Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

Sistemi avanzati per la produzione e gestione di acqua calda sanitaria: evoluzione tecnologica e progettuale

Relatore:
Prof. Maurizio Galetto

Candidato:
Mattia Canova

Anno accademico 2025/2026

Ringraziamenti

"A mia mamma Tere, grazie per non aver permesso che io mollassi e per tutti i sacrifici che hai fatto per me, oggi è il tuo compleanno ma il regalo l'hai fatto tu a me, senza di te non saremmo qui oggi"

"A mio papà Beppe, grazie per essere di esempio per me, per l'educazione che mi hai dato e per i sacrifici che fai tutti i giorni per la nostra famiglia"

"A mia sorella Marta, il mio braccio destro sempre disponibile a porgere la mano per aiutarmi"

"Vi voglio bene"

"Un caro ringraziamento va ai nonni per aver creduto in me e per aver sempre fatto il tifo"

"Grazie al Gian e alla Paola, gli amici di sempre che mi sono sempre stati vicini"

"Grazie Betta, per l'amore e i sorrisi che condividiamo"

"Ai ragazzi della Cumpa, i miei migliori amici che mi tengo stretti"

"Un enorme ringraziamento va ai miei colleghi di Caleffi. Sono entrato nel mondo del lavoro insieme a voi e ritengo una grande fortuna avervi incontrati. Grazie per la disponibilità e la gentilezza con cui mi avete accompagnato e continuate ad accompagnarmi nel mio percorso di formazione."

Indice

Introduzione **7**
1. Classificazione generale dei sistemi di produzione ACS **11**
1.1 Sistemi di produzione acqua calda diretti con accumulo sanitario 13
1.1.1 Bollitori a gas 13
1.1.2 Bollitori elettrici 14
1.1.3 Bollitori a pompa di calore 14
1.1.4 Vantaggi e svantaggi 15
1.2 Sistemi di produzione acqua calda diretti istantanei 17
1.2.1 Scaldacqua a gas 17
1.2.2 Scaldacqua elettrici 18
1.3 Sistemi di produzione acqua calda diretti a ciclo di gas 19
1.3.1 Pompa di calore 19
1.3.2 Produzione, stoccaggio e distribuzione dell'acqua calda 21
1.4 Sistemi di produzione acqua calda indiretti 24
1.4.1 Sistemi di produzione acqua calda indiretti con accumulo 24
1.4.1.1 Scambiatore a serpentino immerso 24
1.4.1.2 Scambiatore esterno a piastre 25
1.4.2 Sistemi di produzione acqua calda indiretti istantanei 26
1.4.2.1 Produzione istantanea tramite scambiatore corrugato 27
1.4.2.2 Preparatori istantanei con scambiatore (Fresh Water Stations) 27
2. La Fresh Water Station: principio di funzionamento e architettura **29**
2.1 Funzione e scopo 29
2.2 Principio di funzionamento 30
2.3 Architettura e componenti fondamentali 31
2.4 Criteri di classificazione delle FWS 32
2.5 Tipologie di regolazione 33
2.5.1 Circolatore PWM 35
2.5.2 Termostatica sul circuito secondario 35
2.5.3 Termostatica sul circuito primario 36
2.5.4 Regolazione combinata a doppio stadio 37
2.5.5 Portata primaria proporzionale 37
2.5.6 Elettronica sul primario con controllo PID 38
2.5.7 Scelta della regolazione 39
2.6 Componenti optional e funzioni integrative 39
2.6.1 Ricircolo ACS sanitario 41
2.6.2 Disinfezione termica 41
2.6.3 Gestione della stratificazione del puffer 42
2.6.4 Gestione in cascata 43
2.6.5 Attivazione del generatore e gestione dell'accumulo tecnico 43

3. Quadro normativo di riferimento **45**
3.1 Perimetro del quadro normativo 45
3.2 D.Lgs. 18/2023 e Direttiva (UE) 2020/2184 45
3.3 Materiali a contatto con acqua potabile 47
3.4 Rischio legionella e reti interne 48
3.5 Norme tecniche per progettazione e dimensionamento 49
3.6 Protezione dal riflusso e separazione dei circuiti 50
3.7 Qualità dell'acqua nei circuiti tecnici 50
3.8 Ricadute progettuali per le Fresh Water Station 51
4. Vantaggi e Svantaggi rispetto ad un impianto tradizionale **52**
4.1 Vantaggi principali della Fresh Water Station 52
4.2 Svantaggi e limiti rispetto alla soluzione tradizionale 53
4.3 Valutazione di convenienza progettuale 54
4.4 Sintesi conclusiva 55
5. Ambiti applicativi delle Fresh Water Station **56**
5.1 Edilizia residenziale unifamiliare e piccoli edifici 56
5.2 Condomini e residenziale multipiano 57
5.3 Edifici serviti da teleriscaldamento 57
5.4 Strutture ricettive, sanitarie e ad alta continuità di servizio 58
5.5 Uffici, scuole, palestre e utenze discontinue 59
5.6 Sintesi dei criteri di scelta per tipologia edilizia 59
6. Limiti applicativi e condizioni di non convenienza delle Fresh Water Station **61**
6.1 Limiti legati alla temperatura della sorgente primaria 61
6.2 Sensibilità alla qualità dell'acqua e al deposito di sporco nello scambiatore 61
6.3 Complessità di regolazione e bilanciamento idraulico 62
6.4 Limiti economici nei piccoli impianti e negli usi molto semplici 62
6.5 Limiti legati alla distribuzione e al comfort al punto d'uso 63
6.6 Casi in cui una soluzione tradizionale può essere preferibile 63
6.7 Sintesi dei limiti e possibili mitigazioni 64
7. Componentistica di impianto a corredo delle Fresh Water Station **65**
7.1 Accumulo tecnico e gestione della sorgente primaria 65
7.2 Pompe, circolatori e bilanciamento del circuito primario 66
7.3 Intercettazione, ritegno, sicurezza e protezione dal riflusso 66
7.4 Filtrazione, trattamento dell'acqua e protezione dello scambiatore 66
7.5 Ricircolo ACS, miscelazione e controllo della temperatura di utenza 67
7.6 Strumentazione, contabilizzazione e integrazione con il controllo impiantistico 67
7.7 Sintesi della componentistica a corredo 68
8. Integrazione con le fonti energetiche **69**
8.1 Teleriscaldamento 69
8.2 Caldaie a gas, biomassa e sistemi ibridi 70
8.3 Solare termico 70

8.4 Pompe di calore 71
8.5 Criteri di scelta e sintesi progettuale 71
9. Schemi di impianti con Fresh Water Station 73
10. Dimensionamento 80
10.1 Determinazione della portata sanitaria 80
10.1.1 Conversione della portata miscelata 80
10.2 Potenza richiesta e scambiatore di calore 81
10.3 Dimensionamento del puffer tecnico 82
10.3.1 Potenza di picco ed energia mancante 82
10.3.2 Volume utile e stratificazione 83
10.3.3 Contributo della sorgente e tempo di ripristino 83
10.3.4 Effetto del ricircolo 83
10.3.5 Esempio sintetico 84
10.4 Fase conclusiva: selezione demandata al fornitore 85
11. Distribuzione acqua calda sanitaria 86
11.1 Distribuzione senza ricircolo 86
11.1.1 Vantaggi 87
11.1.2 Svantaggi 87
11.1.3 Ambiti tipici e scenari d'uso 88
11.2 Ricircolo tradizionale 88
11.2.1 Funzioni principali del ricircolo 88
11.2.2 Principio di funzionamento 89
11.2.3 Bilanciamento idraulico e controllo della temperatura 89
11.2.4 Strategie di regolazione della pompa 90
11.2.5 Tipologie di reti di ricircolo 91
11.2.6 Sintesi delle configurazioni distributive 94
11.3 La stazione di ricircolo 94
11.3.1 Funzione e scopo 95
11.3.2 Principio di funzionamento 95
11.3.3 Componenti principali 96
11.3.4 Tipologie di stazioni di ricircolo 97
11.3.5 Contesti applicativi 99
11.3.6 Criteri preliminari di dimensionamento 100
12 Schemi di impianti con stazioni di ricircolo 101
13. Confronto tecnico-economico 105
13.1 Criteri di confronto 105
13.2 Driver di costo iniziale 106
13.3 Driver di costo operativo 107
13.4 Costo globale e TCO 108
13.5 Lettura per contesto applicativo 109
13.6 La regola del minimo costo globale 110

14. Conclusioni **112**
14.1 Limiti e prospettive di sviluppo 116
14.2 Considerazione conclusiva 117
Bibliografia **119**
Legislazione e atti ufficiali 119
Norme tecniche 119
Linee guida e letteratura scientifica 120
Manuali e letteratura scientifica 120
Pubblicazioni tecniche Caleffi 120
Elenco degli acronimi e delle abbreviazioni 122
Nomenclatura delle grandezze e dei simboli di calcolo 123
Legenda dei simboli degli schemi impiantistici 124

Elenco figure

Figura 1.1 - Classificazione dei sistemi di produzione di ACS 12
Figura 1.2 - Bollitore a gas 13
Figura 1.3 - Bollitore elettrico 14
Figura 1.4 - Bollitore a pompa di calore 15
Figura 1.5 - Scaldacqua a gas 17
Figura 1.6 - Scaldacqua elettrico 18
Figura 1.7 - Pompa di calore con accumulo tecnico e produzione di ACS 23
Figura 1.8 - Tipologie di serpentino immerso e relativi coefficienti di scambio 25
Figura 1.9 - Accumulo sanitario con scambiatore esterno a piastre 26
Figura 1.10 - Produzione istantanea di ACS con scambiatore corrugato immerso 27
Figura 1.11 - Schema funzionale di una FWS 28
Figura 9.1 - Installazione di una FWS in una villetta 74
Figura 9.2 - Installazione periferica di FWS (satelliti d'utenza) in un condominio 75
Figura 9.3 - Installazione di FWS in un edificio con uffici 76
Figura 9.4 - Installazione centralizzata di FWS in cascata in un Hotel 77
Figura 9.5 - Installazione di FWS in un ospedale 78
Figura 9.6 - Installazione di una FWS in un centro sportivo 79
Figura 11.1 - Ricircolo all'utenza e al collettore 91
Figura 11.2 - Ricircolo al piano 92
Figura 11.3 - Ricircolo alle colonne 93
Figura 12.1 - Installazione di stazioni di ricircolo, una per piano, a servizio di più utenze 102
Figura 12.2 - Installazione di una stazione di ricircolo a servizio di una zona multipiano 103
Figura 12.3 - Installazione FWS in cascata combinata con stazione di ricircolo 104

Elenco tabelle

Tabella 2.1 - Componenti fondamentali della FWS 32
Tabella 2.2 - Criteri di classificazione delle FWS 33
Tabella 2.3 - Tipologie di regolazione della temperatura ACS 34
Tabella 2.4 - Funzioni optional delle FWS 40
Tabella 4.1 - Confronto tra Fresh Water Station e impianto tradizionale 55
Tabella 5.1 - Ambiti applicativi delle Fresh Water Station per tipologia edilizia 60
Tabella 6.1 - Sintesi dei limiti applicativi e strategie di mitigazione 64
Tabella 7.1 - Componentistica di impianto a corredo delle Fresh Water Station 68
Tabella 8.1 - Sintesi delle configurazioni di integrazione energetica 72
Tabella 10.1 - Dati minimi per il dimensionamento 81
Tabella 10.2 - Ripartizione delle attività di dimensionamento 85
Tabella 11.1 - Sintesi delle configurazioni distributive 94
Tabella 11.2 - Componenti principali delle stazioni di ricircolo 97
Tabella 11.3 - Tipologie di stazioni di ricircolo 98
Tabella 11.4 - Contesti applicativi delle stazioni di ricircolo 99
Tabella 13.1 - Criteri di confronto tecnico-economico 106
Tabella 13.2 - Driver di costo iniziale 107
Tabella 13.3 - Driver di costo operativo 108
Tabella 13.4 - Confronto qualitativo CAPEX-OPEX-rischio gestionale 109
Tabella 13.5 - Applicazioni per contesto applicativo 110

Introduzione

La produzione e la distribuzione di acqua calda sanitaria (ACS) rappresentano uno dei nodi centrali della progettazione impiantistica moderna, con implicazioni che si estendono dalla sicurezza igienica all'efficienza energetica, dalla compatibilità con le fonti rinnovabili alla gestione operativa degli edifici. In Italia, come nel resto d'Europa, la pressione normativa e le crescenti aspettative di comfort hanno reso obsoleto l'approccio tradizionale basato esclusivamente su grandi accumulatori sanitari, aprendo lo spazio a tecnologie di produzione istantanea che affrontano in modo strutturalmente diverso il problema della separazione tra accumulo energetico e produzione di acqua potabile calda. [1-2, 20, 30]

La fresh water station (FWS) — stazione di produzione istantanea di acqua calda sanitaria tramite scambiatore di calore a piastre — si è affermata come una delle risposte tecniche a questa evoluzione. Il principio è elegante nella sua semplicità: l'energia termica viene accumulata in un circuito chiuso di acqua tecnica, tipicamente in un puffer, e trasferita all'acqua potabile esclusivamente al momento del prelievo. I due circuiti, tecnico e sanitario, non si mescolano mai; la barriera è lo scambiatore di calore. Ne consegue che il volume di acqua sanitaria calda presente nell'impianto in qualsiasi momento è minimo, eliminando le condizioni di stagnazione che favoriscono la proliferazione batterica.
Questa tecnologia non è nuova: le prime stazioni di questo tipo sono state sviluppate nell'ambito dei sistemi di teleriscaldamento scandinavi negli anni Ottanta del Novecento, dove la separazione tra il circuito primario di teleriscaldamento e le reti sanitarie degli edifici è una necessità tecnica e normativa. Nel corso dei decenni successivi, la tecnologia si è estesa ben oltre il contesto del teleriscaldamento, diventando compatibile con qualsiasi generatore capace di alimentare un puffer tecnico: caldaie a gas e a biomassa, collettori solari termici, pompe di calore geotermiche e ad aria, inserzioni elettriche da fotovoltaico, e qualsiasi combinazione di queste fonti. [18, 30]

In questo scenario, il tema dell'ACS non può essere affrontato soltanto come scelta tra apparecchiature alternative, ma richiede una lettura integrata dell'intero sistema edificio-impianto. La domanda di acqua calda sanitaria è infatti discontinua, fortemente variabile nel tempo e legata a profili d'uso che cambiano in funzione della destinazione dell'edificio, del numero di utenti, delle abitudini di prelievo e del livello di comfort atteso.

A differenza del riscaldamento degli ambienti, che presenta una dinamica più lenta e prevedibile, la produzione di ACS deve rispondere a richieste concentrate in intervalli brevi, spesso caratterizzate da picchi elevati e da lunghi periodi di inattività. Questa natura intermittente rende il dimensionamento particolarmente delicato: un impianto sottodimensionato compromette il comfort, mentre un impianto sovradimensionato aumenta costi, dispersioni e complessità gestionale.
La progettazione tradizionale ha spesso risposto a questa variabilità attraverso grandi volumi di accumulo sanitario, capaci di garantire una riserva pronta all'uso anche nei momenti di massimo prelievo. Tale impostazione, pur essendo robusta e consolidata, porta con sé alcuni limiti strutturali. Mantenere acqua potabile calda in serbatoi e reti di distribuzione implica dispersioni termiche continue, necessità di controllo della temperatura, rischi igienico-sanitari legati alla stagnazione e una maggiore inerzia nella gestione energetica. In edifici complessi o con reti estese, il problema non riguarda soltanto il generatore, ma coinvolge l'intera catena di produzione, accumulo, ricircolo e distribuzione fino al punto d'uso. [14-15, 20-21]

Negli ultimi anni, la crescente attenzione verso l'efficienza energetica degli edifici ha reso sempre più evidente la necessità di ridurre le perdite non utili associate ai servizi termici. In involucri edilizi progressivamente più performanti, il peso relativo dell'ACS sul fabbisogno complessivo tende ad aumentare: quando il riscaldamento degli ambienti richiede meno energia, la produzione di acqua calda sanitaria diventa una voce sempre più rilevante nel bilancio energetico annuale. Ne deriva che soluzioni considerate secondarie in passato assumono oggi un ruolo centrale nella valutazione delle prestazioni dell'impianto. La riduzione dei volumi sanitari stoccati, il controllo delle temperature, l'integrazione con fonti rinnovabili e la limitazione delle dispersioni di rete diventano criteri progettuali determinanti.

Accanto all'aspetto energetico, il tema igienico rappresenta uno dei motivi principali di interesse verso le soluzioni istantanee. L'acqua destinata al consumo umano deve essere gestita in modo da evitare condizioni favorevoli alla proliferazione microbiologica, in particolare nei tratti in cui temperatura, tempo di permanenza e presenza di biofilm possono creare situazioni critiche. La fresh water station interviene proprio su questo punto, perché riduce drasticamente il volume di acqua sanitaria calda presente nel sistema e sposta l'accumulo sul lato tecnico, non potabile. In questo modo il calore viene conservato dove è più controllabile e meno problematico dal punto di vista igienico, mentre l'acqua potabile viene riscaldata solo al momento della richiesta. [13, 18, 20]

Il principio di funzionamento della FWS, tuttavia, non deve essere interpretato come una semplice sostituzione del bollitore sanitario con uno scambiatore. La stazione è un nodo idraulico e termico che mette in relazione più sottosistemi: il generatore o la sorgente primaria, l'accumulo tecnico, il circuito di distribuzione, gli organi di regolazione, i dispositivi di sicurezza e, nei casi più articolati, la rete di ricircolo. La qualità del risultato dipende quindi dalla coerenza dell'insieme. Portata primaria disponibile, temperatura del puffer, superficie di scambio, perdite di carico, tempi di risposta della regolazione e condizioni dell'acqua sono variabili che devono essere considerate congiuntamente. Una FWS correttamente selezionata e installata può offrire prestazioni elevate; una scelta non coerente con il profilo d'uso può invece generare instabilità di temperatura, comfort insufficiente o inefficienze operative. [16, 18]

Un ulteriore elemento di attualità riguarda la transizione verso generatori a bassa temperatura e sistemi ibridi. Le pompe di calore, il solare termico, il recupero di calore e le reti termiche efficienti richiedono logiche progettuali diverse rispetto agli impianti basati esclusivamente su generatori ad alta temperatura. La produzione istantanea di ACS tramite scambiatore può dialogare efficacemente con queste sorgenti, ma solo se il dimensionamento tiene conto del salto termico disponibile e della temperatura effettivamente raggiungibile dal circuito primario. Il tema non è quindi soltanto scegliere una tecnologia innovativa, ma costruire una configurazione capace di funzionare in modo stabile nelle condizioni reali dell'edificio.
Da questo punto di vista, la FWS non va considerata una soluzione universalmente preferibile. Il suo impiego è particolarmente interessante quando consente di ridurre i volumi sanitari accumulati, semplificare la gestione igienica, integrare più fonti termiche o migliorare la flessibilità dell'impianto. Esistono però anche condizioni in cui una soluzione tradizionale può risultare più semplice, economica o adeguata: edifici molto piccoli, profili di prelievo estremamente regolari, sorgenti primarie con temperatura insufficiente, acque particolarmente dure o contesti in cui la manutenzione dello scambiatore non sia gestita correttamente. L'analisi tecnica deve quindi evitare sia l'entusiasmo acritico sia la difesa automatica delle soluzioni consolidate, valutando invece caso per caso il rapporto tra prestazioni, sicurezza, costo e complessità.

La presente tesi nasce da questa esigenza di inquadramento critico. L'obiettivo non è promuovere una singola configurazione impiantistica, ma ricostruire il ruolo delle stazioni di produzione istantanea all'interno del più ampio panorama dei sistemi ACS. Per farlo è necessario partire da una classificazione ordinata delle tecnologie disponibili, chiarendo le

differenze tra produzione diretta e indiretta, tra accumulo e istantaneità, tra sistemi centralizzati e localizzati. Solo dopo questa base concettuale è possibile comprendere dove si colloca la FWS, quali problemi intende risolvere e quali nuove attenzioni progettuali introduce.

Un aspetto centrale del lavoro è il dimensionamento. In un sistema istantaneo, la potenza richiesta non dipende soltanto dall'energia giornaliera necessaria, ma soprattutto dalla portata di punta e dal salto termico tra acqua fredda in ingresso e temperatura di erogazione. A sua volta, il circuito primario deve essere in grado di trasferire questa potenza allo scambiatore senza compromettere la stabilità del puffer e senza imporre condizioni di funzionamento irrealistiche al generatore. La tesi approfondisce quindi il legame tra portata sanitaria, temperatura di mandata primaria, volume tecnico disponibile e margine di regolazione, con l'obiettivo di trasformare la scelta della stazione in un procedimento verificabile e non in una semplice selezione nominale. [10, 16-17, 20]

Inoltre il lavoro dedica attenzione alla distribuzione dell'ACS e al ruolo del ricircolo, perché la prestazione percepita dall'utente non dipende esclusivamente dal punto di produzione. Tempi di attesa, perdite di calore lungo le tubazioni, bilanciamento delle colonne, controllo della temperatura e compatibilità con le strategie anti-Legionella incidono in modo diretto sul comfort e sui consumi. La FWS può essere integrata in schemi distributivi differenti, dalla produzione prossima all'utenza fino a configurazioni centralizzate con ricircolo, e ciascuna scelta comporta vantaggi e criticità. Considerare la stazione isolatamente sarebbe quindi riduttivo: il suo comportamento va letto all'interno della rete che serve. [5, 17, 21]

1. Classificazione generale dei sistemi di produzione ACS

L'analisi dei sistemi dedicati alla produzione di acqua calda sanitaria (ACS) richiede una distinzione preliminare basata sulla logica di erogazione e sulla configurazione spaziale dell'impianto. Dal punto di vista funzionale, le metodologie impiegate si dividono tra sistemi ad accumulo e sistemi a produzione istantanea. Nel primo caso, l'acqua viene stoccata in appositi serbatoi coibentati, o bollitori, dove subisce un processo di riscaldamento preventivo che ne garantisce l'immediata disponibilità in caso di prelievo. Se da un lato questa soluzione permette di gestire agevolmente i picchi di richiesta, dall'altro impone una rigorosa strategia di mantenimento termico per contrastare le inevitabili dispersioni energetiche durante i periodi di inutilizzo. Al contrario, i sistemi istantanei operano esclusivamente su richiesta attraverso scambiatori di calore ad alta efficienza — generalmente del tipo a piastre — i quali devono essere dimensionati per soddisfare la potenza termica necessaria al riscaldamento del fluido in tempo reale. [14, 20]

Le due tecnologie possono essere implementate secondo una modalità di scambio diretta o indiretta. Mentre nella configurazione diretta il generatore agisce direttamente sull'acqua destinata al consumo, nella modalità indiretta il calore viene trasferito a un fluido tecnico intermedio. Quest'ultimo approccio risulta particolarmente vantaggioso in contesti multifunzionali, poiché permette al generatore di asservire contemporaneamente la produzione sanitaria e altri servizi termici dell'edificio, come il riscaldamento degli ambienti.

Spostando l'analisi sulla scala distributiva, l'impiantistica moderna si articola tra configurazioni centralizzate e localizzate. I sistemi centralizzati, tipici di contesti ad alta densità abitativa o strutture a uso collettivo come ospedali e complessi alberghieri, concentrano la produzione in una centrale termica dedicata. Sebbene tale architettura semplifichi le operazioni di manutenzione ordinaria e ottimizzi la gestione degli spazi interni, essa introduce criticità legate alla stabilità termica lungo la rete di distribuzione. In tali scenari, diventa fondamentale l'adozione di protocolli di sicurezza per il controllo della proliferazione batterica, con specifico riferimento alla *Legionella*, la cui insorgenza è favorita dai grandi volumi d'acqua accumulata. Parallelamente, i sistemi localizzati risolvono alla radice tali problematiche igienico-sanitarie e le perdite di calore in rete, producendo l'acqua in prossimità dei punti di erogazione. Tuttavia, questa scelta progettuale comporta una maggiore frammentazione delle apparecchiature, richiedendo spazi tecnici dedicati in ogni unità abitativa e una distribuzione capillare dei vettori energetici, siano essi elettrici o gassosi.

