RdS
RICERCA DI SISTEMA

ENEA
AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA SICUREZZA ENERGETICA

Ricerca di Sistema elettrico

LA 4.4: Sistemi integrati: Predisposizione impianto sperimentazione su PdC abbinate a campi PV-T

L. Saraceno, M. Pieve, R. Trinchieri, S. Attanasi, G. Calchetti, L. Gugliermetti, A. Mariani, C. Meloni, S. Scaccia, M. Morlacca, C. Stringola, G. Guidarelli

RdS_PTR 22-24_PR 1.7_LA4.4_030

LA4.4: SISTEMI INTEGRATI: PREDISPOSIZIONE IMPIANTO SPERIMENTAZIONE SU PDC ABBINATE A CAMPI PV-T

L. Saraceno, M. Pieve, R. Trinchieri, S. Attanasi, G. Calchetti, L Gugliermetti, A. Mariani, C. Meloni, S. Scaccia, M. Morlacca, C. Stringola, G. Guidarelli (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/Digitalizzazione ed evoluzione delle reti*
Progetto: Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali
Linea di attività: 4.4
Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA
Responsabile Linea di Attività: Luca Saraceno, ENEA
Mese inizio previsto: gennaio 2022
Mese inizio effettivo: gennaio 2022
Mese fine previsto: giugno 2023
Mese fine effettivo: giugno 2023

Indice

1 RISULTATI ATTESI 3
2 RISULTATI OTTENUTI 4
3 PRODOTTI ATTESI 5
4 PRODOTTI SVILUPPATI 6
5 ANALISI DEGLI SCOSTAMENTI SU ATTIVITÀ E RISULTATI 7
6 SINTESI DELLE ATTIVITÀ SVOLTE 8
7 DETTAGLIO DELLE ATTIVITÀ SVOLTE 9
8 CONTRIBUTO DELLE EVENTUALI CONSULENZE ALLE ATTIVITÀ SOPRA DESCRITTE 35
9 PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE 36
10 EVENTI DI DISSEMINAZIONE 37

1 Risultati attesi

I principali output attesi, descritti in questo report e nel corrispondente allegato (Report RdS_PTR 22-24_PR 1.7_LA4.4_030_ALL) sono:

i) progettazione preliminare e valutazione di eventuali modifiche, strumentali e componentistiche, all'impianto SolairHP esistente, costituito da pompa di calore (PdC) a CO2 con doppio evaporatore (ad aria o costituito da serpentine integrate in pannelli PV-T), pannelli PV-T e impianti idronici ausiliari per la stabilizzazione delle condizioni di esercizio e per la simulazione utenza;

ii) effettiva realizzazione degli interventi previsti, sui tre sottosistemi sopra descritti;

iii) messa in servizio dell'impianto fotovoltaico, con realizzazione di sistema di monitoraggio e acquisizione della produzione elettrica e con la dotazione di un sistema di accumulo e di scarica per la simulazione di una utenza elettrica di riferimento, specificamente caratterizzata per l'esecuzione delle future attività sperimentali.

2 Risultati ottenuti

Tutti i risultati attesi sono stati ottenuti. In particolare:

i) È stata eseguita la progettazione preliminare e sono state valutate le modifiche strumentali e componentistiche all'impianto SolairHP. ed in particolare ai tre sottosistemi costituiti da PdC a CO_2, pannelli PV-T e circuito idronico ausiliario impiegato per la stabilizzazione delle condizioni di esercizio e per la simulazione utenza;

ii) E' stato effettuato il montaggio dei componenti selezionati, come più dettagliatamente descritto nel paragrafo 7 del presente documento e nell'allegato sopra menzionato; in particolare, gli interventi sulla PdC hanno riguardato l'installazione di un misuratore di portata lato refrigerante; sulla serpentina integrata ai pannelli PV è stata installata nuova sensoristica per la misura delle pressioni di esercizio e dei rispettivi Δp, oltre a sensori di misura per valutare l'entità di surriscaldamento da correlare ad eventuale degrado delle prestazioni dei pannelli; il circuito idronico ausiliario è stato modificato nella configurazione, aggiungendo un dry-cooler ad aria per aumentare le capacità di raffreddamento, nella componentistica (ad esempio nuovi pompe di circolazione in grado di erogare portate più elevate a prevalenze maggiori) e nella sensoristica di misura e monitoraggio delle condizioni di esercizio ed è stata predisposta tutta la catena di misura;

iii) È stato collegato elettricamente l'impianto fotovoltaico al sistema di monitoraggio e acquisizione della produzione elettrica. Esso è stato dotato di un sistema di accumulo e di scarica per la simulazione di una utenza elettrica di riferimento; quest'ultima è stata specificamente caratterizzata per l'esecuzione delle future attività sperimentali.

3 Prodotti attesi

Il principale prodotto atteso da questa LA è la modifica, con nuova componentistica e strumentazione, del prototipo di PdC di calore aria-sole, già disponibile presso il C. R. Casaccia, dotata di collettori PV-T (fotovoltaico-termico), funzionanti come evaporatori della PdC, sistema di accumulo, logiche di controllo dedicate. Le fasi di progettazione preliminare, dimensionamento, installazione sono descritte in questo rapporto tecnico.

4 Prodotti sviluppati

Le modifiche all'impianto di prova per pompe di calore abbinate a pannelli PV-T sono state completate. In particolare, è stata installata nuova strumentazione (misuratori di portata, di pressione e temperatura) per il monitoraggio del ciclo frigorifero della PdC, nuova componentistica e strumentazione per il circuito idronico, del quale è stata anche leggermente variata la configurazione con l'aggiunta di un dry-Cooler ad aria, e componenti per la messa in servizio dei collettori PV-T. A questo scopo, è stato in particolare installato un sistema di accumulo fotovoltaico off-grid commerciale, concepito e appositamente sviluppato per la produzione e lo stoccaggio di energia in situazioni in cui non c'è la connessione alla rete elettrica nazionale. Questo sistema gestisce batterie di accumulo al litio con una potenza di picco di 3 kW e una capacità di 7.2 kWh e si avvale di regolatori di carica esterni. Sono stati installati strumenti di misura di potenza attiva, in grado di misurare anche altre grandezze elettriche. Infine, la simulazione del carico sarà affidata ad una serie di resistenze da 3 kW totali, anch'esse installate, alimentate tramite triac e controllabili in assorbimento tramite segnale di tensione o relè.

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Non sono stati registrati scostamenti tecnici rispetto alle attività previste. Dal punto di vista economico, la LA 4.4 ha fatto registrare un incremento molto contenuto dei costi, in linea con gli aumenti effettivi del costo delle materie prime e dei materiali (in particolare dei beni consumabili) tra il periodo di preventivazione e quello di consuntivazione.

6 Sintesi delle attività svolte

L'attività di ricerca ha previsto la progettazione e messa in opera di modifiche all'impianto di prova per PdC a CO_2 dotata di pannelli PV-T, che hanno riguardato il circuito frigorifero (installati nuovi misuratori di portata, di pressione e temperatura) e il circuito idronico ausiliario (modifiche configurazione, componenti e strumentazione). I collettori PV-T sono stati collegati ad un sistema di accumulo fotovoltaico off-grid, che gestisce batterie di accumulo al litio con una potenza di picco di 3 kW. La catena elettrica è stata dotata di misura di potenza attiva. Per la simulazione del carico, in previsione di test di simulazione di utenze reali, è stata installata una serie di resistenze da 3 kW. Inoltre, è stato predisposto il programma di gestione e monitoraggio da remoto dell'impianto e l'acquisizione dati. Infine, è stata proposta una metodologia con cui determinare i profili di carico elettrici giornalieri di utenze di riferimento, da impiegare in test dinamici del sistema.

7 Dettaglio delle attività svolte

Questo documento illustra le fasi di aggiornamento dell'impianto SolairHP, costruito per un precedente progetto presso il C.R. ENEA Casaccia. La particolarità dell'apparato risiede nell'uso dei collettori solari-fotovoltaici PVT (PhotoVoltaic and Themal) come evaporatori della PdC a CO_2. Tale sistema può utilizzare l'irraggiamento solare e l'aria ambiente come sorgente esterna e può garantire riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria (ACS) Dopo una fase di valutazione sull'opportunità di effettuare modifiche, strumentali e componentistiche, all'impianto esistente, in base alle problematiche sperimentali riscontrate in precedenti campagne di prova e una fase di progettazione preliminare si è proceduto all'effettiva realizzazione degli interventi progettati, con i quali si vuole anche consentire la sperimentazione in modalità HiL, compatibilmente con le condizioni ambientali non controllabili.
Il principale intervento ha riguardato la messa in servizio dell'impianto fotovoltaico, che è stato dotato di un sistema di accumulo e di scarica per la simulazione di una utenza elettrica di riferimento. Quest'ultima è stata definita, individuando, da una campagna di monitoraggio stagionale, un profilo di carico elettrico tipico. Altri interventi hanno riguardato l'installazione di strumentazione per monitorare i pannelli PV-T dal punto di vista termoidraulico (es. individuazione di maldistribuzioni di refrigerante nelle serpentine dell'evaporatore solare e punti di surriscaldamento dei pannelli). Tra le altre, sono state poi effettuate delle modifiche ai circuiti idronici ausiliari per ottenere più velocemente la stabilità delle condizioni di lavoro e mantenerla per più tempo. Complessivamente, l'impianto nella nuova configurazione ha acquisito maggiore versatilità d'uso e potrà essere impiegato sia in test stazionari che in modalità HiL, da eseguire nella seconda fase dell'attività di ricerca.

