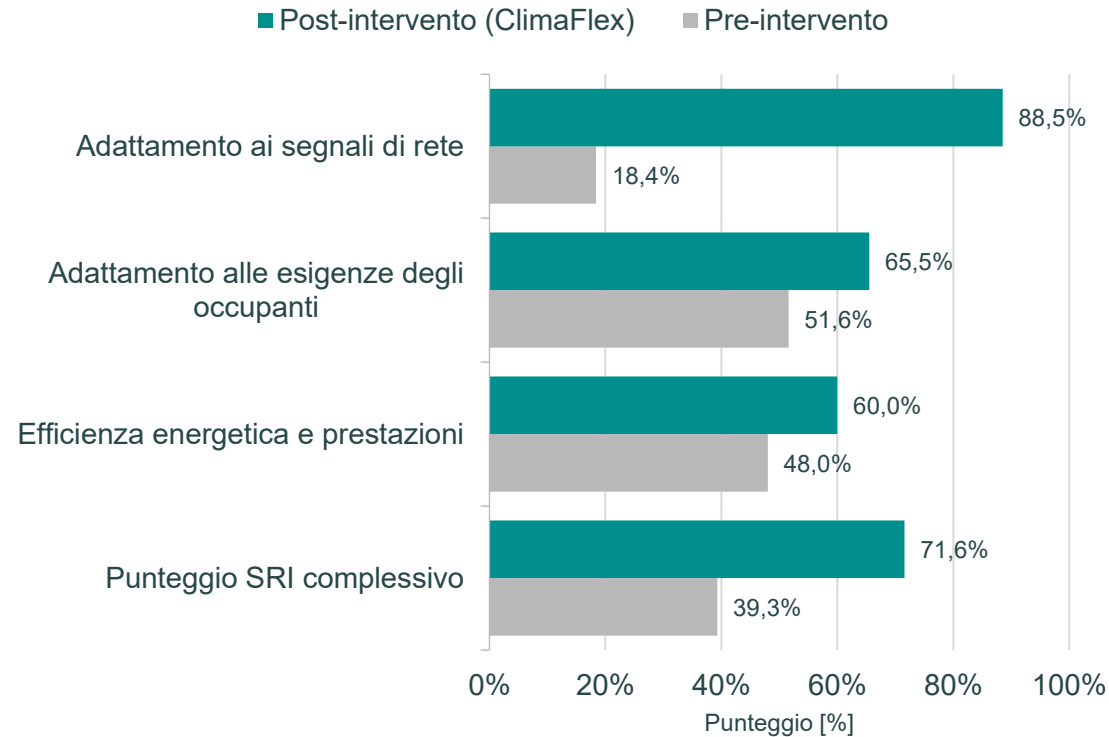
14,4 / 33,9

**elettricità totale annua pompa di calore
(42 %)**

**fabbisogno risc. / raffr.
[kWh/(m²·anno)]**

SMART READINESS INDICATOR (SRI)