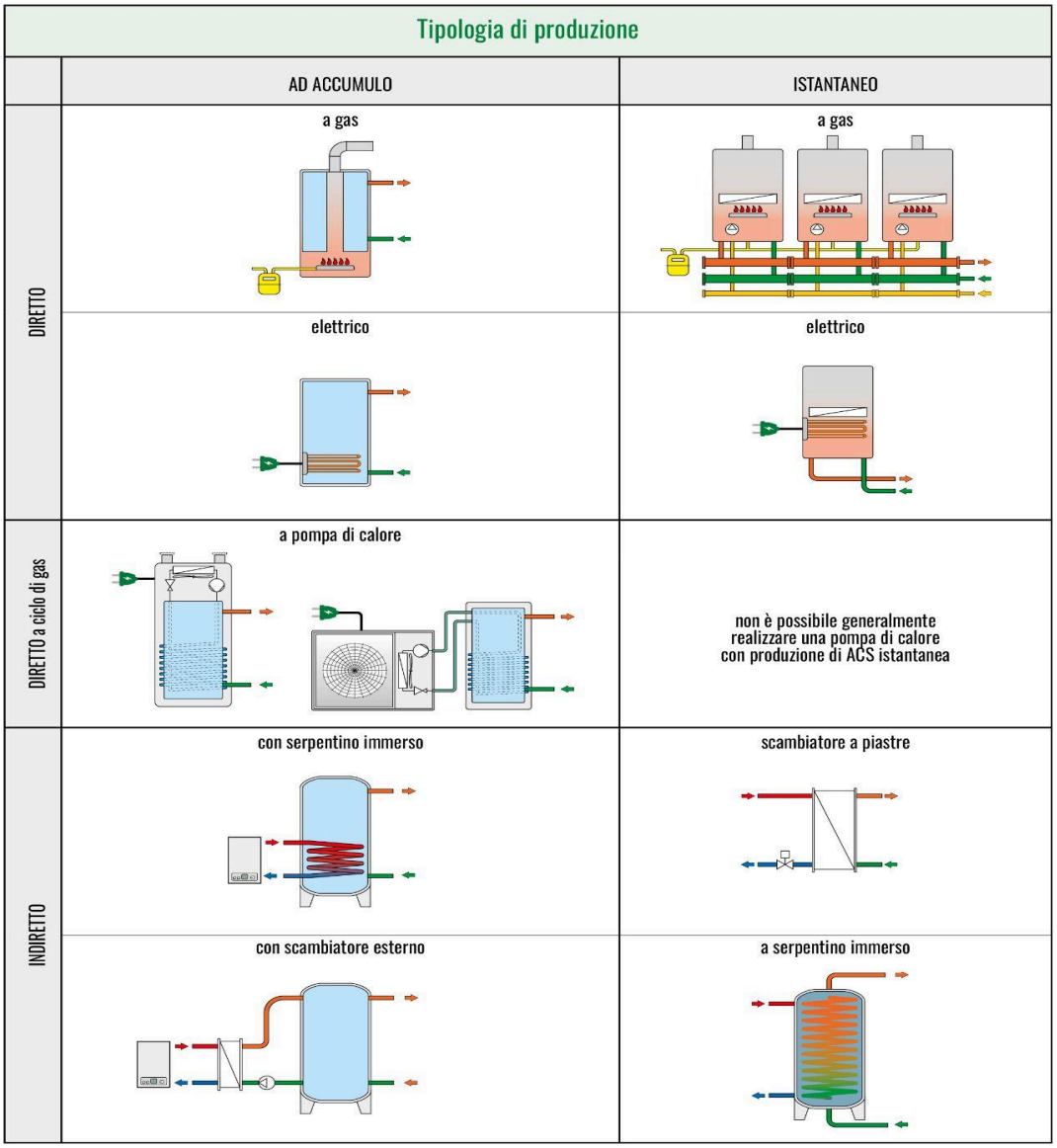


Figura 1.1 - Classificazione dei sistemi di produzione di ACS

1.1 Sistemi di produzione acqua calda diretti con accumulo sanitario

Nei sistemi diretti con accumulo, l'acqua è scaldata e stoccata direttamente nel volume di accumulo. Il generatore termico — bollitore a gas, bollitore elettrico e bollitore a pompa di calore — agisce direttamente sull'acqua destinata all'erogazione. Il serbatoio accumula energia sotto forma di acqua calda, pronta per essere distribuita ai punti di utilizzo nel momento del prelievo. Questa soluzione è storicamente la più diffusa grazie alla sua semplicità costruttiva e alla capacità di soddisfare picchi di prelievo anche intensi, entro i limiti del volume accumulato. [14, 20]

Dal punto di vista costruttivo, i bollitori sono realizzati in acciaio, rivestito internamente con pellicole protettive o smalti, oppure in acciaio inossidabile; l'isolamento è affidato a materiali coibentanti quali lana minerale o schiume poliuretaniche, rigide o morbide. La scelta tra coibentazione rigida e smontabile dipende dalle dimensioni del serbatoio: quella smontabile risulta preferibile per gli accumuli di grossa taglia, poiché ne facilita la movimentazione e il passaggio attraverso i vani porta, mentre quella rigida è più indicata per i bollitori di dimensioni contenute, offrendo finiture esterne migliori. Un corretto isolamento non serve solo a limitare le dispersioni termiche, ma anche a preservare la stratificazione termica interna, favorendo la separazione tra lo strato caldo superiore e quello più freddo in prossimità dell'ingresso dell'acqua di rete.

1.1.1 Bollitori a gas

I bollitori a gas basano il proprio funzionamento sullo scambio termico immediato tra i prodotti della combustione e il fluido stoccato nel serbatoio. In tale configurazione, il bruciatore è tipicamente alloggiato alla base della struttura, consentendo ai fumi caldi di lambire o attraversare lo stoccaggio prima di essere convogliati verso il sistema di evacuazione esterno.

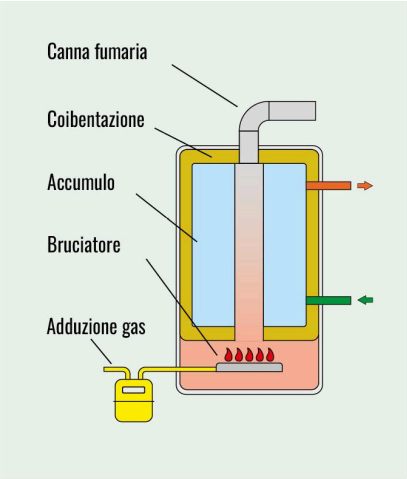


Figura 1.2 - Bollitore a gas

Nonostante questa soluzione si distingua per un costo di investimento contenuto, essa è caratterizzata da rendimenti termici limitati, che ne pregiudicano spesso la conformità ai severi requisiti di efficienza energetica imposti dalle normative vigenti per le nuove costruzioni. Per tale ragione, il loro impiego è attualmente circoscritto agli interventi di sostituzione di impianti obsoleti o ad ambiti specifici nel

settore industriale, dove la semplicità costruttiva prevale sull'esigenza di massimizzazione delle prestazioni energetiche. [4, 13-14]

1.1.2 Bollitori elettrici

I bollitori elettrici costituiscono una delle soluzioni tecnologicamente più elementari per la produzione di acqua calda sanitaria. La loro architettura si basa sull'integrazione di un serbatoio di accumulo con una resistenza elettrica a immersione, la quale converte l'energia elettrica in calore per effetto Joule, innalzando progressivamente la temperatura del fluido stoccato.

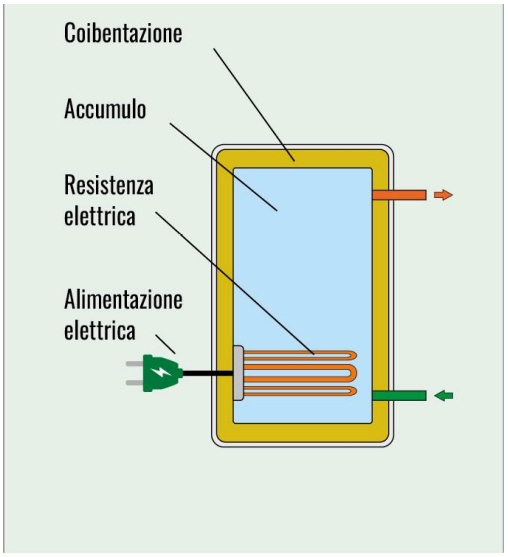


Figura 1.3 - Bollitore elettrico

Sotto il profilo applicativo, questi dispositivi trovano una collocazione ottimale in contesti caratterizzati da un fabbisogno idrico estremamente contenuto o discontinuo, come nel caso di edifici direzionali o piccoli uffici. Tuttavia, l'impiego dei bollitori elettrici presenta criticità sostanziali in termini di efficienza termodinamica: il rendimento di produzione risulta infatti modesto se confrontato con tecnologie più avanzate, come le pompe di calore.

Inoltre, a causa dell'elevato consumo di energia primaria e del conseguente impatto ambientale, questa tipologia di generatori fatica a soddisfare i rigidi standard di prestazione energetica imposti dalle attuali normative. Di conseguenza, il loro utilizzo è oggi prevalentemente limitato a interventi di integrazione puntuale o a situazioni in cui l'installazione di sistemi più complessi risulti tecnicamente impraticabile.

1.1.3 Bollitori a pompa di calore

I bollitori a pompa di calore rappresentano una delle soluzioni tecnologicamente più avanzate e sostenibili per la generazione di acqua calda sanitaria. Il sistema integra un ciclo frigorifero a compressione di gas, solitamente alloggiato nella parte superiore dell'unità, che estrae energia termica da una sorgente aerotermica per trasferirla al fluido contenuto nel serbatoio sottostante. Per garantire l'integrità igienica e prevenire qualsiasi rischio di contaminazione tra

il fluido refrigerante e l'acqua potabile, lo scambio termico avviene frequentemente tramite un serpentino esterno avvolto attorno al mantello dell'accumulo, evitando il contatto diretto.

Sotto il profilo aerotermico, il funzionamento della pompa di calore prevede il prelievo di aria (ambiente o esterna) e la sua successiva espulsione previa sottrazione di calore. Qualora l'aria venga prelevata e scaricata direttamente nel locale d'installazione, è fondamentale che l'ambiente rispetti requisiti stringenti in termini di volume minimo e tasso di ventilazione, al fine di evitare un eccessivo raffreddamento del locale che comprometterebbe il coefficiente di prestazione (COP) della macchina. In alternativa, esistono configurazioni cosiddette "split", in cui l'unità evaporante o l'intero gruppo motocondensante vengono installati all'esterno, collegati al bollitore tramite linee frigorifere dedicate.

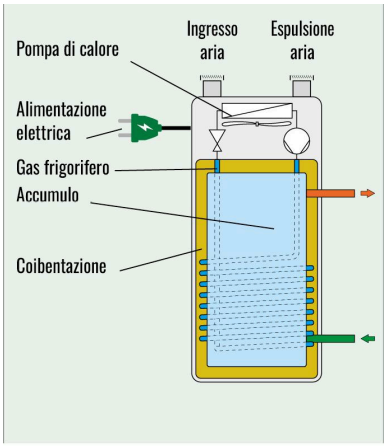


Figura 1.4 - Bollitore a pompa di calore

Dal punto di vista dell'efficienza energetica, questi dispositivi si pongono ai vertici della categoria, garantendo il pieno rispetto delle normative vigenti (come i requisiti di integrazione delle fonti rinnovabili negli edifici) grazie a un consumo di energia primaria drasticamente inferiore rispetto ai sistemi a resistenza o a combustione. Nonostante l'elevato investimento iniziale richiesto, il sensibile risparmio sui costi di esercizio e la possibilità di accedere a incentivi statali rendono questa tecnologia una scelta prioritaria nella progettazione di edifici ad alte prestazioni energetiche. [30, 33]

1.1.4 Vantaggi e svantaggi

I vantaggi principali di queste tre alternative sono: la semplicità del sistema (pochi componenti, logica di regolazione intuitiva), la bassa sensibilità alla variabilità della sorgente termica (l'accumulo funge da buffer anche sul lato sanitario) e la disponibilità immediata di acqua calda anche in caso di guasto temporaneo del generatore. La distribuzione avviene per pressione di rete, senza bisogno di pompe aggiuntive se il serbatoio è collocato in posizione sopraelevata rispetto ai punti d'uso.

I limiti, tuttavia, sono significativi e ben documentati sia nella letteratura tecnica sia nelle linee guida normative. Il principale è la stagnazione: un grande volume di acqua calda rimane fermo nel serbatoio per periodi potenzialmente lunghi, in condizioni di temperatura che

possono favorire la proliferazione di Legionella pneumophila. Le linee guida ministeriali italiane del 2015 identificano come zona critica l'intervallo tra 20 e 50 °C, in cui il batterio si moltiplica attivamente. In un bollitore da 200-300 litri mantenuto a 55-60 °C, la stratificazione termica crea tipicamente uno strato inferiore — attorno all'ingresso dell'acqua fredda — che si mantiene a temperature sub-ottimali, specialmente in periodi di basso utilizzo.

Il secondo limite è prestazionale: durante prelievi prolungati e intensi, il serbatoio si svuota progressivamente della sua riserva di acqua calda, con un abbassamento graduale della temperatura di erogazione. [14, 20]

Il terzo limite è energetico. Il mantenimento di un grande volume di acqua calda comporta perdite continue per dispersione attraverso le pareti del serbatoio, anche in assenza di prelievi. Queste perdite — denominate 'perdite in standby' — incidono in modo significativo sul consumo energetico annuo, soprattutto negli edifici con profilo d'uso intermittente, come uffici o scuole, dove il serbatoio rimane caldo per molte ore senza che venga utilizzato.

Per contenere i rischi sanitari, la prassi impiantistica indica alcuni valori di riferimento da rispettare lungo l’intera rete: temperatura di accumulo non inferiore a 60 °C, temperatura di distribuzione non inferiore a 55 °C, temperatura di ritorno del ricircolo non inferiore a 50 °C, con possibilità di innalzamento fino a 70 °C per i cicli periodici di disinfezione termica. L’acqua fredda sanitaria, al contrario, dovrebbe mantenersi al di sotto dei 25 °C per non favorire la proliferazione batterica lungo le tubazioni di adduzione. Il rispetto di queste soglie richiede tuttavia l’installazione di miscelatori antiscottatura in prossimità dei punti di erogazione, poiché l’acqua distribuita a queste temperature risulterebbe altrimenti pericolosa per l’utente finale.

1.2 Sistemi di produzione acqua calda diretti istantanei

I sistemi di produzione diretta istantanea si distinguono per l'assenza di un serbatoio di accumulo sanitario. L'acqua calda sanitaria (ACS) viene prodotta esclusivamente su richiesta, al momento dell'apertura del rubinetto. In questa configurazione, un flussostato o un sensore rileva il prelievo e attiva immediatamente il generatore (caldaia o scaldacqua a gas), che scalda l'acqua fredda sanitaria portandola alla temperatura di set-point attraverso uno scambiatore o un corpo scaldante. Il principio operativo è semplice e si basa sulla relazione fondamentale che lega la potenza necessaria alla portata richiesta e al salto termico (P [kW] = portata [l/min] × ΔT [°C] × 0,07). Questo approccio impiantistico elimina le dispersioni statiche e il rischio igienico legato alla stagnazione, ma richiede che il generatore abbia una potenza termica molto elevata e disponibile istantaneamente per coprire i picchi di prelievo. [10, 14, 20]

1.2.1 Scaldacqua a gas

I produttori istantanei a gas, comunemente chiamati scaldacqua, producono l'acqua calda sanitaria sul momento sfruttando la combustione diretta all'interno di un apposito bruciatore. I modelli moderni a condensazione utilizzano bruciatori modulanti multistadio, una tecnologia che adatta automaticamente la potenza alla quantità di acqua richiesta; in questo modo si evitano continui cicli di accensione e spegnimento, garantendo una temperatura costante. Il funzionamento dell'apparecchio è gestito da un flussostato posizionato sull'ingresso dell'acqua fredda, che attiva il sistema non appena rileva il passaggio del flusso.

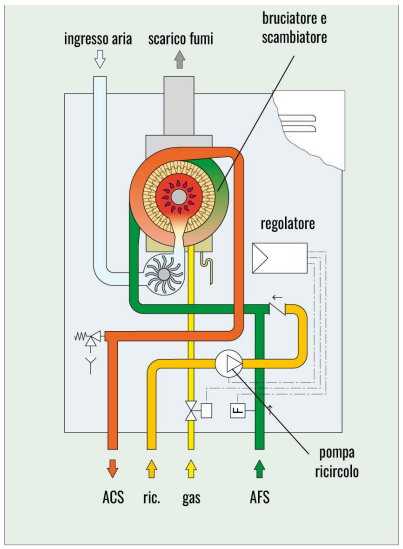


Figura 1.5 - Scaldacqua a gas

Di norma, la temperatura di mandata dell'acqua calda si attesta intorno ai 50–55 °C, un valore che tuttavia può risultare troppo elevato o instabile per un utilizzo diretto. Per ovviare a questo problema, si consiglia solitamente di installare un miscelatore termostatico ad alte prestazioni subito all'uscita del dispositivo.

Quando le portate richieste sono molto elevate, gli scaldacqua vengono spesso abbinati a un serbatoio di accumulo senza scambiatore, che ha l'unica funzione di stoccare l'acqua già riscaldata. Infine, per quanto riguarda il posizionamento, questi apparecchi sono progettati sia

per l'installazione all'esterno senza canna fumaria, sia per l'interno, dove richiedono invece appositi condotti per lo scarico dei fumi.

1.2.2 Scaldacqua elettrici

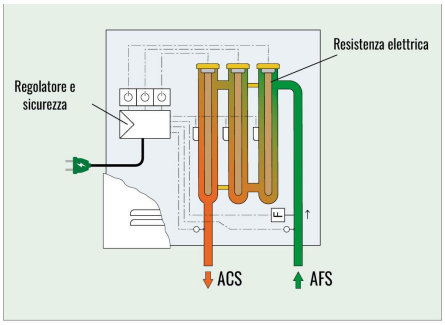


Figura 1.6 - Scaldacqua elettrico

La produzione istantanea di acqua calda sanitaria mediante tecnologie elettriche rappresenta una soluzione impiantistica volta all'ottimizzazione degli spazi e alla riduzione delle dispersioni termiche intrinseche nei sistemi ad accumulo. Tali dispositivi sono progettati per fornire energia termica al fluido vettore solo nel momento dell'effettiva richiesta, evitando il mantenimento del regime termico in serbatoi di stoccaggio.

Le configurazioni principali possono essere classificate in tre categorie macroscopiche:

1. **Scaldacqua elettrici a flusso diretto (senza accumulo):** I sistemi a flusso diretto sono ideali per installazioni in contesti caratterizzati da limitata volumetria disponibile o per utenze con prelievi intermittenti. Il vantaggio termodinamico risiede nell'annullamento delle perdite di calore verso l'ambiente esterno durante i periodi di inattività. Dal punto di vista della rete elettrica, tuttavia, questi dispositivi richiedono potenze di picco elevate, generalmente comprese nel range tra 30 e 36 kW, per garantire l'innalzamento della temperatura del flusso d'acqua in tempo reale.
2. **Sistemi con micro-accumulo da sottolavabo:** Per applicazioni puntuali in cui la rete di distribuzione principale non risulta efficiente o raggiungibile, si utilizzano scaldacqua dotati di micro-accumulo. Questa soluzione combina la reattività del riscaldamento immediato con l'ausilio di una piccola riserva idrica preriscaldata. La presenza dell'accumulo riduce drasticamente l'impatto sulla rete elettrica, permettendo il funzionamento con potenze installate contenute (nell'ordine degli 1,5 kW), rendendoli compatibili con le utenze domestiche standard senza necessità di potenziamento del contatore.
3. **Sistemi elettrici di tipo "Booster"**: I dispositivi definiti "booster" operano come surriscaldatori in serie a un sistema di generazione primario (tipicamente una pompa di calore o un impianto solare termico). La loro funzione è duplice:

- Integrazione termica: Elevare la temperatura dell'ACS oltre i limiti operativi della generazione primaria.
- Sicurezza microbiologica: Garantire il raggiungimento dei target termici necessari per i cicli di disinfezione anti-Legionella. [4, 13]

In tali configurazioni, i booster vengono solitamente installati nella sezione superiore degli accumuli termici o integrati nei moduli di utenza per la produzione istantanea, con un fabbisogno energetico che si attesta mediamente tra i 3 e i 6 kW.

1.3 Sistemi di produzione acqua calda diretti a ciclo di gas

Questa categoria di sistemi si basa sull'impiego del ciclo frigorifero a compressione, noto come ciclo di gas, per il trasferimento e l'innalzamento del livello termico dell'acqua destinata al consumo sanitario. A seconda della configurazione, il calore può essere ceduto direttamente all'acqua sanitaria oppure a un circuito tecnico che alimenta un bollitore, uno scambiatore o una Fresh Water Station. La distinzione tra produzione diretta e indiretta riguarda pertanto l'architettura idraulica sul lato sanitario, mentre questa sezione classifica i sistemi in base alla natura termodinamica del generatore.

L'importanza di questa tecnologia risiede nella sua elevata efficienza energetica, fattore cruciale nell'evoluzione impiantistica moderna.

1.3.1 Pompa di calore

Nel campo dei sistemi efficienti per la produzione di ACS, la pompa di calore (PdC) costituisce una soluzione di particolare interesse.

Il suo principio operativo consiste nell'estrarre energia termica da una sorgente a bassa temperatura (aria, acqua o terreno) e cederla all'acqua sanitaria oppure a un circuito tecnico destinato alla successiva produzione di ACS. L'intero processo è governato dal ciclo di compressione del gas refrigerante, che, attraverso un compressore, incrementa la pressione e la temperatura, cedendo poi il calore nel condensatore (o scambiatore) che è a contatto con il fluido da riscaldare.

Dal punto di vista energetico, le pompe di calore possono raggiungere coefficienti di prestazione elevati quando la temperatura della sorgente e quella richiesta all'utilizzatore mantengono contenuto il salto termico.

La crescente sensibilità verso la sostenibilità ambientale e il risparmio energetico ha favorito la diffusione di queste tecnologie, che utilizzano fonti rinnovabili, come l'aria, per coprire il fabbisogno termico [30, 33].

Per le applicazioni idroniche e per la produzione di ACS risultano rilevanti le configurazioni aria-acqua, acqua-acqua e terra-acqua descritte di seguito. Le pompe di calore aria-aria riscaldano o raffrescano direttamente l'aria degli ambienti e, nella configurazione ordinaria, non producono acqua calda sanitaria. Non vengono pertanto approfondite in questa sezione, salvo sistemi combinati dotati di una sezione idronica dedicata.

- Pompe di calore aerotermiche aria-acqua: Rappresentano la soluzione idronica basata sulla sorgente aerea. In questo caso, il ciclo frigorifero estrae calore dall'aria esterna e lo cede all'acqua tecnica dell'impianto di climatizzazione. Questa configurazione garantisce un'elevata versatilità impiantistica, consentendo l'accoppiamento con differenti terminali di emissione quali pannelli radianti, ventilconvettori o radiatori. All'interno di questa famiglia si distinguono tre varianti costruttive:
    - Le soluzioni monoblocco, in cui l'intero circuito frigorifero, compreso lo scambiatore refrigerante-acqua, è sigillato nell'unità esterna e i collegamenti verso l'edificio sono puramente idraulici;
    - I sistemi refrigerant-split, strutturati con un modulo idronico interno e un'unità esterna collegati da tubazioni di gas refrigerante, eliminando il tratto idraulico esterno e il relativo rischio di congelamento;
    - I sistemi hydro-split, che mantengono il circuito del gas interamente confinato all'esterno e impiegano linee idrauliche di interconnessione verso un modulo idronico interno, richiedendo specifici accorgimenti per la prevenzione del gelo in caso di assenza di alimentazione elettrica. Rispetto alla soluzione monoblocco, la differenza consiste nella presenza di due unità e nella collocazione interna dei principali componenti di gestione idraulica.
- Pompe di calore acqua-acqua a circuito aperto: Questi sistemi attingono energia termica dall'acqua di falda presente nel sottosuolo. Sfruttando la notevole inerzia termica del terreno, l'acqua prelevata si mantiene a una temperatura pressoché costante durante tutto l'arco dell'anno. Ciò si traduce in stabilità di funzionamento e in rendimenti termodinamici elevati e relativamente costanti, meno dipendenti dalle condizioni meteorologiche esterne.

- Pompe di calore geotermiche terra-acqua: in questa specifica configurazione geotermica, l'acqua o una soluzione termovettore miscelata funge da fluido intermediario per lo scambio energetico con il terreno circostante. Lo scambio termico avviene tramite circuiti chiusi realizzati con tubazioni plastiche ad alta resistenza note come sonde geotermiche. A seconda della disponibilità spaziale e delle caratteristiche del terreno, lo scambiatore può essere costituito da sonde verticali, sviluppate per decine di metri e in alcuni casi oltre 100 m, oppure da collettori orizzontali posati generalmente a circa 1,5-2 m di profondità. Lunghezza e profondità devono essere definite in funzione del carico, delle proprietà termiche del terreno, dello spazio disponibile e dei criteri autorizzativi [15].