7.1 Componenti d'impianto

La PdC oggetto di studio impiega CO_2 (R744) come fluido refrigerante. Ha una potenza nominale di 10/6 kW in modalità di riscaldamento e raffrescamento rispettivamente ed è costituita dai seguenti componenti principali:

- Compressore volumetrico TOSHIBA RY100 L1F-10FU con inverter e regolazione in frequenza dal 25 al 100% rispetto quella nominale;
- Scambiatori a piastre SWEP B18x31 eB18x6, il primo per la produzione di ACS nella modalità estiva e di riscaldamento nella modalità invernale e il secondo per il recupero interno;
- Valvola di espansione elettronica EEV Carel E2V-14;

- Scambiatore a piastre ALFA LAVAL CBXP27, utilizzato nello scambio termico con l'utenza per la produzione di acqua fredda per la climatizzazione estiva;
- Batteria alettata LUVE EAV5R 5511 con ventilatore regolabile: è impiegato come gas-cooler nella modalità operativa estiva e come evaporatore nella modalità invernale;
- Pannelli ibridi PV/T (PhotoVoltaic and Thermal) SOLVIS SV 60-270m (Tabella 1): la PdC è dotata di 10 pannelli termo-fotovoltaici disposti in due file da 5 pannelli (Figura 1). I pannelli, grazie alle serpentine integrate sulla faccia posteriore, sono impiegati come evaporatore nella modalità invernale;

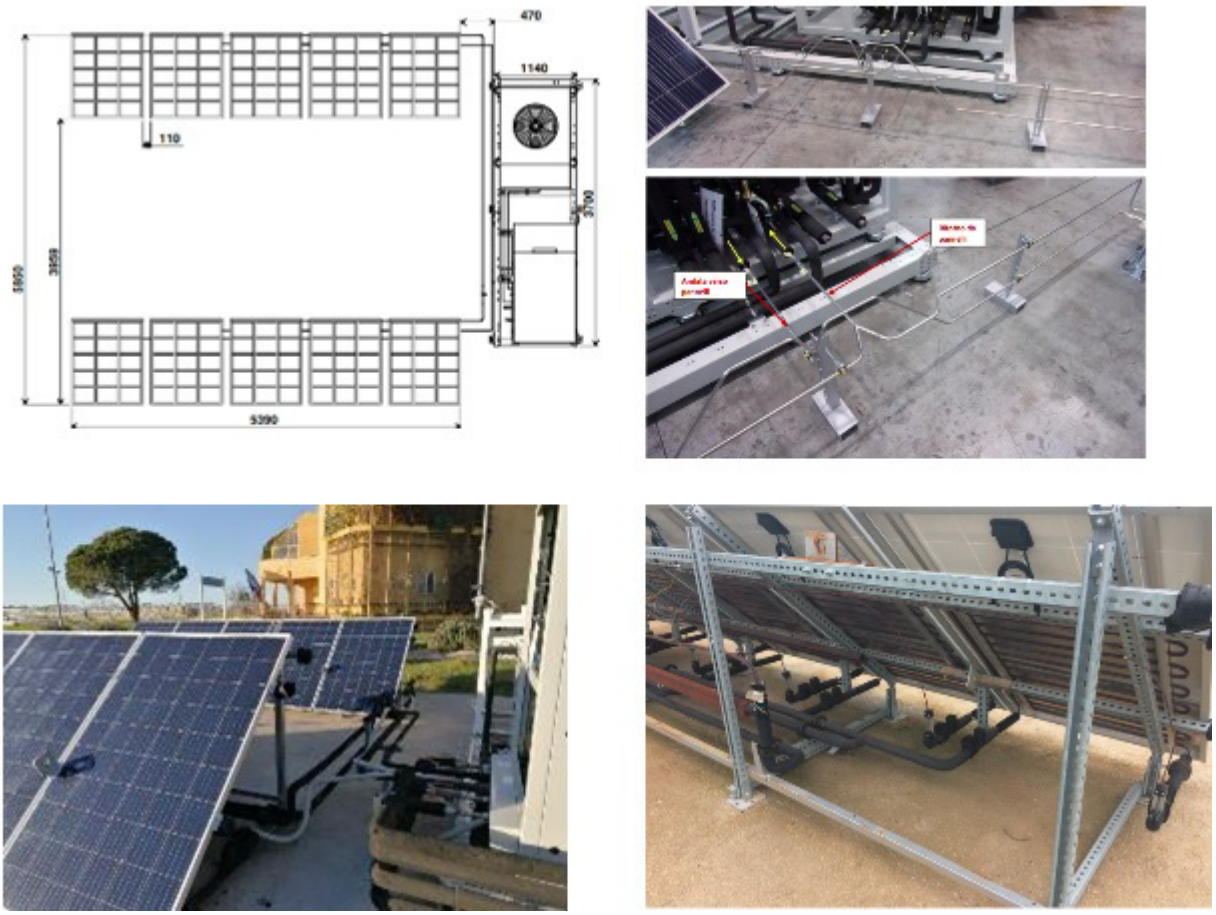


Figura 1: Installazione in campo dei pannelli

Tabella 1: Datasheet SOLVIS SV 60-270

Model No.	SV60-270
Product Warranty	10 Years
Power Warranty	12 Years of 90% Output Power, 25 Years of 80% Output Power
Maximum Power (Pmax)	270 Wp
Voltage at Maximum Power (Vmpp)	31.6 V
Current at Maximum Power (Impp)	8.76 A
Open Circuit Voltage (Voc)	38.4 V
Short Circuit Current (Isc)	9.11 A
Panel Efficiency	16.50%

Power Tolerance (Positive)	3%
Power Tolerance (Negative)	-3%
Maximum Power (Pmax)	196.7 Wp
Voltage at Maximum Power (Vmpp)	28.9 V
Current at Maximum Power (Impp)	6.79 A
Open Circuit Voltage (Voc)	35.4 V
Short Circuit Current (Isc)	7.32 A
Operating Temperature Range	-40~85 °C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.41 %/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.31 %/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.05 %/°C
Maximum System Voltage	1000 V
Series Fuse Rating	15 A
Panel Dimension (H/W/D)	1650x992x40 mm
Weight	18.7 kg
Cell Type	Polycrystalline
Cell Size	156×156 mm
Cell Number	60
Glass Type	Tempered
Glass Thickness	3.2 mm
Encapsulant Type	EVA
Frame Type	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box Diodes	3
Junction Box Protection Class	IP 67
Connector Type	MC4
Cable Crossection	4 mm2
Cable Length	1000 mm

7.2 Modalità operative

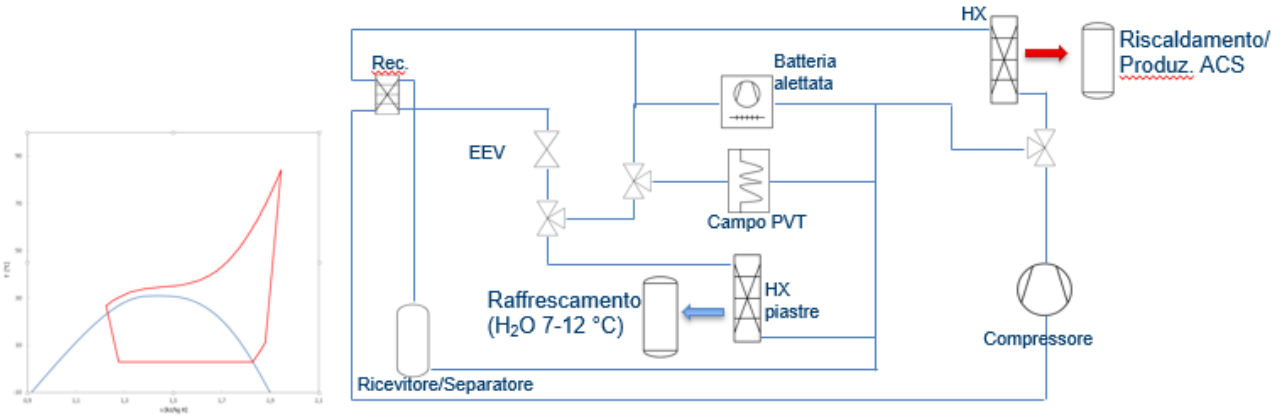
La PdC "SolairHP" è una macchina reversibile che può lavorare sia in riscaldamento che in raffrescamento (Figura 2) Infatti, è stata progettata per operare in 6 modalità differenti per la climatizzazione (riscaldamento e raffrescamento) e la produzione di ACS. Le modalità sono riportate in Tabella 2.

Tabella 2: Modalità funzionamento SolairHP

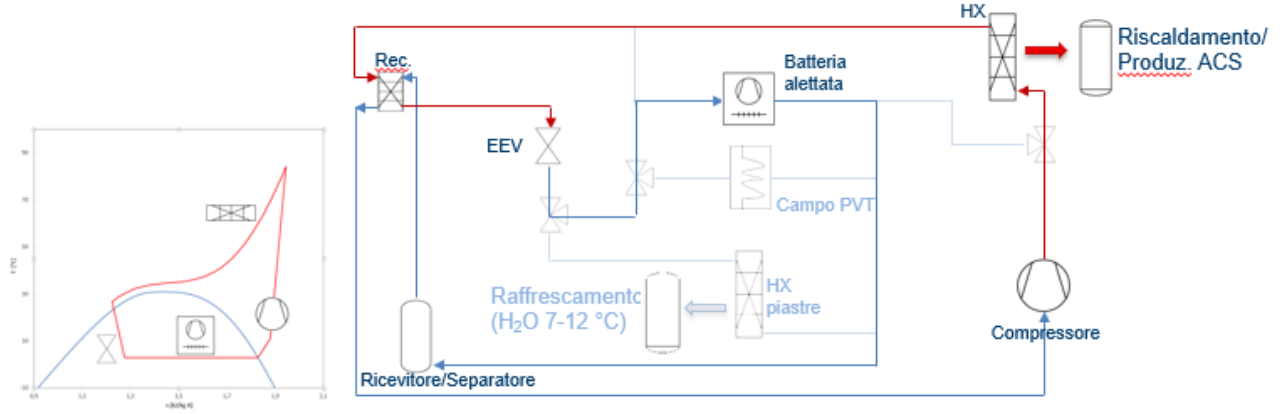
Configurazione	*Stagione*	*Produzione*	*Evaporatore*
1	inverno	Riscaldamento	Batteria alettata
2	inverno	ACS	Batteria alettata
3	inverno	Riscaldamento	PV/T
4	inverno	ACS	PV/T
5	estate	Raffrescamento	Scambiatore a piastre
6	estate	ACS e Raffrescamento	Scambiatore a piastre

Nella modalità "solo riscaldamento" è possibile distinguere due configurazioni: nella (1) si usano i pannelli ibridi come evaporatore, nella (3) una batteria alettata. Le modalità di produzione ACS differiscono da queste

per la temperatura di produzione dell'acqua. Nella modalità estiva la funzione di evaporatore viene invece svolta dallo scambiatore a piastre, tranne per la produzione di ACS.



