



Ricerca di Sistema elettrico

Realizzazione e implementazione sperimentale di una rete termica a bassa temperatura presso il C.R. Enea di Portici

Luigi Mongibello, Aniello Borriello

REALIZZAZIONE E IMPLEMENTAZIONE SPERIMENTALE DI UNA RETE TERMICA A BASSA TEMPERATURA PRESSO IL C.R. ENEA DI PORTICI

Luigi Mongibello, Aniello Borriello (ENEA)

Con il contributo di: M. Atrigna, M. Caliano, C. Cancro, G. Ciniglio, M. Di Somma, S. Esposito, G. Fiorenza, G. Graditi, A. Guglielmo, D. Mele, A. Pontecorvo, G. Vitiello, V. Sorrentino (ENEA); A. Di Sarno (Tesisista UNINA) e R. Giurolo (Tesisista UNINA)

Dicembre 2021

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico (oggi Ministero della Transizione Ecologica) - ENEA
Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - III annualità

Obiettivo: *N. 1 - Tecnologie*

Progetto: *1.5 - Tecnologie, tecniche e materiali per l'efficienza energetica ed il risparmio di energia negli usi finali elettrici degli edifici nuovi ed esistenti*

Work package: *4 - Reti energetiche integrate*

Linea di attività: *LA4.18 - Realizzazione di una rete termica indoor presso il laboratorio LPSAT del CR Enea Portici (3 di 3)*

Responsabile del Progetto: Giovanni Puglisi

Responsabile del Work package (LA4.16-LA4.33): Luigi Mongibello

Indice

SOMMARIO	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 LAYOUT DEI CIRCUITI DELLA RETE TERMICA INDOOR	5
2.1 SCHEMI DETTAGLIATI DELLE POMPE DI CALORE.....	9
3 CARATTERISTICHE DEI COMPONENTI PRINCIPALI DELLA RETE TERMICA INDOOR	11
3.1 POMPE DI CALORE	12
3.2 SCAMBIATORI DI CALORE	16
3.3 SENSORI E VALVOLE.....	21
4 MISURE E CONTROLLI	26
5 CONCLUSIONI	30

Sommario

Questo report condensa le attività svolte durante la terza annualità del Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 della Ricerca di Sistema Elettrico per quanto concerne la realizzazione di una rete termica indoor presso il laboratorio LPSAT del C.R. Enea Portici.

La prima parte dell'attività ha riguardato il completamento della realizzazione rete termica. In questa fase è stata effettuata un'importante modifica alla topologia della rete, passando dalla configurazione ad anello a una configurazione simmetrica ramificata, anche in virtù dei risultati numerici ottenuti nell'ambito delle linee di attività 4.19-4.21. Ciò ha comportato una riconfigurazione dei componenti idraulici, dei sensori, dei quadri elettrici e di automazione, e delle strutture di supporto, oltre alla necessità di acquistare materiale aggiuntivo rispetto a quello acquistato precedentemente. Nella seconda parte sono state completate le attività relative alla realizzazione dell'interfaccia software per la gestione della rete, il controllo degli attuatori, e l'acquisizione dati, e sono state realizzate le prime prove sperimentali.

1 Introduzione

Le reti di teleriscaldamento e teleraffrescamento, cosiddetti DHC (District Heating and Cooling), possono svolgere un ruolo chiave nella transizione verso città più sostenibili, grazie alla loro capacità di fornire in maniera efficiente l'energia termica necessaria per il riscaldamento ed il raffrescamento degli ambienti, attraverso una rete termica di distribuzione costituita da tubazioni interrato [1]. Nel futuro prossimo, grazie alle reti a bassa temperatura, si potranno utilizzare pompe di calore ad alta efficienza alimentate elettricamente per la produzione termica e ciò consentirà una maggiore penetrazione dell'utilizzo di fonti rinnovabili e una maggiore integrazione tra reti elettriche e reti termiche. Difatti, con la crescente elettrificazione dei sistemi per il condizionamento ambientale sia in ambito civile che commerciale, l'utilizzo di dispositivi ad alta efficienza alimentati elettricamente integrati con sistemi di accumulo termico, come ad esempio le pompe di calore condensate ad acqua che tipicamente si utilizzano in ambito geotermico, si candida come una delle soluzioni più percorribili al fine di massimizzare l'utilizzo di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili. In tale scenario, le reti termiche a bassa temperatura potrebbero essere utilizzate in sostituzione della fonte geotermica, con temperature di lavoro del fluido termovettore intorno ai 15°C.

Questo documento sintetizza le attività svolte nel corso della terza annualità del Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 della Ricerca di Sistema Elettrico per quanto concerne la realizzazione di una rete termica indoor presso il laboratorio LPSAT del C.R. Enea Portici. Tali attività possono essere suddivise in due sub-attività principali. La prima è quella che riguarda il completamento della rete, a cui sono state effettuate delle modifiche in corso d'opera sulla base dei risultati numerici ottenuti nell'ambito delle linee di attività 4.19-4.21. Invero, si è passati dalla topologia ad anello a una configurazione simmetrica ramificata. La seconda sub-attività, condotta nella parte finale della terza annualità è quella che riguarda il completamento dell'interfaccia software per la gestione della rete e per l'acquisizione dei dati sperimentali, e la realizzazione dei primi test sperimentali.

Nella prima parte di questo documento viene effettuata una descrizione più esaustiva della rete termica rispetto a quella realizzata nel report dell'attività LA4.17, includendo anche le modifiche effettuate rispetto alla configurazione base. Nella seconda parte, dedicata alla gestione della rete e alla acquisizione dati, sono riportate le caratteristiche dei controller e dei moduli di input/output utilizzati, e sono descritte le interfacce software realizzate per la gestione della rete termica durante la realizzazione delle prove sperimentali.

2 Layout dei circuiti della rete termica indoor

La Figura 1 mostra il layout della rete termica nella nuova configurazione. Oltre alla pompa di calore centrale condensata ad acqua (PDC RETE), che simulerà il generatore di calore/energia refrigerante a bassa temperatura per la rete termica, al sistema di accumulo ad acqua da 1000 litri che opererà da buffer per la pompa di calore della rete, e alle 2 file da 4 pompe di calore condensate ad acqua (PDC UT) che saranno impiegate per simulare sperimentalmente le pompe di calore delle utenze, nell'attuale configurazione è presente anche un recuperatore di calore. Tale recuperatore di calore permette di utilizzare il calore, o la potenza refrigerante, del ramo sorgente della PDC RETE per simulare sperimentalmente i carichi termici alle utenze. Con riferimento alla Figura 1, in verde è rappresentato il ramo sorgente della pompa di calore centrale, in nero il ramo carico della pompa di calore centrale, in blu il ramo carico delle pompe di calore delle utenze.

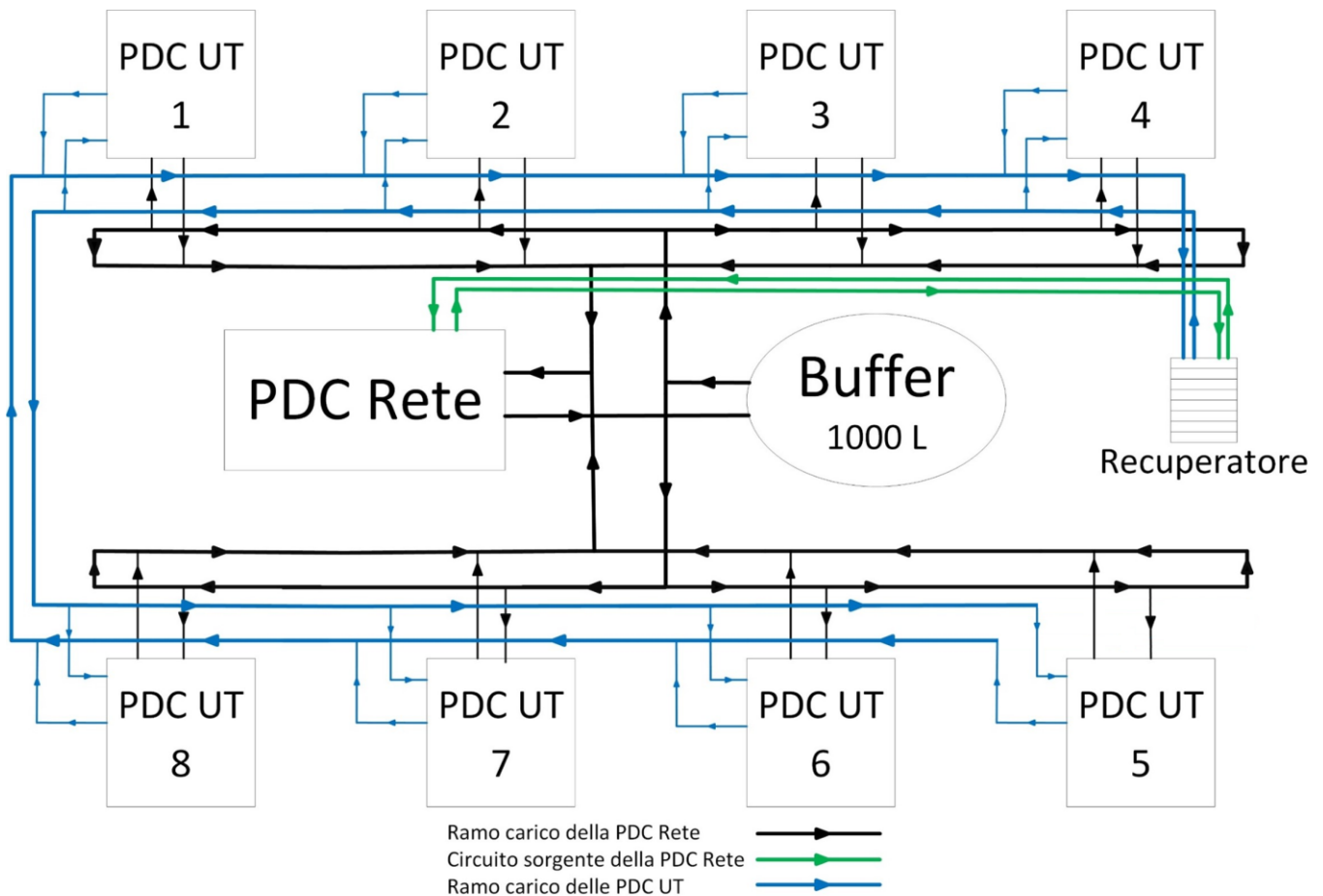


Figura 1. Layout della rete termica.