1.3.2 Produzione, stoccaggio e distribuzione dell'acqua calda

Il principio di funzionamento di un sistema termico a pompa di calore non si esaurisce nella sola generazione dell'energia, ma richiede una gestione integrata delle fasi di produzione, stoccaggio e successiva distribuzione del fluido termovettore. A differenza dei generatori tradizionali a combustione, le pompe di calore lavorano con livelli di temperatura generalmente più contenuti; la portata d'acqua deve essere scelta con coerenza con il salto termico di progetto e con il campo di funzionamento indicato dal costruttore, senza assumere che debba sempre essere sempre elevata per massimizzare il COP.

Di conseguenza, l'interconnessione tra l'unità di generazione e le utenze finali deve essere accuratamente calibrata per garantire continuità di servizio, efficienza energetica e stabilità termica. [14-15, 30]

Nelle applicazioni residenziali e terziarie, la produzione di acqua calda si suddivide principalmente in due flussi: l'acqua calda sanitaria (ACS) e l'acqua tecnica destinata all'impianto di climatizzazione.

La presenza di un volume di accumulo dipende dalla funzione richiesta. Per l'ACS è normalmente necessaria una riserva energetica, sanitaria o tecnica, capace di coprire i picchi; sul circuito di climatizzazione, invece, l'accumulo inerziale è previsto solo quando richiesto dal volume minimo della macchina, dalla configurazione idraulica, dalla gestione degli sbrinamenti o dalla necessità di limitare i cicli di accensione e spegnimento.

Quando previsto, l'inserimento di uno o più volumi di accumulo risponde a tre fondamentali esigenze termofisiche e idrauliche:

1. **Disaccoppiamento idraulico:** L'accumulo (in questo caso configurato come volano termico o compensatore idraulico) separa il circuito primario (della pompa di calore) dal circuito secondario (di distribuzione all'edificio). Questo evita che le variazioni di portata richieste dalle zone dell'immobile influenzino negativamente il funzionamento della pompa di calore, assicurando la portata minima al condensatore stabilita dal costruttore.
2. **Compensazione dei carichi e stazionarietà:** La pompa di calore produce energia in modo più efficiente quando lavora in regime relativamente stabile. L'accumulo funge da "ammortizzatore energetico", immagazzinando il calore nei momenti di bassa richiesta per poi cederlo durante i picchi di consumo, riducendo i cicli di accensione e spegnimento (*pendolamento*) del compressore, principali responsabili dell'usura precoce dei componenti e del calo dell'efficienza stagionale (SCOP).
3. **Gestione dei cicli di sbrinamento (*defrost*):** Durante il funzionamento invernale delle pompe di calore aerotermiche, l'umidità dell'aria brina sulle alette dell'evaporatore esterno. Per sciogliere questo strato di ghiaccio, la macchina inverte temporaneamente il ciclo frigorifero, sottraendo calore dall'impianto interno. La presenza di un adeguato volume di accumulo tecnico garantisce l'energia termica necessaria a compiere lo sbrinamento in tempi rapidi, evitando di sottrarre calore direttamente dagli ambienti abitati e limitando le variazioni di comfort percepite dall'utente.

Per quanto riguarda specificamente l'acqua calda sanitaria, lo stoccaggio e la produzione possono avvenire secondo due filosofie costruttive:

- **Accumulo di tipo diretto (Bollitore):** Il serbatoio contiene direttamente l'acqua sanitaria destinata al consumo. Il riscaldamento avviene tramite uno scambiatore interno a serpentino, la cui superficie deve essere verificata alle effettive temperature e potenze della pompa di calore; a causa dei ridotti margini termici è generalmente richiesta una superficie maggiore, ma non è corretto assumere un rapporto fisso rispetto ai sistemi alimentati da caldaia, all'interno del quale circola l'acqua tecnica del circuito primario.
- **Produzione rapida o semirapida (Accumulo tecnico con scambiatore istantaneo):** Il serbatoio contiene acqua tecnica d'impianto, mentre l'acqua sanitaria viene scaldata

istantaneamente solo al momento della richiesta, transitando attraverso un modulo scambiatore a piastre esterno o un tubo corrugato flessibile immerso nell'accumulo stesso. Questa soluzione riduce quasi a zero il volume di acqua sanitaria stagnante, abbattendo drasticamente il rischio di proliferazione del batterio della *Legionella*. [4, 33]

Nel caso del bollitore sanitario, la temperatura di accumulo deve essere definita considerando anche i requisiti igienici. Negli impianti centralizzati dotati di ricircolo, le linee guida nazionali indicano almeno 60 °C nel serbatoio e almeno 50 °C alla base delle colonne di ricircolo. Il raggiungimento di questi livelli termici può ridurre il COP della pompa di calore e rendere necessaria una strategia di integrazione o di gestione termica [4, 20].

Nel caso del puffer tecnico con produzione istantanea, invece, l'acqua accumulata non è potabile e un intervallo indicativo di 45-55 °C può favorire l'efficienza della pompa di calore. Tale intervallo non è universale: la temperatura minima nella parte alta del puffer deve rimanere superiore alla temperatura ACS richiesta di un margine pari all'avvicinamento termico dello scambiatore. Solo l'ACS prodotta dallo scambiatore viene immessa nella rete sanitaria, mentre l'acqua tecnica resta confinata nel circuito primario.

Questa fase è governata da gruppi di pompaggio (circolatori) a giri variabili ed eventuali valvole miscelatrici. Nel caso del riscaldamento degli ambienti, l'acqua viene inviata ai terminali di emissione: sistemi radianti a bassa temperatura (25-35 °C), ventilconvettori (40-45 °C) o radiatori ad alta efficienza (50 °C).

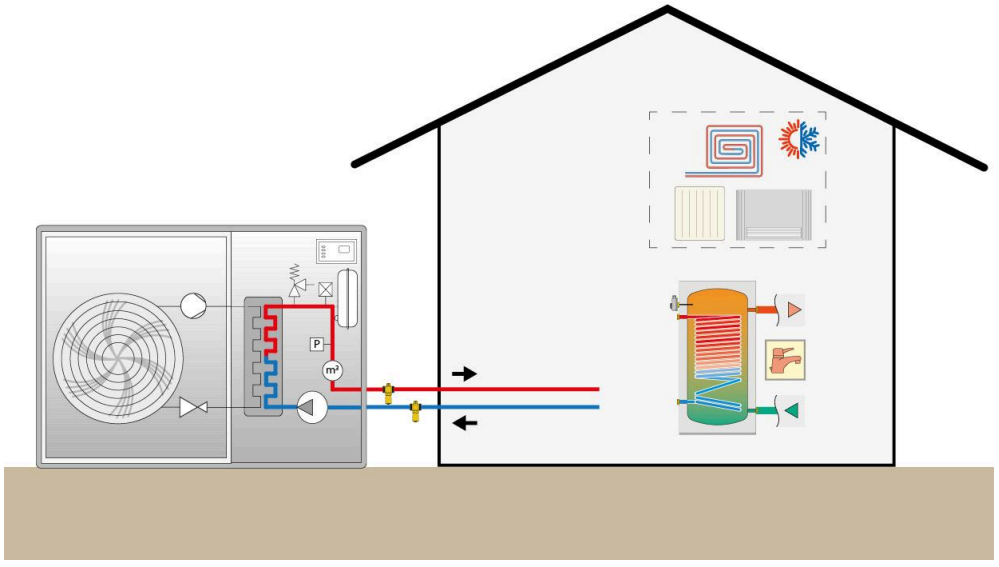


Figura 1.7 - Pompa di calore con accumulo tecnico e produzione di ACS

1.4 Sistemi di produzione acqua calda indiretti

I sistemi di produzione di acqua calda sanitaria (ACS) indiretti rappresentano una configurazione impiantistica in cui il calore è trasferito all'acqua potabile tramite un fluido intermedio, solitamente acqua tecnica. Questo approccio si contrappone alla modalità diretta in cui il generatore agisce immediatamente sull'acqua sanitaria. Il principale vantaggio di questa soluzione è la separazione tra il circuito di accumulo energetico (spesso un puffer contenente acqua tecnica) e il circuito potabile, aspetto di fondamentale importanza a livello igienico perché riduce il rischio di proliferazioni batteriche, non essendoci acqua calda sanitaria accumulata. L'accumulo tecnico in questi sistemi è ottimale per l'integrazione con fonti energetiche rinnovabili, come il solare termico, le biomasse o le pompe di calore. [14, 30]

1.4.1 Sistemi di produzione acqua calda indiretti con accumulo

Nei sistemi di produzione indiretta con accumulo, il processo di generazione del calore avviene in un dispositivo fisicamente separato dal volume di stoccaggio. Il trasferimento dell'energia termica è affidato a un circuito intermedio in cui circola acqua tecnica, la quale agisce come vettore energetico per innalzare la temperatura dell'acqua sanitaria contenuta all'interno del bollitore.

Tale scambio termico è garantito dall'azione di componenti dedicati che mantengono la rigorosa separazione fisica tra il fluido tecnico e l'acqua potabile. Nella prassi progettuale, questa funzione viene assolta prevalentemente tramite scambiatori di calore a serpentino immersi direttamente nell'accumulo o, in alternativa, mediante l'impiego di scambiatori a piastre esterni al serbatoio.

1.4.1.1 Scambiatore a serpentino immerso

Lo scambiatore a serpentino immerso rappresenta la soluzione tecnologica d'elezione per i sistemi di produzione ACS a modalità indiretta dotati di accumulo. Il principio operativo risiede nello scambio termico diretto tra il fluido termovettore, circolante all'interno del condotto, e l'acqua sanitaria stoccata nel bollitore; tale configurazione elimina la necessità di circuiti di pompaggio secondari per il trasferimento energetico, semplificando l'architettura idraulica complessiva del sistema.

Realizzati tipicamente in rame o in acciaio inossidabile, tali componenti possono integrare soluzioni geometriche avanzate, quali l'alettatura superficiale delle tubazioni, finalizzate a incrementare la superficie utile di contatto e, di conseguenza, l'efficienza dello scambio

termico. L'estensione del serpentino verso la sezione inferiore del serbatoio è un requisito progettuale fondamentale per garantire l'attivazione termica dell'intera massa d'acqua, contrastando la formazione del cosiddetto "volume morto" ed eliminando zone di stagnazione che potrebbero favorire criticità igienico-sanitarie.

Sotto il profilo costruttivo, si distinguono versioni a fascio tubiero fisso e modelli estraibili: questi ultimi, pur comportando un driver di costo iniziale superiore, agevolano sensibilmente le operazioni di manutenzione ordinaria e la rimozione dei depositi calcarei. La versatilità di questa tecnologia permette inoltre l'integrazione di più sorgenti energetiche all'interno del medesimo accumulo, rendendo i sistemi a serpentino il fulcro delle installazioni ibride moderne dove la generazione tradizionale interagisce sinergicamente con il solare termico o altre fonti rinnovabili. [15, 20, 30]

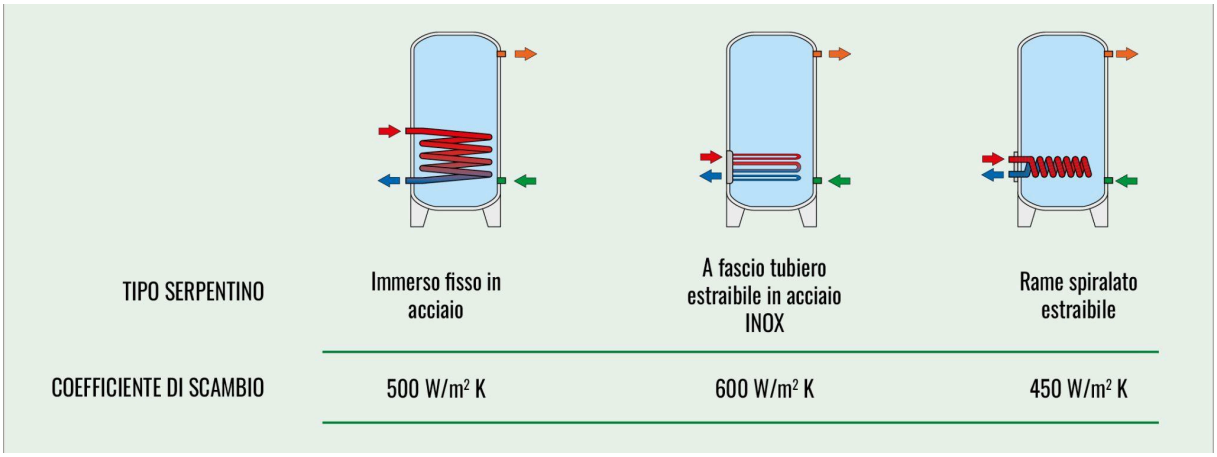


Figura 1.8 - Tipologie di serpentino immerso e relativi coefficienti di scambio

1.4.1.2 Scambiatore esterno a piastre

L'impiego di scambiatori a piastre esterni si configura come una soluzione tecnologica d'avanguardia nel panorama termotecnico, garantendo coefficienti di scambio termico notevolmente superiori rispetto alle tradizionali configurazioni a serpentino immerso. Tale efficienza prestazionale risulta determinante negli scenari operativi caratterizzati da un differenziale termico ridotto tra sorgente primaria e accumulo — condizione paradigmatica degli impianti asserviti da pompe di calore — o in contesti distributivi che impongono la gestione di elevati fabbisogni di acqua calda sanitaria.

L'adozione di tale tecnologia risulta elettiva in contesti operativi che richiedono elevati standard di affidabilità e continuità del servizio; la configurazione degli scambiatori in

parallelo al volume di stoccaggio assicura infatti la costanza delle prestazioni termiche e semplifica notevolmente gli interventi di manutenzione ordinaria. L'elevata efficienza di scambio così ottenuta permette di ottimizzare il trasferimento energetico negli impianti a sviluppo esteso, dove la reattività nel ripristino del regime termico costituisce un parametro progettuale imprescindibile. [14]

Per contro, l'impiego di scambiatori a piastre esterni introduce driver di costo superiori, legati sia all'investimento iniziale, sia alla maggiore articolazione dell'installazione. Rispetto alle soluzioni con serpentino immerso, questa variante impone l'integrazione di un circuito di pompaggio secondario asservito al lato sanitario, interposto tra lo scambiatore e l'accumulo. Conseguentemente, la selezione di questa tecnologia è tipicamente circoscritta ad ambiti specialistici in cui le prestazioni d'eccellenza e i benefici tecnico-impiantistici bilanciano l'incremento di complessità e l'onere economico dell'opera.

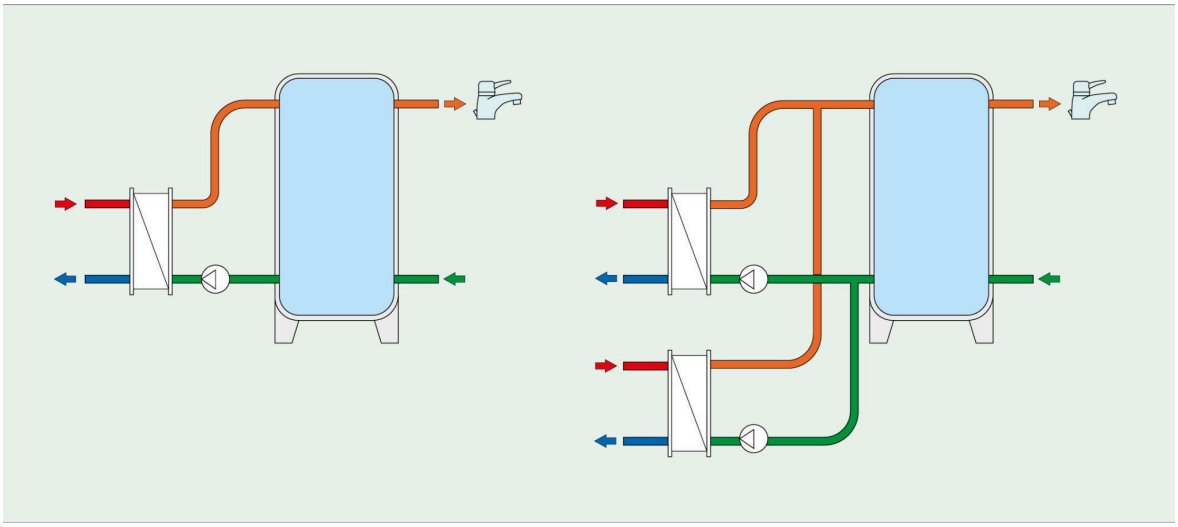


Figura 1.9 - Accumulo sanitario con scambiatore esterno a piastre

1.4.2 Sistemi di produzione acqua calda indiretti istantanei

I sistemi di produzione indiretta istantanea rappresentano un'evoluzione impiantistica che sostituisce lo stoccaggio dell'acqua sanitaria con l'accumulo di acqua tecnica, utilizzata come volano termico per riscaldare l'acqua potabile solo al momento del prelievo. Questa architettura si basa sull'impiego di un puffer tecnico che immagazzina l'energia proveniente da diverse fonti, incluse quelle rinnovabili come solare termico, biomasse o pompe di calore, trasferendola poi al circuito sanitario.

Il principale vantaggio di questi sistemi è di natura igienica: l'assenza di acqua calda sanitaria stoccata elimina drasticamente il rischio di stagnazione e la conseguente proliferazione di batteri come la Legionella. Sotto il profilo prestazionale, queste soluzioni garantiscono elevate portate di acqua calda a temperatura costante (fino a 125 l/min per singola unità) e risultano ideali in contesti con prelievi intermittenti, permettendo all'accumulo tecnico di ricaricarsi nei periodi di inutilizzo. [13, 18, 20]

1.4.2.1 Produzione istantanea tramite scambiatore corrugato

Questa configurazione prevede che l'acqua calda sanitaria venga prodotta facendo defluire l'acqua fredda di rete attraverso uno scambiatore corrugato, solitamente realizzato in acciaio inox, che risulta immerso direttamente nell'accumulo tecnico. Il sistema garantisce un'adeguata superficie di scambio termico, permettendo la generazione di elevate portate di acqua calda sanitaria in modo istantaneo. Dal punto di vista funzionale, l'accumulo di acqua tecnica riceve energia da diverse sorgenti, come impianti solari o generatori a combustibile solido, e la cede all'acqua sanitaria solo al momento del passaggio nel condotto corrugato.

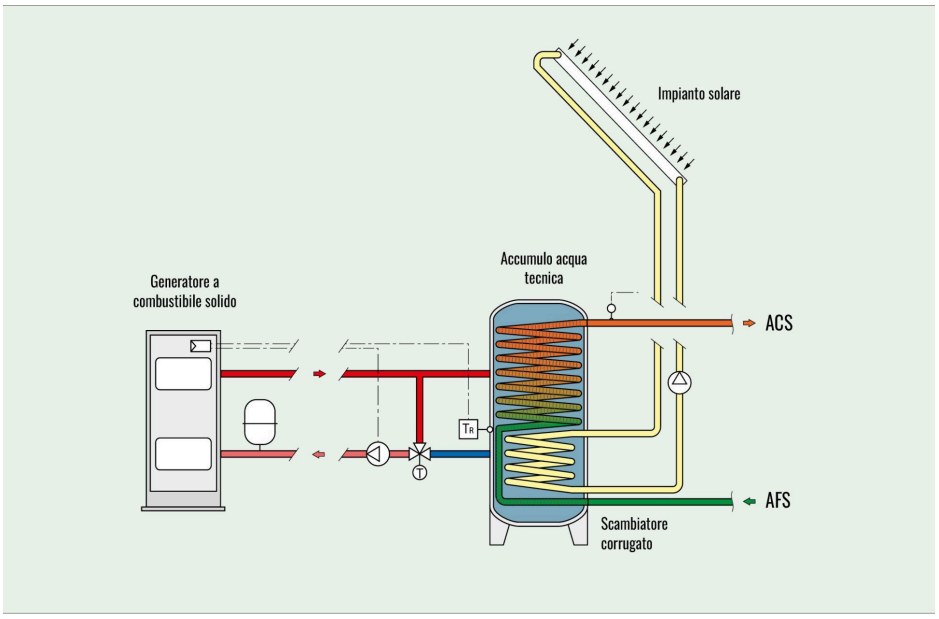


Figura 1.10 - Produzione istantanea di ACS con scambiatore corrugato immerso

1.4.2.2 Preparatori istantanei con scambiatore (Fresh Water Stations)

Le Fresh Water Station (FWS) rappresentano una soluzione avanzata per la produzione istantanea di acqua calda sanitaria, trovando applicazione sia nel settore residenziale, dalle singole abitazioni ai condomini, sia in contesti pubblici come scuole e centri sportivi. Questi sistemi sono particolarmente efficaci dove il prelievo d'acqua è discontinuo, poiché

consentono di ottimizzare le fasi di inutilizzo per rigenerare l'energia nell'accumulo tecnico. Il cuore del sistema è un serbatoio di accumulo per acqua tecnica che funge da volano termico, alimentabile anche attraverso l'integrazione di diverse fonti energetiche rinnovabili.

Il funzionamento si fonda su uno scambiatore di calore che opera il trasferimento energetico dall'acqua tecnica al circuito sanitario nel momento esatto della richiesta. Per quanto riguarda la gestione operativa, si distinguono due approcci tecnologici principali. Il controllo meccanico affida la regolazione della temperatura a una valvola miscelatrice termostatica, garantendo semplicità nella messa in servizio e una manutenzione estremamente agevole. Al contrario, il controllo elettronico si avvale di una valvola miscelatrice motorizzata coordinata da un regolatore, permettendo all'utente di modificare con precisione i parametri termici direttamente dalla centralina di comando. [28-29]

Per ottimizzare ulteriormente il comfort e l'efficienza, le stazioni possono essere equipaggiate con una pompa di ricircolo, sia essa integrata nativamente nel modulo o installata come accessorio esterno. Questo componente assicura che l'acqua calda sia immediatamente disponibile ai rubinetti, mantenendo costante la temperatura all'interno dell'intera rete di distribuzione ed evitando inutili sprechi idrici in attesa del riscaldamento del fluido. [17,21]

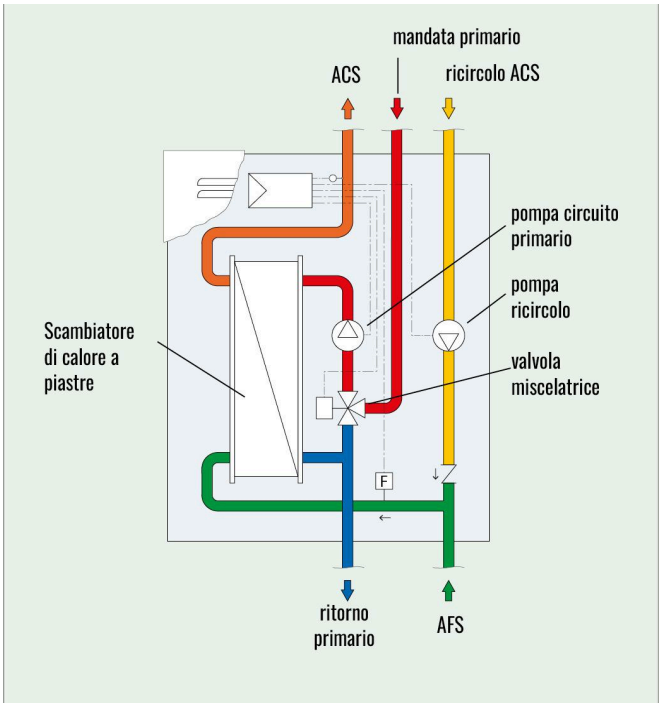


Figura 1.11 - Schema funzionale di una FWS

2. La Fresh Water Station: principio di funzionamento e architettura

2.1 Funzione e scopo

La Fresh Water Station (FWS) è un modulo per la produzione istantanea di acqua calda sanitaria mediante scambio termico indiretto. L'acqua destinata al consumo non viene stoccata calda in un bollitore sanitario, ma viene riscaldata solo quando avviene un prelievo. L'energia necessaria è accumulata o resa disponibile sul circuito tecnico primario, normalmente tramite un puffer, una rete di distribuzione tecnica, una sottostazione o un generatore collegato indirettamente allo scambiatore. [16, 18, 20]

Il tratto distintivo della FWS è la separazione tra accumulo energetico e acqua potabile. Nel circuito primario circola acqua tecnica, non destinata al consumo; nel circuito secondario circola acqua sanitaria, che attraversa lo scambiatore e riceve calore solo al momento della richiesta. I due circuiti non si mescolano: la barriera fisica è costituita dallo scambiatore di calore a piastre. Questa architettura riduce il volume di acqua sanitaria calda presente nel sistema e limita le condizioni di stagnazione che, nei sistemi ad accumulo, devono essere controllate con particolare attenzione.