(a)



(b)

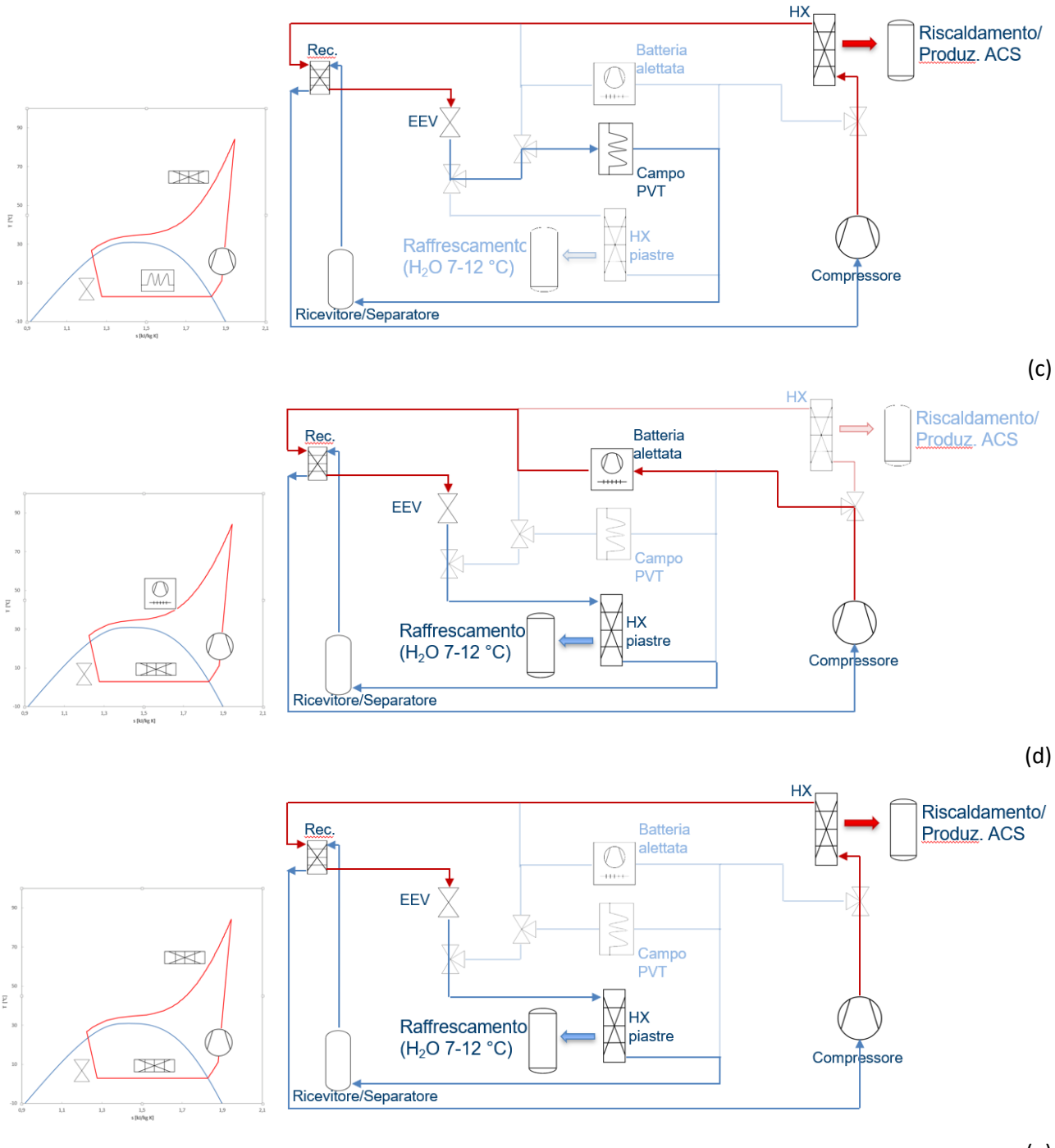


Figura 2: Impianto semplificato della PdC (a); Circuito attivo nelle modalità 1/2 (b); Circuito attivo nelle modalità 3/4 (c); Circuito attivo nella modalità 5 (d); Circuito attivo nella modalità 6 (e)

La Figura 2 riporta, per ogni modalità, anche i cicli termodinamici sul piano T-s (temperatura entropia), con le trasformazioni che lo compongono e i componenti in cui esse avvengono.

7.3 Impianti secondari di funzionamento

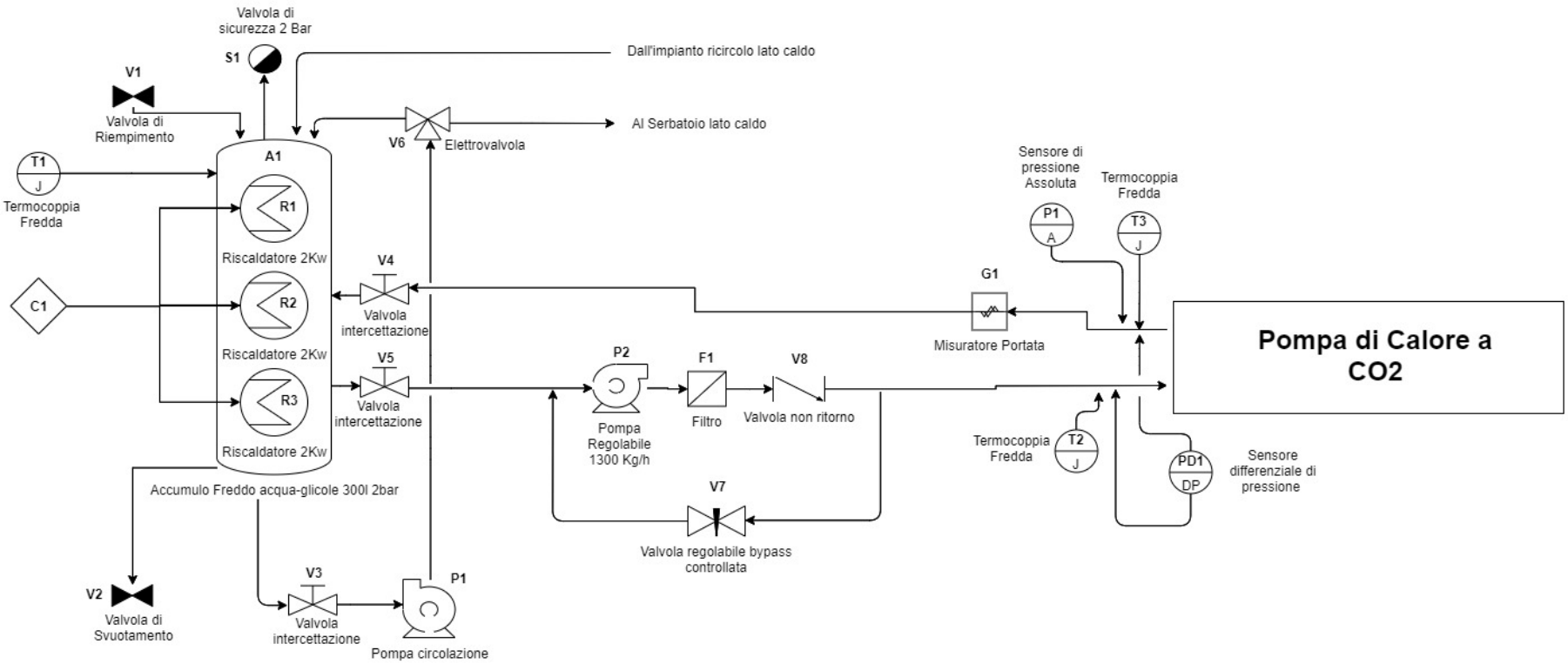
I circuiti idronici freddo (Figura 3) e caldo (Figura 4) hanno il compito di consentire l'esecuzione di test in condizioni stazionarie con temperature di lavoro della PdC costanti e possibilmente indipendenti dalle condizioni esterne. I due circuiti impiegano acqua-glicole 30-70 (per evitare possibili congelamenti a macchina spenta in inverno).

I componenti principali del circuito idronico lato freddo, nella sua versione iniziale, sono: accumulo inerziale di 300 litri operante a 2 bar di pressione, pompa di circolazione regolabile tramite segnale 0-10 V, 3 resistenze elettriche da 2 kW. Tutti i componenti impiegati e gli strumenti sono riportati in Tabella 3:

Tabella 3: Sensoristica ausiliari lato freddo

Componente	*Riferimento*	*Tipo*
Termocoppia	T1, T2, T3	Termocoppia tipo J
Misuratore portata	G1	Turbina
Pompa circolazione	P1	Bassa portata, bassa prevalenza
Pompa alimentazione	P2	Bassa prevalenza
Riscaldatore	R1, R2, R3	Resistenza da 2 kW elettrici
Filtro	F1	A maglie metalliche
Valvola non ritorno	V8	-
Valvola svuotamento/riempimento	V1, V2	A sfera
Valvola regolazione bypass	V7	A pin/membrana regolabile 0-10V
Valvola 3 vie	V6	Regolabile 0-10V
Sensore pressione assoluta	P1	2 Atm
Sensore pressione differenziale	PD1	0-0.1 bar
Serbatoio	A1	Acqua-glicole 300 l 2 bar
Valvola sicurezza	S1	3 bar
Valvola intercettazione	V3, V4, V5	A sfera

.