In Figura 2 e in Figura 3 sono mostrate la parte sinistra e destra di uno schema più dettagliato della rete termica nel quale sono presenti termocoppie, valvole di sfioro, ed altri elementi non facilmente riconoscibili negli altri schemi di impianto (presenti nelle pagine seguenti). Con riferimento alla rete termica, a questa sono collegate le linee di mandata e quelle di ritorno rispettivamente verso e dalle utenze. Tali linee possono essere collegate direttamente ai rami sorgente delle pompe di calore delle utenze (PDC UT), oppure a sottostazioni di scambio. In ognuna delle linee di collegamento tra il ramo carico della PDC Rete (rappresentate in nero) e le utenze sono presenti due sensori di temperatura PT100 per misurare la temperatura a monte e a valle del blocco utenza, un sensore di portata e una valvola modulante per il controllo della portata. Per quanto riguarda la pressione, sono presenti due sensori di pressione su una delle due linee mentre sull'altra linea ne è presente solo uno (manca il sensore sulla mandata della pompa di calore lato sorgente). La pompa di calore è comunque in grado di fornire una misura di pressione nel caso fosse necessaria.

Relativamente al ramo sorgente della PDC RETE, in Figura 3 si può meglio notare la presenza del recuperatore di calore che, come detto in precedenza, permette la simulazione delle utenze termiche, sia invernali che estive, evitando di disperdere tutta l'energia che la PDC RETE trasferisce al suo circuito sorgente, e soprattutto senza che siano presenti dei veri e propri carichi termici. Invero, utilizzando il recuperatore è possibile simulare il carico termico delle utenze tramite un controllo della temperatura di uscita dalle PDC UT nel ramo carico.

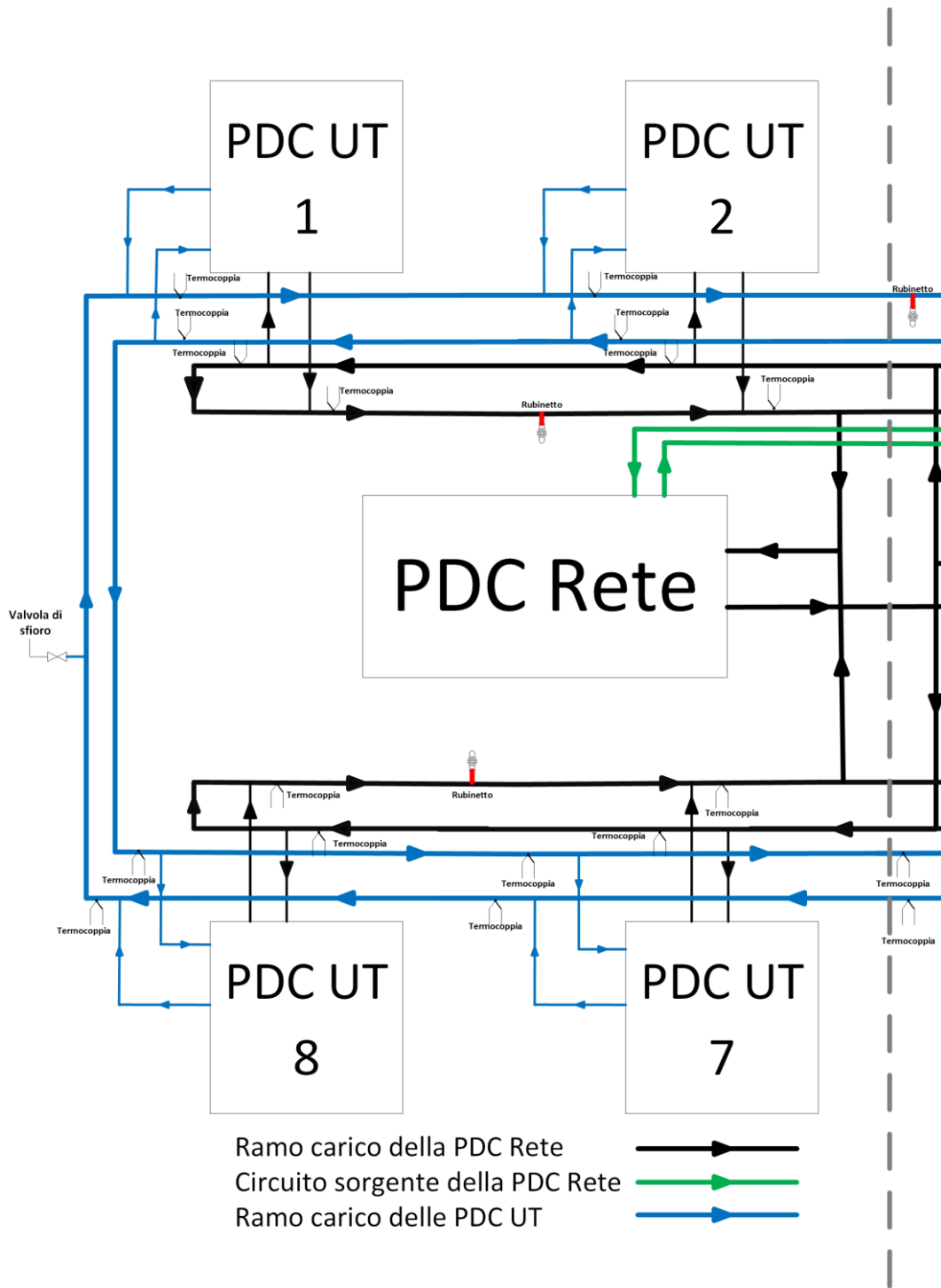


Figura 2. Parte sinistra dello schema di impianto più dettagliato.

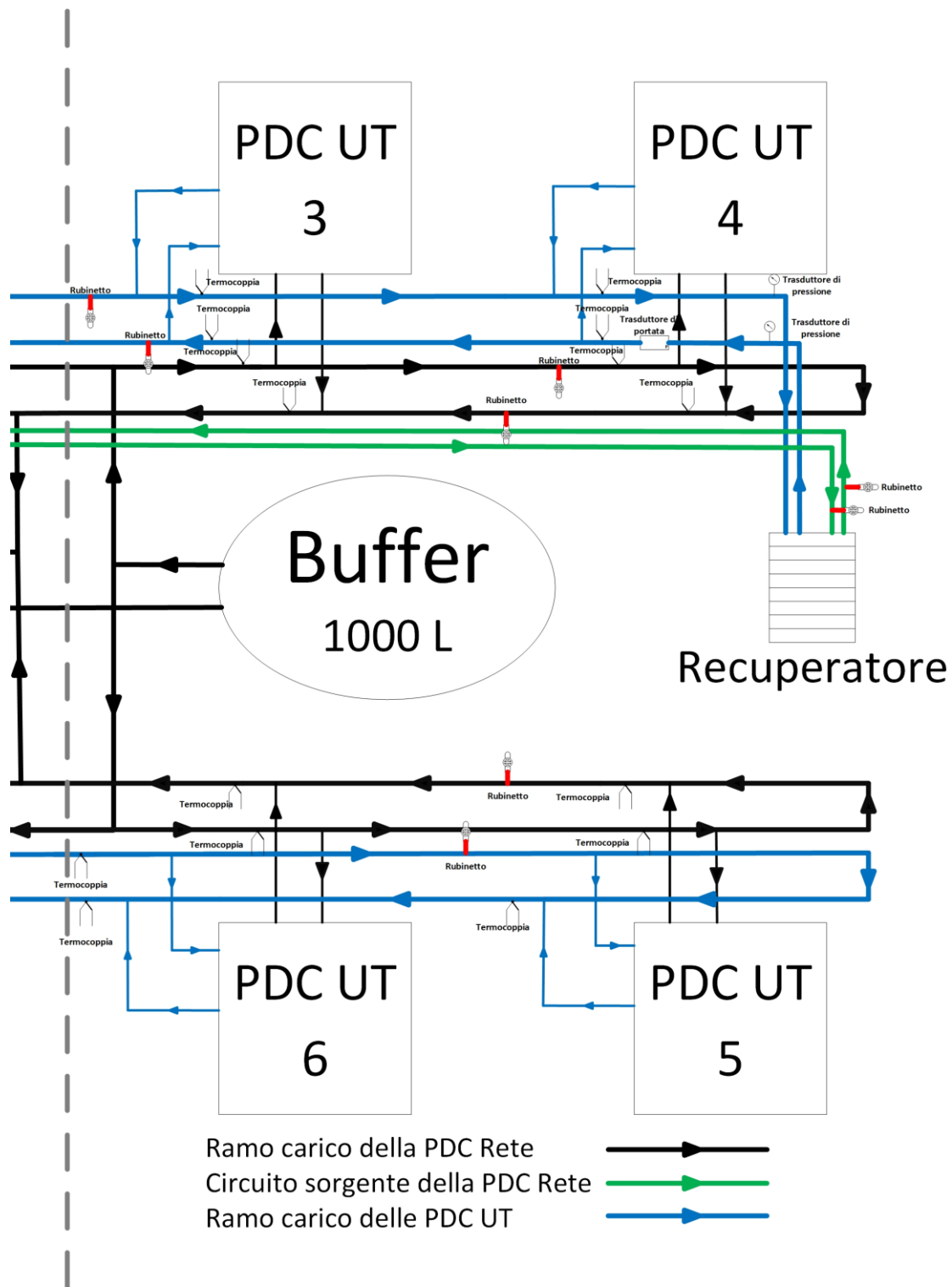


Figura 3. Parte destra dello schema di impianto più dettagliato.