La funzione della stazione è quindi duplice. Da un lato risponde a un'esigenza igienica, perché riduce il volume di acqua calda sanitaria stoccata e semplifica il controllo delle condizioni favorevoli alla proliferazione microbiologica. Dall'altro lato risponde a un'esigenza energetica, perché consente di concentrare l'accumulo sul lato tecnico, dove è più facile integrare generatori efficienti, fonti rinnovabili, puffer stratificati e logiche di regolazione evolute.

La FWS non va però interpretata come un componente isolato. Il suo comportamento dipende dal modo in cui è collegata al puffer, dalla temperatura del primario, dalla portata sanitaria di progetto, dalla qualità dell'acqua, dalla rete di distribuzione e dalla logica di regolazione. Una stazione ben selezionata può migliorare igiene, efficienza e modularità; una stazione inserita senza verifiche può invece produrre instabilità di temperatura, tempi di attesa elevati o prestazioni inferiori a quelle attese.
Dal punto di vista applicativo la stessa tecnologia può essere impiegata in molte scale: modulo compatto per abitazione singola, modulo di utenza decentralizzato, stazione

centralizzata per edificio plurifamiliare, sistema ad alta portata per strutture ricettive o impianti con più moduli in cascata. Questa flessibilità è uno dei punti di forza della FWS, ma richiede una classificazione chiara delle tipologie e delle condizioni di impiego.

2.2 Principio di funzionamento

Il funzionamento della FWS può essere descritto attraverso quattro fasi: rilevazione del prelievo, attivazione del circuito primario, scambio termico e arresto. La sequenza si ripete ogni volta che un'utenza richiede acqua calda. In condizioni di riposo il modulo non produce ACS; lo scambiatore rimane inattivo o, se previsto, viene mantenuto in temperatura tramite una funzione di preriscaldamento. La fase di rilevazione inizia quando un flussostato, un flussimetro o un sensore di pressione differenziale registra il passaggio di acqua sanitaria. La soglia minima di attivazione deve essere scelta con equilibrio: se è troppo bassa possono verificarsi avviamenti indesiderati; se è troppo alta i piccoli prelievi non vengono serviti correttamente. Nei moduli residenziali la soglia è in genere dell'ordine di pochi litri al minuto, mentre negli impianti più grandi il valore dipende dalla logica di controllo adottata.

Una volta rilevato il prelievo, il modulo abilita il trasferimento di calore dal circuito primario allo scambiatore. Nei sistemi attivi viene avviato o modulato il circolatore primario; nei sistemi con valvola motorizzata viene regolata l'apertura lato primario; nei sistemi termostatici l'organo meccanico modifica progressivamente la portata in funzione della temperatura rilevata. Lo scopo è fornire allo scambiatore esattamente la potenza richiesta dalla portata sanitaria istantanea. [10, 16]

Durante lo scambio, l'acqua tecnica calda attraversa il lato primario dello scambiatore a piastre, mentre l'acqua fredda sanitaria attraversa il lato secondario. La configurazione in controcorrente permette di massimizzare il gradiente termico medio e di ottenere un buon trasferimento di calore in un volume compatto. La temperatura ACS in uscita dipende dalla temperatura dell'acqua fredda, dalla temperatura primaria, dalla portata sanitaria e dalle caratteristiche dello scambiatore. [16, 20]

La fase di arresto avviene quando il prelievo cessa. Il sensore rileva la caduta di portata e il modulo interrompe il trasferimento di energia. Nello scambiatore rimane soltanto un piccolo volume di acqua sanitaria, che tende a raffreddarsi rapidamente in assenza di apporto termico. Questo comportamento riduce il volume sanitario caldo permanente, ma può generare una

latenza al primo prelievo se lo scambiatore è freddo. La latenza può essere ridotta con bypass, preriscaldo o ricircolo, accettando però un incremento delle dispersioni.

2.3 Architettura e componenti fondamentali

L'architettura di una FWS è composta da elementi termici, idraulici, di misura, di regolazione e di protezione. Lo scambiatore a piastre è il componente centrale, ma non basta a definire la qualità della stazione. La stabilità della temperatura dipende dalla regolazione; la sicurezza dipende dai dispositivi di ritegno e intercettazione; la durata dipende dalla filtrazione e dalla qualità dell'acqua; l'efficienza dipende dalla coibentazione, dalla stratificazione del puffer e dalla capacità di mantenere bassi i ritorni primari. [17-18]

Lo scambiatore a piastre deve essere dimensionato sulla condizione più gravosa, non sulla media di esercizio. I dati da verificare sono: portata ACS di punta, temperatura dell'acqua fredda in ingresso, temperatura ACS richiesta, temperatura primaria disponibile e perdita di carico ammissibile. Una superficie di scambio insufficiente obbliga a usare temperature primarie più alte o riduce la portata disponibile; una superficie eccessiva aumenta costo e ingombro, ma può essere utile con sorgenti a bassa temperatura.

Gli organi di regolazione possono agire sulla portata primaria, sulla temperatura di miscelazione o su entrambe. La loro scelta incide direttamente sul comfort. Una regolazione lenta può generare oscillazioni durante aperture e chiusure rapide; una regolazione troppo aggressiva può produrre instabilità o sovraelongazioni. Nei moduli elettronici la centralina deve ricevere segnali affidabili da sensori rapidi e ben posizionati.
I sensori di temperatura e portata sono spesso sottovalutati. In realtà sono il punto di contatto tra fenomeno fisico e regolazione. Un sensore installato troppo lontano dall'uscita dello scambiatore misura in ritardo; un flussimetro non adatto alle basse portate può non attivare il modulo nei prelievi ridotti; una sonda lenta può rendere inefficace anche un buon algoritmo di controllo. Per questo motivo la posizione dei sensori è una scelta progettuale, non solo costruttiva.

Completano il modulo valvole di intercettazione, dispositivi di ritegno, filtri, scarichi, raccordi di lavaggio, coibentazione e, nei sistemi più evoluti, comunicazione con supervisione esterna. La presenza di questi elementi determina la possibilità di manutenzione reale: se lo

scambiatore non è isolabile e lavabile, la perdita di prestazione dovuta a incrostazioni o impurità diventa molto più difficile da gestire.

Componente	Funzione	Attenzione progettuale
Scambiatore a piastre	Trasferisce calore dal primario all'ACS	Verificare superficie, materiale, perdite di carico e compatibilità con acqua sanitaria
Organo di regolazione	Modula portata o potenza per stabilizzare la temperatura	Può essere termostatico, proporzionale, motorizzato o combinato
Sensore/i di temperatura	Misura uscita ACS, ingresso AFS, primario	Devono essere rapidi e installati in punti rappresentativi
Rilevatore di portata	Avvia il modulo quando rileva prelievo	La soglia minima condiziona comfort e falsi avviamenti
Circolatore primario	Garantisce la portata tecnica allo scambiatore	La modulazione consente controllo fine e ritorni primari più freddi
Valvole e ritegni	Permettono sezionamento, sicurezza e protezione dal riflusso	Fondamentali per manutenzione e separazione igienica dei circuiti
Coibentazione	Limita dispersioni e protegge i componenti	Particolarmente utile sul primario caldo, ricircolo e installazioni fredde

Tabella 2.1 - Componenti fondamentali delle FWS

2.4 Criteri di classificazione delle FWS

La classificazione delle FWS può essere condotta secondo più criteri. Il primo riguarda la logica di regolazione: moduli termostatici, elettronici, proporzionali o a doppio stadio. Il secondo riguarda la posizione della regolazione: lato primario, lato secondario o combinata. Il terzo riguarda la scala applicativa: modulo residenziale, modulo decentralizzato di utenza, stazione centralizzata o sistema in cascata. Il quarto riguarda la sorgente termica: alta temperatura, bassa temperatura, rete tecnica, puffer solare o sistema ibrido.

Questa classificazione è più utile del confronto tra singoli prodotti, perché permette di ragionare per funzioni. Due moduli apparentemente simili possono avere prestazioni molto diverse se uno controlla la portata primaria e l'altro si limita a miscelare sul secondario.

Dal punto di vista progettuale, la scelta della tipologia deve partire dal servizio richiesto. Un'abitazione con pochi prelievi e puffer stabile può tollerare soluzioni semplici. Un edificio con molti utenti, prelievi simultanei e rete di ricircolo richiede regolazioni rapide, monitoraggio e possibilità di manutenzione. Un impianto alimentato da pompa di calore a bassa temperatura richiede scambiatore maggiorato e controllo molto preciso del margine termico disponibile. [15-16, 20]

Criterio	Alternative tipiche	Perchè è rilevante
Logica di controllo	Termostatica, elettronica, proporzionale, doppio stadio	Determina rapidità, precisione e complessità del modulo.
Zona controllata	Primario, secondario o combinata	Incide su efficienza, ritorni primari e sicurezza antiscottatura.
Scala applicativa	Residenziale, decentralizzata, centralizzata, cascata	Definisce portata, ridondanza e strategia manutentiva.
Sorgente primaria	Alta temperatura, bassa temperatura, solare, ibrida	Condiziona superficie dello scambiatore e temperatura di esercizio.
Funzioni integrate	Ricircolo, disinfezione, stratificazione, monitoraggio	Aggiungono comfort o sicurezza, ma anche consumi e complessità.

Tabella 2.2 - Criteri di classificazione delle FWS

2.5 Tipologie di regolazione

La regolazione è la parte più delicata della FWS, perché trasforma un semplice scambiatore in un sistema capace di produrre ACS a temperatura stabile. Le condizioni di lavoro cambiano continuamente: la portata sanitaria può variare in pochi secondi, la temperatura dell'acqua fredda cambia durante l'anno, il puffer può stratificarsi o raffreddarsi, il circuito primario può subire variazioni di pressione. La regolazione deve compensare queste variazioni senza generare sovratemperature, ritardi o oscillazioni.

Per analizzare correttamente le tipologie di regolazione occorre distinguere due aspetti. Il primo è la tecnologia di comando: meccanica, elettronica, proporzionale o combinata. Il secondo è il punto idraulico su cui si agisce: lato primario, lato secondario o entrambi. Questa distinzione evita di confondere sistemi che hanno la stessa finalità generale - mantenere stabile la temperatura ACS - ma strategie molto diverse.

Nella pagina che segue vengono analizzate le principali logiche di regolazione utilizzate nelle FWS. Per ciascuna si considerano principio di funzionamento, componenti richiesti, vantaggi, limiti e condizioni applicative. [28-29]

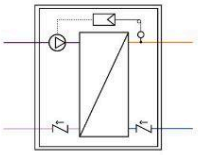
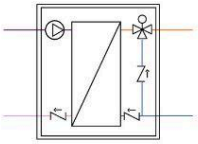
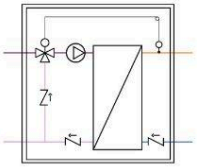
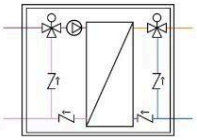
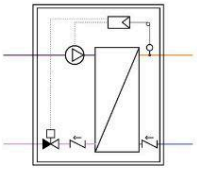
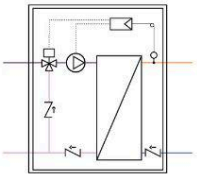
Tipologie di regolazione della temperatura ACS		
	Schema tecnico	**Principio di funzionamento**
Circolatore PWM		La portata primaria è modulata variando i giri del circolatore tramite segnale PWM. Una centralina legge la temperatura ACS in uscita e adatta la velocità della pompa per mantenere il setpoint. Buona precisione, avvio rapido al prelievo e consumi elettrici ridotti.
Termostatica secondario		Valvola miscelatrice termostatica sul lato ACS che miscela l'acqua in uscita dallo scambiatore con la fredda di rete. Regolazione puramente meccanica e autoazionata; semplice, ma lo scambiatore lavora a piena potenza con possibili sovratemperature e maggiori dispersioni.
Termostatica primario		Valvola miscelatrice termostatica sul primario, con sonda sull'uscita ACS, modula la portata di acqua calda primaria allo scambiatore in funzione della temperatura erogata. Regolazione meccanica proporzionale, economica, ma con risposta più lenta e possibili pendolamenti nei transitori.
Doppia		Regolazione combinata a due stadi (termostatica sul primario + termostatica sul secondario) per aumentare stabilità e precisione di erogazione riducendo le oscillazioni nei prelievi variabili.
Portata primario		La portata primaria viene regolata proporzionalmente al prelievo al secondario, tipicamente con valvola proporzionale comandata da flussimetro, mantenendo costante il salto termico sullo scambiatore.
Elettronica sul primario		Centralina con controllo PID che comanda una valvola miscelatrice tre vie motorizzata sul circuito primario in base ai sensori di temperatura e portata. Massima precisione e stabilità, con possibilità di funzioni avanzate (cicli antilegionella, diagnostica, gestione remota)

Tabella 2.3 - Tipologie di regolazione della temperatura ACS

2.5.1 Circolatore PWM

La regolazione con circolatore PWM agisce sulla velocità della pompa del circuito primario. Quando il flussimetro rileva un prelievo, la centralina calcola la potenza richiesta e aumenta rapidamente la portata tecnica attraverso lo scambiatore. Se la portata sanitaria cresce, la pompa accelera; se la portata diminuisce, la pompa rallenta. Il segnale PWM, o in alternativa 0-10 V, consente una modulazione continua dei giri e quindi della potenza scambiata.

Il vantaggio principale è la corrispondenza tra domanda sanitaria e portata primaria. La stazione non lavora sempre alla massima potenza, ma adatta il proprio funzionamento al prelievo reale. Questo migliora la stabilità della temperatura e riduce i consumi elettrici rispetto a circolatori a velocità fissa.
Inoltre, limitando la portata primaria quando il prelievo è ridotto, è possibile mantenere ritorni più freddi verso il puffer, favorendo la stratificazione e l'efficienza del generatore. [18, 28, 29]

La logica PWM richiede però sensori affidabili e un algoritmo ben tarato. Se il sensore di portata legge in ritardo o se la sonda ACS è posizionata male, la pompa può modulare in modo instabile. Il sistema è inoltre dipendente dall'alimentazione elettrica e dalla qualità della centralina. È una soluzione indicata per moduli elettronici, impianti con profili di prelievo variabili e sistemi in cui il controllo del ritorno primario ha valore energetico.
Con generatori a bassa temperatura, la regolazione PWM diventa utile ma anche più critica. Il margine termico disponibile è ridotto e la pompa deve sfruttare con precisione la portata primaria senza raffreddare eccessivamente il puffer. In questi casi il dimensionamento dello scambiatore e la taratura della centralina devono essere verificati insieme.

2.5.2 Termostatica sul circuito secondario

La regolazione termostatica sul circuito secondario utilizza una valvola miscelatrice termostatica installata sull'uscita ACS. Lo scambiatore produce acqua a temperatura più alta del setpoint e la valvola miscela una quota di acqua fredda per ottenere la temperatura di erogazione desiderata. Il principio è semplice: se l'acqua in uscita è troppo calda, aumenta la miscelazione con l’acqua fredda.
Questa soluzione ha un ruolo importante per la sicurezza dell'utente, perché limita il rischio di sovratemperature e scottature. È meccanica, indipendente dall'elettronica e di facile comprensione per installatori e manutentori. Può essere adatta quando la priorità è garantire

una temperatura massima di erogazione stabile a valle di una produzione che tende a essere più calda del necessario.

Il limite è che la regolazione sul secondario non ottimizza automaticamente il lato primario. Se lo scambiatore lavora sempre con elevata temperatura primaria e la correzione avviene solo miscelando acqua fredda, il ritorno al puffer può rimanere troppo caldo. Questo è sfavorevole per caldaie a condensazione, pompe di calore e sistemi solari, perché riduce il rendimento e peggiora la stratificazione. Inoltre, nei primi istanti del prelievo possono verificarsi sovraelongazioni se la valvola non reagisce abbastanza rapidamente.

Per questo motivo la miscelazione sul secondario è spesso più corretta come funzione di protezione o rifinitura, non come unica logica di controllo dell'energia. Diventa efficace se abbinata a una regolazione lato primario che modula la potenza realmente ceduta allo scambiatore.

2.5.3 Termostatica sul circuito primario

La regolazione termostatica sul circuito primario agisce direttamente sulla portata di acqua tecnica che attraversa lo scambiatore. Una valvola termostatica, comandata da un bulbo o da un elemento sensibile alla temperatura ACS, apre o chiude il passaggio sul circuito primario in funzione della temperatura di uscita. Se l'ACS tende a salire oltre il setpoint, la valvola riduce la portata primaria; se scende, la aumenta.

Rispetto alla miscelazione sul secondario, questa logica ha un vantaggio energetico: modula la potenza ceduta allo scambiatore invece di correggere a valle una produzione eccessiva. In condizioni favorevoli consente ritorni primari più freddi e minori dispersioni. È una soluzione meccanica, relativamente semplice, adatta a impianti in cui non si vuole dipendere da elettronica complessa ma si desidera comunque controllare il lato energetico.

I limiti sono legati all'inerzia dell'elemento termostatico e alla sensibilità alle condizioni idrauliche. Nei transitori rapidi, come apertura e chiusura di più utenze in sequenza, la valvola può non reagire immediatamente e generare pendolamenti della temperatura. Inoltre, se la pressione differenziale sul primario varia molto, la portata attraverso la valvola può cambiare anche a parità di apertura, riducendo la precisione del controllo. [28, 32]

La regolazione termostatica sul circuito primario richiede quindi un circuito tecnico ben bilanciato. Nei sistemi decentralizzati con molti moduli, eventuali variazioni di pressione tra le utenze possono ripercuotersi sulla stabilità di temperatura. In questi casi possono essere necessari bilanciamento dinamico, limitatori di portata o passaggio a regolazione elettronica.

2.5.4 Regolazione combinata a doppio stadio

La regolazione combinata utilizza due livelli di controllo. Il primo livello gestisce la potenza sul lato primario, modulando portata o temperatura tecnica; il secondo livello rifinisce la temperatura sul lato sanitario, spesso tramite una valvola miscelatrice. L'obiettivo è separare la gestione energetica dal controllo di sicurezza e comfort all'utenza. [20, 28-29]

Questa architettura è utile quando il profilo di prelievo è variabile o quando sono richieste temperature molto stabili. Il controllo primario evita di inviare allo scambiatore più energia del necessario; il controllo secondario protegge da eventuali sovratemperature e compensa piccoli scostamenti residui. Nei moduli più evoluti in cui la regolazione è elettronica, i due stadi sono coordinati dalla centralina, che tiene conto di portata, temperatura ACS, temperatura primaria e condizioni del puffer.

Il vantaggio è la qualità del servizio: minori oscillazioni, migliore protezione dell'utente, maggiore adattabilità ai carichi parziali. Il limite è la complessità. Più componenti significano più punti da tarare, più manutenzione e maggiore necessità di accessibilità. Se i due stadi non sono coordinati, possono interferire tra loro: per esempio una miscelatrice troppo chiusa può mascherare un errore di regolazione primaria, oppure una regolazione primaria troppo aggressiva può rendere instabile il secondo stadio.

La doppia regolazione è quindi indicata quando il valore aggiunto giustifica la complessità: edifici con domanda elevata, utenze sensibili, reti con ricircolo, sistemi a bassa temperatura o impianti nei quali la continuità del servizio è prioritaria.

2.5.5 Portata primaria proporzionale

La regolazione proporzionale di portata si basa sul rapporto tra portata sanitaria e portata primaria. Il sistema misura la portata di prelievo sul secondario e regola la portata tecnica allo scambiatore in modo da mantenere un rapporto coerente con la potenza richiesta. In termini

semplificati, maggiore è la portata ACS, maggiore deve essere la portata primaria; minore è la portata ACS, minore può essere la portata primaria.
Questa logica ha il pregio di essere direttamente legata alla domanda istantanea. A differenza di un controllo che reagisce solo dopo aver misurato uno scostamento di temperatura, il sistema può anticipare la richiesta perché legge la portata. Se integrato con la misura della temperatura ACS in uscita, il controllo diventa più robusto: la portata fornisce il segnale di anticipo, la temperatura fornisce la correzione finale. [28, 29]

Il limite è che il rapporto tra portate non è sufficiente se la temperatura primaria varia. A parità di portata, una primaria a 75 °C trasferisce più energia di una primaria a 55 °C. Per questo motivo la regolazione proporzionale pura funziona bene solo se la temperatura primaria è stabile o se il sistema include una compensazione basata sulle temperature. Nei puffer stratificati o alimentati da fonti variabili, questa correzione è spesso indispensabile.

La regolazione proporzionale è adatta a moduli elettronici e a impianti nei quali si vuole una risposta rapida al cambio di portata. Diventa particolarmente efficace se integrata in un algoritmo più completo, capace di combinare feed-forward sulla portata e feedback sulla temperatura.

2.5.6 Elettronica sul primario con controllo PID

La regolazione elettronica con controllo PID rappresenta la soluzione più evoluta tra quelle considerate. La centralina confronta la temperatura ACS misurata con il setpoint e calcola il comando per valvola, circolatore o entrambi. Il termine proporzionale reagisce all'errore istantaneo, il termine integrale corregge gli scostamenti persistenti, il termine derivativo anticipa la tendenza della variazione. Nella pratica, molti controllori usano algoritmi PI o PID adattati al comportamento dello scambiatore. Il vantaggio principale è la stabilità in condizioni variabili. Il controllo elettronico può compensare cambi rapidi di portata, variazioni della temperatura primaria e raffreddamento progressivo del puffer. Può inoltre integrare funzioni di protezione, limitazione della portata primaria, preriscaldo, diagnostica, registrazione dei dati e comunicazione con sistemi di supervisione. Questo rende la soluzione adatta a impianti complessi o a edifici in cui comfort, tracciabilità e manutenzione preventiva hanno valore.
Il controllo PID richiede però una taratura corretta. Un regolatore troppo lento produce ritardi e temperature instabili; un regolatore troppo aggressivo produce oscillazioni. La qualità della

misura è altrettanto importante: se la sonda è lenta o distante, il controllore reagisce a un'informazione già superata. Sensori, attuatori e algoritmo devono essere considerati come un unico sistema.

L'elettronica sul primario è particolarmente indicata con pompe di calore, solare termico, puffer stratificati e sistemi in cascata. In questi casi la temperatura primaria può variare e il margine termico può essere ridotto; un controllo attivo consente di sfruttare meglio l'energia disponibile e di evitare ritorni inutilmente caldi. Il costo maggiore è giustificato quando l'impianto richiede precisione, monitoraggio o adattabilità. [28-29]

2.5.7 Scelta della regolazione

La scelta della regolazione non deve essere guidata solo dal costo iniziale. Occorre valutare il profilo dei prelievi, stabilità del primario, presenza di ricircolo, sensibilità dell'utenza, temperatura disponibile e livello di gestione tecnica dell'edificio. Una soluzione semplice può essere corretta in un piccolo impianto stabile; la stessa soluzione può essere insufficiente in un edificio con molte utenze e portate variabili. In generale, la regolazione termostatica è adatta quando si privilegiano semplicità e robustezza. La regolazione elettronica è preferibile quando servono precisione, monitoraggio e adattamento al carico. La miscelazione secondaria è utile come protezione antiscottatura, ma non deve nascondere una cattiva gestione energetica del primario. Le soluzioni combinate hanno senso quando il comfort e la sicurezza richiedono un controllo più raffinato.

2.6 Componenti optional e funzioni integrative

Gli optional di una FWS non devono essere letti come accessori secondari. In molti casi modificano il comportamento dell'intero impianto e incidono su comfort, igiene, efficienza e manutenzione. Ricircolo, disinfezione termica, gestione della stratificazione, cascata, attivazione del generatore e monitoraggio sono funzioni che vanno selezionate in base alla rete servita e agli obiettivi del progetto.

La scelta di un optional deve sempre rispondere a una domanda tecnica: quale problema risolve e quale costo introduce? Il ricircolo riduce i tempi di attesa ma aumenta le dispersioni; la disinfezione migliora il controllo igienico ma richiede temperature elevate; la cascata aumenta ridondanza e modularità ma richiede coordinamento; il monitoraggio produce valore solo se i dati vengono realmente usati per gestione e manutenzione.

