

POLITECNICO DI TORINO

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA

ENERGETICA E NUCLEARE

INDIRIZZO PROGETTAZIONE TERMOTECNICA

Tesi di Laurea Magistrale

Metodologie di ottimizzazione negli impianti di produzione di acqua calda sanitaria



Relatore

Prof. Marco Carlo MASOERO

Correlatore

Ing. Gregorio TOSI

Candidato

Silvia TARALLO

13 Aprile 2018

A sister

Come ieri, oggi ma, sicuramente anche domani.

Ringraziamenti

Desidero ringraziare il prof. Marco Masoero, relatore di questa tesi, per la grande disponibilità e cortesia mostrata.

Un grande ringraziamento va all'Ing. Gregorio Tosi per tutto l'aiuto fornito durante la stesura, la pazienza e la presenza costante manifestata durante questi mesi di lavoro.

Un doveroso grazie è per i miei genitori che con il loro incrollabile sostegno morale mi hanno permesso di raggiungere questo traguardo.

Infine, desidero ringraziare i miei amici e compagni di corso per avermi sempre sostenuto ed aver allietato le mie giornate durante il percorso accademico.

Abstract

Lo scopo della presente tesi è stato la ricerca di sistemi per ottimizzare la produzione di acqua sanitaria, non solo in termini di consumo minore, ma soprattutto di maggiore efficienza nell'utilizzo delle risorse disponibili nel campo dell'energia. La produzione di calore è associata a emissione di inquinanti, ed in tutte le attività umane l'utilizzo dell'acqua calda, sia per il comfort ambientale che per l'uso sanitario rientra nelle necessità primarie del vivere. Gli sforzi rivolti al contenimento dei consumi energetici mirano sovente al semplice contenimento delle dispersioni, trascurando talvolta il metodo di organizzazione della produzione. Organizzazione intesa come programmazione di "quanto produrre" e "quando produrre".

A titolo di esempio, l'applicazione di due sonde nell'inertiale di acqua sanitaria, una nella parte inferiore l'altra in quella superiore dell'accumulo è una metodologia applicata da oltre un decennio per ottimizzare il rendimento della produzione sanitaria. La lettura viene fatta in alternanza secondo il fabbisogno reale di acqua sanitaria, e pertanto, in funzione della fascia oraria di utilizzo (sonda in basso attivata per gestire la richiesta di elevato prelievo, sonda in alto per soddisfare la fase di ridotto prelievo).

Partendo da questo principio, sulla base di un sistema di gestione già in funzione, basato su valori di richiesta da parte dell'utenza ipotizzati, è stato realizzato un algoritmo in grado di restituire in output il voltaggio, segnale da assegnare alla macchina destinata alla fornitura di acqua calda sanitaria. L'implementazione del codice attraverso il software MATLAB ha previsto il passaggio al programma di tutti i file costituenti lo storico dei dati, ovvero tutte le differenze di temperatura tra mandata e ricircolo registrate ogni minuto di tutti i giorni presi in esame. Trattandosi di una previsione, è stata effettuata un'analisi della regressione per capire il polinomio che meglio approssima l'andamento delle temperature. Così facendo, è stato possibile valutare i coefficienti ottimizzati indicanti il prelievo di acqua sanitaria per ogni ora del giorno e per tipo di giorno e la temperatura di set-point di attivazione delle sonde dell'inertiale.

Oltre al concetto di ottimizzazione come previsione del prelievo, grazie alla conoscenza di parametri quali l'occupazione, l'ora del giorno e tipo di giorno (feriale, festivo e prefestivo), vi è l'idea di risparmiare in termini di dispersioni minori. Nell'ultima parte di tale elaborato,

infatti, sono state valutate tutte le dispersioni relative alla rete di distribuzione, di ricircolo e dell'inerziale per capire non solo l'incidenza di queste sul totale, ma anche le variazioni durante i vari periodi dell'anno. Inoltre, sono state confrontate le dissipazioni ottenute nei due casi di semplice coibentazione e doppia coibentazione, sia considerando la temperatura del fluido pari a quella di regime, che nel caso di situazione di risparmio, con temperatura inferiore.

In ultima analisi, sono state confrontate quattro situazioni: caldaia tradizionale, caldaia con doppia coibentazione, pompa di calore con doppia coibentazione e temperatura del fluido interno di 48°C e pompa di calore con doppia coibentazione e temperatura del fluido interno di 42°C. Nei casi citati, il doppio isolamento è stato applicato alla rete di distribuzione e ricircolo.

Attraverso tale paragone, è stato possibile individuare la soluzione migliore con dispersioni minori. Infine, è stata calcolata la quantità di anidride carbonica prodotta per ciascun sistema di produzione dell'energia.

Sommario

1. INTRODUZIONE	1
2. STATO DELL'ARTE NELL'IMPIANTISTICA DELLA PRODUZIONE DELL'ACQUA CALDA SANTARIA ..	3
2.1 DIMENSIONAMENTO DEI BOLLITORI.....	12
2.1.1 VOLUME DEL BOLLITORE	15
2.1.2 SUPERFICIE DEL SERPENTINO	16
3. COME FUNZIONA LA TECNOLOGIA DELL'ACQUA CALDA SANITARIA	18
3.1 DETERMINARE LA CURVA DI CARICO DELLA GIORNATA	19
3.2 DETERMINARE IL FABBISOGNO DI ACQUA POTABILE.....	19
3.3 SCELTA DELLA STAZIONE.....	20
4. OTTIMIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE SANITARIA	23
4.1 SONDE DI RILEVAMENTO DELLA TEMPERATURA	24
4.2 SOLUZIONE CON MISCELATRICE MECCANICA SU RICIRCOLO E POMPA RICIRCOLO ON-OFF	26
4.3 SOLUZIONE SENZA MISCELATRICE MECCANICA SU RICIRCOLO E POMPA RICIRCOLO A PORTATA VARIABILE...	29
4.4 SOLUZIONE CON SCAMBIATORE IMMERSO NELL'INERZIALE	31
5. CASO STUDIO	33
5.1 SISTEMA ATTUALMENTE IN FUNZIONE.....	35
5.2 ALGORITMO DI AUTOAPPRENDIMENTO	50
6. OTTIMIZZAZIONE IN TERMINI DI MINORI DISPERSIONI	58
7. LEGIONELLA	78
7.1 CONDIZIONI PER LO SVILUPPO DELLA LEGIONELLOSI.....	80
7.2 IMPIANTI E PROCESSI TECNOLOGICI A RISCHIO	80
7.3 DOVE VIVE E COME SI SVILUPPA LA LEGIONELLA.....	81
7.4 TRATTAMENTI DI DISINFESTAZIONE	81
7.5 TUBO DI RAME CONTRO LA LEGIONELLA	88
8. CONCLUSIONI	94
9. BIBLIOGRAFIA	97
APPENDICE A: SISTEMA ATTUALMENTE IN FUNZIONE	99
APPENDICE B: ALGORITMO DI AUTOAPPRENDIMENTO	101

Lista delle figure

Figura 1 - Fattori che influiscono sul consumo di energia.....	1
Figura 2 - Percentuali di consumo per riscaldamento, acqua calda ed elettricità.....	1
Figura 3 - Sistema istantaneo.....	3
Figura 4 - Sistema ad accumulo.....	4
Figura 5- Metodi di fornitura energia termica.....	5
Figura 6 - Sistemi per la produzione di energia termica a confronto.....	6
Figura 7 - Collegamento a caldaia a condensazione.....	7
Figura 8 - Collegamento pompa di calore.....	8
Figura 9 - Allacciamento bollitore-pompa-desurriscaldatore non corretto.....	8
Figura 10 - Secondo allacciamento bollitore-pompa di calore- desurriscaldatore non corretto.....	9
Figura 11 - Soluzione allacciamento bollitore-pompa di calore- desurriscaldatore consigliata.....	9
Figura 12 - Terzo allacciamento bollitore-pompa di calore- desurriscaldatore non corretto.....	10
Figura 13 - Soluzione 1 per accumulo.....	11
Figura 14 - Soluzione 2 per accumulo.....	11
Figura 15 - Soluzione 3 per accumulo.....	12
Figura 16 - Tecnologia ACS.....	18
Figura 17 - Diagramma di carico.....	19
Figura 18 - Fabbisogno acqua potabile.....	19
Figura 19 - Effetto della contemporaneità.....	20
Figura 20 - Prelievo e carenza a confronto.....	22
Figura 21 - Ottimizzazione della produzione di ACS.....	23
Figura 22 - Impianto con prelievo intenso di ACS.....	24
Figura 23 - Impianto con prelievo ridotto di ACS.....	25
Figura 24 - Soluzione con miscelatrice meccanica su ricircolo e pompa ricircolo on-off.....	26
Figura 25 - Soluzione senza miscelatrice meccanica su ricircolo e pompa ricircolo a portata variabile.....	29
Figura 26 - Soluzione con scambiatore immerso nell'inerziale.....	31
Figura 27 - Inquadramento area, Via Cigliano 29 (TO).....	33
Figura 28 - Schema funzionale stabile via Cigliano 29.....	34
Figura 29 - Andamento del valore di output C in funzione del numero di appartamenti.....	37
Figura 30 - Schermata domotica per parametro C.....	37
Figura 31 - Esempio: 21-11-2017 ore 15.50.....	40
Figura 32 - Esempio: 21-11-2017 ore 16.00.....	41
Figura 33 - Esempio: 21-11-2017 ore 21.50.....	42
Figura 34 - Esempio: 21-11-2017 ore 23.44.....	43
Figura 35 - Esempio: 22-11-2017 ore 9.30.....	44
Figura 36 - Esempio: 23-11-2017 ore 10.00.....	45
Figura 37 - Andamento delle differenze di temperature relative ai giorni feriali.....	47
Figura 38 - Andamento delle differenze di temperature relative ai giorni di sabato e domenica.....	48
Figura 39 - Confronto tra gli andamenti medi delle differenze di temperature dei giorni sabato e domenica rispetto a quelli feriali.....	49
Figura 40 - Dati forniti dai logger.....	50
Figura 41 - Esempio: andamento valor medio B13-B12 del terzo giorno.....	51
Figura 42 - Andamento valor medio B13-B12 (giorni feriali).....	52
Figura 43 - Andamento valor medio B13-B12 (giorni prefestivi).....	52

Figura 44 - Andamento valor medio B13-B12 (giorni festivi).....	53
Figura 45 - Parametro C in funzione dell'occupazione.....	55
Figura 46 - Temperature di set-point in funzione dell'occupazione	56
Figura 47 - Temperature di set-point in funzione dell'ora	57
Figura 48 - Schema montanti	58
Figura 49 - Riassunto potenze disperse	65
Figura 50 - Riassunto energie disperse	66
Figura 51 - Produzione energia da pompa di calore	71
Figura 52 - Significato dell'energia prodotta con pompa di calore	72
Figura 53 - Dispersioni totali	76
Figura 54 - Anidride carbonica prodotta	77
Figura 55 - Schema di regolazione e disinfezione termica con miscelatore termostatico	87
Figura 56 - Schema di regolazione e disinfezione termica con miscelatore elettronico antilegionella	88
Figura 57 - Composizione biologica del biofilm	91
Figura 58 - Quantità di legionella nell'acqua.....	92

Lista delle tabelle

Tabella 1 - Consumi medi d'acqua relativi ai singoli apparecchi sanitari.....	13
Tabella 2 - Dati per il calcolo dei bollitori.....	15
Tabella 3 - Fattore di contemporaneità in funzione del numero di alloggi	15
Tabella 4 - Coefficienti D OPERATIVI in funzione dell'ora del giorno e del tipo di giorno	36
Tabella 5 - Confronto tra parametri D operativi e autoappresi	54
Tabella 6 - Temperatura del fluido esterno	59
Tabella 7- Calcolo delle dispersioni	59
Tabella 8 - Dispersioni coibentazione semplice $T_i=42^{\circ}\text{C}$	60
Tabella 9 - Dispersioni coibentazione semplice $T_i=48^{\circ}\text{C}$	61
Tabella 10 - Dispersioni coibentazione doppia $T_i=42^{\circ}\text{C}$	61
Tabella 11 - Dispersioni coibentazione doppia $T_i=48^{\circ}\text{C}$	62
Tabella 12 – Dispersione media giornaliera, coibentazione semplice	63
Tabella 13 - Dispersione media giornaliera, coibentazione doppia	64
Tabella 14 - Dati caldaia tradizionale	67
Tabella 15 - Dispersioni caldaia tradizionale.....	68
Tabella 16 - Temperature esterne, caldaia	68
Tabella 17 - Dispersioni accumulo caldaia tradizionale	68
Tabella 18 - CO_2 prodotta dalla caldaia tradizionale.....	69
Tabella 19 - Dispersioni caldaia con doppia coibentazione	70
Tabella 20 - Dispersioni accumulo caldaia con doppia coibentazione.....	70
Tabella 21 - CO_2 prodotta dalla caldaia con doppia coibentazione	71
Tabella 22 - Dispersioni pompa di calore, doppia coibentazione, alta temperatura.....	73
Tabella 23 - Temperature esterne, pompa di calore	73
Tabella 24 - Dispersioni accumulo, pompa di calore, alta temperatura	74
Tabella 25 - CO_2 prodotta da pompa di calore, alta temperatura	74
Tabella 26 - Dispersioni pompa di calore, doppia coibentazione, bassa temperatura.....	75
Tabella 27 - Dispersioni accumulo, doppia coibentazione, bassa temperatura	75
Tabella 28 - CO_2 prodotta da pompa di calore, bassa temperatura.....	76
Tabella 29 - Fattori di rischio per infezione da Legionella per categoria di esposizione	79
Tabella 30 - Tipologie di filtrazione	83
Tabella 31 - Trattamenti antilegionella.....	85
Tabella 32 - Confronto tra sistema ottimizzato e non in termini di consumo di energia elettrica	95

1. INTRODUZIONE

Il consumo di energia in un edificio residenziale è da addebitarsi a diversi fattori: riscaldamento, produzione di acqua calda, apparecchiature elettriche, frigorifero e congelatore, lavastoviglie/cucina/lavastoviglie ed illuminazione, così come riportato nella figura seguente.

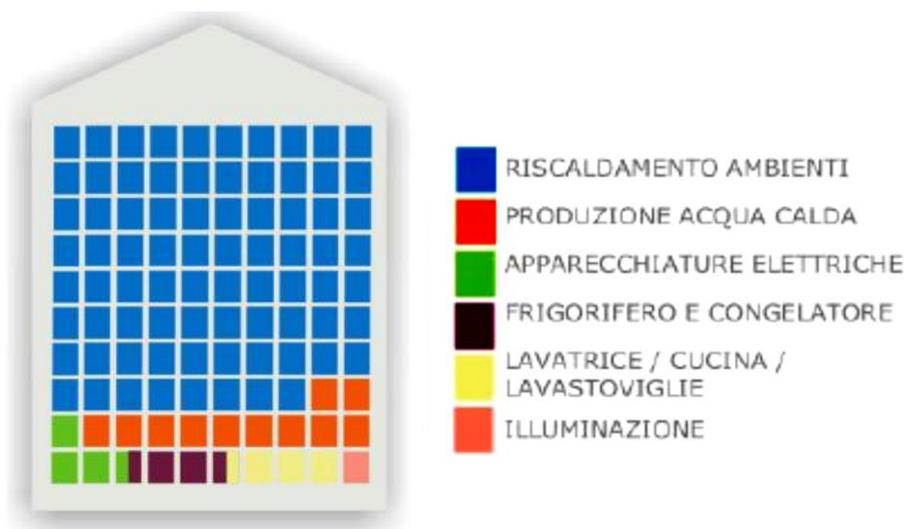


Figura 1 - Fattori che influiscono sul consumo di energia

Se si riporta quanto detto in termini numerici, si può notare come la quota maggiore di consumo di energia sia da attribuire al riscaldamento e alla produzione di acqua calda (pari all' 87%) mentre una quota minore all'elettricità (13%).

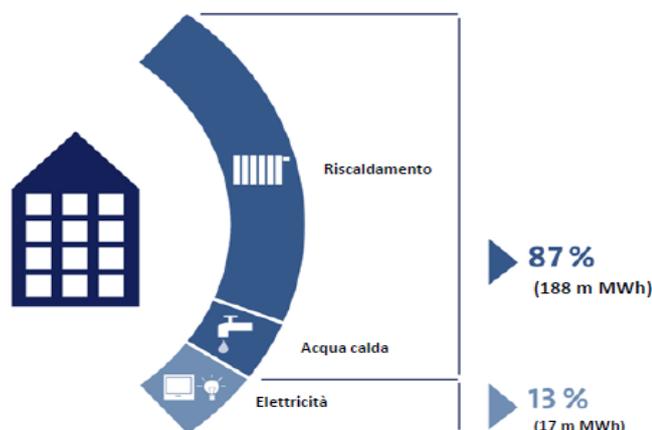


Figura 2 - Percentuali di consumo per riscaldamento, acqua calda ed elettricità

Nell'attuale saggia tendenza a realizzare edifici con ridotte dispersioni termiche, sia nelle nuove realizzazioni che nelle ristrutturazioni, la porzione di energia inerente alla produzione di acqua calda sanitaria (ACS) si sta avvicinando sempre più a quella relativa al riscaldamento degli ambienti (soprattutto nelle regioni del Nord), e raramente vengono attuate soluzioni per il recupero dell'energia necessaria per la produzione di ACS durante la fase di raffrescamento degli edifici.

La presente tesi, infatti, nasce proprio da questa esigenza e si pone come obiettivo la ricerca di metodi per ottimizzare la produzione di ACS.

2. STATO DELL'ARTE NELL'IMPIANTISTICA DELLA PRODUZIONE DELL'ACQUA CALDA SANTARIA

Esistono due macrocategorie di sistemi per la produzione di ACS: i sistemi istantanei e i sistemi ad accumulo. Il principio base dei primi consiste nell'elevare il livello termico di una certa portata d'acqua mentre essa scorre attraverso uno scambiatore di calore. Il riscaldamento istantaneo necessita di apparecchi riscaldanti di potenza elevata, in quanto richiede di portare velocemente la temperatura dell'acqua dal valore di 10-15°C (temperatura dell'acquedotto) alla temperatura convenzionale di 42-48°C di utilizzo. Sistemi di questo tipo rappresentano la soluzione più diffusa in ambito residenziale per quanto riguarda gli impianti autonomi, soprattutto per la loro flessibilità e la capacità di soddisfare le richieste dell'utenza in modo rapido e senza limiti, tuttavia da un punto di vista energetico risultano molto penalizzanti, soprattutto quando si valuta il consumo energetico ai fini del riscaldamento. I sistemi istantanei possono richiedere potenze installate dell'ordine di 25-30 kW per soddisfare la domanda di ACS di un'utenza monofamiliare, contro una potenza termica per il riscaldamento invernale che, nel caso di edifici monofamiliari progettati in un'ottica di risparmio energetico, richiede potenze installate che non superano 7 kW termici. Il generatore di calore si trova, quindi, a lavorare in modo fortemente parzializzato con pessimi effetti sul rendimento termico complessivo.

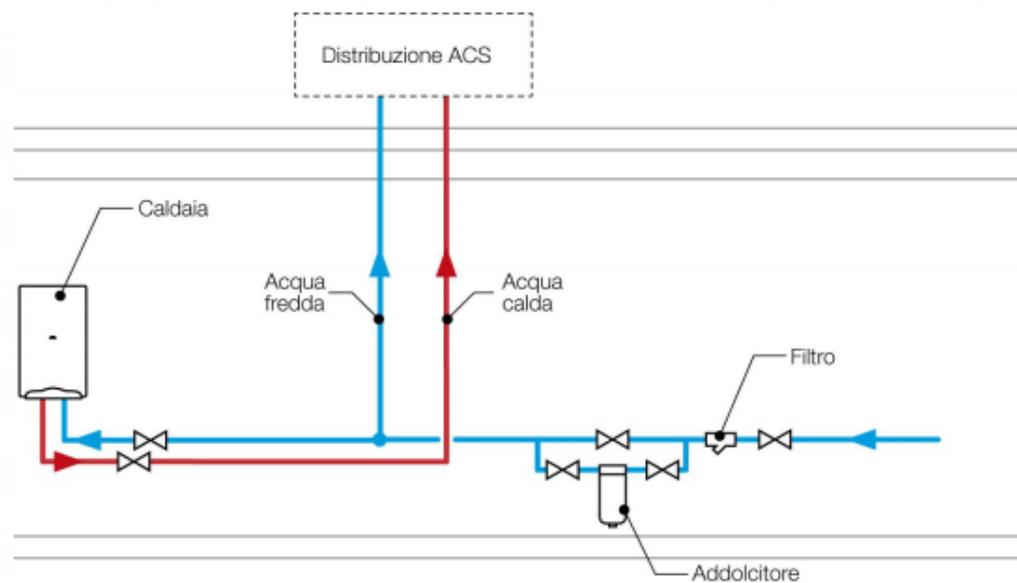


Figura 3 - Sistema istantaneo

I sistemi di produzione ad accumulo, invece, sono costituiti da un serbatoio contenente un volume d'acqua che viene riscaldato con continuità, impiegando potenze inferiori e tempi di funzionamento più lunghi rispetto ai sistemi istantanei. Inoltre, richiedono un certo tempo di riscaldamento prima dell'erogazione, per portare l'acqua dell'accumulo alla temperatura desiderata. Risultano, perciò, meno flessibili rispetto ai sistemi istantanei ed in grado di soddisfare una domanda limitata di ACS prima di scaricare la propria capacità termica. Come aspetto positivo vi è sicuramente da sottolineare un'efficienza maggiore.

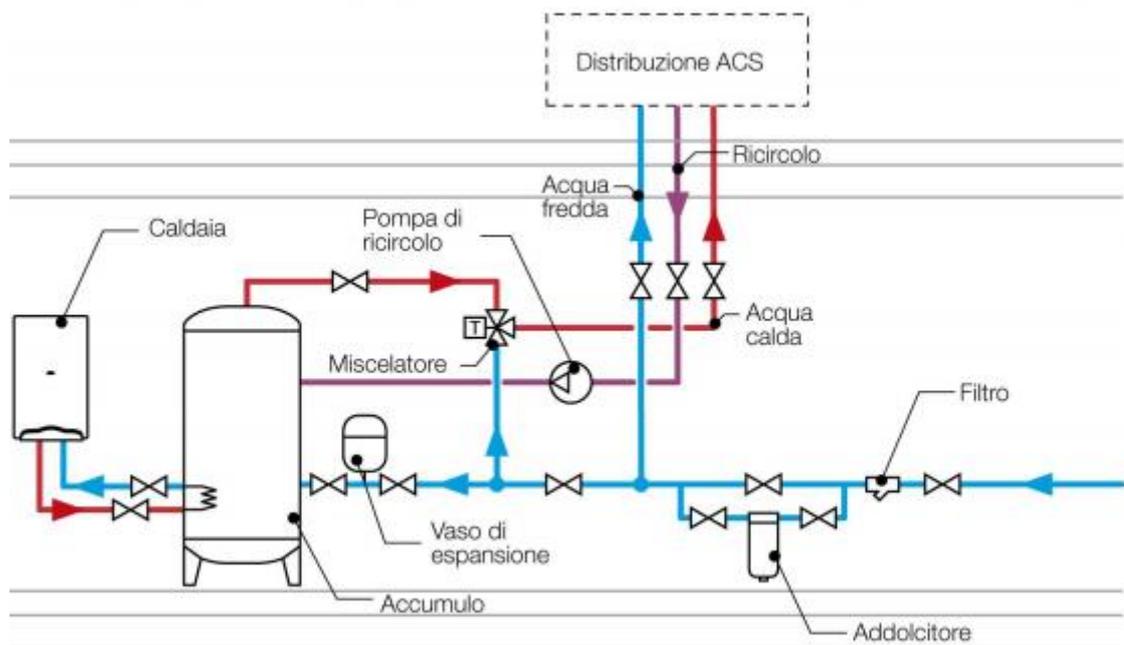


Figura 4 - Sistema ad accumulo

In particolare, la produzione di acqua calda sanitaria può avvenire in tre modi:

- L'energia termica viene immessa nel bollitore mediante l'utilizzo di uno scambiatore a piastre. Nel bollitore è accumulata direttamente l'acqua calda sanitaria (soluzione 1A).
- L'energia termica viene accumulata nel serbatoio inerziale e utilizzata per effettuare lo scambio rapido con l'acqua sanitaria, mediante scambiatore a piastre. Il rischio di presenza della legionella è ridotto, non essendoci ristagno di acqua sanitaria (soluzione 1B).

- c) L'energia termica viene accumulata nel serbatoio inerziale e utilizzata per effettuare lo scambio termico rapido con acqua sanitaria, mediante serpentino di scambio annegato nell'accumulo. Anche in questo caso il rischio di presenza della legionella è ridotto, non essendoci ristagno di acqua sanitaria. A titolo cautelativo conviene eseguire comunque dei cicli di sanificazione antilegionella. Tale soluzione ha il rischio di non poter disporre di elevate contemporaneità di prelievo (soluzione 1C), e occorre dimensionare adeguatamente i volumi tenendo conto delle portate di prelievo.

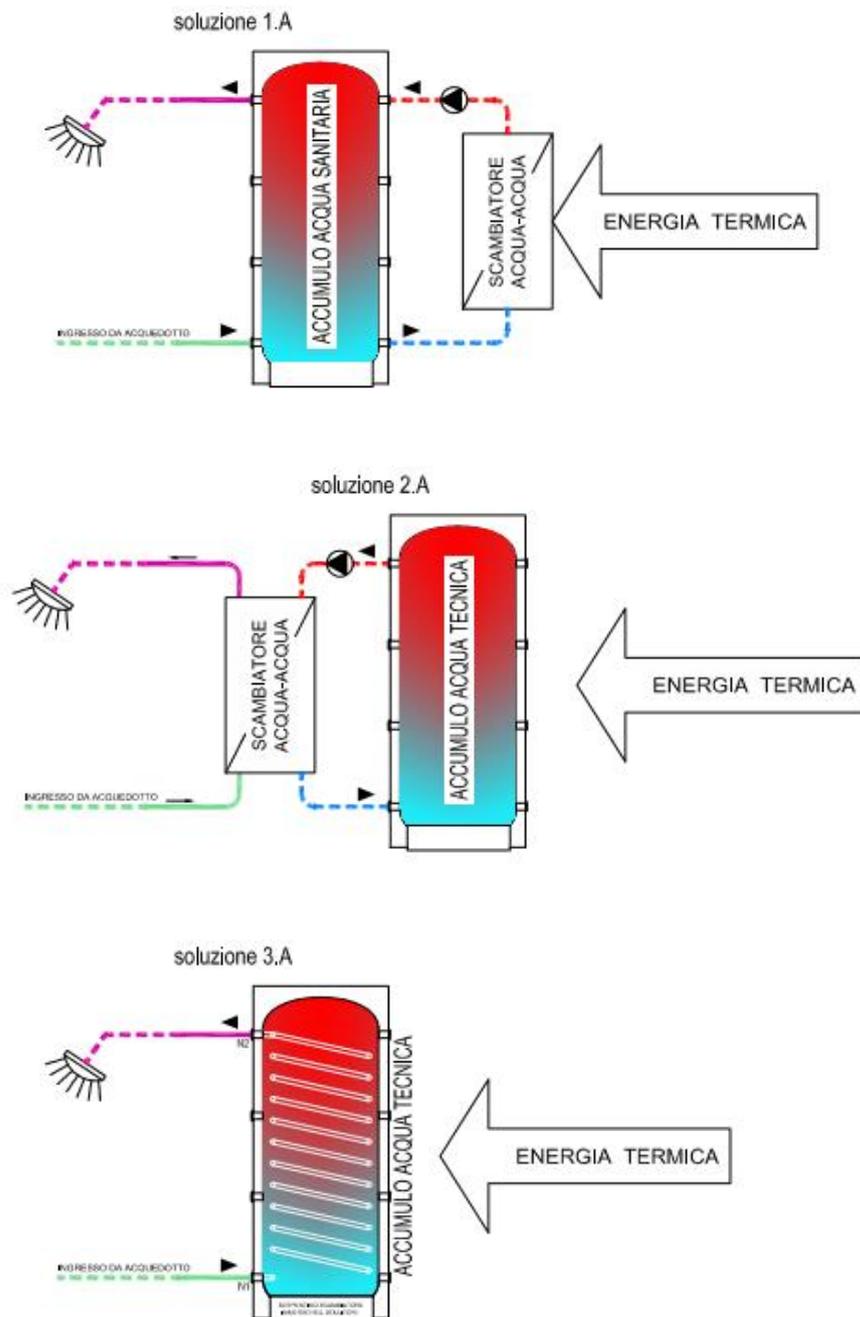


Figura 5- Metodi di fornitura energia termica

Sono molteplici le soluzioni tra cui scegliere il proprio sistema di produzione di acqua calda sanitaria. Ogni tecnologia presenta una serie di caratteristiche che è utile considerare al fine di optare per la soluzione più adeguata alle proprie esigenze.

	ECOLOGIA	COSTO	CONSUMI	SINERGIA CON FOTOVOLTAICO	APPLICABILITA'
POMPA DI CALORE ARIA/ACQUA					
SOLARE TERMICO & CALDAIA A CONDENSAZIONE					
CALDAIA A CONDENSAZIONE					
BOILER ELETTRICO					

Figura 6 - Sistemi per la produzione di energia termica a confronto

Il boiler elettrico non è certo il sistema più efficiente per riscaldare l'acqua per usi domestici: assorbe grandi quantità di corrente elettrica poiché l'acqua impiega molto tempo a riscaldarsi e tende a raffreddarsi velocemente a causa dello scarso isolamento termico del serbatoio. La resistenza deve lavorare di continuo per mantenere l'acqua in temperatura, perciò un impianto fotovoltaico può essere un alleato prezioso per ridurre i costi in bolletta in caso di forte utilizzo diurno dello scaldabagno.

La caldaia a condensazione è probabilmente la soluzione più diffusa, nonostante sia scarsamente ecologica, poiché l'energia termica deriva dalla combustione del gas. Il vapore acqueo prodotto viene recuperato e ceduto all'impianto, che dunque dovrà bruciare meno gas per raggiungere la temperatura di mandata, risparmiando sui costi in bolletta rispetto ad una caldaia convenzionale. I suoi vantaggi, rispetto alle altre soluzioni, sono sicuramente il costo contenuto e la facilità di installazione ed utilizzo, a fronte però di consumi più elevati.

La caldaia a condensazione può essere integrata ad un impianto solare termico che immagazzina ed utilizza l'energia per la produzione di acqua calda sanitaria e come supporto al riscaldamento. In tal modo, si riducono i consumi di gas e si contribuisce alla salvaguardia dell'ambiente sfruttando l'energia rinnovabile delle radiazioni solari; dall'altra parte, però, il

solare termico, il cui funzionamento dipende dalle condizioni metereologiche, non è sempre di agevole installazione, soprattutto in abitazioni plurifamiliari.

La pompa di calore aria-acqua consente una produzione di acqua calda sanitaria ecologica, economica ed efficiente. In presenza di un impianto fotovoltaico può funzionare sfruttando unicamente l'energia elettrica da esso generata, grazie alla programmazione degli orari e delle temperature desiderate. In virtù delle dimensioni ridotte può essere installata in qualsiasi locale che abbia a disposizione gli attacchi dell'acqua calda, dell'acqua fredda ed una presa di corrente. Utilizzando come fonte di calore l'aria presente nel locale di installazione, arriva a coprire il fabbisogno energetico nel corso dell'intero anno. Rappresenta, quindi, la soluzione perfetta per abbattere i costi per la produzione di acqua calda sanitaria sia in nuove costruzioni che negli edifici esistenti.

Nel caso di collegamento con la caldaia occorre ricordarsi la seguente regola: la temperatura bassa nella parte inferiore favorisce la fase di condensazione nella caldaia, facendone aumentare il rendimento.

La tipologia da preferire è sicuramente la caldaia a condensazione che può lavorare con valori di ΔT tra mandata e ritorno anche superiori a 20°C , sfruttando favorevolmente le stratificazioni all'interno del bollitore.

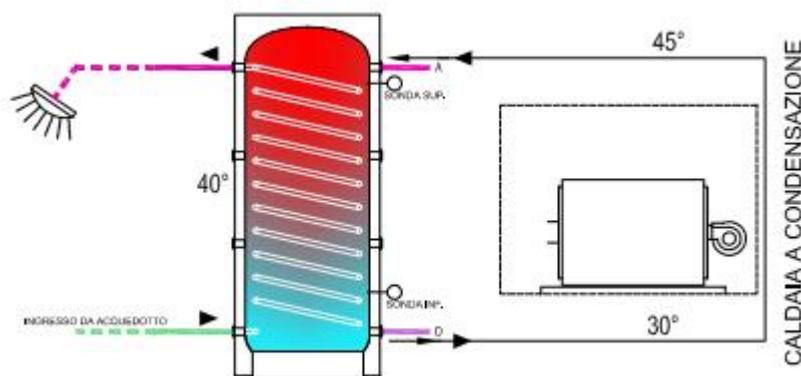


Figura 7 - Collegamento a caldaia a condensazione

Nel caso, invece, di allacciamento con pompa di calore, una bassa temperatura nella parte inferiore del bollitore, qualora fosse inferiore a 25°C , potrebbe determinare un funzionamento non corretto. Inoltre, dato il ΔT di lavoro ridotto delle pompe di calore

(intorno ai 5°C) si verifica una destratificazione delle temperature all'interno del bollitore, abbassando inutilmente la temperatura di mandata alle utenze.

La soluzione consigliata, pertanto, è la seguente: la temperatura di ingresso della pompa deve essere sufficientemente alta da non penalizzare il funzionamento del compressore. In questo modo si evita la destratificazione e l'abbassamento della temperatura nella zona superiore.

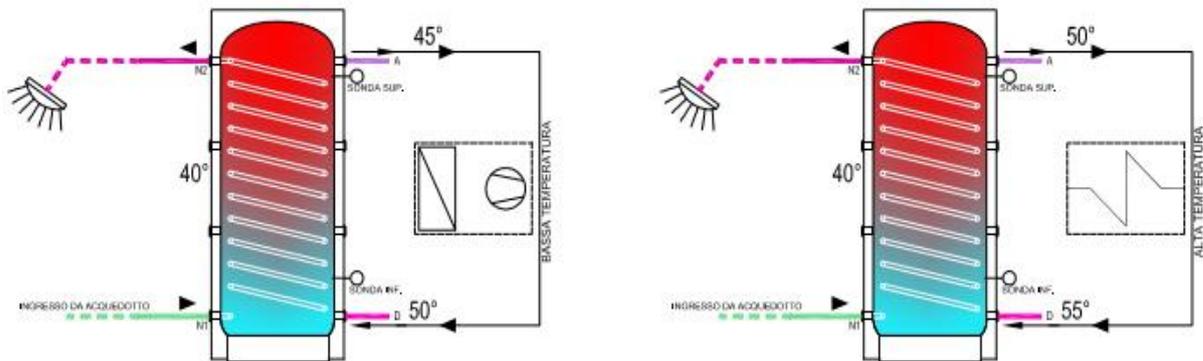


Figura 8 - Collegamento pompa di calore

Nel caso di allacciamento bollitore-pompa di calore-desurriscaldatore, l'unica soluzione consigliata è quella mostrata nella figura 3.D.