1 2 **3 Prontezza tecnologica** 4 5 6 7



Classe globale SRI



Classe E

Classe E → C

Smart Readiness Indicator (SRI)
39,3 % → 71,6 %

Classe globale SRI



Classe C

MODULAZIONE AL RIALZO DEI SET-POINT

1

2

3

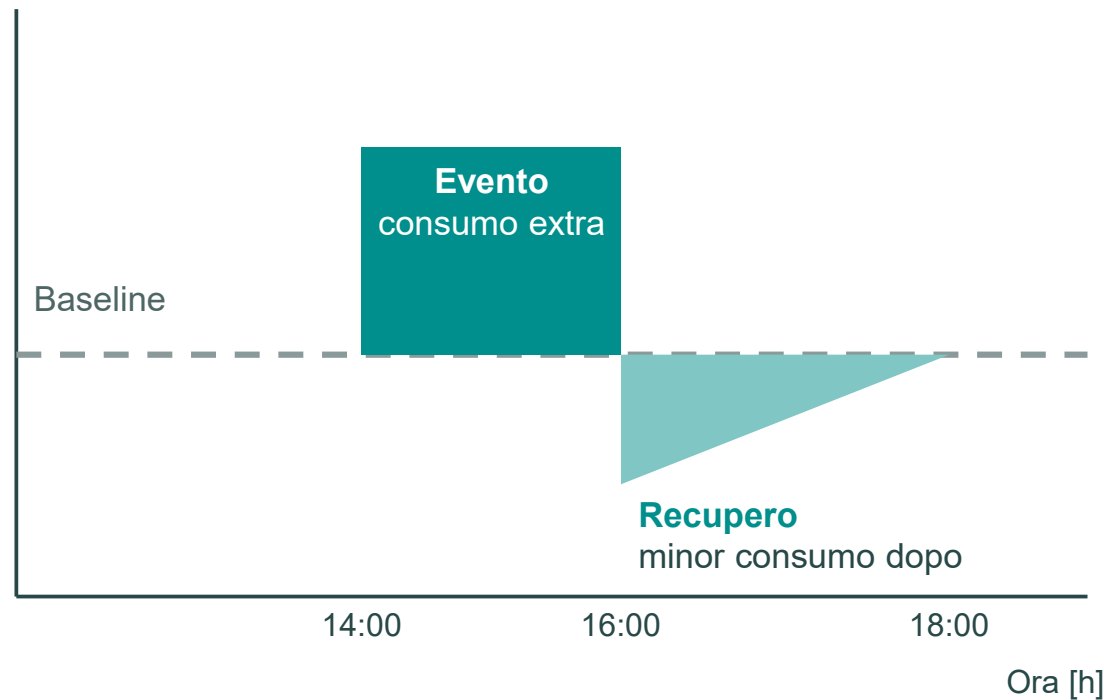
4 Progettazione eventi

5

6

7

Potenza PdC [kW]



Finestra dell'evento 14:00-16:00 in ogni giorno lavorativo: il set-point di riscaldamento viene alzato, o quello di raffrescamento abbassato, secondo lo scenario.

Set-point [°C]	Baseline	Scen. A	Scen. B
Riscaldamento	20	22	24
Raffrescamento	26,5	25	23,5

Due scenari

A (moderato): +2 K riscaldamento, -1,5 K raffrescamento

B (spinto): +4 K riscaldamento, -3 K raffrescamento

La massa termica dell'edificio è l'unico accumulo considerato.