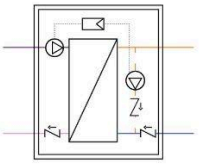
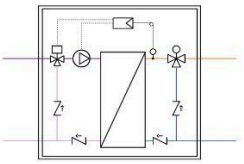
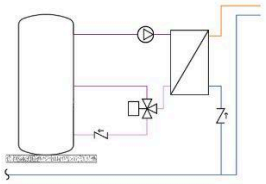
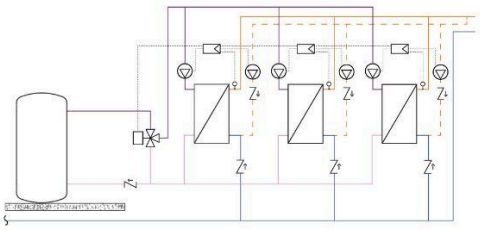
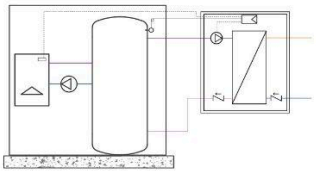
Funzioni optional		
	Schema tecnico	**Principio di funzionamento**
Ricircolo		Il ricircolo mantiene l'acqua calda in temperatura nell'anello di distribuzione per un'erogazione immediata senza sprechi. Una pompa riporta l'ACS al modulo tramite gestione continua, a timer o intelligente. Nei moduli FWS, il ritorno viene reintrodotto sul lato freddo dello scambiatore per essere riscaldato con l'acqua di reintegro. A fronte di comfort elevato e risparmio idrico, il sistema aumenta le dispersioni di rete e alza la temperatura di ritorno al primario (penalizzando pompe di calore e condensazione).
Disinfezione termica		La funzione porta periodicamente l'acs a T ≥ 60-70 °C per abbattere la Legionella. La gestione elettronica permette di programmare e registrare il ciclo (temperatura, durata e frequenza). Il sistema richiede però una temperatura primaria adeguata (criticità per pompe di calore a bassa temperatura, che possono necessitare di integrazioni) e va coordinato con valvole anti-scottatura per la sicurezza dell'utente.
Stratificazione		Logica e componenti che preservano la stratificazione termica nel serbatoio, separando lo strato caldo in alto da quello freddo in basso. L'acqua raffreddata di ritorno viene reintrodotta alla quota corrispondente alla sua temperatura tramite ingressi multipli. Questo garantisce l'immediata disponibilità di acqua calda, aumenta la capacità di prelievo e abbassa la temperatura di ritorno, ottimizzando l'efficienza di pompe di calore e solare. L'efficacia dipende però da portata e posizionamento: portate eccessive o turbolenze rischiano di rompere la stratificazione mescolando gli strati.
Cascata		Sistema di produzione ACS in cascata con 3 moduli istantanei collegati in parallelo alimentati da un accumulo tecnico. Sul primario, l'acqua calda del puffer alimenta gli scambiatori tramite circolatori dedicati che si attivano solo al bisogno. Sul secondario sanitario, l'acqua fredda entra in parallelo e viene erogata calda verso le utenze, con un anello di ricircolo integrato per mantenere la rete in temperatura. La gestione elettronica monitora la richiesta e attiva progressivamente i singoli moduli all'aumentare della portata, garantendo massima modularità ed efficienza.
Attivazione generatore		Logica di attivazione del generatore a servizio di un modulo FWS tramite accumulo inerziale. Il generatore mantiene in temperatura il puffer, dal quale il modulo preleva l'energia sul circuito primario per produrre istantaneamente ACS. La gestione elettronica monitora lo stato termico dell'accumulo tramite una sonda; quando la temperatura scende sotto il setpoint necessario alla produzione sanitaria, la centralina comanda l'accensione del generatore per reintegrare l'energia, garantendo la continuità del servizio ed evitando cali di comfort all'utenza.

Tabella 2.4 - Funzioni optional delle FWS

2.6.1 Ricircolo ACS sanitario

Il ricircolo sanitario mantiene l'acqua calda in movimento lungo l'anello di distribuzione, in modo da ridurre il tempo di attesa ai punti di prelievo. In assenza di ricircolo, l'utente deve scaricare il volume di acqua fredda presente nel ramo prima di ricevere ACS; questo comporta spreco idrico e minore comfort. Con il ricircolo, una pompa richiama l'acqua dall'anello e la riporta verso il modulo o verso il punto di riscaldamento, mantenendo la rete a temperatura.

Nel caso delle FWS, il ricircolo deve essere integrato con attenzione. Il ritorno dell'anello può essere reintrodotto sul lato freddo dello scambiatore, miscelato a monte oppure gestito da un circuito dedicato. La scelta dipende dalla configurazione del modulo e dalla rete. Se il ricircolo è continuo e mal coibentato, le dispersioni possono diventare rilevanti e annullare parte del vantaggio energetico della produzione istantanea. [11, 19-21]

Un altro effetto riguarda la temperatura di ritorno al primario. Il ricircolo tende a mantenere calda la rete sanitaria e può richiedere reintegri frequenti; questo può aumentare la temperatura di ritorno verso il puffer e compromettere la stratificazione. Per questo motivo è opportuno prevedere pompe modulanti, gestione a fasce orarie, controllo sulla temperatura di ritorno, bilanciamento dei rami e isolamento accurato delle tubazioni.
Il ricircolo è consigliabile quando la distanza tra produzione e terminali è elevata, quando il comfort immediato è prioritario o quando il consumo idrico in attesa sarebbe eccessivo. Può invece essere evitato in edifici compatti, con rami brevi e prelievi non critici. La decisione va presa calcolando volume dei rami, tempo di attesa, dispersioni e profilo di utilizzo.

2.6.2 Disinfezione termica

La disinfezione termica è una funzione pensata per ridurre il rischio microbiologico nelle reti sanitarie, in particolare nei tratti in cui acqua calda e tempi di permanenza possono favorire la crescita batterica. Nei moduli istantanei puri il volume di ACS calda stoccata è molto ridotto, ma la rete di distribuzione e l'eventuale ricircolo possono comunque richiedere strategie di controllo igienico.

La logica consiste nell'innalzare periodicamente la temperatura dell'acqua e nel farla circolare nella rete per un tempo sufficiente. Le temperature operative dipendono dalle prescrizioni del progetto e dal piano di gestione igienica, ma nella pratica si utilizzano valori elevati, spesso

superiori alla normale temperatura di erogazione. La funzione deve essere coordinata con valvole antiscottatura e con dispositivi di sicurezza, perché temperature utili alla disinfezione possono essere pericolose per l'utente.

La disinfezione richiede disponibilità di temperatura primaria. Se l'impianto è alimentato da generatore ad alta temperatura il ciclo può essere relativamente semplice; con pompe di calore a bassa temperatura può essere necessario un supporto integrativo o una strategia specifica. In ogni caso la centralina deve poter programmare frequenza, durata e setpoint, e idealmente registrare l'avvenuta esecuzione del ciclo. [4, 13, 19-20, 24]

Questa funzione è particolarmente rilevante in edifici con reti estese, utenze sensibili, uso discontinuo o presenza di ricircolo. Non sostituisce però una buona progettazione della rete: rami morti, tratti poco utilizzati e bilanciamento errato rimangono criticità anche in presenza di cicli termici.

2.6.3 Gestione della stratificazione del puffer

La stratificazione del puffer è uno dei presupposti per ottenere buone prestazioni dalla FWS. In un accumulo stratificato, la parte superiore conserva acqua tecnica più calda, disponibile per la produzione ACS, mentre la parte inferiore raccoglie ritorni più freddi. Questa separazione termica permette di sfruttare meglio il volume disponibile e di migliorare il rendimento del generatore, soprattutto con pompe di calore, solare termico e generatori a condensazione.

La FWS influisce sulla stratificazione perché preleva acqua calda dal puffer e restituisce acqua raffreddata dopo lo scambio. Se il ritorno viene immesso nella zona corretta, la stratificazione si conserva; se viene immesso con portata eccessiva o nel punto sbagliato, può generare mescolamento e ridurre rapidamente la temperatura utile nella parte alta. Per questo motivo sono importanti diffusori, lance di carico, ingressi a quote differenziate e portate primarie coerenti con il volume del puffer.

Il controllo della stratificazione non riguarda solo l'idraulica, ma anche la regolazione. Una stazione che lavora con portate primarie inutilmente elevate può raffreddare troppo rapidamente la parte alta o miscelare il puffer; una regolazione modulante può invece adeguare la portata alla domanda e preservare il volume caldo. Anche il ricircolo sanitario

deve essere valutato, perché può introdurre ritorni a temperatura intermedia e disturbare l'assetto termico dell'accumulo. [15, 18, 20]

La stratificazione è particolarmente importante negli impianti a bassa temperatura, dove pochi gradi di differenza possono determinare la capacità o meno di raggiungere il setpoint ACS. In questi contesti il puffer non deve essere considerato un semplice serbatoio, ma un componente funzionale della regolazione.

2.6.4 Gestione in cascata

La cascata consiste nel collegamento di più moduli FWS che si attivano progressivamente in funzione della domanda. Quando la portata richiesta è bassa lavora un solo modulo; quando la domanda aumenta, la centralina abilita ulteriori moduli. In questo modo l'impianto può coprire picchi elevati senza costringere una singola stazione a lavorare sempre lontano dal proprio campo ottimale.

Il vantaggio principale è la modularità. Ai carichi parziali il sistema mantiene un buon rendimento, mentre nei picchi dispone di maggiore portata. La cascata introduce anche ridondanza: se un modulo è fermo per manutenzione o guasto, gli altri possono continuare a garantire parte del servizio. Questo aspetto è importante negli edifici in cui la continuità di ACS è critica.

La cascata richiede però una logica di sequenziamento. I moduli devono essere inseriti e disinseriti con soglie coerenti, evitando accensioni e spegnimenti troppo frequenti. È utile ruotare il modulo principale per distribuire le ore di funzionamento e l'usura. La rete primaria deve essere dimensionata per alimentare simultaneamente i moduli attivi, e il puffer deve avere volume e temperatura sufficienti a sostenere i picchi. [10, 15, 20]

Questa soluzione è indicata per condomini, strutture ricettive, impianti sportivi, edifici sanitari e in generale utenze con grandi variazioni di portata. È meno giustificata nei piccoli impianti, dove la complessità aggiuntiva può superare i benefici.

2.6.5 Attivazione del generatore e gestione dell’accumulo tecnico

La FWS preleva energia dal circuito tecnico; di conseguenza il generatore deve mantenere il puffer entro un intervallo di temperatura compatibile con la produzione sanitaria. La logica di attivazione del generatore è quindi parte integrante del sistema. Se il puffer scende sotto una

soglia minima, la stazione può non riuscire a produrre ACS alla temperatura richiesta; se il puffer viene mantenuto inutilmente caldo, aumentano dispersioni e consumi.

La gestione avviene tramite sonde di temperatura installate a quote significative del puffer. La sonda alta indica la disponibilità immediata di energia termica utile; la sonda bassa o intermedia può comandare la ricarica in funzione del volume residuo. Negli impianti più evoluti la centralina distingue tra temperatura di comfort, soglia minima per ACS, priorità sanitaria e condizioni di carico del generatore.

Con generatori tradizionali ad alta temperatura la ricarica può essere rapida; con pompe di calore o sistemi solari la gestione deve essere più attenta, perché la temperatura disponibile può variare e il rendimento dipende dal setpoint richiesto. In questi casi è importante evitare di imporre temperature eccessive per lunghi periodi, ma anche garantire sufficiente margine durante i picchi.

L'attivazione del generatore deve essere coordinata con eventuali cicli di disinfezione, ricircolo e cascata. Una gestione non coordinata può portare a cicli frequenti, perdita di stratificazione o insufficiente disponibilità al momento della domanda. [14, 30]

3. Quadro normativo di riferimento

3.1 Perimetro del quadro normativo

La produzione e la distribuzione di acqua calda sanitaria devono essere inquadrate attraverso un insieme di riferimenti legislativi e tecnici. Nel caso di una Fresh Water Station (FWS), il tema non riguarda soltanto il dimensionamento dello scambiatore o la potenza termica disponibile, ma anche la tutela della qualità dell'acqua destinata al consumo umano, la prevenzione dei rischi microbiologici, la scelta dei materiali, la protezione dal riflusso e la gestione dell'impianto nel tempo. [1-3, 5-7, 13]

La FWS lavora in una zona di interfaccia tra due circuiti distinti. Il circuito primario è un circuito tecnico, collegato al generatore o a un accumulo inerziale; il circuito secondario è invece attraversato da acqua sanitaria destinata all'uso umano. Questa separazione è uno dei principali vantaggi della produzione istantanea, perché consente di accumulare energia lato tecnico senza accumulare grandi volumi di acqua calda sanitaria. Tuttavia la separazione dei circuiti non esaurisce gli obblighi progettuali: l'intero impianto deve essere pensato in modo da non compromettere la salubrità dell'acqua e da evitare condizioni favorevoli a contaminazione, stagnazione o ritorni indesiderati. [7, 13, 20]

È utile distinguere il valore dei diversi riferimenti. I decreti legislativi e i regolamenti costituiscono obblighi cogenti; le norme UNI ed EN rappresentano invece regole tecniche volontarie, ma spesso esprimono lo stato dell'arte progettuale e diventano il riferimento naturale per dimostrare la correttezza delle scelte adottate. Tuttavia quest'ultime, se citate all'interno di un decreto legislativo, costituiscono anch'esse un obbligo di legge.
Le linee guida sanitarie, infine, non sostituiscono la legge né le norme tecniche, ma forniscono criteri operativi per la valutazione e la gestione del rischio, in particolare nei contesti nei quali la vulnerabilità degli utenti o la complessità degli impianti richiedono maggiore attenzione. [13]

3.2 D.Lgs. 18/2023 e Direttiva (UE) 2020/2184

Il riferimento legislativo principale è il Decreto Legislativo 23 febbraio 2023, n. 18, che attua in Italia la Direttiva (UE) 2020/2184 sulla qualità delle acque destinate al consumo umano. Il decreto è entrato in vigore il 21 marzo 2023 e ha sostituito il precedente impianto normativo fondato sul D.Lgs. 31/2001. L'obiettivo generale è proteggere la salute umana dagli effetti

negativi derivanti dalla contaminazione dell'acqua, assicurando che le acque destinate al consumo umano siano salubri e pulite. [1-2, 13, 22]
Dal punto di vista impiantistico, ciò significa che la conformità non può essere valutata soltanto al punto di consegna dell'acquedotto, ma deve essere preservata lungo tutta la rete interna dell'edificio fino al punto di utilizzo. Tubazioni, organi di intercettazione, dispositivi di regolazione, scambiatori, guarnizioni, sensori e terminali possono incidere sulla qualità dell'acqua, direttamente o indirettamente, attraverso rilascio di sostanze, corrosione, incrostazione, biofilm o condizioni favorevoli alla crescita microbiologica.

L'articolo 8 introduce l'approccio basato sul rischio per i sistemi di fornitura idro-potabile, attraverso i Piani di Sicurezza dell'Acqua. Pur riferendosi in modo specifico ai sistemi di fornitura, questo principio è rilevante anche per la progettazione degli impianti interni, perché sposta l'attenzione dalla sola verifica puntuale alla prevenzione delle cause di non conformità. Una FWS deve quindi essere letta come parte di una filiera: non basta che il modulo produca acqua alla temperatura desiderata, ma occorre considerare il comportamento dell'intero sistema nelle condizioni reali di esercizio.

L'articolo 9 è il riferimento più diretto per le reti interne, in particolare negli edifici e nelle strutture considerate prioritarie. Esso richiama la necessità di valutare e gestire il rischio dei sistemi di distribuzione idrica interni, con attenzione ai parametri rilevanti per la salute e alla possibile esposizione degli utenti.
Gli edifici prioritari sono edifici a uso collettivo di grandi dimensioni con diversi gradi di vulnerabilità e rischio, nei quali numerosi utenti possono essere esposti ai rischi connessi all’acqua; l’Allegato 8 comprende, tra gli altri, strutture sanitarie, socio-assistenziali, ricettive e scolastiche.
Il GIDI (Gestore della Distribuzione Idrica Interna) è il soggetto responsabile della rete compresa tra il punto di consegna e i punti d’uso e ne cura la valutazione e la gestione del rischio, adottando le misure necessarie a preservare la qualità dell’acqua [2, 13].

Per una FWS, questo comporta una conseguenza importante: la produzione istantanea riduce il volume di acqua calda sanitaria in accumulo, ma non elimina la necessità di progettare correttamente distribuzione, ricircolo, terminali, punti di prelievo poco utilizzati e procedure di manutenzione. [2, 6, 13]

3.3 Materiali a contatto con acqua potabile

L'articolo 10 del D.Lgs. 18/2023, integralmente sostituito dal D.Lgs. 19 giugno 2025, n. 102, disciplina la valutazione della conformità dei prodotti che vengono a contatto con le acque destinate al consumo umano. Il principio è che tali materiali non devono compromettere la salute, alterare il colore, odore o sapore dell'acqua, favorire la crescita microbica o rilasciare contaminanti in quantità non accettabili.

Il nuovo assetto normativo richiama gli elenchi positivi europei relativi alle sostanze di partenza, alle composizioni e ai costituenti impiegati nella fabbricazione di materiali destinati al contatto con l'acqua potabile. Sono inoltre previste procedur di prova, valutazione delle conformità e marcatura, con l'obiettivo di rendere progressivamente omogenei i requisiti applicabili ai prodotti immessi sul mercato nazionale.

Le nuove disposizioni si applicano dal 31 dicembre 2026; fino a tale data resta applicabile il D.M. 174/2004. In base alle misure transitorie, i materiali e i prodotti conformi alla disciplina nazionale possono essere utilizzati fino al 31 dicembre 2032 se garantiscono 5 µg/l di piombo nei punti di conformità; in caso contrario, il termine è il 31 dicembre 2030. [2, 3]

La scadenza del 31 dicembre 2032 riguarda esclusivamente il regime transitorio dei materiali e dei prodotti. Essa non coincide con il termine previsto per il valore di parametro generale del piombo nell'acqua destinata al consumo umano, che rimane pari a 10 µg/l fino al 12 gennaio 2036 e deve essere ridotto entro 5 µg/l entro tale data.

Particolare attenzione va riservata alla quantità di piombo nei componenti metallici lato sanitario: il suo contenuto nel materiale non coincide con la quantità effettivamente rilasciata nell'acqua, che deve essere valutata nelle condizioni di esercizio. Il valore generale di parametro passerà da 10 a 5 µg/l entro il 12 gennaio 2036. [1-3, 13]

Nel caso di FWS, tutti i componenti lato sanitario devono essere conformi con gli elenchi positivi riguardanti i materiali dei componenti.
La distinzione tra lato primario e lato secondario è essenziale. Il lato primario può contenere acqua tecnica, eventualmente trattata secondo le esigenze dell'impianto termico; il lato secondario contiene invece acqua destinata al consumo umano. Lo scambiatore separa fisicamente i due circuiti, ma l'idoneità igienica dell'apparecchiatura dipende anche dalla

corretta selezione dei materiali e dalla prevenzione di qualsiasi condizione che possa generare contaminazione incrociata o degradazione della qualità dell'acqua sanitaria. [7, 23, 31]

3.4 Rischio legionella e reti interne

Come riportato all'interno della normativa vigente, il rischio Legionella è uno degli aspetti più rilevanti negli impianti di acqua calda sanitaria. Le linee guida nazionali per la prevenzione e il controllo della legionellosi, approvate in Conferenza Stato-Regioni nel 2015 e pubblicate dal Ministero della Salute, indicano la necessità di valutare il rischio negli impianti idrosanitari e di adottare misure di prevenzione proporzionate alla struttura e all'uso dell'edificio. Le condizioni più critiche sono generalmente legate a stagnazione, biofilm, incrostazioni, tratti poco utilizzati e temperature intermedie favorevoli alla crescita microbiologica. [4, 13]

La FWS offre un vantaggio igienico significativo perché evita, o riduce fortemente, l'accumulo di acqua calda sanitaria. L'energia viene accumulata nel circuito tecnico, mentre l'acqua sanitaria viene riscaldata solo al momento del prelievo. In questo modo si elimina una delle condizioni tipiche dei sistemi con bollitore sanitario, cioè la presenza di un volume stabile di ACS mantenuto caldo per lunghi periodi.
Questo vantaggio non deve però essere interpretato come eliminazione completa del rischio. La rete interna continua a esistere e può presentare punti critici: rami ciechi, terminali raramente usati, ricircoli non bilanciati, coibentazioni insufficienti, depositi, incrostazioni e tratti nei quali la temperatura non rimane entro valori adeguati. Per questo motivo la FWS deve essere inserita in un progetto complessivo che consideri geometria della rete, bilanciamento idraulico, tempi di attesa, temperature di mandata e ritorno, accessibilità ai componenti e manutenzione periodica. [4, 6, 13]

Il ricircolo merita una valutazione specifica. In impianti estesi, un ricircolo correttamente dimensionato e bilanciato riduce i tempi di attesa e contribuisce a mantenere più uniforme la temperatura della rete. Tuttavia, se il punto di innesto del ricircolo è troppo lontano dal punto di utilizzo oppure se le tubazioni o la pompa di circolazione sono mal dimensionati il ricircolo risulta inefficiente. La temperatura di ritorno, la portata di ricircolo e i punti di innesto e di reimmissione devono quindi essere coerenti con le prestazioni della FWS e con la temperatura disponibile sul circuito primario.

Le strategie di disinfezione termica sono utili in situazioni a rischio e soprattutto in reti estese, ma richiedono disponibilità di temperatura, procedure controllate, verifica del raggiungimento delle condizioni previste nei punti critici e protezione contro il rischio di ustione. Non possono sostituire la prevenzione progettuale: l'eliminazione dei rami morti, il corretto bilanciamento, la coibentazione, l'accessibilità alla manutenzione e la selezione dei materiali sono elementi fondamentali.

3.5 Norme tecniche per progettazione e dimensionamento

La UNI 9182:2014 è il riferimento tecnico italiano più direttamente collegato agli impianti di alimentazione e distribuzione di acqua fredda e calda sanitaria. La norma specifica criteri e parametri per il dimensionamento delle reti di distribuzione dell'acqua destinata al consumo umano, per gli impianti di produzione, distribuzione e ricircolo dell'acqua calda, per la messa in esercizio, l'installazione e il collaudo. Essa si applica a impianti nuovi, modifiche e riparazioni di impianti esistenti, ed è da utilizzare insieme alla serie UNI EN 806. [5-6]

La serie UNI EN 806 completa il quadro europeo relativo agli impianti interni per la gestione di acque destinate al consumo umano. La UNI EN 806-2 riguarda la progettazione degli impianti all'interno degli edifici; la UNI EN 806-3 descrive un metodo di calcolo per il dimensionamento delle condotte; la UNI EN 806-5 tratta esercizio e manutenzione. Nel contesto della FWS, tali riferimenti collegano la scelta del modulo alle portate di progetto, alle contemporaneità, alle perdite di carico, alle velocità nelle tubazioni, alla continuità di servizio e ai controlli dopo la messa in esercizio.

Il dimensionamento di una FWS deve essere condotto considerando le condizioni più sfavorevoli. La temperatura dell'acqua fredda in ingresso, la temperatura disponibile sul primario, la potenza del generatore, la capacità del puffer, la portata di punta e l'eventuale ricircolo influenzano direttamente la temperatura erogata. Una verifica basata solo sulla potenza nominale può essere insufficiente: lo scambiatore deve garantire la prestazione richiesta nella combinazione reale di portata, salto termico e temperatura primaria disponibile. [5-6, 10]

3.6 Protezione dal riflusso e separazione dei circuiti

La UNI EN 1717 protegge l'acqua potabile dal rischio di contaminazione per riflusso e classifica i fluidi in cinque categorie di pericolosità crescente: categoria 1 per l'acqua potabile, categoria 2 per l'acqua ancora idonea al consumo ma modificata, ad esempio nella temperatura, categoria 3 per i fluidi con sostanze nocive, categoria 4 per quelli contenenti sostanze tossiche e categoria 5 in presenza di contaminazione microbiologica o virale. La protezione viene scelta in funzione della categoria e delle condizioni di pressione: ritegni antinquinamento tipo EA o EC per la categoria 2, disconnettori tipo CA per la categoria 3, tipo BA per la categoria 4 e dispositivi con air-gap per la categoria 5. [7, 23, 31]

Nella FWS il primo punto da valutare è il lato secondario. L'acqua fredda entra come fluido di categoria 1 e, dopo il riscaldamento, rientra nella categoria 2 per la variazione di temperatura. Sul collegamento alla rete sanitaria deve quindi essere previsto un ritegno antinquinamento tipo EA o una protezione equivalente; se il dispositivo è integrato nella stazione, devono esserne verificate tipologia e posizione.
Più critico è il collegamento utilizzato per il riempimento o il reintegro del circuito primario, perché mette in comunicazione la rete potabile con l'acqua tecnica. Un circuito privo di additivi è normalmente ricondotto alla categoria 3, mentre la presenza di inibitori, antigelo o altri condizionanti può portarlo in categoria 4. Occorre quindi prevedere un disconnettore tipo CA oppure tipo BA, secondo la classificazione effettiva del fluido; un semplice ritegno non è sufficiente. Il carattere saltuario del caricamento non riduce il rischio di riflusso. [7, 23, 31]

Le protezioni devono essere installate in prossimità dei rispettivi punti di interconnessione e devono rimanere accessibili per controllo e manutenzione. Lo scambiatore separa il primario tecnico dal secondario sanitario durante il normale esercizio, ma non sostituisce il dispositivo posto sul caricamento del primario. Negli schemi devono quindi essere verificati separatamente il collegamento sanitario della FWS e quello di riempimento del circuito tecnico.