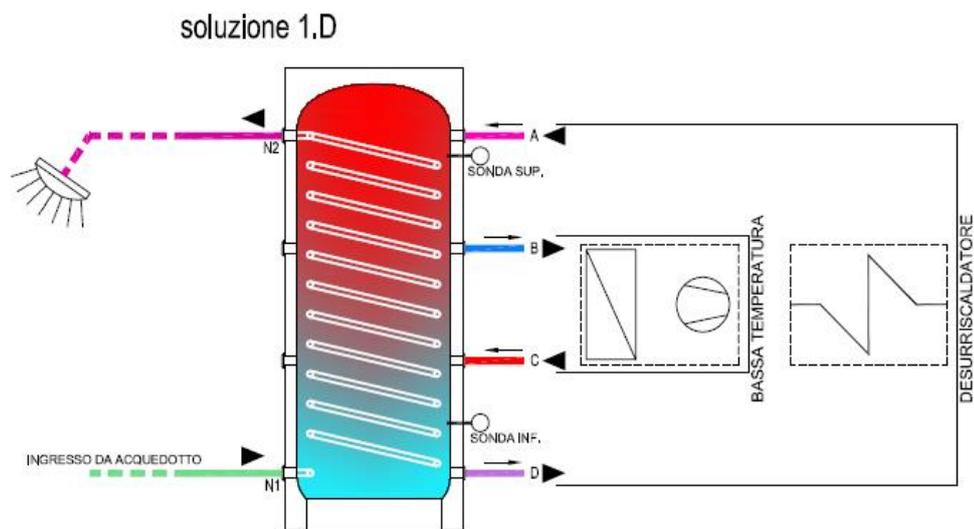


Figura 9 - Allacciamento bollitore-pompa-desurriscaldatore non corretto

La temperatura del desurriscaldatore potrebbe risultare troppo bassa e compromettere il funzionamento della pompa di calore, pertanto tale sistema non è applicabile.

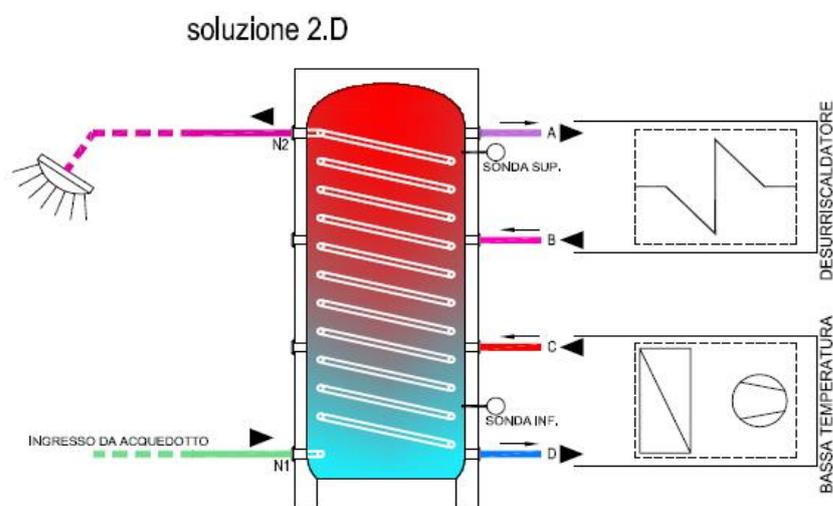


Figura 10 - Secondo allacciamento bollitore-pompa di calore- desurriscaldatore non corretto

Soluzione poco applicabile: il circuito del desurriscaldatore lavora in condizioni ottimali, ma nelle condizioni di bassa temperatura nella parte inferiore del bollitore, quando inizia la fornitura di energia termica, si determina la destratificazione con conseguente forte abbassamento della temperatura nella parte superiore e della temperatura di mandata ACS. Il compressore potrebbe non lavorare in condizioni corrette, pertanto tale soluzione si presta a condizioni di esercizio pressochè continue con temperature di esercizio nel bollitore costanti e poco stratificate.

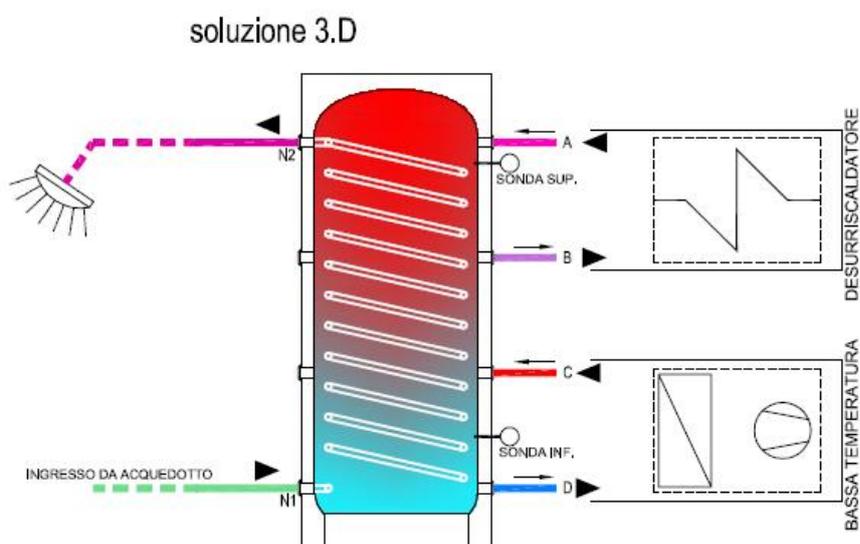


Figura 11 - Soluzione allacciamento bollitore-pompa di calore- desurriscaldatore consigliata

Questa è la soluzione consigliata: il circuito del desurriscaldatore lavora in condizioni ottimali e nelle condizioni di temperatura bassa nella parte inferiore del bollitore, quando inizia la fornitura di energia termica, non si determina una destratificazione e, di conseguenza, un abbassamento della temperatura nella parte superiore e della temperatura di mandata ACS. Il compressore lavora in condizioni corrette in ogni situazione, anche quando si verificano notevoli stratificazioni di temperatura.

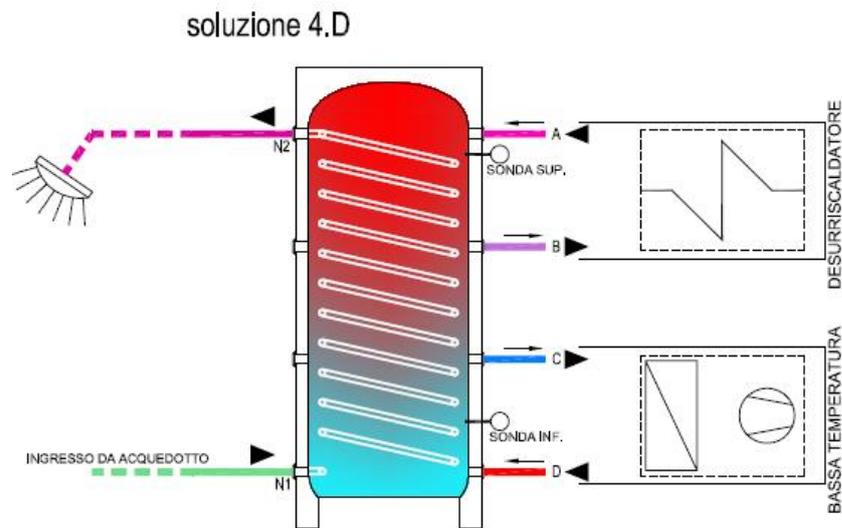


Figura 12 - Terzo allacciamento bollitore-pompa di calore- desurriscaldatore non corretto

Soluzione poco applicabile: il circuito del desurriscaldatore lavora in condizioni ottimali, come nella precedente, ma sussiste il rischio che nel ritorno della bassa temperatura (C) si verifichi un innalzamento improvviso di temperatura causando un allarme di alta pressione alla pompa di calore.

Dal momento che occorre fare una scelta di tipo economico, legata al numero di utenze, la selezione del tipo di accumulo si riduce a tre casi principali, mostrati nelle figure seguenti.

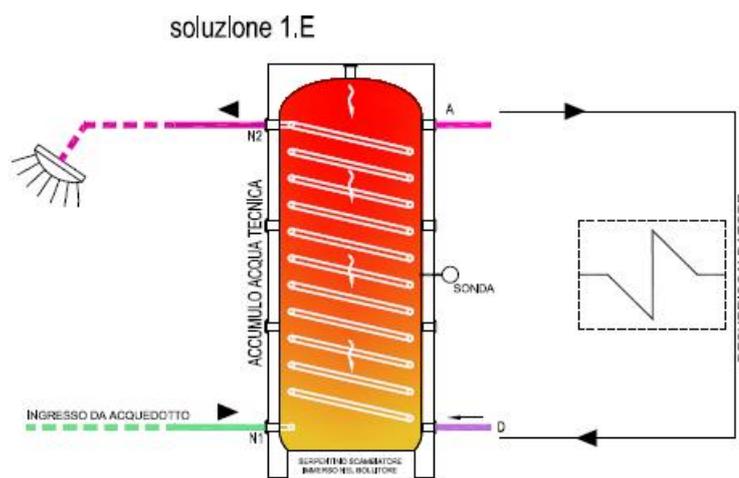


Figura 13 - Soluzione 1 per accumulo

Questa soluzione è caratterizzata dall'immissione nella parte inferiore dell'accumulo tecnico. Tale circuito realizza una completa destratificazione delle temperature all'interno del serbatoio, mantenendo uniforme le temperature al suo interno. Tale sistema risulta economico e adatto alle piccole e medie utenze (fino a 6 utenze).

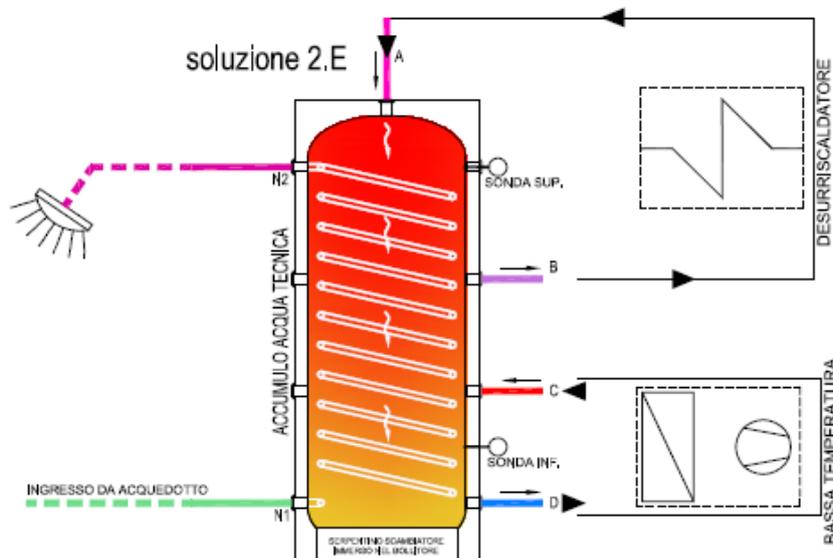


Figura 14 - Soluzione 2 per accumulo

Questa soluzione, simile alla precedente, realizza una completa destratificazione delle temperature all'interno del serbatoio, nell'utilizzo della pompa di calore per la climatizzazione sia invernale che estiva, di fatto è sufficiente il lavoro del desurriscaldatore per il fabbisogno di acqua sanitaria. Tale sistema risulta economico e adatto alle medie utenze (fino a 30 utenze).

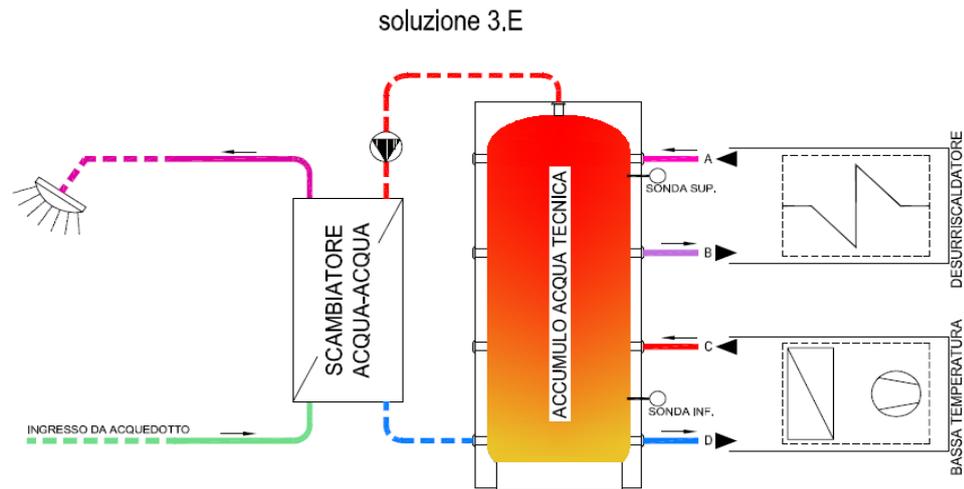


Figura 15 - Soluzione 3 per accumulo

Questa soluzione con scambiatore a piastre esterno per la produzione sanitaria permette di prelevare il fluido a maggior temperatura nella parte superiore dell'accumulo. La destratificazione non è necessaria come nei casi precedenti, in quanto viene attuata dal circolatore di carico dello scambiatore a piastre. Tale circolatore preleva l'acqua dalla parte superiore dell'inerziale e la reimmette nella parte inferiore. Si è rilevato che in queste condizioni la differenza di temperatura tra zona superiore e inferiore è minore di 5°C. Tale sistema risulta adatto per le grandi utenze (oltre 30 utenze).

2.1 Dimensionamento dei bollitori

Dimensionare i serbatoi di accumulo (normalmente chiamati bollitori) significa:

1. determinare il loro volume;
2. calcolare la superficie dei serpentine riscaldanti.

Di seguito esamineremo i principali parametri che servono a calcolare il volume dei bollitori e la superficie dei serpentine.

Periodo di punta

È il periodo, generalmente valutato in ore, in cui risulta concentrato il maggior consumo d'acqua calda. Per le utenze più comuni, i suoi valori sperimentali sono riportati nella Tabella 2.

Consumo d'acqua calda nel periodo di punta

È il consumo totale di acqua calda nel periodo di punta. Dati sperimentali di questo consumo, relativi alle utenze più comuni, sono riportati nella Tabella 2. Per altri tipi di utenza si devono, invece, fare valutazioni specifiche in base alle caratteristiche degli apparecchi installati e alla frequenza con cui possono essere utilizzati. A tal fine si riportano, nella Tabella 1, i consumi medi d'acqua calda a 40°C dei normali apparecchi sanitari.

Apparecchio	Consumo
Vasca da bagno (170x70)	160÷200 l
Vasca da bagno (105x70)	100÷120 l
Doccia	50÷60 l
Lavabo	10÷12 l
Bidet	8÷10 l
Lavello da cucina	15÷20 l

Tabella 1 - Consumi medi d'acqua relativi ai singoli apparecchi sanitari

Periodo di preriscaldamento

È il tempo che può essere riservato al preriscaldamento dell'acqua nei bollitori. Per le utenze più comuni, valori significativi di riferimento sono riportati nella Tabella 2.

Temperatura di utilizzo dell'acqua calda

Per le utenze più comuni, il suo valore può essere derivato dalla Tabella 2. Per altri tipi di utenza si devono, invece, considerare le condizioni effettive a cui l'acqua è utilizzata.

Temperatura dell'acqua fredda

Il suo valore dipende da molti fattori quali: la temperatura del terreno, la temperatura esterna, la zona di provenienza dell'acqua e la natura della rete di distribuzione. Nella

pratica si considera: per l'Italia settentrionale $t = 10 \div 12^{\circ}\text{C}$, per l'Italia centrale $t = 12 \div 15^{\circ}\text{C}$ e per l'Italia meridionale $t = 15 \div 18^{\circ}\text{C}$.

Temperatura di accumulo dell'acqua calda

Il suo valore deve essere scelto in base ai seguenti criteri:

- evitare (o almeno limitare) fenomeni di corrosione e deposito del calcare. Tali fenomeni sono molto più rapidi e aggressivi quando l'acqua di accumulo supera i $60\text{-}65^{\circ}\text{C}$;
- limitare le dimensioni dei bollitori. Basse temperature dell'acqua di accumulo fanno aumentare notevolmente il volume dei bollitori;
- evitare lo sviluppo nell'acqua dei batteri. In genere, i batteri possono sopportare a lungo temperature fino a 50°C . Muoiono, invece, in tempi rapidi oltre i 55°C .

Considerando questi aspetti, accumulare acqua calda a 60°C è in genere un buon compromesso, compatibile anche con i limiti imposti dalla attuale norma UNI 9182.

Temperatura media del fluido scaldante

Il suo valore deve essere scelto in modo tale da:

- evitare (o almeno limitare) il deposito di calcare sul serpentino;
- limitare la superficie di scambio termico richiesta (cioè quella del serpentino);
- assicurare nel serpentino velocità del fluido relativamente elevate (serve ad assicurare un buon scambio termico).

Tenendo presente questi aspetti, è bene, quindi, non tenere troppo elevata la temperatura del fluido scaldante e limitare il salto termico. Ad esempio, si può adottare una temperatura di mandata pari a 75°C e un salto termico di 5°C .

TIPO UTENZA	Consumi nei periodi di punta	temperatura utilizzo	periodo punta	periodo prerisc.
Edifici Residenziali	260 l per ogni alloggio con 1 locale servizi (1)	40°C	1,5 h	2,0 h
	340 l per ogni alloggio con 2 locali servizi (1)			
Uffici e Simili	40 l per servizi (WC+lavabo)	40°C	1,5 h	2,0 h
Alberghi, Pensioni e Simili (4)	180 l per camere con servizi dotati di vasca	40°C	(2)	2,0 h
	130 l per camere con servizi dotati di doccia			
Ospedali (4)	120 l per ogni posto letto	40°C	2,0 h	2,0 h
Cliniche (4)	150 l per ogni posto letto	40°C	4,0 h	2,0 h
Caserme, Collegi e Simili (4)	80 l per ogni posto letto	40°C	2,0 h	2,0 h
Palestre e Centri Sportivi	150 l per ogni doccia	40°C	0,3 h	1,5 h
	60 l per ogni rubinetto			
Spogliatoi di Stabilimenti	150 l per ogni doccia	40°C	0,3 h	(3)
	60 l per ogni rubinetto			

Tabella 2 - Dati per il calcolo dei bollitori

(1) I consumi previsti vanno moltiplicati per il fattore di contemporaneità (F) che dipende dal numero di alloggi (n)

n	1÷5	6÷12	13÷20	21÷30	31÷45	46÷60	61÷80	81÷110	111÷150	151÷200	>200
F	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50

Tabella 3 - Fattore di contemporaneità in funzione del numero di alloggi

(2) 1,5 h come periodo di punta per alberghi e pensioni con consumo concentrato; 2,5 h come periodo di punta per alberghi e pensioni con consumo d'acqua normale.

(3) Il periodo di preriscaldamento può normalmente variare da 1 a 7 ore in relazione ai tempi che intercorrono fra i turni di lavoro.

(4) È esclusa l'acqua calda per lavastoviglie e lavatrici, da determinarsi in relazione alle specifiche caratteristiche (temperature e tempi di lavoro) delle macchine da utilizzarsi.

2.1.1 Volume del bollitore

Per calcolare il volume di un bollitore si può procedere nel seguente modo:

1. Si determina il consumo d'acqua calda (C) richiesta nel periodo di punta, in base ai criteri esposti in precedenza.

2. Si calcola il calore totale (Q_t) necessario per riscaldare l'acqua richiesta nel periodo di punta, moltiplicando quest'ultimo valore per il salto termico che sussiste fra la temperatura di utilizzo (T_u) dell'acqua calda e la temperatura di alimentazione dell'acqua fredda (T_f):

$$Q_t = C \cdot (T_u - T_f)$$

3. Si calcola il calore orario (Q_h) che deve essere ceduto all'acqua in base al calore totale richiesto e al tempo in cui esso può essere ceduto: cioè in base al tempo dato dalla somma fra il periodo di preriscaldamento (t_{pr}) e il periodo di punta (t_{pu}).

$$Q_h = Q_t / (t_{pr} + t_{pu})$$

4. Si determina il calore da accumulare (Q_a) nella fase di preriscaldamento moltiplicando il calore orario (Q_h) per il periodo di preriscaldamento (t_{pr}).

$$Q_a = Q_h \cdot t_{pr}$$

5. Si calcola il volume (V) del preparatore d'acqua calda dividendo il calore da accumulare (Q_a) per la differenza fra la temperatura dell'acqua di accumulo (T_a) e la temperatura dell'acqua fredda (T_f).

$$V = Q_a / (T_a - T_f)$$

2.1.2 Superficie del serpentino

Per calcolare la superficie del serpentino riscaldante si può utilizzare con buona approssimazione la seguente formula:

$$S = Q_h / (K \cdot (T_{ms} - T_m))$$

dove:

S = Superficie del serpentino.

Q_h = Calore orario trasmissibile dal serpentino (cioè calore orario richiesto alla caldaia).

K = Coefficiente di scambio termico del serpentino.

Normalmente si può considerare: $K = 500$ per tubi in ferro e $K = 520$ per tubi in rame.

T_{ms} = Temperatura media del fluido scaldante (è data dalla media fra la temperatura di mandata e di ritorno del fluido scaldante).

T_m = Temperatura media del fluido riscaldato (è data dalla media fra la temperatura dell'acqua di accumulo (T_a) e la temperatura dell'acqua fredda (T_f) di alimentazione).

Sostanzialmente, in commercio esistono praticamente due tipi di bollitore: quelli con superficie del serpentino normale e quelli con superficie maggiorata. E in genere, dopo aver determinato il volume, ci si limita a scegliere:

- un bollitore con superficie normale, quando l'acqua calda è prodotta con una caldaia (cioè quando il fluido scaldante è disponibile a $70\div 80^\circ\text{C}$);
- un bollitore con superficie maggiorata, quando l'acqua calda è prodotta con pannelli solari o pompe di calore (cioè quando il fluido scaldante è disponibile a $50\div 55^\circ\text{C}$).

3. COME FUNZIONA LA TECNOLOGIA DELL'ACQUA CALDA SANITARIA

Nella tecnologia dell'acqua calda sanitaria l'energia necessaria per il riscaldamento dell'acqua calda potabile viene predisposta in un serbatoio di accumulo sotto forma di acqua di riscaldamento trattata e apportata alla centrale dell'acqua calda sanitaria in funzione del fabbisogno.

Le stazioni per l'acqua calda sanitaria riscaldano l'acqua secondo il principio del flusso alla temperatura richiesta nel punto del prelievo. Questo consente di fare a meno dell'accumulo di acqua calda potabile e, quindi, di ridurre in misura notevole il connesso rischio di legionella.

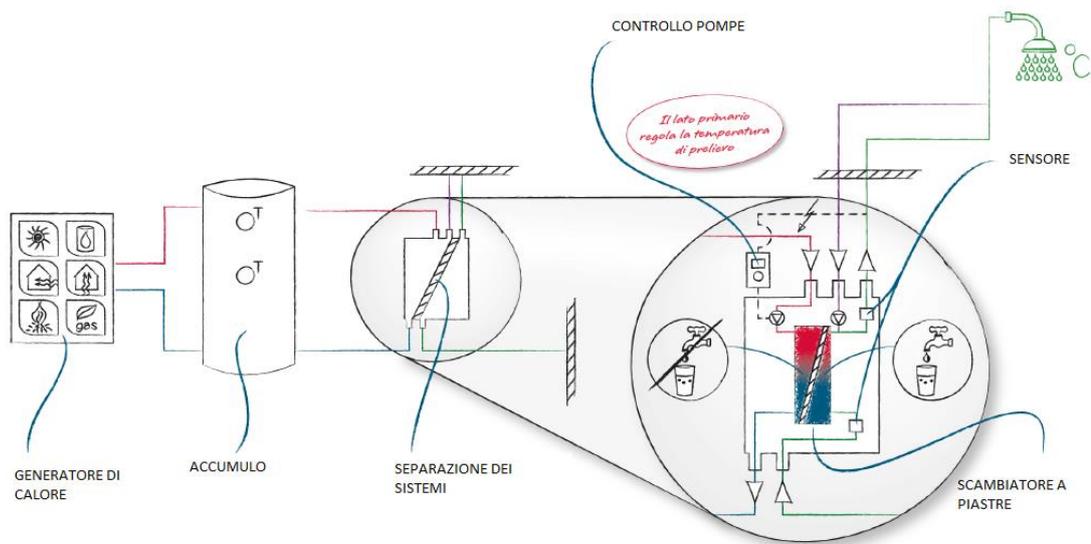


Figura 16 - Tecnologia ACS

Tra questi elementi bisogna evidenziare la funzione del separatore di sistemi, che può avvenire all'esterno dell'accumulo o a valle di esso, evitando, così, la formazione di calcare. Il controllo pompe serve per regolare l'energia necessaria per il riscaldamento dell'acqua, mentre il sensore nella stazione sul lato secondario rileva la temperatura. L'elemento principale è lo scambiatore di calore che consente il trasferimento igienico ed efficiente del calore all'acqua.

3.1 Determinare la curva di carico della giornata

Nella prima fase si determina il massimo utilizzo contemporaneo in un appartamento.

L'esempio riportato nella figura sottostante presenta un appartamento standard con una famiglia di 4 persone, di cui uno o due lavorano. Il massimo utilizzo contemporaneo prevede il riempimento di una vasca da bagno a 34 kW. Confrontando questo dato con la contemporaneità di un appartamento comfort, due docce contemporanee richiedono 46 kW, e pertanto una potenza maggiore.

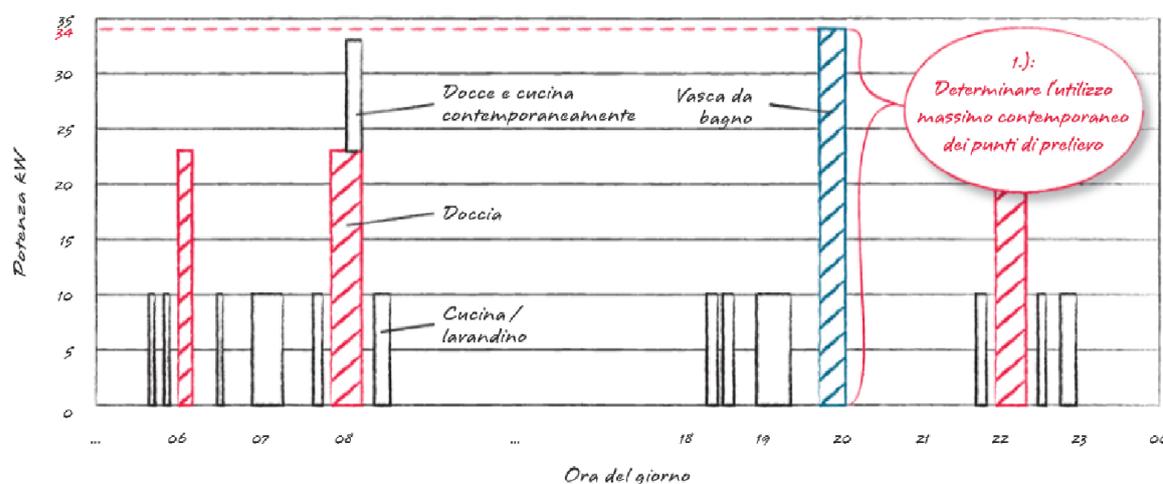


Figura 17 - Diagramma di carico

3.2 Determinare il fabbisogno di acqua potabile

Nella seconda fase si determina tramite la contemporaneità delle unità abitative il fabbisogno di acqua potabile dell'edificio.

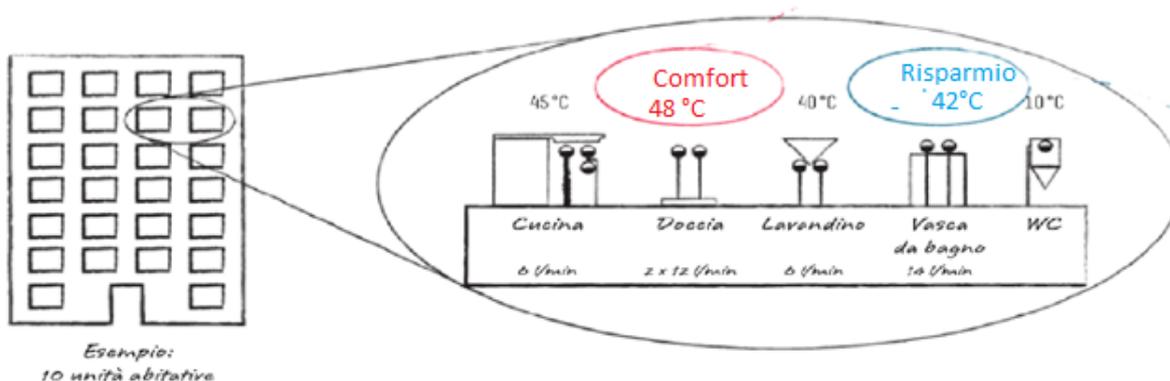
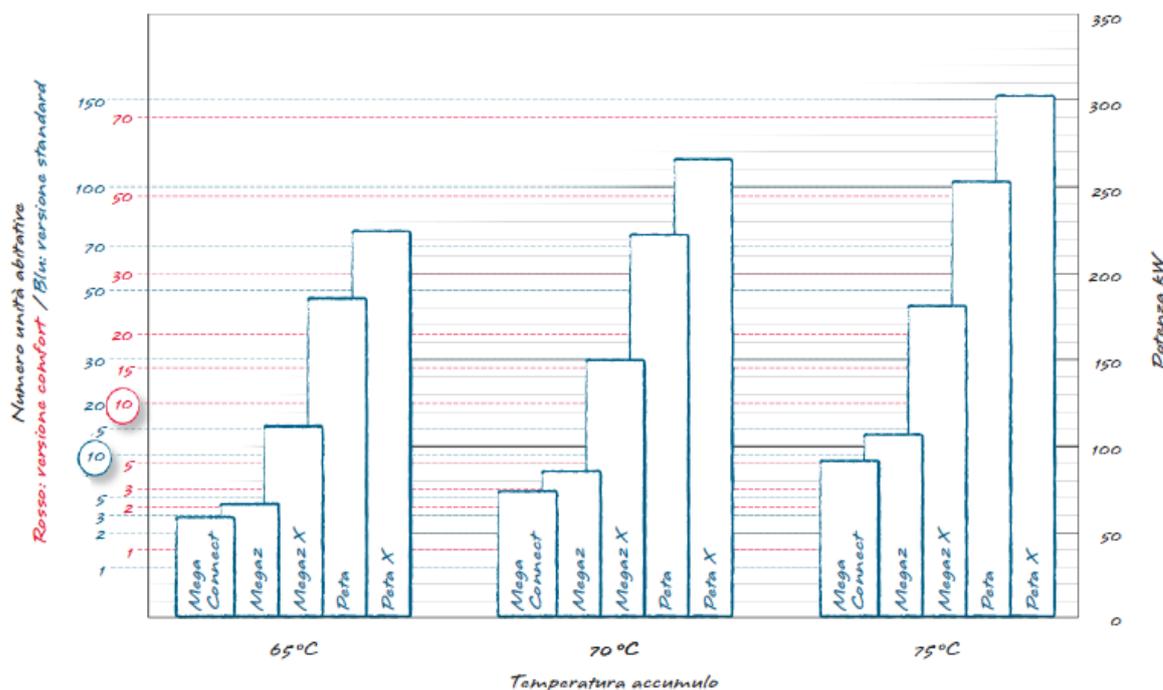


Figura 18 - Fabbisogno acqua potabile

3.3 Scelta della stazione

Nella terza fase si determina il fabbisogno di acqua calda per l'edificio tenendo conto della contemporaneità degli appartamenti.

Riscaldamento dell'acqua potabile da 10°C a 60°C (ΔT 50 K) | Portata residua della pompa primaria di 100 mbar



Riscaldamento dell'acqua potabile da 10°C a 45°C (ΔT 35 K) | Portata residua della pompa primaria di 100 mbar

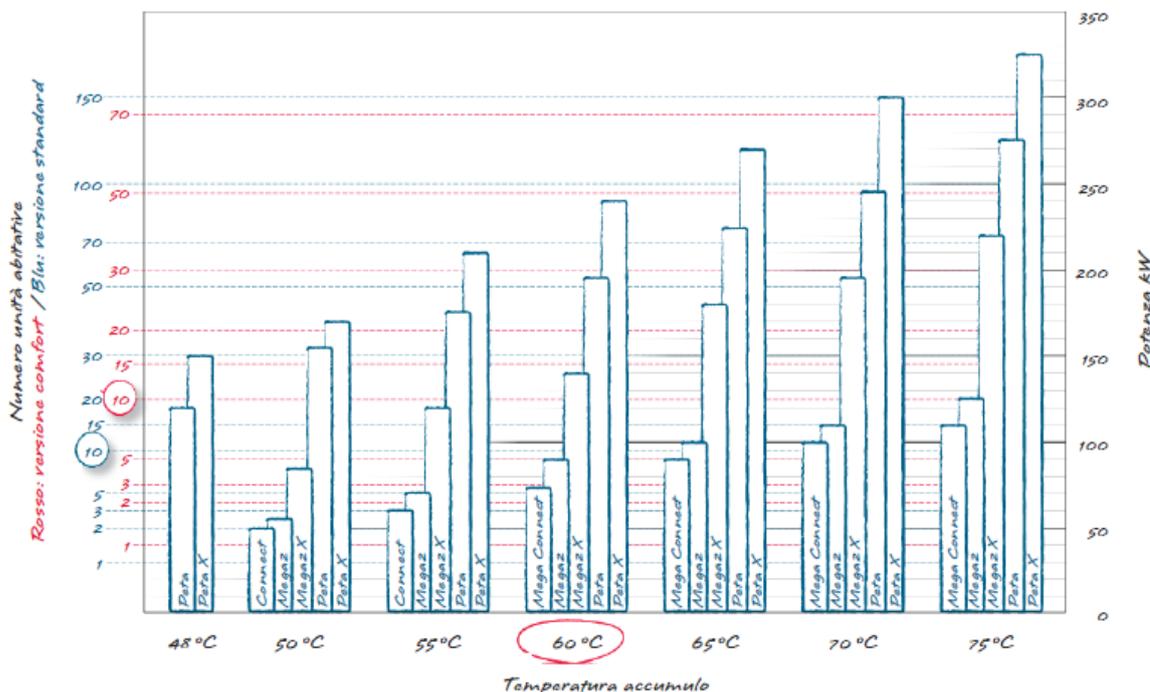


Figura 19 - Effetto della contemporaneità

In questo modo si può individuare la stazione per l'acqua calda sanitaria ideale per il proprio progetto.

Il fattore di contemporaneità indica, quindi, la percentuale di acqua che arriva contemporaneamente alle utenze e varia in base al numero di utenze, all'ora del giorno e alla tipologia di utenza (ad esempio condominio o albergo).

N° UTENZE	% contemporaneità	ACCUMULO TEORICO LITRI	ACCUMULO REALIZZABILE LITRI
2	100	500	500
3	80	600	800
4	70	700	800
5	65	813	800
6	60	900	1000
7	58	1006	1000
8	55	1100	1250
9	53	1181	1250
10	50	1250	1250
20	38	1882	2000
30	32	2382	2500
40	28	2841	3000
50	26	3267	3750
60	25	3682	4000
70	24	4136	4500
80	23	4545	4500
90	22	4909	4500
100	21	5227	6000
110	20	5500	6000
120	20	5850	6000
130	19	6175	6000
140	19	6475	6000
150	18	6750	6000

Tabella 3 - Contemporaneità

Come si nota dalla tabella, la contemporaneità diminuisce all'aumentare del numero delle utenze.

Riguardo la dipendenza dall'orario del giorno, è utile osservare dal grafico sottostante come la richiesta aumenti nelle ore del mattino presto (quando si va a lavoro), in pausa pranzo o la sera (quando si torna a casa dal lavoro).