05

RISULTATI E CONCLUSIONI

Energia assorbita durante gli eventi

Valore economico della flessibilità

Conclusioni

ENERGIA ASSORBITA DURANTE GLI EVENTI

1

2

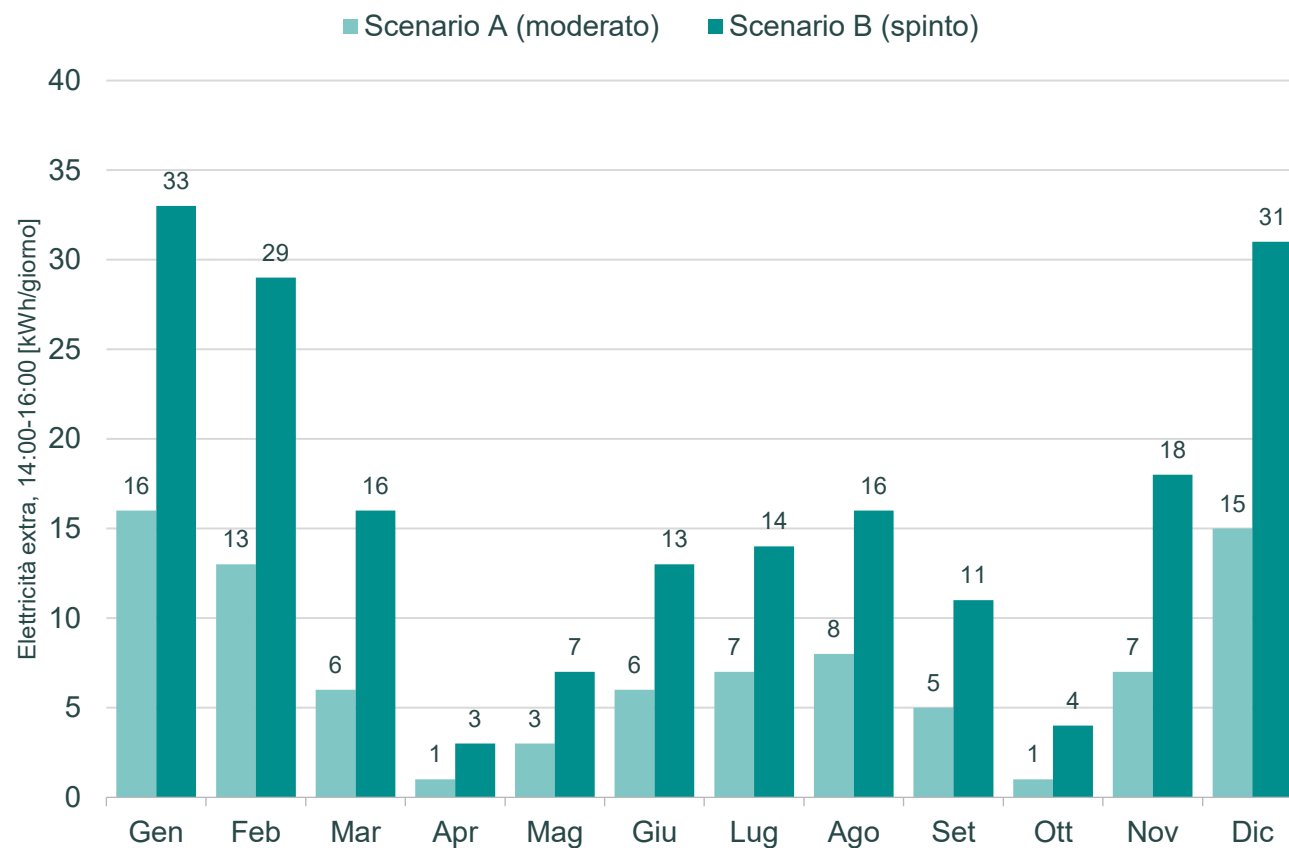
3

4

5 Calcolo dei KPI

6

7



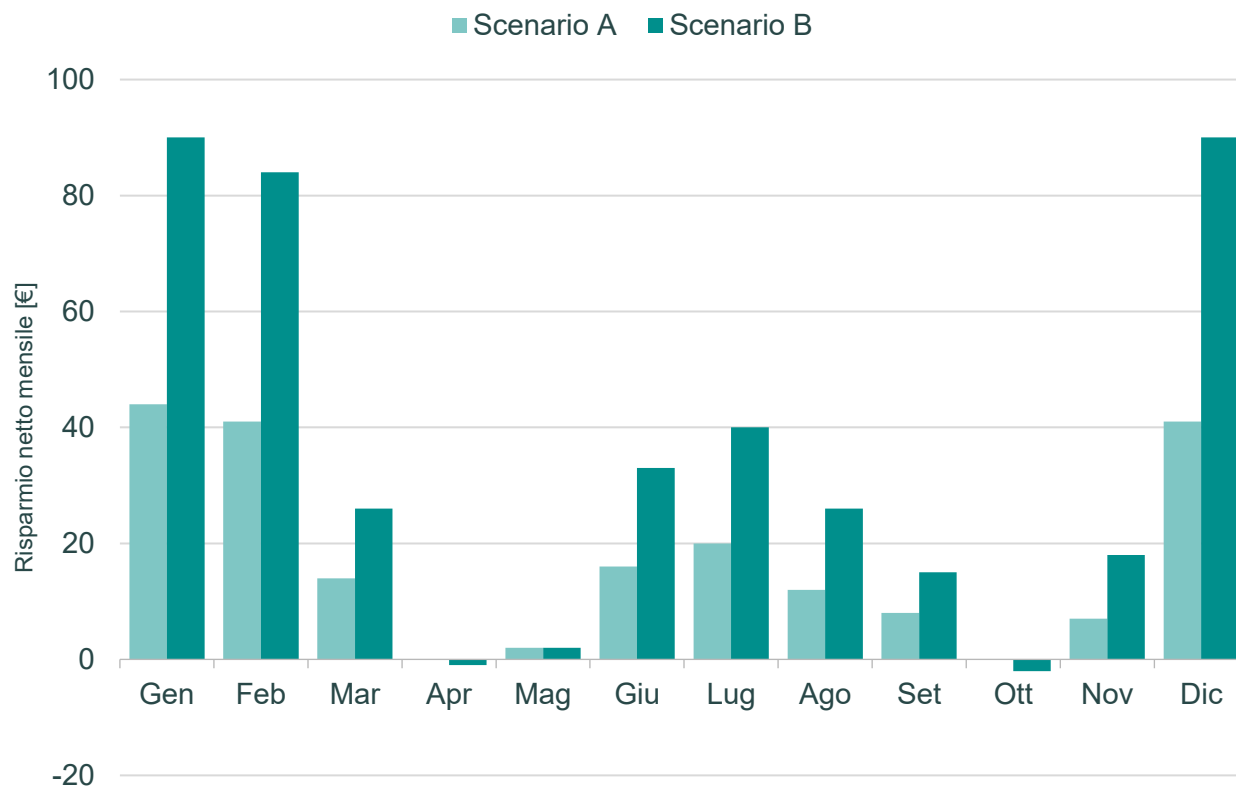
Media mensile dell'elettricità extra della pompa di calore per giorno di evento (giorni lavorativi, 14:00-16:00).