3.7 Qualità dell’acqua nei circuiti tecnici

La UNI 8065:2019 riguarda la definizione e la determinazione delle caratteristiche chimiche e chimico-fisiche delle acque impiegate negli impianti di climatizzazione invernale ed estiva, nella produzione di acqua calda sanitaria con temperatura massima di 110 °C e negli impianti

solari termici. Per una FWS, il riferimento è importante perché la qualità dell'acqua tecnica incide su scambiatore, pompe, valvole e prestazioni nel tempo. [8]

Incrostazioni, fanghi, ossidi e fenomeni corrosivi possono ridurre progressivamente la capacità di scambio, aumentare le perdite di carico e compromettere la stabilità della temperatura erogata. La gestione del circuito primario non è quindi un tema separato dalla qualità del servizio sanitario: un primario inefficiente può rendere instabile la produzione istantanea anche quando il lato sanitario è stato correttamente dimensionato.

La UNI EN 12828:2014, relativa alla progettazione degli impianti di riscaldamento ad acqua con temperatura massima di esercizio minore o uguale a 105 °C, completa il quadro sul lato tecnico. Puffer, circolatori, pressurizzazione, vaso di espansione, dispositivi di sicurezza, temperature di mandata e ritorno devono essere coerenti con il funzionamento della FWS. Il modulo di produzione ACS non va quindi considerato come elemento isolato, ma come utenza termica collegata a un sistema primario che deve essere stabile, sicuro e correttamente regolato.

3.8 Ricadute progettuali per le Fresh Water Station

L'applicazione combinata dei riferimenti normativi porta a una serie di criteri progettuali. Il primo è la separazione dei circuiti: l'acqua tecnica non deve poter contaminare l'acqua sanitaria. Il secondo è la riduzione del volume sanitario caldo: la FWS consente di accumulare energia nel puffer tecnico e produrre ACS al bisogno, riducendo un fattore di rischio tipico dei sistemi con accumulo sanitario. Il terzo criterio riguarda la temperatura: il sistema deve garantire comfort e igiene senza trascurare il rischio di ustione, soprattutto quando sono previste temperature elevate o cicli termici. [3-4, 20, 24]

Un ulteriore criterio riguarda la verificabilità dell'impianto. Nei sistemi complessi è opportuno prevedere punti di misura, accessibilità ai componenti, lettura delle temperature di mandata e ritorno, controlli periodici e procedure di manutenzione. Le regolazioni elettroniche possono facilitare questa gestione attraverso sensori, diagnostica e comunicazione con sistemi di supervisione, ma il dato tecnico è utile solo se viene inserito in una strategia di controllo coerente con il rischio dell'edificio. [4, 6, 13]

4. Vantaggi e Svantaggi rispetto ad un impianto tradizionale

Il confronto tra Fresh Water Station (FWS) e impianto tradizionale richiede prima di chiarire il termine di paragone. In questo capitolo, per impianto tradizionale si intende una produzione di acqua calda sanitaria basata su bollitore o accumulo sanitario, centralizzato o locale, nel quale l'acqua destinata al consumo viene riscaldata e mantenuta in temperatura per essere disponibile al prelievo. La FWS adotta una logica diversa: l'energia viene accumulata nel circuito tecnico, mentre l'acqua sanitaria viene riscaldata istantaneamente tramite scambiatore di calore. [18, 20]

Non esiste quindi una soluzione sempre migliore in senso assoluto. Il confronto deve tenere insieme aspetti igienici, energetici, impiantistici, manutentivi ed economici. Una FWS può offrire vantaggi rilevanti quando il progetto valorizza controllo, modularità e riduzione dei volumi sanitari caldi; un sistema con bollitore può rimanere razionale in impianti semplici, con fabbisogni contenuti e priorità di costo iniziale.

4.1 Vantaggi principali della Fresh Water Station

Il primo vantaggio è di tipo igienico-sanitario. La FWS riduce drasticamente il volume di acqua sanitaria mantenuta calda, perché lo stoccaggio avviene nel puffer tecnico e non nel circuito potabile. In questo modo si limita una delle condizioni che, nei sistemi con accumulo sanitario, richiede maggiore attenzione: la permanenza dell'acqua in temperatura per periodi prolungati. Il beneficio è particolarmente evidente negli edifici con uso discontinuo, dove un bollitore può rimanere carico anche quando i prelievi sono assenti o molto ridotti.

Il secondo vantaggio riguarda l'efficienza energetica. Separare l'accumulo tecnico dalla produzione sanitaria consente di gestire meglio le temperature del primario e di ottenere ritorni più freddi, condizione utile per generatori efficienti, sistemi ibridi, solare termico e pompe di calore. Nei profili d'uso non continui, inoltre, la FWS evita di mantenere caldo un grande volume sanitario per molte ore senza reale richiesta. Il risparmio non è automatico, ma dipende dal dimensionamento del puffer, dalla coibentazione, dalla regolazione e dalla gestione del ricircolo. [17-19, 21]

Un ulteriore beneficio è la modularità. Le stazioni possono essere selezionate in funzione della portata richiesta, installate in modo decentralizzato o organizzate in cascata negli impianti di maggiori dimensioni. Le versioni elettroniche permettono una regolazione più fine della temperatura, la lettura dei parametri di esercizio, l'integrazione con sistemi di supervisione e una diagnosi più rapida di eventuali anomalie. Questa flessibilità è più difficile da ottenere con un bollitore tradizionale, che tende a essere dimensionato soprattutto in base al volume di accumulo e al picco di richiesta. [15, 18, 20]

Anche il comfort può essere elevato, purché la FWS sia dimensionata correttamente. In presenza di temperatura primaria adeguata, scambiatore adatto e regolazione stabile, la produzione istantanea consente di mantenere una temperatura ACS costante anche durante prelievi importanti. Gli impianti centralizzati, moduli multipli o soluzioni in cascata aumentano la continuità di servizio e facilitano la manutenzione senza fermare completamente la produzione.

4.2 Svantaggi e limiti rispetto alla soluzione tradizionale

Il principale limite della FWS è la maggiore complessità impiantistica. La qualità del servizio non dipende solo dalla taglia dello scambiatore, ma anche dalla temperatura disponibile sul primario, dalla portata tecnica, dalla regolazione, dal bilanciamento idraulico e dalla corretta gestione del puffer. Un bollitore tradizionale è meno evoluto, ma spesso più immediato da comprendere, installare e manutenere in contesti semplici.

Un secondo limite riguarda la sensibilità alle condizioni operative. Se la sorgente primaria lavora a bassa temperatura, la FWS richiede scambiatori più grandi, portate primarie adeguate e una regolazione capace di reagire rapidamente alle variazioni di prelievo. In assenza di margine termico, la temperatura di ACS può diventare instabile o la portata disponibile può risultare inferiore al valore atteso. Il bollitore, grazie al volume accumulato, tollera meglio alcuni transitori, anche se al prezzo di maggiori dispersioni e di una gestione igienica più impegnativa.

Va considerato anche il tema manutentivo. Lo scambiatore a piastre è compatto ed efficiente, ma può essere sensibile a calcare, fanghi, cloruri e qualità dell'acqua tecnica. Per questo sono necessari trattamento dell'acqua, filtri, controlli periodici e, nei casi più gravosi, componenti ispezionabili o materiali più resistenti. In un impianto tradizionale la manutenzione può

apparire più semplice, ma diventa comunque onerosa quando sono richiesti lavaggi, disinfezioni, controlli del bollitore e gestione accurata del ricircolo. [4, 6, 8, 13]

Dal punto di vista economico, la FWS può comportare un investimento iniziale superiore, soprattutto nelle versioni complete di regolazione elettronica, sensori, pompe modulanti e dispositivi di sicurezza. La valutazione corretta non deve però fermarsi al costo di acquisto: occorre considerare perdite di accumulo, energia assorbita dalle pompe, manutenzione, rischio igienico, durata dei componenti e qualità del servizio fornito all'utente. [12]

4.3 Valutazione di convenienza progettuale

La FWS risulta particolarmente interessante quando il progetto attribuisce valore alla riduzione del rischio igienico, alla compatibilità con fonti rinnovabili, alla modularità e al controllo del servizio. È una soluzione coerente per impianti centralizzati, condomini evoluti, edifici con generatori a bassa temperatura, reti alimentate da puffer tecnici, utenze con profili discontinui e contesti in cui la supervisione dei parametri di esercizio rappresenta un requisito progettuale.

L'impianto tradizionale conserva invece una logica applicativa nei casi semplici: fabbisogni ridotti, sorgente ad alta temperatura già disponibile, spazi e budget limitati, manutenzione affidata a personale non specializzato o assenza di particolari requisiti di monitoraggio. In questi casi il bollitore può risultare più immediato e meno costoso da implementare, purché siano comunque rispettate le condizioni igieniche, energetiche e manutentive richieste.

La scelta corretta deriva quindi dalla coerenza tra tecnologia, profilo d'uso e obiettivi dell'impianto. Se il problema principale è ridurre i volumi sanitari caldi, integrare fonti efficienti e controllare con precisione la temperatura, la FWS offre un vantaggio tecnico evidente. Se invece il sistema è piccolo, poco complesso e con richieste prevedibili, la soluzione tradizionale può mantenere un buon equilibrio tra costo, semplicità e affidabilità.

Criterio	Fresh Water Station	Impianto tradizionale con bollitore	Lettura progettuale
Igiene	Volume sanitario caldo molto ridotto; minore permanenza dell'acqua in temperatura.	Volume ACS accumulato; maggiore attenzione a ricircolo, temperatura e disinfezione.	FWS più favorevole dove la gestione del rischio igienico pesa molto.
Efficienza	Buona integrazione con puffer tecnici, generatori efficienti e fonti rinnovabili.	Schema semplice, ma penalizzato dalle dispersioni dell'accumulo sanitario.	Il vantaggio della FWS cresce con profili discontinui e sistemi a rendimento variabile.
Comfort	Prestazione elevata se primario, scambiatore e regolazione sono corretti.	Buona riserva immediata finché il bollitore è carico; recupero più lento dopo forti prelievi.	La scelta dipende da picchi, distanza dei terminali e continuità del servizio.
Gestione	Maggiore controllo e modularità, ma manutenzione più tecnica.	Tecnologia diffusa e immediata, con logiche manutentive note agli installatori.	FWS adatta quando il controllo aggiuntivo produce valore reale.
Costo globale	CAPEX spesso più alto, OPEX competitivo se riduce perdite e sprechi.	CAPEX in genere più contenuto, ma costi energetici e igienici da valutare.	Conta il costo sull'intero ciclo di vita, non il solo investimento iniziale.

Tabella 4.1 - Confronto tra FWS e impianto tradizionale

4.4 Sintesi conclusiva

Il confronto mostra che la FWS non deve essere presentata come sostituzione universale del bollitore, ma come una soluzione più adatta quando il progetto richiede controllo, modularità, riduzione dell'accumulo sanitario e integrazione con sistemi energetici evoluti. Il suo potenziale emerge soprattutto se l'impianto è dimensionato correttamente e se la manutenzione viene considerata fin dalla fase progettuale.

L'impianto tradizionale rimane competitivo quando la semplicità è il criterio dominante e il fabbisogno ACS è limitato o molto prevedibile. La valutazione finale deve quindi basarsi sul costo globale e sulla qualità del servizio, non su un confronto astratto tra tecnologie. In questa prospettiva, la FWS è una scelta progettuale di maggiore precisione: offre più possibilità di controllo, ma richiede anche una progettazione più consapevole. [12, 18, 20]

5. Ambiti applicativi delle Fresh Water Station

Le Fresh Water Station non sono una soluzione da applicare indistintamente a ogni edificio, ma una tecnologia che assume valore quando il profilo d'uso, la geometria della distribuzione e il livello di rischio igienico rendono conveniente separare l'accumulo tecnico dalla produzione sanitaria. L'ambito applicativo dipende quindi da alcune variabili principali: intensità e contemporaneità dei prelievi, distanza tra produzione e utenze, temperatura disponibile sul primario, requisiti di comfort e livello di controllo richiesto. [17, 20]

La valutazione deve partire dall'edificio e non dal solo prodotto. Una FWS può essere molto efficace in un impianto con puffer tecnico, rete primaria ben progettata e richiesta di monitoraggio; può invece risultare sovradimensionata o poco conveniente in contesti con pochi prelievi, reti molto corte e sorgente tradizionale già semplice da gestire. Per questo motivo gli ambiti applicativi vanno letti come scenari tipici, non come categorie rigide.

5.1 Edilizia residenziale unifamiliare e piccoli edifici

Nelle abitazioni unifamiliari, nelle villette e nei piccoli edifici, la FWS trova applicazione soprattutto quando è presente un puffer tecnico alimentato da pompa di calore, solare termico, biomassa o sistema ibrido. In questi casi la stazione consente di produrre ACS istantanea senza installare un bollitore sanitario dedicato, riducendo il volume di acqua potabile mantenuto caldo e semplificando l'integrazione con fonti rinnovabili.

Il limite principale in questo ambito è la proporzionalità economica. Se il fabbisogno è molto basso, la rete è breve e la sorgente termica è tradizionale, una soluzione con accumulo sanitario può risultare più semplice e meno costosa. La FWS diventa invece razionale quando l'edificio possiede già un accumulo tecnico, quando si vuole evitare la stagnazione del bollitore o quando i prelievi sono concentrati ma non continuativi, come accade in una villetta con più bagni utilizzati nelle stesse fasce orarie.

Per i piccoli edifici è importante non sovrastimare la tecnologia. La scelta deve verificare portata di punta, temperatura primaria minima, distanza dei terminali e necessità o meno di ricircolo. Una stazione compatta ben dimensionata può garantire comfort elevato; una stazione troppo complessa, invece, rischia di aumentare costo e manutenzione senza produrre un vantaggio proporzionato.

5.2 Condomini e residenziale multipiano

Il settore condominiale è uno degli ambiti più significativi per le Fresh Water Station. Nei sistemi centralizzati, una FWS di adeguata potenza può sostituire il bollitore sanitario comune, riducendo l'accumulo di ACS e migliorando la gestione igienica dell'impianto. Nei sistemi decentralizzati, le stazioni di appartamento producono ACS localmente a partire da una rete primaria tecnica, permettendo contabilizzazione individuale dell'energia e riduzione delle dispersioni legate alla distribuzione sanitaria centralizzata. [17-18]

La scelta tra FWS centralizzata e satelliti decentralizzati dipende dalla struttura dell'edificio. Nei condomini nuovi o soggetti a ristrutturazione, la distribuzione tecnica verso le unità abitative può essere progettata fin dall'inizio e integrata con sistemi di contabilizzazione. Negli edifici esistenti, una FWS centralizzata è spesso più semplice da inserire, purché siano risolti correttamente ricircolo, bilanciamento e controllo della temperatura di ritorno. [18-19, 21]

Nel residenziale multipiano la FWS non risolve da sola il tema della distribuzione. Occorre valutare colonne montanti, tempi di attesa, portate simultanee, accessibilità ai componenti e manutenzione. Dove il ricircolo è necessario, il suo bilanciamento diventa parte integrante del progetto: una produzione istantanea efficiente può perdere parte del proprio vantaggio se la rete secondaria è lunga, poco isolata o mal regolata.

5.3 Edifici serviti da teleriscaldamento

Il teleriscaldamento rappresenta uno degli ambiti più coerenti per l'impiego delle FWS, perché fornisce una sorgente primaria stabile e disponibile. In tali impianti la Fresh Water Station consente di trasferire energia alla rete sanitaria solo al momento del prelievo, evitando l’accumulo di ACS e mantenendo separati il circuito termico e la rete potabile.

La presenza di una FWS non comporta necessariamente l’installazione di un accumulo tecnico. Quando la rete di teleriscaldamento è in grado di garantire, anche durante il picco di utilizzo, la potenza, la temperatura e la portata richiesta, la produzione di ACS può avvenire in modo diretto e istantaneo. Il fluido termovettore della rete alimenta, attraverso la sottostazione di utenza, il lato primario della FWS. L’ acqua calda sanitaria viene prodotta solo al momento della richiesta.

L’accumulo tecnico diventa opportuno quando picchi di richiesta sanitaria risultano superiori alla potenza disponibile della rete, quando sono presenti più sorgenti termiche oppure quando è necessario disaccoppiare idraulicamente la sottostazione dalla produzione ACS. In tali casi il teleriscaldamento carica il puffer tecnico e la FWS utilizza l’energia accumulata per soddisfare i prelievi più gravosi. La scelta tra alimentazione istantanea diretta e presenza di accumulo deve quindi dipendere dal profilo dei consumi, e dalle caratteristiche della rete.

Negli appartamenti o nei piccoli condomini collegati a una rete tecnica, le stazioni compatte di utenza permettono di eliminare il bollitore locale e di misurare l'energia consumata da ciascun alloggio. Nei grandi edifici, invece, la FWS centralizzata o in cascata permette di gestire portate elevate mantenendo separati circuito primario e sanitario, con vantaggi energetici, igienici e manutentivi. [4, 13]
In questi impianti diventano importanti la regolazione della temperatura, la protezione dal riflusso, la compatibilità con le pressioni disponibili e la stabilità del ritorno primario. Una sottostazione progettata correttamente non deve solo produrre ACS, ma anche dialogare bene con la rete termica, evitando ritorni inutilmente caldi e oscillazioni di funzionamento.

5.4 Strutture ricettive, sanitarie e ad alta continuità di servizio

Hotel, RSA, ospedali, case di cura e strutture sportive con docce concentrate hanno profili di prelievo intensi e requisiti di continuità molto elevati. In questi edifici la FWS è utile perché permette produzione istantanea ad alta portata, gestione in cascata, ridondanza dei moduli e monitoraggio delle temperature. Il valore non è solo energetico: la tracciabilità dei dati e la riduzione dei volumi sanitari stagnanti diventano centrali nella gestione del rischio igienico.

In ambito sanitario e ricettivo la FWS deve però essere progettata con particolare attenzione. Sono necessari materiali idonei, scambiatori compatibili con la qualità dell'acqua locale, possibilità di disinfezione termica, controllo del ricircolo e, nei casi più critici, configurazioni ridondate. La tecnologia è quindi molto adatta, ma solo se accompagnata da una progettazione più rigorosa rispetto a quella richiesta in un piccolo impianto residenziale.

La continuità del servizio è un criterio determinante. Una configurazione modulare consente di coprire i picchi e di mantenere una quota di produzione anche durante manutenzione o guasto di un modulo. Questo aspetto è particolarmente utile dove l'interruzione del servizio

ACS avrebbe conseguenze rilevanti sul comfort, sull'igiene o sull'organizzazione della struttura.

5.5 Uffici, scuole, palestre e utenze discontinue

Gli edifici con utilizzo discontinuo rappresentano un altro campo applicativo interessante. Uffici, scuole, sedi direzionali, spogliatoi sportivi e palestre possono avere lunghi periodi senza prelievi alternati a picchi concentrati. In questi casi un bollitore tradizionale rischia di mantenere caldo un volume sanitario per molte ore senza reale utilizzo, generando dispersioni energetiche e potenziali criticità igieniche. [17]

La FWS consente di produrre ACS solo quando serve, sfruttando il puffer tecnico e riducendo l'inerzia sanitaria. Negli uffici con pochi terminali e rami corti può essere sufficiente una stazione semplice senza ricircolo; in palestre o spogliatoi, dove la portata simultanea è più elevata, diventano invece più adatte stazioni elettroniche o sistemi modulari, eventualmente associati a un ricircolo ben bilanciato. [14, 17, 19, 21]

Per scuole e uffici è importante valutare la reale frequenza dei prelievi. Se l'ACS è richiesta solo per servizi igienici con portate molto ridotte, una FWS complessa può non essere necessaria. Se invece sono presenti mense, spogliatoi, laboratori o docce, la produzione istantanea può diventare più interessante, soprattutto quando è già disponibile un circuito tecnico alimentato da generatori efficienti.

5.6 Sintesi dei criteri di scelta per tipologia edilizia

La scelta della FWS dovrebbe essere guidata da criteri trasversali: presenza di un accumulo tecnico, profilo dei prelievi, livello di rischio igienico, possibilità di controllo della temperatura, accessibilità alla manutenzione e costo globale dell'impianto. A parità di edificio, la convenienza cambia se la rete è corta o estesa, se il ricircolo è necessario, se la sorgente primaria lavora ad alta o bassa temperatura e se l'utente finale richiede monitoraggio continuo. La tabella seguente sintetizza gli ambiti edilizi principali e la logica di scelta della Fresh Water Station rispetto alle esigenze tipiche dell'edificio.

Tipologia edificio	Configurazione FWS più coerente	Motivo principale	Attenzioni progettuali
Villetta o piccolo edificio	Stazione compatta collegata a puffer tecnico	Integra pompe di calore, solare o sistemi ibridi senza accumulo sanitario dedicato.	Verificare margine termico, portata di punta e distanza dai terminali.
Condominio	FWS centralizzata oppure satelliti di appartamento	Riduce il volume ACS accumulato e facilita contabilizzazione e gestione energetica.	Progettare ricircolo, bilanciamento e accessibilità manutentiva.
Edificio con teleriscaldamento	Stazione di utenza o sottostazione centralizzata	Sfrutta una primaria disponibile e stabile, con ritorni più freddi ed efficienza elevata.	Controllare pressioni, protezione antiriflusso e regolazione della temperatura.
Hotel, RSA, ospedale	FWS elettronica in cascata con monitoraggio	Garantisce portate elevate, ridondanza e tracciabilità igienica.	Prevedere disinfezione, logging, materiali idonei e gestione del ricircolo.
Ufficio, scuola, sede direzionale	Stazione semplice o elettronica dimensionata sui picchi	Evita accumuli sanitari caldi durante lunghi periodi di non utilizzo.	Valutare profili intermittenti, rami ciechi e tempi di attesa.
Palestra o spogliatoio	Stazione ad alta portata, eventualmente modulare	Gestisce prelievi concentrati e simultanei su docce e lavabi.	Dimensionare accuratamente punta, puffer e ricircolo.

Tabella 5.1 - Ambiti applicativi delle FWS per tipologia edilizia

6. Limiti applicativi e condizioni di non convenienza delle Fresh Water Station

La Fresh Water Station offre vantaggi rilevanti in termini di igiene, modularità e integrazione energetica, ma non rappresenta una soluzione universalmente preferibile. Come ogni tecnologia impiantistica, la sua efficacia dipende dal contesto di applicazione, dalla qualità della progettazione e dalla coerenza tra prestazioni richieste, profilo dei prelievi e caratteristiche della sorgente termica.

Analizzare i limiti applicativi non significa ridurre il valore della FWS, ma definire correttamente il campo di impiego. Una stazione istantanea funziona bene quando è inserita in un sistema coerente: circuito primario adeguato, puffer dimensionato, scambiatore compatibile con le portate richieste, regolazione stabile, distribuzione corretta e manutenzione programmata. Quando una di queste condizioni manca, il vantaggio teorico può ridursi o trasformarsi in maggiore complessità. [16, 20]

6.1 Limiti legati alla temperatura della sorgente primaria

Il primo limite riguarda la temperatura disponibile sul circuito primario. La FWS produce ACS attraverso uno scambiatore di calore; per ottenere una temperatura sanitaria stabile è necessario che il circuito primario abbia un margine termico sufficiente rispetto al setpoint richiesto. Se il puffer lavora a temperature basse, come accade in molti impianti con pompe di calore, lo scambiatore deve essere più grande e la portata primaria deve aumentare. In caso contrario la portata sanitaria disponibile si riduce oppure la temperatura in uscita diventa instabile.