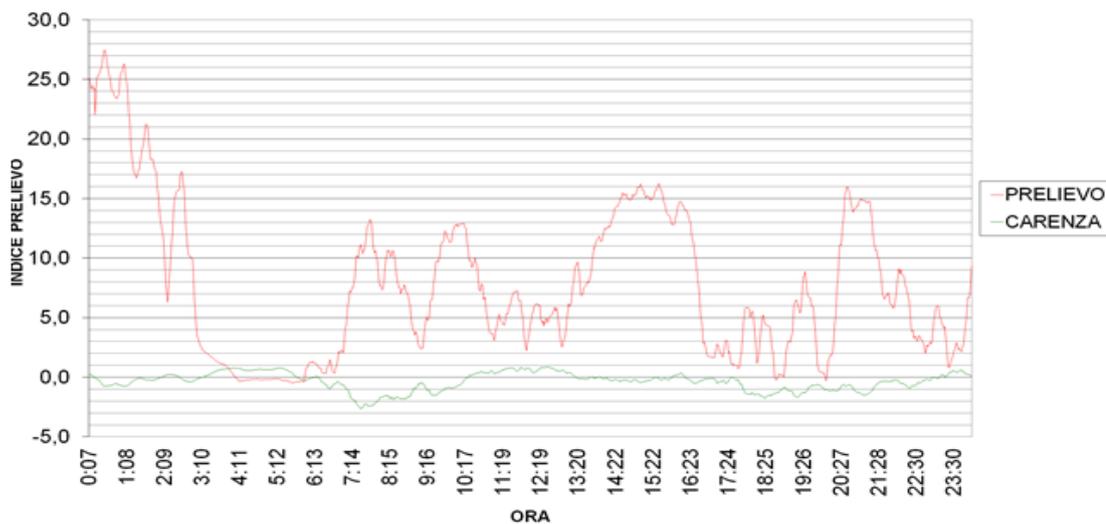


Figura 20 - Prelievo e carenza a confronto

Per dimostrare che la contemporaneità dipende anche dalla tipologia di struttura si può pensare che in occasione di un convegno/evento la richiesta da parte delle utenze sarà molto elevata in quel momento specifico.

4. OTTIMIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE SANITARIA

Il processo generale inizia con la produzione e, successivamente, fornitura di energia termica al serbatoio di accumulo contenente l'acqua sanitaria da riscaldare. Si prosegue con la fornitura di energia termica (in uscita dall'inerziale) al sistema di regolazione che si occupa di rilevare temperature e frequenze di prelievo e di memorizzare le periodicità caratteristiche dell'edificio. Ovviamente, a valle, i dati vengono elaborati con parametrizzazione dei valori in uscita sui dati storici di funzionamento. Questo è quanto riportato nello schema sottostante.

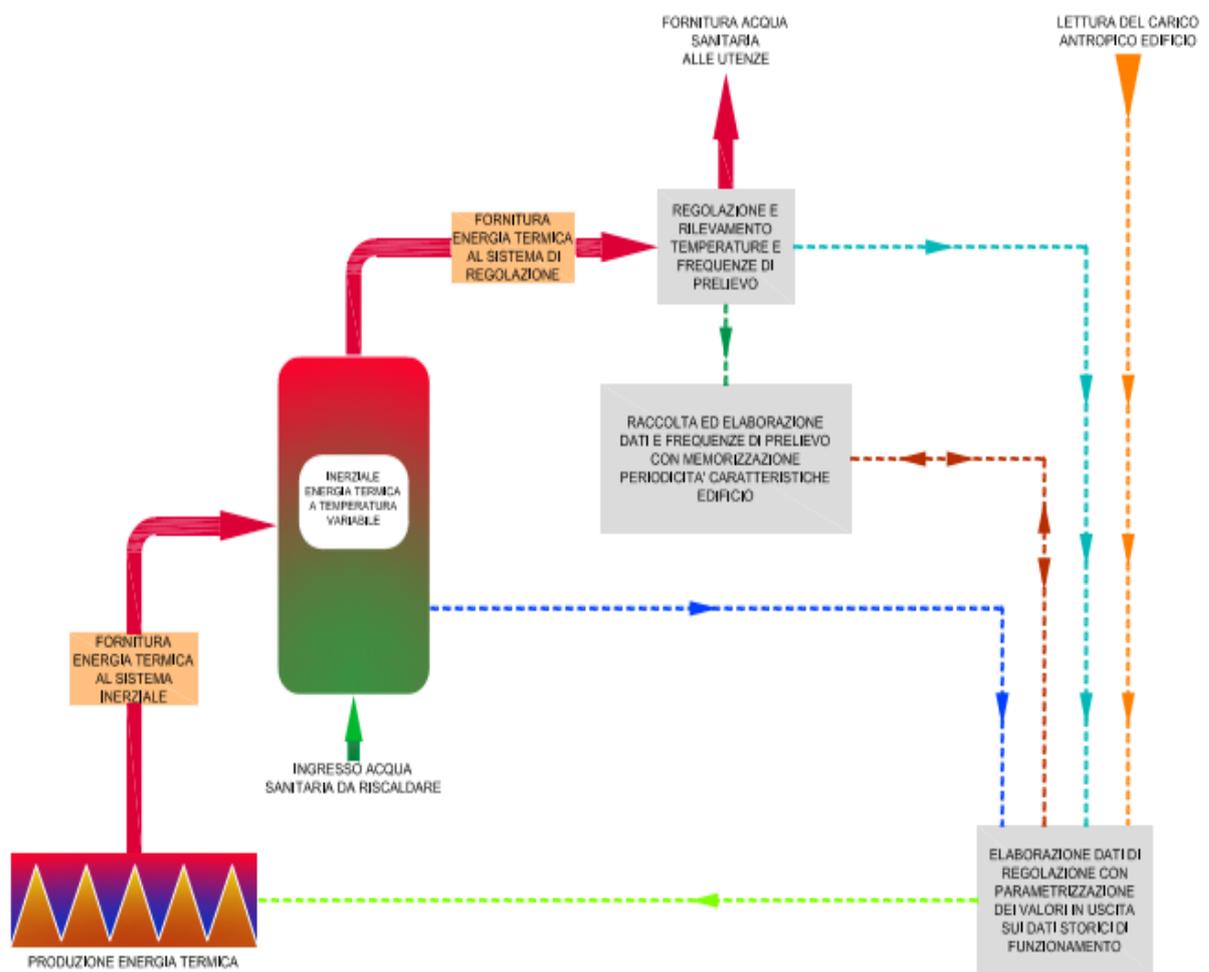


Figura 21 - Ottimizzazione della produzione di ACS

4.1 Sonde di rilevamento della temperatura

L'applicazione di due sonde, una nella parte inferiore l'altra in quella superiore dell'inerziale della sanitaria, è una metodologia applicata da oltre un decennio per ottimizzare il rendimento della produzione sanitaria. La lettura viene fatta in alternanza secondo il fabbisogno reale di acqua sanitaria, e pertanto, in funzione della fascia oraria di utilizzo.

Fascia oraria con prelievo intenso di ACS

In questa condizione è necessario disporre di maggiore energia termica per far fronte ad elevati prelievi e forti percentuali di contemporaneità. Tutto il bollitore, pertanto, deve essere il più possibile omogeneo nella temperatura per fornire una grande quantità di energia. A tal fine, viene letta la temperatura nella zona inferiore del bollitore. Inoltre, in condizioni di prelievo intenso, l'abbassamento di temperatura nel bollitore avviene prima nella zona inferiore, anticipando la produzione del fabbisogno di energia termica.

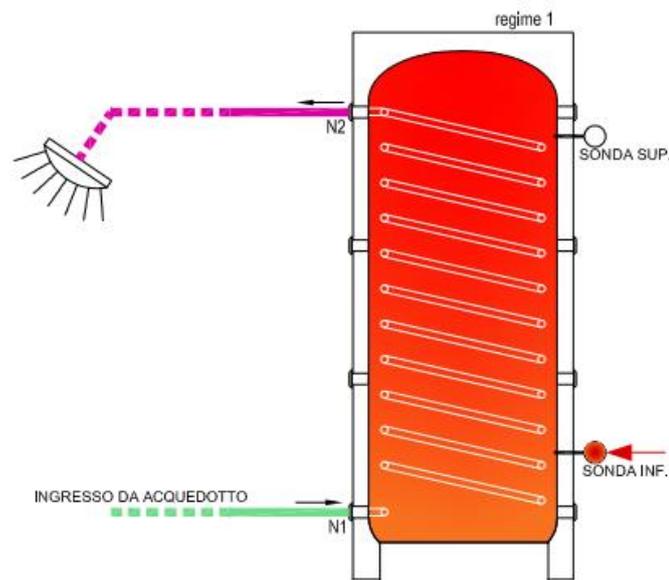


Figura 22 - Impianto con prelievo intenso di ACS

Fascia oraria con prelievo ridotto di ACS

In questa condizione è necessario disporre di una minima energia termica per far fronte a piccoli prelievi e ridotte percentuali di contemporaneità. E' sufficiente, pertanto, che solo la

parte superiore del bollitore sia ad una temperatura tale da poter fornire energia per il modesto fabbisogno. A tal fine viene letta la temperatura nella zona superiore del bollitore e, di conseguenza, la temperatura nella zona superiore del bollitore stratifica verso l'alto, con differenze tra parte inferiore e superiore anche di 15°C.

Nel bollitore viene accumulata l'energia strettamente necessaria per soddisfare il fabbisogno di ACS, senza impiegare ulteriore energia per riscaldare l'inerziale.

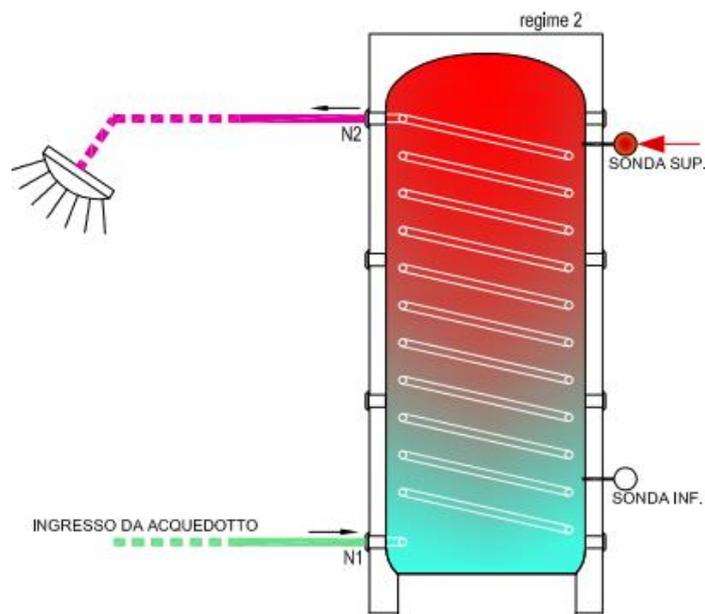


Figura 23 - Impianto con prelievo ridotto di ACS

Le soluzioni più adottate per ottimizzare la produzione di acqua calda sanitaria sono tre:

- soluzione con miscelatrice meccanica su ricircolo e pompa ricircolo on-off;
- soluzione senza miscelatrice meccanica su ricircolo e pompa ricircolo a portata variabile;
- soluzione con scambiatore immerso nell'inerziale.

Di seguito, vengono descritti i rispettivi schemi funzionali.

4.2 Soluzione con miscelatrice meccanica su ricircolo e pompa ricircolo on-off

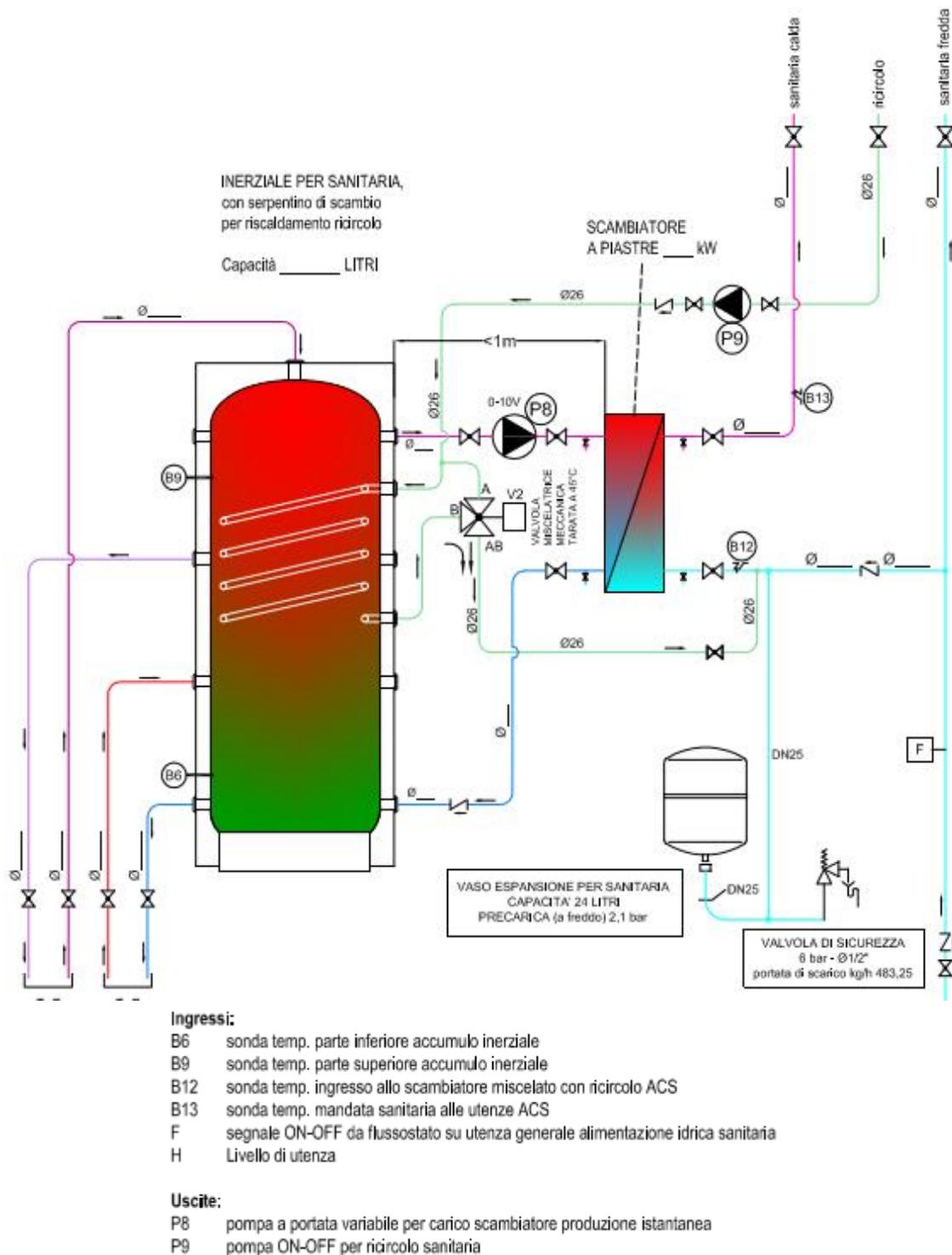


Figura 24 - Soluzione con miscelatrice meccanica su ricircolo e pompa ricircolo on-off

L'idea che sta alla base dell'ottimizzazione è quella di organizzare diversi livelli di richiesta da parte dell'utenza su differenti orari.

Livello 0	impianto spento, mantenimento B9 a 20°C
Livello 1	bassa percentuale di contemporaneità (ad esempio dalle ore 24 alle 6)
Livello 2	alta percentuale di contemporaneità (ad esempio dalle ore 6 alle 9)
Livello 3	media percentuale di contemporaneità (nelle ore rimanenti)
Livello 4	ciclo antilegionella

Livello 0	temperatura in B9 deve rimanere $\geq 20^{\circ}\text{C}$
Livello 1	temperatura in B9 deve rimanere compresa tra 41 e 43°C
Livello 2	temperatura in B9 deve rimanere compresa tra 48 e 50°C
Livello 3	temperatura in B9 deve rimanere compresa tra 43 e 46°C
Livello 4	antilegionella: la temperatura in B6 e in B13 deve rimanere a 65°C. Non viene fatta la lettura di B12.

Tabella 4 – Livelli di richiesta dall'utenza con corrispondente temperatura in B9

Le modalità di funzionamento di questo impianto sono:

- A) La pompa P8 modula la portata in funzione della temperatura letta dalla sonda B13, per mantenerla alla temperatura di setpoint (quella minima del livello corrispondente), aumentando (preventivamente) la portata del 20% quando la sonda B12 rileva un abbassamento di temperatura di 2°C in 5 secondi (questi valori possono poi essere modificati in sede di taratura del sistema).
- B) Se la taratura in B12 è di poco inferiore a quella in B13 (<1°C), la pompa P8 deve fermarsi e riparte quando in B12 la temperatura scende di oltre 4°C rispetto a quella in B13, rispettando poi la logica di cui al punto A).

C) Spegnimento programmato: può essere attivato in automatico negli impianti ove per lunghi periodi non c'è richiesta di produzione sanitaria (ad esempio residence in località turistiche, alloggi o condomini per villeggiatura). La disattivazione automatica avviene quando per un periodo (normalmente 9 ore) il flussostato F (installato sulla tubazione generale di adduzione dell'acqua all'impianto) non rileva flusso idrico, cioè quando non vi sono persone nell'edificio.

In questa condizione, viene richiesta la fornitura di energia termica solo per la condizione $B9 \geq 20^{\circ}\text{C}$, le pompe P8 e P9 sono completamente disattivate. Eventuali logiche antigelo sulla distribuzione dell'impianto devono eventualmente prevedere un' ulteriore sonda di temperatura installata nella parte più esposta della distribuzione.

La riattivazione dell'impianto di produzione sanitaria avviene alla prima chiusura del contatto del flussostato F (presenza di almeno un'utenza). La produzione sanitaria viene riattivata al livello corrispondente all'orario attivo. Il tempo di messa a regime è normalmente 30 minuti circa.

D) Antilegionella: livello 4, ovvero la pompa P8 è alla portata massima. La durata minima del ciclo è 10 minuti.

4.3 Soluzione senza miscelatrice meccanica su ricircolo e pompa ricircolo a portata variabile

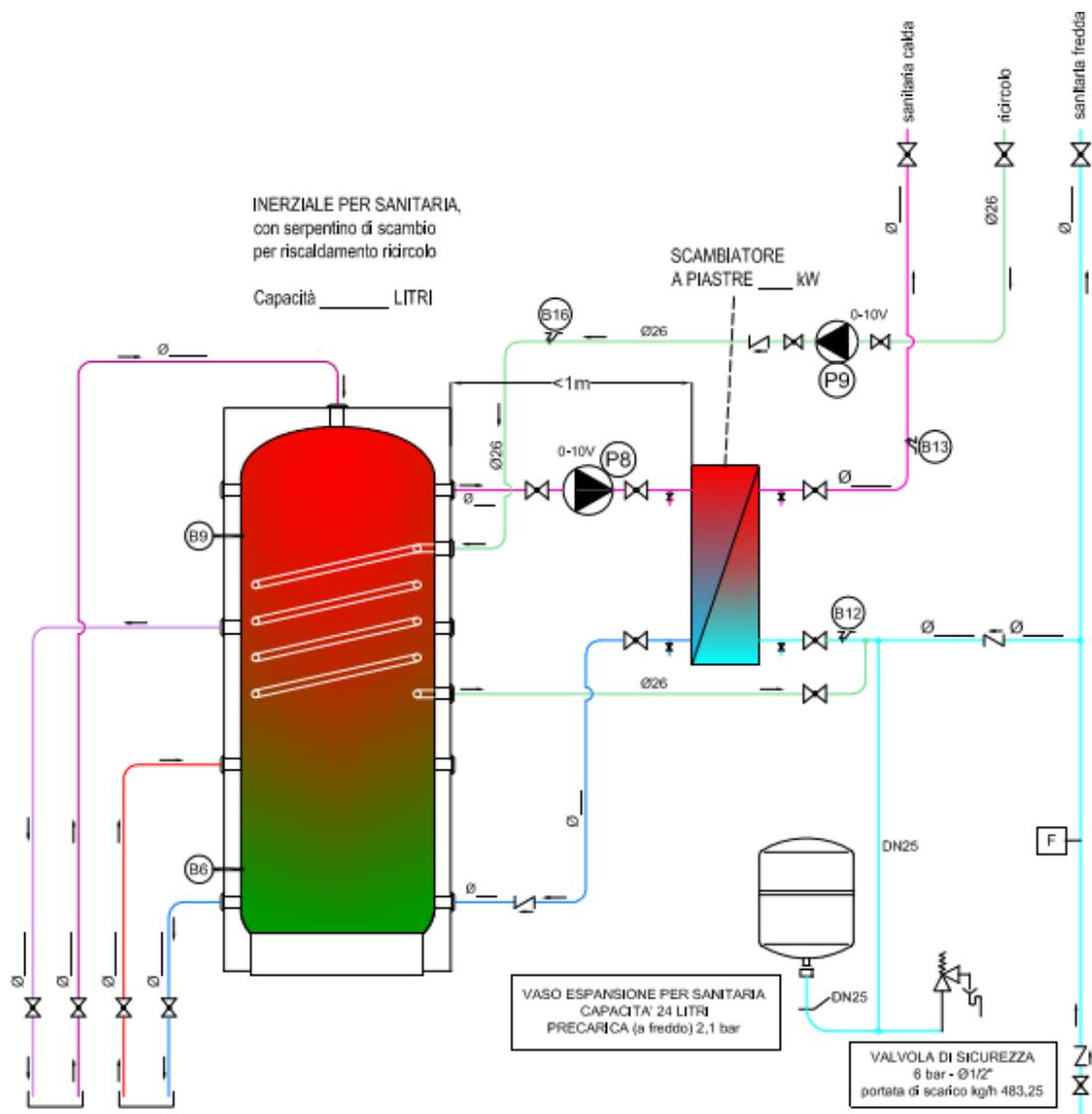


Figura 25 - Soluzione senza miscelatrice meccanica su ricircolo e pompa ricircolo a portata variabile

Le modalità di funzionamento di questo impianto sono:

- E) La pompa P8 modula la portata in funzione della temperatura letta dalla sonda B13, per mantenerla alla temperatura di setpoint (quella minima del livello corrispondente), aumentando (preventivamente) la portata del 20% quando la sonda B12 rileva un abbassamento di temperatura di 10°C rispetto alla B13.

- F) La pompa P9 modula la portata in funzione della temperatura letta dalla sonda B16 affinché risulti $B12-B16 \leq 3^{\circ}\text{C}$.
- G) Se la taratura in B12 è di poco inferiore a quella in B13 ($<7^{\circ}\text{C}$), la pompa P8 deve fermarsi. Riparte quando in B12 la temperatura scende di oltre 10°C rispetto a quella in B13, rispettando poi la logica di cui al punto E).
- H) Spegnimento programmato: può essere attivato in automatico negli impianti ove per lunghi periodi non c'è richiesta di produzione sanitaria (ad esempio residence in località turistiche, alloggi o condomini per villeggiatura). La disattivazione automatica avviene quando per un periodo (normalmente 9 ore) il flussostato F (installato sulla tubazione generale di adduzione dell'acqua all'impianto) non rileva flusso idrico, cioè quando non vi sono persone nell'edificio.

In questa condizione, viene richiesta la fornitura di energia termica solo per la condizione $B9 \geq 20^{\circ}\text{C}$, le pompe P8 e P9 sono completamente disattivate. Eventuali logiche antigelo sulla distribuzione dell'impianto devono eventualmente prevedere un' ulteriore sonda di temperatura installata nella parte più esposta della distribuzione.

La riattivazione dell'impianto di produzione sanitaria avviene alla prima chiusura del contatto del flussostato F (presenza di almeno un'utenza). La produzione sanitaria viene riattivata al livello corrispondente all'orario attivo. Il tempo di messa a regime è normalmente 30 minuti circa.

- I) Antilegionella: livello 4, ovvero le pompe P8 e P9 sono alla portata massima. La durata minima del ciclo è 10 minuti.

4.4 Soluzione con scambiatore immerso nell'inerziale

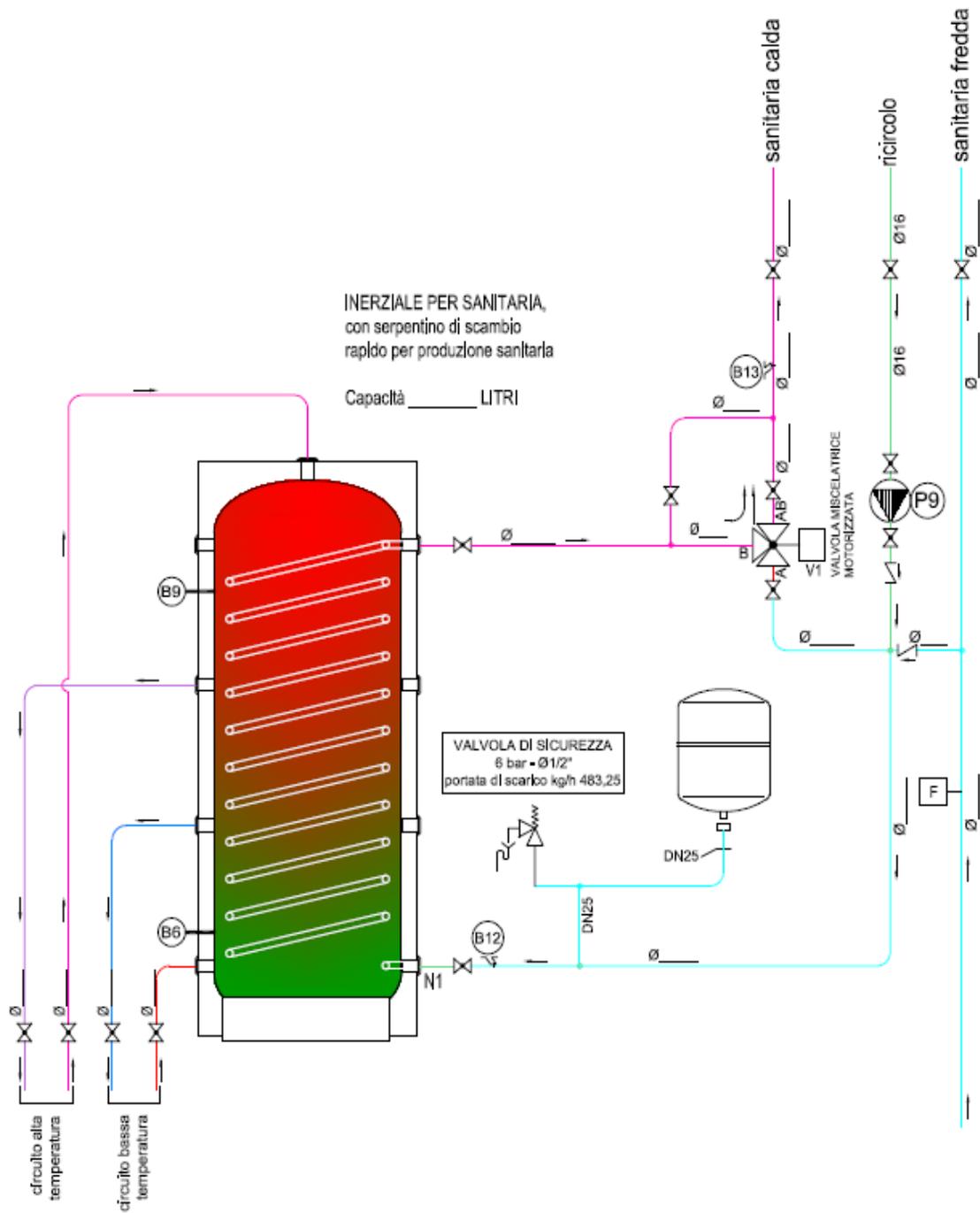


Figura 26 - Soluzione con scambiatore immerso nell'inerziale

Le modalità di funzionamento di questo impianto sono:

J) La valvola V1 modula l'apertura in funzione della temperatura letta dalla sonda B13, per mantenerla alla temperatura di setpoint (quella minima del livello corrispondente).

K) Spegnimento programmato: può essere attivato in automatico negli impianti ove per lunghi periodi non c'è richiesta di produzione sanitaria (ad esempio residence in località turistiche, alloggi o condomini per villeggiatura). La disattivazione automatica avviene quando per un periodo (normalmente 9 ore) il flussostato F (installato sulla tubazione generale di adduzione dell'acqua all'impianto) non rileva flusso idrico, cioè quando non vi sono persone nell'edificio.

In questa condizione, viene richiesta la fornitura di energia termica solo per la condizione $B9 \geq 20^{\circ}\text{C}$, le pompe P8 e P9 sono completamente disattivate. Eventuali logiche antigelo sulla distribuzione dell'impianto devono eventualmente prevedere un' ulteriore sonda di temperatura installata nella parte più esposta della distribuzione.

La riattivazione dell'impianto di produzione sanitaria avviene alla prima chiusura del contatto del flussostato F (presenza di almeno un'utenza). La produzione sanitaria viene riattivata al livello corrispondente all'orario attivo. Il tempo di messa a regime è normalmente 30 minuti circa.

L) Antilegionella: livello 4. La durata minima del ciclo è 10 minuti.

5. CASO STUDIO

L'obiettivo della presente tesi è stato quello di trovare delle metodologie per ottimizzare la produzione di acqua calda sanitaria. Per effettuare questo tipo di analisi sono stati utilizzati i dati di uno stabile costituito da 38 condomini, sito in via Cigliano 29 a Torino.



Figura 27 - Inquadramento area, Via Cigliano 29 (TO)

In questo caso, la soluzione adottata per la fornitura di ACS è quella con miscelatrice meccanica su ricircolo e pompa ricircolo ON-OFF, già descritta precedentemente (lo schema funzionale completo è riportato di seguito).

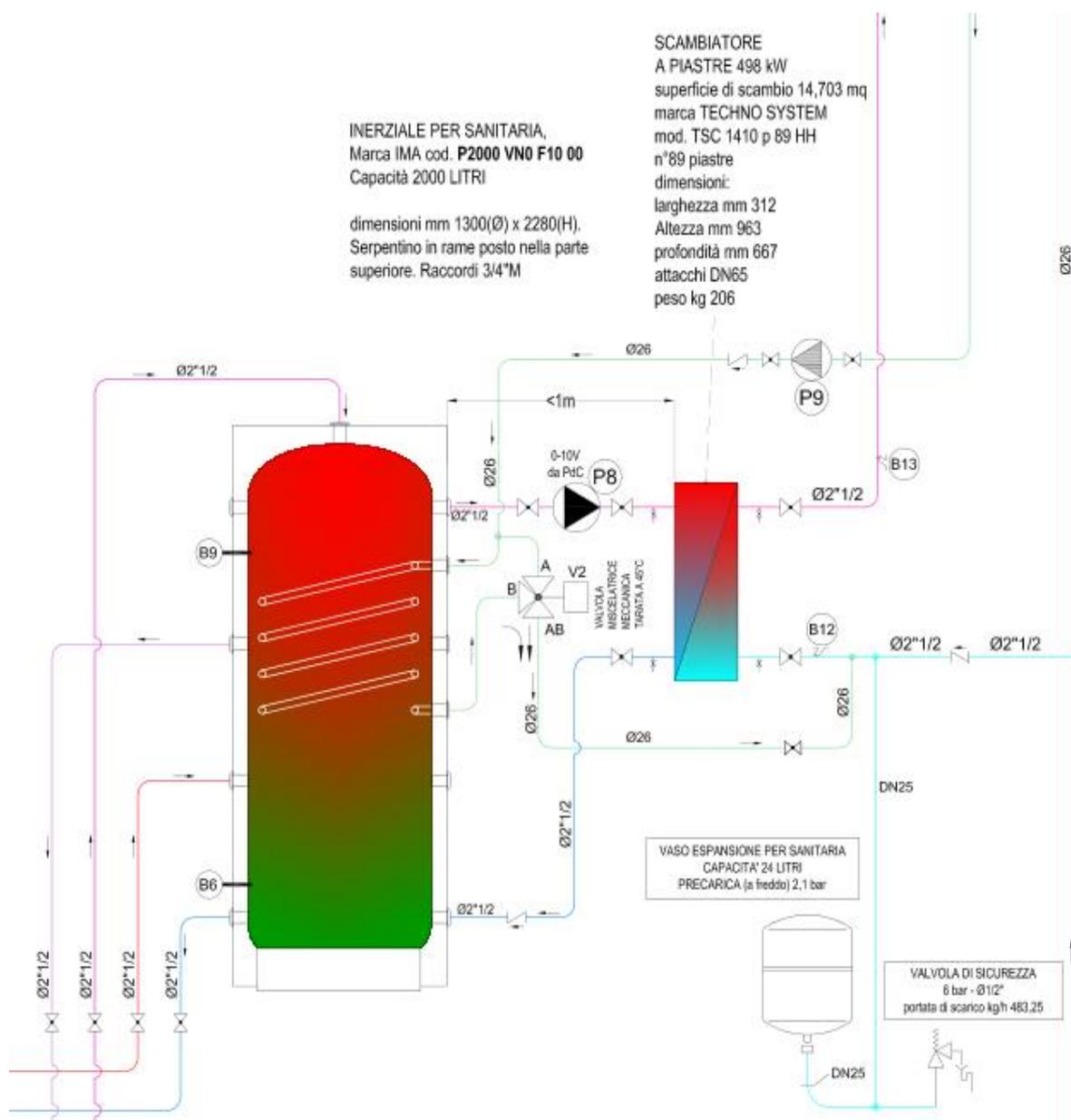


Figura 28 - Schema funzionale stabile via Cigliano 29

La logica dietro alla fornitura di ACS si basa sul sistema di rilevamento della temperatura tramite sonde (già descritto precedentemente). Brevemente, nel caso di alto prelievo la lettura verrà fatta dalla sonda in basso (B6) dell'inerziale, nel caso di basso prelievo, invece,

da quella in alto (B9). I valori di set-point delle sonde B6 e B9 sono individuati da un algoritmo, il cui funzionamento è spiegato di seguito.

B6	Valore temperatura parte inferiore inerziale sanitario
B9	Valore temperatura parte superiore inerziale sanitario

5.1 Sistema attualmente in funzione

Nella logica di un impianto ad elevata efficienza nella produzione di ACS, si devono realizzare dispositivi elettronici finalizzati alle seguenti funzioni:

- a) Rilevare sull'intero edificio la presenza nelle singole unità abitative, attraverso un dispositivo di domotica, collegato alla centrale di produzione termica, al fine di calcolare la percentuale di occupazione dell'edificio. Tale valore permette di parametrizzare il potenziale fabbisogno di potenza termica necessaria a soddisfare situazioni di elevata contemporaneità di prelievo.
- b) Variare il set point di temperatura per ognuno dei due punti (inferiore e superiore) dell'accumulo inerziale di acqua termica destinata alla produzione sanitaria.

Sulla base di quanto detto, è stato creato un sistema che restituisce come output finale il valore del parametro C, cioè del voltaggio (un numero da 1 a 10), il quale verrà utilizzato come input dalla centrale termica.

Per ottenere ciò, è stato necessario procedere secondo i sottoindicati passaggi:

1) Determinazione dell'ora del giorno, e del tipo di giorno (feriale, prefestivo, festivo)	n
2) Determinazione, nell'ora in osservazione, del valore % delle utenze presenti nell'immobile	B
3) Determinazione tabellare (stima preliminare) del coefficiente (D) di utilizzo in contemporaneità, per ogni ora e per tipologia di giorni (feriale, prefestivo e festivo). Il valore assegnato al parametro D è variabile da 1 a 5.	D
4) Calcolo del valore C, cioè il voltaggio (1 - 10V) mediante la formula $C = 10 - 9 / (1+B)^{(D/k)}$	C
5) Lettura del valore C nel regolatore per gestione delle temperature sulle sonde B6 e B9	

Si è scelto, convenzionalmente, di utilizzare questo tipo di linguaggio:

- Al valore n è stato assegnato un valore tra 2, 3, 4 a seconda che il giorno sia feriale, prefestivo o festivo

n	2 Feriale
	3 Prefestivo
	4 Festivo

- Il coefficiente B è un valore da 0 a 1 corrispondente alla percentuale delle presenze nell'edificio.
- Il parametro D assume un valore tra 1 e 5 in base alla richiesta da parte dell'utenza: (1 = priorità minima, 5 = priorità massima) a seconda dell'ora del giorno e del tipo di giorno (feriale, prefestivo o festivo)

ORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Feriale	1	1	1	1	1	4	5	5	1	1	5	5	5	5	5	5	5	5	3	3	4	4	1	1
Prefestivo	1	1	1	1	1	1	3	3	3	2	5	5	5	5	5	5	5	4	4	2	4	4	1	1
Festivo	1	1	1	1	1	1	1	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	2	4	5	3	1

Tabella 4 - Coefficienti D OPERATIVI in funzione dell'ora del giorno e del tipo di giorno

Tali valori sono stati pre-imposti nelle specifiche di uso tradizionale degli edifici, che vedono scarsa richiesta di acqua sanitaria nelle ore pomeridiane; al contrario, nelle ore serali o durante le prime ore del mattino o nei giorni festivi la richiesta risulta maggiore per una elevata presenza di nuclei familiari all'interno dell'edificio. Occorre precisare che si tratta di valori impostati per il funzionamento dell'algoritmo, pertanto operativi, ma non indicanti l'effettiva richiesta da parte delle utenze e soprattutto non ancora ottimizzati sull'effettivo utilizzo della produzione sanitaria.

