

Ricerca di Sistema elettrico



**Analisi di soluzioni tecnologiche innovative per la
riduzione dei consumi elettrici degli edifici nelle
piccole isole non connesse al sistema elettrico
nazionale (LA4.12)**

F. Baldi, B. Di Pietra, S. Beozzo, P. Sdringola, A. Di Sarra,
F. Monteleone, D. M. Sferlazzo, F. Anello

LA4.12 Analisi di soluzioni tecnologiche innovative per la riduzione dei consumi elettrici degli edifici nelle piccole isole non connesse al sistema elettrico nazionale

F. Baldi, B. Di Pietra, S. Beozzo, P. Sdringola, A. Di Sarra, F. Monteleone, D. M. Sferlazzo, F. Anello (ENEA)

Con il contributo di: G. Puglisi, M. Benedetti, A. Ciappa, F. Erice, D. Meloni, G. Pace, S. Piacentio (ENEA)

Giugno 2023

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - ENEA
Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: Decarbonizzazione

Progetto: 1.5. Edifici ad alta efficienza per la transizione energetica

Linea di attività: 4.12

Responsabile del Progetto: Giovanni Puglisi, ENEA

Responsabile del Work Package: Biagio di Pietra, ENEA

Responsabile Linea di Attività: ENEA

Mese inizio previsto: gennaio 2022

Mese inizio effettivo: giugno 2023

Mese fine previsto: gennaio 2022

Mese fine effettivo: giugno 2023

Indice

1	RISULTATI ATTESI	3
2	RISULTATI OTTENUTI.....	5
3	PRODOTTI ATTESI.....	8
4	PRODOTTI SVILUPPATI	8
5	ANALISI DEGLI SCOSTAMENTI SU ATTIVITÀ E RISULTATI.....	9
6	SINTESI DELLE ATTIVITÀ SVOLTE.....	10
7	DETTAGLIO DELLE ATTIVITÀ SVOLTE.....	11
8	CONTRIBUTO DELLE EVENTUALI CONSULENZE ALLE ATTIVITÀ SOPRA DESCRITTE	40
9	PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE	40
10	EVENTI DI DISSEMINAZIONE.....	41

1 Risultati attesi

1) Produzione di acqua calda sanitaria da sistemi di cogenerazione a biogas di piccola taglia con l'impiego di biodigestori domestici

- Progettazione e realizzazione del nuovo sistema di acquisizione e controllo del microcogeneratore e caldaia a biogas comprensivo di sinottico per la visualizzazione dei flussi energetici in tempo reale.
- Caratterizzazione sperimentale del biodigestore per valutare la produzione di biogas, in termini di qualità e portata, in funzione dell'energia termica fornita a diverse temperature tramite piastra di basamento. Inoltre, con i risultati ottenuti sarà possibile fare una prima valutazione degli effetti prodotti dall'isolamento termico di uno dei due biodigestori presenti nell'impianto sperimentale.
- Definizione degli schemi e installazione dei nuovi componenti d'impianto (es. solare termico, FV con resistenza) per il recupero di energia termica necessaria a mantenere una temperatura ottimale del biodigestore durante la stagione invernale. Verranno condotte le prime prove con i nuovi componenti installati nel sistema integrato; i risultati completi verranno ottenuti con le ulteriori prove condotte nella stagione invernale della LA 4.13.
- Installazione del nuovo motore alimentato a biogas e conduzione delle prime prove per verificare il corretto funzionamento in assetto cogenerativo.
- Studio preliminare e screening delle soluzioni tecnologiche convenzionali ed innovative impiegabili nella realizzazione di sistemi scrubber per purificare e migliorare la qualità e quantità del biogas prodotto dal biodigestore tramite la rimozione di CO₂. Le soluzioni analizzate terranno conto dei dati caratteristici del biodigestore sperimentale e della necessità di incrementare l'efficienza del sistema integrato e di contenere i costi.

2) Nuovi sistemi ibridi ottimizzati per la produzione di acqua calda sanitaria e la climatizzazione degli ambienti in contesti isolani

- Ottimizzazione delle logiche di controllo dell'impianto ibrido installato all'Osservatorio Climatico ENEA di Lampedusa per massimizzare la produzione energetica complessiva (ACS e produzione elettrica da FV) e il risparmio ottenuto per il raffrescamento del locale (durante la stagione estiva) dal recupero dell'energia frigorifera prodotta dall'evaporatore della pompa di calore per ACS. I risultati completi verranno ottenuti a seguito delle ulteriori prove effettuate in regime estivo durante la linea di attività 4.13.
- Valutazione delle prestazioni specifiche dei supercondensatori adottati come sistema di accumulo nell'impianto ibrido installato presso l'Osservatorio Climatico di Lampedusa.
- Caratterizzazione energetica dei componenti che costituiscono il sistema ibrido sperimentale installato presso il C.R. ENEA di Casaccia: impianto termofotovoltaico – pompa di calore – inverter con accumulo a litio.

- Definizione e prima implementazione delle logiche che gestiscono il sistema installato presso il C.R. ENEA Casaccia per ottimizzare la produzione combinata del sistema termofotovoltaico (termico e elettrico) e massimizzare la produzione di ACS.
- Definizione degli schemi e analisi delle soluzioni per integrare gli scaldacqua elettrici e il relativo sistema di controllo ottimizzato negli impianti sperimentali di Lampedusa e del C.R. ENEA Casaccia.

3) Impatto della variabilità atmosferica sulla produzione elettrica da fotovoltaico

- Acquisizione di nuovi componenti e sviluppo di metodologie per uniformare la strumentazione installata nel precedente triennio nei tre siti pilota per permettere di quantificare e confrontare i parametri atmosferici che impattano sulla l'irradianza incidente e sulla produzione degli impianti fotovoltaici.
- Elaborazione dei dati ottenuti dalla campagna di misura dei parametri atmosferici effettuata nei tre siti pilota e prime correlazioni con i parametri di attenuazione della produzione degli impianti fotovoltaici.

2 Risultati ottenuti

1) Produzione di acqua calda sanitaria (ACS) da sistemi di cogenerazione a biogas di piccola taglia con l'impiego di biodigestori domestici

- Il nuovo sistema di acquisizione e controllo del micro-cogeneratore e caldaia a biogas è stato progettato e realizzato, permettendo così un continuo monitoraggio della produzione di biogas e un'adeguata raccolta dati durante le prove caldaia e motore. La presenza di un sistema di visualizzazione in tempo reale ha permesso di effettuare aggiustamenti sul posto durante le prove.
- È stata effettuata la caratterizzazione del biodigestore. Si è stimata la variazione della produzione di biogas, sia in quantità che in qualità, in funzione della temperatura interna del biodigestore; si è comunque potuto verificare che la produzione rimane significativa anche durante l'inverno, quando le condizioni sono più critiche. Le prove hanno inoltre evidenziato l'efficacia delle piastre di riscaldamento, che sono in grado di garantire il mantenimento della temperatura del biodigestore anche durante l'inverno, se alimentate in continuo.
- Sono stati definiti gli schemi di sistema ed è stata completata l'installazione di un impianto solare termico e un impianto fotovoltaico, entrambi basati su materiali di recupero, utili a fornire energia termica per il mantenimento in temperatura del biodigestore. Le prove hanno evidenziato che, durante le mezze stagioni, il contributo del solare (termico o fotovoltaico) è in grado di fornire un riscaldamento significativo, tale da aumentare la produzione di biogas, anche grazie all'elevata inerzia termica del biodigestore che contribuisce a smorzare le variazioni di temperatura.
- È stato effettuato uno studio preliminare di possibili soluzioni tecnologiche utili allo scopo di ridurre il contenuto di CO₂ nel biogas prodotto. Due tecnologie sono risultate essere le più promettenti: il lavaggio (scrubbing) con acqua ad alta pressione e la separazione a membrana. Entrambe le tecnologie rispettano in maniera sufficiente i requisiti di basso costo ed elevata semplicità. Il lavaggio con acqua ad alta pressione presenta tuttavia l'inconveniente della necessità di fornire acqua al processo, cosa non sempre facile nei contesti isolani; la tecnologia della separazione a membrana, invece, presenta la problematica di un flusso di scarto che contiene fino all'11% di CH₄: questo, oltre a rappresentare una perdita energetica, contribuisce al riscaldamento climatico.
- Sono state effettuate ulteriori prove di funzionamento del motore a combustione interna e della caldaia alimentate dal biogas prodotto dall'impianto, permettendo una migliore caratterizzazione di questi. Nel caso della caldaia questo ha permesso di avere un'indicazione più affidabile dell'intervallo di efficienza [30%-70%] e di identificare il fatto che essa è particolarmente influenzata dal fattore di carico e dalla durata del periodo di accensione: a periodi di accensione più lunghi sono, in generale, associate efficienze maggiori. Le prove effettuate con l'accensione del circuito utenza attivate da un timer hanno invece permesso di verificare il corretto funzionamento dell'impianto in condizioni di utilizzo realistiche. Infine, le nuove prove effettuate con il motore hanno nuovamente sottolineato la necessità di ricorrere a un modello più adatto alla combustione del biogas: l'efficienza termica misurata è compresa tra il 12% e il 23%, quella elettrica tra il 7% e il 13%, valori considerati decisamente migliorabili; ci si attende che il nuovo motore, che verrà installato e provato nella successiva fase del progetto (LA 4.13), possa migliorare sensibilmente tali efficienze.

2) Nuovi sistemi ibridi ottimizzati per la produzione di acqua calda sanitaria e la climatizzazione degli ambienti in contesti isolani

- É stata effettuata una caratterizzazione dell'efficienza di carica-scarica dei supercondensatori installati nell'impianto ibrido presso l'Osservatorio Climatico di Lampedusa. Sono state inoltre ottimizzate le logiche di controllo dell'impianto ibrido per massimizzare sia la produzione energetica complessiva (produzione di energia termica per ACS + produzione di energia elettrica da FV autoconsumata in sito + produzione di energia elettrica da FV immessa in rete) sia il ricavo economico totale. Sono state infine effettuate le prime prove di funzionamento del sistema con l'obiettivo di abbinare la produzione di ACS alla riduzione del fabbisogno di raffrescamento dell'ambiente, con lo scopo di estendere tale valutazione nelle attività previste all'interno della L.A. 4.13.
- Sono state valutate le prestazioni dei supercondensatori installati presso l'impianto ibrido dell'Osservatorio Climatico ENEA di Lampedusa. In base alle prove effettuate, rappresentative di un funzionamento reale, il rendimento di carica-scarica dei supercondensatori è stato valutato tra il 92% e il 94%, con un apparente leggero calo nelle prove in cui la profondità di scarica è maggiore. Questi risultati confermano la bontà di questi sistemi.
- É stata effettuata la caratterizzazione dei singoli componenti dell'impianto sperimentale del C.R. ENEEA di Casaccia. In particolare, sono state valutate la produttività e l'efficienza dei pannelli fototermici, dell'accumulo elettrico e dell'inverter
- Sono state implementate le logiche di controllo per la gestione del sistema che associa un impianto termofotovoltaico e una pompa di calore per la produzione di ACS, installato presso il C.R. di Casaccia. La logica scelta prevede di modificare la temperatura di *setpoint* della pompa di calore in funzione dell'intensità della radiazione solare, misurata da un piranometro. La produzione dell'impianto termofotovoltaico è invece controllata in modo che la pompa di circolazione dell'impianto solare termico entri in funzione quando la differenza tra la temperatura del fluido in uscita dalla stringa solare termica e quella nel serbatoio di accumulo integrato nella pompa di calore supera un valore prestabilito.
- Sono stati definiti gli schemi per l'integrazione di scaldacqua elettrici nell'impianto del C.R. di Casaccia. La configurazione scelta prevede la sostituzione della pompa di calore attualmente installata con uno scaldacqua elettrico. Nell'impianto di Lampedusa, invece, si è deciso di utilizzare la configurazione esistente che già contiene uno scaldacqua elettrico nel laboratorio. Questo permetterà di verificare le prestazioni del sistema nelle condizioni in cui lo scaldacqua assume la funzione di accumulo termico per fotovoltaico, accumulo termico di rete (*stand-alone*), e accumulo termico di rete con solare termico.

3) Impatto della variabilità atmosferica sulla produzione elettrica da fotovoltaico

- Sono stati acquisiti e installati dei sistemi di monitoraggio uniformi, basati su due pannelli fotovoltaici da 100 W, un sistema di acquisizione della corrente di corto circuito e della temperatura dei pannelli, nei tre siti di riferimento (Roma, Madonie, Lampedusa). L'uniformazione della strumentazione, rispetto alle situazioni dei trienni precedenti, permette una migliore confrontabilità delle analisi.
- Le misure effettuate presso l'impianto di Roma hanno permesso di verificare l'impatto dell'inquinamento atmosferico, elevato nei pressi di un grande centro urbano, che porta ad indici di *soiling* medi dell'1.5%, con picchi del 3.5%. Le misure effettuate presso l'impianto di Lampedusa hanno evidenziato l'elevato impatto del particolato naturale, principalmente della sabbia del Sahara trasportata dal vento, che porta all'ottenimento di indici di *soiling* con picchi fino all'8%. Presso il sito

delle Madonie sono stati acquisiti i primi dati climatici utili alla correlazione con gli indici di *soiling*, con particolare riferimento ai dati relativi alle precipitazioni.

Beneficio per il sistema elettrico nazionale e i suoi utenti

Il vero impatto delle attività proposte sarà raggiunto alla conclusione del triennio di attività, quindi a termine della LA 4.13. Le soluzioni analizzate nella LA 4.12 (produzione di ACS a partire da biogas prodotto localmente, nuovi sistemi ibridi ottimizzati per la produzione di ACS e la climatizzazione degli ambienti in contesti isolani), una volta raggiunta una sufficiente diffusione sul territorio, possono contribuire a ridurre sensibilmente i consumi di energia elettrica delle isole minori relativi alla produzione di acqua calda sanitaria, facilitare la diffusione di energie rinnovabili e, di conseguenza, di ridurre l'impatto ambientale del sistema elettrico.

3 Prodotti attesi

Report dettagliato, contenente la descrizione delle attività condotte e dei risultati ottenuti

4 Prodotti sviluppati

Rapporto tecnico comprendente la descrizione dettagliata delle attività condotte e dei risultati ottenuti, in aderenza agli obiettivi dichiarati, allegato al presente documento. (nome file: "ENEA22_24-PR 1.5_LA4.12_087 _ALLEGATO" *inserito come allegato aggiuntivo*).

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

5.1 Scostamento economico

Scostamento costi per strumenti e attrezzature: 1654,76 €

I nuovi acquisti, previsti nel secondo semestre del 2023, sono stati spostati nei mesi successivi, per ritardo nell'approvvigionamento degli strumenti e delle attrezzature. Lo spostamento non ha comportato modifiche alle attività della LA 4.12, in quanto gli stessi acquisti sono funzionali alle attività della LA 4.13.

In particolare, l'acquisto del nuovo motore, previsto nel secondo semestre del 2023, è stato spostato nei successivi mesi; si è ritenuto necessario effettuare una nuova campagna di prove con il motore utilizzato nel precedente triennio, al fine di valutare al meglio l'efficienza del micro-cogeneratore esistente e di identificare in modo più preciso il nuovo modello da acquistare. L'acquisto del motore nella LA 4.13 permetterà di effettuare tutte le prove previste dalla stessa linea di attività.

Scostamento costi di esercizio: 13.537,92 €

Lo scostamento economico è dovuto ad un costo inferiore delle spese di viaggio sostenuto per le missioni rispetto ai costi preventivati.