Lato Freddo

Figura 3 Circuito idronico lato freddo nella versione originale

I componenti principali del circuito idronico lato caldo, nella sua versione iniziale, sono: accumulo inerziale di 500 litri, pompa di circolazione gestibile tramite segnale 0-10 V, chiller da 7 kW termici. Tutti i componenti e gli strumenti utilizzati sul lato caldo sono riportati in Tabella 4:

Tabella 4: Sensoristica ausiliari lato caldo

Componente	*Riferimento*	*Tipo*
Termocoppia	T4, T5, T6	Termocoppia tipo K
Termocoppia	T7, T8	Termocoppia tipo J
Misuratore portata	G2, G3	Magnetico 1300 Kg/h
Pompa circolazione	P4	Bassa portata, bassa prevalenza
Pompa alimentazione	P3, P5	Bassa prevalenza
Chiller	H1	Chiller 11 kw
Filtro	F2, F3	A maglie metalliche
Valvola non ritorno	V9, V18	-
Valvola svuotamento/riempimento	V11, V14, V17, V19	A sfera
Valvola regolazione bypass	V10	A pin/membrana regolabile 0-10V
Valvola 3 vie	V16	Regolabile 0-10V
Sensore pressione assoluta	P2	2 Atm
Serbatoio	A2	Acqua-glicole 500 l 2 bar
Valvola sicurezza	S2	3 bar
Valvola intercettazione	V12, V13, V15, V20, V21	A sfera
Vaso d’espansione	E1	A membrana precaricato 10 litri 2 bar
Sensore pressione differenziale	PD2	0-0.1 bar
Scambiatore alta efficienza	SC1	Scambiatore a tubi interno

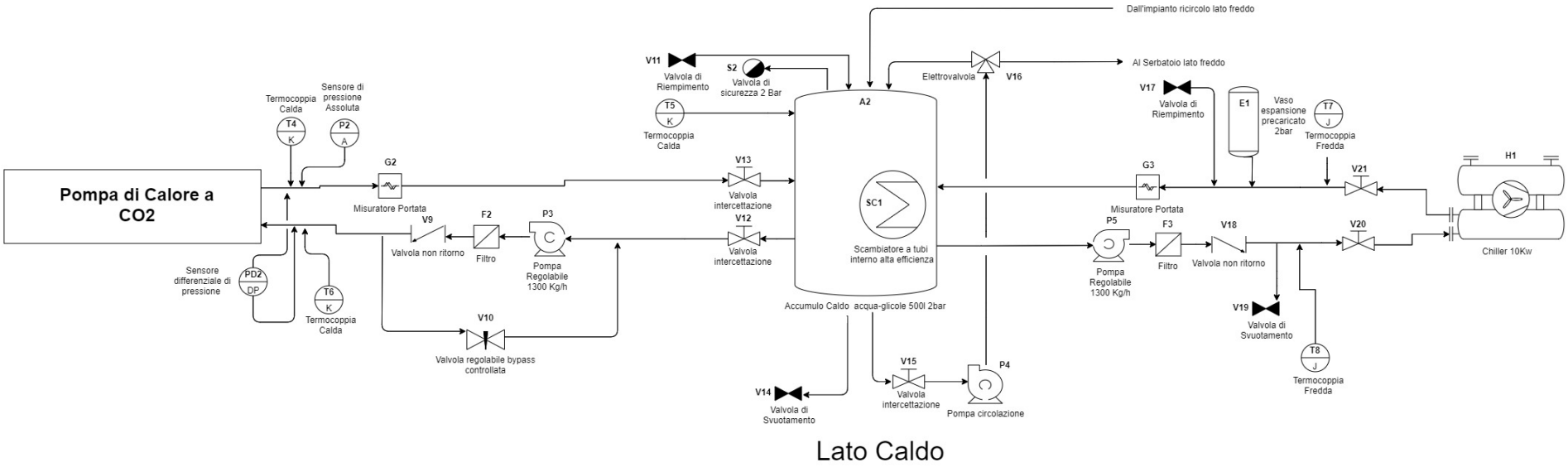


Figura 4 Circuito idronico lato caldo nella versione originale

7.4 Modifiche d'impianto: dimensionamento, selezione e assemblaggio componenti

La PdC SolairHP e i relativi sistemi ausiliari descritti nei paragrafi precedenti sono stati aggiornati e migliorati, lavorando su tre aree distinte:

- Aggiornamento e miglioramento della strumentazione della PdC e dei pannelli PV/T
- Aggiornamento e miglioramento di componenti e strumentazione dei sistemi ausiliari
- Realizzazione di sistema di accumulo elettrico e utilizzo energia elettrica prodotta dai pannelli PV/T

Gli interventi mirano a realizzare un apparato sperimentale più flessibile del precedente che deve consentire l'esecuzione di test sperimentali in diverse modalità: dal punto di vista termico, il circuito idronico ausiliario dovrà poter simulare vari tipi di utenza sia come temperature di esercizio sia come potenza controllata (naturalmente nel limite della capacità della PdC). Dal punto di vista elettrico, sono stati collegati i collettori fotovoltaici ad un utilizzatore elettrico virtuale che, tramite batterie di accumulo, inverter e carichi elettrici fittizi, dovrà simulare diversi profili di consumo elettrico. Questi ultimi saranno definiti come somma del consumo elettrico per la climatizzazione e di quello per altri usi, individuato, ai fini di questa attività sperimentale, dall'analisi di dati di monitoraggio di un'utenza di riferimento.

- *Aggiornamento e miglioramento della PdC e dei pannelli PV/T*

Gli interventi sulla PdC e sui pannelli PV/T, riassunti in Tabella 5, sono dedicati soprattutto alla misura delle perdite di carico per ogni singolo pannello fotovoltaico. La misura delle pressioni sui pannelli sarà utile per identificare eventuali maldistribuzioni di refrigerante. Con i sensori di pressione sono stati anche installati sensori di temperatura per identificare le condizioni termiche di ingresso e uscita ai pannelli.

Tabella 5: Attività di aggiornamento e miglioramento della PdC sperimentale Solair-HP

Numero attività		Descrizione	Componentistica
Modifica e aggiornamento Pompa di Calore sperimentale Solair-HP	1	Installazione sensori di pressione assoluta da 100 bar	10 P-33x Keller-Druck o similare
	2	Installazione sensori di delta di pressione da 0-6 bar	10 PD-33x Keller-Druck o similare
	3	Installazione termocoppie tipo J su pannello e sui rami di uscita	20 Termocoppie J
	4	Installazione sensore di portata refrigerante internamente alla PdC	1 Micro Motion ELITE Coriolis Meter della Emerson
	4	Installazione piranometro per il monitoraggio dell'irraggiamento solare	1 DELTA OHM LP PYRA 02 o similare
	5	Installazione sistema remotizzato di controllo del surriscaldamento	Attuatore per valore a 3 vie CO_2

- *Aggiornamento e miglioramento di componenti e strumentazione dei sistemi ausiliari*

Per le problematiche riscontrate in precedenti campagne di prove, si è scelto di migliorare i sistemi ausiliari in modo da poter operare in un range superiore di temperature esterne e in modo da raggiungere condizioni stazionarie per periodi di tempo più lunghi. Per questo sono state sostituite le pompe di circolazione con varianti a maggior pressione e prevalenza; è stato installato un dry-cooler da 10 kW per contribuire allo smaltimento della portata calda proveniente dalla PdC; è stata aumentata la potenza delle resistenze termiche nei serbatori da 6 a 9 kW complessivi. In Tabella 6 si riporta la lista di tutte le attività previste:

Tabella 6: Attività di aggiornamento e miglioramento dell'impianto ausiliario alla PdC SolairHP

Numero attività		Descrizione	Componentistica
Modifica impianto ausiliario	1	Installazione di un dry-cooler da 10 kw termici per incrementare le potenzialità di raffreddamento del secondario	LUVE SAL5R-4511 LH o similare
	2	Incremento potenza termica di riscaldamento del secondario tramite installazione di 3 resistenze da 3 kw	3 SEDES GROUP 820000500
	3	Incremento massima portata fornita dal secondario tramite pompe ad alta portata e prevalenza controllate elettronicamente	Magna3 40-150 F (lato freddo) e Magna3 40-180 F (lato caldo)
	4	Aggiornamento flow-meter con maggiore precisione e range per adattarsi alle nuove pompe di circolazione	3 flussometri per liquidi range 0,2 l/min÷ 50 l/m
	5	Installazione anodo di sacrificio per evitare corrosioni dovute alle correnti parassite	Anodo di sacrificio

La Figura 5 mostra il layout del circuito con l'aggiunta del dry-cooler.

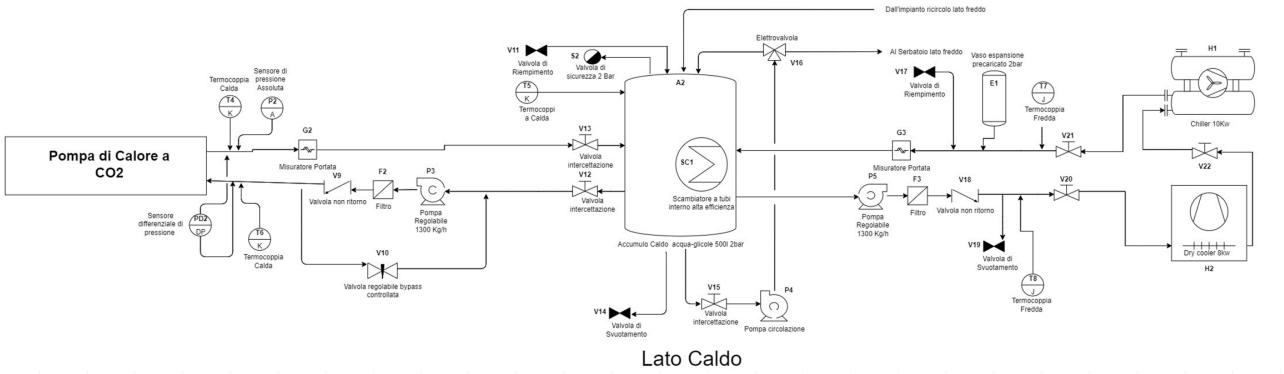


Figura 5: Lato caldo del circuito ausiliario con l'installazione in serie del dry-cooler (H2 in figura)

- *Realizzazione di sistema di accumulo elettrico e utilizzo energia elettrica prodotta dai pannelli PV/T*

L'ultima categoria di interventi riguarda la realizzazione di un sistema integrato di monitoraggio, accumulo e smaltimento della potenza elettrica proveniente dai pannelli PV/T. Questo sistema deve avere le stesse richieste elettriche di un'utenza fittizia tipo in modo da permettere la simulazione integrata sia dei suoi fabbisogni termici che di quelli elettrici. A tal fine il sistema è stato dotato di accumulo elettrico con una potenza di picco di 3 kW e una capacità di 7.2 kWh. La simulazione del carico elettrico è affidata ad una serie di resistenze da 3 kW totali controllabili in assorbimento tramite segnale di tensione. Il sistema è stato strumentato in tutti i suoi componenti in modo da analizzare tutte le efficienze (produzione, trasformazione, accumulo) e monitorare la quota destinabile al sistema di condizionamento e agli altri utilizzi.
Come strumento di misura di potenza attiva è stato selezionato il wattmetro EMT-1C/300: si tratta di uno strumento in grado di misurare la corrente e la tensione rms CA/CC. Riguardo il sistema di accumulo fotovoltaico, per maggior compatibilità con la sperimentazione in programma, ne è stato selezionato uno off-grid commerciale (Leonardo PRO X OFF-GRID), appositamente sviluppato per la produzione e lo stoccaggio di energia in situazioni in cui non c'è la connessione alla rete elettrica nazionale.
Il sistema di accumulo gestisce batterie al litio Pylontech (tipo US3000C) e si avvale di regolatori di carica esterni (tipo WRM30+). In Tabella 7 sono riportate tutte le attività completate per la creazione del sistema. Il sistema di acquisizione e controllo è stato realizzato con hardware National Instrument (NI) e software LabView per essere uniformato con gli altri sistemi già disponibili sull'impianto SolairHP.