- Per determinare il parametro k occorre conoscere y, cioè la variabile caratteristica dell'ora successiva a quella in osservazione: serve per fornire una tendenza ed è un valore settabile oppure modificabile in autoapprendimento. Il valore k, pari a $1 + 1/y$, determina una tendenza. Varia da 1,2 a 2 (un valore basso significa alta richiesta nell'ora successiva a quella in osservazione).

Grazie a queste assunzioni si ottiene il valore di C (che costituisce l'input per la centrale termica) tramite la seguente formula:

$$C = 10 - \frac{9}{(1 + B)^{D/k}}$$

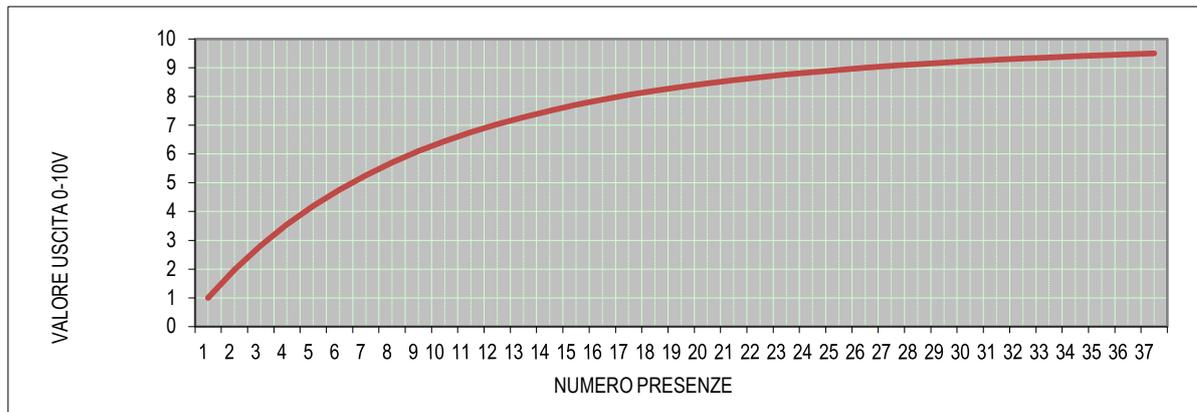


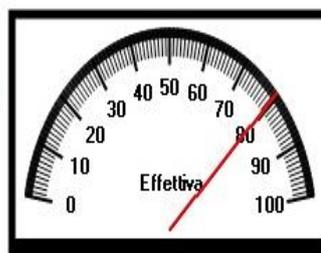
Figura 29 - Andamento del valore di output C in funzione del numero di appartamenti

Come mostra la figura sopra, grazie a tale formulazione è stato garantito che il voltaggio non fosse mai zero (corrispondente alla situazione di macchina ferma). Inoltre, si osserva come il voltaggio cresca all'aumentare dell'esigenza da parte dell'utenza.

A titolo semplificativo, viene mostrata, di seguito, la videata del sistema di domotica. Si possono notare i valori di voltaggio, del coefficiente correttivo k (pari a 1,2), del coefficiente D (che per il giorno e l'orario considerato è pari a 5) ed il numero di appartamenti che fanno richiesta di ACS (nel caso in esame 16 su 38).

Produzione sanitaria

7.92 V



Dati di calcolo

Minuti anticipo App. richiedenti Appartamenti Coeff. correttivo

15

16

38

1,2

Par. D

5

Update

02/12/2017 11:32:07

Figura 30 - Schermata domotica per parametro C

Una volta trovato il coefficiente C, fissati alcuni parametri (una sorta di regolatori di taratura micrometrica che permettono la determinazione corretta del voltaggio) è possibile determinare i due valori di set temperatura alle sonde B6 e B9:

- C : Valore in ingresso da 1 a 10 per la produzione acqua sanitaria
- B13-B12: Salto termico tra temperature acqua sanitaria in uscita scambiatore e acqua in ingresso scambiatore, miscelata con ricircolo (solo valore positivo)
- K3: parametro taratura fattore C - campo di regolazione da 0 a+10 per gestione sonda B9
- K4: parametro di taratura fase di prelievo acqua sanitaria (B13-B12) per gestione sonda B9
- K5: parametro taratura fattore C - campo di regolazione da 0 a+10 per gestione sonda B6
- K6: parametro di taratura fase di prelievo acqua sanitaria (B13-B12) per gestione sonda B6
- K7: parametro di taratura su Ps del limite di scambio tra B6 e B9 - campo di regolazione da -5 a +5

Nella pratica, per la determinazione di B9 e B6 vengono seguite queste regole:

- se $C = 1$ --> B6 o B9 devono restare $>22^{\circ}\text{C}$
- se $C > 1$ vale il seguente algoritmo:
 - a) se $1 < C < (5+k7)$ il set point in B9 viene variato con la seguente funzione:
$$\text{Set B9} = (\text{min B9}) + (C \times k3 \times 0,1) + ((\text{min B9}) \times k4 \times (B13 - B12) / 1000)$$

In ogni caso deve essere sempre rispettato $\text{Set B9} \leq \text{limite sanitario}$.
 - b) se $C \geq (5-k7)$ il set point in B6 viene variato con la seguente funzione:
$$\text{Set B6} = (\text{min B6}) + (C \times k5 \times 0,1) + ((\text{min B6}) \times k6 \times (B13 - B12) / 1000)$$

In ogni caso deve essere sempre rispettato $\text{Set B6} \leq \text{limite sanitario}$.

Quanto detto finora è ciò che sta alla base del sistema di monitoraggio per la produzione di ACS del condominio di via Cigliano 29, oggetto di studio. Collegandosi da remoto a tale piattaforma è possibile controllare tutto ciò che riguarda l'acqua calda sanitaria. Tra le varie voci, sono da evidenziare:

- "temperatura di accumulo sanitario bassa" (B6)

- “temperatura di accumulo sanitario alta” (B9)
- “attuale req. ACS Atena” che corrisponde a quello che sull’algoritmo è indicato con il parametro C, ovvero il voltaggio (in questo caso il valore fornito è da dividere per cento per ottenere i volt)
- “attuale snd reg sanitario” è la temperatura di set-point scelta tra B6 e B9
- “attuale reg sanitario” è la temperatura calcolata dall’algoritmo.

Di seguito, come esempi di funzionamento, vengono riportati alcuni casi significativi.

Nell’immagine sottostante si fa riferimento alla richiesta di ACS delle ore 10.00 del giorno 23 Novembre 2017. In questa situazione, gli utenti facenti richiesta erano 12 su 38, il parametro C era pari a 2.50 Volt, il parametro D era uguale a 1 (ovvero bassa richiesta), la temperatura di set-point dell’acqua sanitaria era 43.5 °C. Alla voce “pompa primario ACS” si legge una percentuale pari al 100%: tutto ciò succede perché la pompa P8 è gestita per ottenere in uscita acqua sanitaria a circa 45°C; se risulta al 100%, significa che sta cercando di fornire la temperatura richiesta.

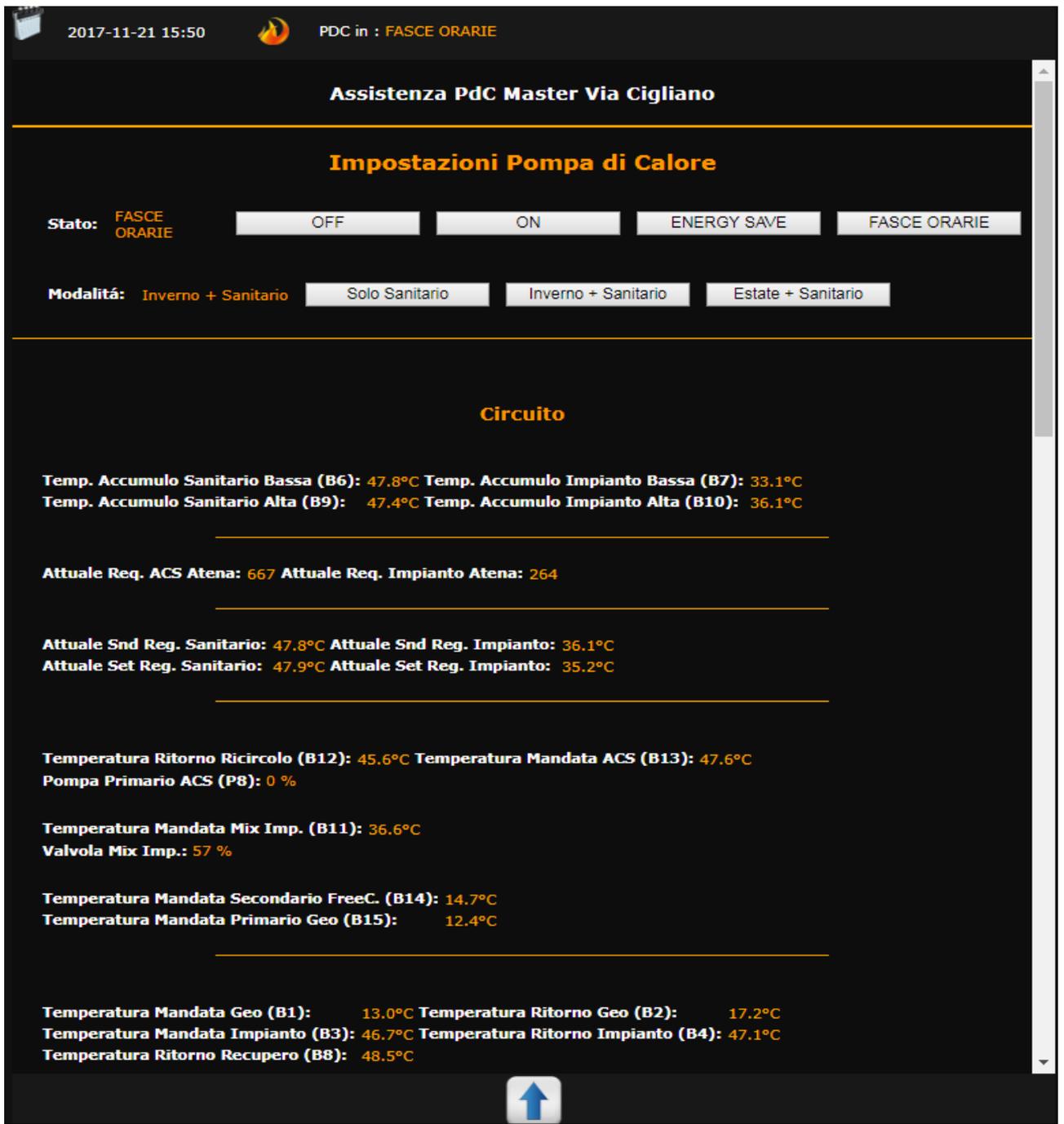


Figura 31 - Esempio: 21-11-2017 ore 15.50

VIA CIGLIANO – 21-11-2017 ore 15,50 – nessuna richiesta (0% pompa primario ACS)

valore C = 6,67

appartamenti richiedenti 11 su 38

parametro D = 5

Coefficiente correttivo 1,2

SET acqua sanitaria 47,9°C

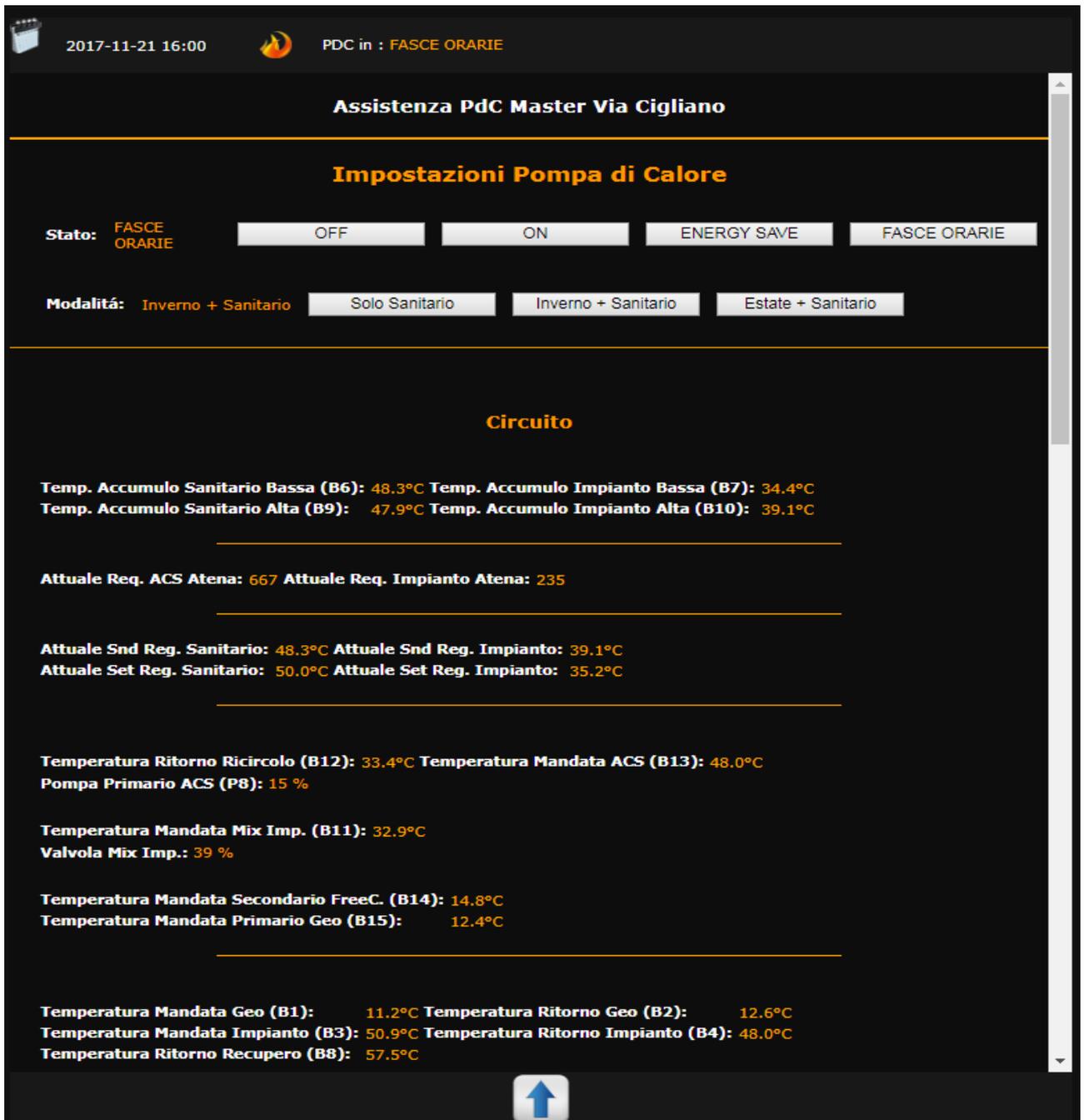


Figura 32 - Esempio: 21-11-2017 ore 16.00

VIA CIGLIANO – 21-11-2017 ore 16,00 – bassa richiesta (15% pompa primario ACS)

valore C = 6,67

appartamenti richiedenti 11 su 38

parametro D = 5

Coefficiente correttivo 1,2

SET acqua sanitaria 50,0°C

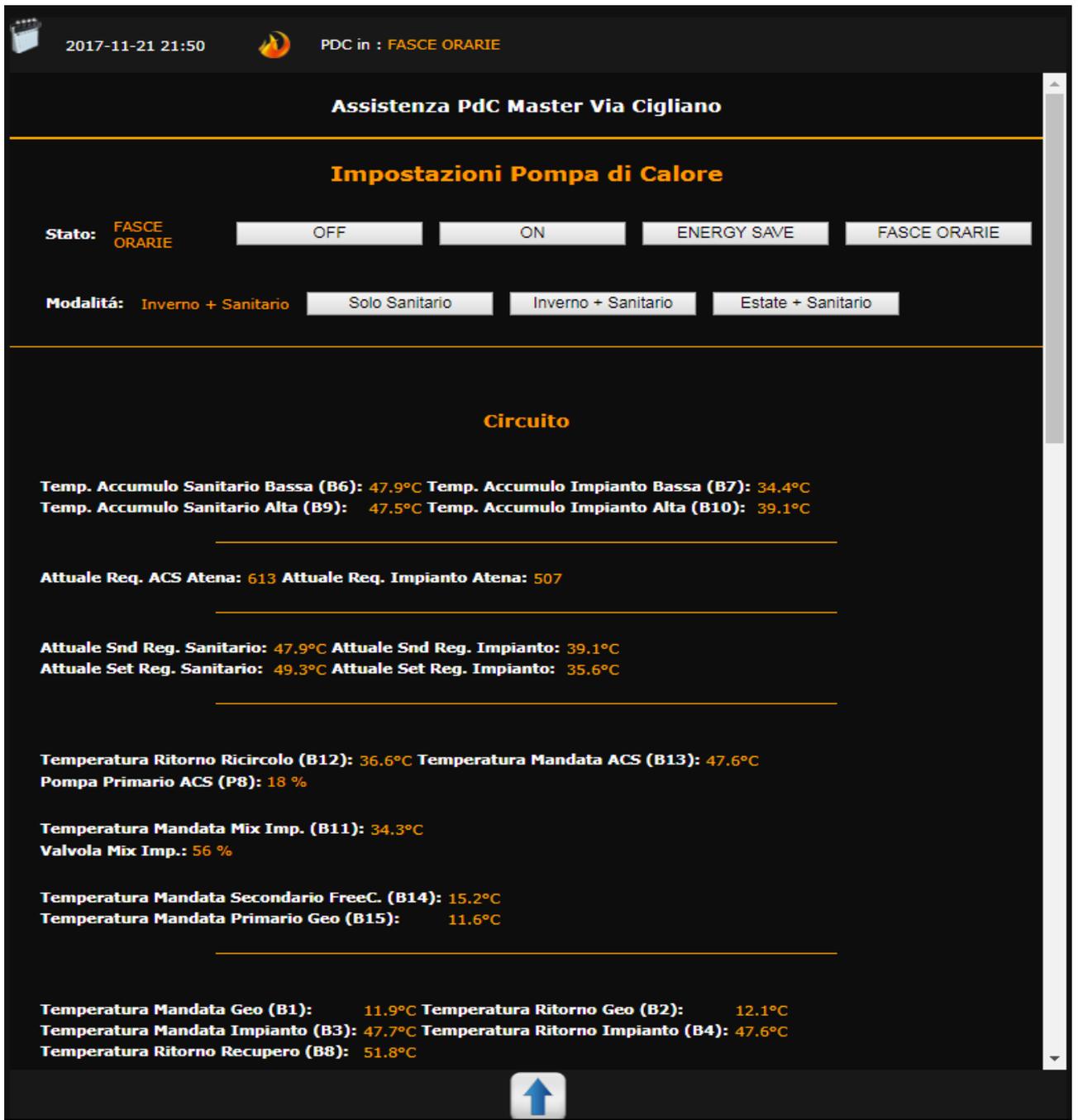


Figura 33 - Esempio: 21-11-2017 ore 21.50

VIA CIGLIANO – 21-11-2017 ore 21,50 – bassa richiesta (18% pompa primario ACS)

valore C = 6,13

appartamenti richiedenti 19 su 38

parametro D = 3

Coefficiente correttivo 1,333

SET acqua sanitaria 49,3°C

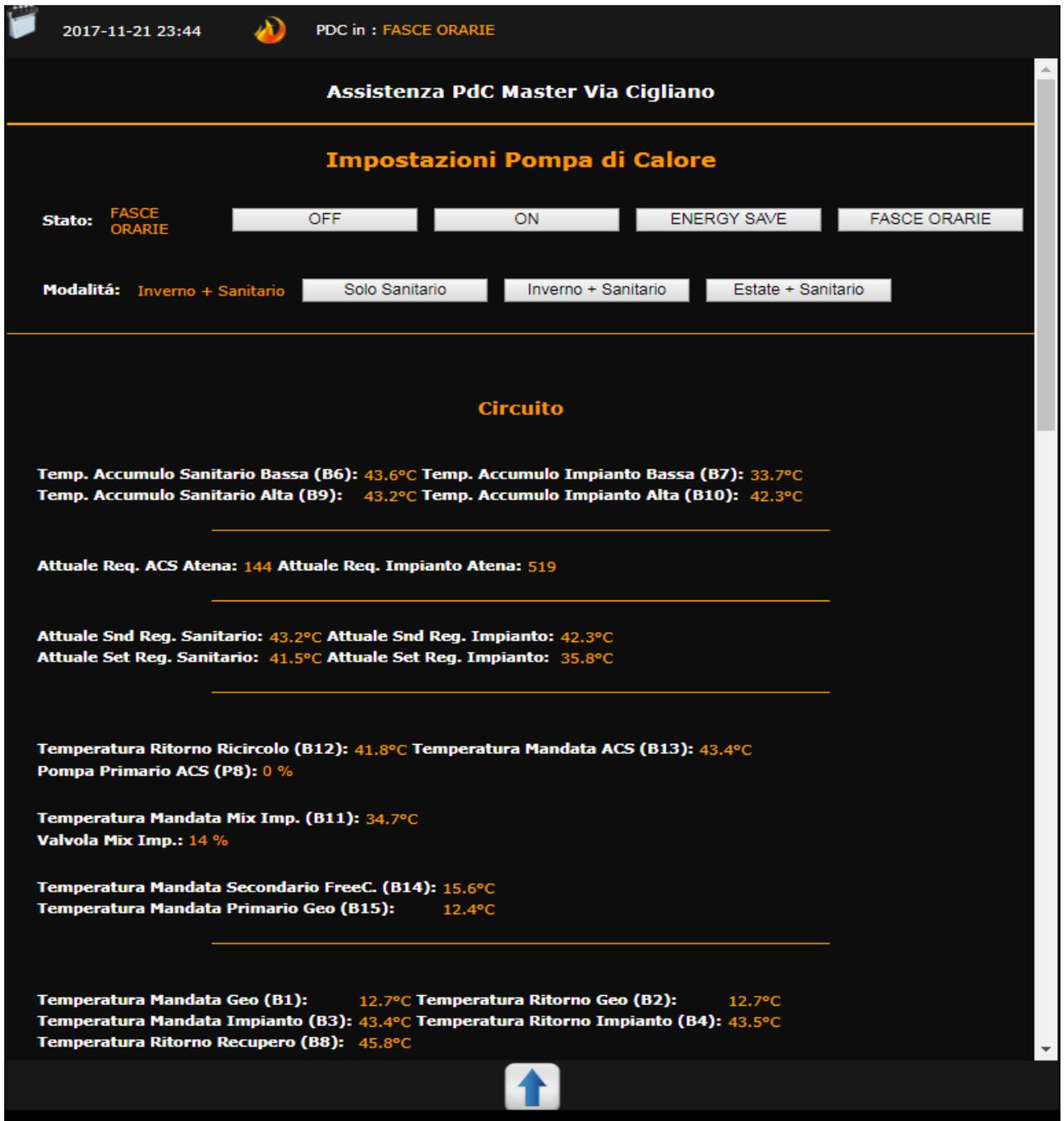


Figura 34 – Esempio: 21-11-2017 ore 23.44

VIA CIGLIANO – 21-11-2017 ore 23,44 – nessuna richiesta (0% pompa primario ACS)

valore C = 1,44

appartamenti richiedenti 6 su 38

parametro D = 1

Coefficiente correttivo 2

SET acqua sanitaria 41,5°C

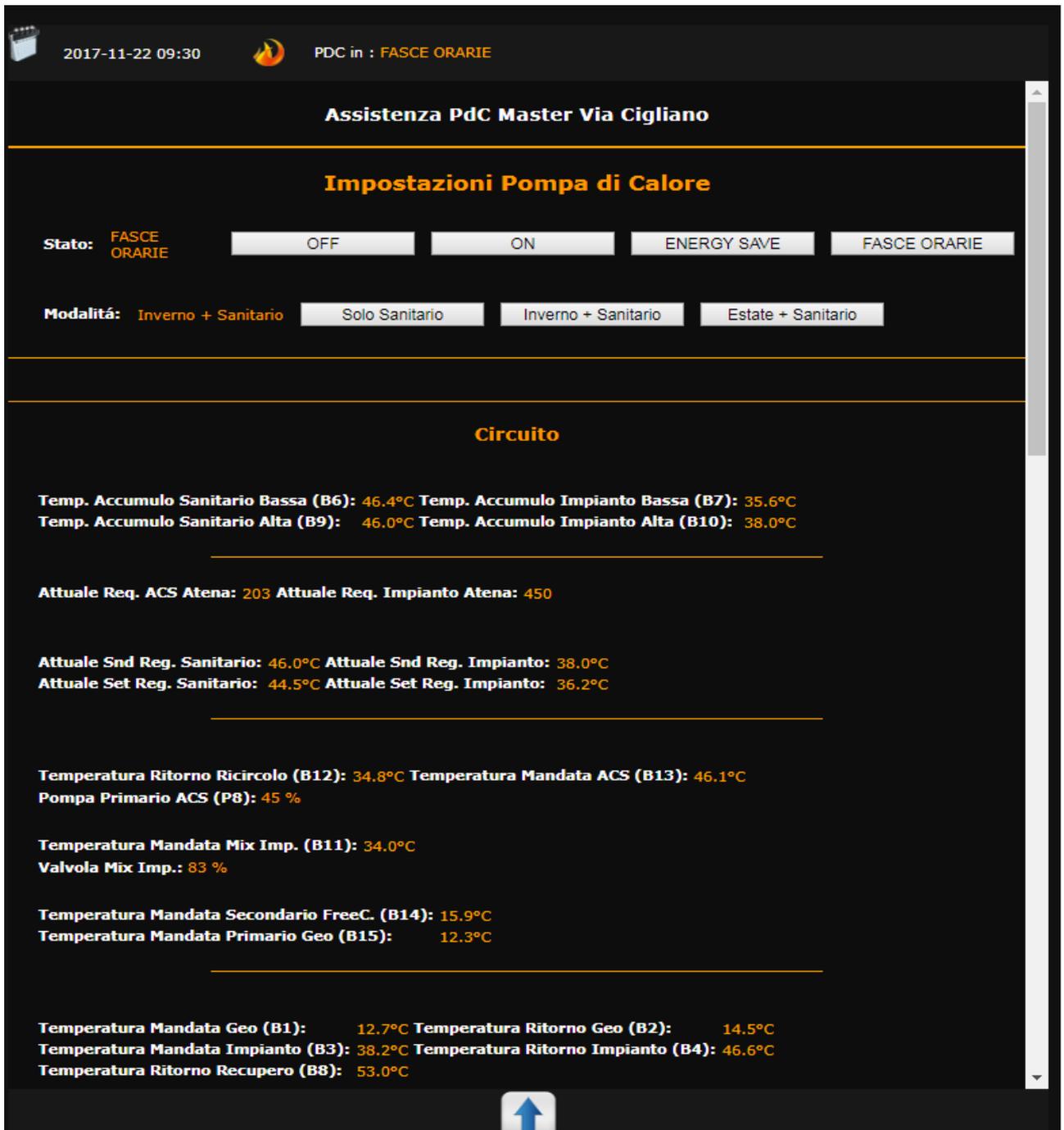


Figura 35 - Esempio: 22-11-2017 ore 9.30

VIA CIGLIANO – 22-11-2017 ore 9.30 – media richiesta (45% pompa primario ACS)

valore C = 2,03

appartamenti richiedenti 13 su 38

parametro D = 1

Coefficiente correttivo 2

SET acqua sanitaria 41,5°C

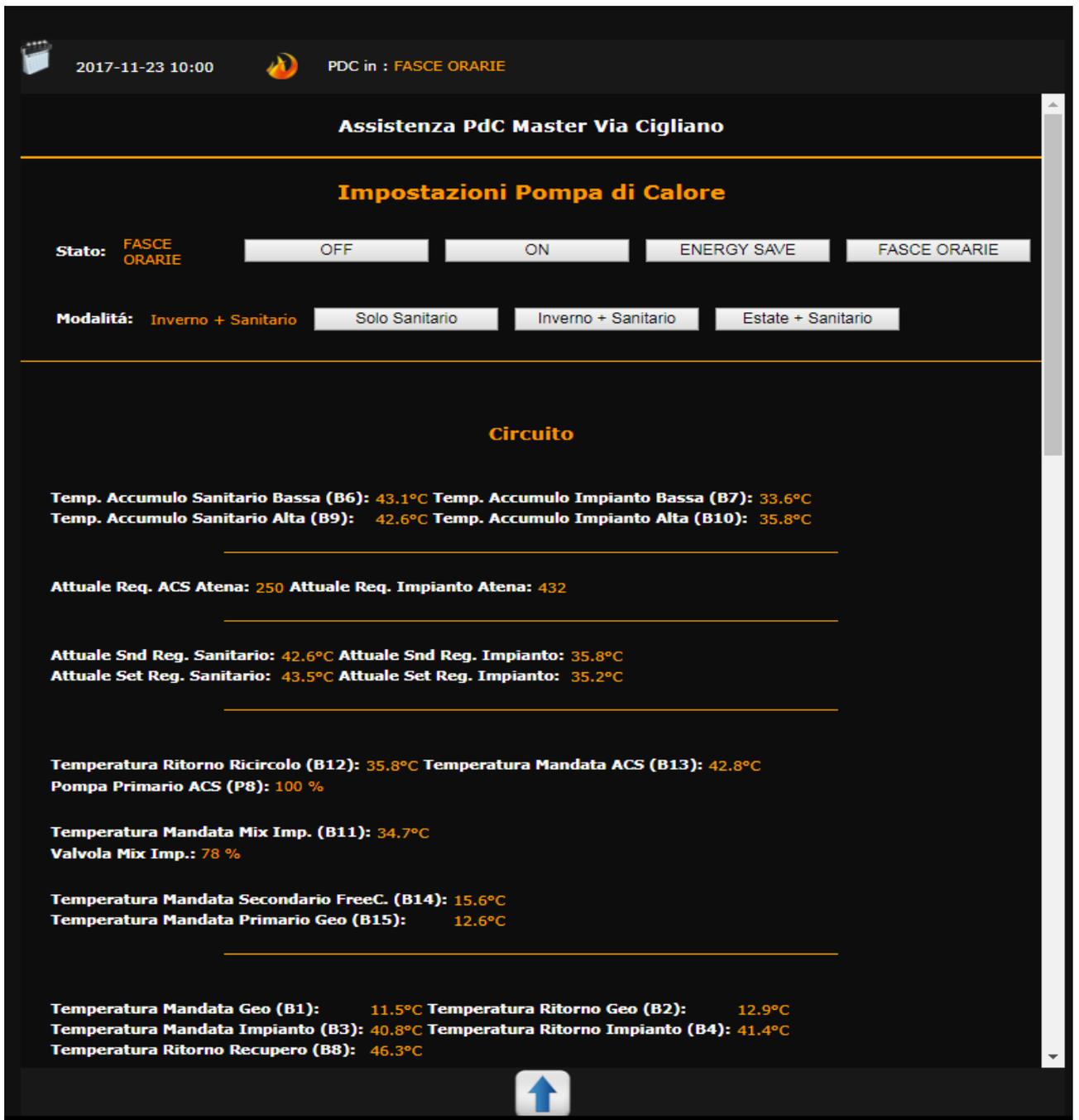


Figura 36 - Esempio: 23-11-2017 ore 10.00

VIA CIGLIANO – 23-11-2017 ore 10,00 – elevata richiesta (100% pompa primario ACS)

valore C = 2,50

appartamenti richiedenti 12 su 38

parametro D = 1

Coefficiente correttivo 1,2

SET acqua sanitaria 43,5°C

Questo principio di funzionamento mostra una limitazione, ovvero si basa su valori del coefficiente D ipotizzati ma non reali e soprattutto non ottimizzati.

Per elaborare il concetto di ottimizzazione, si è deciso di studiare gli storici forniti dai logger della GSI (azienda costruttrice delle pompe di calore e relativi controlli), focalizzando l'attenzione sulle temperature rilevate dalle sonde B13 e B12 (rispettivamente temperatura di mandata sanitaria alle utenze ACS e temperatura di ingresso allo scambiatore miscelato con ricircolo ACS, ovvero temperatura di ritorno). Il legame tra queste due temperature è il seguente: la B12 si abbassa quando vi è una chiamata di acqua calda sanitaria, mentre se B12 e B13 assumono valori simili significa che non vi è richiesta.

Come primo step, è stata analizzata la produzione di acqua calda sanitaria del complesso relativa ad una settimana (precisamente dal 18 al 24 Novembre 2017) per capire quali fattori incidono maggiormente e in che modo. Lo stesso procedimento è stato effettuato sia sui giorni feriali (lunedì-venerdì) che su quelli del fine settimana (sabato-domenica). Per ogni minuto del giorno considerato, è stata calcolata la differenza di temperatura tra B13 e B12 e, di questa, è stata fatta la media ogni 5 minuti (per ridurre il numero di dati dal momento che lo storico riportava le temperature relative ad ogni minuto).

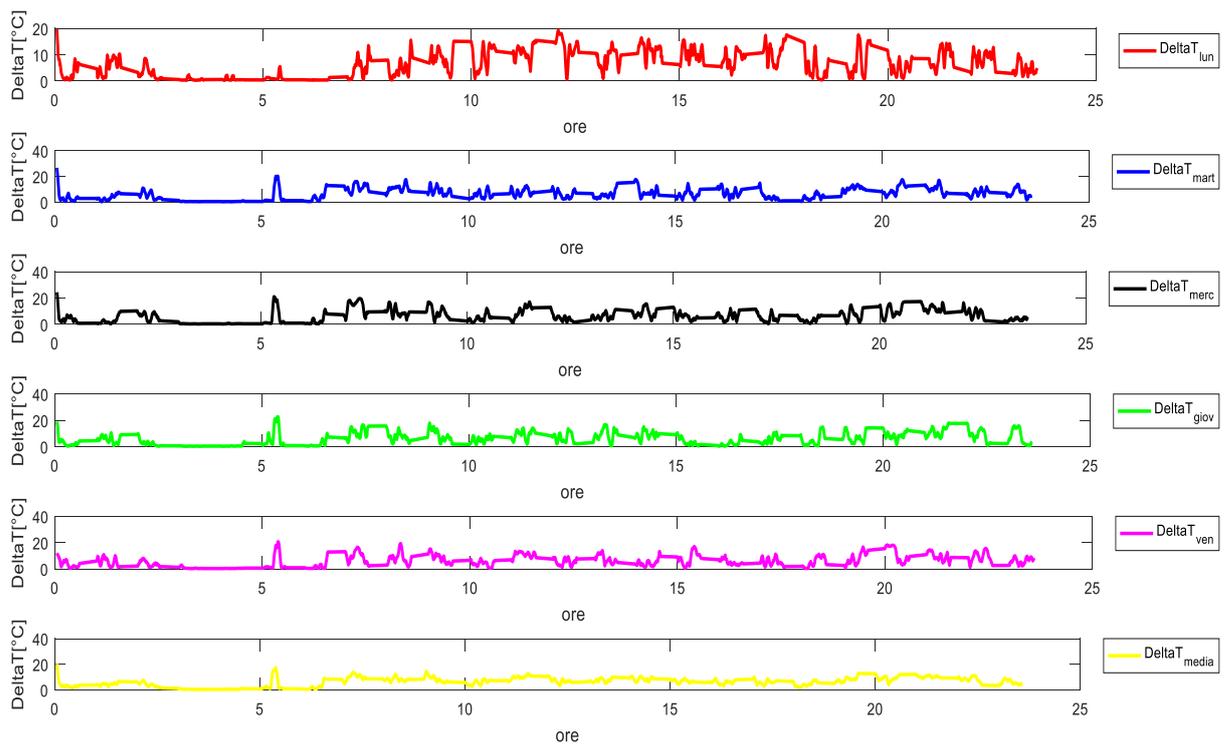


Figura 37 - Andamento delle differenze di temperature relative ai giorni feriali

Come si può vedere dal grafico, nei giorni feriali gli andamenti risultano molto simili, in particolare si può osservare un prelievo di ACS maggiore (più alto è il ΔT , più elevata è la richiesta di acqua sanitaria) la mattina presto e la sera tardi (orari tipici in cui i lavoratori usufruiscono, ad esempio, delle docce).