Inoltre:

- è stato possibile partecipare ad un workshop internazionale e presentare una memoria sulle attività della LA 4.12 senza sostenere il costo di iscrizione previsto.
- non è stato sostenuto il costo previsto per trasferire il biodigestore e i relativi componenti d'impianto dalla sede ENEA di Bologna all'impianto sperimentale in provincia di Trapani; in quest'ultimo sito è stato reso disponibile, da parte della startup che lo gestisce, un secondo biodigestore per effettuare le prove di caratterizzazione previste dalla LA 4.12

6 Sintesi delle attività svolte

- Aggiornamento dell'impianto sperimentale biogas e del relativo sistema di acquisizione dati
- Caratterizzazione sperimentale del biodigestore
- Definizione dell'impianto biogas definitivo e installazione del solare termico e fotovoltaico
- Caratterizzazione avanzata del sistema di produzione di ACS da biogas
- Studio di soluzioni per l'incremento del tenore di metano nel biogas prodotto
- Definizione degli schemi per l'installazione e il controllo degli scaldi-acqua elettrici presso i C.R. di Lampedusa e Casaccia
- Caratterizzazione dell'impianto sperimentale del C.R. di Casaccia
- Definizione e prima implementazione delle logiche di controllo per una gestione ottimale dell'impianto termofotovoltaico del C.R. di Casaccia
- Ottimizzazione delle logiche di controllo per il sistema ibrido installato presso il C.R. di Lampedusa
- Acquisizione componenti per la quantificazione dell'impatto degli agenti atmosferici sulla produzione di impianti fotovoltaici ed elaborazione dei dati raccolti

7 Dettaglio delle attività svolte

Nota: per ulteriori dettagli e approfondimenti relativi alle attività svolte, si può fare riferimento al rapporto tecnico esteso allegato (nome file: "ENEA22_24-PR 1.5_LA4.12_087_ALLEGATO")

7.1 *Produzione di acqua calda sanitaria da sistemi integrati con l'impiego di biodigestori domestici*

7.1.1 *Progettazione e realizzazione del nuovo sistema*

Le attività svolte nel precedente triennio hanno evidenziato la necessità di modificare l'impianto sperimentale installato presso la sede de I Nuovi Mille, in modo da renderlo più adatto a un monitoraggio continuo ed efficace della produzione di biogas, a verificare l'effetto di alcuni specifici accorgimenti tecnici volti a mantenere una temperatura sufficientemente elevata all'interno del biodigestore, e a valutare l'uso di sistemi di utilizzo del biogas più avanzati. Durante la prima parte del progetto RdS 2022-2024 è stato quindi effettuato un upgrade dell'impianto, che ha previsto: un completo ripensamento del sistema di acquisizione dati; l'installazione di un nuovo biodigestore e di una nuova sacca di accumulo. Il diagramma P&I del sistema completo è rappresentato in Figura 1, mentre in Figura 2 e Figura 3 sono presentati degli ingrandimenti del sistema di generazione e utilizzo del biogas, rispettivamente. A rappresentazione del lavoro relativo al sistema di controllo, in Figura 4 è rappresentato il datalogger CR6 con i relativi collegamenti analogici e seriali, mentre in Figura 5 è mostrato il timer per il controllo automatico dell'accensione del consumo di acqua calda sanitaria

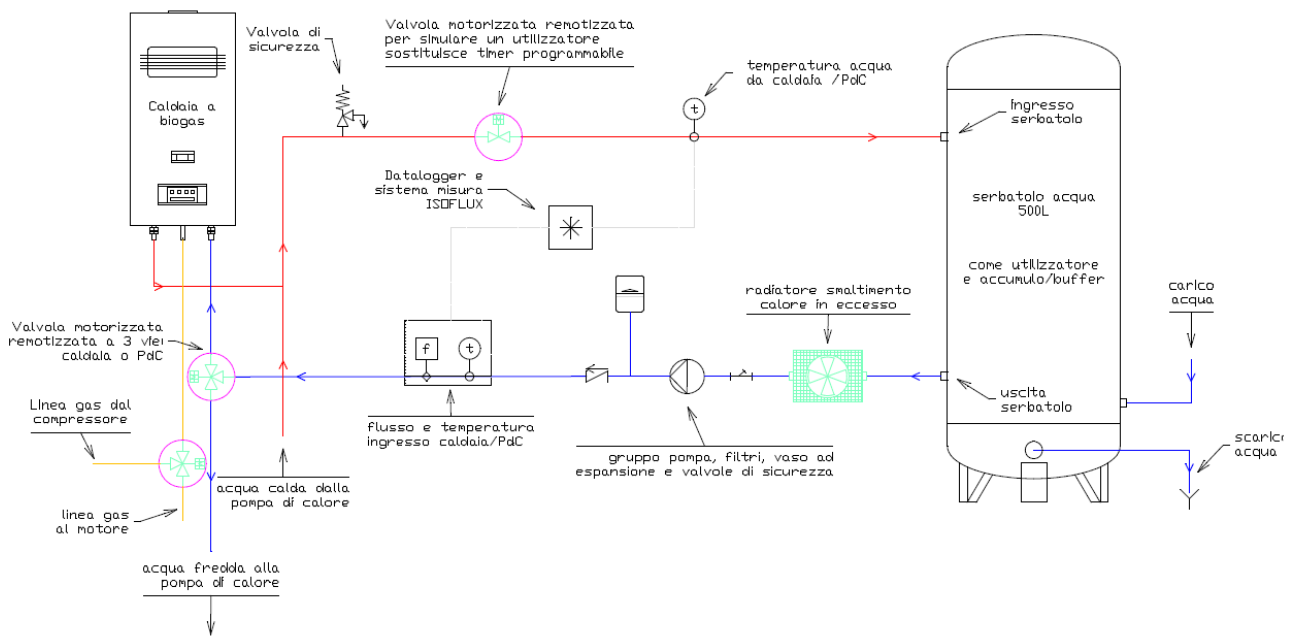


Figura 2. Ingrandimento del diagramma P&I relativo al sottosistema di utilizzo del biogas per la produzione di acqua calda sanitaria tramite caldaia

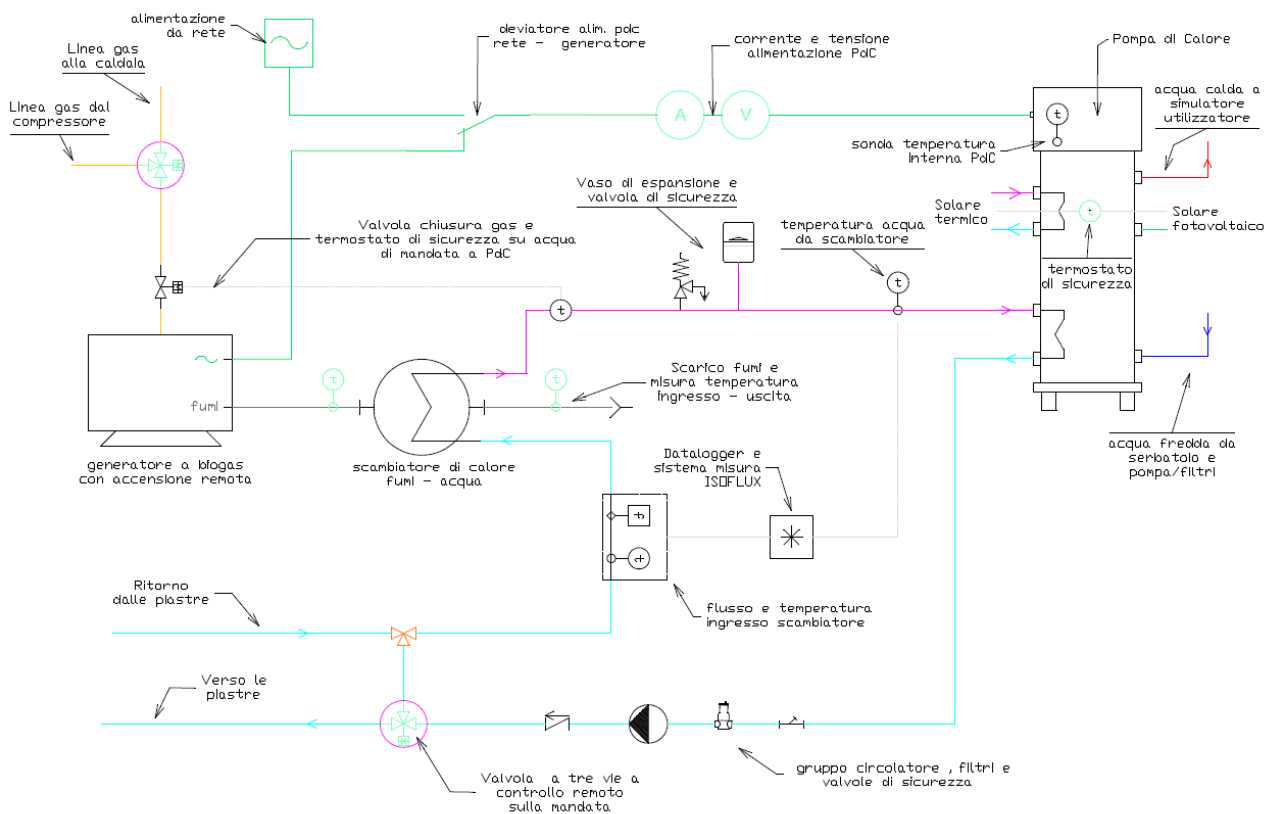


Figura 3. Ingrandimento del diagramma P&I relativo al sottosistema di utilizzo del biogas per la produzione di acqua calda sanitaria tramite pompa di calore

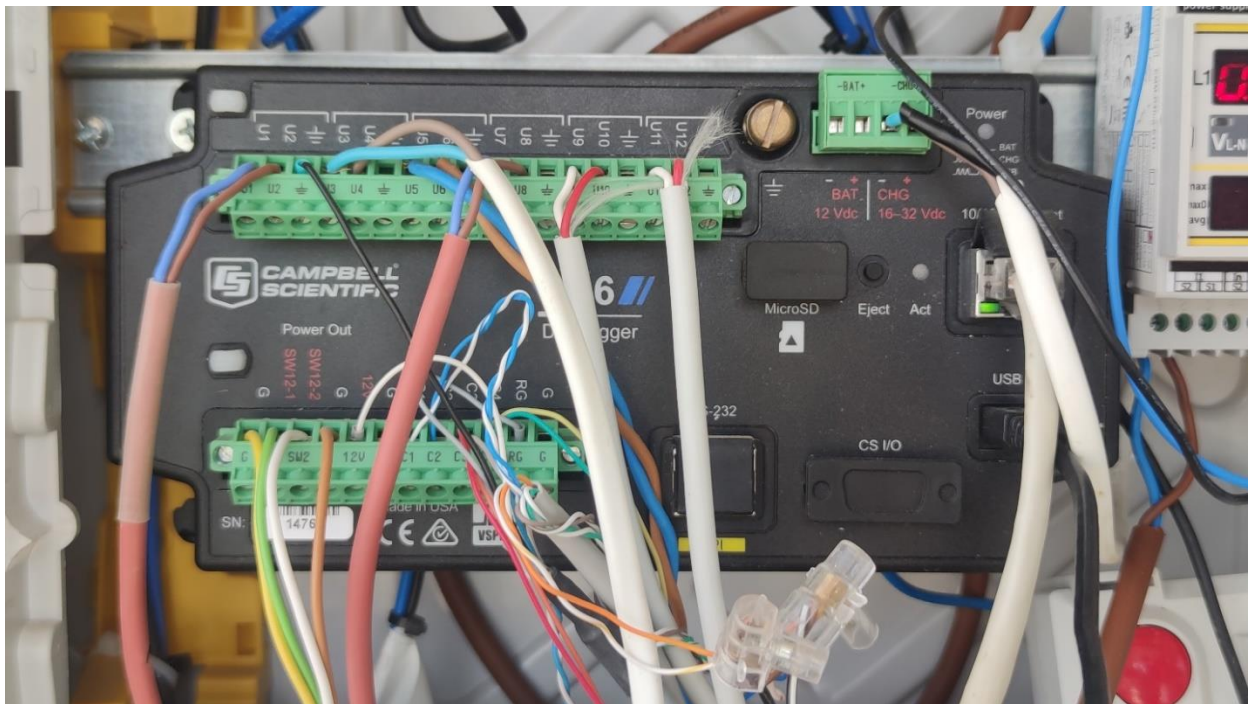


Figura 4. Datalogger CR6 con collegamenti analogici e seriali

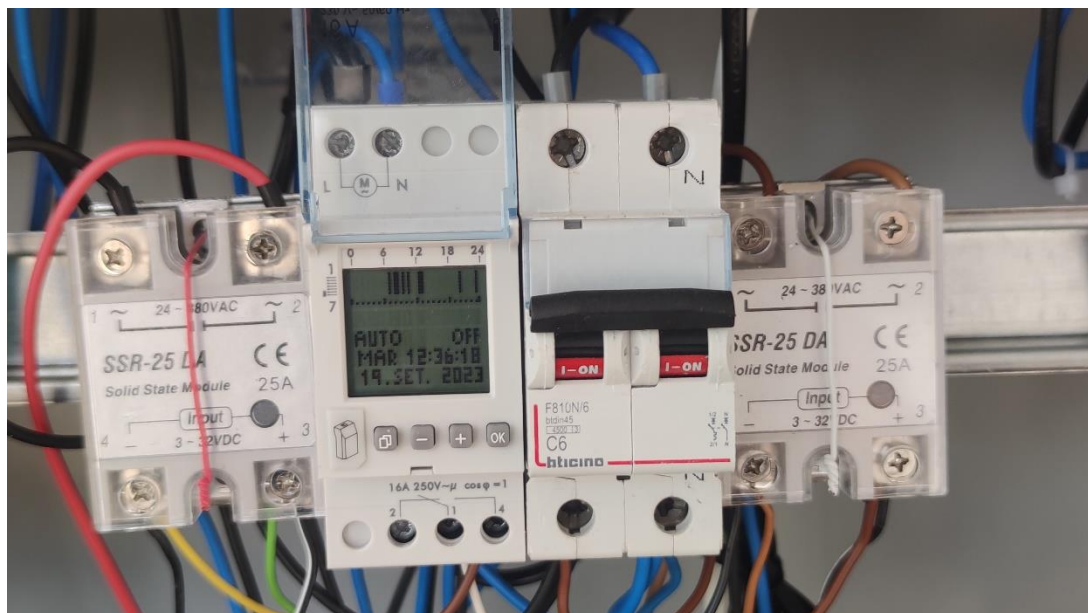


Figura 5. Orologio con relè per simulazione utilizzatore

7.1.2 Definizione degli schemi e installazione dei nuovi componenti d'impianto per il recupero di energia termica

Vista l'elevata influenza della temperatura del biodigestore sulla sua produttività di biogas, si sono volute valutare alcune possibili soluzioni al fine di mantenere la temperatura all'interno del biodigestore sufficientemente elevata, soprattutto durante la stagione invernale. Per questo, sono state installati un impianto solare termico (Figura 6) e un impianto solare fotovoltaico (Figura 7): il primo collegato all'accumulo della pompa di calore tramite uno scambiatore, il secondo tramite una resistenza. La soluzione impiantistica adottata è mostrata con maggiore dettaglio in Figura 8. Il nuovo impianto di monitoraggio ha permesso di

verificare l'andamento della temperatura all'interno dei biodigestori e quantificare il calore fornito dalle piastre di riscaldamento, come mostrato in Figura 9.



Figura 6. Impianto solare termico di recupero installato presso l'impianto sperimentale de i Nuovi Mille per il riscaldamento dei biodigestori



Figura 7. Impianto solare fotovoltaico di recupero installato presso l'impianto sperimentale de i Nuovi Mille per il riscaldamento dei biodigestori

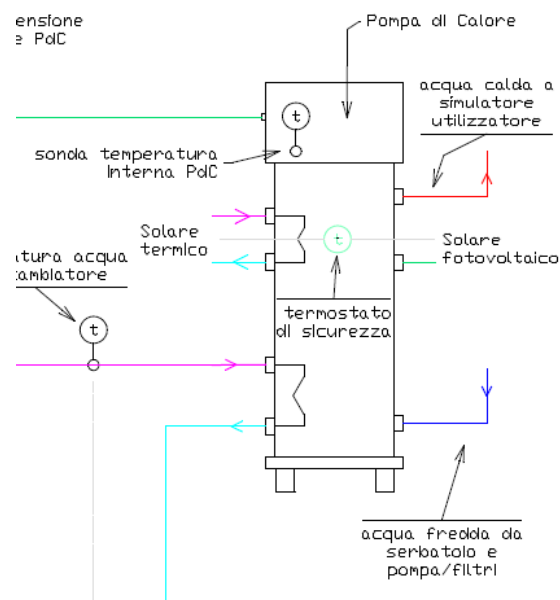


Figura 8. Dettaglio del diagramma P&I dell'impianto sperimentale de i Nuovi Mille. Dettaglio delle connessioni del solare termico e fotovoltaico

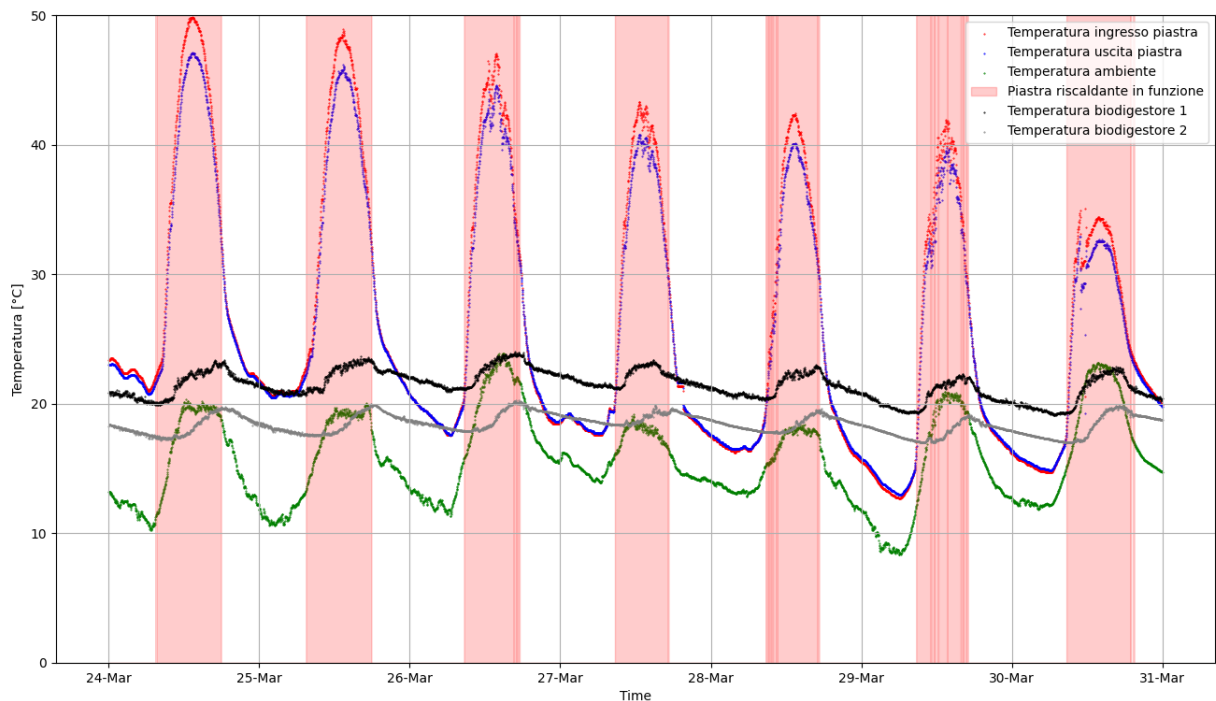


Figura 9. Esempio di analisi dei dati riguardanti il riscaldamento del biodigestore utilizzando energia solare

7.1.3 Caratterizzazione sperimentale del sistema biodigestore-generatore

Il nuovo impianto di acquisizione e gestione dati, insieme all'aggiunta di un secondo biodigestore all'impianto, ha permesso un efficace monitoraggio della produzione di biogas da parte dei biodigestori. In particolare, è stata confermata la rilevanza del parametro temperatura di processo del sistema. La produzione giornaliera di biogas è risultata comunque soddisfacente, con valori (cumulati sui due biodigestori) che oscillano tra i 200 e i 1200 litri al giorno, come mostrato in Figura 12.