Alla rete descritta precedentemente sarà aggiunto uno scambiatore di calore aria-acqua prima dell'ingresso nel recuperatore, visibile nello schema in Figura 4, il quale funziona da dry cooler se si simula il funzionamento invernale, mentre funziona da heater se si simula la stagione estiva, al netto delle perdite termiche nei vari circuiti. Il compito del suddetto scambiatore di calore sarà quello di garantire che il bilancio energetico dell'intero impianto sia rappresentativo di condizioni "realistiche", disperdendo parte dell'energia elettrica assorbita dalle macchine.

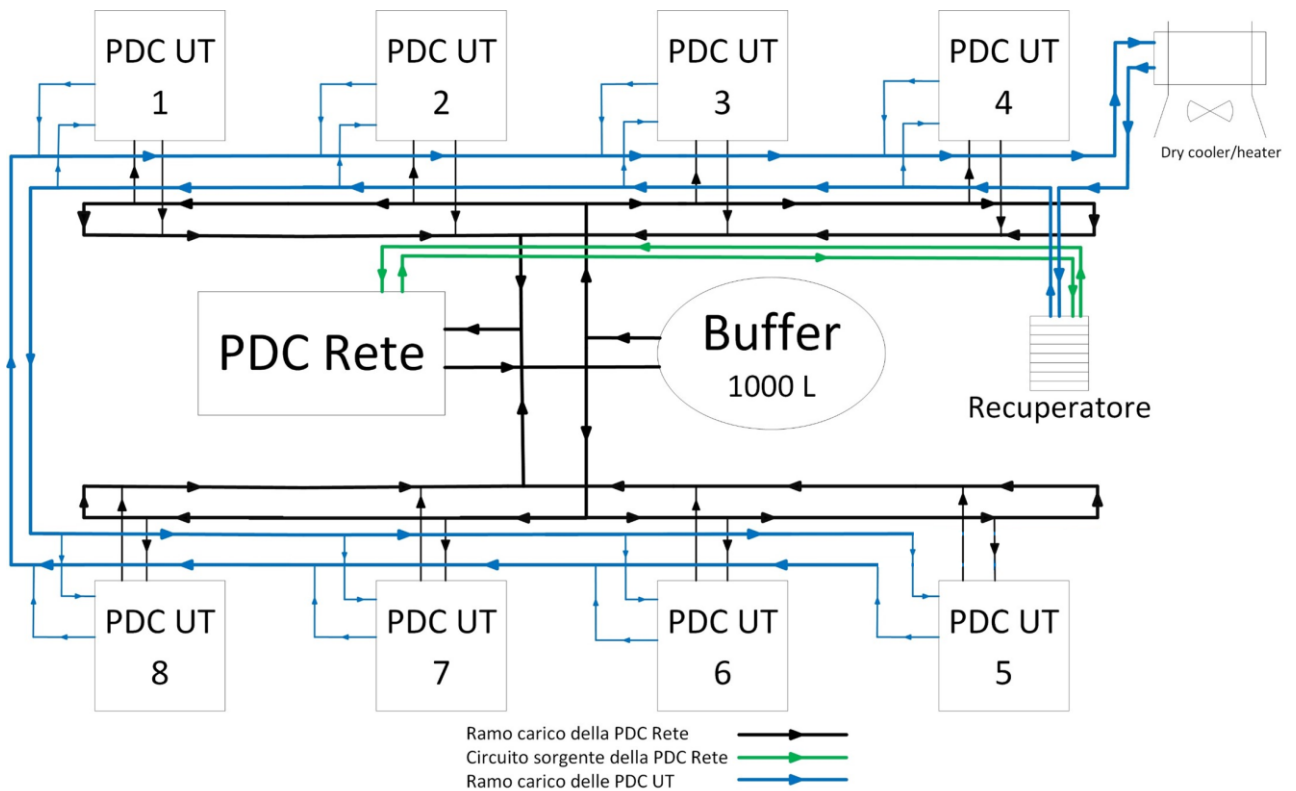


Figura 4. Layout semplificato della rete termica con dry cooler/heater.

2.1 Schemi dettagliati delle pompe di calore

La Figura 5 mostra una schematizzazione del circuito lato sorgente delle pompe di calore PDC UT: siamo nel caso in cui è presente una sottostazione di scambio rappresentata dallo scambiatore di calore a piastre. Nella figura si possono distinguere i componenti interni alle pompe di calore, che dipendono dal prodotto commerciale acquistato, e quelli esterni. Con riferimento a quelli esterni, si possono notare i quattro sensori PT100 per la misura della temperatura a monte e valle dello scambiatore di calore, tre trasduttori di pressione, due sensori di portata, e due valvole elettriche modulanti per il controllo della portata.

La Figura 6 mostra invece uno schema del ramo carico delle PDC UT. Similmente al ramo sorgente, anche in questo caso tra i componenti esterni alla pompa di calore sono presenti due sensori di temperatura PT100, due trasduttori di pressione, un trasduttore di portata, e una valvola elettrica modulante per il controllo della portata. In questo caso si può notare che internamente a ognuna delle PDC UT è presente un serbatoio di accumulo da 100 litri. Quanto ai componenti interni alle PDC UT, si fa notare che sia al ramo carico che al ramo sorgente le pompe di circolazione dell'acqua sono comprese nella componentistica interna delle macchine.

Per quanto riguarda i circuiti collegati alla pompa di calore PDC RETE, la Figura 7 mostra i componenti relativi al ramo di carico della pompa di calore, mentre la Figura 8 mostra quelli relativi al ramo sorgente. Come visto per la PDC UT, si possono distinguere i componenti interni alle pompe di calore e quelli esterni. Con riferimento a quelli esterni, per quanto riguarda la Figura 7 si può notare come la mandata (sulla quale sono presenti un sensore PT100 e un trasduttore di pressione) sia collegata al serbatoio di accumulo di 1000 litri. In uscita dal serbatoio c'è un ulteriore sensore PT100 dopo il quale la portata viene sdoppiata in due rami di carico. Anche al ritorno ci sono due linee che si congiungono sulle quali abbiamo rispettivamente un trasduttore di portata e una valvola elettrica modulante.

prima dell'ingresso nella PDC vi sono poi un trasduttore di pressione ed un sensore PT100. Anche per la pompa di calore della rete tra i componenti interni sono presenti le pompe di circolazione dell'acqua.

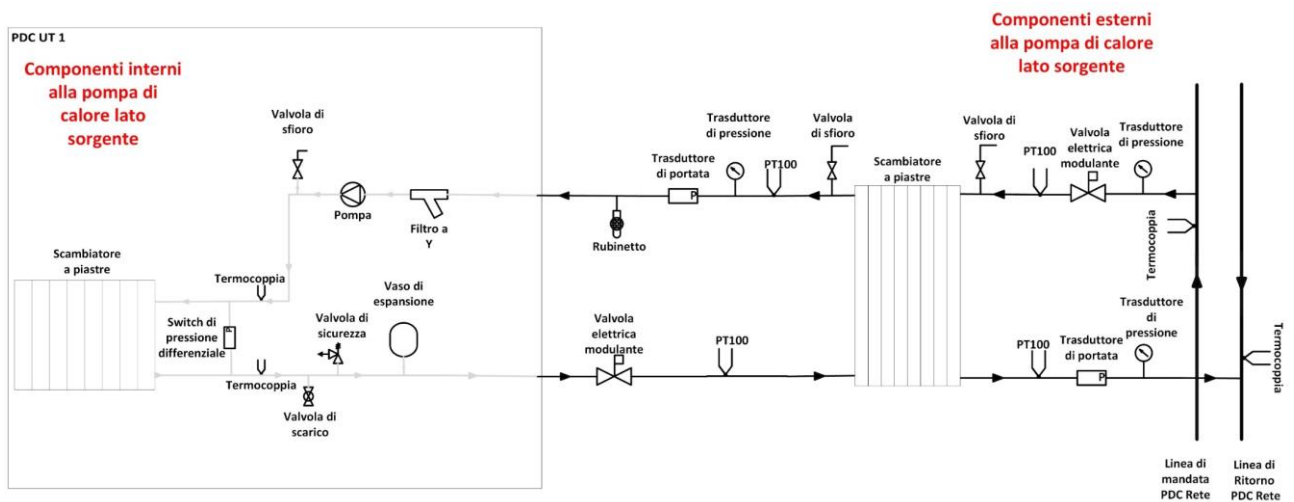


Figura 5. Schema ramo sorgente pompe di calore utenze (PDC UT).