Lo stesso ragionamento è stato fatto per i giorni del weekend. Gli andamenti delle differenze di temperature medie ogni 5 minuti del sabato, della domenica e la loro media sono riportati nella figura seguente.

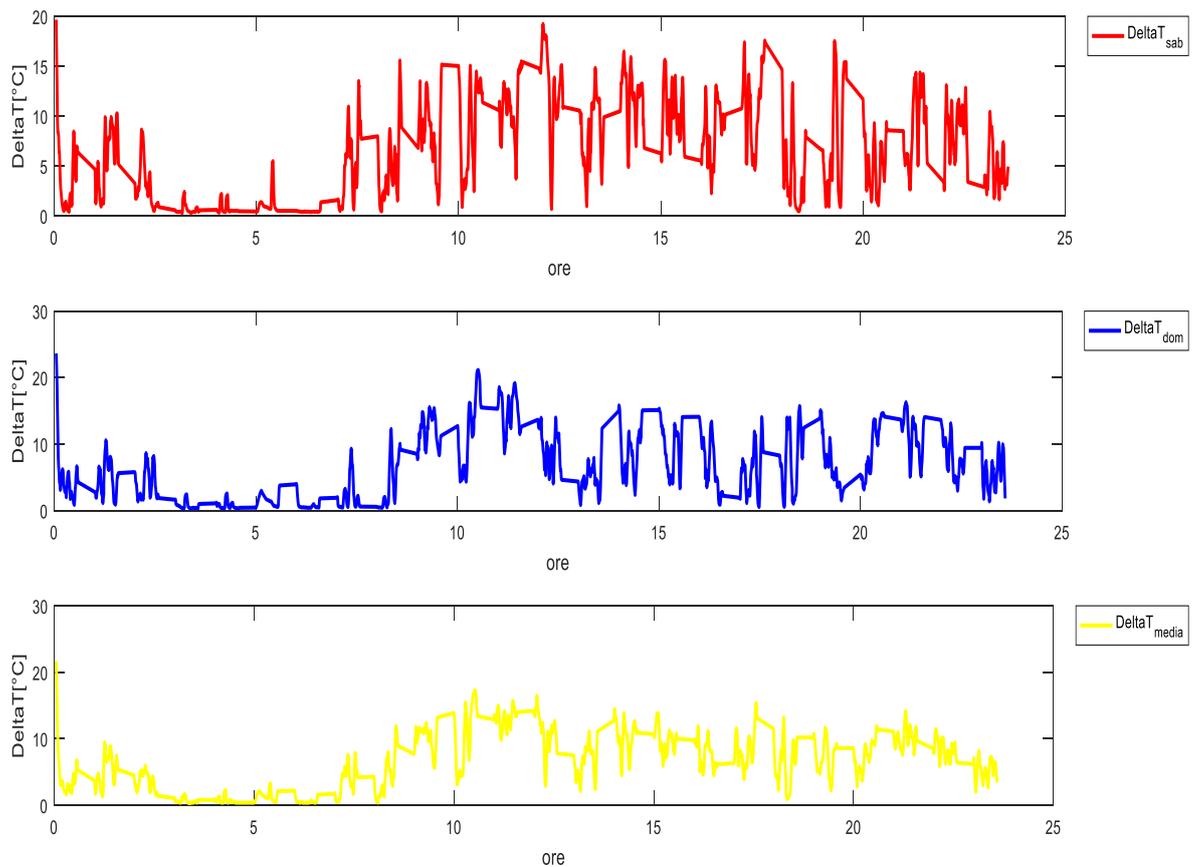


Figura 38 - Andamento delle differenze di temperature relative ai giorni di sabato e domenica

Anche in questo caso, gli andamenti si somigliano, ma risultano, come atteso, diversi da quelli dei giorni feriali. In questo caso, infatti, i picchi non sono più la mattina presto e la sera tardi ma le richieste di ACS sono più distribuite nell'arco della giornata. Tale differenza risulta ancora più netta dal confronto tra le medie (dei giorni lunedì-venerdì con quelle del sabato-domenica), come mostra il grafico sottostante.

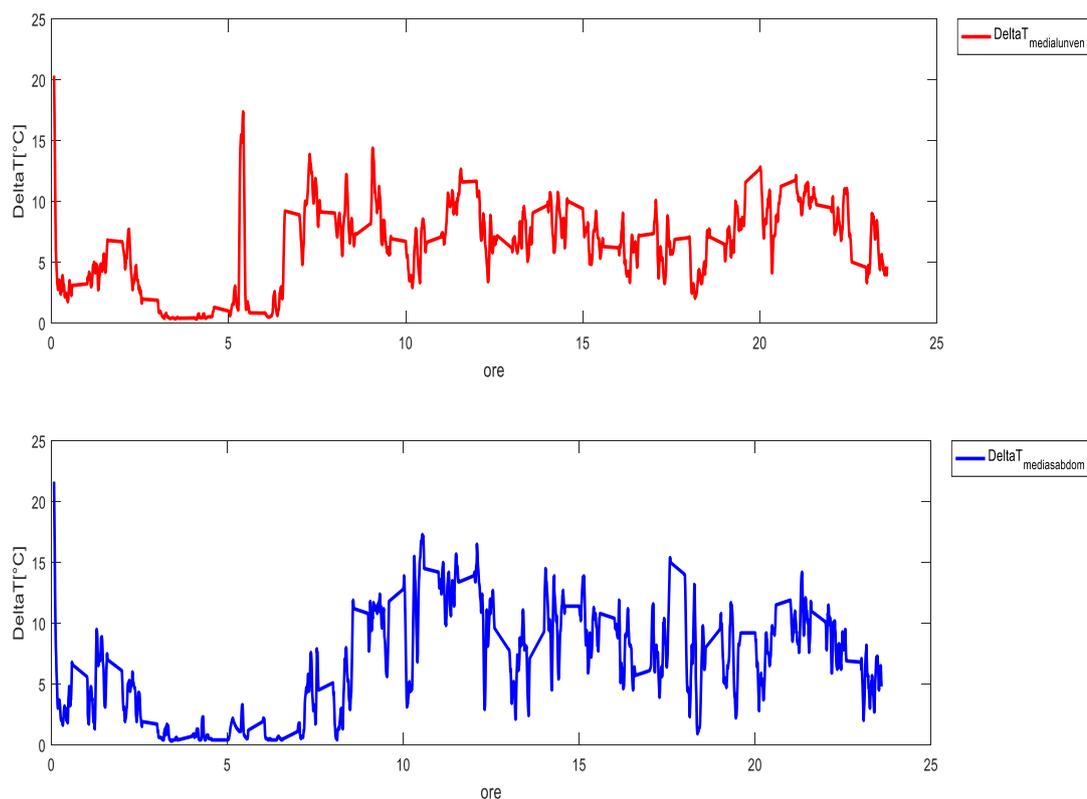


Figura 39 - Confronto tra gli andamenti medi delle differenze di temperature dei giorni sabato e domenica rispetto a quelli feriali

Da questa prima analisi, si intuisce chiaramente come molti dei valori ipotizzati dall'algoritmo attualmente in funzione non siano in linea con la reale richiesta.

ORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Feriale	1	1	1	1	1	4	5	5	1	1	5	5	5	5	5	5	5	5	3	3	4	4	1	1
Prefestivo	1	1	1	1	1	1	3	3	3	2	5	5	5	5	5	5	5	4	4	2	4	4	1	1
Festivo	1	1	1	1	1	1	1	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	2	4	5	3	1

Ad esempio, il valore 5 (corrispondente al prelievo massimo) è settato per periodi di tempo molto più estesi rispetto a quanto realmente necessario, soprattutto per alcune ore pomeridiane dei giorni feriali, in cui gli utenti non sono nelle loro relative abitazioni.

Oltre al tipo di giorno (feriale, prefestivo, festivo) e all'ora del giorno, la produzione di acqua sanitaria deve variare anche con il livello di occupazione (maggiore è il numero di presenze

effettive negli appartamenti, maggiore sarà la richiesta). Per ottenere un'ottimizzazione, quindi, occorre coniugare questi tre elementi.

A seguito di tale analisi preliminare, è stato sviluppato un algoritmo in grado di fornire come output i valori di richiesta di ACS (ovvero il cosiddetto coefficiente D), basandosi sullo storico dei dati fornito come input. I dettagli del programma sono spiegati nel paragrafo seguente.

5.2 Algoritmo di autoapprendimento

Sulla base del sistema attualmente in funzione, è stato realizzato un programma sul software MATLAB in grado di restituire il valore D (che corrisponde alla richiesta di ACS) in modo automatico, senza fare più riferimento a dati ipotizzati a priori. Come input, occorre fornire al programma i valori di differenza di temperatura tra la B13 e la B12 relativi ad ogni minuto di ogni giorno del periodo preso in esame (nel presente caso dal 17 Novembre 2017 al 10 Gennaio 2018).

Di seguito, viene mostrato un esempio di dati forniti dai logger.

Data e ora	Temp,Mand,ACS (B13)	Temp,Rit,Ricirc (B12)	DeltaT (B13-B12)
12/12/2017 00:00	44,6	13,4	31,2
12/12/2017 00:01	44,4	11	33,4
12/12/2017 00:02	44,4	10,7	33,7
12/12/2017 00:03	44,2	13	31,2
12/12/2017 00:04	44,2	30,6	13,6
12/12/2017 00:05	44,1	36,5	7,6
12/12/2017 00:06	44	32,9	11,1
12/12/2017 00:07	43,8	30,6	13,2
12/12/2017 00:08	43,8	40,8	3
12/12/2017 00:09	43,9	34,9	9
12/12/2017 00:10	43,6	35,9	7,7

Figura 40 - Dati forniti dai logger

Tutto lo storico dei dati è stato passato al programma, che ha calcolato le medie orarie di ogni giorno. In questo modo è stato possibile sapere l'andamento del valore medio B13-B12 di tutti i giorni.

A titolo di esempio, viene rappresentata graficamente la distribuzione di temperatura relativa al terzo giorno del periodo studiato.

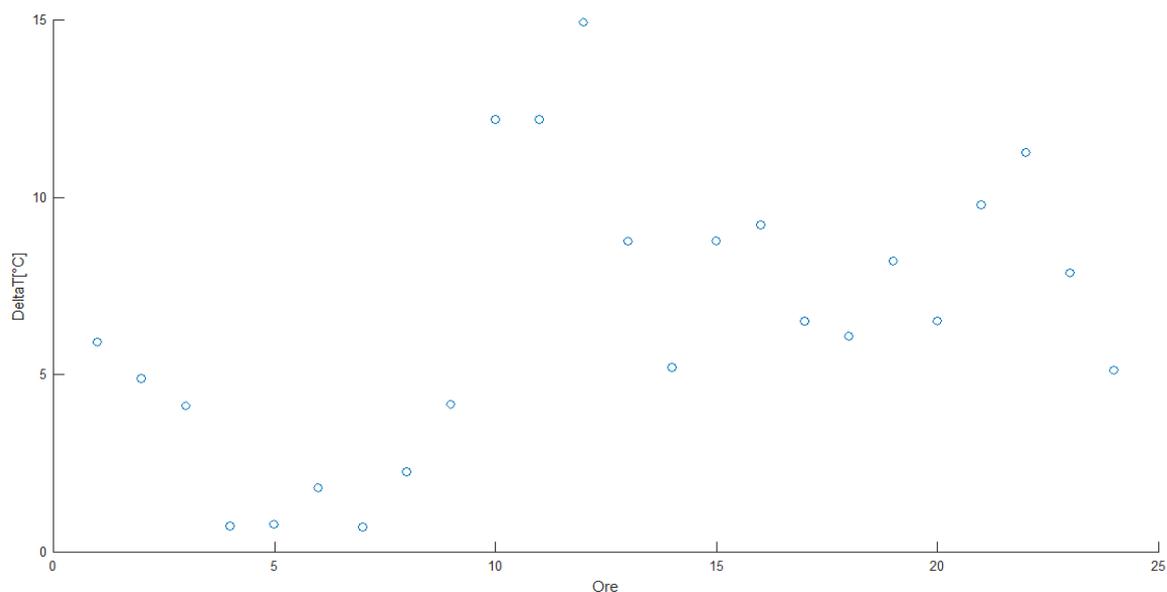


Figura 41 - Esempio: andamento valor medio B13-B12 del terzo giorno

Complessivamente, è possibile raggruppare questi andamenti per giorni, distinguendoli in feriali, prefestivi e festivi. Per fare in modo che il programma riconosca il giorno cui si fa riferimento si è pensato di passare un file denominato "Calendario.dat" in cui si associa ai giorni feriali il numero 0, a quelli prefestivi 1 e ai festivi 2. Per i casi particolari, ad esempio, il 25 Dicembre che, pur cadendo di Lunedì è da considerarsi festivo, occorrerà andare a settare il valore corretto, ovvero 2, nel suddetto file, come per le altre eventuali festività ricorrenti durante la settimana.

In tal modo, si ottengono le distribuzioni delle differenze di temperature tra mandata e ritorno (B13-B12) medie dei giorni feriali, prefestivi e festivi, come mostrano le figure di seguito riportate.

Trattandosi di un algoritmo di autoapprendimento, dovendo fare una previsione, si è optato per un'analisi della regressione. Innanzitutto, è stato scelto il tipo di polinomio che meglio approssima la distribuzione. Come già notato per il singolo andamento, tali distribuzioni possono essere ricondotte ad un polinomio di quarto grado, indicato in rosso sui grafici.

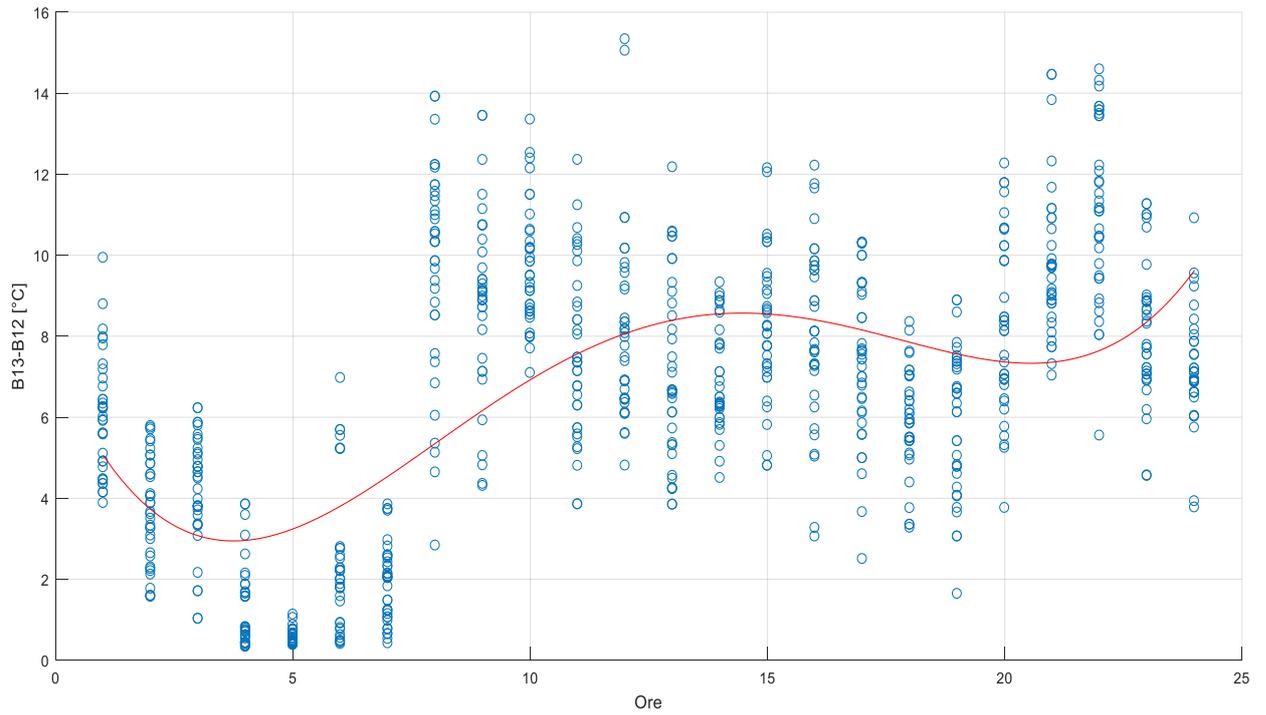


Figura 42 - Andamento valor medio B13-B12 (giorni feriali)

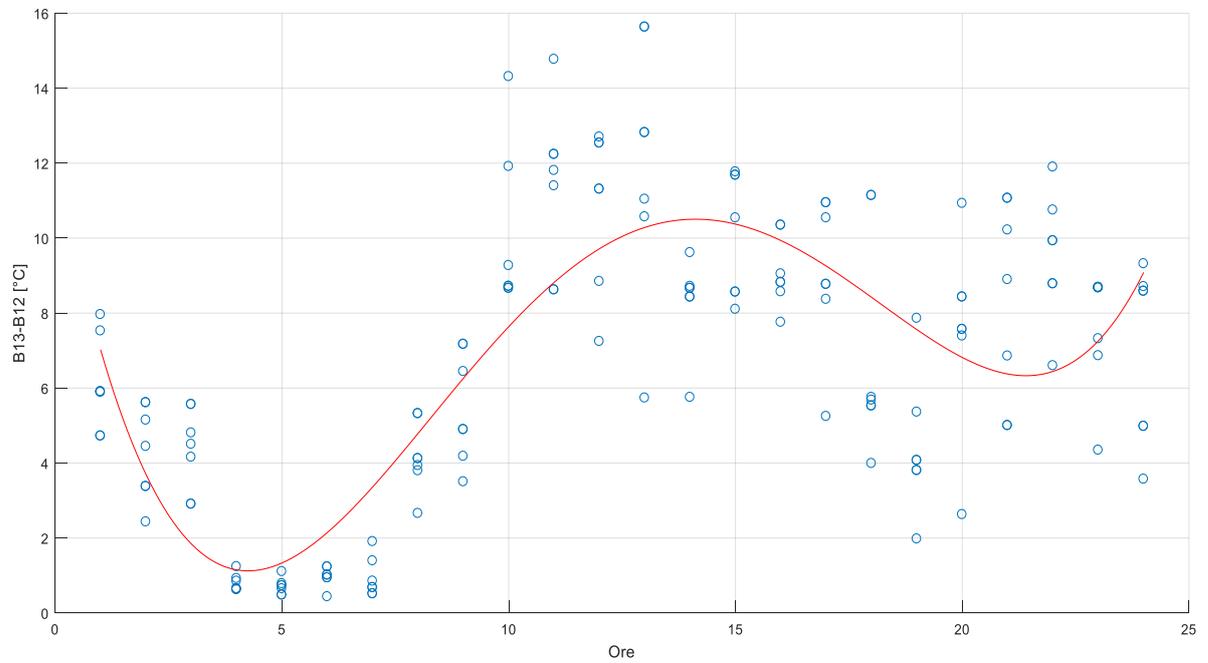


Figura 43 - Andamento valor medio B13-12 (giorni prefestivi)

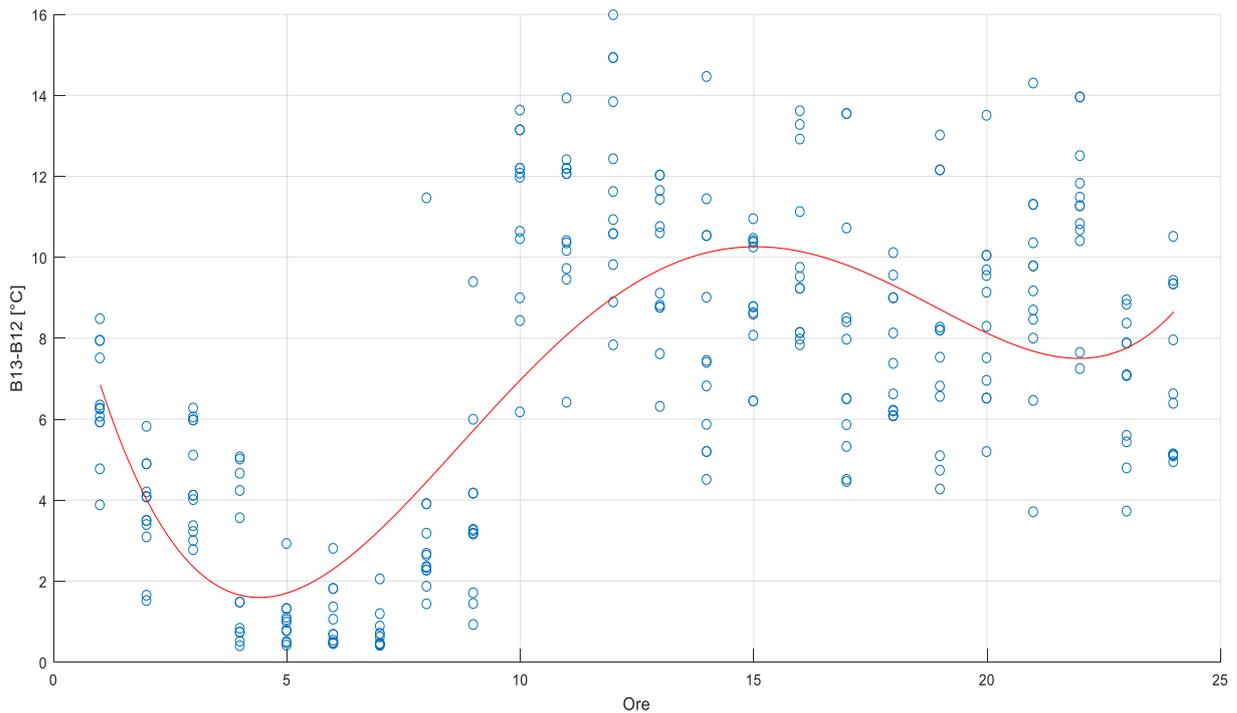


Figura 44 - Andamento valor medio B13-B12 (giorni festivi)

A questo punto, conoscendo i valori di ΔT , è stato possibile procedere con il calcolo del parametro D , indicante la richiesta da parte dell'utenza (1= basso prelievo, 5=alto prelievo).

Si è deciso di assegnare 5 alle alte B13-B12 e 1 alle basse B13-B12: i valori minimi e massimi di B13-B12 non provengono dalle osservazioni, perchè potrebbero esserci valori fuori scala, ma si ricavano da quelli del polinomio.

Sulla base di quanto detto, D è stato calcolato nel seguente modo, sia per i giorni feriali che per i prefestivi e i festivi.

```
min_feriale = min(polyval(P0,1:24));
max_feriale = max(polyval(P0,1:24));
```

$$D_{\text{feriale}} = 1 + 4 \cdot (\text{polyval}(P0,1:24) - \text{min_feriale}) / (\text{max_feriale} - \text{min_feriale});$$

Con tale formula, si può garantire 1 come valore minimo e 5 come massimo (i valori minimi e massimi sono stati utilizzati per normalizzare).

Seguendo questi passaggi, la tabella dei coefficienti D ottenuti è la seguente, preceduta da quella con i dati operativi, attualmente utilizzati.

NON SI AUTOREGOLA																								
ORE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Feriale	1	1	1	1	1	4	5	5	1	1	5	5	5	5	5	5	5	5	3	3	4	4	1	1
Prefestivo	1	1	1	1	1	1	3	3	3	2	5	5	5	5	5	5	5	4	4	2	4	4	1	1
Festivo	1	1	1	1	1	1	1	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	2	4	5	3	1

SI AUTOREGOLA																								
ORE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Feriale	2	1	1	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5
Prefestivo	4	2	1	1	1	1	2	3	3	4	4	5	5	5	5	5	4	4	4	3	3	3	4	4
Festivo	3	2	1	1	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4

Tabella 5 - Confronto tra parametri D operativi e autoappresi

Dal confronto tra le due tabelle, si può notare come alcuni dei dati operativi risultano non rappresentativi della realtà, poiché, secondo lo storico, la richiesta, nelle ore notturne, ad esempio, è diversa da quella ipotizzata.

Occorre sottolineare il fatto che, questo algoritmo è stato creato per ottimizzare il sistema di produzione di ACS non solo in termini di consumi ma anche per quanto riguarda l'efficienza. Trattandosi di un sistema previsionale, però, non è detto che il risultato ottenuto corrisponda ad una richiesta da parte dell'utenza minore. Il beneficio sarà, a livello globale, in quanto, conoscendo già l'andamento del prelievo da parte dell'utenza, l'efficienza del sistema risulterà maggiore.

Dopo aver calcolato il parametro D, si è proseguito con la valutazione del coefficiente C, come dalle precedenti indicazioni.

A titolo di esempio, viene riportato, di seguito, l'andamento del valore C in funzione dell'occupazione relativo alle ore 8.00 di un giorno feriale, prefestivo o festivo. Come da aspettativa, la richiesta è maggiore per una percentuale di presenze più alta e nel caso di giorni non lavorativi.

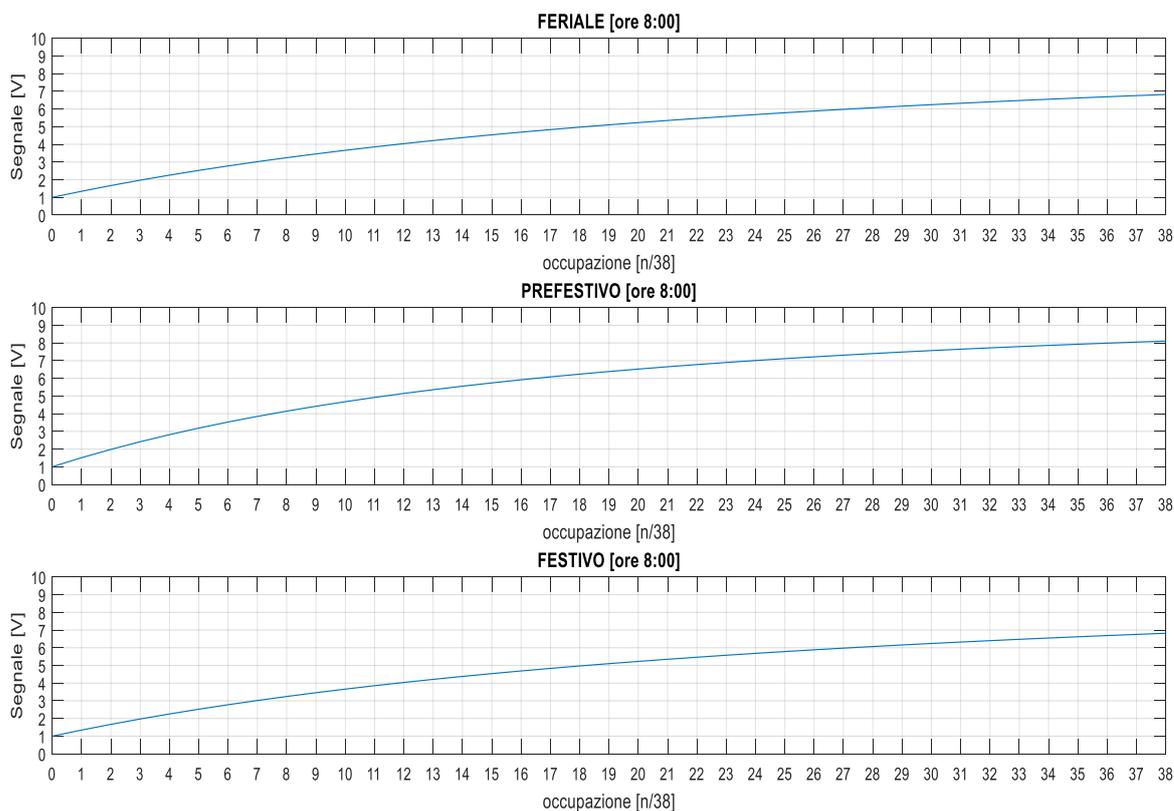


Figura 45 - Parametro C in funzione dell'occupazione

Nel grafico sottostante, invece, viene mostrato l'andamento delle temperature di set-point legate alle sonde B6 e B9 in funzione del numero di occupanti, precisamente alle ore 8.00 di un giorno feriale, prefestivo e festivo.

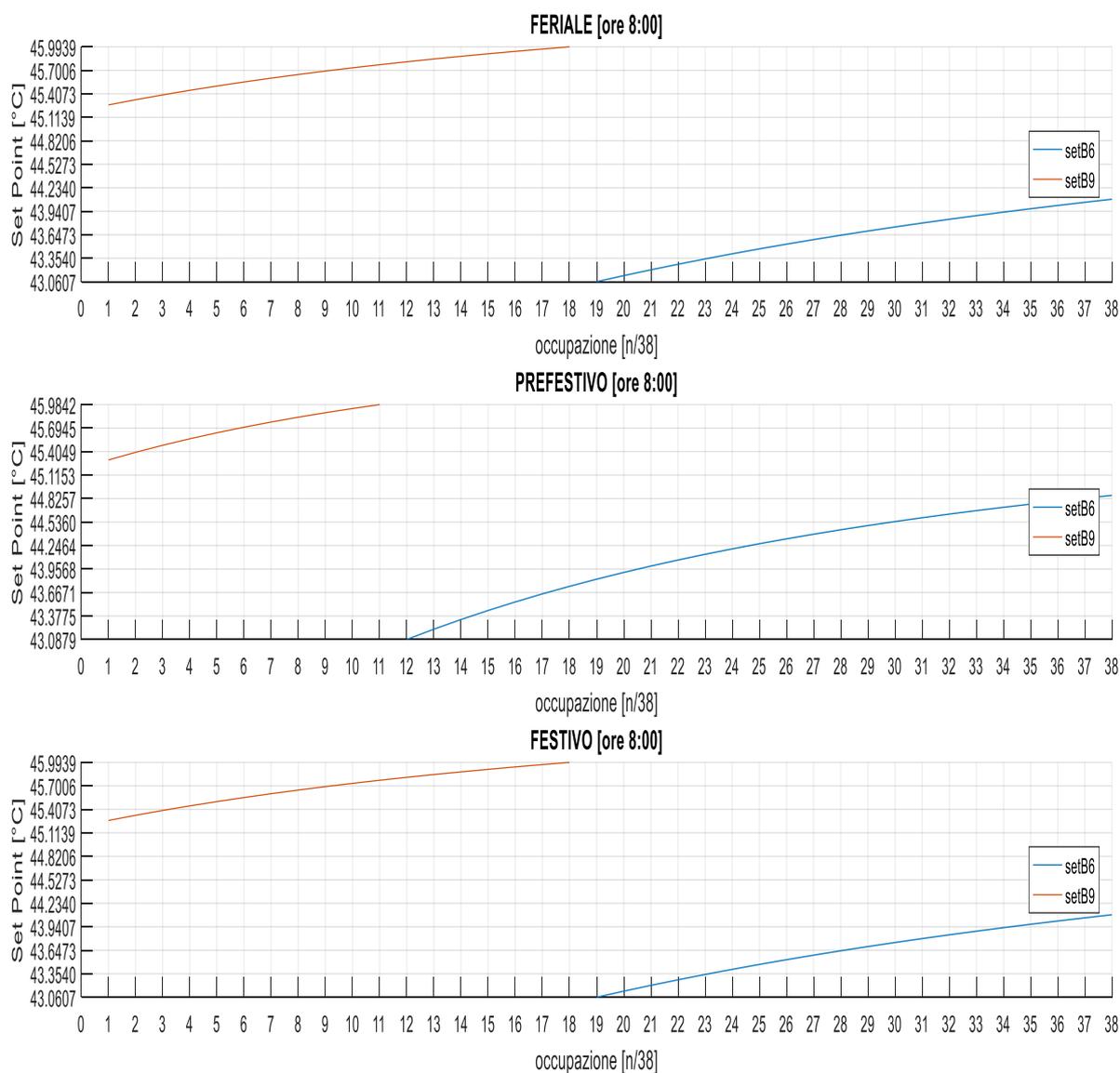


Figura 46 - Temperature di set-point in funzione dell'occupazione

La temperatura di set-point della sonda B6, ad esempio, inizia ad aumentare dal valore minimo ad una percentuale di occupazione diversa nel caso di giorno feriale (19/38) o di quello prefestivo (12/38), proprio a sottolineare il fatto che, a parità di fattore di presenza, se il prelievo è contenuto si attiverà la sonda in alto B9, altrimenti quella in basso B6. Lo stesso concetto è ripreso nella figura di seguito: ad un valore imposto di occupazione, pari a 15/38 appartamenti, corrispondono delle variazioni delle temperature di set-point delle sonde in base alle ore del giorno e del tipo di giorno. Ad esempio, nel caso del giorno feriale

l'attivazione della sonda B9 corrispondente al basso prelievo avviene nelle ore notturne fino alle 8.00 del mattino, per il giorno prefestivo si arresta alle 7.00 e per il festivo torna alle 08.00.

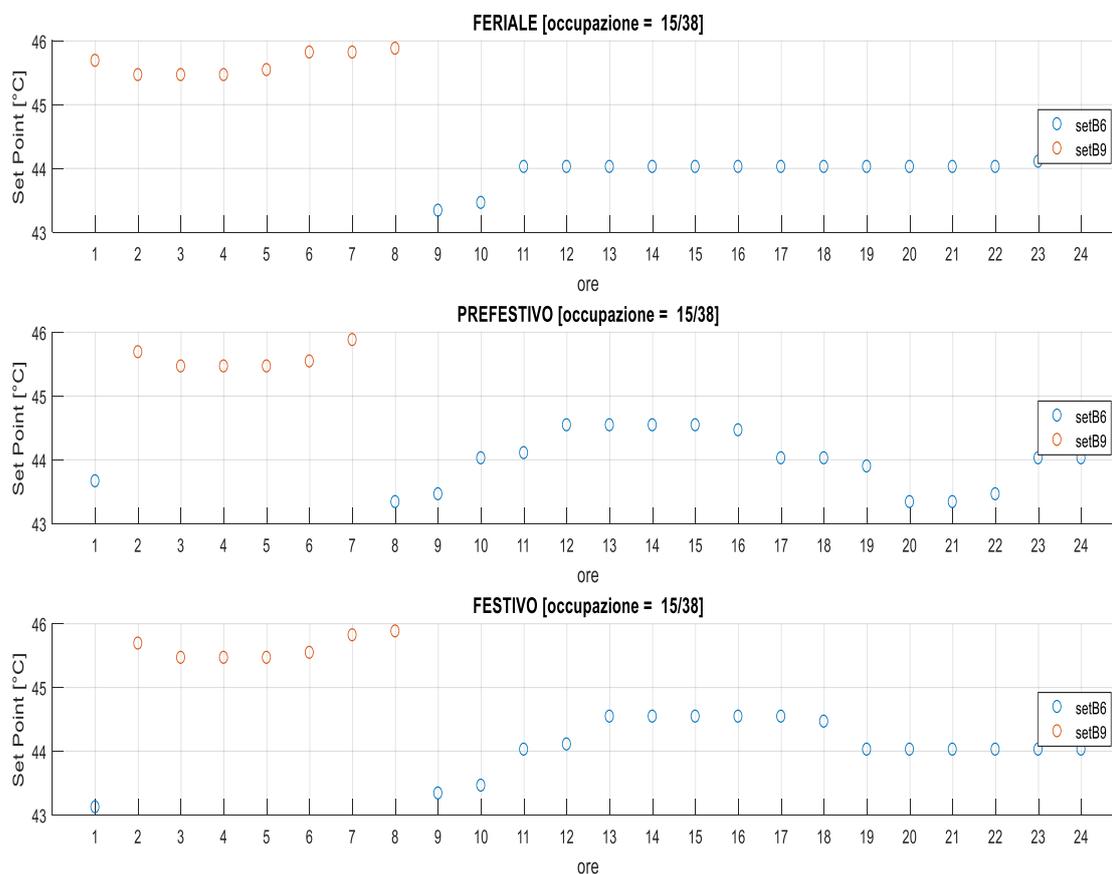


Figura 47 - Temperature di set-point in funzione dell'ora

Occorre poi evidenziare un elemento importante: l'algoritmo di autoapprendimento delle "abitudini" di prelievo di ACS dell'edificio, si aggiorna automaticamente in continuo, modificando e archiviando i periodi caratteristici di consumo secondo criteri predefiniti, mese per mese, tenendo conto di festività fisse e festività variabili, periodi di ferie, periodi scolastici, ecc... Tale caratteristica permette di modellare automaticamente l'energia richiesta alle specifiche ed effettive richieste dell'edificio.