+4 % / +11 %

consumo totale della pompa di calore
(+754 / +1880 kWh all'anno)

VALORE ECONOMICO DELLA FLESSIBILITÀ

1 2 3 4 5 **6 Comfort ed economia** 7



Ipotesi: elettricità 0,28 €/kWh; attivazione UVAL 0,195 €/kWh; disponibilità 2,2 €/kW al mese.

Bilancio annuo [€/anno]	Scen. A	Scen. B
Costo elettricità extra	211	526
Ricavi flessibilità	418	947
Risparmio netto	206	421
Risparmio vs costo baseline	4 %	9 %

QUATTRO COSE DA PORTARE A CASA

- 1 La **pompa di calore ha bisogno di accumulo** e controllo intelligente per dare flessibilità, risparmio e autoconsumo FV.
- 2 L'**accumulo PCM è compatto**, a basse perdite e duraturo: una vera alternativa al serbatoio ad acqua, in metà dello spazio. Potrebbe permettere un'**importante penetrazione delle pompe di calore** per il riscaldamento domestico.
- 3 Scegliete per edificio e obiettivo: **accumulo termico per il calore, batterie per l'elettricità**, spesso entrambi.
- 4 **Anche la massa inerziale dell'edificio può essere usato come accumulo per fornire flessibilità.** Nel caso ad uso uffici esaminato, il risparmio netto è rispettivamente di 206 (4 %) – 421 (9 %) €/anno nei due scenari.

CONTATTI

simone.buffa@r2msolution.com

E-mail:

info@climaflex.it

Website:

www.climaflex.it



Pagina LinkedIn

[@climaflex-progetto/](https://www.linkedin.com/company/climaflex-progetto/)



GRAZIE PER L'ATTENZIONE!



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



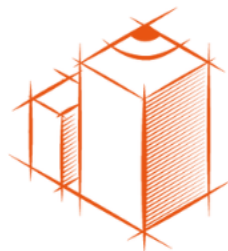
MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA SICUREZZA ENERGETICA



HYSTORE ha ricevuto finanziamenti dal programma Horizon Europe dell'Unione Europea, Grant Agreement n. 101096789. Le opinioni espresse sono solo degli autori.

Contatto: www.hystore-project.eu





PROSPECTA
FORMAZIONE
Alta formazione Architetti Ingegneri Geometri



network per l'edilizia e l'architettura

WWW.PROSPECTAFORMAZIONE.IT