Tabella 7: Attività per la creazione di un sistema di accumulo e utilizzo energia elettrica prodotta dai pannelli PV/T

Numero attività		Descrizione	Componentistica
Accumulo e utilizzo energia elettrica prodotta dai pannelli PV/T	1	Installazione inverter da 3 kW	Izcs Azzurro 3000sp
	2	Installazione batterie di accumulo 7.2 kWh	Pylontech 7,2 kWh
	3	installazione wattmetri: • wattmetro per collegamento pannelli-inverter, • wattmetro inverter-batterie, • wattmetro inverter-carico	3 Wattmetri EMT-1C/300
	4	Installazione carico fittizio per esterni a resistenza controllato tramite triac	Batteria di resistenze e triac
	5	realizzazione di un quadro dedicato al fotovoltaico	quadro elettrico completo di sicurezze e controlli
	6	Sistema di acquisizione National Instrument	NI-9213, n 2 NI-9208, n1 NI9481

7.4.1 Assemblaggio dei componenti presso l'impianto sperimentale esistente

Le attività di assemblaggio della componentistica selezionata sono state regolarmente completate. Solo i nuovi misuratori di portata non sono stati momentaneamente installati, per un ritardo nella fornitura. Le figure seguenti mostrano alcuni dei componenti, elencati nei precedenti paragrafi, dopo la fase di installazione.

La Tabella 8 elenca infine la nuova catena di misura, considerando anche i nuovi canali di acquisizione e controllo gestiti da HW NI.

Figura 6: sistema di accumulo fotovoltaico composto da modulo Leonardo ProX e regolatori di carica esterni (WRM30+)

Figura 7: Involucro delle resistenze elettriche che simulano carichi elettrici di utenze reali

Model		US2000C	US3000C	US5000
Basic Parameters				
Nominal Voltage (Vdc)		48	48	48
Nominal Capacity(kWh)		2.4	3.55	4.8
Usable Capacity(kWh)		2.28	3.37	4.56
Dimension(mm)		442*410*89	442*410*132	442*420*161
Weight(kg)		22.5	32	39.7
Charge/ Discharge Current(A)	(Recommend)	25	37	80*
	(Max. Continuous)	25	37	100*
	(Peak 1)	50~89@60sec	74~89@60sec	101~120@15min
	(Peak 2)	90~200@15sec	90~200@15sec	121~200@15sec
Communication Port			RS485,CAN	
Single string quantity(pcs)		16	16	16
Working Temperature/	Charge		0~50	
Working Temperature/	Discharge		-10~50	
Shelf Temperature/			-20~60	
Short current/duration time		<4000A/2ms	<4000A/2ms	<2000A/1ms
IP rating			IP20	
Cooling type			Natural	
Humidity			5% ~ 95%(RH) No Condensation	
Altitude(M)			<4000	
Design life		15+ Years (25 /77)	15+ Years (25 /77)	15+ Years (25 /77)
Cycle Life		>8,000 25	>8,000 25	> 8,000 25
Certification		UL1642/ IEC62619 /ICE63056 /ICE61000-6-2/3 UN38.3	UL1973 /UL1642 /UL9540A/VDE2510-50 /IEC63056/IEC62619 /IEC62040/IEC62477-1 /ICE61000-6-2/UN38.3	UL1973/UL9540A IEC62619/IEC63056 /ICE61000-6-2/3 /UN38.3

Figura 8: Contenitore con batterie al litio Pylontech US3000C 3.5 kWh 48V per accumulo da fotovoltaico e caratteristiche tecniche

Figura 9: Wattmetri EMT-1C/300 per la misura della potenza elettrica prodotta, accumulata e dissipata nelle resistenze di simulazione utenza

Figura 10: Dry-Cooler LUVE SAL5R-4511 LH

Figura 11: Vista posteriore dei pannelli PV-T con i misuratori di pressione assoluta e differenziale

Figura 12: Nuove pompe di circolazione per i circuiti ausiliari

Figura 13: Resistenze elettriche di potenza maggiorata installate sul serbatoio di accumulo

Tabella 8: Catena di misura nuova configurazione impianto SolairHP

	N	Dev. Type	Id. Dev.	Ch.	Nome	Grandezza	Unità misura	Range	Tipo	Note
Chassis 1 (SHP_HP)	0	NI-9213	cDAQ2Mod1	ai0	ToCP	Compressor outlet emp.	°C	0÷150	TC CR/AL(K)	
	1	NI-9213	cDAQ2Mod1	ai1	TiHHEh	HHE inlet Temp (hot side refrigerant)	°C	0÷150	TC CR/AL(K)	
	2	NI-9213	cDAQ2Mod1	ai2	ToHHEh	HHE oulet Temp (hot side refrigerant)	°C	0÷150	TC CR/AL(K)	
	3	NI-9213	cDAQ2Mod1	ai3	TaGC	Gas Cooler Temp. a *	°C	-20÷100	TC FE/CO(J)	
	4	NI-9213	cDAQ2Mod1	ai4	TbGC	Gas Cooler Temp. b **	°C	-20÷100	TC FE/CO(J)	
	5	NI-9213	cDAQ2Mod1	ai5	TiREh	Recuperator inlet Temp (hot side)	°C	0÷150	TC CR/AL(K)	
	6	NI-9213	cDAQ2Mod1	ai6	ToREc	Recuperator outlet Temp (cold side)	°C	0÷150	TC CR/AL(K)	
	7	NI-9213	cDAQ2Mod1	ai7	TiHPV	HP valve inlet Temp.	°C	0÷150	TC CR/AL(K)	
	8	NI-9213	cDAQ2Mod1	ai8	ToHPV	HP valve outlet Temp.	°C		TC FE/CO(J)	
	9	NI-9213	cDAQ2Mod1	ai9	TiSP	Solar Panels inlet Temp.	°C	-20÷100	TC FE/CO(J)	
	10	NI-9213	cDAQ2Mod1	ai10	ToSP	Solar Panels outlet Temp.	°C	-20÷100	TC FE/CO(J)	
	11	NI-9213	cDAQ2Mod1	ai11	TiSP1	Solar Panel 1 inlet Temp.	°C	-20÷100	TC FE/CO(J)	
	12	NI-9213	cDAQ2Mod1	ai12	ToSP1	Solar Panel 1 outlet Temp.	°C	-20÷100	TC FE/CO(J)	
	13	NI-9213	cDAQ2Mod1	ai13	TiSP2	Solar Panel 2 inlet Temp.	°C	-20÷100	TC FE/CO(J)	

	N	Dev. Type	Id. Dev.	Ch.	Nome	Grandezza	Unità misura	Range	Tipo	Note
	14	NI-9213	cDAQ2Mod1	ai14	ToSP2	Solar Panel 2 outlet Temp.	°C	-20÷100	TC FE/CO(J)	
	15	NI-9213	cDAQ2Mod1	ai15	TambSP	Ambient Temp. (near Solar Panel)	°C	0÷150	TC CR/AL(K)	
	16	NI-9213	cDAQ2Mod2	ai0	TiLHEr	LHE inlet Temp (cold side refrigerant)	°C	-20÷100	TC FE/CO(J)	
	17	NI-9213	cDAQ2Mod2	ai1	ToLHEr	LHE outlet Temp (cold side refrigerant)	°C	0÷150	TC CR/AL(K)	
	18	NI-9213	cDAQ2Mod2	ai2	TiLR	LR inlet Temp.	°C	0÷150	TC CR/AL(K)	
	19	NI-9213	cDAQ2Mod2	ai3	ToLR	LR outlet Temp.	°C	0÷150	TC CR/AL(K)	
	20	NI-9213	cDAQ2Mod2	ai4	TiCP	Compressor inlet Temp.	°C	0÷150	TC CR/AL(K)	
	21	NI-9213	cDAQ2Mod2	ai5	TambGC	Ambient Temp. (near Gas Cooler)	°C	-20÷100	TC FE/CO(J)	
	22	NI-9213	cDAQ2Mod2	ai6	TiHHEw	HHE Inlet Water Temp.	°C	0÷150	TC CR/AL(K)	
	23	NI-9213	cDAQ2Mod2	ai7	ToHHEw	HHE Outlet Water Temp.	°C	0÷150	TC CR/AL(K)	
	24	NI-9213	cDAQ2Mod2	ai8	TiLHEw	LHE Inlet Water Temp.	°C	0÷150	TC CR/AL(K)	
	25	NI-9213	cDAQ2Mod2	ai9	ToLHEw	LHE Outlet Water Temp.	°C	0÷150	TC CR/AL(K)	
	26	NI-9213	cDAQ2Mod2	ai10	TiSPb1	Temp. ingresso corpo pannello lato b pann. 1	°C	-20÷100	TC FE/CO(J)	NEW
	27	NI-9213	cDAQ2Mod2	ai11	TiSPb2	Temp. ingresso corpo pannello lato b pann.2	°C	-20÷100	TC FE/CO(J)	NEW
	28	NI-9213	cDAQ2Mod2	ai12	TiSPb3	Temp. ingresso corpo pannello lato b pann. 3	°C	-20÷100	TC FE/CO(J)	NEW
	29	NI-9213	cDAQ2Mod2	ai13	TiSPb4	Temp. ingresso corpo pannello lato b pann. 4	°C	-20÷100	TC FE/CO(J)	NEW
	30	NI-9213	cDAQ2Mod2	ai14	TiSPb5	Temp. ingresso corpo pannello lato b pann. 5	°C	-20÷100	TC FE/CO(J)	NEW
	31	NI-9213	cDAQ2Mod2	ai15	ToSPb1	Temp. uscita corpo pannello lato b pann. 1	°C	-20÷100	TC FE/CO(J)	NEW
	32	NI-9213	cDAQ2Mod3	ai0	ToSPb2	Temp. uscita corpo pannello lato b pann. 2	°C	-20÷100	TC FE/CO(J)	NEW
	33	NI-9213	cDAQ2Mod3	ai1	ToSPb3	Temp. uscita corpo pannello lato b pann. 3	°C	-20÷100	TC FE/CO(J)	NEW
	34	NI-9213	cDAQ2Mod3	ai2	ToSPb4	Temp. uscita corpo pannello lato b pann. 4	°C	-20÷100	TC FE/CO(J)	NEW
	35	NI-9213	cDAQ2Mod3	ai3	ToSPb5	Temp. uscita corpo pannello lato b pann. 5	°C	-20÷100	TC FE/CO(J)	NEW