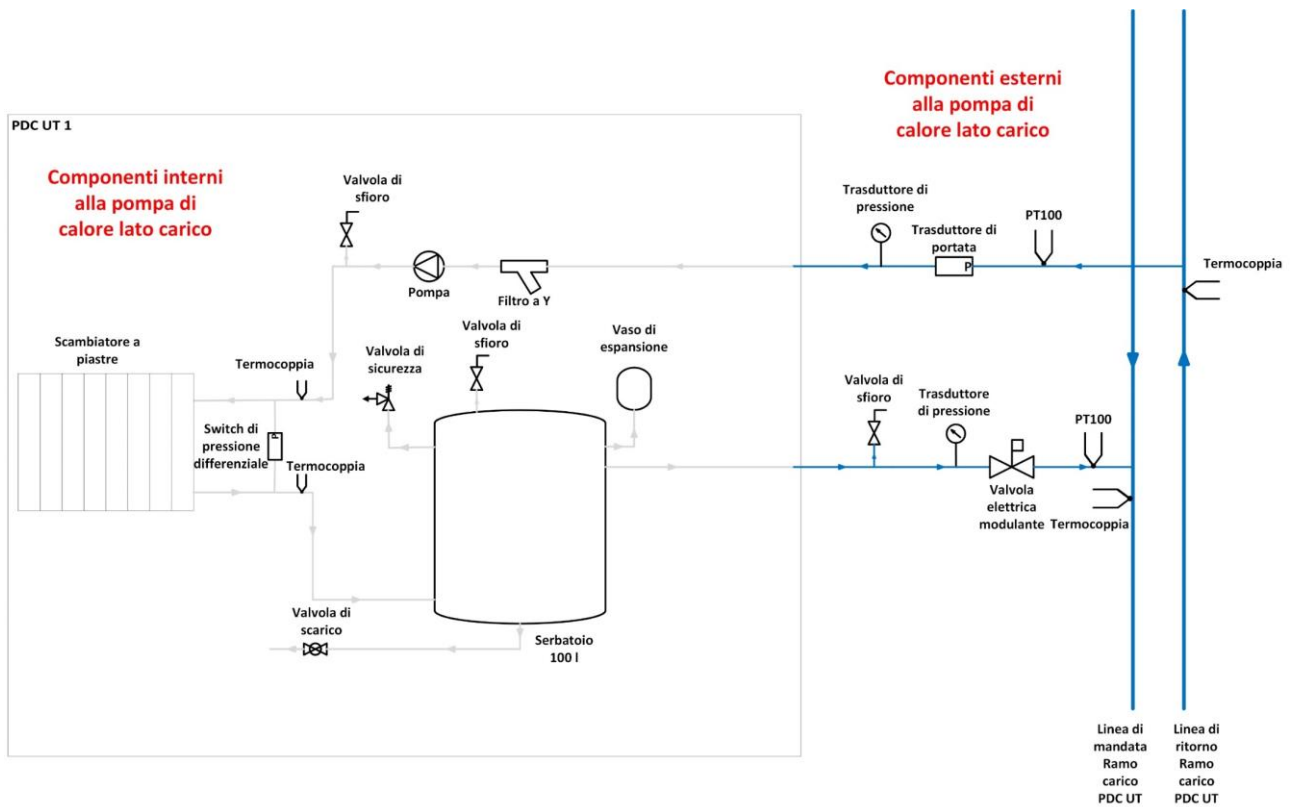


Figura 6. Schema ramo carico pompe di calore utenze (PDC UT).

Relativamente alla Figura 8, esternamente sulla mandata del ramo sorgente (in verde) ci sono due sensori PT100, una valvola modulante ad azionamento manuale e un trasduttore di pressione. Sul ritorno del ramo sorgente (sempre in verde) ci sono due sensori PT100 e un trasduttore di portata. Su ciascuno dei due rimanenti rami (rappresentati in blu) è presente un sensore PT100.

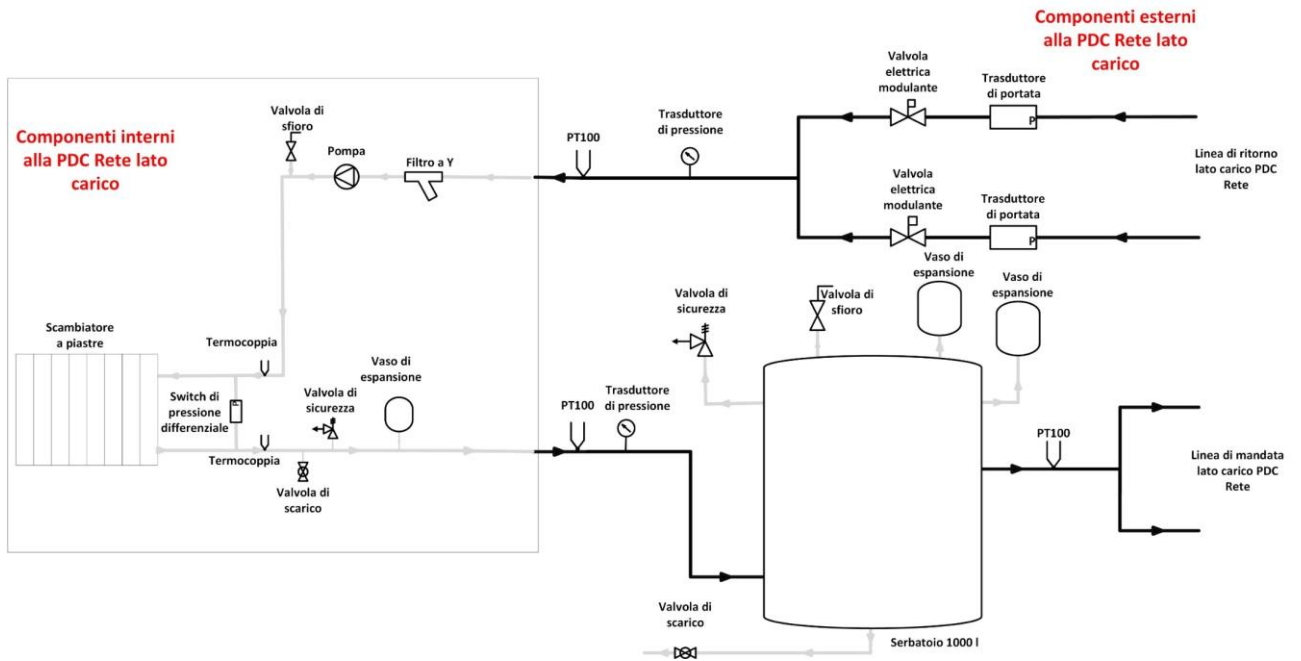


Figura 7. Schema ramo carico pompa di calore rete (PDC RETE).

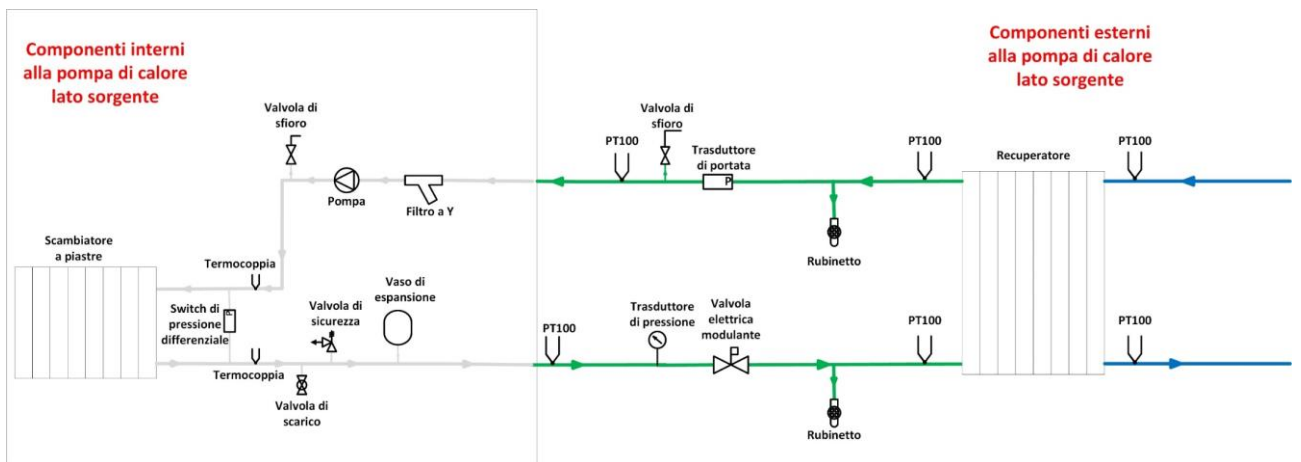


Figura 8. Schema ramo sorgente pompa di calore rete (PDC RETE).

3 Caratteristiche dei componenti principali della rete termica indoor

In questa sezione vengono riportate nuovamente le caratteristiche delle soluzioni commerciali relative ai principali componenti della rete termica indoor, con l'aggiunta di ulteriori dettagli al fine di rendere più esaustiva la descrizione dei componenti della rete rispetto al report relativo alla LA 4.17.

La Figura 9 mostra la rete termica indoor realizzata in Enea Portici completa di tutti i suoi componenti.



Figura 9. Rete termica indoor.

3.1 Pompe di calore

La Figura 10 mostra una delle pompe di calore delle utenze. Si tratta di una pompa di calore reversibile lato gas condensata ad acqua con un compressore ermetico scroll, fluido frigorigeno R-410a, scambiatori a piastre per la produzione di acqua refrigerata e acqua calda. Essa è provvista di un sistema di accumulo dell'acqua da 100 litri integrato e isolato termicamente, di una pompa di circolazione con inverter sul lato sorgente e di una pompa di circolazione con inverter su quello del carico, entrambe integrate, e di interfaccia RS-485 per sistemi di supervisione e controllo con protocollo MODBUS per il controllo dinamico da remoto della temperatura dell'acqua prodotta. In Figura 11 sono riportati tutti gli accessori presenti nelle singole pompe di calore delle utenze.



Figura 10. Pompa di calore di ciascun'utenza (AERMEC WRL041).

Modello: WRL041XHA°BP°°°

Sigla	WRL
Grandezza	041
Campo d'impiego	X - Valvola termostatica elettronica
Modello	H - Pompe di calore reversibili lato gas
Accumulo	A - Sì (lato impianto)
Recuperatori di calore	° - Senza recuperatori
Pompa lato esterno	B - Circolatore 3 velocità
Pompa lato utenze	P - Circolatore inverter
Kit pompa recupero	° - No
Soft-Start	° - Senza Soft-Start
Alimentazione	° - 400V/3N/50Hz

Certificazioni


Aermec partecipa al Programma di Certificazione EUROVENT. I prodotti sono elencati nella Guida dei prodotti certificati.

Figura 11. Accessori pompa di calore AERMEC WRL041.

Nel funzionamento da refrigeratore, ciascuna delle pompe di calore delle utenze possiede le seguenti performance:

- Potenza di refrigerazione nominale compresa nell'intervallo 10 kW – 12 kW;
- Potenza elettrica totale assorbita in condizioni nominali compresa nell'intervallo 2 kW – 3 kW;
- Temperatura ingresso e uscita evaporatore pari rispettivamente a 12°C e 7°C;
- Portata nominale acqua all'evaporatore compresa tra 1600 l/h e 2000 l/h, e con prevalenza utile in condizioni nominali del circolatore non inferiore a 60 kPa;
- Temperatura ingresso e uscita condensatore pari rispettivamente a 30°C e 35°C;
- Portata nominale acqua al condensatore compresa tra 1900 l/h e 2300 l/h, con prevalenza utile in condizioni nominali del circolatore non inferiore a 50 kPa.