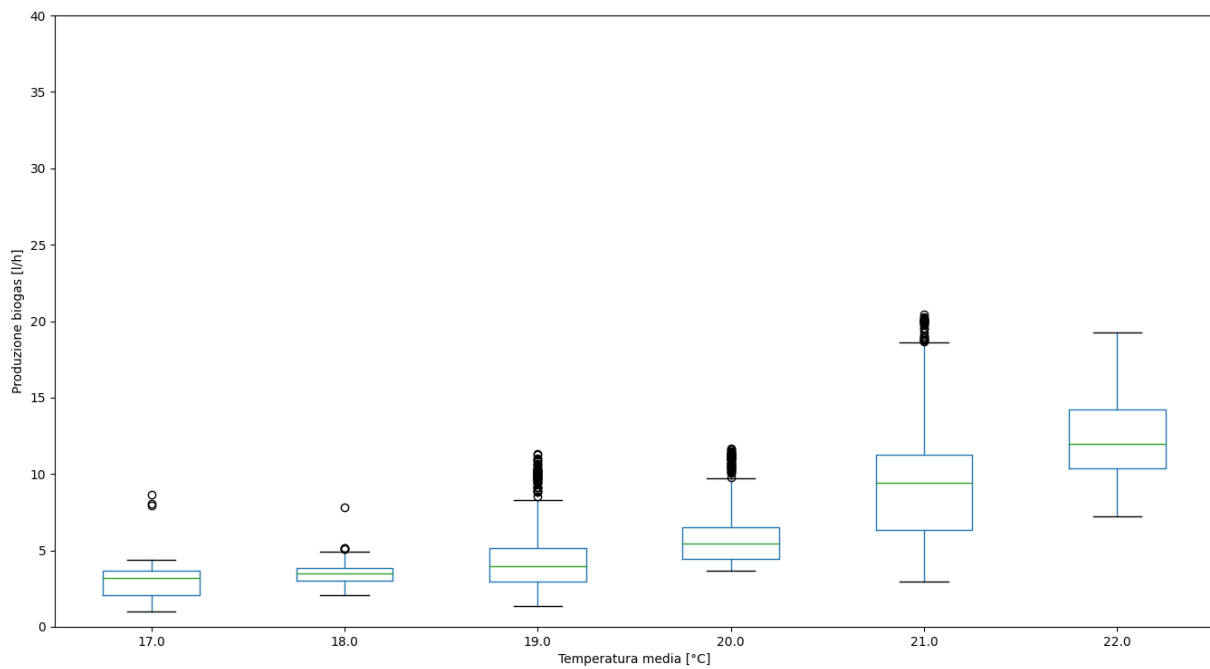


Figura 10. Diagramma a scatola e baffi rappresentante la distribuzione della produzione di biogas per ogni intervallo di temperatura durante una settimana rappresentativa delle condizioni invernali

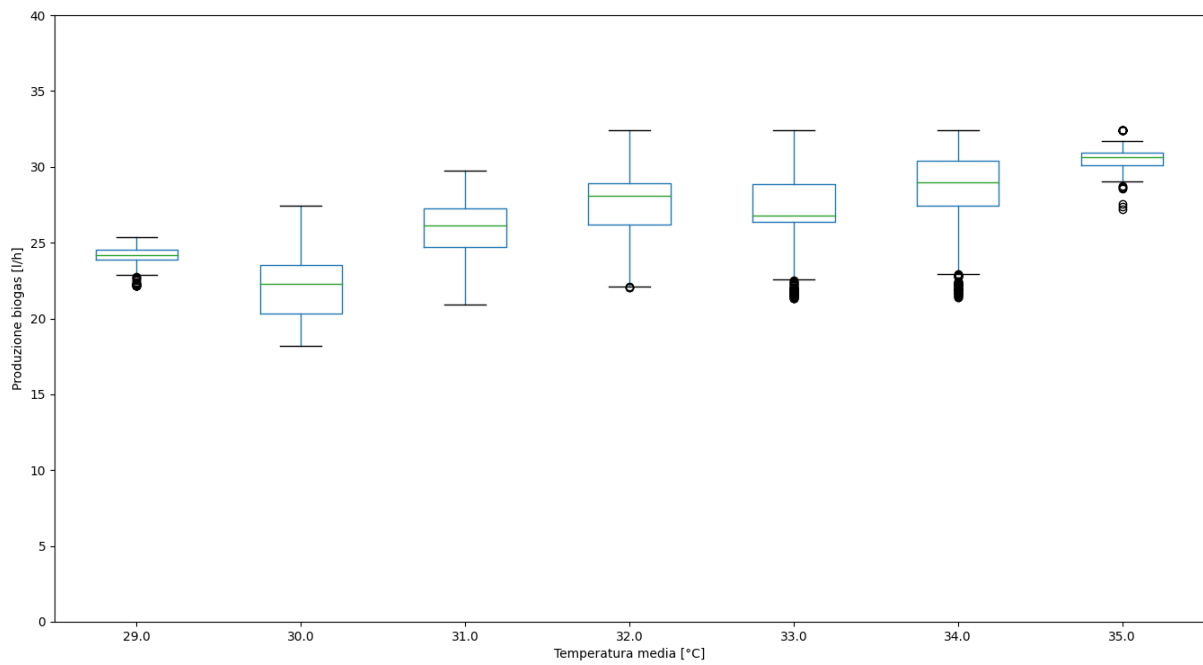


Figura 11. Diagramma a scatola e baffi rappresentante la distribuzione della produzione di biogas per ogni intervallo di temperatura durante una settimana rappresentativa delle condizioni estive

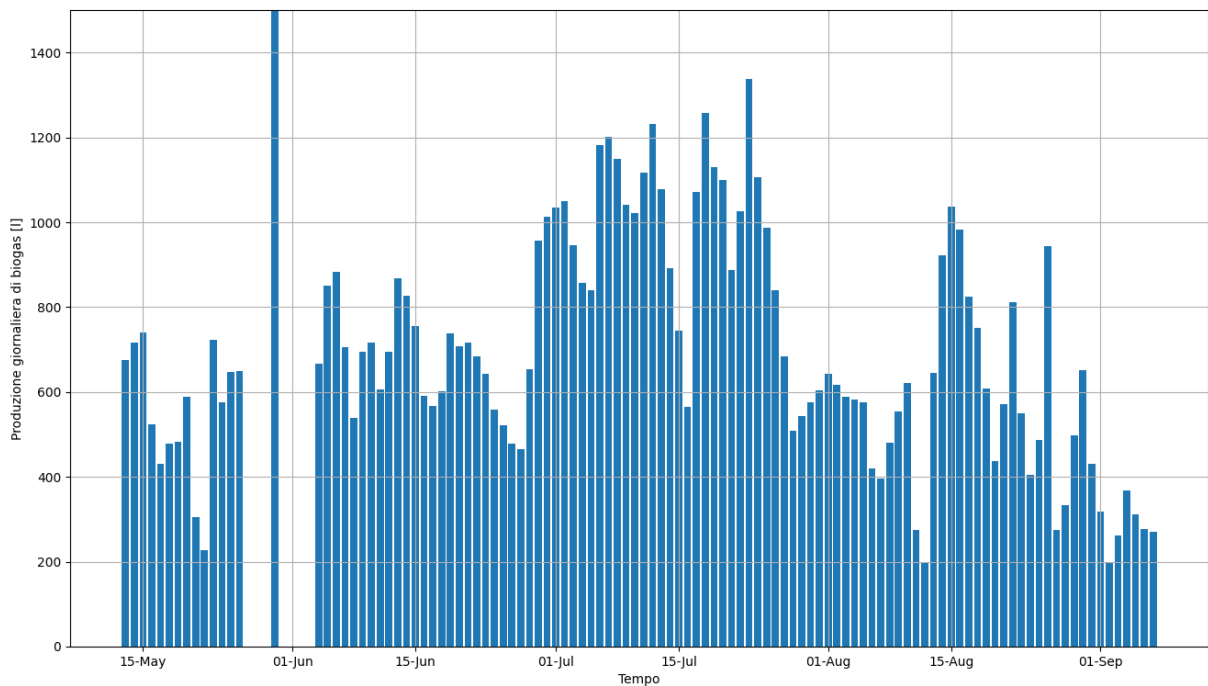


Figura 12. Produzione di biogas totale giornaliera durante il periodo di monitoraggio

Il monitoraggio ha anche riguardato la qualità del biogas prodotto, grazie alla presenza di un analizzatore di biogas attivato ogni 15 minuti per analizzare campioni di biogas prelevati direttamente dalle sacche di accumulo. Come mostrato in Figura 13, il gas mantiene un tenore in CH₄ superiore al 50% al variare delle condizioni operative. Questa tendenza è stata verificata durante tutto l'anno, e le misure effettuate sembrano suggerire che la temperatura operativa abbia un impatto marginale sul tenore di metano nel biogas, come mostrato in Figura 14.

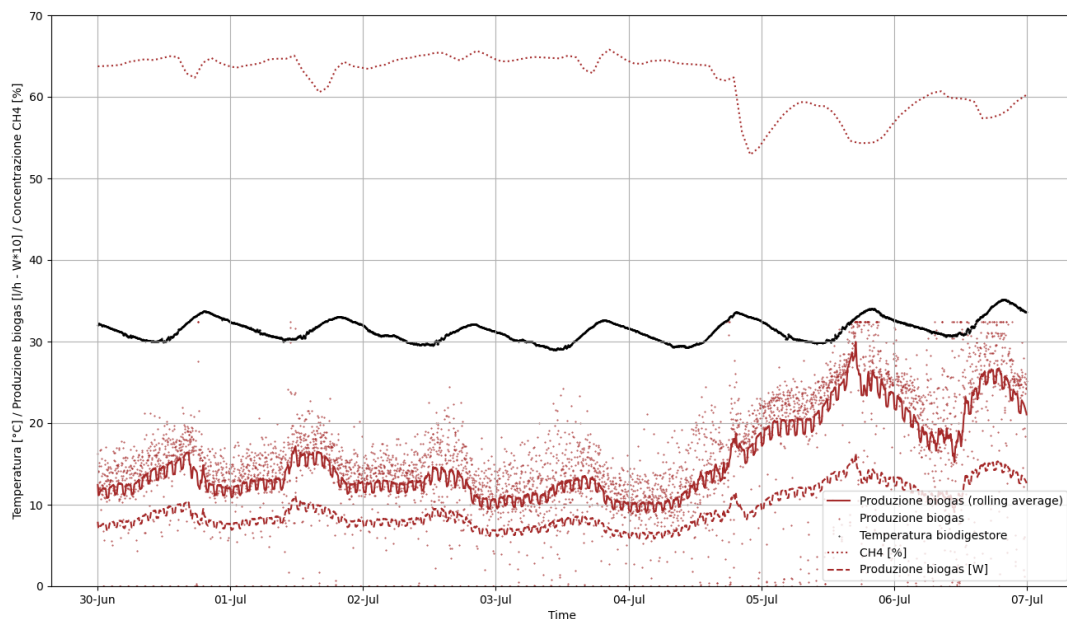


Figura 13. Andamento di temperatura, produzione e qualità del biogas del biodigestore 2 durante una settimana rappresentativa delle condizioni estive

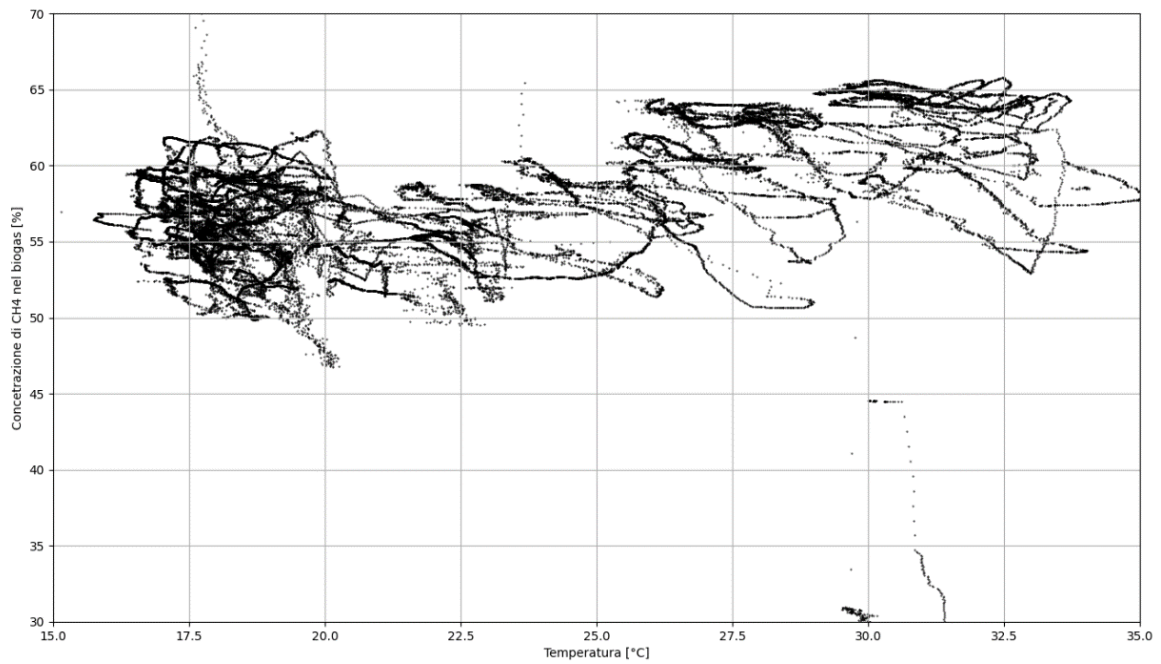


Figura 14. Qualità del biogas (concentrazione di CH₄ nel gas) vs temperatura del biodigestore durante il periodo di monitoraggio

L'effetto delle piastre riscaldanti è mostrato in Figura 15, in rappresentazione di un periodo di monitoraggio durante la stagione invernale. Il riscaldamento permette di mantenere la temperatura interna dei biodigestori attorno ai 18°C, sufficiente a garantire una produzione ragionevole di biogas. Le misure relative all'isolamento termico del biodigestore sono invece presentate in Figura 16, e hanno permesso di verificare che l'isolamento può portare a un incremento medio delle temperature di circa 1°C. L'utilizzo di un isolante naturale (paglia) ha portato a risultati sostanzialmente simili a quelli ottenuti con un isolante sintetico.