	N	Dev. Type	Id. Dev.	Ch.	Nome	Grandezza	Unità misura	Range	Tipo	Note
	36	NI-9213	cDAQ2Mod3	ai4	TiSPa1	Temp. ingresso corpo pannello lato a pann. 1	°C	-20÷100	TC FE/CO(J)	NEW
	37	NI-9213	cDAQ2Mod3	ai5	TiSPa2	Temp. ingresso corpo pannello lato a pann. 2	°C	-20÷100	TC FE/CO(J)	NEW
	38	NI-9213	cDAQ2Mod3	ai6	TiSPa3	Temp. ingresso corpo pannello lato a pann. 3	°C	-20÷100	TC FE/CO(J)	NEW
	39	NI-9213	cDAQ2Mod3	ai7	TiSPa4	Temp. ingresso corpo pannello lato a pann. 4	°C	-20÷100	TC FE/CO(J)	NEW
	40	NI-9213	cDAQ2Mod3	ai8	TiSPa5	Temp. ingresso corpo pannello lato a pann. 5	°C	-20÷100	TC FE/CO(J)	NEW
	41	NI-9213	cDAQ2Mod3	ai9	ToSPa1	Temp. uscita corpo pannello lato a pann. 1	°C	-20÷100	TC FE/CO(J)	NEW
	42	NI-9213	cDAQ2Mod3	ai10	ToSPa2	Temp. uscita corpo pannello lato a pann. 2	°C	-20÷100	TC FE/CO(J)	NEW
	43	NI-9213	cDAQ2Mod3	ai11	ToSPa3	Temp. uscita corpo pannello lato a pann. 3	°C	-20÷100	TC FE/CO(J)	NEW
	44	NI-9213	cDAQ2Mod3	ai12	ToSPa4	Temp. uscita corpo pannello lato a pann. 4	°C	-20÷100	TC FE/CO(J)	NEW
	45	NI-9213	cDAQ2Mod3	ai13	ToSPa5	Temp. uscita corpo pannello lato a pann. 5	°C	-20÷100	TC FE/CO(J)	NEW
		NI-9213	cDAQ2Mod3	altri		Vuoti				
	46	NI-9208	cDAQ2Mod4	ai0	PoCP	Compressor Outlet pressure	bar	160	TRASMETT.	
	47	NI-9208	cDAQ2Mod4	ai1	PoHHEh	HHE Outlet Pressure (hot side)	bar	160	TRASMETT.	
	48	NI-9208	cDAQ2Mod4	ai2	PaGC	Gas Cooler Pressure a *	bar	160	TRASMETT.	
	49	NI-9208	cDAQ2Mod4	ai3	PbGC	Gas Cooler Pressure b **	bar	160	TRASMETT.	
	50	NI-9208	cDAQ2Mod4	ai4	PiREh	Recuperator inlet Pressure (hot side)	bar	120	TRASMETT.	
	51	NI-9208	cDAQ2Mod4	ai5	PiHPV	HP valve inlet Pressure	bar	120	TRASMETT.	
	52	NI-9208	cDAQ2Mod4	ai6	PoHPV	HP valve outlet Pressure	bar	60	TRASMETT.	
	53	NI-9208	cDAQ2Mod4	ai7	PiLR	LR inlet Pressure	bar	60	TRASMETT.	
	54	NI-9208	cDAQ2Mod4	ai8	PoLR	LR outlet Pressure	bar	60	TRASMETT.	
	55	NI-9208	cDAQ2Mod4	ai9	PiCP	Compressor inlet pressure	bar	60	TRASMETT.	
	56	NI-9208	cDAQ2Mod4	ai10	GHP	Refrigerant flowrate	Kg/h	_	coriolis	NEW
	57	NI-9208	cDAQ2Mod4	ai11	PoSPb1	Pressione uscita pannello lato b pannello 1	bar	100	TRASMETT.	NEW

	N	Dev. Type	Id. Dev.	Ch.	Nome	Grandezza	Unità misura	Range	Tipo	Note
	58	NI-9208	cDAQ2Mod4	ai12	PoSPb2	Pressione uscita pannello lato b pannello 2	bar	100	TRASMETT.	NEW
	59	NI-9208	cDAQ2Mod4	ai13	PoSPb3	Pressione uscita pannello lato b pannello 3	bar	100	TRASMETT.	NEW
	60	NI-9208	cDAQ2Mod4	ai14	PoSPb4	Pressione uscita pannello lato b pannello 4	bar	100	TRASMETT.	NEW
	61	NI-9208	cDAQ2Mod4	ai15	PoSPb5	Pressione uscita pannello lato b pannello 5	bar	100	TRASMETT.	NEW
	62	NI-9208	cDAQ2Mod5	ai0	PoSPa1	Pressione uscita pannello lato a pannello 1	bar	100	TRASMETT.	NEW
	63	NI-9208	cDAQ2Mod5	ai1	PoSPa2	Pressione uscita pannello lato a pannello 2	bar	100	TRASMETT.	NEW
	64	NI-9208	cDAQ2Mod5	ai2	PoSPa3	Pressione uscita pannello lato a pannello 3	bar	100	TRASMETT.	NEW
	65	NI-9208	cDAQ2Mod5	ai3	PoSPa4	Pressione uscita pannello lato a pannello 4	bar	100	TRASMETT.	NEW
	66	NI-9208	cDAQ2Mod5	ai4	PoSPa5	Pressione uscita pannello lato a pannello 5	bar	100	TRASMETT.	NEW
	67	NI-9208	cDAQ2Mod5	ai5	DPSPb1	Differenza pressione pannello lato b pannello 1	bar	100	TRASMETT.	NEW
	68	NI-9208	cDAQ2Mod5	ai6	DPSPb2	Differenza pressione pannello lato b pannello 2	bar	100	TRASMETT.	NEW
	69	NI-9208	cDAQ2Mod5	ai7	DPSPb3	Differenza pressione pannello lato b pannello 3	bar	100	TRASMETT.	NEW
	70	NI-9208	cDAQ2Mod5	ai8	DPSPb4	Differenza pressione pannello lato b pannello 4	bar	100	TRASMETT.	NEW
	71	NI-9208	cDAQ2Mod5	ai9	DPSPb5	Differenza pressione pannello lato b pannello 5	bar	0-6	TRASMETT.	NEW
	72	NI-9208	cDAQ2Mod5	ai10	DPSPa1	Differenza pressione io-out pannello lato a pannello 1	bar	0-6	TRASMETT.	NEW
	73	NI-9208	cDAQ2Mod5	ai11	DPSPa2	Differenza pressione pannello lato a pannello 2	bar	0-6	TRASMETT.	NEW
	74	NI-9208	cDAQ2Mod5	ai12	DPSPa3	Differenza pressione	bar	0-6	TRASMETT.	NEW

	N	Dev. Type	Id. Dev.	Ch.	Nome	Grandezza	Unità misura	Range	Tipo	Note
						pannello lato a pannello 3				
	75	NI-9208	cDAQ2Mod5	ai13	DPSPa4	Differenza pressione pannello lato a pannello 4	bar	0-6	TRASMETT.	NEW
	76	NI-9208	cDAQ2Mod5	ai14	DPSPa5	Differenza pressione pannello lato a pannello 5	bar	0-6	TRASMETT.	NEW
		NI-9208	cDAQ2Mod5	ai15		vuoto				NEW
	77	NI-9205	cDAQ2Mod6	ai0	FCIS	Feedback compressor inverter speed	Hz	0 - 25	wattmetro	
	78	NI-9205	cDAQ2Mod6	ai1	Wirr	Irradiance	W/m2	0-2000	pyranometer	
		NI-9205	cDAQ2Mod6	altri		Vuoti				
Chassis 2 (SHP_AUX)	82	NI-9264	cDAQ3Mod1	AO0	P1	Cold Tank Circulation water pump	V	0-10 V		
	83	NI-9264	cDAQ3Mod1	AO1	P2	HP Cold Side water pump	V	0-10 V		PID1 (ToLHEw)
	84	NI-9264	cDAQ3Mod1	AO2	P3	Chiller pump	V	0-10 V		PID2 (ToHHEw)
	85	NI-9264	cDAQ3Mod1	AO3	P4	Hot Tank Circulation water pump	V	0-10 V		
	86	NI-9264	cDAQ3Mod1	AO4	P5	HP Hot Side water pump	V	0-10 V		PID3 (THWT)
	87	NI-9264	cDAQ3Mod1	AO5	V6	Cold Side recirculation valve	V	0-10 V		3 vie
	88	NI-9264	cDAQ3Mod1	AO6	V7	Cold Side pump bypass valve	V	0-10 V		2 vie
	89	NI-9264	cDAQ3Mod1	AO7	V10	Hot Side pump bypass valve	V	0-10 V		2 vie
	90	NI-9264	cDAQ3Mod1	AO8	V16	Hot Side recirculation valve	V	0-10 V		3 vie
	91	NI-9264	cDAQ3Mod1	AO9	ISA	Inverter Speed Adjustment	V	0-10 V		segnale a quadro HP
	92	NI-9264	cDAQ3Mod1	AO10	HR	Heat Recovery	V	0-10 V		segnale a quadro HP
	93	NI-9264	cDAQ3Mod1	AO11	FSA	Fans Speed Adjustment	V	0-10 V		segnale a quadro HP
	94	NI-9264	cDAQ3Mod1	AO12	EWF	Enable Water Flometers	V	0-10 V		
	95	NI-9264	cDAQ3Mod1	AO13	RES	Resistenza elettrica simulazione utenza	V	0-10 V		carico pannelli (NEW)
		NI-9264	cDAQ3Mod1	Altri		Vuoti				