Nel funzionamento da riscaldatore, ciascuna delle pompe di calore delle utenze possiede le seguenti performance:

- Potenza di riscaldamento nominale compresa nell'intervallo 11 kW – 13 kW;
- Potenza elettrica totale assorbita in condizioni nominali compresa nell'intervallo 3 kW – 4 kW;
- Temperatura ingresso e uscita condensatore pari rispettivamente a 40°C e 45°C;
- Portata nominale acqua al condensatore compresa tra 1900 l/h e 2300 l/h, con prevalenza utile in condizioni nominali del circolatore non inferiore a 40 kPa;
- Temperatura ingresso e uscita evaporatore pari rispettivamente a 10°C e 7°C;
- Portata nominale acqua all'evaporatore compresa tra 2500 l/h e 3000 l/h, con prevalenza utile in condizioni nominali del circolatore non inferiore a 15 kPa.

La Figura 12 mostra la pompa di calore della rete. Anche in questo caso, la pompa di calore è reversibile lato gas e condensata ad acqua, con due compressori scroll in parallelo, fluido frigorigeno R-410a e scambiatori a piastre per la produzione di acqua refrigerata e acqua calda. Essa è provvista di una pompa di circolazione con inverter sul lato sorgente e di una pompa di circolazione con inverter su quello del carico, entrambe integrate, e di interfaccia RS-485 per sistemi di supervisione e controllo con protocollo MODBUS per il controllo dinamico da remoto della temperatura dell'acqua prodotta. In Figura 13 sono riportati tutti gli accessori presenti nella pompa di calore della rete.



Figura 12. Pompa di calore della rete (AERMEC WRL500).



WRL500XH**BP***

Modello: WRL500XH**BP***

Sigla	WRL
Grandezza	500
Campo d'impiego	X - Valvola termostatica elettronica
Modello	H - Pompe di calore reversibili lato gas
Versione	* - Standard
Recuperatori di calore	* - Senza recuperatori
Pompa lato esterno	B - Pompa standard
Pompa lato utenze	P - Pompa standard
Kit pompa recupero	* - No
Soft-Start	* - Senza Soft-Start
Alimentazione	* - 400V/3N/50Hz

Certificazioni



Aermec partecipa al Programma di Certificazione EUROVENT. I prodotti sono elencati nella Guida dei prodotti certificati.

Figura 13. Accessori pompa di calore AERMEC WRL500.

Nel funzionamento da refrigeratore, la pompa di calore della rete possiede le seguenti performance:

- Potenza di refrigerazione nominale compresa nell'intervallo 90 kW – 95 kW;
- Potenza elettrica totale assorbita in condizioni nominali compresa nell'intervallo 18 kW – 22 kW;
- Temperatura ingresso e uscita evaporatore pari rispettivamente a 12°C e 7°C;
- Portata nominale acqua all'evaporatore compresa tra 15800 l/h e 16200 l/h, e con prevalenza utile in condizioni nominali del circolatore non inferiore a 100 kPa;
- Temperatura ingresso e uscita condensatore pari rispettivamente a 30°C e 35°C;
- Portata nominale acqua al condensatore compresa tra 19000 l/h e 19500 l/h, con prevalenza utile in condizioni nominali del circolatore non inferiore a 150 kPa.

Nel funzionamento da riscaldatore, la pompa di calore della rete possiede le seguenti performance:

- Potenza di riscaldamento nominale compresa nell'intervallo 103 kW – 108 kW;
- Potenza elettrica totale assorbita in condizioni nominali compresa nell'intervallo 22 kW – 26 kW;
- Temperatura ingresso e uscita condensatore pari rispettivamente a 40°C e 45°C;
- Portata nominale acqua al condensatore compresa tra 18300 l/h e 18600 l/h, con prevalenza utile in condizioni nominali del circolatore non inferiore a 90 kPa;
- Temperatura ingresso e uscita evaporatore pari rispettivamente a 10°C e 7°C;
- Portata nominale acqua all'evaporatore compresa tra 24000 l/h e 24400 l/h, con prevalenza utile in condizioni nominali del circolatore non inferiore a 110 kPa.

Infine, la Figura 14 mostra il serbatoio di accumulo da 1000 litri (AERMEC SAP 1000) collegato alla pompa di calore della rete. Si tratta di un serbatoio cilindrico isolato termicamente, fornito in un unico armadio assieme ai vasi di espansione, all'interno del quale è possibile installare anche pompe di circolazione aggiuntive.



Figura 14. Serbatoio di accumulo da 1000 litri.

3.2 Scambiatori di calore

Escludendo i condensatori e gli evaporatori delle pompe di calore, nella rete termica sono presenti nove scambiatori di calore a piastre: otto sono quelli delle sottostazioni di scambio delle pompe di calore delle utenze, uno è quello relativo al recuperatore di calore che collega il circuito sorgente della pompa di calore della rete (verde in Figura 1) ai circuiti carico delle pompe di calore delle utenze (blu in Figura 1).

La Figura 15 mostra uno degli otto scambiatori di calore a piastre (modello M3-FG della Alfa Laval), tutti uguali, che collegano la rete termica al circuito sorgente delle pompe di calore delle utenze. La Figura 16 mostra il disegno tecnico dello scambiatore a piastre. Il dimensionamento di questi scambiatori è stato effettuato in funzione delle caratteristiche delle pompe di calore, con l'obiettivo di ottenere i due set di temperature lato caldo e lato freddo riportati in Figura 17 e Figura 18. Gli scambiatori alle utenze possono essere agevolmente bypassati in modo da collegare il ramo sorgente delle pompe di calore direttamente alla rete termica.



Figura 15. Scambiatore di calore a piastre (M3-FG) presente in ciascuna sottostazione di scambio delle pompe di calore delle utenze.

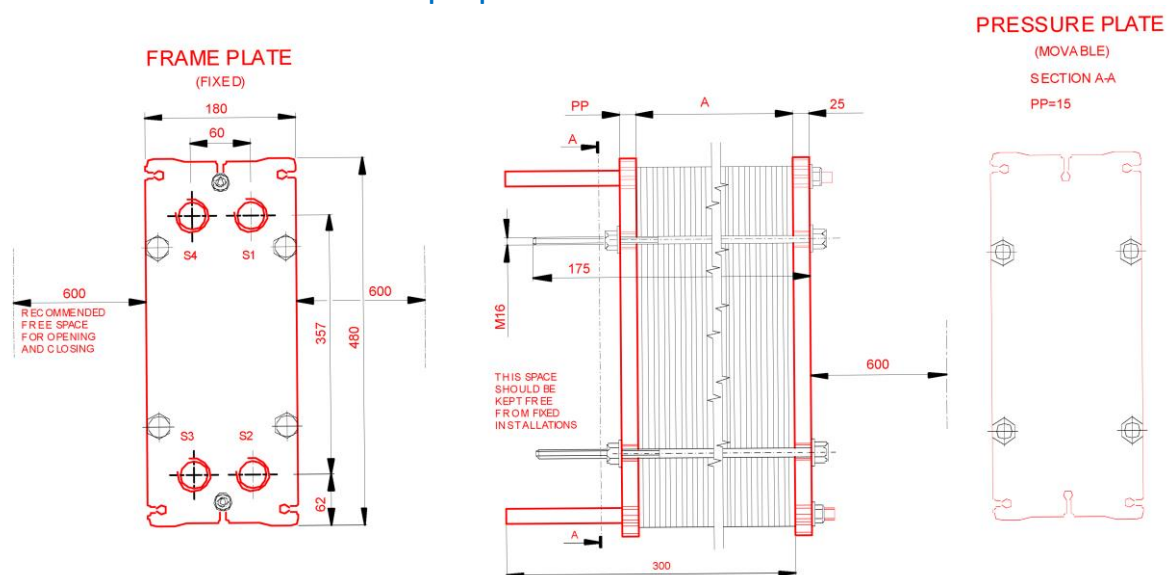


Figura 16. Disegno tecnico dello scambiatore di calore a piastre (M3-FG)

Plate Heat Exchanger



Technical Specification

Model : M3-FG
 Project: : ENEA Napoli
 Item : A_inv.

Fluid		Hot Side	Cold side
Density	kg/m ³	Water 989.6	Water 1000
Specific heat capacity	kJ/(kg·K)	4.18	4.21
Thermal conductivity	W/(m·K)	0.634	0.585
Viscosity inlet	cP	0.596	1.43
Viscosity outlet	cP	0.638	1.31
Volume flow rate	m ³ /h	2.3	2.8
Inlet temperature	°C	45.0	7.0
Outlet temperature	°C	41.3	10.0
Pressure drop	kPa	7.48	9.60
Heat exchanged	kW	9.820	
L.M.T.D.	K	34.6	
OHTC clean conditions	W/(m ² ·K)	3294	
OHTC service	W/(m ² ·K)	738.3	
Heat transfer area	m ²	0.4	
Effective duty margin	%	346.2	
Relative directions of fluids		Countercurrent	
Nozzle orientation		S1 -> S2	S4 <- S3

Figura 17. Set n. 1 di parametri di funzionamento degli scambiatori di calore alle utenze.

Plate Heat Exchanger



Technical Specification

Model : M3-FG
 Project: : ENEA Napoli
 Item : A_est.

Fluid		Hot Side	Cold side
Density	kg/m ³	Water 993.5	Water 1000
Specific heat capacity	kJ/(kg·K)	4.18	4.20
Thermal conductivity	W/(m·K)	0.621	0.586
Viscosity inlet	cP	0.721	1.43
Viscosity outlet	cP	0.795	1.24
Volume flow rate	m ³ /h	2.2	2.0
Inlet temperature	°C	35.0	7.0
Outlet temperature	°C	30.4	12.0
Pressure drop	kPa	7.21	5.30
Heat exchanged	kW	11.78	
L.M.T.D.	K	23.2	
OHTC clean conditions	W/(m ² ·K)	2934	
OHTC service	W/(m ² ·K)	1324	
Heat transfer area	m ²	0.4	
Effective duty margin	%	121.7	
Relative directions of fluids		Countercurrent	

Figura 18. Set n. 2 di parametri di funzionamento degli scambiatori di calore alle utenze.