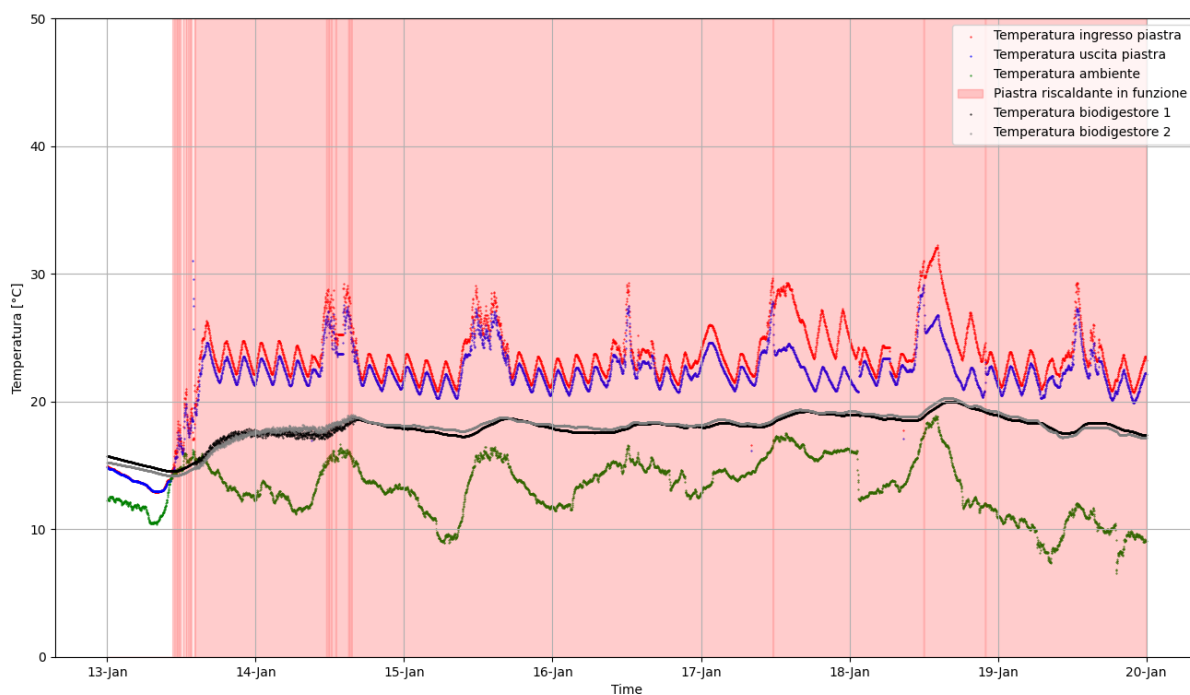


Figura 15. Andamento di temperatura dei biodigestori e dell'acqua di riscaldamento nelle piastre durante una settimana rappresentativa delle condizioni invernali

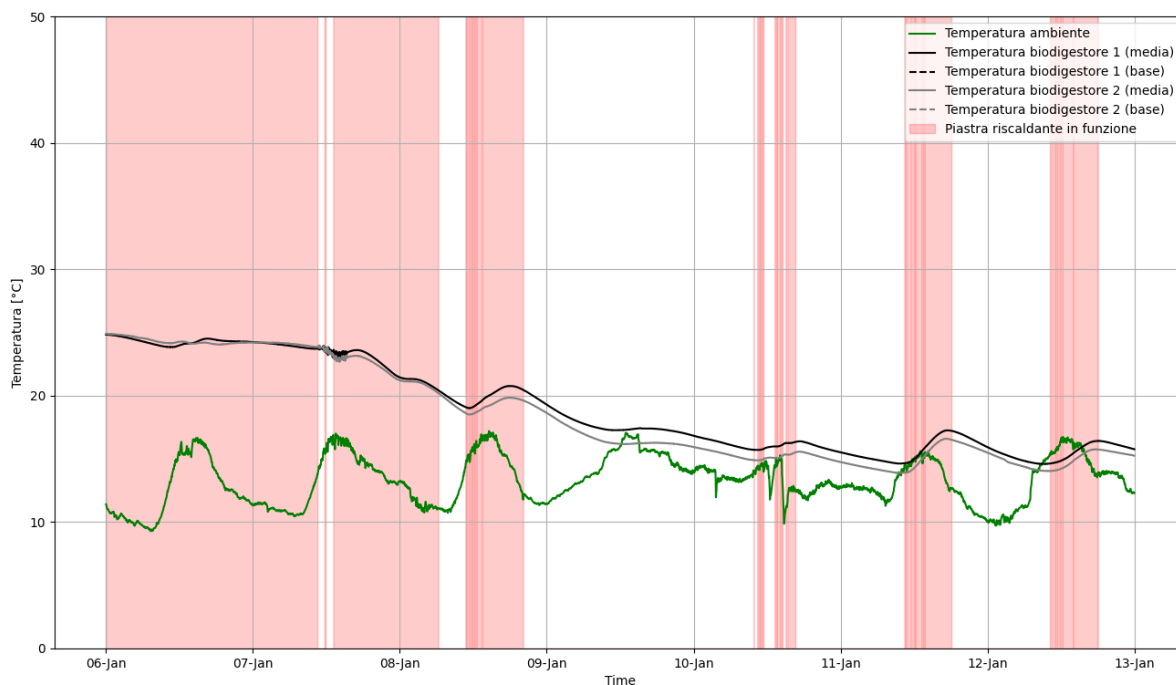


Figura 16. Andamento temperatura media e di base dei due biodigestori e della temperatura ambiente durante una settimana rappresentativa delle condizioni invernali

Le prove con la caldaia sono state effettuate principalmente al fine di verificarne il corretto funzionamento (la caldaia utilizzata non è inizialmente progettata per il funzionamento a biogas) e per valutarne l'efficienza di conversione del biogas in energia termica. Il riassunto delle prove con la caldaia è presentato in Tabella 1. Le analisi effettuate, come mostrato in Figura 17 e Figura 18, suggeriscono che vi sia un'importante influenza sia del carico della caldaia, sia della durata delle prove, sull'efficienza della caldaia stessa.

Tabella 1. Riassunto indicatori principali prove del sistema biodigestore-caldaia

	Durata	Potenza max Q_{max}	Energia tot_out Q_{tot}	Energia primaria Q_{in_biogas}	Rendimento termico η_{th}	Salto termico medio $\bar{\Delta T}$	Salto termico max ΔT_{max}
Prova	[h]	[kW]	[kWh]	[kWh]	[-]	[K]	[K]
C1	0.93	32.4	5.2	8.2	63%	11.4	22.0
C2	0.87	7.5	4.3	8.3	52%	20.2	28.6
C3	1.03	6.8	6.1	9.1	67%	24.0	26.7
C4	0.67	9.4	4.2	13.7	31%	23.1	30.8
C5	0.43	5.7	0.8	4.2	19%	6.0	18.8
C6	0.73	13.5	7.6	13.5	56%	32.5	43.8
C7	0.9	10.9	7.4	12.3	60%	21.7	34.8
C8	0.57	13.8	3.8	8.1	47%	22.8	40.4
C9	0.5	12.7	6.0	11.9	51%	39.0	41.0
C10	1.6	8.7	10.9	15.8	69%	22.8	28.9
C11	0.83	10.6	6.9	17.0	41%	28.7	36.2
C12	0.9	9.9	7.9	15.1	52%	30.6	34.5
C13	1.63	10.6	12.2	16.2	75%	26.9	36.0
C14	1.23	9.4	4.9	12.4	40%	13.5	33.7
C15	0.53	6.1	2.4	14.6	16%	14.7	21.0
C16	0.4	6.6	2.2	3.4	65%	18.7	22.2
C17	1.33	9.9	9.0	14.3	63%	24.5	33.7

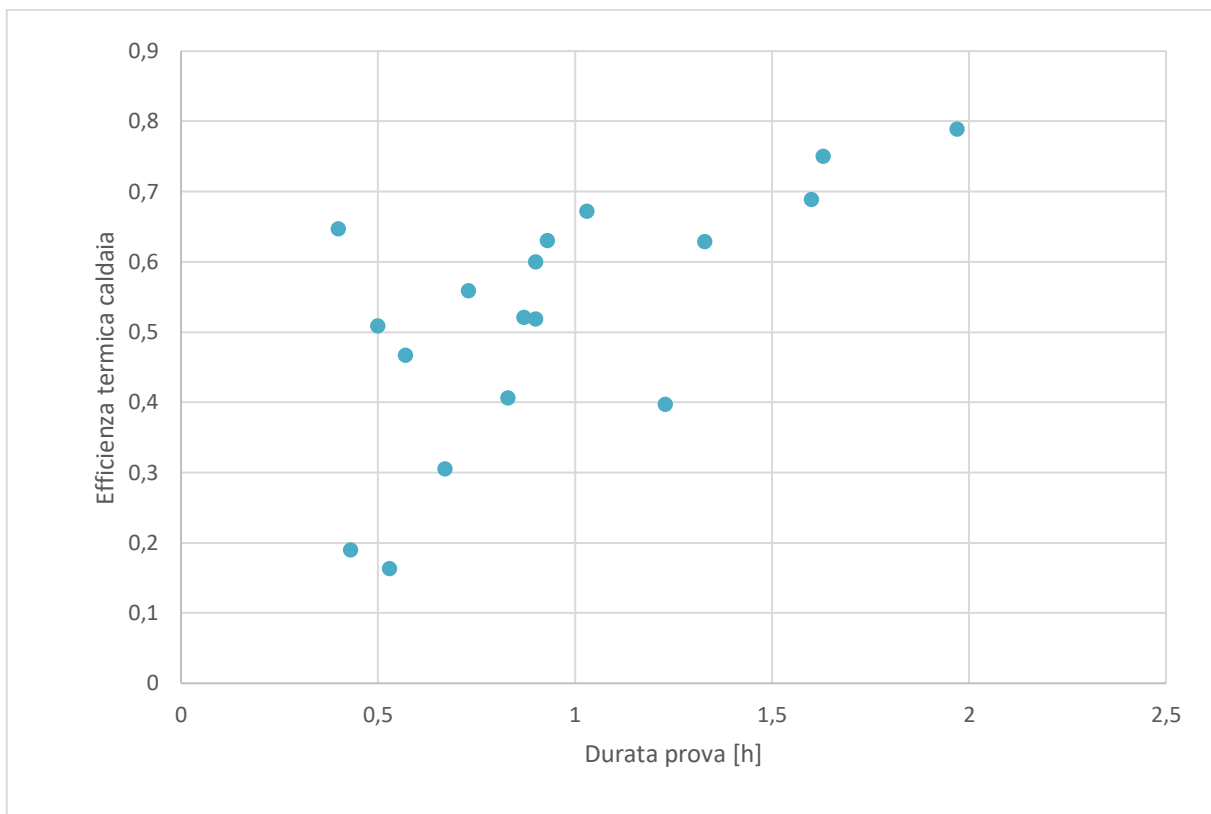


Figura 17. Efficienza termica della caldaia contro durata delle prove

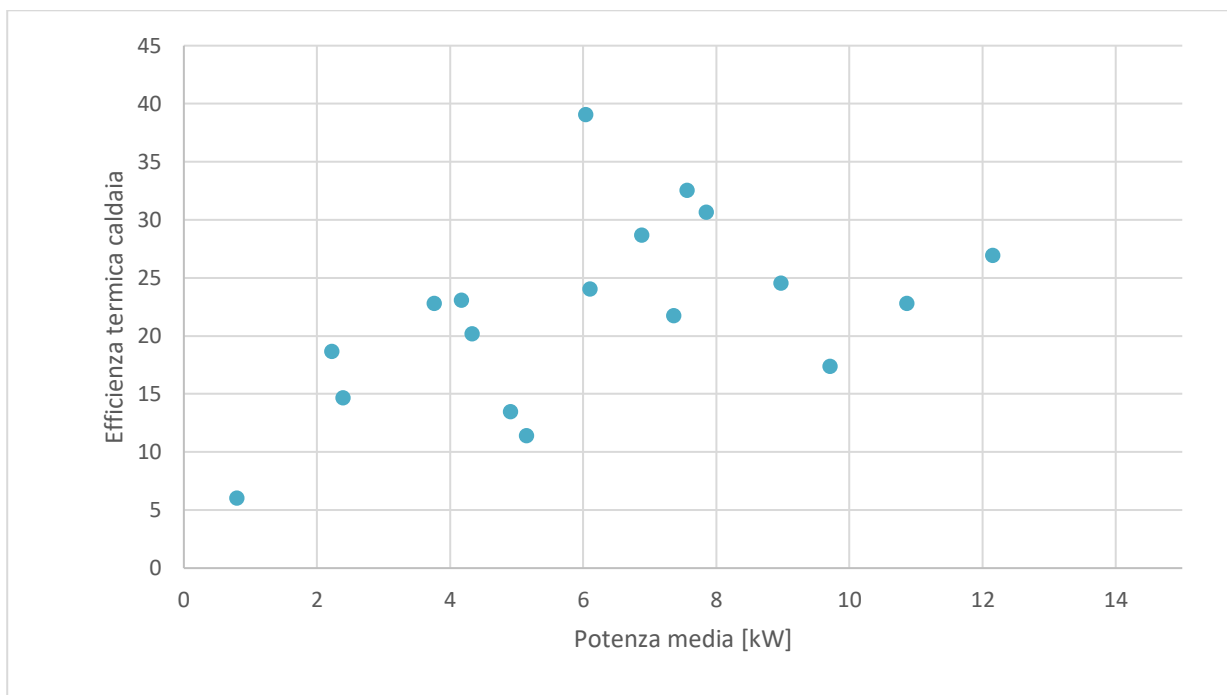


Figura 18. Efficienza termica della caldaia contro potenza media della stessa durante le prove

Sono state inoltre effettuate delle prove realizzate in maniera automatica, tramite l'utilizzo di una valvola motorizzata azionata da un timer configurato in modo da rappresentare il consumo di acqua calda di una famiglia reale. Il profilo di consumo utilizzato è mostrato in Figura 19. Il riassunto delle prove, giorno per

giorno, è presentato in Tabella 2, dove è inclusa anche una stima dell'autosufficienza (AS) e dell'autoconsumo (AC) del sistema, calcolata basandosi sulla produzione di biogas durante il periodo delle prove.

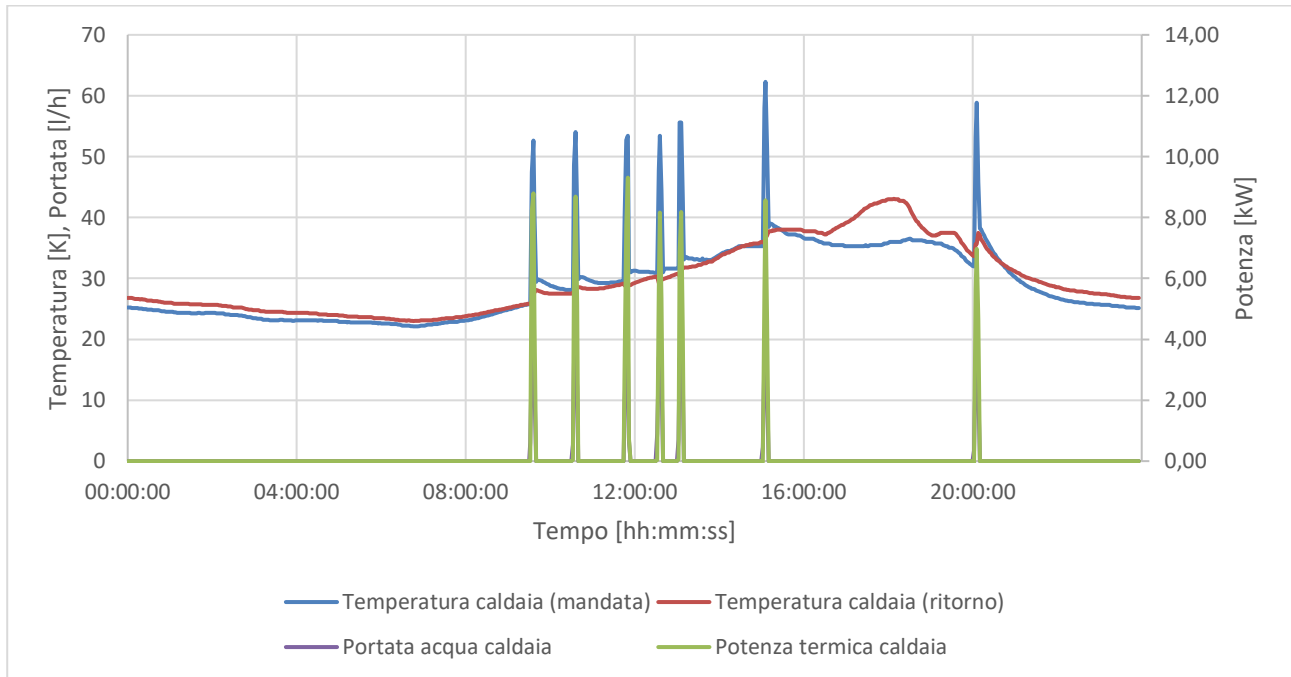


Figura 19. Giornata tipo per le prove di funzionamento della caldaia a biogas con curva di domanda rappresentativa di un'utenza reale

Tabella 2. Riassunto dei principali indicatori di prestazione per le giornate di prove della caldaia con timer

	\dot{Q}_{max}	Q_{tot}	$Q_{in,biogas}$	AS	AC	$\overline{\Delta T}$	ΔT_{max}
	[kW]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[K]	[K]
G1	7.40	3.0	4.6	1.00	0.85	10.4	20.3
G2	9.07	4.5	6.8	0.35	1.00	14.8	24.7
G3	9.31	4.6	7.0	0.79	1.00	16.5	25.8
G4	8.66	4.1	6.3	1.00	0.79	12.5	19.1
G5	8.86	3.6	5.5	1.00	0.62	11.0	19.3
TOT	9.31	24.6	37.8	1.00	0.93	12.8	25.8

Sono state infine effettuate prove aggiuntive con il motore a combustione interna acquistato durante il precedente triennio di ricerca di sistema al fine di una migliore valutazione del sistema biodigestore-motore, in presenza dell'impianto di acquisizione dati installato in questa fase del progetto. I risultati dei test sono riassunti in Tabella 3, mentre un esempio di analisi di dettaglio di una delle prove effettuate è presentato in Figura 20. Questi test hanno dato ulteriore conferma della necessità di ripetere le prove utilizzando un motore pensato specificamente per l'alimentazione a biogas. Le stime dell'efficienza elettrica portano a valori compresi tra il 7% e il 13%, che porterebbero il sistema motore-pompa di calore ad operare ad un'efficienza complessiva come generatore di acqua calda sanitaria vicina al 70%.