Questo limite non rende incompatibile la FWS con le pompe di calore, ma impone una progettazione più accurata. Servono scambiatori dimensionati per piccoli salti termici, circolatori modulanti, controllo elettronico e verifica delle condizioni peggiori: acqua fredda di rete invernale, puffer parzialmente scarico, prelievi simultanei e richiesta di temperatura elevata per eventuali cicli termici. In assenza di questi accorgimenti, un bollitore sanitario può apparire più tollerante ai transitori perché dispone di un volume d'acqua già caldo.

6.2 Sensibilità alla qualità dell’acqua e al deposito di sporco nello scambiatore

Il secondo limite riguarda lo scambiatore a piastre, componente molto efficiente ma sensibile alla qualità dell'acqua. Acque dure, fanghi nel circuito tecnico, cloruri elevati o parametri chimico-fisici non idonei possono favorire incrostazioni, corrosione o perdita di prestazione.

A differenza di un accumulo tradizionale, dove il degrado può essere più lento e distribuito, nella FWS il restringimento dei passaggi dello scambiatore incide direttamente su portata, perdita di carico e capacità di scambio.

Per questo motivo la FWS richiede un'attenzione specifica alla protezione del circuito: filtrazione, defangazione, trattamento dell'acqua tecnica, controllo della durezza e scelta corretta dei materiali. In impianti con acqua aggressiva o manutenzione incerta può essere necessario prevedere scambiatori con materiali più resistenti, componenti ispezionabili o soluzioni costruttive che semplificano la pulizia. Il limite non è quindi soltanto tecnico, ma gestionale: senza manutenzione ordinaria la prestazione iniziale può degradare rapidamente. [8, 16, 20]

6.3 Complessità di regolazione e bilanciamento idraulico

La FWS è più sensibile alla regolazione rispetto a un sistema con grande accumulo sanitario. La temperatura dell'ACS dipende dall'equilibrio istantaneo tra portata sanitaria, temperatura primaria, portata primaria e risposta del sistema di controllo. Nei modelli termostatici la semplicità è un vantaggio, ma la precisione può essere inferiore in presenza di forti variazioni di pressione o temperatura. Nei modelli elettronici la stabilità migliora, ma aumenta la dipendenza da sensori, centraline, attuatori e corretta taratura.

Anche il bilanciamento idraulico assume un ruolo centrale. In sistemi centralizzati o in cascata, una distribuzione primaria non bilanciata può portare alcune stazioni a lavorare con portata insufficiente, mentre altre ricevono più fluido tecnico del necessario. Nei grandi impianti questo può generare oscillazioni di temperatura, ritorni primari troppo caldi, riduzione dell'efficienza e difficoltà di diagnosi. La FWS richiede quindi una progettazione idraulica meno approssimativa rispetto a un semplice bollitore con ricircolo tradizionale.

6.4 Limiti economici nei piccoli impianti e negli usi molto semplici

Dal punto di vista economico, la FWS non è sempre la scelta più conveniente. Nei piccoli impianti con pochi punti di prelievo, sorgente tradizionale ad alta temperatura e fabbisogno limitato, il costo della stazione, degli accessori di regolazione e dell'eventuale puffer tecnico può non essere giustificato dai benefici ottenuti. In questi casi un bollitore compatto o uno scaldacqua tradizionale può risultare più semplice, meno costoso e adeguato al livello di servizio richiesto.

La non convenienza emerge soprattutto quando si installa una FWS avanzata senza che l'edificio richieda davvero modularità, monitoraggio, integrazione BMS o riduzione del rischio igienico. Una tecnologia ricca di funzioni non produce automaticamente un miglior costo globale: se il profilo d'uso è semplice, il valore aggiunto resta inutilizzato e il CAPEX cresce senza un corrispondente beneficio in OPEX, comfort o sicurezza. [12, 20]

6.5 Limiti legati alla distribuzione e al comfort al punto d'uso

Un equivoco frequente è attribuire alla FWS la capacità di risolvere da sola tutti i problemi di comfort ACS. In realtà la stazione produce acqua calda in modo istantaneo, ma non elimina i tempi di attesa dovuti al volume delle tubazioni tra produzione e terminale. Se i rami sono lunghi, mal isolati o poco utilizzati, l'utente continuerà ad attendere lo svuotamento dell'acqua raffreddata prima di ricevere ACS alla temperatura richiesta.

In questi casi il limite non è la produzione ma la distribuzione. Serve valutare se adottare un circuito di ricircolo, stazioni di ricircolo dedicate, riduzione dei rami morti o posizionamento più vicino della produzione. Una FWS installata lontano dai punti di prelievo, senza ricircolo e con tubazioni estese, può offrire ottime prestazioni allo scambiatore ma scarso comfort percepito dall'utente. La coerenza tra produzione e rete distributiva è quindi una condizione essenziale di applicabilità.

6.6 Casi in cui una soluzione tradizionale può essere preferibile

Una soluzione tradizionale può essere preferibile quando l'impianto è molto piccolo, il profilo di prelievo è prevedibile, la manutenzione specializzata non è disponibile o la sorgente termica lavora stabilmente ad alta temperatura senza obiettivi particolari di integrazione rinnovabile. Può essere una scelta ragionevole anche in sostituzioni puntuali, dove vincoli di spazio, budget o tempi di cantiere impediscono di rivedere la logica complessiva dell'impianto.

La FWS dovrebbe quindi essere scelta quando il suo principio di funzionamento risolve un problema reale: riduzione dell'accumulo sanitario, integrazione con puffer tecnico, gestione di portate variabili, monitoraggio, modularità, contabilizzazione o riduzione del rischio igienico. Se nessuno di questi fattori è rilevante, la tecnologia rischia di diventare una complicazione non necessaria.

6.7 Sintesi dei limiti e possibili mitigazioni

I limiti della FWS possono essere letti come condizioni progettuali da verificare prima della scelta della soluzione. La stazione istantanea è più adatta quando sono garantiti almeno alcuni presupposti: temperatura primaria coerente con il setpoint ACS, acqua tecnica e sanitaria controllate, accessibilità alla manutenzione, regolazione adeguata alla variabilità dei prelievi e rete distributiva progettata in modo coerente con il comfort richiesto. [17, 21, 25]

Quando questi presupposti non sono presenti, la scelta deve essere valutata con attenzione. La tabella seguente riassume i principali limiti applicativi e le strategie progettuali che possono ridurre l'impatto.

Limite applicativo	Effetto sul progetto	Condizione critica	Mitigazione possibile
Primario a bassa temperatura	Riduzione della portata ACS disponibile o instabilità del setpoint.	Pompe di calore con puffer a 45-55 °C e acqua fredda di rete invernale.	Scambiatore maggiorato, regolazione elettronica, verifica dei casi peggiori.
Qualità dell'acqua non idonea	Incrostazioni, corrosione o aumento delle perdite di carico.	Acque dure, cloruri elevati, fanghi nel circuito tecnico.	Filtrazione, trattamento acqua, materiali idonei, manutenzione programmata.
Regolazione complessa	Oscillazioni di temperatura o risposta lenta ai prelievi variabili.	Portate molto variabili, primario instabile o cascata non tarata.	Sensori rapidi, PID tarato, pompe modulanti, bilanciamento idraulico.
Distribuzione sfavorevole	Tempi di attesa elevati nonostante produzione istantanea efficiente.	Rami lunghi, terminali lontani, assenza di ricircolo o tubazioni poco isolate.	Ricircolo bilanciato, produzione più vicina, riduzione rami morti.
Fabbisogno molto semplice	Investimento iniziale non recuperato da benefici reali.	Piccoli impianti con pochi prelievi e sorgente tradizionale.	Valutazione TCO; preferire soluzioni semplici se il rischio è basso.
Manutenzione insufficiente	Degrado prestazionale e maggiore rischio di fermo impianto.	Edifici senza gestione tecnica o controlli periodici.	Accessibilità, contratti manutentivi, componenti ispezionabili.

Tabella 6.1 - Sintesi dei limiti applicativi e strategie di mitigazione

In conclusione, i limiti della FWS non devono essere considerati difetti assoluti, ma vincoli di progetto. La tecnologia funziona bene quando è integrata in un sistema coerente e gestibile: sorgente primaria adeguata, scambiatore dimensionato, acqua trattata, regolazione stabile, distribuzione corretta e manutenzione programmata. Dove queste condizioni non possono essere garantite, una soluzione tradizionale può rimanere più razionale. [12]

7. Componentistica di impianto a corredo delle Fresh Water Station

La valutazione di una Fresh Water Station non può limitarsi al solo modulo di produzione istantanea. La FWS costituisce il punto di scambio termico tra circuito tecnico e circuito sanitario, ma la qualità del servizio dipende anche dai componenti che la circondano: accumulo tecnico, pompe, valvole, organi di sicurezza, trattamento dell'acqua, bilanciamento idraulico, ricircolo, sonde e sistemi di contabilizzazione. [9, 15, 20]

Questi elementi non sono sempre integrati nella stazione, ma determinano stabilità, efficienza, sicurezza igienica e manutenibilità dell'intero sistema. Una FWS correttamente selezionata può non raggiungere le prestazioni attese se il puffer è inadatto, se la portata primaria è insufficiente, se lo scambiatore non è protetto dallo sporco o se la rete di distribuzione non è coerente con i tempi di comfort richiesti. [5-6, 21]

7.1 Accumulo tecnico e gestione della sorgente primaria

Il primo componente a corredo è il puffer tecnico, o accumulo inerziale, che immagazzina energia termica proveniente dalla sorgente primaria e la rende disponibile alla FWS nei momenti di prelievo. A differenza del bollitore sanitario, il puffer contiene acqua tecnica non destinata al consumo umano. Questa configurazione consente di ridurre il volume di ACS stoccata, mantenendo una riserva energetica utile per gestire i picchi di domanda.

La valutazione del puffer riguarda volume utile, stratificazione, temperatura disponibile, posizione degli attacchi, coibentazione e compatibilità con la sorgente. Un puffer troppo piccolo può scaricarsi rapidamente durante i picchi, causando cali di temperatura ACS; un puffer troppo grande aumenta costi, ingombri e dispersioni. Negli impianti con pompe di calore è essenziale lavorare con temperature compatibili con il rendimento della macchina, mentre con caldaie o teleriscaldamento il margine termico è più ampio ma va comunque regolato per evitare ritorni inutilmente caldi. La stratificazione è un aspetto decisivo. La FWS dovrebbe prelevare acqua tecnica dallo strato più caldo e restituire al puffer acqua raffreddata senza disturbare eccessivamente i livelli termici interni. Attacchi mal posizionati, portate troppo elevate o assenza di dispositivi di calma possono ridurre la temperatura utile disponibile proprio nei momenti di maggiore richiesta.

7.2 Pompe, circolatori e bilanciamento del circuito primario

Il circuito primario che alimenta la FWS richiede circolatori dimensionati sulla portata necessaria allo scambiatore e sulle perdite di carico dell'impianto. La pompa può essere integrata nella stazione o installata esternamente, ma in entrambi i casi deve garantire una portata stabile anche al variare dei prelievi. Nei sistemi centralizzati o in cascata, la scelta di pompe modulanti e valvole di bilanciamento è decisiva per distribuire correttamente il fluido tecnico tra le diverse utenze.

Gli organi di bilanciamento, manuali o automatici, evitano che il circuito più favorito riceva una portata eccessiva sottraendola agli altri rami. Nei grandi impianti sono utili collettori ben dimensionati, valvole di regolazione, pompe a giri variabili e punti di misura della pressione differenziale. Senza bilanciamento, anche una FWS correttamente dimensionata può lavorare fuori punto, con ritorni troppo caldi, instabilità di temperatura e riduzione dell'efficienza del generatore.

7.3 Intercettazione, ritegno, sicurezza e protezione dal riflusso

Ogni FWS deve essere inserita in un impianto sezionabile e sicuro. Le valvole di intercettazione permettono manutenzione e sostituzione senza svuotare l'intera rete; le valvole di ritegno impediscono ritorni indesiderati; gli organi di scarico e sfiato facilitano messa in servizio, lavaggio e svuotamento. I dispositivi di sicurezza proteggono da sovrapressioni, sovratemperature e possibili condizioni anomale tra circuito tecnico e sanitario. [7, 9, 23, 31-32]

La protezione dal riflusso è particolarmente importante perché la FWS mette in relazione, tramite scambiatore, un circuito tecnico non potabile e un circuito sanitario destinato al consumo umano. La scelta dei dispositivi deve essere coerente con la configurazione pressoria dell'impianto e con l'analisi del rischio. In generale occorre garantire che il lato potabile sia protetto da possibili contaminazioni e che eventuali guasti siano intercettabili, scaricabili o rilevabili.

7.4 Filtrazione, trattamento dell’acqua e protezione dello scambiatore

Lo scambiatore a piastre è il componente più sensibile alla qualità dei fluidi. Per questo l'impianto deve prevedere dispositivi dedicati alla protezione: filtri sul lato sanitario e sul lato tecnico, defangatori, separatori d'aria, trattamento dell'acqua tecnica, controllo della durezza e, quando necessario, addolcimento o condizionamento. Questi elementi non sono accessori secondari: senza di essi lo scambiatore può incrostarsi, corrodersi o perdere rapidamente capacità di scambio. [8, 16]

La valutazione deve distinguere il lato sanitario dal lato tecnico. Sul sanitario contano durezza, cloruri, temperatura e rischio di calcare; sul tecnico contano fanghi, ossigeno disciolto, compatibilità chimica e pulizia del circuito. Un impianto nuovo dovrebbe essere lavato e riempito con acqua conforme ai requisiti del generatore e dello scambiatore; un impianto esistente richiede spesso defangazione preventiva e verifica della qualità dell'acqua prima dell'installazione della FWS.

7.5 Ricircolo ACS, miscelazione e controllo della temperatura di utenza

La FWS produce ACS alla temperatura impostata, ma il comfort al punto d'uso dipende dalla rete di distribuzione. Quando i terminali sono lontani, il ricircolo ACS o soluzioni equivalenti diventano componenti fondamentali. Il ricircolo mantiene in temperatura le tubazioni e riduce i tempi di attesa, ma introduce dispersioni termiche e richiede pompa dedicata, valvole di bilanciamento, isolamento e controllo della temperatura di ritorno. [11, 19, 21, 26]

A valle della produzione possono essere necessari miscelatori termostatici o valvole antiscottatura, soprattutto in bagni, strutture sanitarie, scuole e utenze vulnerabili. Questi dispositivi permettono di mantenere temperature elevate per ragioni igieniche nella rete o durante eventuali cicli di disinfezione termica, limitando però la temperatura effettiva di erogazione. La loro presenza deve essere coordinata con la regolazione della FWS, altrimenti si rischiano oscillazioni, perdite di comfort o riduzione della stabilità al punto d'uso.

7.6 Strumentazione, contabilizzazione e integrazione con il controllo impiantistico

Un impianto con FWS richiede strumenti di misura adeguati: sonde di temperatura su mandata e ritorno primario, temperatura ACS in uscita, temperatura di ricircolo, contatori di energia, contatori volumetrici, pressostati o sensori di portata quando necessari. La strumentazione consente di verificare se la stazione lavora nel punto previsto, se il puffer è carico, se il ricircolo è bilanciato e se le condizioni igieniche sono mantenute.

Negli edifici complessi, il collegamento della FWS e dei componenti a corredo a un sistema di supervisione rappresenta un valore progettuale. Il monitoraggio permette allarmi, registrazione delle temperature, analisi dei consumi, diagnosi di anomalie e programmazione della manutenzione. Nei condomini, la contabilizzazione dell'energia e dell'acqua è inoltre decisiva per attribuire correttamente i consumi ai singoli utenti. [21, 28-29]

Nelle configurazioni decentralizzate, questa funzione può essere svolta da satelliti d'utenza installati in prossimità delle singole unità immobiliari. Alimentati da una rete tecnica comune, essi producono ACS localmente e permettono di associare la contabilizzazione dell'energia e dell'acqua alla singola utenza, richiedendo al tempo stesso un coordinamento della regolazione.

7.7 Sintesi della componentistica a corredo

La componentistica a corredo deve essere scelta insieme alla FWS e non in una fase successiva. Il progetto deve garantire accessibilità per manutenzione, punti di misura, possibilità di lavaggio, by-pass quando necessari, organi di intercettazione chiari e protezioni coerenti con il rischio dell'impianto. In questo modo la stazione diventa parte di un sistema controllabile e non un componente isolato.

Componente a corredo	Funzione nell'impianto	Criteri di valutazione	Rischio se trascurato
Puffer tecnico	Accumula energia sul circuito primario senza stoccare ACS.	Volume utile, stratificazione, temperatura disponibile, dispersioni.	Cali di temperatura ACS o sovradimensionamento costoso.
Pompe e circolatori	Garantiscono portata primaria, eventuale ricircolo e stabilità di scambio.	Portata, prevalenza, modulazione, consumo elettrico, ridondanza.	Instabilità termica, ritorni caldi, comfort insufficiente.
Valvole e dispositivi di sicurezza	Permettono sezionamento, ritegno, protezione e scarico controllato.	Accessibilità, pressioni, temperature, protezione dal riflusso.	Manutenzione difficile, contaminazioni, guasti non intercettabili.
Filtri e trattamento acqua	Proteggono scambiatore, generatore e circuito tecnico.	Durezza, fanghi, cloruri, lavaggio impianto, manutenzione periodica.	Incrostazioni, corrosione, perdite di carico e perdita di prestazione.
Ricircolo e miscelazione	Assicurano comfort e controllo della temperatura al punto d'uso.	Bilanciamento, isolamento, temperatura ritorno, antiscottatura.	Tempi di attesa elevati o rischio ustioni/stagnazione.
Sonde e contabilizzazione	Misurano temperature, portate, energia e consumi.	Posizione sonde, precisione, accessibilità, integrazione BMS.	Mancata diagnosi, consumi non attribuibili, gestione inefficace.
Accessibilità manutentiva	Permette interventi rapidi su stazione e componenti collegati.	Spazi, by-pass, scarichi, raccordi, pulizia scambiatore.	Fermi impianto lunghi e manutenzione non eseguita.

Tabella 7.1 - Componentistica di impianto a corredo delle FWS

8. Integrazione con le fonti energetiche

La Fresh Water Station è una soluzione particolarmente interessante quando viene integrata con una sorgente energetica capace di alimentare un accumulo tecnico. La stazione non produce energia: trasferisce calore dal circuito primario all'acqua sanitaria nel momento del prelievo. Per questo motivo le sue prestazioni dipendono in modo diretto dalla temperatura disponibile, dalla stabilità della sorgente, dal volume del puffer e dalla capacità della regolazione di adattarsi ai diversi profili di utilizzo. [14-15, 18, 20, 30, 33]

L'integrazione con le fonti energetiche deve quindi essere valutata considerando due aspetti. Il primo è la disponibilità di temperatura: più il primario è caldo, più è semplice produrre ACS a temperatura stabile anche a portate elevate. Il secondo è l'efficienza complessiva del sistema: una temperatura primaria troppo alta può semplificare lo scambio, ma aumentare dispersioni o ridurre il rendimento della sorgente. La progettazione deve trovare un equilibrio tra comfort sanitario, igiene, rendimento energetico e durata dei componenti.

8.1 Teleriscaldamento

Il teleriscaldamento è uno degli ambiti più coerenti per l'impiego della FWS. In un sistema di questo tipo, la rete primaria distribuisce energia termica agli edifici allacciati e la sottostazione deve trasferire calore agli impianti interni mantenendo separati i circuiti. La FWS svolge questa funzione per l'ACS: scambia calore tra fluido primario e acqua potabile, garantendo separazione idraulica e produzione istantanea.

Il vantaggio principale è la possibilità di ottenere ritorni primari freddi. Quando lo scambiatore lavora correttamente, il fluido tecnico cede una quota elevata di energia e rientra alla rete con temperatura contenuta, migliorando l'efficienza della distribuzione. Questo aspetto è importante perché le reti di teleriscaldamento funzionano meglio quando il salto termico tra mandata e ritorno è elevato e quando le sottostazioni non restituiscono acqua inutilmente calda.

La progettazione deve però controllare pressioni, temperature, dispositivi di sicurezza, protezione dal riflusso e stabilità della regolazione. In edifici con portate ACS elevate può essere opportuno ricorrere a moduli in cascata o a regolazioni elettroniche, così da seguire meglio i picchi e mantenere continuità di servizio anche durante manutenzione o funzionamento parziale.

8.2 Caldaie a gas, biomassa e sistemi ibridi

Con sorgenti tradizionali ad alta temperatura, come caldaie a gas o generatori a biomassa, la FWS lavora in condizioni favorevoli. Il margine termico primario è ampio, lo scambiatore può trasferire potenza con salti termici consistenti e il rischio di scendere sotto il setpoint ACS è ridotto anche in presenza di prelievi importanti. In questi casi la FWS consente di sostituire l'accumulo sanitario con un accumulo tecnico, mantenendo capacità di copertura dei picchi e riducendo il volume di acqua potabile mantenuto caldo. [15, 18, 30]

Negli impianti a biomassa il puffer assume un ruolo ancora più importante, perché il generatore lavora meglio con cicli relativamente continui e con una certa inerzia termica. L'accumulo tecnico permette di separare il funzionamento del generatore dai prelievi sanitari, mentre la FWS utilizza l'energia disponibile solo quando serve. La criticità principale è evitare accumuli troppo grandi o temperature eccessive che aumentino dispersioni, calcare e sollecitazioni sui componenti.

Nei sistemi ibridi la FWS deve funzionare correttamente con più livelli di temperatura. La pompa di calore può alimentare il puffer quando le condizioni sono favorevoli, mentre il generatore di supporto interviene nei picchi, nei cicli a temperatura più alta o quando la sorgente rinnovabile non è sufficiente. La stratificazione del puffer e la logica di priorità tra le fonti diventano quindi decisive: se la regolazione è confusa, il sistema rischia di usare troppo spesso la sorgente meno efficiente.

8.3 Solare termico

L'integrazione con il solare termico è particolarmente coerente con il principio della FWS, perché l'energia solare può essere accumulata in un puffer tecnico senza stoccare acqua sanitaria. La stazione preleva dalla parte alta dell'accumulo, dove la temperatura è maggiore, e produce ACS solo al momento del prelievo. In questo modo si riduce il volume sanitario caldo e si mantiene la separazione tra circuito solare, circuito tecnico e acqua potabile.
Il punto critico è la variabilità stagionale. In estate il puffer può raggiungere temperature elevate, mentre in inverno il contributo solare può essere limitato e richiedere integrazione da altra sorgente. Temperature molto alte migliorano la disponibilità di energia, ma possono aumentare il rischio di incrostazione nello scambiatore se l'acqua sanitaria è dura. Per questo motivo possono essere utili limitazione della temperatura primaria, miscelazione, controllo della durezza e strategie di dissipazione o gestione del surplus termico.

La FWS rende il solare termico più flessibile perché separa il problema energetico dal problema igienico. L'accumulo può essere dimensionato per valorizzare l'energia captata, mentre la produzione sanitaria resta istantanea. Tuttavia il sistema deve sempre prevedere una fonte ausiliaria o una logica di integrazione, perché la disponibilità solare non coincide sempre con la domanda di ACS.

8.4 Pompe di calore

L'integrazione con pompe di calore è uno dei temi più importanti per gli impianti moderni, ma anche uno dei più delicati. Le pompe di calore lavorano con maggiore efficienza quando producono acqua a temperatura contenuta; la produzione ACS richiede invece temperature più elevate rispetto al riscaldamento radiante o a bassa temperatura. La FWS deve quindi essere progettata per funzionare con un margine termico ridotto, soprattutto nei periodi invernali e quando l'acqua fredda di rete entra a temperatura bassa.

In questi casi servono scambiatori maggiorati, portate primarie più elevate, circolatori modulanti e regolazioni rapide. Una stazione progettata per generatori ad alta temperatura può non essere adatta a una pompa di calore, perché richiederebbe un puffer troppo caldo e ridurrebbe il rendimento stagionale. La soluzione più coerente è una FWS specifica per basse temperature, capace di lavorare con piccoli salti termici e di adattare la portata primaria alla temperatura realmente disponibile. [30, 33]

La gestione dei cicli termici deve essere valutata con attenzione. Se sono richieste temperature elevate per strategie igieniche o per particolari condizioni di esercizio, può essere necessario un generatore di supporto, una resistenza elettrica, una logica ibrida o una programmazione dei cicli nei momenti più favorevoli. L'obiettivo non è forzare sempre la pompa di calore a lavorare ad alta temperatura, ma mantenere un equilibrio tra igiene, comfort e rendimento complessivo.