La Figura 19 mostra lo scambiatore di calore (recuperatore) che collega il circuito sorgente della pompa di calore della rete termica ai circuiti carico delle pompe di calore delle utenze. La Figura 20

mostra il disegno tecnico del recuperatore di calore. Chiaramente, anche in questo caso il dimensionamento dello scambiatore è stato effettuato in funzione delle caratteristiche delle pompe di calore, e con l'obiettivo di ottenere i due set di temperature lato caldo e lato freddo riportati in Figura 21 e Figura 22.



Figura 19. Recuperatore di calore (T5-MFG).

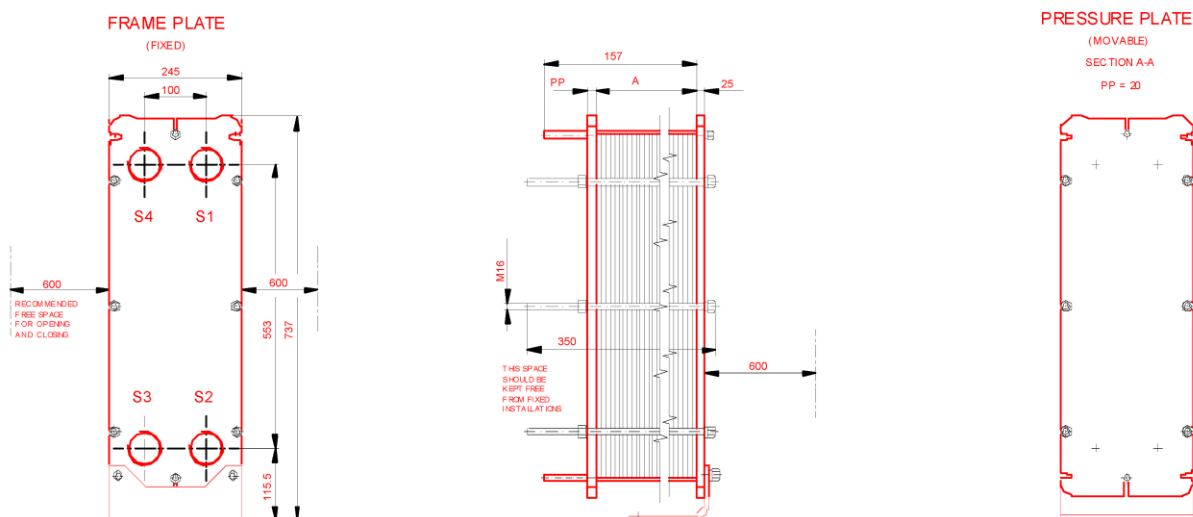


Figura 20. Disegno tecnico del recuperatore di calore (T5-MFG).

La scheda tecnica e il disegno tecnico del dry cooler/heater (DGLE502.1CS64H/V BO CBP) sono riportati in Figura 23 e Figura 24, rispettivamente.

Plate Heat Exchanger



Technical Specification

Customer :
 Model : T5-MFG
 Project: : ENEA Napoli
 Item : B_inv.

		Hot Side	Cold side
Fluid		Water	Water
Density	kg/m ³	989.7	1000
Specific heat capacity	kJ/(kg·K)	4.18	4.21
Thermal conductivity	W/(m·K)	0.634	0.585
Viscosity inlet	cP	0.596	1.43
Viscosity outlet	cP	0.645	1.31
Volume flow rate	m ³ /h	17.3	24.1
Inlet temperature	°C	45.0	7.0
Outlet temperature	°C	40.7	10.0
Pressure drop	kPa	28.2	65.0
Heat exchanged	kW	84.52	
L.M.T.D.	K	34.4	
OHTC clean conditions	W/(m ² ·K)	5139	
OHTC service	W/(m ² ·K)	1126	
Heat transfer area	m ²	2.2	
Effective duty margin	%	356.4	
Relative directions of fluids		Countercurrent	
Nozzle orientation		S1 -> S2	S4 <- S3

Figura 21. Set n. 1 di parametri di funzionamento del recuperatore.

Plate Heat Exchanger



Technical Specification

Model : T5-MFG
 Project: : ENEA Napoli
 Item : B_est.

		Hot Side	Cold side
Fluid		Water	Water
Density	kg/m ³	993.3	1000
Specific heat capacity	kJ/(kg·K)	4.18	4.20
Thermal conductivity	W/(m·K)	0.621	0.586
Viscosity inlet	cP	0.721	1.43
Viscosity outlet	cP	0.780	1.24
Volume flow rate	m ³ /h	19.4	14.4
Inlet temperature	°C	35.0	7.0
Outlet temperature	°C	31.2	12.0
Pressure drop	kPa	35.8	24.5
Heat exchanged	kW	84.14	
L.M.T.D.	K	23.6	
OHTC clean conditions	W/(m ² ·K)	4561	
OHTC service	W/(m ² ·K)	1632	
Heat transfer area	m ²	2.2	
Effective duty margin	%	179.5	
Relative directions of fluids		Countercurrent	

Figura 22. Set n. 2 di parametri di funzionamento del recuperatore.

3.3 Sensori e valvole

In tutti i rami dei vari circuiti che compongono la rete termica vengono misurate la temperatura, la pressione, la portata e viene effettuato il controllo della portata tramite valvole elettriche modulanti.

Le misure di temperatura vengono effettuate tramite PT100 a 4 fili, come quella mostrata in Figura 25. Si tratta di PT100 a singolo elemento sensibile (classe A IEC 60751), con guaina in AISI316L di diametro 3 mm e lunghezza 100 mm, con bussolotto di transizione in resina e cavo schermato isolato in PVC, montate tramite un raccordo scorrevole filettato con ogiva deformabile in acciaio inox cilindrico. Oltre alle PT100 (termoresistenze), nella rete termica sono presenti anche delle termocoppie tipo T (Rame-Costantana) classe 1, come quella mostrata in Figura 26, per effettuare misure ridondanti di temperatura. Le classi di tolleranza per termoresistenze e termocoppie sono riportate in Figura 27.



Figura 25. Sensore di temperatura PT100.

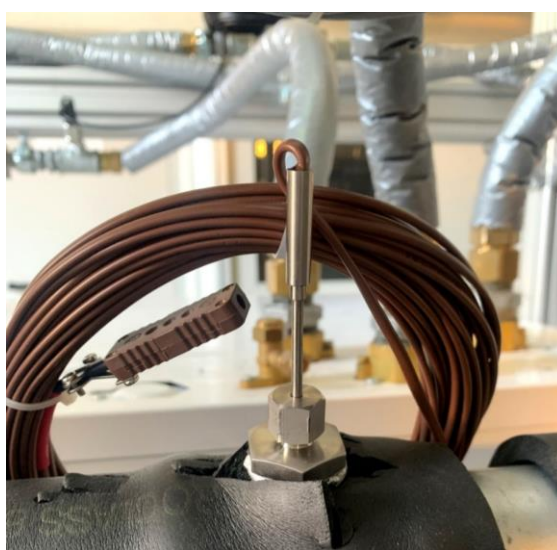


Figura 26. Termocoppia tipo T (Rame-Costantana).

Classi di tolleranza per termocoppie (giunto di riferimento a 0°C)
(Emendamento IEC 854-2 1982)

Tipo	Limiti e Tolleranze	Special (Classe 1)	Standard (Classe 2)
T	Limiti di temperatura	-40 ... +125°C	-40 ... +133°C
	Valore di tolleranza	± 0.5°C	± 1°C
	Limiti di temperatura	+125 ... +350°C	+133 ... +350°C
	Valore di tolleranza	±0.004*[+] ^o °C	± 0.0075*[+]

Classi di tolleranza per termometri a resistenza secondo EN 60751

Temperatura	Tolleranza			
	Classe A		Classe B	
°C	± °C	± Ω	± °C	± Ω
-200	0.55	0.24	1.3	0.56
-100	0.35	0.14	0.8	0.32
0	0.15	0.06	0.3	0.12
100	0.35	0.13	0.8	0.80
200	0.55	0.20	1.3	0.48

Figura 27. Classi di tolleranza per termocoppie e termoresistenze.

Le misure di pressione relativa sono effettuate con trasduttori di pressione piezoresistivi con accuratezza pari all' 1% F.S., come quello mostrato in Figura 28, con alimentazione 10-30 V in corrente continua (DC), range di misura fino a 6 bar, e uscita 4-20 mA.



Figura 28. Trasduttore di pressione piezoresistivo.

Le misure di portata sono effettuate tramite misuratori elettromagnetici: per i tubi di diametro 25 mm (1") si utilizza un misuratore come quelli mostrati in Figura 29, con un'accuratezza del 2% del valore misurato nel range di velocità 0.2-1.0 m/s e dell'1% nel range di velocità 1-10 m/s; per i tubi di diametro 50 mm (2") si utilizza un misuratore come quello mostrato in Figura 30, con un'accuratezza dello 0.5% del valore misurato in tutto il range di variazione della portata. Entrambi i misuratori di portata hanno un output in corrente di 4-20 mA. Il misuratore di Figura 29 è per tubi di diametro nominale di 20 mm (3/4"). Il collegamento ai tubi da 1" è reso possibile da dei raccordi di riduzione da 1" (25 mm) a 3/4" (20 mm).

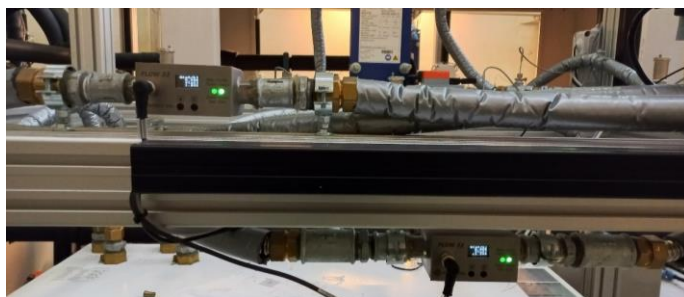


Figura 29. Misuratori di portata elettromagnetico (FLOW 32).



Figura 30. Misuratore di portata elettromagnetico (FLOW 38).

Il controllo della portata nei vari circuiti che compongono la rete termica viene effettuato mediante valvole modulanti (Figura 31) controllate elettricamente, con attuatori rotativi da 5 Nm (Figura 32) nei circuiti da 1" alimentati dalle pompe di circolazione delle pompe di calore delle utenze, e attuatori rotativi da 20 Nm nei circuiti da 2" alimentati dalla pompa di circolazione della pompa di calore della rete.