Applicazione analoga può essere realizzata per le strutture ricettive (alberghi, pensioni,), ove il fattore legato alla percentuale di occupazione è rilevabile più direttamente.

6. OTTIMIZZAZIONE IN TERMINI DI MINORI DISPERSIONI

L'ottimizzazione di esercizio e, pertanto, di temperatura nell'accumulo e nella distribuzione comporta di conseguenza una riduzione delle dispersioni energetiche.

La seconda parte della presente tesi, infatti, ha riguardato l'analisi delle dispersioni della rete di distribuzione, di ricircolo e dell'inerziale che caratterizzano il condominio sito in Via Cigliano 29 (TO).



Figura 48 - Schema montanti

Relativamente alla rete distributiva è stato redatto un confronto tra condizione di applicazione di una singola coibentazione con la doppia coibentazione. Per entrambi i casi, è stato effettuato lo stesso calcolo facendo variare, oltre lo spessore di isolamento della tubazione, anche la differenza di temperatura tra la temperatura del fluido interno (acqua) e quella del fluido esterno (aria). In particolare, si è pensato di considerare il caso di “comfort”

con temperatura interna del fluido pari a 48°C e quello cosiddetto di “risparmio” con una temperatura inferiore, pari a 42°C.

La temperatura del fluido esterno, invece, variando in base al periodo, è stata considerata pari a :

dic- gen – feb	5	°C
nov - mar – apr	10	°C
mag - giu ott	20	°C
lug - ago – sett	28	°C

Tabella 6 - Temperatura del fluido esterno

Le dispersioni in una rete di distribuzione si calcolano attraverso la seguente formula:

$$Q = \frac{\pi \cdot (t_1 - t_2)}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_2} \cdot \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_3}}$$

α_1	ADDUTTANZA UNITARIA DELLA SUPERFICIE INTERNA	[W/m ² K]
α_2	ADDUTTANZA UNITARIA DELLA SUPERFICIE ESTERNA	[W/m ² K]
λ_1	CONDUTTIVITA' DEL MATERIALE TUBAZIONE (ACCIAIO)	[W/m K]
λ_2	CONDUTTIVITA' DEL MATERIALE ISOLANTE (ARMAFLEX)	[W/m K]
t_1	TEMPERATURA FLUIDO INTERNO (ACQUA)	[°C]
t_2	TEMPERATURA FLUIDO ESTERNO (ARIA)	[°C]
d_1	DIAMETRO INTERNO TUBAZIONE ACCIAIO	[mm]
d_2	DIAMETRO ESTERNO TUBAZIONE ACCIAIO	[mm]
d_3	DIAMETRO ESTERNO TUBAZIONE ISOLATA	[mm]
Q	DISPERSIONE UNITARIA DELLA TUBAZIONE RIVESTITA	[W/m]

Tabella 7- Calcolo delle dispersioni

Moltiplicando la dispersione unitaria per lo sviluppo della tubazione e per le ore di esercizio (24 h) si ottiene l'energia dispersa al giorno in kWh.

Per quanto riguarda l'inerziale, la dispersione totale è data dalla somma della dispersione della parte cilindrica (determinata come descritto precedentemente) con quella dei due fondelli. Per questi ultimi, si è considerata, per semplicità di calcolo, una superficie pari al doppio dell'area di base del cilindro.

La formula adottata per la stima della dispersione dei fondelli è la seguente, con $U = 0.29$ W/m^2K e A = somma delle due aree dei fondelli.

$$Q = U * A * (T_{fluidoint} - T_{fluidoext})$$

Per quanto riguarda la differenza di temperatura, anche nel caso dell'accumulo, così come per la rete di distribuzione, si è pensato di farla variare in modo da capirne l'incisione sulle dispersioni.

TEMPERATURA FLUIDO INTERNO (ACQUA)	[°C]	42	42	42	42	48	48	48	48
TEMPERATURA FLUIDO ESTERNO (ARIA)	[°C]	5	10	20	28	5	10	20	28

Quanto detto finora è riassunto nelle tabelle seguenti.

Caso 1 : coibentazione semplice

- $T_{fluido_interno} = 42^{\circ}C$

		37		32		22		14	
		42°C-5°C		42°C-10°C		42°C-20°C		42°C-28°C	
DISTRIBUZIONE	Δt [°C]	[W]	[kWht]	[W]	[kWht]	[W]	[kWht]	[W]	[kWht]
Ricircolo \varnothing 16	55	373	8,95	323	7,74	222	5,32	141	3,39
\varnothing 3/4"	6	55	1,32	48	1,14	33	0,79	21	0,50
\varnothing 1"	6	64	1,54	55	1,33	38	0,92	24	0,58
\varnothing 1"1/4	6	76	1,81	65	1,57	45	1,08	29	0,69
\varnothing 1"1/2	6	83	2,00	72	1,73	49	1,19	31	0,76
\varnothing 2"	31	416	9,98	360	8,63	247	5,94	157	3,78
potenze disperse [W]		1.067		923		634		404	
ENERGIA DISPERSA IN UN GIORNO [kWh]		25,6		22,1		15,2		9,7	
ENERGIA DISPERSA PER UN PERIODO DI 90 GIORNI		2.305		1.993		1.370		872	
TOTALI ANNO [kWht]		6.540							

Tabella 8 - Dispersioni coibentazione semplice $T_i=42^{\circ}C$

- Tfluido_interno = 48°C

		43		38		28		20	
		48°C-5°C		48°C-10°C		48°C-20°C		48°C-28°C	
DISTRIBUZIONE	Δt [°C]	[W]	[kWht]	[W]	[kWht]	[W]	[kWht]	[W]	[kWht]
Ricircolo Ø 16	55	433	10,40	383	9,19	282	6,77	202	4,84
Ø 3/4"	6	64	1,54	57	1,36	42	1,00	30	0,71
Ø 1"	6	75	1,79	66	1,58	49	1,17	35	0,83
Ø 1"1/4	6	88	2,11	78	1,86	57	1,37	41	0,98
Ø 1"1/2	6	97	2,32	85	2,05	63	1,51	45	1,08
Ø 2"	31	483	11,60	427	10,25	315	7,56	225	5,40
potenze disperse [W]		1.240		1.096		807		577	
ENERGIA DISPERSA IN UN GIORNO [kWh]		29,8		26,3		19,4		13,8	
ENERGIA DISPERSA PER UN PERIODO DI 90 GIORNI		2.678		2.367		1.744		1.246	
TOTALI ANNO [kWht]		8.035							
		16%		19%		27%		43%	
AUMENTO ENERGIA DISPERSA		23%							

Tabella 9 - Dispersioni coibentazione semplice Ti=48°C

Caso 2 : coibentazione doppia

- Tfluido_interno = 42°C

		37		32		22		14	
		42°C-5°C		42°C-10°C		42°C-20°C		42°C-28°C	
DISTRIBUZIONE	Δt	[W]	[kWht]	[W]	[kWht]	[W]	[kWht]	[W]	[kWht]
Ricircolo Ø 16	55	271	6,51	235	5,63	161	3,87	103	2,46
Ø 3/4"	6	38	0,91	33	0,79	23	0,54	14	0,35
Ø 1"	6	43	1,04	37	0,90	26	0,62	16	0,39
Ø 1"1/4	6	50	1,19	43	1,03	30	0,71	19	0,45
Ø 1"1/2	6	54	1,30	47	1,12	32	0,77	20	0,49
Ø 2"	31	269	6,45	232	5,58	160	3,83	102	2,44
potenze disperse [W]		725		627		431		274	
ENERGIA DISPERSA IN 24 ORE		17,4		15,1		10,3		6,6	
DURATA PERIODO PER OGNI CONDIZIONE: 90 giorni		1.566		1.355		931		593	
TOTALI ANNO [kWht]		4.445							

Tabella 10 - Dispersioni coibentazione doppia Ti=42°C

- Tfluido_interno = 48°C

	Δt	43		38		28		20	
		48°C-5°C		48°C-10°C		48°C-20°C		48°C-28°C	
DISTRIBUZIONE	[m]	[W]	[kWht]	[W]	[kWht]	[W]	[kWht]	[W]	[kWht]
Ricircolo \varnothing 16	55	315	7,56	278	6,68	205	4,92	147	3,52
\varnothing 3/4"	6	44	1,06	39	0,94	29	0,69	21	0,49
\varnothing 1"	6	50	1,21	44	1,07	33	0,79	23	0,56
\varnothing 1"1/4	6	58	1,39	51	1,23	38	0,90	27	0,65
\varnothing 1"1/2	6	63	1,51	56	1,33	41	0,98	29	0,70
\varnothing 2"	31	312	7,49	276	6,62	203	4,88	145	3,49
potenze disperse [W]		843		745		549		392	
ENERGIA DISPERSA IN 24 ORE		20,2		17,9		13,2		9,4	
DURATA PERIODO PER OGNI CONDIZIONE: 90 giorni		1.820		1.609		1.185		847	
TOTALI ANNO [kWht]		5.461,0							

Tabella 11 - Dispersioni coibentazione doppia $T_i=48^\circ\text{C}$

Dall'analisi di queste quattro situazioni si possono ricavare le seguenti informazioni, alcune di evidente ovvietà:

- 1) disperde maggiormente il caso con coibentazione semplice;
- 2) disperde maggiormente il caso in cui la temperatura del fluido interno è 48°C perché il ΔT è più elevato
- 3) ovviamente, avendo cambiato in entrambe le situazioni (sia con temperatura del fluido interno di 42°C che con quella di 48°C) lo spessore, raddoppiandolo, la percentuale di energia dispersa totale risparmiata rimane invariata e pari al 23%.
- 4) le dispersioni della rete di ricircolo risultano più elevate di quelle del tubo con diametro maggiore pari a 2", pertanto si potrebbero pensare ad alcuni modi per far diminuire questo valore, dal momento che il ricircolo non esige di una portata d'acqua elevata, ma serve a mantenere la temperatura a 40-42°C nella rete di distribuzione.
- 5) in inverno le dispersioni sono elevate ma il ΔT incide poco, mentre in estate le dispersioni sono ridotte ma il ΔT influenza molto (a questo si devono le percentuali di 16% in inverno e 43% in estate).

Inserendo le informazioni riguardanti sia la rete di distribuzione sia l'inerziale si ottengono le seguenti percentuali di risparmio. Ovviamente, il caso migliore sarà quello in cui la temperatura del fluido esterno è maggiore poiché le dispersioni risultano minori.

DISPERSIONE MEDIA GIORNALIERA [kWh] COIBENTAZIONE SEMPLICE									
INERZIALE	T. est. [°C]	5		10		20		28	
	T. fluido [°C]	42	48	42	48	42	48	42	48
	[kWh]	2,64	3,07	2,28	2,71	1,57	2,00	1,00	1,43
RETE DISTRIBUTIVA CON ISOLAMENTO SEMPLICE	T. est. [°C]	5		10		20		28	
	T. fluido [°C]	42	48	42	48	42	48	42	48
	Ricircolo Ø 16	8,9	10,4	7,7	9,2	5,3	6,8	3,4	4,8
	Ø 3/4"	1,3	1,5	1,1	1,4	0,8	1,0	0,5	0,7
	Ø 1"	1,5	1,8	1,3	1,6	0,9	1,2	0,6	0,8
	Ø 1"1/4	1,8	2,1	1,6	1,9	1,1	1,4	0,7	1,0
	Ø 1"1/2	2,0	2,3	1,7	2,1	1,2	1,5	0,8	1,1
	Ø 2"	10,0	11,6	8,6	10,3	5,9	7,6	3,8	5,4
[kWh]	28,2		24,4		16,8		10,7		
		32,8		29,0		21,4		15,3	
RISPARMIO			-14%		-31%		-36%		
				-12%		-26%		-29%	

Tabella 12 – Dispersione media giornaliera, coibentazione semplice

DISPERSIONE MEDIA GIORNALIERA [kWh _t] COIBENTAZIONE DOPPIA									
INERZIALE	T. est. [°C]	5		10		20		28	
	T. fluido [°C]	42	48	42	48	42	48	42	48
	Volume 2000 litri	2,64	3,07	2,28	2,71	1,57	2,00	1,00	1,43
RETE DISTRIBUTIVA CON ISOLAMENTO DOPPIO	T. est. [°C]	5		10		20		28	
	T. fluido [°C]	42	48	42	48	42	48	42	48
	Ricircolo Ø 16	6,5	7,6	5,6	6,7	3,9	4,9	2,5	3,5
	Ø 3/4"	0,9	1,1	0,8	0,9	0,5	0,7	0,3	0,5
	Ø 1"	1,0	1,2	0,9	1,1	0,6	0,8	0,4	0,6
	Ø 1"1/4	1,2	1,4	1,0	1,2	0,7	0,9	0,5	0,6
	Ø 1"1/2	1,3	1,5	1,1	1,3	0,8	1,0	0,5	0,7
	Ø 2"	6,4	7,5	5,6	6,6	3,8	4,9	2,4	3,5
	[kWh _t]	20,0		17,3		11,9		7,6	
			23,3		20,6		15,2		10,8
	RISPARMIO			-14%		-31%		-36%	
					-12%		-26%		-29%

Tabella 13 - Dispersione media giornaliera, coibentazione doppia

A questo punto, si è voluto studiare l'incidenza della rete di distribuzione, della rete di ricircolo e dell'inerziale sul totale. Come volevasi dimostrare, le dispersioni maggiori riguardano la rete di distribuzione (60% del totale), cui seguono quelle della rete di ricircolo (30%) ed infine quelle dell'inerziale (10%).

Lo stesso confronto può essere fatto sia in termini di potenza che di energia, come mostrato nelle figure sottostanti.

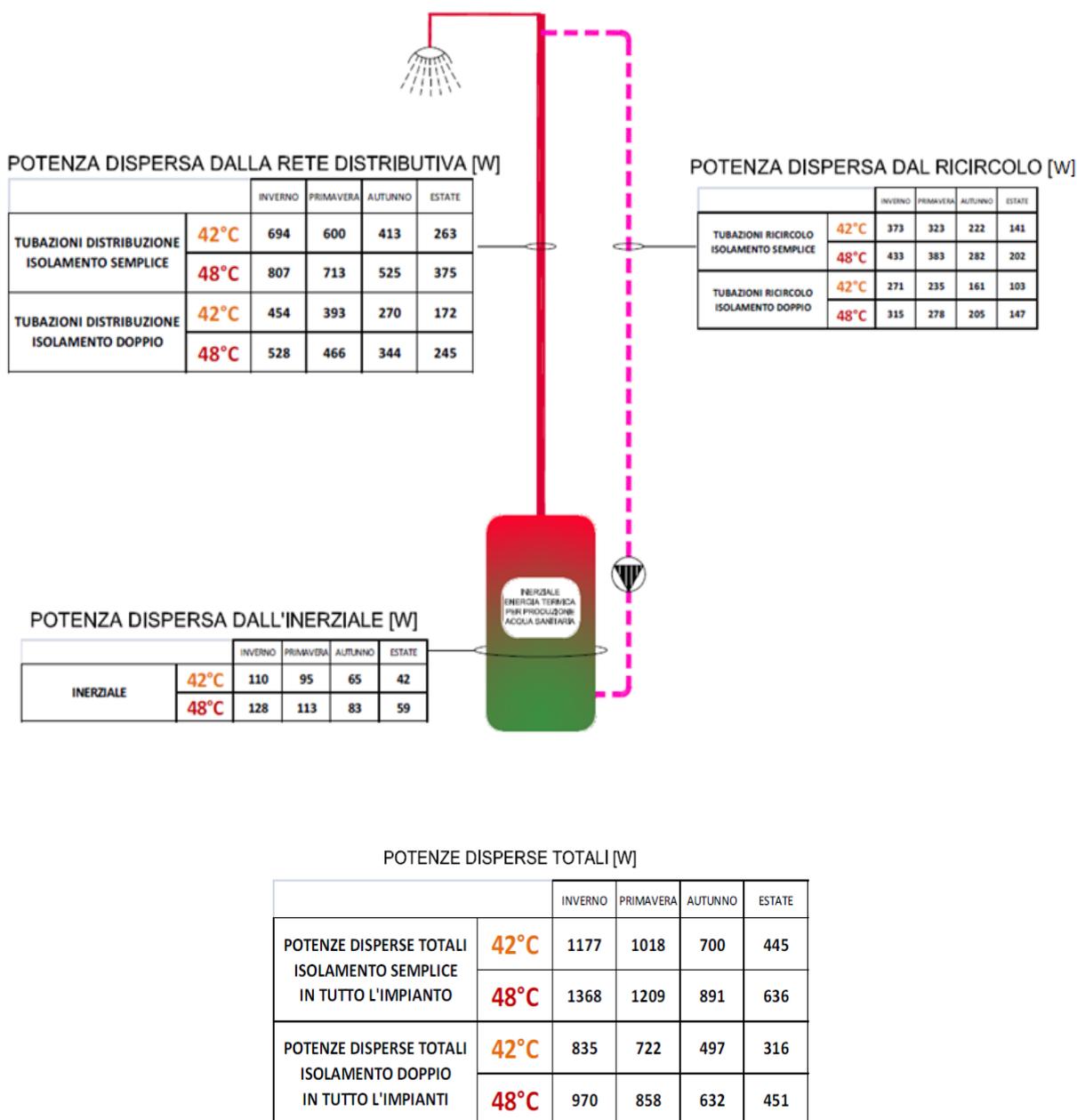


Figura 49 - Riassunto potenze disperse

Come da aspettativa, le dispersioni maggiori si hanno in inverno e nel caso di temperatura del fluido interno pari a 48°C, cioè nelle condizioni che garantiscono solo il comfort, poiché il ΔT risulta più elevato e, di conseguenza, anche il flusso termico.

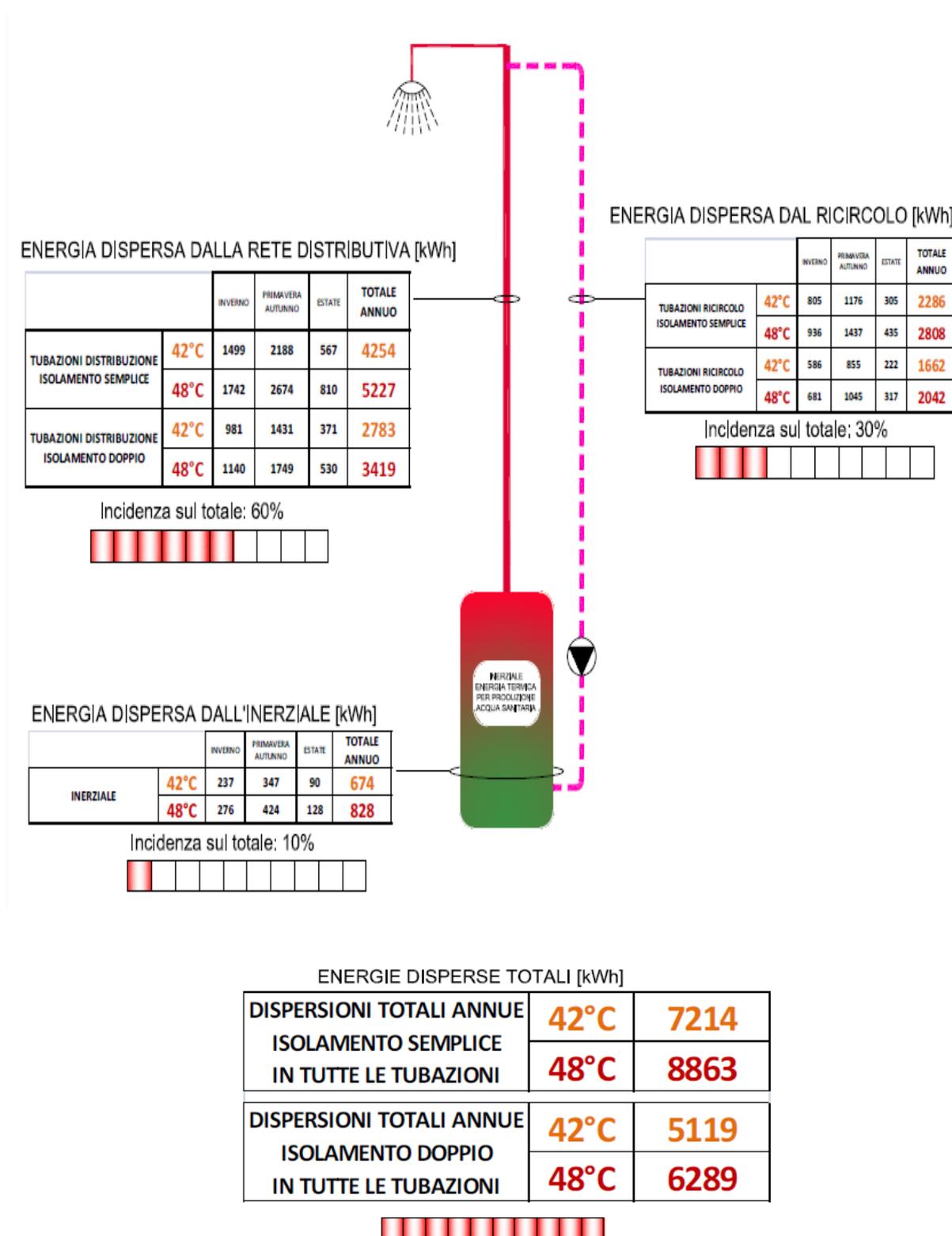


Figura 50 - Riassunto energie disperse

Oltre al calcolo delle dispersioni in termini di potenza ed energia per il “caso studio”, si è pensato di analizzare quattro situazioni generali:

- a) caldaia tradizionale
- b) caldaia con doppia coibentazione
- c) pompa di calore con doppia coibentazione e temperatura di comfort (48°C)
- d) pompa di calore con doppia coibentazione e temperatura di risparmio (42°C)

Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti, caso per caso.

Caso a: caldaia tradizionale

Si è deciso di utilizzare per lo studio una caldaia *Paradigma Modulo II* con potenza di 61 kW e rendimento di 98,4%. Per quanto riguarda lo schema dei montanti, si considera il ricircolo di 1" ¼ e l'isolamento semplice.

Naturalmente, le formule utilizzate per il calcolo delle dispersioni nella rete di distribuzione, di ricircolo e per l'inerziale sono identiche a quelle usate precedentemente.

Rendimento utile caldaia P.C.I					
40/30°C P.C.I al 30...100% della potenza	%	108,5...104,6	108,5...104,6	109...105,8	108,2...104,1
75/60°C P.C.I min...max	%	97,6...97,2	97,6...97,2	98,4...98,3	96,8...97,9
Perdita max calore al mantello (75/60°C) min	%	0,7	0,7	0,96	1,46
max	%	0,1	0,1	0,1	0,2

Tabella 14 - Dati caldaia tradizionale

CALDAIA TRADIZIONALE									
	Δt	43		38		38		23	
		48°C-5°C		48°C-10°C		48°C-10°C		48°C-25°C	
DISTRIBUZIONE	[m]	[W]	[kWht]	[W]	[kWht]	[W]	[kWht]	[W]	[kWht]
Ricircolo \varnothing 1"1/4	55	805	19,32	712	17,08	712	17,08	431	10,34
\varnothing 2"	31	483	11,58	426	10,23	426	10,23	258	6,19
\varnothing 2"	6	93	2,24	83	1,98	83	1,98	50	1,20
\varnothing 2"	6	93	2,24	83	1,98	83	1,98	50	1,20
\varnothing 2"	6	93	2,24	83	1,98	83	1,98	50	1,20
\varnothing 2"	6	93	2,24	83	1,98	83	1,98	50	1,20
potenze disperse [W]		1.661		1.468		1.468		889	
ENERGIA DISPERSA IN 24 ORE [kWht]		39,9		35,2		35,2		21,3	
ENERGIA DISPERSA NEL PERIODO DI 90 GIORNI [kWht]		3.588		3.171		3.171		1.919	
TOTALE ANNO DISTRIBUZIONE [kWht]		11.850							

Tabella 15 - Dispersioni caldaia tradizionale

Occorre precisare che le temperature esterne considerate nei casi con caldaia sono diverse da quelle usate per la pompa di calore e sono pari a:

Te	
5	°C
10	°C
10	°C
25	°C

Tabella 16 - Temperature esterne, caldaia

Per l'accumulo i risultati ottenuti sono i seguenti:

ACCUMULO CALDAIA TRADIZIONALE							
70°C-5°C		70°C-10°C		70°C-10°C		70°C-25°C	
[kWh/giorno]	90 giorni	[kWh/giorno]	90 giorni	[kWh/giorno]	90 giorni	[kWh/giorno]	90 giorni
4,6	417,2	4,3	385,1	4,3	385,1	3,2	288,8
TOTALE ANNUO ACCUMULO [kWh] 1476,3							

Tabella 17 - Dispersioni accumulo caldaia tradizionale

Di conseguenza, le dispersioni totali risultano pari a:

TOTALE ANNO DISPESIONI [kWh_t]	13.327
---	---------------

A questo punto, è possibile calcolare l'energia primaria dividendo le dispersioni per il resa della caldaia di 98,4%. Dopodiché, si trovano le tonnellate equivalenti di petrolio grazie alla relazione:

$$1 \text{ kWh}_t = 8,5985 \cdot 10^{-5} \text{ TEP}$$

Conoscendo il valore di energia primaria, moltiplicandolo per un fattore pari a 0.2 si ottiene la quantità di CO₂ prodotta in chili. Tale fattore deriva dalla relazione per cui ad 1kWh_t corrispondono 0.2 kg di CO₂. Quanto detto è riassunto nella tabella che segue.

RESA	98,4
ENERGIA PRIMARIA [kWh_t]	13.543
TEP	1,165
CO₂ [kg]	2.709

Tabella 18 - CO₂ prodotta dalla caldaia tradizionale

Caso b: caldaia con doppia coibentazione

In questo caso, i miglioramenti si ottengono con un doppio isolamento della rete di distribuzione e ricircolo. Inoltre, ciò che differisce rispetto alla situazione precedente è il diametro della tubazione di ricircolo pari a Ø 16.

Con questi dati, si procede al calcolo delle dispersioni in termini di potenza ed energia, ottenendo quanto riportato nella tabella successiva.

CALDAIA, DOPPIA COIBENTAZIONE									
	Δt	43		38		38		23	
		48°C-5°C		48°C-10°C		48°C-10°C		48°C-25°C	
DISTRIBUZIONE	[m]	[W]	[kWht]	[W]	[kWht]	[W]	[kWht]	[W]	[kWht]
Ricircolo \varnothing 16	55	315	7,56	278	6,68	278	6,68	169	4,05
\varnothing 3/4"	6	44	1,06	39	0,94	39	0,94	24	0,57
\varnothing 1"	6	50	1,21	44	1,07	44	1,07	27	0,65
\varnothing 1"1/4	6	58	1,39	51	1,23	51	1,23	31	0,74
\varnothing 1"1/2	6	63	1,51	56	1,33	56	1,33	34	0,81
\varnothing 2"	31	312	7,49	276	6,62	276	6,62	167	4,01
potenze disperse [W]		843		745		745		451	
ENERGIA DISPERSA IN 24 ORE			20,2		17,9		17,9		10,8
ENERGIA DISPERSA NEL PERIODO DI 90 GIORNI [kWht]			1.820		1.609		1.609		974
TOTALI ANNO [kWht]		6.011							

Tabella 19 - Dispersioni caldaia con doppia coibentazione

Per l'accumulo i risultati ottenuti sono i seguenti:

ACCUMULO CALDAIA, DOPPIA COIBENTAZIONE							
48°C-5°C		48°C-10°C		48°C-10°C		48°C-25°C	
[kWh/giorno]	90 giorni	[kWh/giorno]	90 giorni	[kWh/giorno]	90 giorni	[kWh/giorno]	90 giorni
3,07	276,3	2,71	243,9	2,71	243,9	1,64	147,6
TOTALE ANNUO ACCUMULO [kWh] 911,7							

Tabella 20 - Dispersioni accumulo caldaia con doppia coibentazione

Le dispersioni totali pertanto sono pari a :

TOTALE ANNO DISPERSIONI [kWht]	6.923
---------------------------------------	--------------

Proseguendo con il calcolo dell'energia primaria, delle tonnellate equivalenti di petrolio e dei chili di anidride carbonica prodotta si ricavano i seguenti valori.

RESA	98,4
ENERGIA PRIMARIA [kWh_t]	7.035
TEP	0,605
CO₂ [kg]	1.407

Tabella 21 - CO₂ prodotta dalla caldaia con doppia coibentazione

Il dato che immediatamente si nota è il dimezzamento sia delle dispersioni sia della quantità di CO₂ emessa in questo secondo caso rispetto al precedente. Tale risultato è da addebitarsi all'utilità del doppio isolamento.

Caso c: pompa di calore con doppia coibentazione e temperatura di comfort (48°C)

Quello che si attende da questa prova sperimentale è sicuramente una diminuzione delle dispersioni e della CO₂ prodotta in quanto già dalla teoria si sa che la pompa di calore è un sistema più efficiente.

Le pompe di calore utilizzano l'energia elettrica per estrarre l'energia termica contenuta nell'aria, nell'acqua o nel suolo, senza emissioni dirette in atmosfera e senza utilizzo di combustibili fossili.

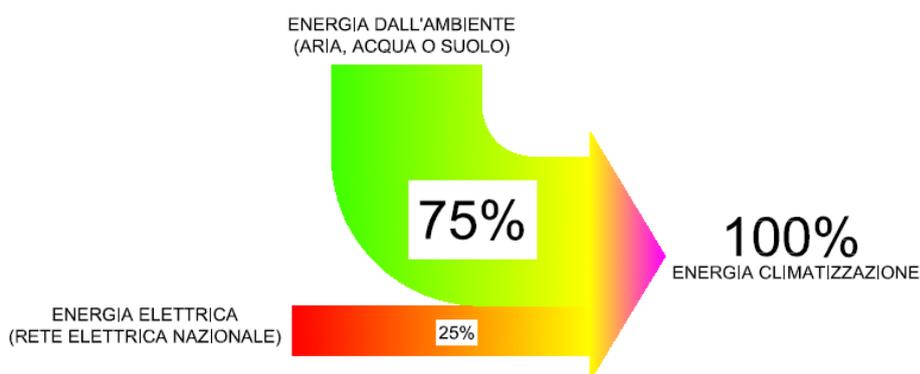


Figura 51 - Produzione energia da pompa di calore

Per produrre 1kWh di energia termica con un sistema a caldaia occorre bruciare 0,1 litri di gasolio o 0.1 m³ di metano. Con 1 kWh_t di energia primaria il sistema di produzione e distribuzione di energia elettrica è in grado di generare circa 0,46 kWh elettrici. La

produzione di energia termica mediante pompa di calore con COP=4 converte 1kWh elettrico in 4 kWh termici, pertanto, con le dovute conversioni si ottiene che con 1 kWh di energia primaria (combustibile fossile), utilizzando la pompa di calore, si possono ottenere circa 1,84 kWh termici.

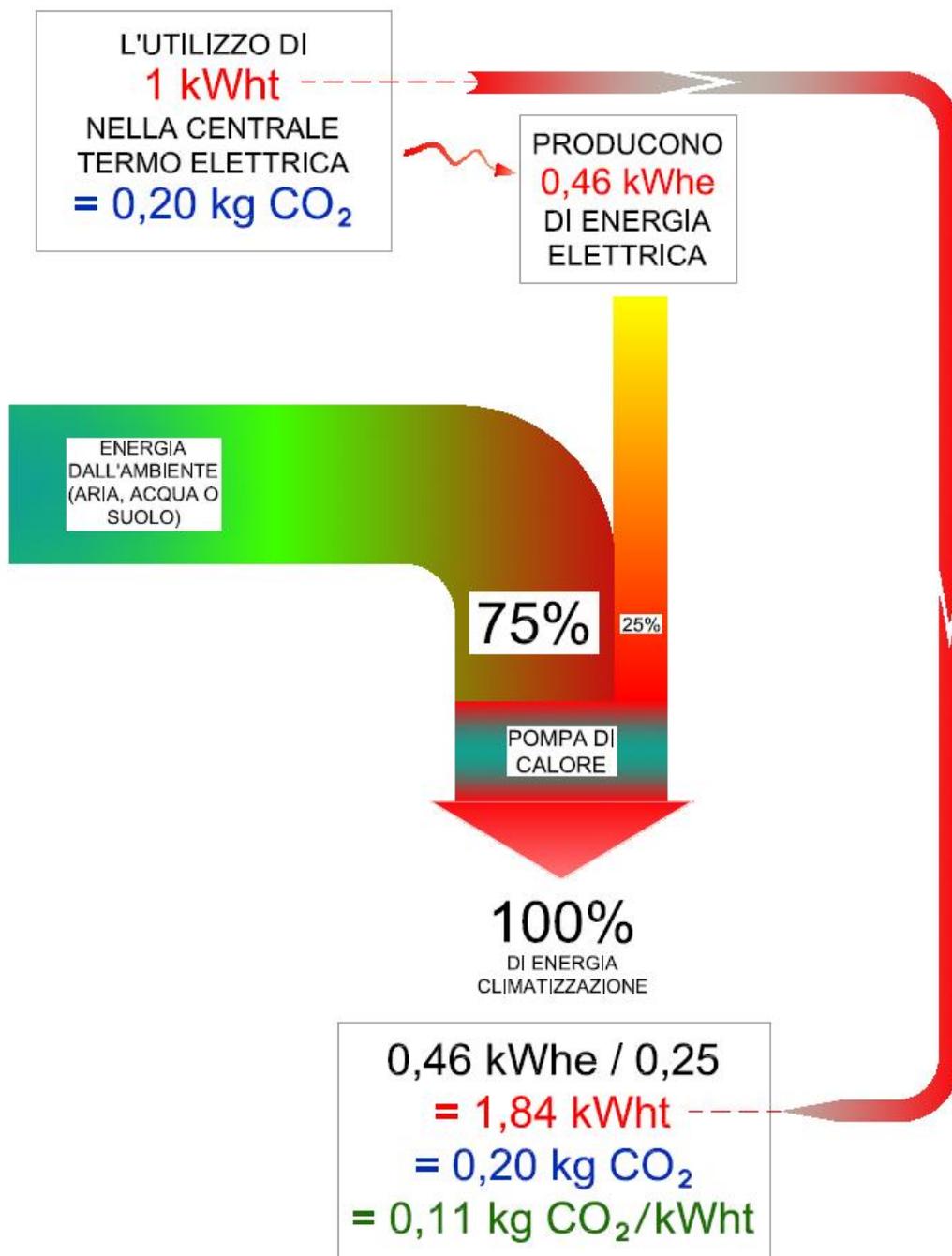


Figura 52 - Significato dell'energia prodotta con pompa di calore

La pompa adottata per i successivi calcoli è la *pompa di calore GSI 255* con potenza di circa 67 kW, COP pari a 3,10 e potenza assorbita di 21,6 kW.