Tabella 3. Riassunto indicatori principali prove del sistema biodigestore-cogeneratore

	Durata	\dot{Q}_{max}	Q_{tot}	$Q_{in,biogas}$	η_{th}
	[h]	[kW]	[kWh]	[kWh]	[-]
M1	2.23	2.05	3.26	21.8	15%
M2	1.37	2.02	1.83	12.6	15%
M3	0.77	1.39	0.53	4.1	13%
M4	1.57	2.65	2.26	12.8	18%
M5	1.83	1.6	2.19	18.9	12%
M6	1.57	2.03	1.97	8.5	23%

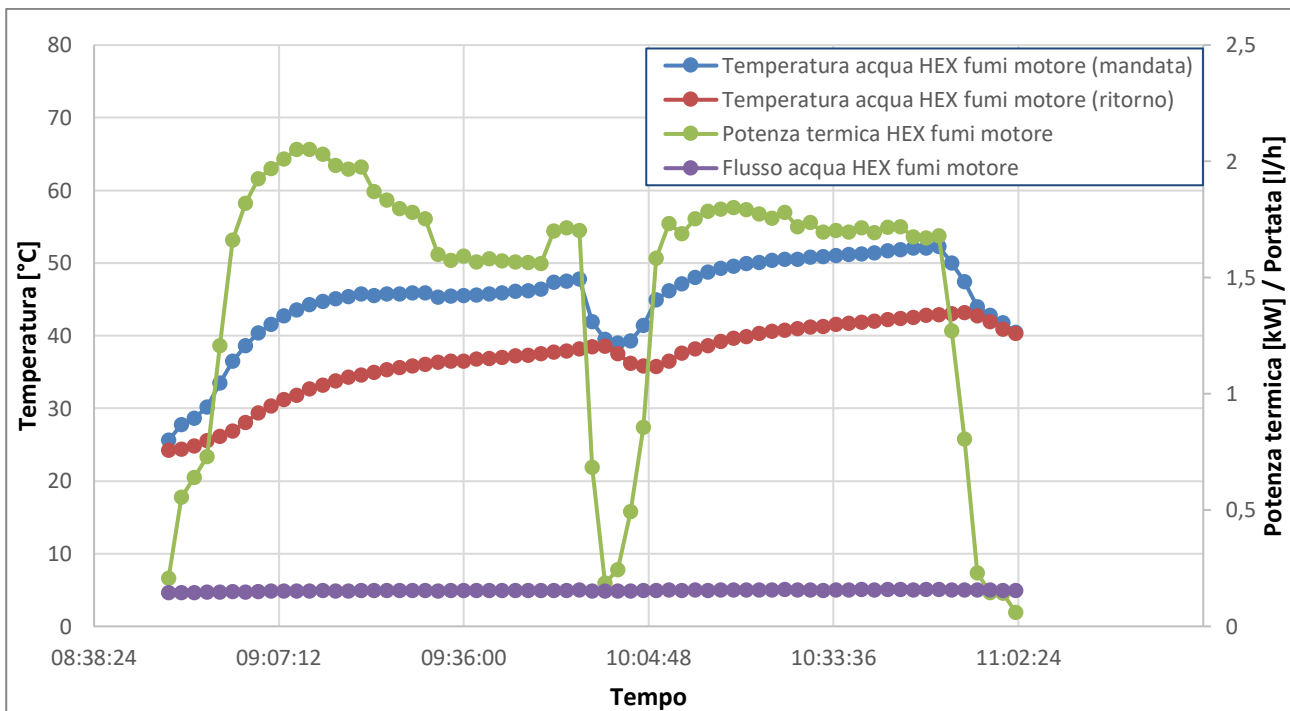


Figura 20. Analisi di dettaglio (temperatura mandata, ritorno e calore scambiato) durante la prova del sistema biodigestore-motore M1

7.1.4 Screening dei sistemi convenzionali ed emergenti per la purificazione del biogas prodotto

Lo screening dei sistemi convenzionali ed emergenti per la purificazione del biogas prodotto è avvenuto tramite un approccio bibliografico di analisi della letteratura esistente sul tema. Questo ha permesso di identificare quali siano le tecnologie attualmente mature per la purificazione del biogas. Le informazioni così raccolte sono riassunte in Tabella 4, dove sono riassunti i costi e le prestazioni dei differenti sistemi identificati in termini di resa e purezza, in Tabella 5, dove sono riassunti i principali vantaggi e svantaggi di ciascuna tecnologia, e in Tabella 6, dove si sono fornite valutazioni qualitative delle varie tecnologie in relazione ai principali indicatori di prestazione di rilievo per la specifica applicazione.

Tabella 4. Riassunto dei costi e della resa di differenti tecnologie di purificazione di biogas

Tecnologia	Costo specifico	CAPEX	OPEX	Resa	Purezza in CH ₄
	€/Nm ₃	%	%	%	%
Scrubbing con acqua ad alta pressione	0.15	70	30	90	98
Assorbimento chimico con ammine	0.28	83	17	90	98
Adsorbimento (PSA)	0.26	78	22	92	98
Separazione a membrana	0.22	85	15	78	89

Tabella 5. Riassunto dei principali vantaggi e svantaggi di differenti tecnologie di purificazione di biogas

Tecnologia	Pregi	Difetti
Scrubbing con acqua ad alta pressione	Rimozione contemporanea di CO ₂ e H ₂ S e di eventuali solidi; Alta purezza, buona resa in CH ₄ ; Tecnologia semplice e facilmente gestibile; neutralizzazione di componenti acidi; capex rel. basso	Elevata portata d'acqua; Limitazione nella rimozione di H ₂ S dovuta all'aumento del pH dell'acqua.
Assorbimento chimico con ammine	Rimozione quasi completa dell'H ₂ S	Elevato costo dei reagenti
Adsorbimento (PSA)	Alta purezza, buona resa in CH ₄ , basso consumo di energia; basso livello di emissioni in atmosfera; rimozione di N ₂ e O ₂	Necessità di installare un'unità separata di rimozione H ₂ S.
Separazione a membrana	Apparecchiatura compatta e leggera; poca manutenzione; basso consumo di energia; processo semplice.	Resa in CH ₄ bassa; Necessità di installare un'unità separata di rimozione H ₂ S; costo delle membrane elevato.

Tabella 6. Analisi di differenti tecnologie di purificazione di biogas in funzione dei principali criteri di valutazione identificati

	Costo	Semplicità	Consumo acqua	Impatto ambientale
Scrubbing con acqua ad alta pressione	++	++	--	+
Assorbimento chimico con ammine	-	-	++	0
Adsorbimento (PSA)	-	-	++	0
Separazione a membrana	+	++	++	-

7.2 Nuovi sistemi ibridi ottimizzati per la produzione di acqua calda sanitaria e la climatizzazione degli ambienti in contesti isolani

7.2.1 Impianto di Lampedusa

Nella presente linea di attività è stato esteso lo studio con il sistema ibrido per la produzione di ACS installato nelle precedenti annualità presso l'Osservatorio Climatico ENEA già avviato nel precedente triennio (Figura 21, Tabella 7).

Tabella 7. Lista e descrizione dei componenti del sistema ibrido installato presso l'Osservatorio Climatico ENEA di Lampedusa

1	Campo fotovoltaico costituito da 3 stringhe con una potenza di picco complessiva pari a 1740 W _p . Ciascuna stringa è costituita da 3 moduli FV da 290 W _p .
2	Inverter ibrido da 1.6 kV A, controllabile da remoto via Modbus
3	Sistema di accumulo elettrico a supercondensatori da 3000 Wh a 24 V.
4	Pompa di calore per acqua calda sanitaria avente una potenza nominale elettrica 490 W e un COP nominale 3.08, costituito da un accumulo di acqua calda sanitaria da 200 litri.
5	Elettrovalvola gestita dal sistema di controllo esterno in funzione del profilo di prelievo di acqua calda emulato.

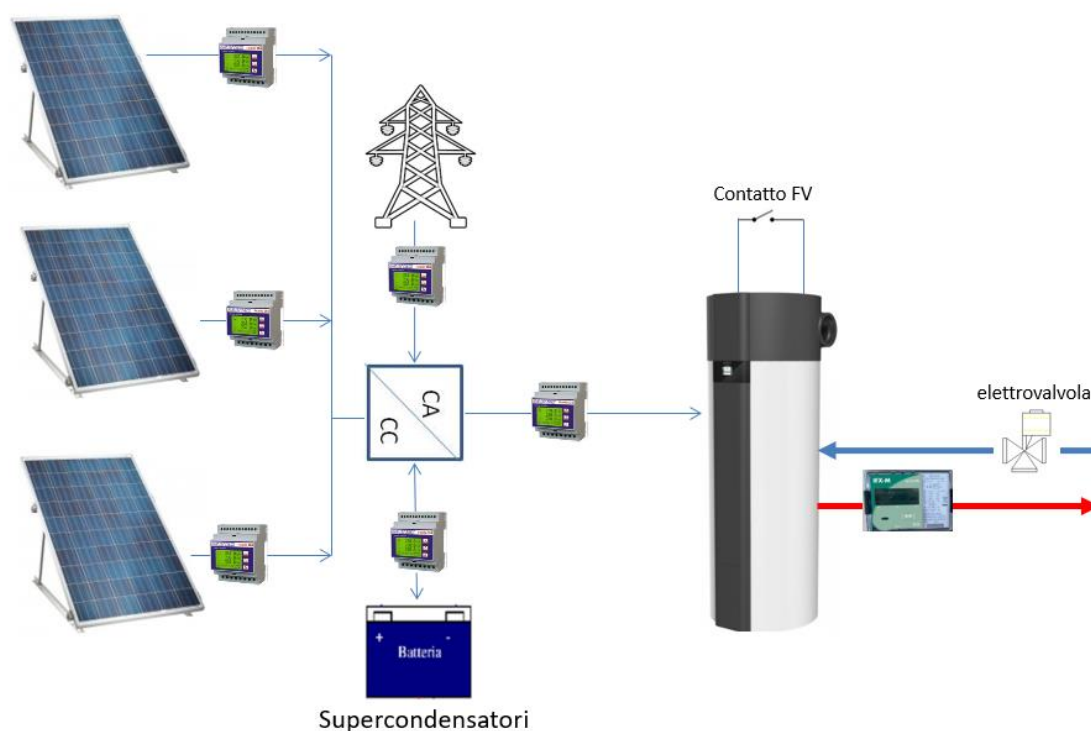


Figura 21. Schema impianto sperimentale – Osservatorio climatico ENEA di Lampedusa

L'analisi qualitativa del funzionamento del sistema recuperando le frigorifere derivanti dalla produzione di acqua calda sanitaria per il condizionamento dell'ambiente interno ha portato a mostrare la fattibilità di questa configurazione. In particolare, confrontando i risultati relative alle prove effettuate il 16 luglio (Figura 23) con quello del giorno precedente (15 luglio, Figura 22), si osserva facilmente come, nella fascia oraria di attivazione della pompa di calore (18:30 – 22:30), ci sia una discontinuità del profilo di potenza oraria media assorbita dal mono split passando da circa 0.12 kW a 0.05 kW.

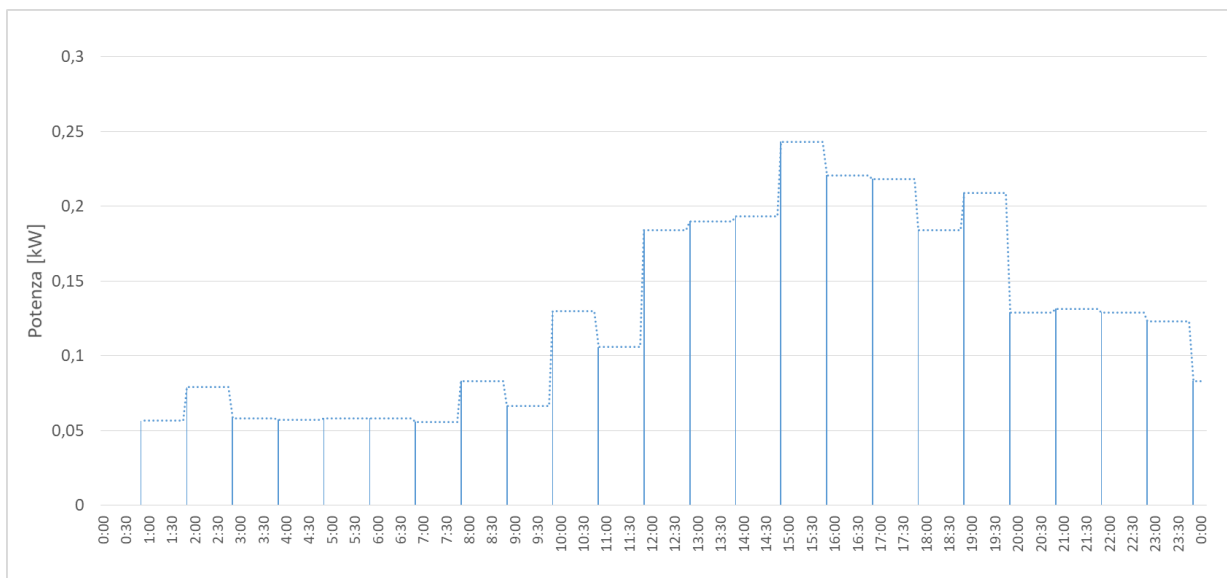


Figura 22. Potenza media oraria assorbita dal mono split – pompa di calore ACS spenta (15 luglio)

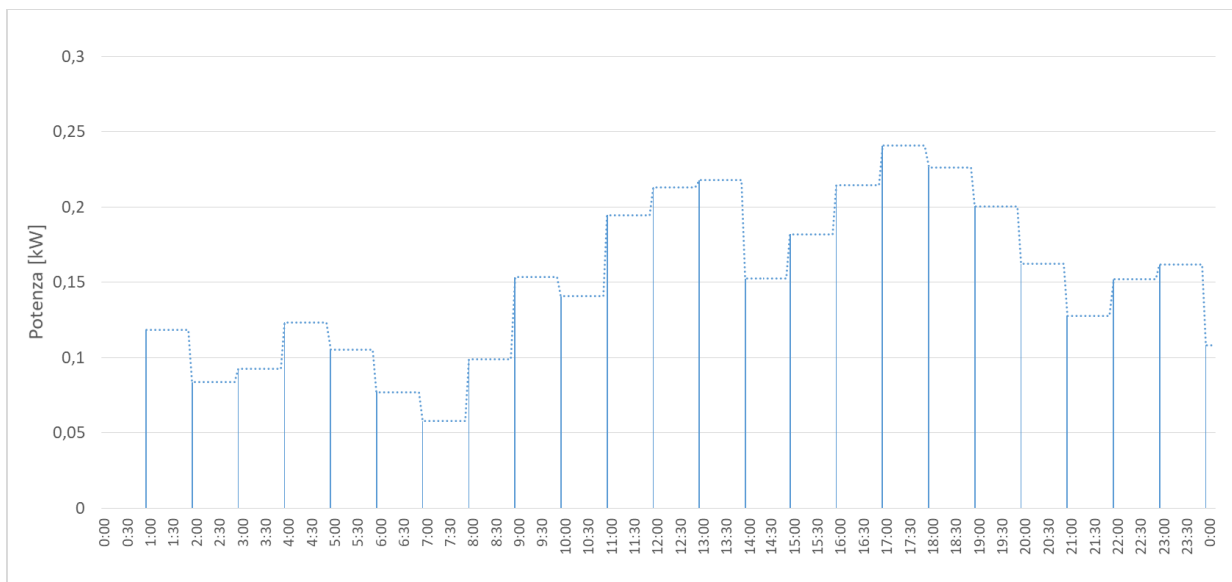


Figura 23. Potenza media oraria assorbita dal mono split – pompa di calore ACS accesa nella fascia oraria 13:40-17:40 e nella fascia oraria 19:40-20:20 (16 luglio)

Le attività svolte in questa fase di progetto hanno anche riguardato la caratterizzazione dei supercondensatori utilizzati come sistema di accumulo nell'impianto ibrido installato presso il C.R. ENEA di Lampedusa. Nello specifico, sono state effettuate alcune prove di carica e scarica, effettuate a diverse profondità di scarica, con il fine principale di valutare l'efficienza di carica-scarica del sistema. I risultati delle prove effettuate sono riassunti in Tabella 8, mentre in Figura 24 è rappresentato il profilo di potenza di carica/scarica e l'andamento della tensione durante una delle prove effettuate.