Figura 31. Valvola di regolazione a sfera.

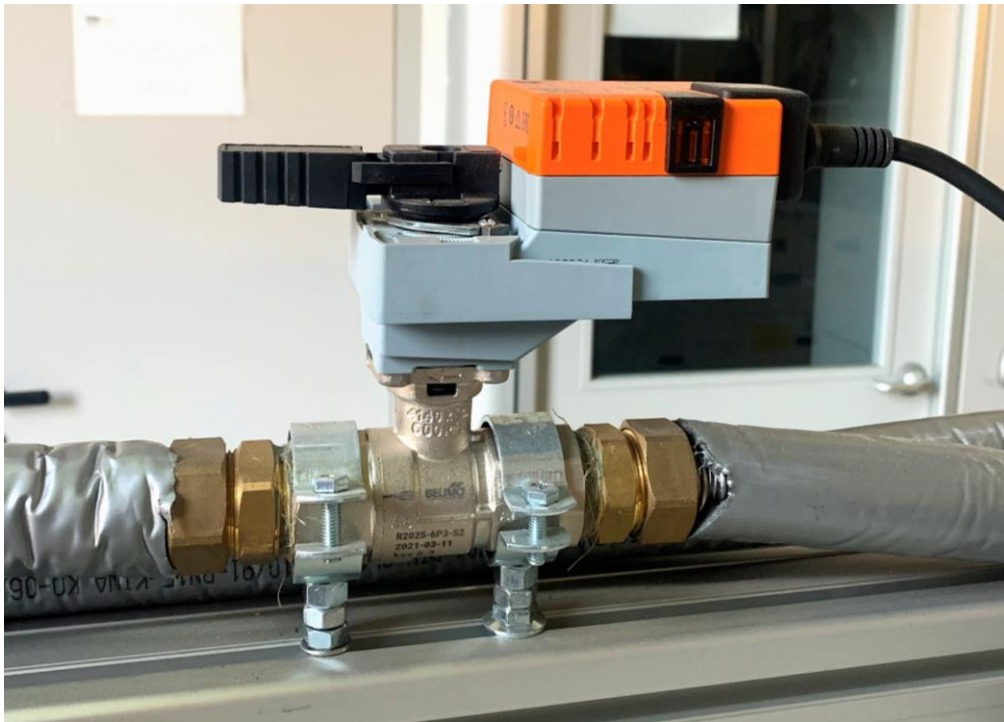


Figura 32. Valvola modulante con attuatore da 5 Nm.

Tutti gli attuatori sono alimentati in corrente continua a 24 V. I dati funzionali degli attuatori da 5 Nm e da 20 Nm sono riportati rispettivamente in Figura 33 e in Figura 34.

Dati funzionali	Coppia motore	5 Nm
	Campo di lavoro Y	2...10 V
	Impedenza ingresso	100 k Ω
	Feedback di posizione U	2...10 V
	Nota feedback di posizione U	Max. 1 mA
	Accuratezza posizionamento	$\pm 5\%$
	Azionamento manuale	con pulsante, fisso o temporaneo
	Tempo di azionamento motore	9 s / 90°
	Livello di rumorosità motore	35 dB(A)
	Indicazione della posizione	Meccanica, con indicatore

Figura 33. Dati funzionali attuatore rotativo da 5 Nm.

Dati funzionali	Coppia motore	20 Nm
	Campo di lavoro Y	2...10 V
	Impedenza ingresso	100 k Ω
	Feedback di posizione U	2...10 V
	Nota feedback di posizione U	Max. 1 mA
	Accuratezza posizionamento	$\pm 5\%$
	Azionamento manuale	con pulsante, fisso o temporaneo
	Tempo di azionamento motore	9 s / 90°
	Livello di rumorosità motore	45 dB(A)
	Indicazione della posizione	Meccanica, con indicatore

Figura 34. Dati funzionali attuatore rotativo da 20 Nm.

In corrispondenza delle sottostazioni di scambio e dei punti più alti della rete termica sono montate delle valvole di sfioro come mostrato in Figura 35 e in Figura 36.



Figura 35. Valvole di sfioro in corrispondenza delle sottostazioni di scambio.



Figura 36. Valvole di sfioro poste nei punti più alti della rete termica.

4 Misure e controlli

Le misure e i controlli sono effettuati mediante moduli National Instruments montati su tre controller cRIO-9056 (Figura 37) della NI, utilizzando il software LabView 2021.



Figura 37. NI cRIO-9056.

Le temperature misurate con le termoresistenze PT100 sono acquisite utilizzando moduli NI-9216, mentre i segnali di corrente 4-20 mA provenienti dai sensori di pressione e portata sono acquisiti tramite moduli NI-9208.

Tutti gli attuatori sono comandati in tensione, con segnali nel range 0-10 V, tramite moduli NI-9264, e per ognuno è stato messo a punto con controllo di tipo PID. La Figura 38 e la Figura 39 mostrano rispettivamente lo schema Labview del singolo PID e il suo pannello di controllo, con il quale è possibile modificare il set-point e le costanti del PID all'interno di un range predeterminato.

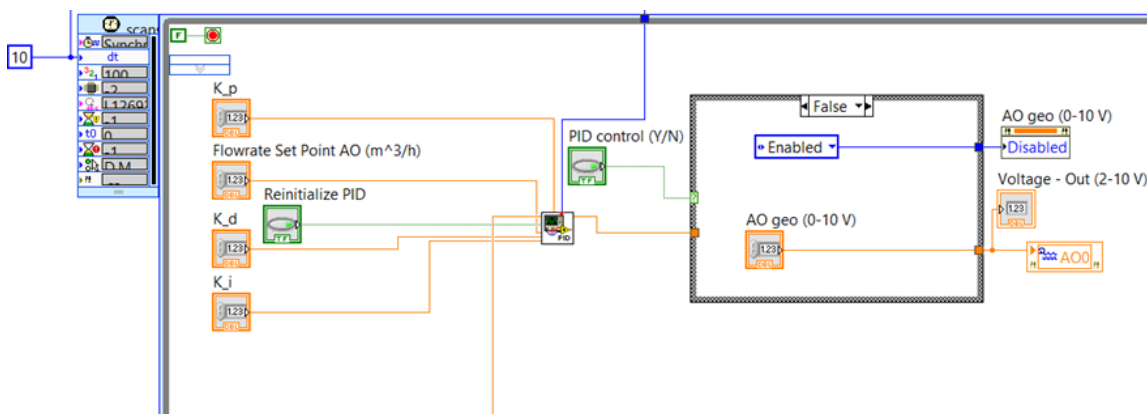


Figura 38 Schema Labview del PID.

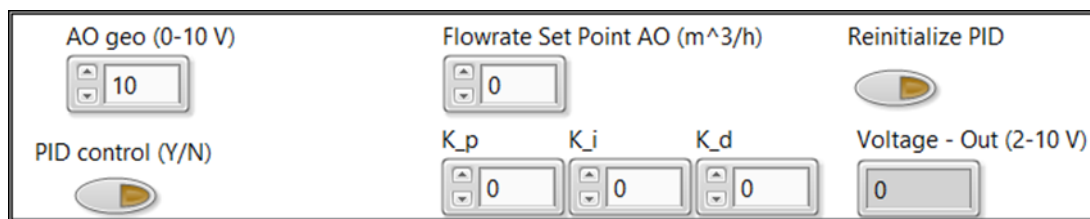


Figura 39. Pannello Labview del PID.

La comunicazione con le pompe di calore, sia per il controllo che per l'acquisizione dati, è di tipo RS485, effettuata tramite moduli NI-9871 e le schede di comunicazione delle pompe di calore tipo quella mostrata in Figura 40. Le pompe di calore AERMEC adottano il protocollo Modbus per la comunicazione.

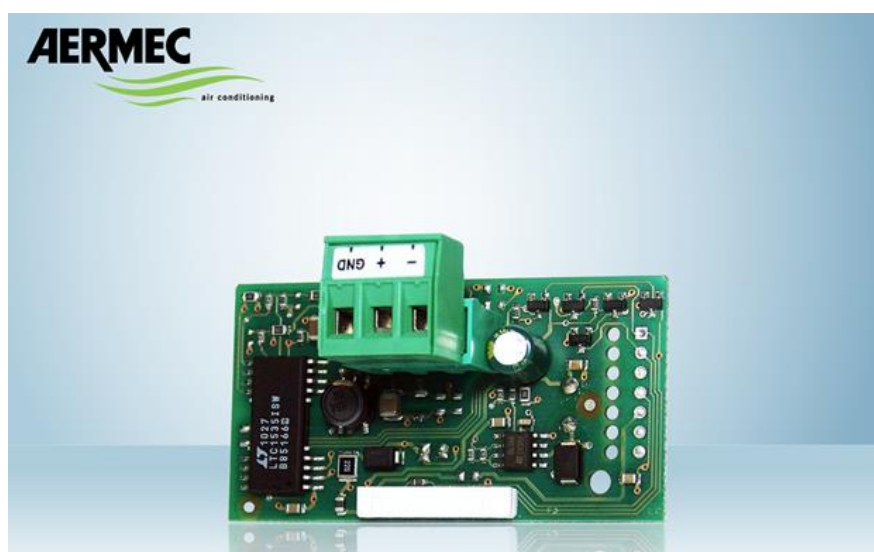


Figura 40. Scheda di comunicazione delle pompe di calore AERMEC.

La Figura 41 mostra il pannello di ciascuna delle pompe di calore alle utenze. Grazie a questo pannello è possibile leggere e/o modificare lo status principale della macchina (ON/OFF/ECO/AUTO), cambiare il setpoint dell'acqua in uscita sia nella modalità invernale che in quella estiva, cambiare la modalità da estiva a invernale e viceversa, leggere le temperature, le pressioni e le portate dell'acqua nel circuito sorgente e in quello carico, leggere le pressioni di al condensatore e all'evaporatore del fluido frigorifero (R410a), e controllare gli attuatori attraverso i PID. La Figura 42 mostra il pannello della PDC RETE. Questo, in più rispetto al pannello delle PDC utenza, riporta anche le misure effettuate al recuperatore, e include i grafici delle temperature e delle portate.