Sempre adottando i procedimenti e le formule precedenti, i risultati ottenuti in questo caso sono:

POMPA DI CALORE, DOPPIA COIBENTAZIONE - ALTA TEMPERATURA									
Δt		43		38		28		20	
		48°C-5°C		48°C-10°C		48°C-20°C		48°C-28°C	
DISTRIBUZIONE	[m]	[W]	[kWht]	[W]	[kWht]	[W]	[kWht]	[W]	[kWht]
Ricircolo Ø 16	55	315	7,56	278	6,68	205	4,92	147	3,52
Ø 3/4"	6	44	1,06	39	0,94	29	0,69	21	0,49
Ø 1"	6	50	1,21	44	1,07	33	0,79	23	0,56
Ø 1"1/4	6	58	1,39	51	1,23	38	0,90	27	0,65
Ø 1"1/2	6	63	1,51	56	1,33	41	0,98	29	0,70
Ø 2"	31	312	7,49	276	6,62	203	4,88	145	3,49
potenze disperse [W]		843		745		549		392	
ENERGIA DISPERSA IN 24 ORE		20,2		17,9		13,2		9,4	
ENERGIA DISPERSA NEL PERIODO DI 90 GIORNI [kWht]		1.820		1.609		1.185		847	
TOTALI ANNO [kWht]		5.461							

Tabella 22 - Dispersioni pompa di calore, doppia coibentazione, alta temperatura

Le temperature esterne nelle quattro stagioni, nel caso della pompa di calore sono:

Te	
5	°C
10	°C
20	°C
28	°C

Tabella 23 - Temperature esterne, pompa di calore

Per quanto riguarda l'accumulo, i risultati ricavati sono riportati nella tabella di seguito.

ACCUMULO, POMPA DI CALORE – ALTA TEMPERATURA							
48°C-5°C		48°C-10°C		48°C-20°C		48°C-28°C	
[kWh/giorno]	90 giorni	[kWh/giorno]	90 giorni	[kWh/giorno]	90 giorni	[kWh/giorno]	90 giorni
3,07	276,3	2,71	243,9	2	180	1,43	128,7
TOTALE ANNUO ACCUMULO [kWh] 828,9							

Tabella 24 - Dispersioni accumulo, pompa di calore, alta temperatura

Le dispersioni totali, quindi, risultano pari a:

TOTALE ANNO DISPERSIONI [kWh_t]	6.290
--	--------------

Come mostrato precedentemente dalla teoria, in questo caso per ottenere l'energia primaria occorre prima calcolare i kWh elettrici dal rapporto tra le dispersioni totali e il COP. A questo punto l'energia primaria si ottiene dividendo quest'ultimo valore per 0,46.

$$\text{kWh}_e = \text{dispersioni totali} / \text{COP}$$

$$\text{kWh}_t = \text{kWh}_e / 0.46$$

Per ottenere le tonnellate di petrolio equivalente e i kg di CO₂, invece, si adottano i procedimenti precedenti.

COP	3,1
ENERGIA PRIMARIA [kWh_t]	4.411
TEP	0,379
CO₂ [kg]	882

Tabella 25 - CO₂ prodotta da pompa di calore, alta temperatura

Caso d: pompa di calore con doppia coibentazione e temperatura di risparmio (42°C)

In tale caso, rispetto al precedente, viene variato come parametro la temperatura, ridotta al valore di 42°C.

La pompa adottata per i successivi calcoli è la *pompa di calore GSI 255* con potenza di circa 70 kW, COP pari a 4,23 e potenza assorbita di 16,6 kW.

Le dispersioni della rete di distribuzione, di ricircolo e dell'accumulo sono riportati nelle tabelle seguenti.

POMPA DI CALORE, DOPPIA COIBENTAZIONE - BASSA TEMPERATURA									
	Δt	37		32		32		14	
		42°C-5°C		42°C-10°C		42°C-20°C		42°C-28°C	
DISTRIBUZIONE	[m]	[W]	[kWht]	[W]	[kWht]	[W]	[kWht]	[W]	[kWht]
Ricircolo \varnothing 16	55	271	6,51	235	5,63	235	5,63	103	2,46
\varnothing 3/4"	6	38	0,91	33	0,79	33	0,79	14	0,35
\varnothing 1"	6	43	1,04	37	0,90	37	0,90	16	0,39
\varnothing 1"1/4	6	50	1,19	43	1,03	43	1,03	19	0,45
\varnothing 1"1/2	6	54	1,30	47	1,12	47	1,12	20	0,49
\varnothing 2"	31	269	6,45	232	5,58	232	5,58	102	2,44
potenze disperse [W]		725		627		627		274	
ENERGIA DISPERSA IN 24 ORE		17,4		15,1		15,1		6,6	
ENERGIA DISPERSA NEL PERIODO DI 90 GIORNI [kWht]		1.566		1.355		1.355		593	
TOTALI ANNO [kWht]		4.868							

Tabella 26 - Dispersioni pompa di calore, doppia coibentazione, bassa temperatura

ACCUMULO, POMPA DI CALORE							
42°C-5°C		42°C-10°C		42°C-20°C		42°C-28°C	
[kWh/giorno]	90 giorni	[kWh/giorno]	90 giorni	[kWh/giorno]	90 giorni	[kWh/giorno]	90 giorni
2,6	237,5	2,3	205,4	1,6	141,2	1,0	89,9
TOTALE ANNUO ACCUMULO [kWh] 674,0							

Tabella 27 - Dispersioni accumulo, doppia coibentazione, bassa temperatura

Il valore delle dispersioni totali, quindi, è pari a :

TOTALE ANNO DISPESIONI [kWh_t]	5.542
---	--------------

Seguendo lo stesso procedimento per il calcolo dei kWh elettrici, dell'energia primaria e della quantità di CO₂ emessa, si ottengono i seguenti valori.

COP	4,23
ENERGIA PRIMARIA [kWh_t]	2.848
TEP	0,245
CO₂ [kg]	570

Tabella 28 - CO₂ prodotta da pompa di calore, bassa temperatura

Riassumendo, le dispersioni totali e la quantità di anidride carbonica dei quattro casi sono evidenziate nei grafici sottostanti.

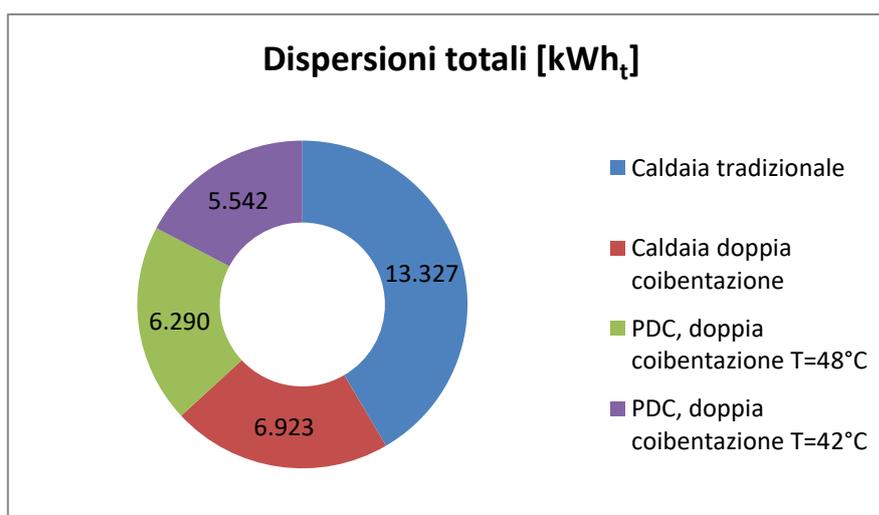


Figura 53 - Dispersioni totali

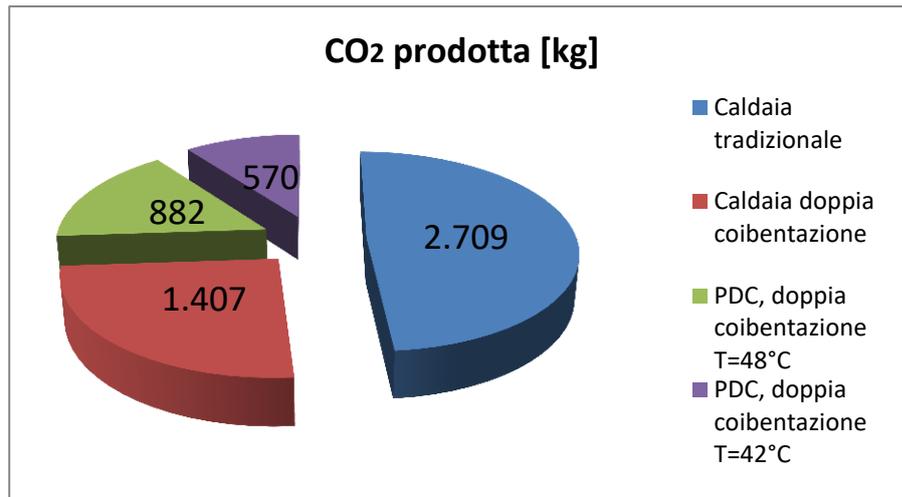


Figura 54 - Anidride carbonica prodotta

Da questi ultimi due grafici, è chiaro come la soluzione migliore sia in termini di dispersioni che di produzione di CO₂ sia l'ultima, ovvero con pompa di calore con doppia coibentazione e temperatura di risparmio di 42°C.

La riduzione maggiore si nota nel passaggio dalla caldaia tradizionale a quella con doppia coibentazione in cui si dimezzano sia le dispersioni che la quantità di anidride carbonica. Proseguendo con gli altri casi, i risultati ottenuti sono sempre migliori sia per quanto riguarda l'energia dissipata sia per ciò che concerne l'impatto ambientale.

In conclusione, tra la situazione proposta inizialmente e quella finale vi è un guadagno in termini di minori dispersioni e minor CO₂ prodotta pari al 58%.

7. LEGIONELLA

Col termine legionellosi sono indicate tutte le forme di infezione causate da varie specie di batteri gram-negativi aerobi del genere legionella. Fino ad oggi, sono state identificate più di 40 specie di questi batteri: la pneumophila è la specie più pericolosa e ad essa sono imputati più del 90% dei casi di legionellosi.

Dal punto di vista clinico, la legionellosi può manifestarsi sotto due forme: la febbre di Pontiac e la malattia del Legionario. La prima si manifesta dopo un periodo di incubazione variabile da 1 a 2 giorni, ed è caratterizzata da una forte febbre, dolori muscolari, mal di testa e disturbi intestinali. La seconda si manifesta dopo un periodo di incubazione variabile da 2 a 10 giorni e può comportare febbre elevata, dolori muscolari, diarrea, mal di testa, dolori al torace, tosse, insufficienza renale, confusione mentale, disorientamento e letargia. È un'infezione che non si distingue chiaramente da altre forme, atipiche o batteriche, di polmonite. La terapia si basa sul trattamento con antibiotici oltre alle normali misure di supporto respiratorio o sistemico. La malattia, specie se diagnosticata tardi, o insorta in soggetti molto deboli, può portare al decesso.

La legionellosi viene normalmente acquisita per via respiratoria mediante inalazione, aspirazione o microaspirazione di aerosol contenente Legionella, oppure di particelle derivate per essiccamento. Le goccioline si possono formare sia spruzzando l'acqua che facendo gorgogliare aria in essa, o per impatto su superfici solide. La pericolosità di queste particelle di acqua è inversamente proporzionale alla loro dimensione. Gocce di diametro inferiore a 5 μ arrivano più facilmente alle basse vie respiratorie.

La maggior parte dei primi casi di legionellosi sono stati attribuiti a particelle di acqua aerodisperse, contenenti batteri provenienti da torri di raffreddamento o condensatori evaporativi o sezioni di umidificazione delle unità di trattamento dell'aria, successivamente, numerose infezioni sono risultate causate anche dalla contaminazione di impianti di acqua potabile, apparecchi sanitari, fontane e umidificatori ultrasonici.

La legionellosi può colpire anche persone sane e in buona salute, come appunto dimostra il caso dei Legionari di Filadelfia. Tuttavia, i fattori che predispongono alla malattia sono:

- l'immunodeficienza,
- le malattie croniche,
- il fumo,
- l'etilismo,
- l'età,
- il sesso del paziente.

La tabella seguente riassume e completa quanto sopra riportato.

	Legionellosi comunitaria	Legionellosi associata ai viaggi	Legionellosi nosocomiale
Modalità di trasmissione	Inalazione di aerosol contaminato (sospensione di particelle solide o liquide in aria)	Inalazione di aerosol contaminato	Inalazione di aerosol contaminato Aspirazione Infezione di ferite
Sorgente di infezione	Torri di raffreddamento Impianti idrici Vasche idromassaggio Stazioni termali Terriccio e composti per giardinaggio Impianti idrici di riuniti odontoiatrici	Torri di raffreddamento Impianti idrici Vasche idromassaggio Stabilimenti termali Umidificatori	Torri di raffreddamento Impianti idrici Piscine riabilitative Dispositivi per la respirazione assistita Vasche per il parto in acqua Altri trattamenti medici
Luogo e occasione di infezione	Siti industriali Centri commerciali Ristoranti Centri sportivi e centri benessere Residenze private	Alberghi Navi Campeggi Ristoranti Club Centri sportivi e centri benessere	Ospedali Utilizzo di dispositivi medici
Fattori di rischio (ambientali)	Vicinanza a sorgenti di trasmissione quali: torri di raffreddamento/condensatori evaporativi non mantenuti adeguatamente. Impianti idrici complessi e presenza di rami morti.	Soggiorno in alberghi o in camere con occupazione discontinua; erogazione intermittente dell'acqua, difficile controllo della temperatura; impianti idrici complessi; personale non formato per la prevenzione della legionellosi	Vapori in uscita da torri evaporative Impianti idrici complessi vetusti, con rami morti Impossibilità di garantire le temperature raccomandate Bassa pressione o flusso intermittente dell'acqua
Fattori di rischio (personali)	Età > 40 anni Sesso maschile Tabagismo Viaggi recenti Malattie concomitanti (diabete, malattie cardiovascolari, immunosoppressione da corticosteroidi, malattie croniche debilitanti, insufficienza renale cronica, malattie ematologiche, tumori, ipersideremia).	Età > 40 anni Sesso maschile Tabagismo Abuso di alcool Cambiamenti dello stile di vita Malattie concomitanti (diabete, malattie cardiovascolari e immunodepressione)	Immunosoppressione dovuta a trapianti o ad altre cause Interventi chirurgici a testa e collo, tumori, leucemie e linfomi, diabete, malattie croniche dell'apparato cardiaco e polmonare Utilizzo di dispositivi per la respirazione assistita Tabagismo e alcolismo

Tabella 29 - Fattori di rischio per infezione da Legionella per categoria di esposizione

7.1 Condizioni per lo sviluppo della legionellosi

I batteri della legionella sono presenti nei fiumi, nei laghi, nei pozzi e nelle acque termali. Possono essere presenti anche negli acquedotti, in quanto sono in grado di superare, senza eccessivi danni, i normali trattamenti di potabilizzazione. Ad esempio, alle normali concentrazioni di cloro per acqua potabile (0,2 ppm), questi batteri non subiscono alcuna azione; per avere effetti significativi, bisogna rimanere a concentrazioni di circa 1 ppm.

Comunque, la sola presenza di questi batteri non costituisce pericolo per le persone. I batteri diventano pericolosi solo quando sussistono contemporaneamente le seguenti condizioni:

- 1) Temperatura ottimale di sviluppo compresa tra 25 e 42°C (a 37°C la crescita dei batteri è massima)
- 2) Ambiente aerobico, ovvero ambiente con presenza di ossigeno
- 3) Presenza di elementi nutritivi (biofilm, scorie, ioni di ferro e di calcare, altri microrganismi)
- 4) Nebulizzazione dell'acqua, con formazione di microgocce aventi diametri variabili da 1 a 5 micron
- 5) Alto livello di contaminazione (generalmente si ritiene che tale livello debba superare i 1000 Cfu/l). Cfu/l (o ufc: unità formanti colonie) è l'unità di misura con cui si valuta la contaminazione dell'acqua e indica la quantità di microorganismi presenti in un litro d'acqua.

7.2 Impianti e processi tecnologici a rischio

Purtroppo, sono a rischio tutti gli impianti e i trattamenti tecnologici che operano nelle condizioni sopra riportate. Il fenomeno riguarda torri di raffreddamento, impianti di condizionamento, sistemi di emergenza, piscine, fontane, apparecchi di erogazione ossigeno, sistemi di raffreddamento macchine utensili e ovviamente, il caso di maggior interesse per il mio studio, gli impianti idrosanitari (tubazioni, serbatoio di accumulo, valvole e rubinetti, soffini di docce).

7.3 Dove vive e come si sviluppa la legionella

La legionella può trovarsi libera nell'acqua o ancorata a biofilm (cioè ad aggregati costituiti da altri batteri, alghe, polimeri e sali naturali). Questi ultimi si sviluppano dove ci sono i necessari supporti di ancoraggio, sostanze nutritive e adeguate temperature: tali condizioni si possono trovare nelle torri evaporative o nei tubi che convogliano acqua calda con velocità basse, cioè che non ostacolano con turbolenze l'ancoraggio e la crescita dei biofilm. Qui, la legionella può non solo svilupparsi, ma anche nascondersi. Questo aspetto va attentamente considerato in quanto rende del tutto inaffidabili i trattamenti di disinfestazione che agiscono solo localmente. Ne consegue, quindi, che in un impianto di acqua calda sanitaria non basta attuare la disinfestazione (chimica o termica) nel solo bollitore, sperando che, prima o poi, il circuito di ricircolo porti i batteri a passare attraverso il bollitore stesso. Sarebbe una speranza del tutto vana perché i batteri possono trovare nei biofilm rifugi sicuri. Dunque, cercare di contrastare la formazione dei biofilm è di grande importanza per risolvere il problema della legionella. In generale, è consigliabile utilizzare contenitori d'acqua e tubi con superfici a bassa aderenza per limitare la possibilità di ancoraggio dei biofilm. Per lo stesso motivo, è bene dimensionare i tubi con velocità elevate.

7.4 Trattamenti di disinfestazione

I trattamenti di disinfestazione mirano ad eliminare o limitare la presenza di legionella negli impianti. Diversi sono i metodi utilizzati.

1) Clorazione

Il cloro è un forte agente ossidante, da molti anni usato per la disinfestazione delle acque potabili. Per il trattamento antilegionella è però richiesto in dosi molto elevate e presenta effetti negativi quali: la formazione di sostanze ritenute cancerogene, l'insorgere di gravi fenomeni di corrosione, l'instabilità della concentrazione nel tempo, la poca penetrazione nei biofilm, l'insufficiente azione dove l'acqua ristagna, l'alterazione del gusto e del sapore dell'acqua.

2) Biossido di cloro

Possiede buone capacità antibatteriche, non produce alometani e permane relativamente a lungo nelle tubazioni. Le sue molecole, inoltre, possono entrare all'interno dei biofilm. Comporta, tuttavia, i seguenti svantaggi: deve essere prodotto

“in loco” con procedure abbastanza complesse, può corrodere le tubazioni anche se in modo meno grave del cloro, richiede costi di gestione alquanto elevati.

3) Ioni positivi di rame e di argento

Esercitano una forte azione battericida dovuta al fatto che la loro carica elettrica può alterare la permeabilità degli organismi cellulari e portare ad una degradazione proteica.

I principali svantaggi sono:

- non possono essere usati con superfici zincate in quanto lo zinco disattiva gli ioni d'argento
- la loro concentrazione non deve superare i limiti ammessi per l'acqua potabile
- richiedono costi elevati

4) Ozono

Può esercitare una forte azione contro la legionella, gli altri batteri e i protozoi presenti nei biofilm.

Si deve, tuttavia, considerare che il trattamento con ozono:

- richiede costi elevati per le attrezzature di produzione e dosaggio
- necessita di una manutenzione accurata
- ha un'efficacia alquanto limitata nel tempo
- degrada alcuni prodotti utilizzabili per trattamenti anticalcare e anticorrosione
- può accrescere la possibilità che si formino nuove infezioni.

5) Acqua ossigenata catalizzata

E' una tecnica di disinfestazione che associa all'acqua ossigenata un catalizzatore (solitamente un sale d'argento). La sua efficacia dipende dall'azione del catalizzatore. In teoria, l'acqua ossigenata presenta diversi vantaggi, tra cui prodotti di decomposizione non tossici.

6) Filtrazione

E' un trattamento che ha il suo punto di forza nella possibilità di ridurre la contaminazione dell'acqua senza alcuna aggiunta di prodotti chimici. Le tecniche in uso sono:

- Il sistema tradizionale con filtri di sabbia, che viene utilizzato soprattutto coi circuiti di raffreddamento;

- Il sistema con microfiltri ad elevata portata che si utilizza sia con i circuiti ad acqua calda sanitaria, sia con i circuiti di raffreddamento.

L'osmosi inversa è un trattamento di ultrafiltrazione che utilizza delle membrane semipermeabili in grado di trattenere il 99% delle sostanze presenti nell'acqua. Il principio di funzionamento consiste nell'applicare una pressione contraria all'osmosi naturale, in modo tale da portare l'acqua attraverso la membrana dalla soluzione più concentrata (concentrato) alla soluzione più diluita (permeato). Più l'acqua è ricca di sali e solidi disciolti e maggiore dovrà essere la spinta inversa.

TIPOLOGIA FILTRO	AZIONE	OBIETTIVO
Filtrazione meccanica	Rimozione fisica di particelle grossolane ($\geq 50\mu\text{m}$, DM443/90)	Protezione dell'impianto e delle apparecchiature poste a valle
Filtrazione specifica	Rimozione di ferro, manganese, arsenico, cloro libero, ecc.	Potabilizzazione acqua di falda
Osmosi inversa	Rimozione spinta con membrane semipermeabili	Acqua osmotizzata per usi industriali o particolari
		Potabilizzazione acqua di falda

Tabella 30 - Tipologie di filtrazione

I principali inconvenienti della filtrazione sono:

- richiede costi elevati;
- necessità di una manutenzione accurata;
- la sua efficacia non è costante nel tempo per la progressiva occlusione dei filtri;
- è esposta a rotture improvvise dei filtri;
- sussiste il pericolo di contaminazione dei filtri da parte di altri batteri.

7) Raggi ultravioletti

Sono in grado di inattivare i batteri che passano attraverso le apparecchiature di emissione dei raggi. Va, tuttavia, considerato che tali apparecchiature possono esercitare solo un'azione locale. Inoltre, la torbidità dell'acqua può creare coni d'ombra che proteggono i batteri. Pertanto all'azione dei raggi UV vanno associati altri sistemi di disinfestazione. Sussistono limiti anche per quanto riguarda la quantità di acqua che può essere trattata da ogni apparecchiatura.

Il flusso del fluido, infatti, sottoposto all'azione dei raggi deve avere uno spessore piccolo e questo riduce sensibilmente la portata delle apparecchiature utilizzate per il trattamento.

8) Trattamenti termici

Come nel caso della filtrazione, il punto di forza di questi trattamenti sta nel fatto che essi possono esercitare una completa azione battericida senza alcuna aggiunta di prodotti chimici e senza aver bisogno (come nel caso UV) di sistemi integrativi. La loro azione si basa sul fatto che le temperature elevate causano la morte di batteri in generale e della legionella in particolare. Il diagramma sotto riportato indica i tempi di sopravvivenza della legionella al variare della temperatura dell'acqua.

Tale diagramma (derivato da uno studio di J.M. HODGSON e B.J. CASEY) è ormai assunto, a livello internazionale, come sicuro punto di riferimento per la disinfezione termica della legionella e, di fatto, ha sostituito i vecchi diagrammi decisamente meno attendibili e più penalizzanti. In pratica, il diagramma ci assicura che se l'acqua è mantenuta sopra i 50°C non c'è alcun pericolo che si sviluppi la legionella, anzi la sua eliminazione avviene nel giro di qualche ora.

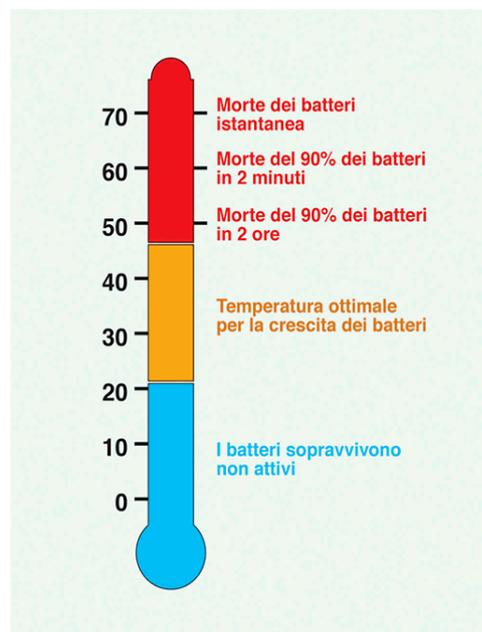


Figura 18 – Rischio legionella connesso alla temperatura

Quanto sopra detto è riassunto nella tabella seguente.

TRATTAMENTO	DESCRIZIONE	VANTAGGI	SVANTAGGI
Shock termico	Elevare la temperatura dell'acqua a 70-80°C per tre giorni e far scorrere l'acqua quotidianamente attraverso i rubinetti per un tempo di 30 min.	<ul style="list-style-type: none"> • Non richiede particolari attrezzature e quindi può essere messo in atto immediatamente 	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura $\geq 60^\circ\text{C}$ anche nei punti distali • Pericolo di scottature • Esclusione parte terminale dell'impianto • Azione corrosiva alte temperature
Dosaggio biossido di cloro	Presenza di un generatore in loco. Concentrazione da 0,1-1mg/l a seconda dei settori dell'impianto in cui viene impiegato (serbatoi, tubazioni, ecc).	<ul style="list-style-type: none"> • Buona efficacia di disinfezione e facilità di controllo 	<ul style="list-style-type: none"> • Diversa efficacia in base al materiale (gomma > plastica; non impiegabile con rame) • $5\text{NaClO}_2 + 4\text{HCl} \rightarrow 4\text{ClO}_2 + 5\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O}$ • Biossido di cloro è un gas instabile (esplosivo) • Vanno garantite le condizioni di sicurezza • Odore e sapore
Temperatura 55-60°C	Mantenimento costante della temperatura tra 55-60°C all'interno della rete ed a monte della miscelazione con acqua fredda.	<ul style="list-style-type: none"> • Buona efficacia di disinfezione 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispendio energetico e costi elevati • Garantire la temperatura anche nelle reti di distribuzione e parti terminali • Contro le norme sul risparmio energetico
Ultrafiltrazione	Installazione di filtri (<0,2µm) direttamente al punto d'uso.	<ul style="list-style-type: none"> • Efficace barriera fisica 	<ul style="list-style-type: none"> • Trattamento puntuale • Sostituzioni frequenti • Sistema costoso
Debatterizzazione UV	L'acqua scorre in una camera idraulica e l'esposizione alla luce ultravioletta generata da lampade la disinfetta.	<ul style="list-style-type: none"> • Facilità d'installazione • No effetti sulle tubature • Sapore non alterato • Non ci sono sottoprodotti 	<ul style="list-style-type: none"> • Il flusso deve avere uno spessore di pochi cm • L'acqua non deve essere torbida • Trattamento puntuale, non ha protezione residua • Tecnica relativamente costosa • Tecnica più efficace se installata vicina al punto d'uso.
Dosaggio ipoclorito di calcio o di sodio	Aggiunta continua di disinfettante, con concentrazione residua di cloro compresa tra 1-3mg/l.	<ul style="list-style-type: none"> • La concentrazione residua di cloro in tutto il sistema di distribuzione minimizza la colonizzazione della legionella 	<ul style="list-style-type: none"> • Il cloro è corrosivo per le tubature • Cloro residuo poco compatibile con standard potabili • Presenza di sottoprodotti (THM, cloroammine, ...) • Efficacia limitata sul biofilm • Odore e sapore

Tabella 31 - Trattamenti antilegionella

Nel caso specifico di impianti di produzione di acqua calda sanitaria, le Linee Guida L.G.A. 2000 prevedono come possibili trattamenti termici di disinfezione:

1. lo shock termico, da applicarsi in caso di grave contaminazione dell'impianto;
2. la disinfezione termica, da utilizzarsi quale sistema preventivo per inattivare la legionella.

Shock termico

Occorre elevare la temperatura dell'acqua a 70-80°C di continuo per 3 ore e far scorrere l'acqua quotidianamente attraverso i rubinetti per un tempo di 30 minuti. Alcuni autori raccomandano di svuotare preventivamente i serbatoi dell'acqua calda, di pulirli ed effettuare una decontaminazione con cloro (100 mg/l per 12-14 ore). È fondamentale verificare che, durante la procedura, la temperatura dell'acqua nei punti distanti raggiunga o ecceda i 60°C; se questa temperatura non viene raggiunta e mantenuta, la procedura non fornisce garanzie. Alla fine, si devono effettuare dei prelievi d'acqua e procedere con un controllo batteriologico.

Questo procedimento non richiede particolari attrezzature e, quindi, può essere messo in atto immediatamente, ma necessita di tempo, personale e dell'installazione di sonde a distanza, per controllare la temperatura dell'acqua nei punti distali, nei serbatoi e il tempo di scorrimento dell'acqua. Inoltre, è una modalità di disinfezione sistemica ma temporanea in quanto la ricolonizzazione dell'impianto idrico può verificarsi in un periodo di tempo variabile da alcune settimane ad alcuni mesi dopo lo shock termico se la temperatura dell'acqua circolante ritorna al di sotto dei 50°C.

Disinfezione termica

Nel caso di impianti a doppia regolazione, la prima (costituita da un termostato regolato a 55-60°C) serve a regolare la temperatura di accumulo, mentre la seconda (costituita da un miscelatore) serve a regolare la temperatura di distribuzione dell'acqua calda a 42-44°C. In base alle temperature normalmente utilizzate, la legionella non può svilupparsi nei bollitori, ma soltanto nelle reti di distribuzione e di ricircolo. Per ottenere la disinfezione termica di questi impianti si può:

- 1) by-passare il miscelatore con una valvola elettrica a due vie asservita ad un orologio programmatore;
- 2) fissare (con l'aiuto di un termostato) a 60°C la temperatura di produzione dell'acqua calda;
- 3) mandare in apertura la valvola di by-pass per mezz'ora nel periodo notturno, considerato a minor consumo d'acqua, facendo circolare acqua a 60°C.

Per attuare la disinfezione termica possono essere utilizzati schemi simili a quelli presentati di seguito. Il primo utilizza un miscelatore elettronico con centralina programmabile su due livelli di temperatura: quello per il funzionamento normale e quello per la disinfezione notturna. Il secondo, invece, utilizza un miscelatore termostatico e valvole a due vie asservite da un orologio programmatore. Le valvole a due vie sono poste a by-pass del miscelatore e su un braccio del ricircolo. In regime normale la valvola del ricircolo è aperta e quella di by-pass del miscelatore è chiusa. Al contrario, durante la disinfezione notturna la valvola di by-pass è aperta e chiusa quella del ricircolo.

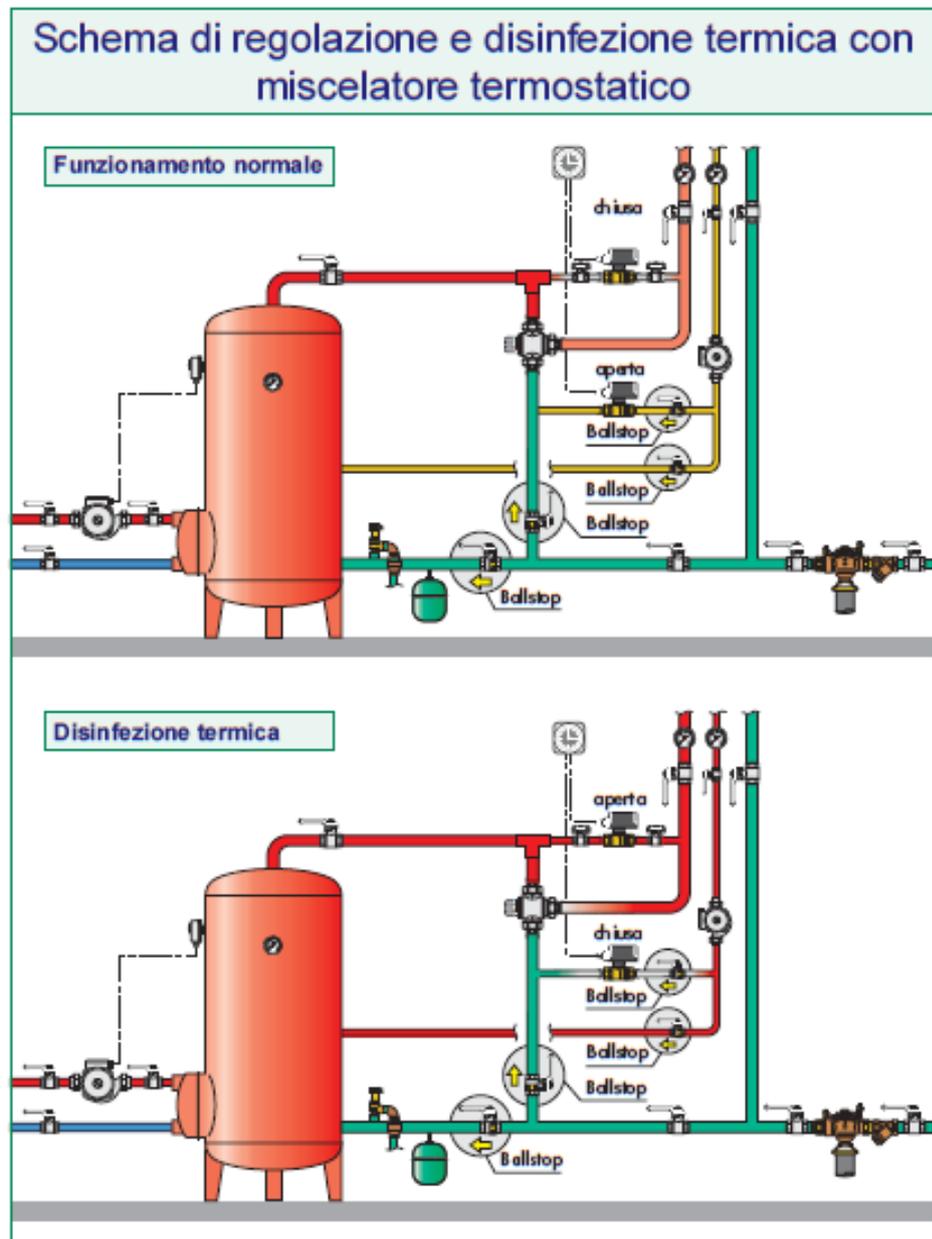


Figura 55 - Schema di regolazione e disinfezione termica con miscelatore termostatico

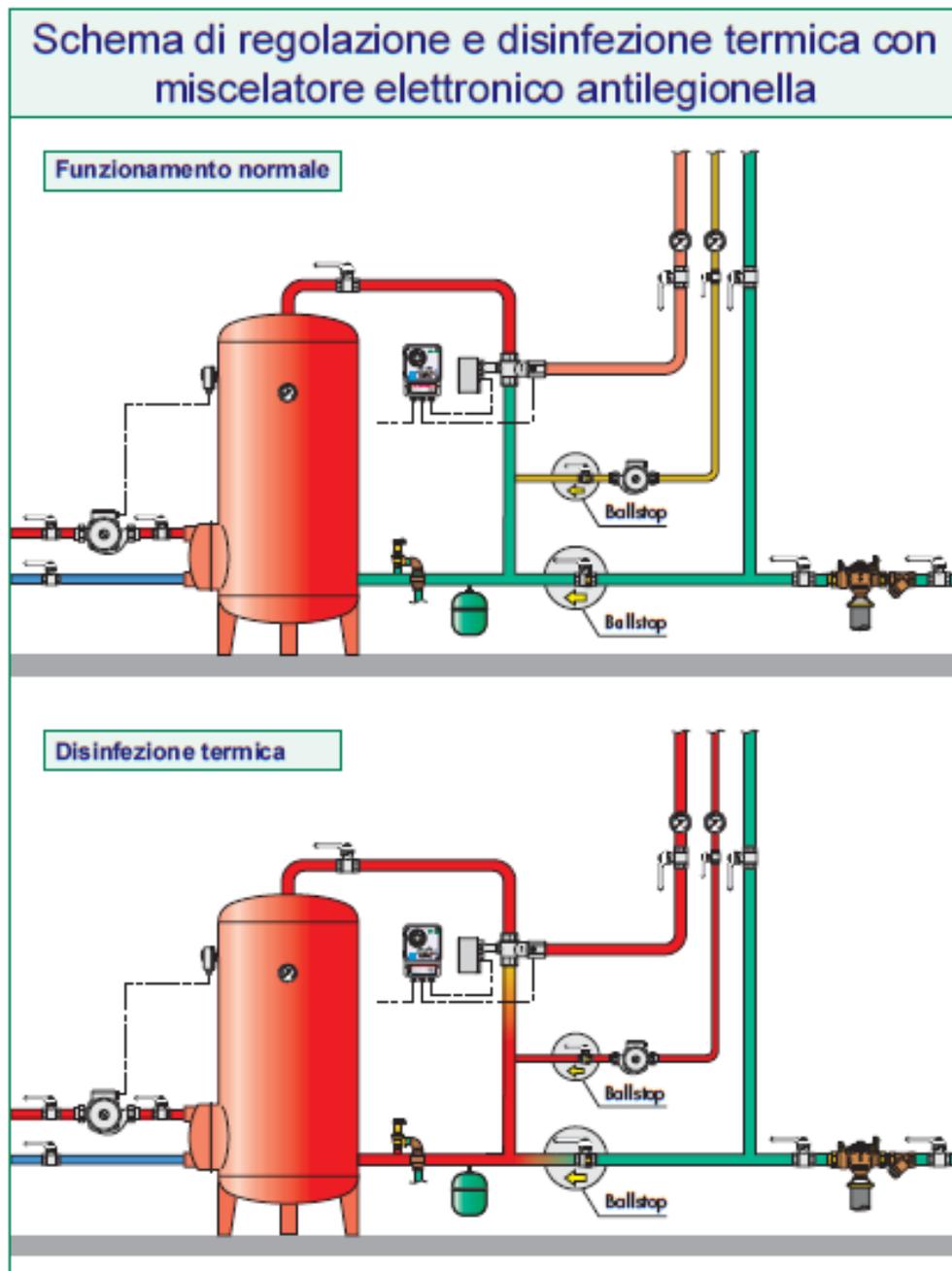


Figura 56 - Schema di regolazione e disinfezione termica con miscelatore elettronico antilegionella

7.5 Tubo di rame contro la legionella

Il primo studio sull'argomento risale al 1987 e già si evidenziava come, a differenza del polivinilcloruro (PVC) e del polibutilene, nelle tubazioni di rame la legionella non crescesse (si noti che legionella era stata "scoperta" nel 1976).