Tabella 8. Riassunto dei risultati della campagna di prove sul funzionamento dei supercondensatori

	Prova 1		Prova 2		Prova 3	
	SOC	Tensione [V]	SOC	Tensione [V]	SOC	Tensione [V]
Inizio prova	100%	26.6	100%	26.9	100%	26.8
Dopo scarica	50%	24.0	75%	25.2	20%	23.5
Dopo carica	100%	26.6	100%	26.9	100%	26.8
Energia scaricata [kWh]	1.61		0.82		2.50	
Energia caricata [kWh]	1.71		0.87		2.72	
Rendimento carica-scarica	94%		94%		92%	
Profilo di scarica	Alimentazione PdC		Alimentazione PdC		scarica a potenza costante (300 W) + alimentazione PdC	
Profilo di carica	Fotovoltaico		Fotovoltaico		Fotovoltaico	

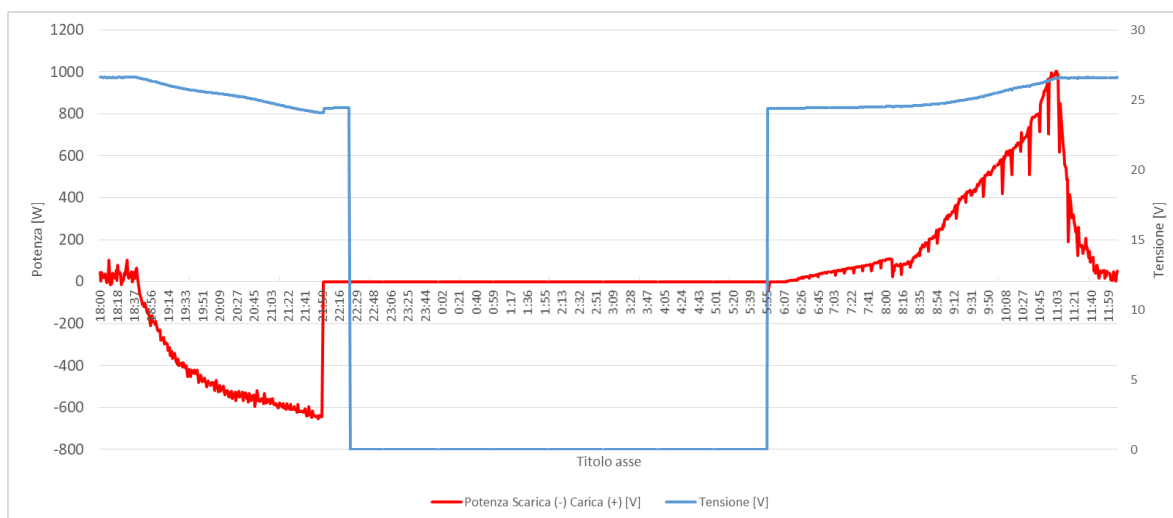


Figura 24: Prova 1: profilo potenza di scarica e carica – andamento tensione

Sono infine state valutate differenti settaggi alternativi relativi alla logica di controllo dell'impianto ibrido in modalità produzione di ACS. Il sistema sperimentale è gestito impostando le seguenti regole per la logica di controllo descritte in Tabella 9.

Tabella 9. Riassunto logica di controllo impianto ibrido Lampedusa

Condizione inverter	
Acceso	la tensione di stringa supera il valore di soglia o se la temperatura della pompa di calore scende sotto il valore di confort;
Spento	la tensione di stringa scende sotto il valore di o se la temperatura della pompa di calore risale sopra il valore di confort;
Condizione pompa di calore	
Accesa	la potenza generata dal campo FV supera il valore di soglia e se la temperatura dell'accumulo termico scende sotto il valore della temperatura minima;
Spenta	la temperatura supera il set point massimo o se la potenza prodotta dal fotovoltaico scende sotto il valore di soglia;

Per la ricerca del valore dei parametri del sistema di controllo che ottimizzano la resa energetica dell'impianto sperimentale, è stato definito il set di prova riportato in Tabella 10.

Tabella 10. Set di prove per individuare i parametri che ottimizzano la resa energetica dell'impianto sperimentale

Taglia FV in prova	1800 W
Profilo ACS	profilo reale Lampedusa invernale

Tipologia prova	Soglia potenza FV [W]	temperatura min [°C]	temperatura max [°C]
	"Soglia Funzione FV- PotenzaPV"	SetPoint T min FV function - ON FV	SetPoint T max FV function - OFF FV
Tipo 1	800	41	55
Tipo 2	200	41	55
Tipo 3	200	50	51
Tipo 4	800	50	51

Per analizzare la prestazione del sistema sperimentale, corrispondente a ciascuno dei set di parametri indicati in Tabella 10 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, sono state ricavate le grandezze su base giornaliera definite in Tabella 11.

Tabella 11. Indicatori utilizzati per il confronto dei differenti set di parametri per la logica di controllo dell'impianto ibrido di Lampedusa

Sigla	Nome esteso	Unità di misura	Definizione
Pu	produzione energetica utile totale:	kWh	dato dalla somma di energia elettrica immessa in rete da FV, energia accumulata nei supercapacitori ed energia termica per ACS
Ris	Risparmio elettrico per la produzione di ACS	EUR	energia elettrica non più acquistata dalla rete rispetto all'utilizzo dello scaldacqua elettrico; per calcolare il risparmio in bolletta è stata applicata una tariffa di 0,25 €/kWh
Ric	Ricavo da energia immessa in rete	EUR	valorizzazione dell'energia prodotta in eccesso da FV e immessa in rete con una tariffa pari a 0,15 €/kWh (valore stabilito in funziona dell'andamento del prezzo del ritiro dedicato degli ultimi mesi)
η	Rendimento di conversione totale (termico + elettrico)	%	ottenuto dal rapporto tra l'energia prodotta dai moduli FV in corrente continua e la produzione energetica utile totale (Pu)
Rt	Ricavo totale giornaliero normalizzato [€/kWh]:	€/kWh	ottenuto dal rapporto tra ricavo totale giornaliero (ricavo da energia immessa in rete + risparmio consumo energia elettrica per produzione di ACS) e l'energia prodotta dai moduli FV in cc

Si riporta di seguito il risultato delle 4 tipologie di prove condotte secondo le indicazioni riportate in Tabella 10; in particolare avendo effettuato più prove giornaliere, in Tabella 12 sono riportati i valori medi dei risultati ottenuti per ciascuna tipologia di prova.

Tabella 12: Risultato delle prove sperimentali – valore medio per ciascuna delle 4 tipologie

prova	Pu: produzione energetica utile (elettrica immessa in rete + energia accumulata + ACS) [kWh]	η : Rendimento di conversione termico + elettrico [%]	Rt: Ricavo totale giornaliero normalizzato [€/kWh]	COP
Tipo 1 media	9,87	124,00	0,25	3,43
Tipo 2 media	8,82	124,50	0,25	3,36
Tipo 3 media	9,30	133,33	0,27	3,14
Tipo 4 media	8,65	149,60	0,31	3,30

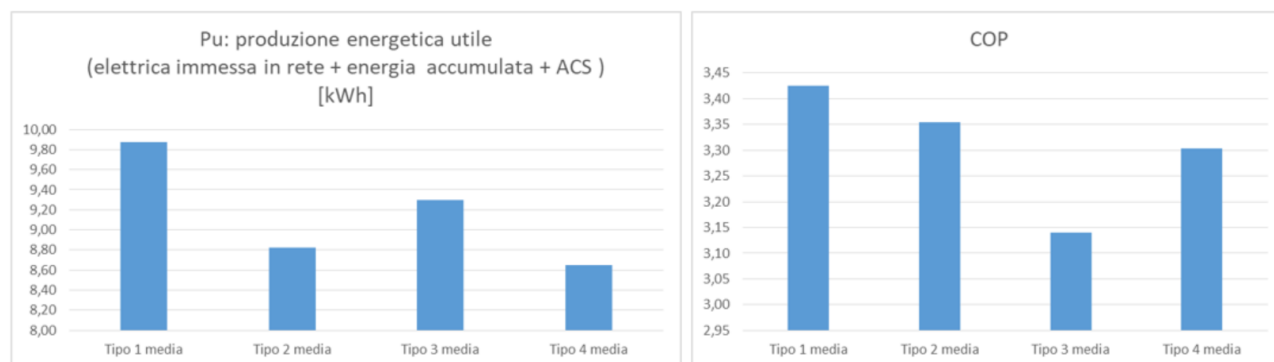


Figura 25: Risultato prove sperimentali – valore medio per ciascuna delle 4 tipologie di prova: produzione energetica utile e COP pompa di calore

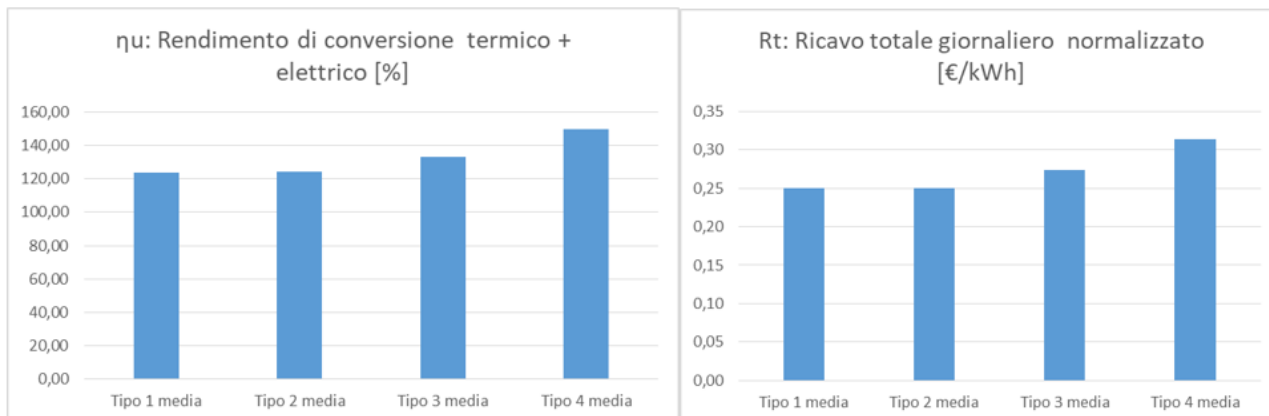


Figura 26: Risultato prove sperimentali – valore medio per ciascuna delle 4 tipologie di prova: η e Rt

Da risultati riportati in Figura 26, si evince che si ottengono le migliori prestazioni in termini energetici ed economici mantenendo alti i set point delle temperature di attivazione della pompa di calore (prova tipo 3 e 4); in queste modalità di funzionamento, infatti, la pompa di calore viene accesa più a lungo durante le ore di produzione del FV, ottimizzando conversione energetica e ricavo economico. Inoltre si osserva che i migliori risultati si ottengono impostando la soglia di attivazione della pompa di calore a 800 W, in quanto questo permette all’inverter di lavorare con un rendimento più alto e di ricorrere meno ai supercondensatori.

7.2.2 Impianto di Casaccia

La caratterizzazione dei pannelli fototermici ha permesso effettuare una valutazione di massima della produttività durante il corso dell’anno (Figura 27) e di stimarne l’efficienza di conversione della radiazione incidente, sia a circolatore termico acceso che spento (Figura 28). I risultati hanno mostrato un comportamento in linea con le aspettative, con l’eccezione della produzione di energia termica.

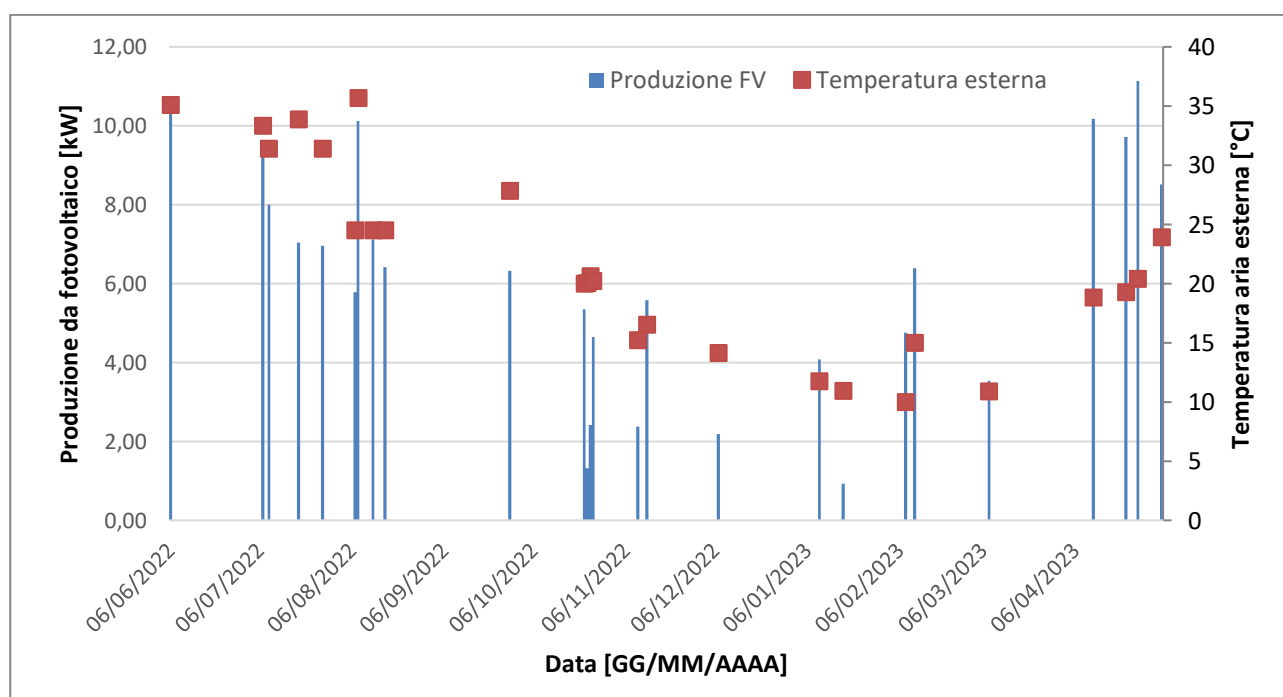


Figura 27. Caratterizzazione pannelli fototermici. Produzione potenza elettrica in differenti periodi dell’anno

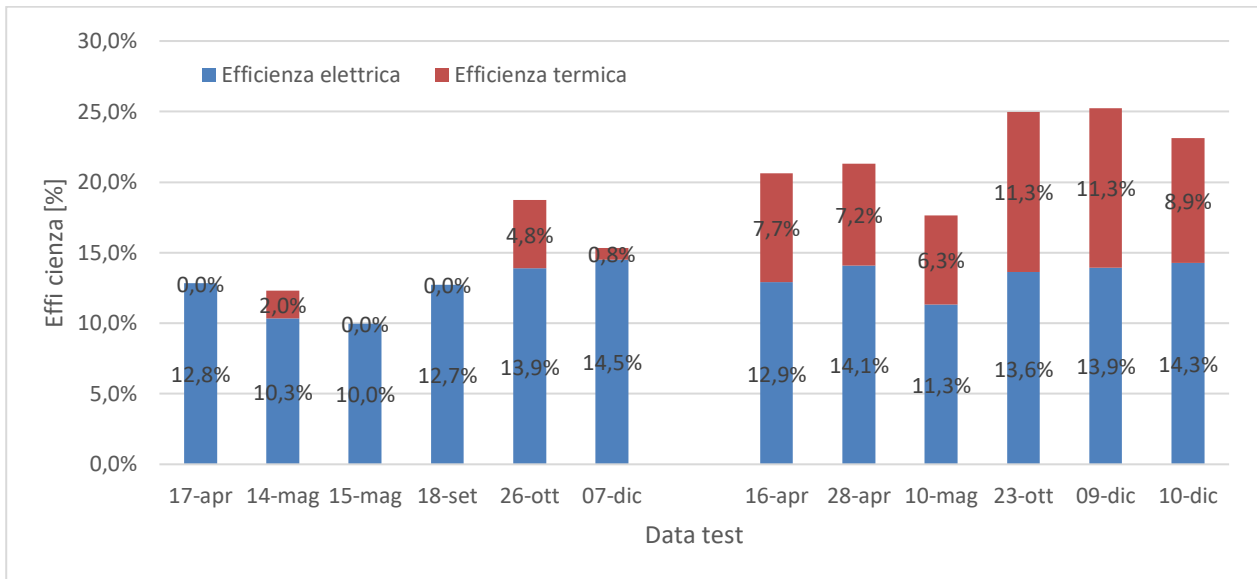


Figura 28. Valutazione dell'efficienza elettrica, termica e totale dei pannelli fototermici

Con riferimento al sistema di accumulo elettrico, le prove hanno evidenziato un'efficienza variabile tra l'88% e il 98% (Figura 30), fortemente dipendente dalla potenza media di carica.