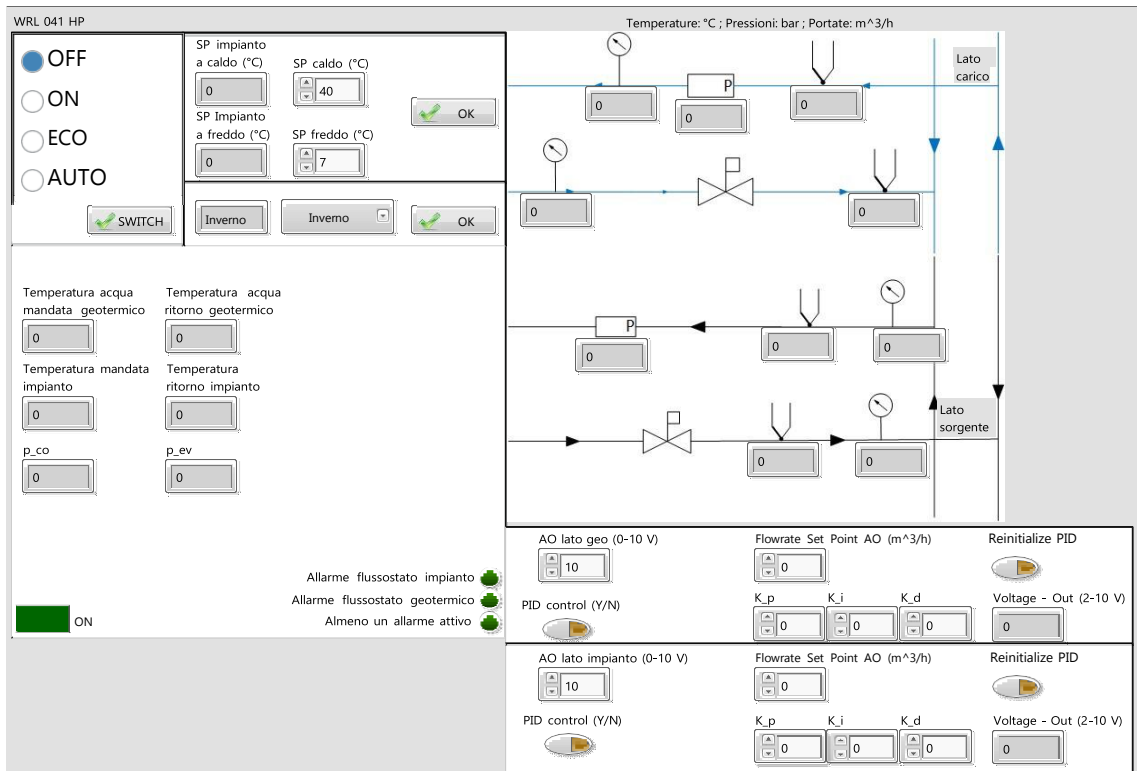


Figura 41. Pannello di controllo di ciascuna pompa di calore WRL041.

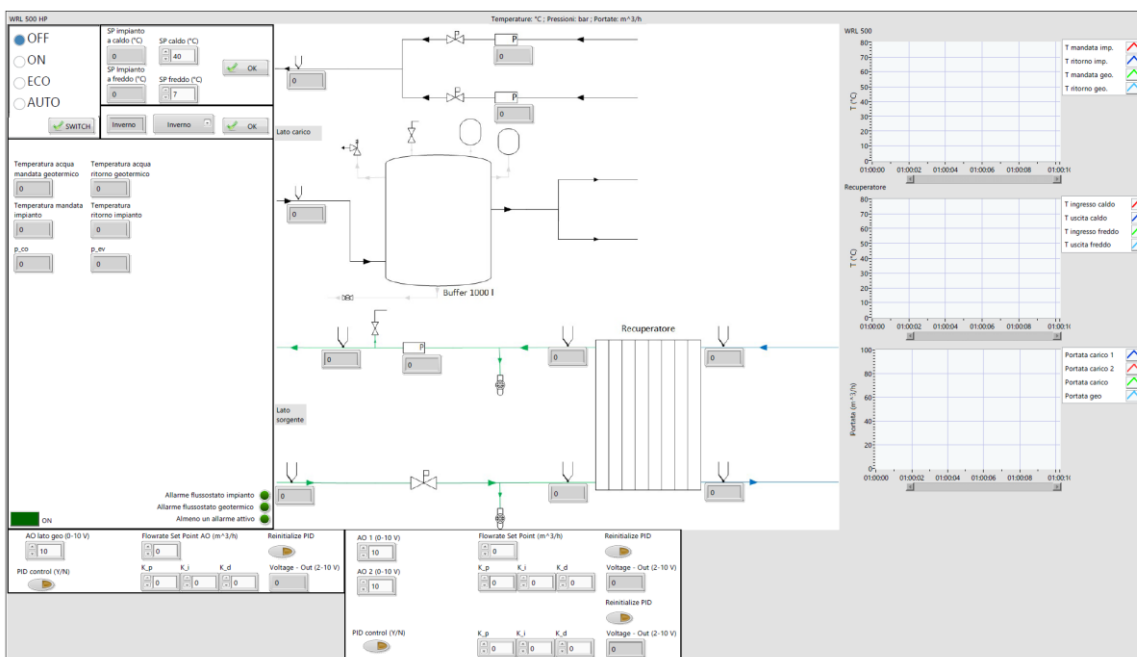


Figura 42. Pannello di controllo della PDC RETE WRL 500.

Infine, la Figura 43 e la Figura 44 mostrano rispettivamente il pannello di controllo generale e il pannello sinottico della rete. Il primo riporta le letture delle temperature e delle portate di tutte le pompe di calore della rete, e permette di accendere e spegnere le pompe di calore, e di cambiare i set-point delle temperature. Il secondo, a differenza del primo, non riporta le portate nei circuiti alle utenze.



Figura 43. Pannello di controllo generale.

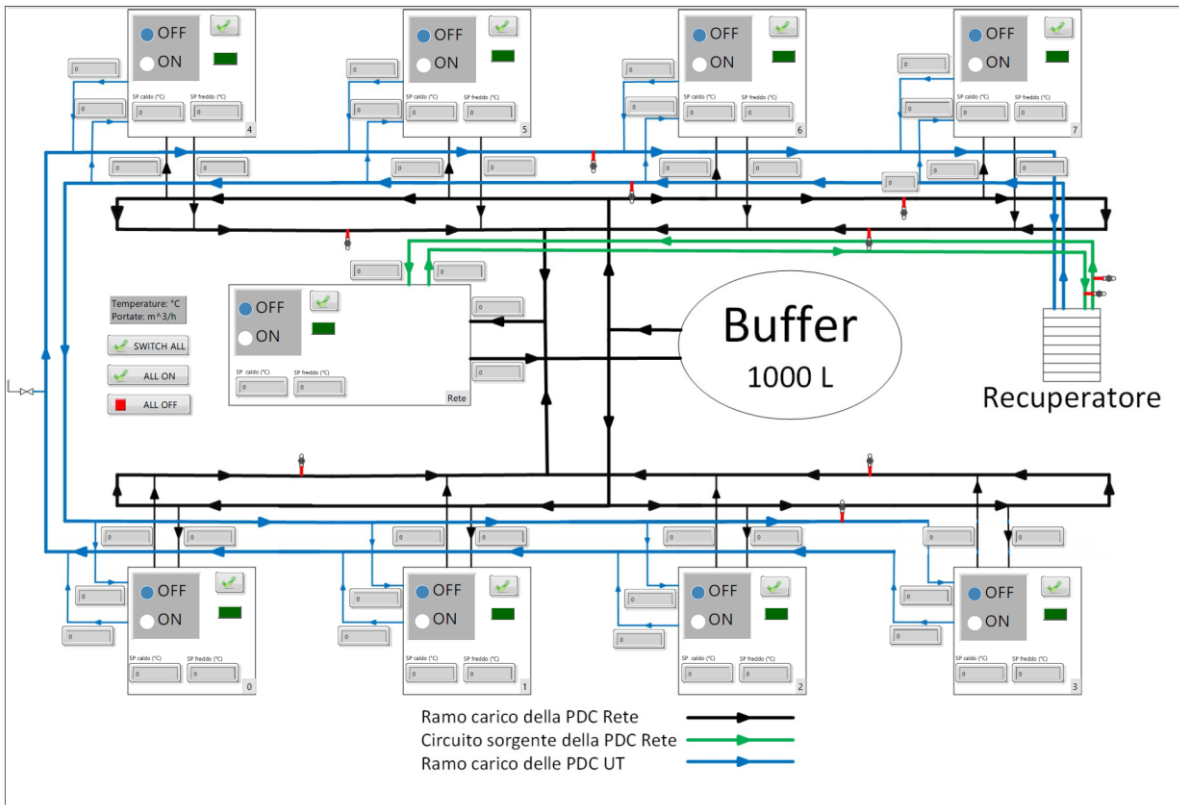


Figura 44. Pannello sinottico.

5 Conclusioni

In questo documento sono state descritte le attività relative alla realizzazione della rete termica indoor a bassa temperatura presso il laboratorio LPSAT del CR Enea Portici, nell'ambito del Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 della Ricerca di Sistema Elettrico. In particolare, nel documento sono dettagliati sia i componenti principali della rete che le caratteristiche del sistema di acquisizione dati e controllo degli attuatori e delle pompe di calore.

La rete termica che è stata realizzata consentirà di testare sperimentalmente differenti soluzioni sia per quanto riguarda la tipologia e la taglia dei componenti principali della rete (generatori, carichi, ecc.), sia per quanto concerne la topologia e le temperature di lavoro della rete termica. La rete termica permetterà, inoltre, di testare sperimentalmente logiche di funzionamento e di gestione ottimizzate risultanti dalla simulazione di strategie di demand response per micro-reti ibride elettrico-termiche innovative, integrate con soluzioni convenzionali e non per l'accumulo termico.