Facendo un salto di quasi vent'anni e lasciando da parte gli altri studi svolti nel frattempo, è opportuno segnalare la ricerca pubblicata nel 2003 dal KWR (KIWA Water Research), un prestigioso istituto di ricerca e di certificazione olandese specializzato in temi ambientali e relativi alle acque. Nei suoi laboratori è stata confrontata la proliferazione della legionella in impianti di rame, acciaio inox e polietilene, attraverso una simulazione del consumo familiare di acqua potabile. Anche in questa occasione il rame ha dimostrato di avere le caratteristiche più idonee in tutte le condizioni in cui è stato sottoposto l'impianto: circuito aperto, ricircolo e dopo uno shock termico.

Il KWR ha inoltre pubblicato nel 2007 i risultati di una nuova sperimentazione, in cui è stato investigato meglio il ruolo della temperatura in un impianto realizzato in maniera più aderente alla realtà costruttiva.

Approfondiamo, quindi, le differenze tra il 2003 e il 2007, tenendo presente che alcuni parametri della ricerca (come i valori delle temperature) sono stati fissati in base alla legislazione e alla normativa in vigore nei Paesi Bassi.

1) Nella passata ricerca la temperatura dell'acqua era di 37°C (temperatura di massima proliferazione della legionella), mentre nella nuova ricerca la proliferazione è stata studiata anche a 25°C (temperatura massima che può raggiungere l'acqua fredda), a 55°C (temperatura minima dell'acqua calda negli edifici) e a 60°C (temperatura minima dell'acqua calda nelle installazioni pubbliche, nonché temperatura minima di esercizio per i sistemi centralizzati di acqua calda, secondo la UNI EN 806-2).

2) Nella vecchia ricerca, ogni materiale era rappresentato da un proprio impianto con una coppia di tubazioni lunga 5,9 m, con segmenti rimovibili per permettere le analisi. Nella nuova ricerca il percorso è salito a 15 m: la maggiore lunghezza (quindi una più ampia superficie di contatto acqua-tubo) permette di avere dati più affidabili e aderenti alla realtà. L'impianto (uno schema base con una utenza doccia) ha funzionato simulando il normale consumo domestico di acqua potabile, secondo quanto dettato dalla norma olandese NEN 5128.

3) Nel 2003 i materiali delle tubazioni erano in rame, acciaio inox e polietilene reticolato PE-Xa; nel 2007 si è aggiunto un quarto impianto in PVC-C.

La ricerca è durata ben 941 giorni (più di due anni e mezzo). La lunghezza del periodo è dipesa, oltre che dagli inevitabili tempi tecnici, anche dalla difficoltà di far attecchire i batteri nei circuiti e di mantenere condizioni che non falsassero i risultati.

Infatti, la colonizzazione degli impianti ha richiesto molti sforzi, soprattutto nel caso del tubo di rame, per il quale si sono dovute effettuare complessivamente cinque inoculazioni di legionelle in più rispetto agli altri materiali, a conferma delle sue note proprietà batteriostatiche: gli stessi ricercatori hanno sottolineato che la lunghezza dei periodi di avviamento è stata determinata solamente dalla lenta crescita e a volte perfino dalla morte delle legionelle nei tubi di rame. Inoltre, la prima parte della ricerca (fino al giorno 351) avrebbe dovuto investigare il comportamento e la proliferazione della legionella a 37 °C, ma sono emersi problemi relativi alla difficoltà di mantenere le temperature programmate durante il ricircolo e ai rami morti a valle e a monte della pompa di circolazione in regime di circuito aperto.

Anche se è stato necessario ripartire da zero, non tutto è stato inutile: questi impedimenti sono comunque serviti a trovare le migliori condizioni per le misurazioni delle fasi successive, che, infatti, hanno fornito risultati attendibili e in linea con le ricerche precedenti.

Premesso ciò, lo studio ha dunque avuto tre “partenze” consistenti nell’inoculare i batteri in ciascun impianto, in regime di ricircolo: quella vera e propria (giorno 0), quella a seguito dei problemi descritti sopra (giorno 352) e quella programmata dopo lo studio a 25 °C (giorno 557).

La seconda fase dello studio ha dapprima ricreato le condizioni per la crescita della legionella, attraverso il ricircolo di acqua a 40 °C e nuove inoculazioni, sempre molto difficoltose per il rame. Una volta raggiunta una concentrazione batterica sufficiente nei quattro materiali, le pompe di circolazione e i loro tubi di collegamento sono stati completamente rimossi (giorno 451): si può pensare che il vero studio del KWR sia cominciato da qui.

Si è studiato la sopravvivenza della legionella a 25 °C, per oltre tre mesi. I quattro impianti hanno funzionato a circuito aperto con aperture e chiusure di rubinetto come avviene negli impianti domestici.

In queste condizioni di funzionamento (25 °C), l'acciaio inox, il PVC-C e il PEX hanno mostrato poche variazioni nella loro concentrazione di legionella nell'acqua (più precisamente, una piccola diminuzione per materiali plastici, un piccolo aumento per l'acciaio).

Al contrario, nel tubo di rame la legionella non è stata rilevata. Al termine del periodo (giorno 547) sono stati asportati i segmenti rimovibili di ciascun tubo per studiare la

composizione del biofilm: anche in questo caso, sul rame non sono state trovate legionelle (figura 60).

Materiale		ATP	Legionella
		pg/cm ²	cfu/cm ²
PEX	Tubo 1	970	2.7
	Tubo 2	1340	8.0
PVC-C	Tubo 1	700	390
	Tubo 2	890	760
Acciaio inox	Tubo 1	1300	998
	Tubo 2	1500	970
Rame	Tubo 1	600	< 2.7 ⁽¹⁾
	Tubo 2	530	< 2.7 ⁽¹⁾
⁽¹⁾ Limite di rilevazione degli strumenti			

Note:
rilevazione al giorno 547
(termine della fase a
25 °C)
PEX = polietilene
reticolato
PVC-C = polivinilcloruro
clorurato
ATP = adenosin -
trifosfato
pg/cm² = picogrammi
per cm² (1pg = 10⁻¹²g)
cfu/cm² = unità formanti
colonie per cm²

Figura 57 - Composizione biologica del biofilm

Per svolgere lo studio alle alte temperature, i tecnici del KWR hanno dovuto eseguire una terza partenza per rimediare alla scomparsa della legionella dai tubi di rame e provvedere alla conseguente reinstallazione

delle pompe di circolazione. Anche in questo caso la crescita batterica è stata estremamente difficile da conseguire per tutti i tubi, soprattutto quelli in rame. Dal giorno 820 si è potuti ritornare allo schema del circuito aperto e finalmente studiare il comportamento della legionella a 55 °C.

Dettaglio importante: in realtà nei primi giorni nei tubi circolava acqua a 50°C ma nel tubo di rame, già a queste temperature, si è osservato un deciso crollo delle concentrazioni di legionella in acqua. Ristabiliti i 55°C, la legionella è definitivamente scomparsa dal rame dopo 35 giorni (cioè al giorno 855, vedi figura 58), mentre per i materiali plastici e l'acciaio la sua concentrazione non variava significativamente.

Per assistere alla scomparsa della legionella negli altri materiali è stato necessario alzare la temperatura a 60°C (giorno 870) e aspettare da 56 a 77 giorni (PEX e acciaio inox rispettivamente con il PVC-C in mezzo).

Da notare che l'acqua non scorre sempre, ma solo per 36 minuti complessivi al giorno corrispondenti alle aperture di rubinetto, con un massimo di 13 minuti consecutivi per il caso della doccia. Il massimo periodo di pausa dura 7 ore e 15 minuti, corrispondenti alla notte.

Materiale	Legionella (cfu/l)
PEX	~10 000
PVC-C	~100 000
Acciaio inox	~10 000
Rame	< 10 ^(*)
^(*) Limite di rilevazione degli strumenti	

Note:
rilevazione al giorno 855 (dopo 17 giorni a 50 °C e 18 giorni a 55 °C)
cfu/l = unità formanti colonie per litro

Figura 58 - Quantità di legionella nell'acqua

Si noti che durante tali pause, nonostante la coibentazione dei tubi, l'acqua si raffredda e scende sotto i 55°C: ciò porta i batteri a rigenerarsi parzialmente, sempre con l'eccezione delle tubazioni in rame.

In conclusione, il KWR ha evidenziato l'importanza della temperatura dell'acqua come mezzo per combattere la proliferazione della legionella: quando l'impianto è sottoposto al controllo termico, cioè se la temperatura è mantenuta rigorosamente e costantemente al di sotto dei 25°C per l'acqua fredda e al di sopra dei 60°C per l'acqua calda, il materiale delle tubazioni dell'impianto non ha grande influenza; d'altra parte, ha, però, confermato la superiorità del rame come materiale antibatterico, data la difficoltà di innesco della proliferazione, come si è visto nelle tre "partenze" dello studio.

Il rame è superiore anche quando l'acqua staziona intorno a quelle temperature di confine (25°C e 50/55°C), che risultano meno improbabili di quanto si pensi, soprattutto negli impianti più difficili da controllare.

Per esempio, nell'acqua fredda una temperatura di 25°C può essere raggiunta e perfino superata, non solo in estate, ma anche per la vicinanza di tubi dell'acqua calda non sufficientemente coibentati. Infatti, contrariamente all'acqua calda, la cui temperatura potrebbe essere volutamente innalzata, per l'acqua fredda si deve solo sperare che l'ambiente intorno al tubo non sia caldo.

Tuttavia, controllare la temperatura a valle del boiler, anche nelle tubazioni dell'acqua calda, risulta molto più difficoltoso di quanto si pensi per una serie di ragioni: insufficienti isolamenti termici, in particolare nei vecchi impianti, la notevole lunghezza dei percorsi e,

soprattutto, i lunghi periodi di arresto quando l'impianto è privo del ricircolo. Queste condizioni operative permettono alla legionella, annidata nel biofilm, di rigenerarsi.

Da questo studio viene confermato che la scelta del tubo di rame per le tubazioni di acqua potabile è una misura di prevenzione supplementare contro la legionella, soprattutto nei primi anni dopo l'installazione; questo aspetto deve essere considerato soprattutto in strutture molto grandi e con impianti ramificati, dove la proliferazione è più probabile e le operazioni di bonifica e pulizia risultano più difficili: scuole, hotel, carceri, edifici pubblici, centri commerciali e soprattutto strutture ospedaliere.

8. CONCLUSIONI

Il lavoro presentato ha portato a termine gli obiettivi prefissati. Le metodologie descritte per l'ottimizzazione della produzione d'acqua sanitaria hanno avuto i riscontri pratici desiderati.

Tramite la regolazione con le sonde di temperatura dell'accumulo applicata all'algoritmo di autoapprendimento, sono stati ottenuti dei valori del coefficiente D di prelievo dell'acqua calda sanitaria reali e ottimizzati, diversi da quelli ipotizzati e già impostati.

Grazie al suddetto programma, è possibile, quindi, presumere quale sarà la richiesta da parte dell'utenza, in un determinato giorno feriale, festivo o prefestivo, ad una specifica ora del giorno, con una stabilita percentuale di occupanti. Ovviamente, tale previsione sarà tanto più accurata quanto maggiori saranno i dati forniti al sistema. Con un periodo di studio più ampio, infatti, l'analisi della regressione sarà sicuramente più facile da realizzare e l'approssimazione al polinomio sarà più corretta.

Per verificare l'efficacia dell'algoritmo implementato, in termini di consumi minori, ovvero di kWh risparmiati, è stato realizzato il seguente calcolo.

Considerando 38 appartamenti ed un consumo di acqua pari a 300 litri al giorno per appartamento, di cui solo 200 litri sono da addebitare all'acqua calda sanitaria, si stimano i m³ all'anno dalla seguente relazione:

$$0.2 \frac{m^3}{giorno} * 365 \text{ giorni} * 38 \text{ appartamenti} = 2774 \frac{m^3}{anno} \cong 2800 \frac{m^3}{anno}$$

Ipotizzando che nell'arco della giornata il 30% del prelievo sia da collegare ad una temperatura del fluido interno di 48°C (comfort) e il 70% a quella di 42°C (risparmio), considerando una temperatura esterna media di 15°C, si ottiene quanto riportato di seguito.

2800 m ³	70% a T=42°C	1960 m ³
	30% a T=48°C	840 m ³

$$1960 \text{ m}^3 * (42 - 15)^\circ\text{C} * 1000 \frac{l}{m^3} * 0,001163 \frac{kWh}{kcal} = 61546 \text{ kWh}$$

$$840 \text{ m}^3 * (48 - 15)^\circ\text{C} * 1000 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} * 0,001163 \frac{\text{kWh}}{\text{kcal}} = 32238 \text{ kWh}$$

Il consumo complessivo che si ottiene con il sistema di autoapprendimento, pertanto, è pari a:

$$61546 \text{ kWh} + 32238 \text{ kWh} = 93784 \text{ kWh}$$

Se considerassi, invece, il sistema funzionante totalmente a 48°C avrei:

$$2800 \text{ m}^3 * (48 - 15)^\circ\text{C} * 1000 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} * 0,001163 \frac{\text{kWh}}{\text{kcal}} = 107461 \text{ kWh}$$

Di conseguenza, il risparmio di energia termica, tra sistema ottimizzato e non, in percentuale è:

$$\frac{107461 \text{ kWh} - 93784 \text{ kWh}}{107461 \text{ kWh}} = 13\%$$

Se lo stesso ragionamento viene svolto in termini di energia elettrica, invece, il miglioramento risulta ancora più netto.

Sapendo che la pompa di calore con temperatura di comfort di 48°C ha un COP pari a 3,1 e quella alla temperatura di risparmio di 42°C ha un COP pari a 4,23 si possono calcolare i kWh_e dal rapporto tra i kWh_t e il COP, per cui:

situazione non ottimizzata		COP	
100%	T=48°C	107461 kWh _t	3,1 34665 kWh _e

situazione ottimizzata		COP	
30%	T=48°C	32238 kWh _t	3,1 10399 kWh _e
70%	T=42°C	61546 kWh _t	4,23 14550 kWh _e

Tabella 32 - Confronto tra sistema ottimizzato e non in termini di consumo di energia elettrica

In questo modo, il risparmio di energia elettrica, tra sistema ottimizzato e non, in percentuale è:

$$\frac{34665 \text{ kWh} - (10399 + 14550) \text{ kWh}}{34665 \text{ kWh}} = 28\%$$

La differenza tra il 13% trovato dal confronto tra il consumo di energia termica e il 28% ricavato da quello tra il consumo di energia elettrica è da addebitare al COP, ovvero all'influenza del "sistema pompa di calore".

In ultimo, riprendendo i risultati ottenuti grazie all'ottimizzazione in termini di minori dispersioni, si è notato una riduzione considerevole al passaggio dal caso con caldaia tradizionale a quella con doppia coibentazione, fino ad arrivare alla situazione con pompa di calore con temperatura di comfort di 48°C e con temperatura di risparmio di 42°C. Tra la prima condizione citata e l'ultima, infatti, il risparmio è del 58%.

Questa diminuzione si riscontra, di conseguenza, anche nella quantità di anidride carbonica emessa dai vari sistemi, trovando nell'ultimo caso la soluzione a minor impatto.

9. BIBLIOGRAFIA

- [1] G. Moncada Lo giudice– L. De Santoli, *Progettazione degli Impianti Tecnici*, Masson (1977)
- [2] M. Doninelli, M. Doninelli, C. Ardizzoia, *Idraulica* - Caleffi (1991)
- [3] M. Doninelli, M. Doninelli, *Dossier Legionella* - Caleffi (1991)
- [4] M. Doninelli, *Impianti idrosanitari*, Quaderni Caleffi (1991)
- [5] O.P. Palsson, H. Madsen, H.T. Sogaard, *Predictor-based optimal control of supply temperature in district heating systems, Proceedings of the International IFAC symposium on control of power plants and power systems*, Pergamon, Oxford, pp. 81–85 (1992)
- [6] H. Madsen, K. Sejling, H.T. Sogaard, O.P. Palsson, *On flow and supply temperature control in district heating systems, Heat Recovery Systems and CHP*. 14, pp. 613–620 (1994)
- [7] F. M. Butera, *Architettura e Ambiente*, Etaslibri (1995)
- [8] G. Chiesa , *Risparmio energetico in edilizia*, Masson (1996)
- [9] 13. G. Chiesa , *Gestione delle risorse energetiche nel territorio*, Masson (1996)
- [10] F. Bianchi, E. Labianca, *Gli impianti termici nell'edilizia civile*, La Nuova Italia Scientifica (1997)
- [11] P. Anglesio, *Elementi di Impianti Termotecnici*, Pitagora Editrice, Bologna (1998)
- [12] M. Doninelli, M. Doninelli, C. Ardizzoia, *Produzione di acqua calda ad accumulo*, *Idraulica*, pp. 2- 15 (1999)
- [13] M.V. Shishkin, D.A. Shnayder, *Simulation of thermal-hydraulic systems in VisSim environment, Bulletin of the South Ural State University, Series Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, pp. 120-123 (2004)
- [14] R. Spur, D. Fiala, D. Nevrala, D. Probert, *Influence of the domestic hot-water daily draw-off profile on the performance of a hot-water store*, *Applied Energy* 83, pp. 749-773 (2006)
- [15] *UNI 9182. Impianti di alimentazione e distribuzione d'acqua fredda e calda – Criteri di progettazione, collaudo e gestione* (2010)
- [16] Gambelli, Mariotti, *Produzione centralizzata di ACS*, Appunti per il corso di Termotecnica, Università degli studi di Padova (2012)

- [17] R.Zecchini, M. De Carli, S.Graci, *Ottimizzazione di sistemi per la generazione di acqua calda sanitaria. Confronto tra la normativa e la pratica progettuale*, Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università degli studi di Padova (2012)
- [18] R. Nicola, *Manuale del termotecnico: fondamenti, riscaldamento, condizionamento, refrigerazione e risorse energetiche* – Hoepli (2014)
- [19] Aleksandr A. Basalaeva, Tatyana A. Barbasova, Dmitry A. Shnaydera, *Simulation study on supply temperature optimization of university campus heating system* (2015)
- [20] *Tecnologia centralizzata per la produzione di acqua calda sanitaria* – Taconova (2017)

ALGORITMI PER UTILIZZO SEGNALI DA 0 a +10 V IN INGRESSO E GESTIONE SONDE SU INERZIALE						
SANITARIA	C	B13-B12	K3	K4	Variation set-point B9 tra 42...48	se $C = 1 \rightarrow B6$ o $B9$ devono restare $>22^{\circ}C$ se $C > 1$ vale il seguente algoritmo: se $1 < C < (5+K7)$ il set point in B9 viene variato con la seguente funzione: $Set B9 = (C \times K5 \times 0,1) + 1$ (limite sanitario) comunque deve essere sempre $Set B9 \leq$ (limite sanitario) se $C \geq (5+K7)$ il set point in B6 viene variato con la seguente funzione: $Set B6 = (\min B6) + (C \times K5 \times 0,1) + 1$ (($\min B6$) $\times K6 \times (B13 - B12) / 1000$) comunque deve essere sempre $Set B6 \leq$ (limite sanitario)
			2	6	Set B9 \rightarrow 45,0	
min B6 (COMFORT)	2,63	10	K7	0	Limite di scambio nell'intervallo 0-div	5,0
min B9 (RISPARMIO)	40		K5	K6	Variation set-point B6 tra 42...48	Set B6 \rightarrow
	42		6	4		

APPENDICE B: Algoritmo di autoapprendimento

Di seguito viene riportato l'algoritmo di autoapprendimento elaborato.

```
clear all
close all
clc

N = 38; % numero di appartamenti
H = 24; % numero di ore
presenze = 0:N;
f = presenze/presenze(end); % fattore di presenza, varia da 0 a 1
p = 3; % numero di tipologie di giorno: feriale / prefestivo / festivo

% controllo nella cartella "allegati" quanti file ci sono
n_files = size(dir(['allegati\' '*'.xlsx']), 1);

% costruisco una matrice con i valori B13-B12
M_storico = nan(1440, n_files); %1440 misurazioni ogni giorno (24*60)

% la inizializzo coi NaN perchè se metessi degli zeri potrei confonderli
% con dei veri zeri misurati. Invece così, dove mancano le misurazioni,
% avrò NaN.

for k = 1:n_files
    filename = ['allegati\' num2str(k) '.xlsx'];
    temp = xlsread(filename, 'D5:D1444');
    len = length(temp);
    M_storico(1:len, k) = temp;
end
```

% A questo punto la matrice dello storico contiene misurazioni di lunghezze
% diverse, probabilmente a causa del sensore che non sempre mantiene la
% tempistica perfetta.

% Calcolo le medie orarie in base a quanti valori ho:

```
hMEDIE = zeros(24, n_files); % 24 ore totali, n_files giorni misurati
```

```
for k = 1:n_files
```

```
    temp = M_storico(:, k);
```

```
    temp(isnan(temp)) = []; % tronco tutti i NaN finali
```

```
    len = length(temp);
```

```
    % divido la lunghezza len in 24 parti uguali
```

```
    frac = ceil(len/24); % nel caso ideale avrò 60 dati ogni pezzo di 24 ore
```

```
    % a questo punto calcolo le medie ora per ora:
```

```
        for l = 1:24
```

```
            x1 = (l-1)*60 + 1;
```

```
            x2 = l*frac;
```

```
            if x2 <= len
```

```
                hMEDIE(l, k) = mean(temp(x1:x2));
```

```
            else
```

```
                hMEDIE(l, k) = mean(temp(x1:end));
```

```
            end
```

```
        end
```

```
end
```

% Adesso ho le medie orarie di tutti i file xls dello storico

% Ricorda: le righe di hMEDIE indicano l'ora (quindi da 1 a 24),

% le colonne di hMEDIE indicano il giorno progressivo (da 1 a infinito)

% Per esempio, plottiamo l'andamento del valore medio B13-B12 del terzo

% giorno:

```
figure()
```

```
grid on
```

```
scatter(1:24, hMEDIE(:,3));
```

```
xlabel('Ore')
```

```
ylabel('DeltaT[°C]')
```

```
% Adesso serve un modo per distinguere se un giorno è feriale,
```

```
% prefestivo o festivo:
```

```
% Controllo da calendario --> Il file del calendario contiene i numeri progressivi dei giorni e  
ha
```

```
% 3 possibili valori: 0 = feriale, 1 = prefestivo, 2 = festivo (che
```

```
% inserisco io)
```

```
% GIORNO DI INIZIO: 17 NOV 2017
```

```
% QUINDI IL 10 GIORNO SARA' il 26 NOV 2017
```

```
% IL 20 GIORNO SARA' il 6 DIC 2017 eccetera
```

```
% Per ora nel calendario i giorni infrasettimanali li ho settati tutti
```

```
% a 0 (cioè feriali). Se uno di questi giorni è festivo (ad esempio il 25
```

```
% Dicembre pur essendo un lunedì è da considerarsi festivo), basta
```

```
% andarlo a cambiare nel file 'calendario.dat'
```

```
cal = importdata('calendario.dat');
```

```
% Grazie al calendario adesso possiamo raggruppare i giorni in base al loro tipo:
```

```
% FERIALE
```

```
dB_feriali = hMEDIE(:, cal == 0);
```

```
% concateno il tutto in un singolo vettore
```

```
dB_feriali = dB_feriali(:)';
```

```
x_feriali = [];
```

```
for k = 1:length(dB_feriali)/24
```

```
    x_feriali = [x_feriali 1:24];
```

```
end
```

```
% Regressione polinomiale
```

```
deg0 = 4; % polinomio di 4 grado
```

```
P0 = polyfit(x_feriali, dB_feriali, deg0);
```

```
% PREFESTIVI
```

```
dB_prefestivi = hMEDIE(:, cal == 1);
```

```
dB_prefestivi = dB_prefestivi(:)';
```

```
x_prefestivi = [];
```

```
for k = 1:length(dB_prefestivi)/24
```

```
    x_prefestivi = [x_prefestivi 1:24];
```

```
end
```

```
deg1 = 4;
```

```
P1 = polyfit(x_prefestivi, dB_prefestivi, deg1);
```

```
% FESTIVI
```

```
dB_festivi = hMEDIE(:, cal == 2);
```

```
dB_festivi = dB_festivi(:)';
```

```
x_festivi = [];
```

```
for k = 1:length(dB_festivi)/24
```

```
    x_festivi = [x_festivi 1:24];
```

```
end
```

```
deg2 = 4;
```

```
P2 = polyfit(x_festivi, dB_festivi, deg2);
```

```
P = [P0 ;P1 ;P2];
```

```
% Ora che abbiamo gli andamenti dei B13-B12, possiamo effettuarne una stima
```

```
% parametrica (regressione polinomiale).
```

```
% Scatteriamo l'andamento delle B13-B12, ora per ora, di tutti
```

```
% i giorni feriali/prefestivi/festivi:
```

```
figure()
grid on
hold on
scatter(x_feriali, dB_feriali);
plot(1:0.1:24, polyval(P0, 1:0.1:24), 'r');
xlabel('Ore')
ylabel('B13-B12 [°C]')
```

```
figure()
grid on
hold on
scatter(x_prefestivi, dB_prefestivi);
plot(1:0.1:24, polyval(P1, 1:0.1:24), 'r');
xlabel('Ore')
ylabel('B13-B12 [°C]')
```

```
figure()
grid on
hold on
scatter(x_festivi, dB_festivi);
plot(1:0.1:24, polyval(P2, 1:0.1:24), 'r');
xlabel('Ore')
ylabel('B13-B12 [°C]')
```

```
% A questo punto, con gli andamenti delle B13-B12,
% è possibile costruire la tabella dei valori D, compresi tra 1 e 5
% Assegnamo un valore 5 alle alte B13-B12 e un valore 1 alle basse B13-B12
% I valori minimi e massimi di B13-B12 non li prendo dalle osservazioni,
% perchè potrebbero esserci valori fuori scala, ma li prendo dai valori
% minimi e massimi del polinomio.
```

```
min_feriale = min(polyval(P0,1:24));
```

```
max_feriale = max(polyval(P0,1:24));
```

```
D_feriale = 1 + 4*(polyval(P0,1:24) - min_feriale)/(max_feriale - min_feriale);
```

```
min_prefestivo = min(polyval(P1,1:24));
```

```
max_prefestivo = max(polyval(P1,1:24));
```

```
D_prefestivo = 1 + 4*(polyval(P1,1:24) - min_prefestivo)/(max_prefestivo - min_prefestivo);
```

```
min_festivo = min(polyval(P2,1:24));
```

```
max_festivo = max(polyval(P2,1:24));
```

```
D_festivo = 1 + 4*(polyval(P2,1:24) - min_festivo)/(max_festivo - min_festivo);
```

```
% TABELLA COMPLETA DEI D:
```

```
D =round([D_feriale; D_prefestivo; D_festivo]);
```

```
% Più dati avrò nello storico, più affidabile sarà la tabella degli D
```

```
% stimata.
```

```
% Posso anche cambiare il grado del polinomio per cercarne uno migliore,
```

```
% modificando SOLO i valori deg0 deg1 e deg2 (possono anche essere diversi
```

```
% tra loro)
```

```
% Guardando però la dispersione ho ritenuto quello di 4 grado il migliore
```

```
% coefficienti x/D/y :
```

```
% x = l'ora prima
```

```
% D = adesso
```

```
% y = l'ora dopo
```

```
C = zeros(H,N+1,p);  
    % è una matrice di 3 dimensioni, le righe sono le ore,  
    % le colonne sono il  
    % fattore di presenza e le pagine sono il tipo di  
    % giorno (feriale, prefestivo, festivo)  
    % Questa matrice rappresenterà il valore del segnale in  
    % output, espresso in Volt (tra 1 e 10 volt)  
  
setB9 = C; setB6 = C; % inizializzo  
  
% Parametri del foglio "LOGICHE SU GENERATORE"  
h = 7; % scelgo a che ore plottare  
minB6 = 40; % [°C]  
minB9 = 45; % [°C]  
B13B12 = polyval(P(1), h); % [°C] (prendo il primo polinomio del vettore P)  
  
k3 = 2;  
k4 = 2;  
k5 = 6;  
k6 = 4;  
k7 = 0;  
deltaL = k7 + 5;  
% Dopo calcolo SetB9 e SetB6  
  
for pagina = 1:p  
    for ora = 1:H  
        Dpos = D(pagina, ora);  
        if ora < 24  
            y = D(pagina, ora+1);  
        else  
            y = D(pagina, ora);
```

```

    end
    k = 1+1/y;
    C(ora, :, pagina) = 10 - 9 ./ (1 + f).^ (Dpos/k);
end
end

for pagina = 1:p
    for ora = 1:H
        for presenza = 1:(N+1)
            c = C(ora, presenza, pagina);
            if (c > 1 && c < deltaL)
                setB9(ora, presenza, pagina) = minB9 + c*k3*0.1 + minB9*k4*B13B12*0.001;
                setB6(ora, presenza, pagina) = NaN;
            elseif (c >= deltaL)
                setB6(ora, presenza, pagina) = minB6 + c*k5*0.1 + minB6*k6*B13B12*0.001;
                setB9(ora, presenza, pagina) = NaN;
            end
        end
    end
end
end

setB6(setB6 == 0) = NaN;
setB9(setB9 == 0) = NaN;

% i NaN (Not A Number) servono a non far plottare la parte di grafico dove
% non c'è o setB6 o setB9

BinaryB6B9 = setB9;
BinaryB6B9(~isnan(BinaryB6B9)) = 0;
BinaryB6B9(isnan(BinaryB6B9)) = 1;

```

```
% Matrice binaria che contiene 0 e 1.  
% Vale 0 quando è attivo il set point B9 e disattivo B6,  
% Vale 1 quando è disattivo il set point B9 e attivo B6.
```

```
% GRAFICI
```

```
PLOTS = 1; % metto 0 se non voglio plottare ma solo calcolare
```

```
if(PLOTS)
```

```
figure('Name', 'Andamenti del segnale C in funzione del grado di occupazione',
```

```
'NumberTitle', 'off')
```

```
titoli = {'FERIALE' 'PREFESTIVO' 'FESTIVO'};
```

```
titoli = strcat(titoli, [' [ore ' num2str(h) ':00']]);
```

```
for w = 1:p
```

```
subplot(3,1,w)
```

```
plot(presenze, C(h, :, w));
```

```
hold on
```

```
grid on
```

```
xlabel('occupazione [n/36]'); ylabel('Segnale [V]');
```

```
xlim([0 N]); ylim([0 10]);
```

```
set(gca, 'XTick', 0:1:N, 'YTick', 0:1:10);
```

```
title(titoli(w));
```

```
end
```

```
figure('Name', 'Andamenti dei set point in funzione del grado di occupazione', 'NumberTitle',
```

```
'off')
```

```
for w = 1:p
```

```
subplot(3,1,w)
```

```
hold on
```

```

grid on
plot(presenze, setB6(h, :, w), presenze, setB9(h, :, w)); legend('setB6','setB9', 'location',
'east');
xlabel('occupazione [n/38]'); ylabel('Set Point [°C]');
B6B9min = min(min(setB6(h, :, w)) , min(setB9(h, :, w)));
B6B9max = max(max(setB6(h, :, w)) , max(setB9(h, :, w)));
B6B9lim = [B6B9min B6B9max];
xlim([0 N]); ylim(B6B9lim);
dy = (B6B9max - B6B9min)/10;
set(gca, 'XTick', 0:1:N, 'YTick', B6B9lim(1):dy:B6B9lim(2));
title(titoli(w));
end

figure('Name', 'Andamenti dei set point in funzione del tempo (ore)', 'NumberTitle', 'off')
occ = 15; % decidi per che valore di occupazione [n/38] plottare
time = 1:H;
titoli = {'FERIALE' 'PREFESTIVO' 'FESTIVO'};
titoli = strcat(titoli, [' [occupazione = ' num2str(occ) '/38]']);

for w = 1:p
subplot(3,1,w)
hold on
grid on
scatter(time, setB6(:, occ, w)); scatter(time, setB9(:, occ, w));
legend('setB6','setB9', 'location', 'east');
xlabel('ore'); ylabel('Set Point [°C]');
set(gca, 'XTick', time);
title(titoli(w));
end

figure('Name', 'Griglia di attivazione dei set point B6 e B9', 'NumberTitle', 'off')
titoli = {'FERIALE' 'PREFESTIVO' 'FESTIVO'};

```

```
titoli = strcat(titoli, ' [blu = setB6, rosso = setB9]');

for w = 1:p
    subplot(3,1,w)
    hold on
    grid on
    for X = 1:N+1
        for Y = 1:H
            if (BinaryB6B9(Y,X,w) == 0)
                col = [1 0 0];
            else
                col = [0 0 1];
            end
            plot(X-1,Y,'s','color',col,'markerfacecolor',col,'markeredgecolor','k','markersize',10);
            xlim([0 N]); ylim([1 H]);
            set(gca,'XTick',0:1:N,'YTick',1:1:H);
            ysize = get(gca,'YTickLabel');
            set(gca,'YTickLabel',ysize,'FontName','Times','fontSize',8)
        end
    end

    xlabel('occupazione [n/38]'); ylabel('ore');
    title(titoli(w));
end

end
```