	N	Dev. Type	Id. Dev.	Ch.	Nome	Grandezza	Unità misura	Range	Tipo	Note
	96	NI-9213	cDAQ3Mod2	ai0	THWT	HWT mean Temperature	°C	0≒150	TC CR/AL(K)	
	97	NI-9213	cDAQ3Mod2	ai1	TCWT	CWT mean Temperature	°C	0≒150	TC CR/AL(K)	
	98	NI-9213	cDAQ3Mod2	ai2	TCHi	Chiller intlet temperature	°C	-20≒100	TC FE/CO(J)	
	99	NI-9213	cDAQ3Mod2	ai3	TCHo	Chiller outlet temperature	°C	-20≒100	TC FE/CO(J)	
		NI-9213	cDAQ3Mod2	altri		Vuoti				
	100	NI-9205	cDAQ3Mod3	ai0	G2	HP Cold Side water flowrate	V			NEW
	101	NI-9205	cDAQ3Mod3	ai1	G5	HP Hot Side water flowrate	V			NEW
	102	NI-9205	cDAQ3Mod3	ai2	G3	Chiller Side water flowrate	V			NEW
		NI-9205	cDAQ3Mod3	altri		Vuoti				NEW
Chassis 3 (SHP_PC)	103	NI-9205	cDAQ1Mod1	ai0	W_ass	Heat Pump electrical power	kW	0 - 25	wattmetro	
	104	NI-9205	cDAQ1Mod1	ai1	WSP	potenza uscita pannelli	kW		wattmetro	NEW
	105	NI-9205	cDAQ1Mod1	ai2	WBAT	potenza uscita batterie	kW		wattmetro	NEW
	106	NI-9205	cDAQ1Mod1	ai3	WINV	potenza uscita inverter	kW		wattmetro	NEW
	107	NI-9205	cDAQ1Mod1	ai4	WSTOR	potenza accumulata batterie	%		uscita batterie	NEW
		NI-9205	cDAQ1Mod1	altri		Vuoti				
	108	NI 9481	cDAQ1Mod4	ch0	DC EN-STOP	Enable/stop dry cooler	-	0 -1		PID (T1o T2) (NEW)
	109	NI 9481	cDAQ1Mod4	ch1	DC START	Start (impulse) dry cooler	-	0 -1		PID (T1o T2) (NEW)
	110	NI 9481	cDAQ1Mod4	ch2	DC EN-STOP	Enable/stop resistenza utenza	-	0 -1		PID (T1o T2) (NEW)
	111	NI 9481	cDAQ1Mod4	ch3	DC START	Start (impulse) resistenza utenza	-	0 -1		PID (T1o T2) (NEW)
	112	NI 9481	cDAQ1Mod2	ch0	CH EN-STOP	Enable/stop chiller	-	0 -1		PID (T1o T2)
	113	NI 9481	cDAQ1Mod2	ch1	CH START	Start (impulse) chiller	-	0 -1		PID (T1o T2)
	114	NI 9481	cDAQ1Mod2	ch2	R1 EN-STOP	Enable/stop resistence 1	-	0 -1		PID (T1o T2)
	115	NI 9481	cDAQ1Mod2	ch3	R1 START	Start (impulse) resistence 1	-	0 -1		
	116	NI 9481	cDAQ1Mod3	ch0	R2 EN-STOP	Enable/stop resistence 2	-	0 -1		PID (T1o T2)
	117	NI 9481	cDAQ1Mod3	ch1	R2 START	Start (impulse) resistence 2	-	0 -1		PID (T1o T2)
	118	NI 9481	cDAQ1Mod3	ch2	R3 EN-STOP	Enable/stop resistence 3	-	0 -1		PID (T1o T2)
	119	NI 9481	cDAQ1Mod3	ch3	R3 START	Start (impulse) resistence 3	-	0 -1		PID (T1o T2)

* inlet temperature in Mod.1-2; outlet temperature in Mod. 5
** outlet temperature in Mod.1-2; inlet temperature in Mod. 5

7.5 Definizione dei carichi elettrici di riferimento per test HiL su impianto SolairHP

Una delle possibili modalità di test sull'impianto SolairHP prevede la simulazione termo-elettrica di un'utenza di riferimento in modalità HiL. Data la collocazione dell'impianto, dal punto di vista termico non sarà possibile controllare le condizioni climatiche esterne, mentre sarà possibile controllare completamente i flussi termici prodotti dalla PdC. Per quanto riguarda la parte elettrica, le modifiche apportate possono consentire l'esecuzione di monitoraggi giornalieri di utenze simulate, anche in modalità HiL. Il profilo di carico tipico di un'utenza residenziale dipende da numerose variabili che difficilmente possono essere ricondotte ad un dato medio. Inoltre, l'impiego di energia elettrica per un'utenza residenziale si caratterizza frequentemente per dei picchi di potenza significativamente più alti del livello medio.

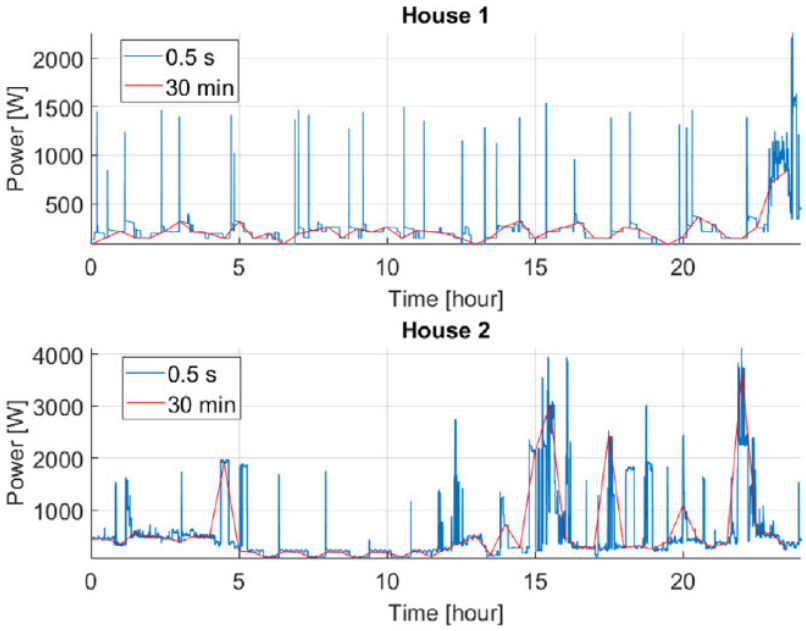


Figura 14: Monitoraggio di consumi domestici di 2 appartamenti con differenti frequenze di campionamento

In Figura 14, tratta da pubblicazione scientifica, sono riportate le potenze medie di due utenze, ognuna calcolata con due differenti intervalli temporali. Evidentemente, all'aumentare di questi, si ha un appiattimento dei picchi di potenza, con il risultato della perdita di informazione puntuale sui reali valori di potenza impegnata. Ciononostante, in termini di energia, i due profili contengono le stesse informazioni (l'area racchiusa al di sotto del grafico è la medesima nei due casi). Calcolando la potenza media su base oraria, si troverebbero profili di carico analoghi a quello di Figura 15, che non può dar conto dei picchi di potenza di un'utenza residenziale.

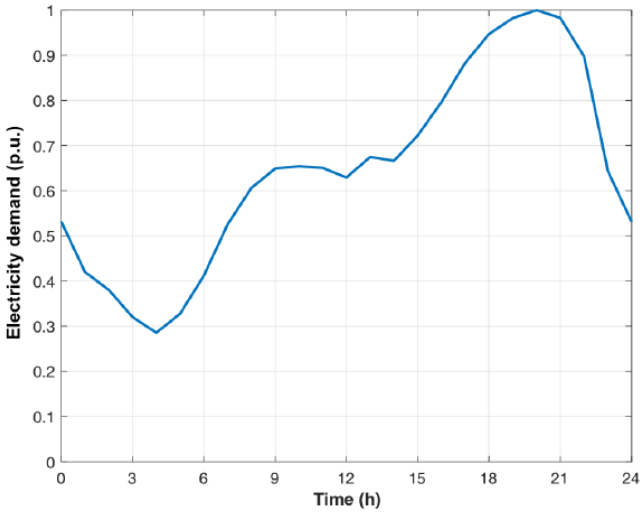


Figura 15: Profilo di carico normalizzato per un'abitazione italiana

Ai fini della sperimentazione, per individuare profili di carico più aderenti a profili reali, si è partiti dal monitoraggio di un'utenza reale. Inizialmente, è stato calcolato un profilo tramite la media annuale di ogni ora della giornata (Figura 16), ottenendo un andamento analogo a quello della figura precedente, privo di particolari picchi e non utile ai fini della sperimentazione.