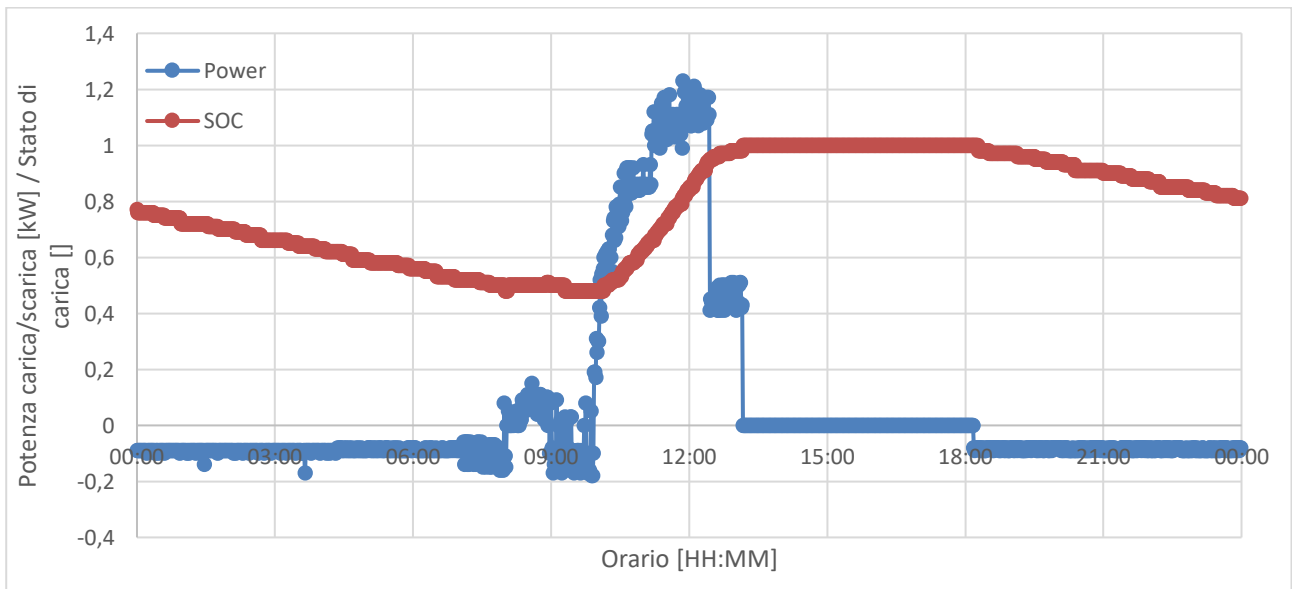


Figura 29. Profili di potenza e stato di carica durante i test per la caratterizzazione delle batterie. Test del 2 febbraio

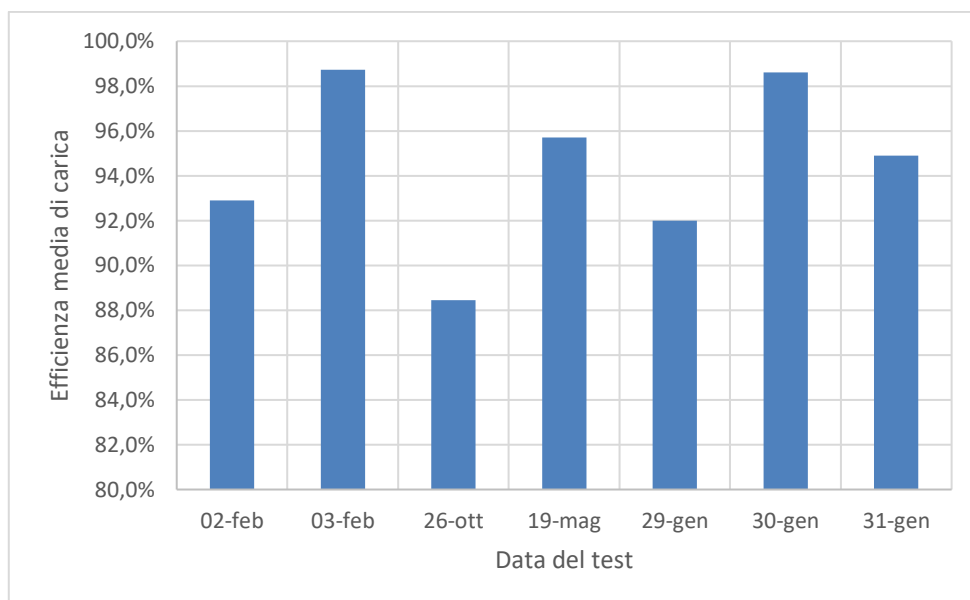


Figura 30. Risultati delle prove di caratterizzazione dell'accumulo elettrico del C.R ENEA di Casaccia. Valori di efficienza media di carica per i diversi test effettuati

Infine, nel caso dell'inverter, i risultati (Figura 31) hanno evidenziato un'efficienza compresa tra il 78% e il 90% (efficienza media: 87%), anche in questo caso in linea con le aspettative e con i valori tipicamente proposti dalla letteratura scientifica.

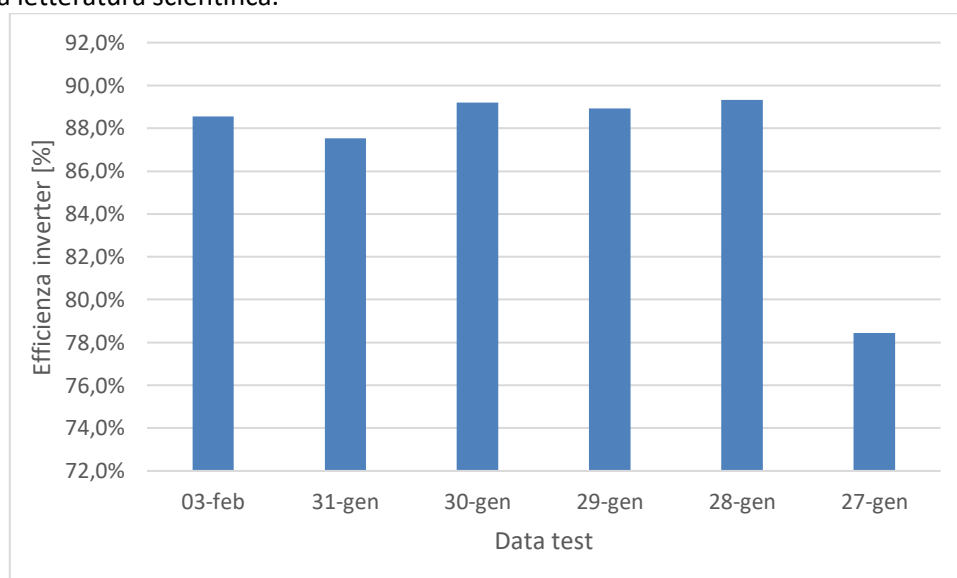


Figura 31. Risultati delle prove di caratterizzazione dell'inverter del C.R ENEA di Casaccia. Valori di efficienza media di conversione per i diversi test effettuati

Durante questa prima fase del progetto sono state definite e implementate le logiche che gestiscono il sistema installato presso il C.R. ENEA Casaccia, il cui layout è rappresentato schematicamente in Figura 32. La logica scelta prevede di modificare la temperatura di *setpoint* della pompa di calore a 44°C, 49°C, o 55°C in funzione dell'intensità della radiazione solare misurata da un piranometro. La produzione dell'impianto termofotovoltaico è invece controllata in modo tale che la pompa di circolazione dell'impianto solare termico entri in funzione solo nel momento in cui la differenza tra la temperatura del fluido in uscita dalla stringa solare termica e la temperatura registrata nel serbatoio di accumulo integrato nella pompa di calore supera un valore prestabilito.

Il sistema di controllo così definito è stato testato in una serie iniziale di quattro prove, in cui il sistema è stato attivato in diverse modalità di funzionamento con il fine di valutare una serie di indicatori di prestazioni del sistema stesso. Il riassunto dei risultati delle singole prove è fornito in Tabella 13, mentre Figura 33 e Figura 34 rappresentano un'analisi di dettagli della Prova 4, considerata la più rappresentativa del funzionamento del sistema completo.

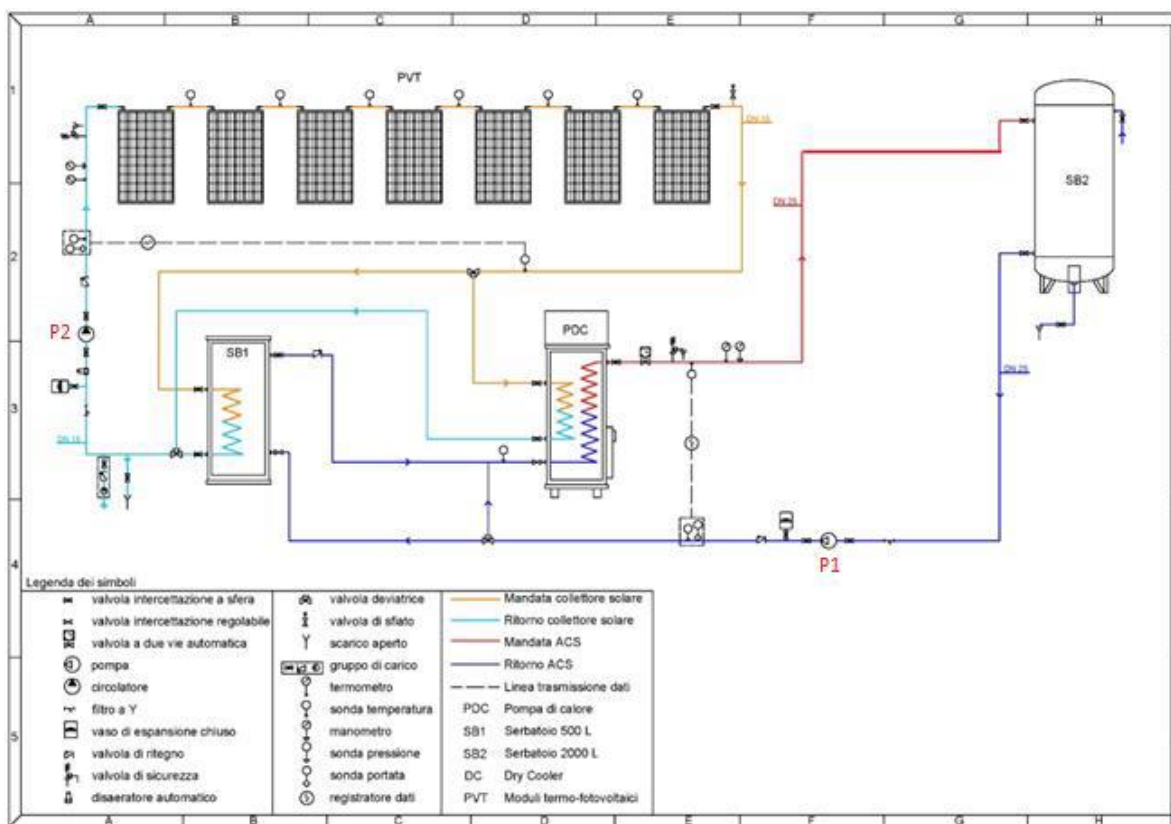


Figura 32. Rappresentazione del sistema ibrido di produzione di ACS installato presso il C.R. ENEA di Casaccia basato su moduli fototermici e pompa di calore

Tabella 13. Riassunto dei principali indicatori di prestazione delle prove di funzionamento del sistema integrato FVT-pompa di calore – accumulo elettrico del C.R Casaccia.

		Prova 1	Prova 2	Prova 3	Prova 4
Produzione elettrica impianto FVT	kWh	6.92	9.07	7.52	10.49
Produzione termica impianto FVT	kWh	0.00	3.06	0.00	7.26
Assorbimento pompa di calore	kWh	0.00	1.43	2.04	2.12
Generazione pompa di calore	kWh	0.00	3.47	7.66	4.21
Immissione in rete	kWh	2.79	3.33	3.45	0.09
Assorbimento da rete	kWh	0.00	0.00	0.00	0.71
Immissioni in batteria	kWh	3.86	1.33	0.56	1.68
Assorbimento da batteria	kWh	0.31	1.06	2.71	3.49
Radiazione solare incidente per m ²	kWh/m ²	4.56	5.87	5.52	5.31
Radiazione solare incidente totale	kWh	44.56	57.37	34.42	51.95
Coefficiente di autoconsumo	-	21%	63%	54%	99%
Coefficiente di autosufficienza	-	-	100%	100%	67%
Rendimento elettrico FV	-	16%	16%	21%	16%
Rendimento utile complessivo	-	16%	25%	32%	35%
Fattore di rete	-	6%	6%	10%	0%

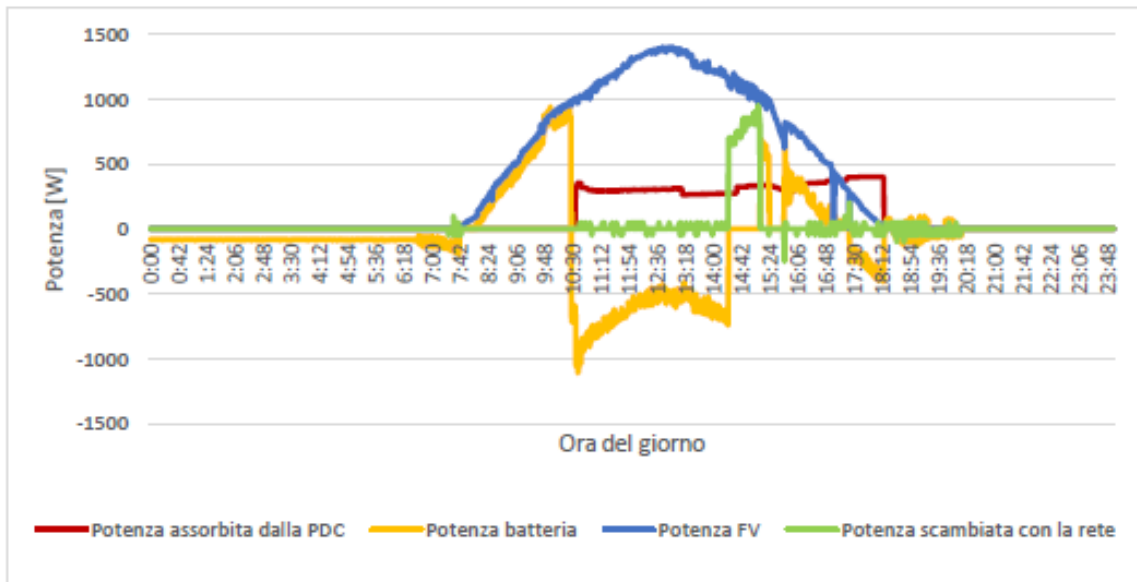


Figura 33. Risultati della prova 4 relativa all'impianto sperimentale del C.R. ENEA di Casaccia, andamento delle potenze dei singoli componenti

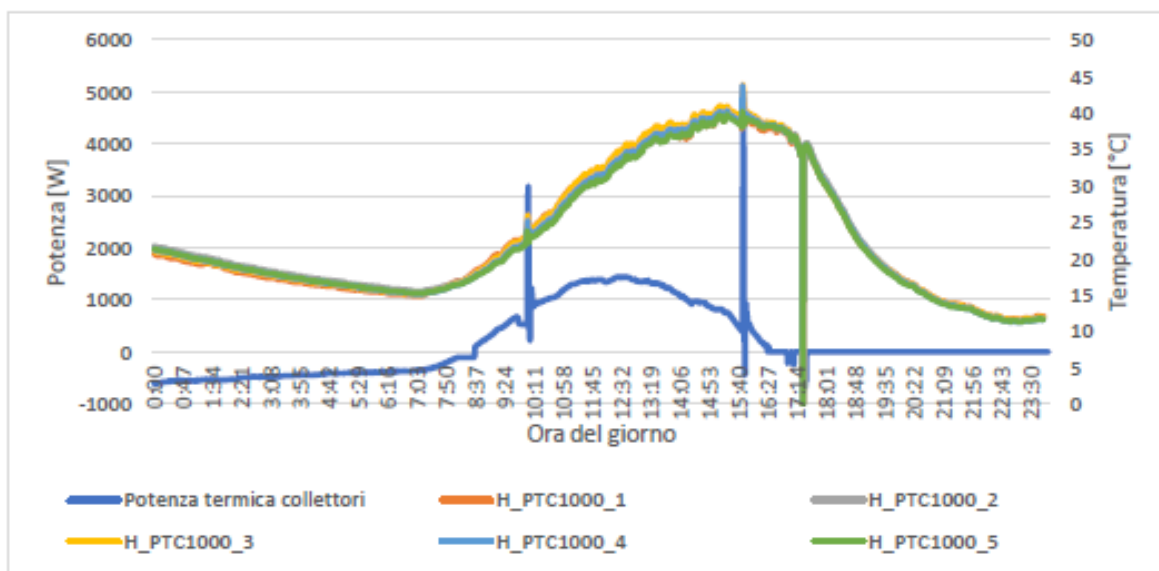


Figura 34. Risultati della prova 4 relativa all'impianto sperimentale del C.R. ENEA di Casaccia, andamento della potenza termica ai collettori solari e delle rispettive temperature di mandata

7.2.3 Integrazione di scaldacqua elettrici

In questa fase del progetto sono stati inoltre definiti gli schemi per l'integrazione di scaldacqua elettrici nell'impianto del C.R. di Casaccia. La configurazione scelta prevede semplicemente la sostituzione della pompa di calore con uno scaldacqua elettrico. Nell'impianto di Lampedusa, invece, si è deciso di utilizzare la configurazione esistente che già prevede la presenza di uno scaldacqua elettrico all'interno del laboratorio. In queste condizioni, si potranno verificare le prestazioni dei seguenti principi di controllo del sistema:

- Attivazione dello scalda-acqua per massimizzazione autoconsumo fotovoltaico in modalità PWM
- Attivazione dello scalda-acqua per massimizzazione autoconsumo fotovoltaico con inverter e accumulo
- Attivazione dello scalda-acqua in base a segnali del gestore di rete.