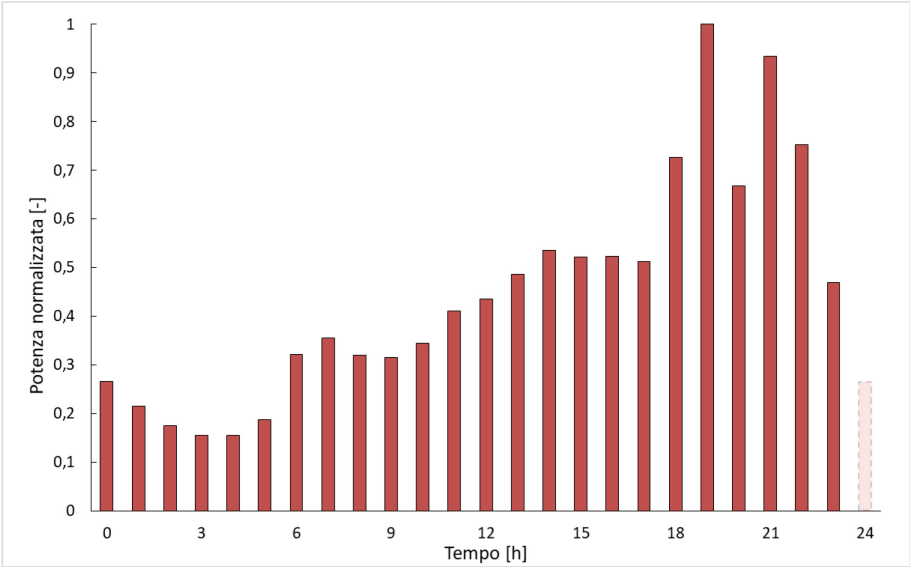


Figura 16: Profilo di carico medio orario da monitoraggio di un'utenza reale

Per evitare gli appiattimenti dei picchi derivanti da operazioni di media, si è ritenuto opportuno utilizzare il profilo di carico di uno specifico giorno di riferimento, scelto tra quelli aventi consumo giornaliero pari a quello medio annuale. In Figura 17 è riportato il grafico della potenza acquisita ogni 15 minuti. Rispetto al grafico precedente, che deriva da una media effettuata su tutti i giorni dell'anno, in questo caso si mantiene l'informazione di carattere medio con la scelta di un giorno avente consumi medi e, nello stesso tempo, si può osservare la variabilità tipica dei consumi residenziali giornalieri.

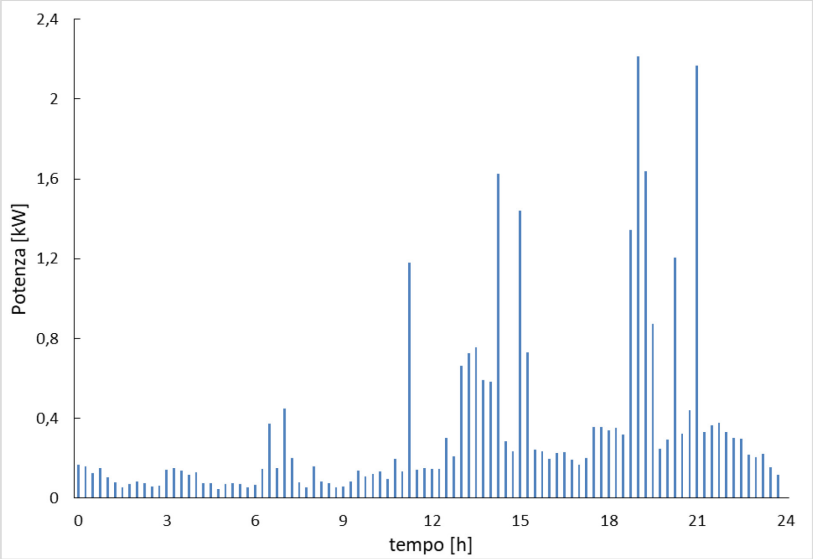


Figura 17: Profilo di carico di un giorno di riferimento per un'utenza monitorata con acquisizione della potenza ogni 15 minuti

È interessante osservare il rapporto tra i valori massimi e minimi nel corso delle 24 ore, pari a circa 50. Utilizzando valori mediati su base oraria esso vale poco più di 6.
Il consumo annuo dell'utenza monitorata è pari a 2970 kWh. Per simulare utenze di diversa taglia sono stati ricavati 3 profili normalizzati in modo da corrispondere a consumi annui di 1500, 2500 e 4000 kWh (Figura 18).

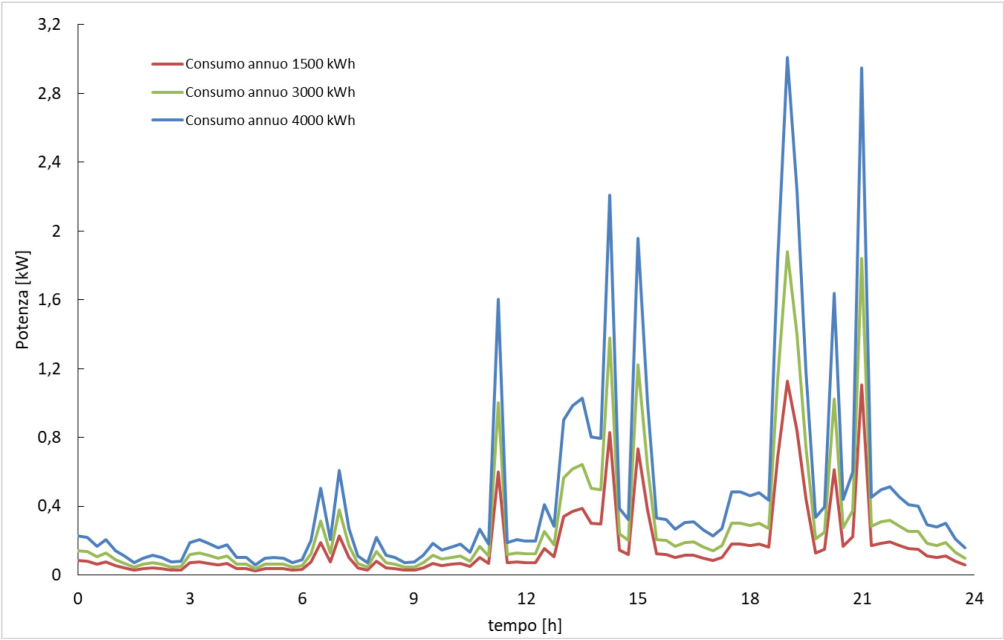


Figura 18: profili normalizzati di potenza per utenze da 1500, 2500 e 4000 kWh annui

Nei test di tipo HiL, a questo consumo elettrico per altri usi, va aggiunto il consumo elettrico per l'attivazione della PdC, che dipenderà dalle sue tempistiche di accensione. Per definire queste ultime, ci si avvarrà del lavoro svolto nel precedente PTR. In particolare, con riferimento alla zona climatica D, corrispondente alla località in cui è collocato l'impianto, sono stati ricavati i dati seguenti, nonché il profilo di carico termico di Figura 19.

- ZONA D
  - Fabbisogno stagionale per riscaldamento: 8150 kWh;
  - Potenza in funzione della temperatura esterna: W = - 0,3034*T_{ext} + 4,8541;
  - Numero di giorni di riscaldamento: 166;
  - Energia termica fornita nel "giorno medio" ad una singola utenza: 8150/166 = 49,1 kWh_{th};
  - Ore giornaliere di accensione: 12;
  - Distribuzione di primo tentativo: dalle 6 alle 10, dalle 12 alle 16 e dalle 18 alle 22;

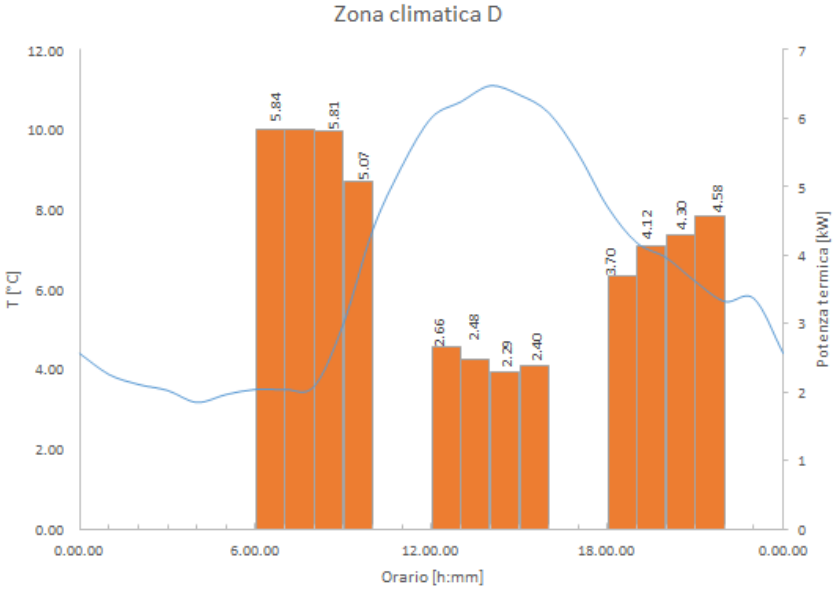


Figura 19: Distribuzione potenza termica richiesta dall'utenza in zona climatica D

Con la definizione dei profili di carico termico ed elettrico si completa la predisposizione di tutti gli strumenti utili ad una attività di monitoraggio sperimentale di tipo HiL. Le successive attività riguarderanno la messa in servizio di tutto l'apparato, la verifica del funzionamento dei sistemi di gestione e controllo e quindi l'inizio effettivo dell'attività sperimentale. L'attività, grazie alla versatilità dell'impianto, potrà consentire sia l'acquisizione di dati operativi continui, soprattutto per quanto riguarda il sistema di produzione fotovoltaica. Inoltre, si prevede l'esecuzione di test giornalieri in vari periodi dell'anno solare con simulazione di un'utenza virtuale di cui sono noti i profili di carico termici ed elettrici secondo le procedure sopra riportate. Tutti i test potranno essere effettuati in accordo alla normativa vigente, per cui si prevede di poter disporre, alla fine dell'attività sperimentale, di dati prestazionali consistenti sia per il funzionamento estivo che invernale.

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

In questa linea di attività, non ci è avvalsi di attività di consulenza.

9 Pubblicazioni scientifiche

Poiché la presente linea di attività ha riguardato la realizzazione di un apparato sperimentale di prova, non sono state scaturite pubblicazioni scientifiche dall'attività svolta.

10 Eventi di disseminazione

Non sono stati organizzati eventi attinenti con la presente linea di attività. In generale, la descrizione dell'impianto e delle attività che potranno condursi tramite esso, sono state incluse in alcune presentazioni, tra cui:

- presentazione del Country Report durante appuntamento periodico organizzato all'interno del TCP IEA (per illustrare, con cadenza regolare, lo stato aggiornato delle condizioni di mercato e di sviluppo tecnologico delle pompe di calore nei vari paesi aderenti) organizzata in modalità on-line il 20 giugno 2023.

Il dettaglio dell'evento è riportato nel report della diffusione dei risultati.