Le tre configurazioni sono mostrate in Figura 35, Figura 36 e Figura 37.

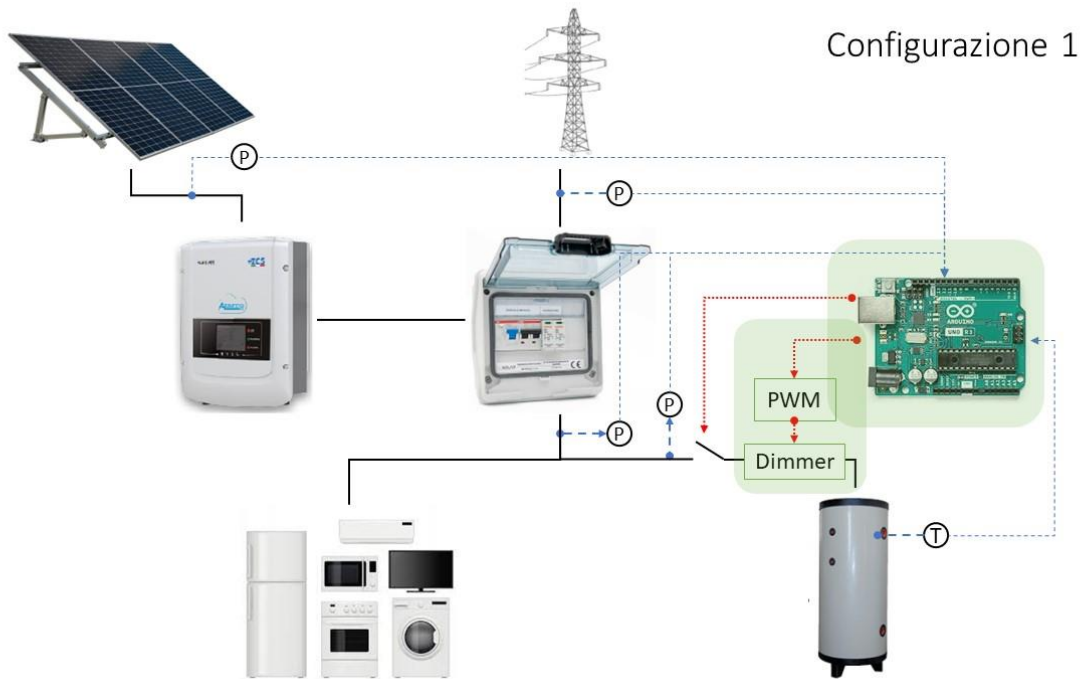


Figura 35. Rappresentazione schematica dell'impianto di Lampedusa con scalda-acqua smart controllato in modalità PWM.

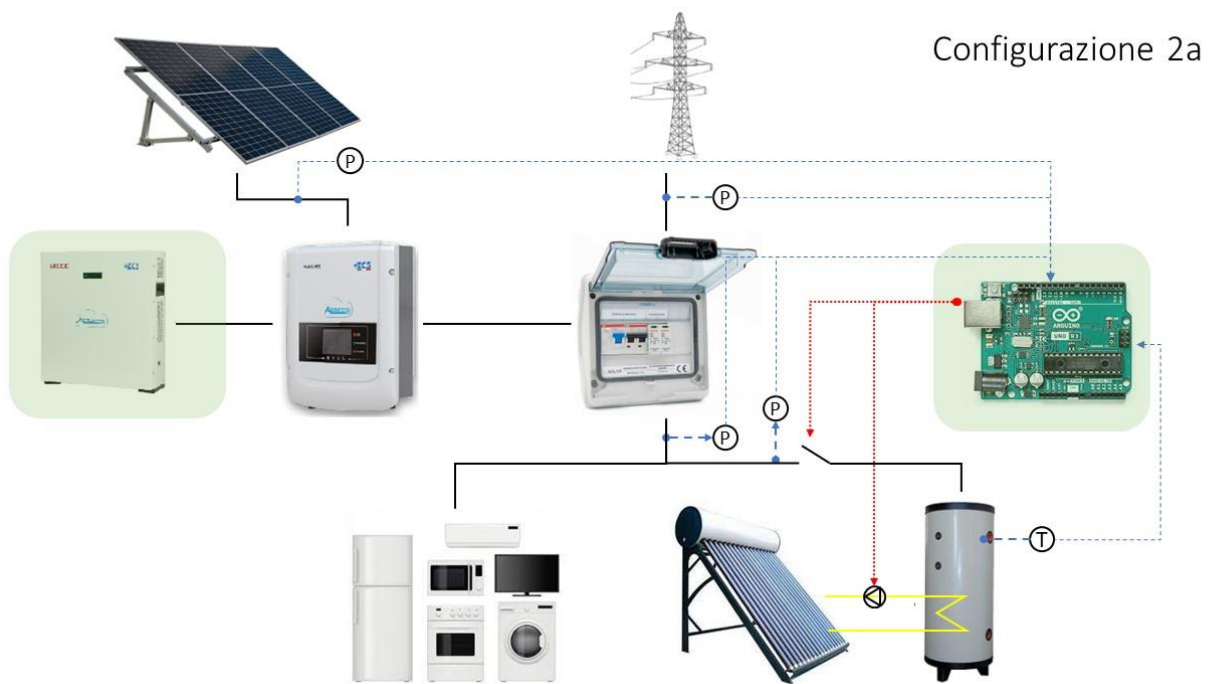


Figura 36. Rappresentazione schematica dell'impianto del C.R. di Casaccia con scaldacqua smart controllato in modalità accendi/spegni e supportato dall'accumulo elettrico.

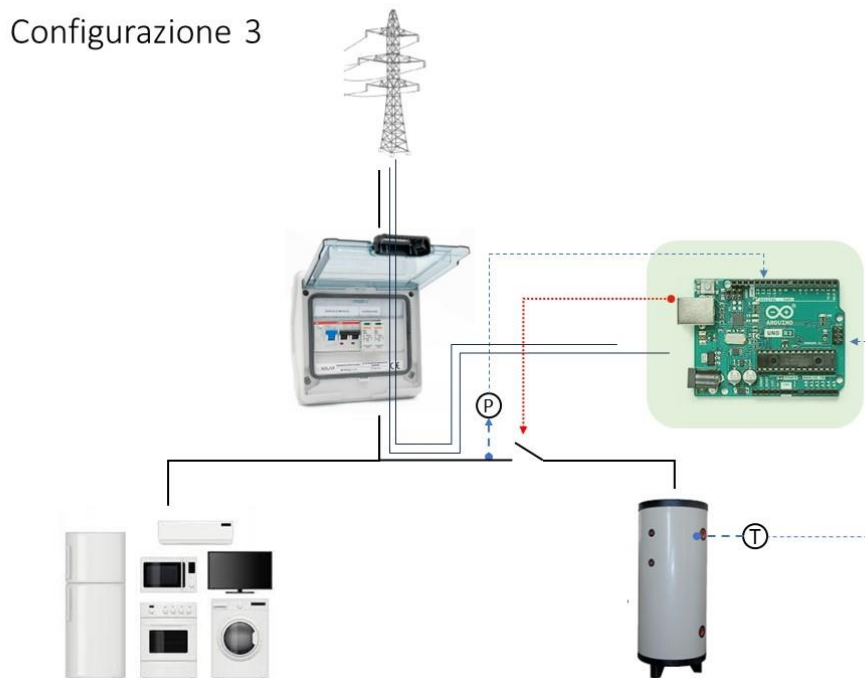


Figura 37. Rappresentazione schematica dell'impianto di Lampedusa con scaldacqua smart controllato dal gestore di rete tramite power line communication

7.3 Impatto della variabilità atmosferica sulla produzione elettrica da fotovoltaico

Nel periodo di riferimento sono continuate le misure di varie grandezze necessarie a quantificare l'effetto dell'opacità atmosferica e della deposizione di particolato sui pannelli fotovoltaici (soiling) sulla produzione elettrica; inoltre, si è provveduto ad uniformare la strumentazione per la misura della produzione dei pannelli fotovoltaici in funzione del soiling presso i tre siti previsti dal progetto (Roma, rappresentativo di condizioni urbane; Madonie, sito montano; Lampedusa, sito marino remoto influenzato da elevati livelli di particolato di origine naturale).

Il sistema osservativo di base (SOB), costituito da due pannelli da 100 W ed un sistema per la misura della corrente di corto circuito dei due pannelli tenuti in differenti condizioni di pulizia, è stato installato in tutti e tre gli osservatori, presso i quali sono inoltre disponibili misure aggiuntive per la determinazione della opacità atmosferica dovute a nubi e particolato.

Le prime analisi delle osservazioni raccolte, in particolare a Roma e Lampedusa, hanno evidenziato differenze significative nella deposizione e quindi nel soiling. In entrambi i siti la precipitazione ha un ruolo fondamentale nel modulare la perdita di produzione perché può produrre una pulizia del pannello e, in alcuni casi, può portare ad un accumulo di particolato e ad una riduzione di produzione. A Lampedusa (Figura 38) si registrano valori massimi dell'indice di soiling fra 5 e 10% (riduzione di produzione), associati principalmente a deposizione di particolato di origine minerale proveniente dal Sahara. A Roma i valori massimi dell'indice di soiling raggiungono il 3.5% (Figura 39).

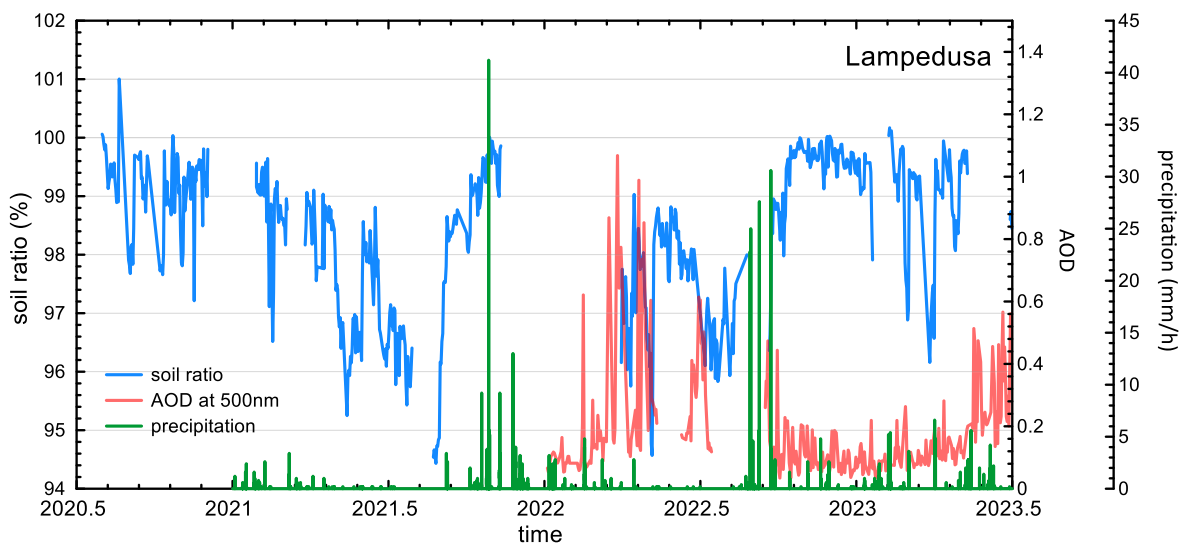


Figura 38. Evoluzione giornaliera del rapporto di soiling (curva azzurra), dello spessore ottico atmosferico degli aerosol (curva rossa), e della precipitazione oraria (curva verde) a Lampedusa.

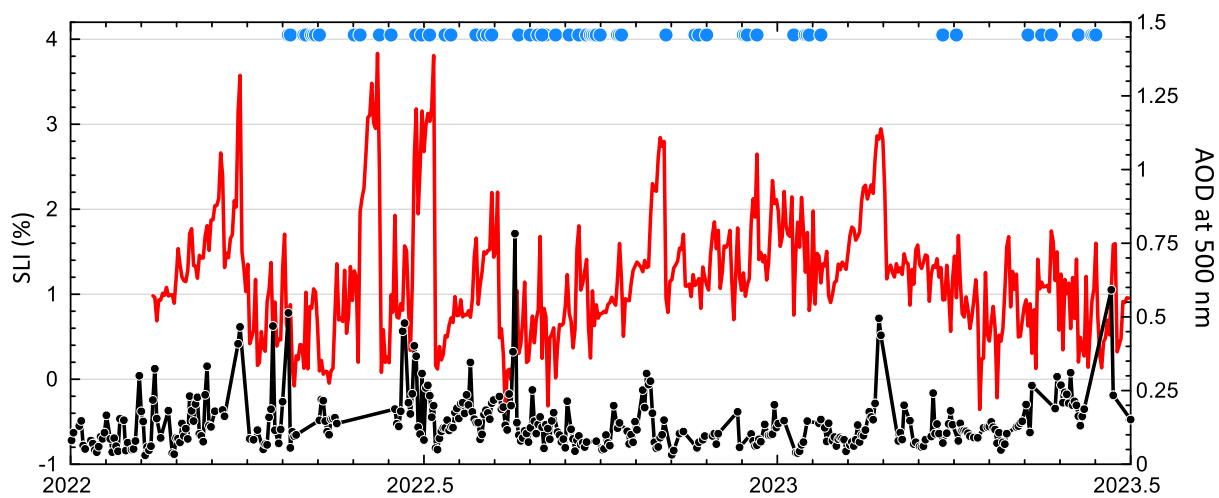


Figura 39. Medie giornaliere dell'indice di soiling (curva rossa) e dello spessore ottico dell'aerosol a 500 nm (curva e punti neri) misurati presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma Sapienza, sito urbano del progetto.

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

Non sono previste consulenze all'interno della LA 4.12

9 Pubblicazioni scientifiche

Sono state realizzate le seguenti pubblicazioni scientifiche:

-Martorana, Francesca, Marina Bonomolo, Giuliana Leone, Marco Beccali, and Biagio Di Pietra. "Systems layouts with additional heat storages for low-temperature PVT collectors assisting Heat Pumps for DHW production." In *E3S Web of Conferences*, vol. 343, p. 04003. EDP Sciences, 2022.

-Ballistreri, Samuele, Biagio Di Pietra, and Paolo Sdringola. "Innovative Solutions for Energy Transitions of Small Islands: The Case of a Hybrid Photovoltaic System at the ENEA Climatic Observatory in Lampedusa Island." In *2022 Workshop on Blockchain for Renewables Integration (BLORIN)*, pp. 218-223. IEEE, 2022.

-E' stata avviata la preparazione di un paper sulle attività svolte nella LA 4.12 che verrà sottomesso a convegno internazionale o a rivista con processo di peer review. Titolo del paper : Decarbonization of domestic hot water generation in small islands using photovoltaic solar with a hybrid electric-thermal energy storage system

10 Eventi di disseminazione

Sono state effettuate le seguenti attività di disseminazione relative alle attività effettuate:

- Settembre 2022, Palermo 2. Partecipazione al workshop BLORIN (Workshop on Blockchain for Renewables Integration). Presentazione poster: "Innovative Solutions for Energy Transitions of Small Islands: The Case of a Hybrid Photovoltaic System at the ENEA Climatic Observatory in Lampedusa Island
- 18 ottobre 2022, Webinar. Partecipazione come relatore al workshop progetto I-Sole: Smart Grid per le Isole Minori. Presentazione ENEA: Studio di nuove soluzioni tecnologiche per l'efficientamento energetico delle isole minori, <https://www.progettoisole.com/webinar-20221018-video/>
- 9 Settembre 2022, Salina. Partecipazione a Green Salina Energy Days. Presentazione ENEA: Risultati Linee di Attività sull'Efficientamento Energetico delle Piccole Isole
- 30 Maggio 2023, Salina. Partecipazione come relatore a Green Salina Energy Days,
- 28 febbraio 2023, Misiliscemi (TP) - Intervista ad una rete televisiva locale all'interno del programma "Misiliscemi e Comunità", per presentare il funzionamento del biodigestore sperimentale e i vantaggi energetici. <https://www.youtube.com/watch?v=n7yDCSDkR2Y>
- Sono state effettuate le seguenti visite da parte di scolaresche all'impianto:
 - Visita guidata del Liceo Scientifico "Alessandro Volta" di Palermo in data 12-13 Ottobre 2022 presso l'impianto sperimentale dell'Osservatorio climatico di Lampedusa. <https://ambiente.sostenibilita.enea.it/news/studenti-palermo-visita-presso-losservatorio-climatico-lampedusa>
 - 9 Maggio 2022, Visita guidata dell'Istituto Professionale Manutenzione e Assistenza Tecnica "P. Mattarella" di Castellamare del Golfo (TP) presso l'impianto a biogas sperimentale del sito di Misiliscemi (TP)
 - 15 ottobre 2022: Visita guidata delle classi IV e docenti della Scuola primaria S. Agostino di Sciacca (TP), presso l'impianto a biogas sperimentale del sito di Misiliscemi (TP) . Gli studenti hanno prodotto un video sul funzionamento del biodigestore sperimentale visibile al seguente link:
<https://www.facebook.com/Scuolasantagostinosciacca/videos/5113127655454954/>