8.5 Criteri di scelta e sintesi progettuale

La scelta della sorgente energetica non modifica il principio della FWS, ma ne cambia profondamente il dimensionamento. Con sorgenti ad alta temperatura il tema principale è controllare dispersioni, sovratemperature e protezione dei componenti; con sorgenti a bassa temperatura il tema principale diventa garantire potenza e stabilità senza penalizzare il rendimento della generazione. Nei sistemi multi-fonte, il nodo centrale è la regolazione: il

puffer deve ricevere energia dalla fonte più conveniente e cederla alla FWS nel punto termicamente più utile.

La tabella seguente sintetizza le principali configurazioni di integrazione e le relative attenzioni progettuali.

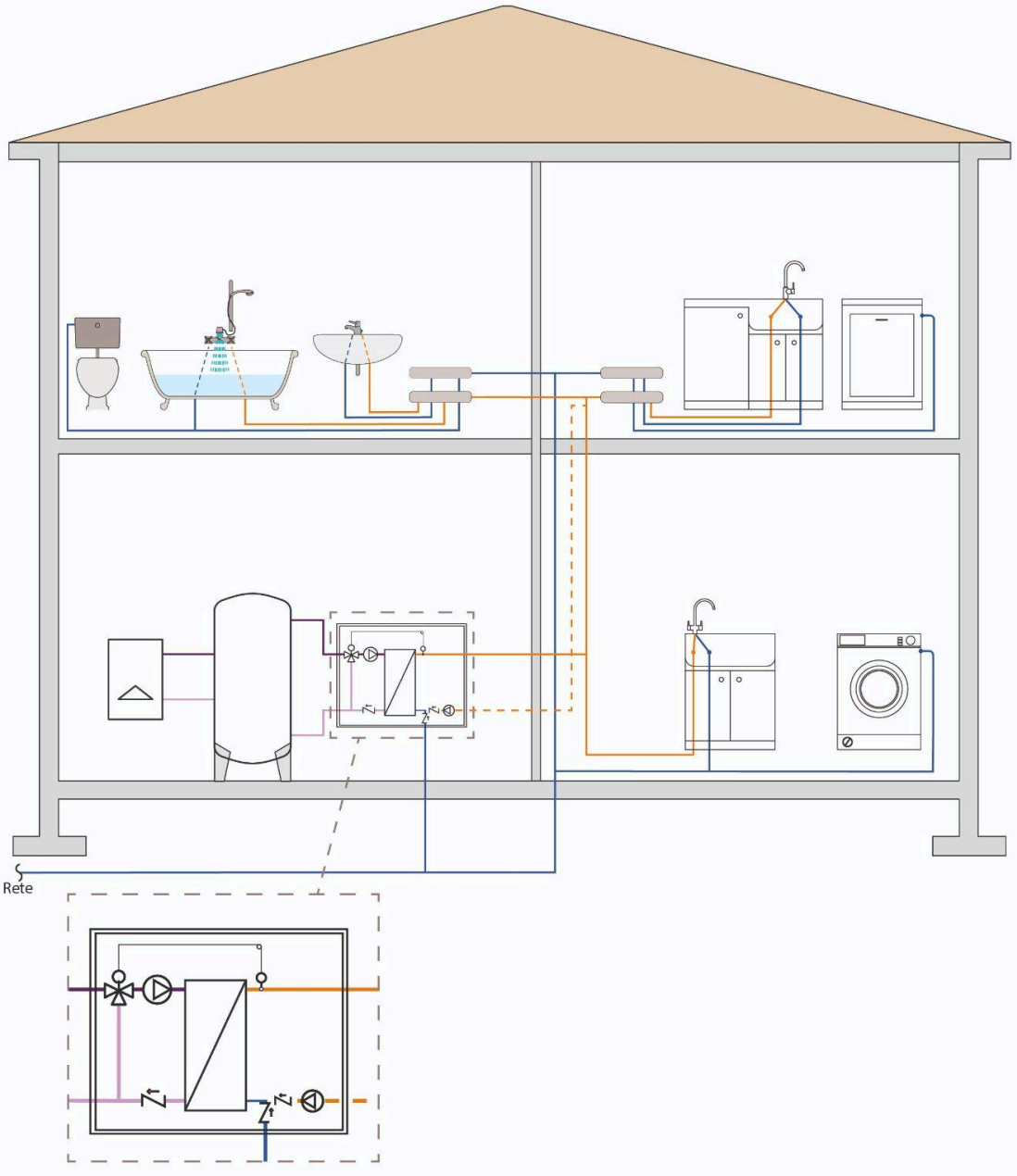
Fonte energetica	Configurazione più coerente	Vantaggio principale	Attenzioni progettuali
Teleriscaldamento	FWS in sottostazione o stazione di utenza.	Separazione tra rete primaria e ACS, ritorni freddi e produzione istantanea.	Controllare pressioni, regolazione, protezione dal riflusso e temperatura di ritorno.
Caldaie e biomassa	Puffer tecnico con prelievo nella zona alta.	Margine termico ampio e buona copertura dei picchi.	Evitare sovratemperature, dispersioni e accumuli tecnici troppo grandi.
Sistemi ibridi	Puffer stratificato alimentato da pompa di calore e generatore di supporto.	Uso della fonte più efficiente quando disponibile e supporto nei picchi.	Definire priorità di funzionamento, setpoint e soglie di integrazione.
Solare termico	Accumulo tecnico solare con FWS in prelievo alto.	Uso dell'energia gratuita quando disponibile e riduzione dell'accumulo sanitario.	Gestire sovratemperature estive, calcare, miscelazione e integrazione ausiliaria.
Pompe di calore	FWS low temperature con scambiatore maggiorato e regolazione modulante.	Produzione ACS compatibile con impianti a bassa temperatura.	Verificare temperatura minima del puffer, portata primaria e condizioni invernali.

Tabella 8.1 - Sintesi delle configurazioni di integrazione energetica

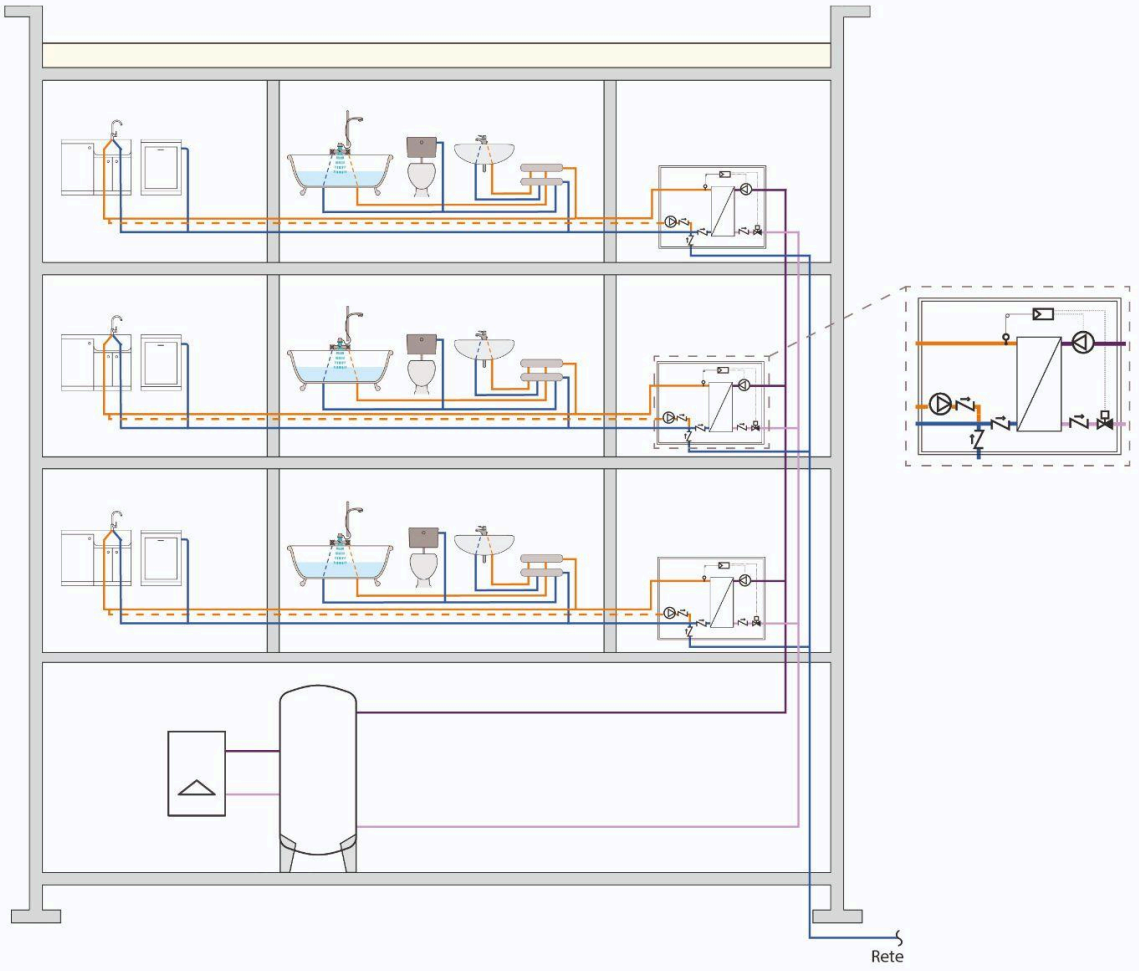
9. Schemi di impianti con Fresh Water Station

Il presente capitolo raccoglie una serie di schemi applicativi finalizzati a mostrare come le Fresh Water Station (FWS) possano essere inserite in differenti configurazioni impiantistiche.
Gli esempi proposti non costituiscono progetti esecutivi né soluzioni univoche, ma rappresentano casi di riferimento utili a collegare i principi descritti nei capitoli precedenti alle principali scelte di sistema. Per ciascuno schema vengono sintetizzate le caratteristiche dell'impianto, la tipologia e la modalità di gestione delle FWS impiegate, nonché i principali vantaggi e limiti della configurazione. L'analisi considera applicazioni di diversa scala, dalla singola abitazione agli edifici con fabbisogni elevati e variabili, includendo installazioni con più stazioni in cascata e soluzioni con installazioni periferiche.
Gli schemi consentono quindi di evidenziare come numero e disposizione delle FWS, accumulo tecnico, regolazione, distribuzione e ricircolo debbano essere valutati congiuntamente in funzione della destinazione d'uso, del profilo di prelievo e del livello di continuità e comfort richiesto

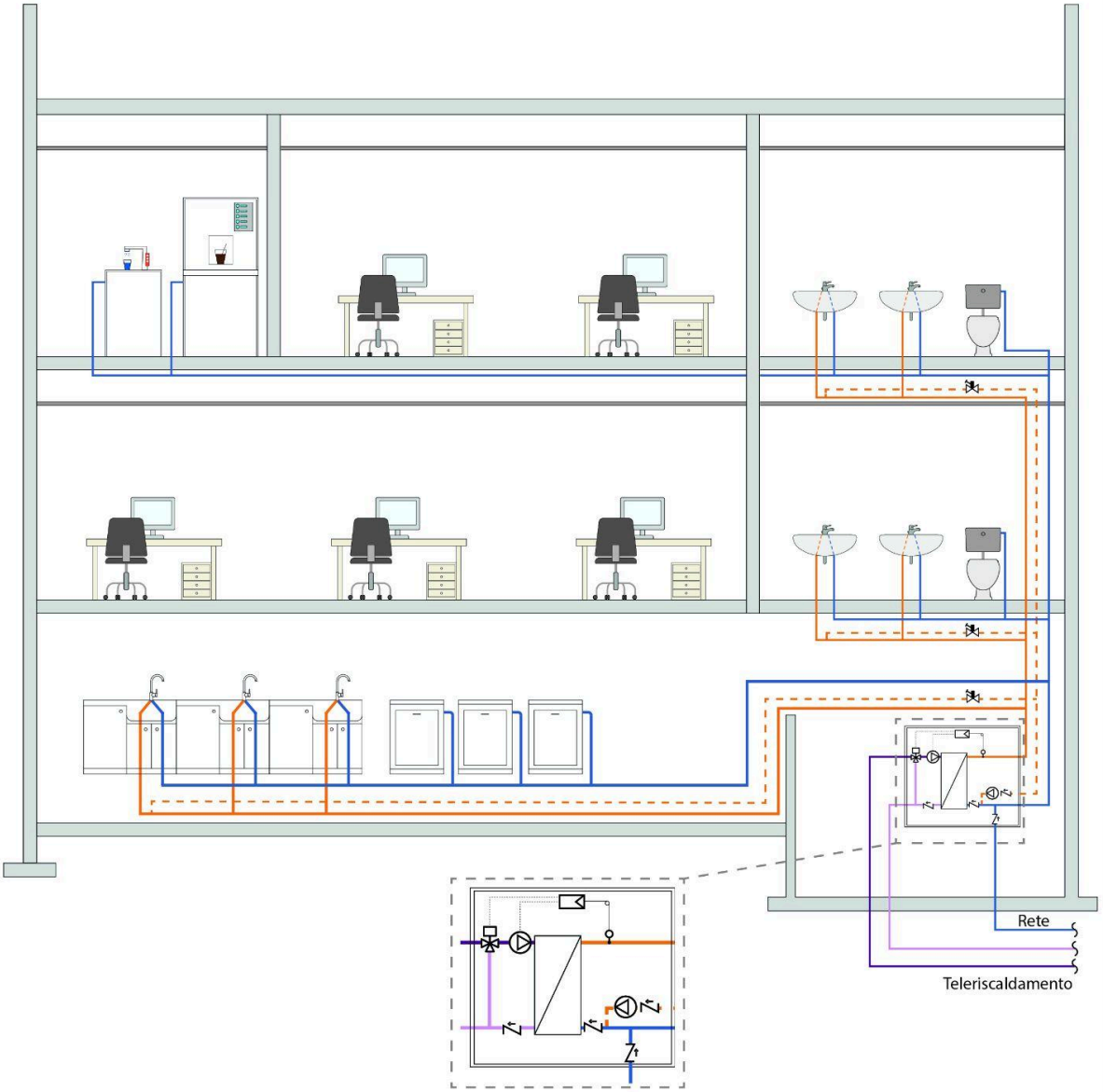
SCHEMA 1	Installazione di una FWS in una villetta
CARATTERISTICHE IMPIANTO	• FWS installata in centrale termica e collegata al puffer tecnico. • Produzione centralizzata istantanea di ACS, senza accumulo sanitario. • Distribuzione a cucina, lavanderia e servizi igienici, con rete di ricircolo.
FOCUS FWS	• FWS con regolazione termostatica della temperatura primaria mediante miscelatore termostatico. • Pompa di ricircolo ACS integrata nel modulo.
VANTAGGI	• Assenza di accumulo sanitario e riduzione del volume di acqua calda sanitaria mantenuto caldo • Regolazione semplice, senza necessità di controllo elettronico.
SVANTAGGI	• Costo e complessità superiori rispetto a soluzioni semplici per piccole utenze. • Dispersioni e consumo elettrico associati alla rete di ricircolo. • Prestazioni dipendenti dalla temperatura del puffer e dal corretto dimensionamento della FWS.



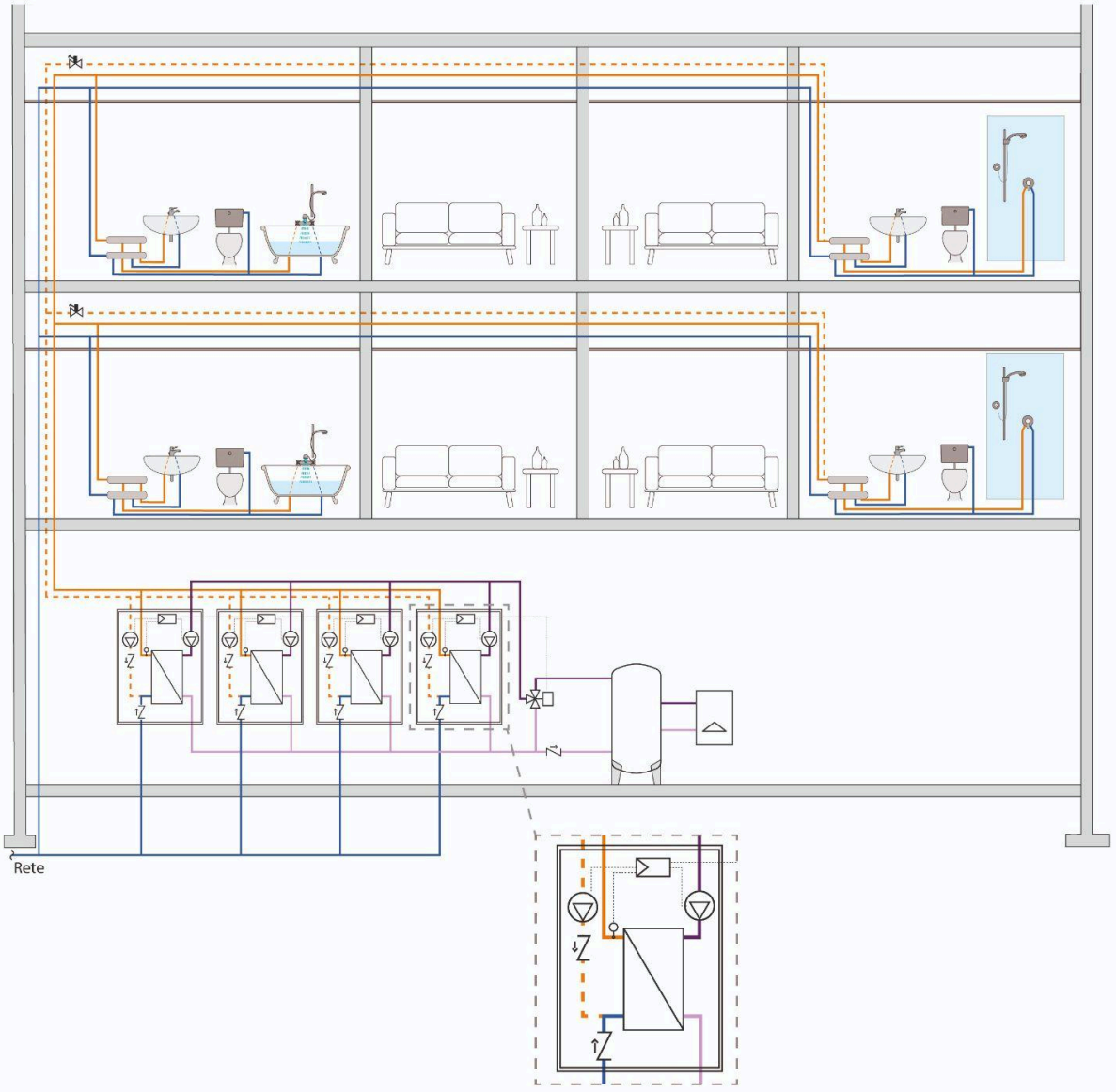
SCHEMA 2	Installazione periferica di FWS (satelliti d'utenza) in un condominio
CARATTERISTICHE IMPIANTO	• Impianto condominiale con generatore e accumulo tecnico centralizzati. • Una FWS periferica per piano produce ACS istantaneamente in prossimità delle utenze. • Le colonne comuni distribuiscono mandata e ritorno tecnici e AFS; il ricircolo sanitario resta limitato alla rete di piano.
FOCUS FWS	• FWS con scambiatore a piastre e regolazione proporzionale della portata sul circuito primario. • La portata di acqua tecnica cresce o diminuisce con il prelievo sanitario, adeguando la potenza ceduta al carico istantaneo. • Temperatura primaria, taratura e pressione differenziale devono restare compatibili con le condizioni di progetto, anche per la stazione più sfavorita.
VANTAGGI	• Produzione locale senza accumulo sanitario centralizzato, con volumi di ACS calda contenuti e riduzione del volume di ACS. • Assenza di rete e ricircolo ACS condominiali; le tratte sanitarie restano locali e più facilmente gestibili. • La modulazione primaria limita le portate in eccesso e può favorire ritorni tecnici più freddi con migliore stratificazione del puffer.
SVANTAGGI	• Costi e manutenzione aumentano con il numero delle stazioni; serve accessibilità. • La dorsale a portata variabile richiede bilanciamento e pressione differenziale adeguata.



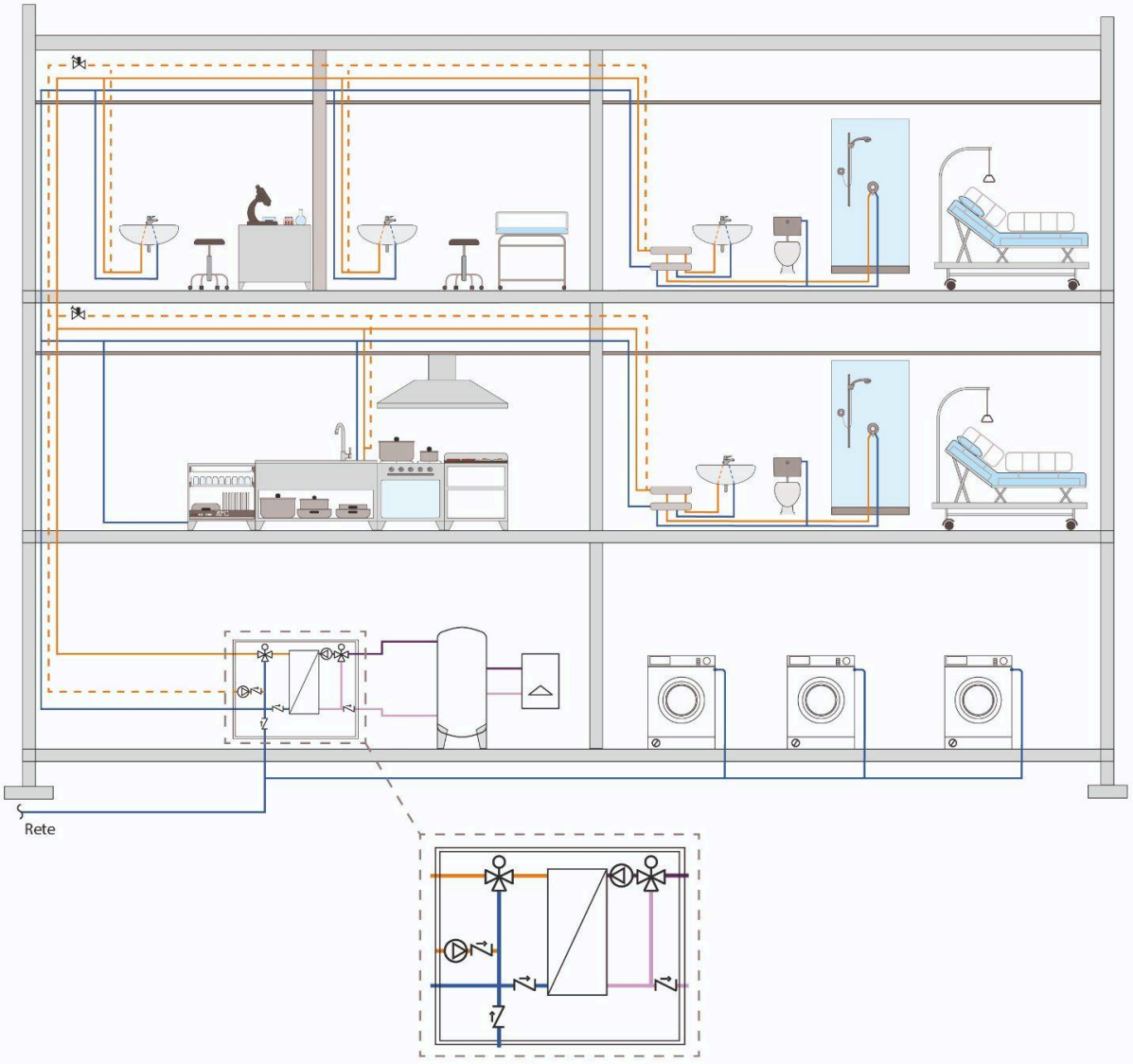
SCHEMA 3	Installazione FWS in un edificio con uffici
CARATTERISTICHE IMPIANTO	• Edificio per uffici multipiano con fabbisogno ACS contenuto e discontinuo, concentrato nei servizi igienici e area ristoro. • Una FWS centralizzata è alimentata dal circuito tecnico della sottostazione di teleriscaldamento, senza puffer nello schema. • La rete ACS è dotata di ricircolo centralizzato per mantenere in temperatura la dorsale e ridurre l'attesa ai punti d'uso.
FOCUS FWS	• Lo scambiatore a piastre separa il fluido tecnico della rete sanitaria; la FWS produce ACS durante i prelievi e reintegra le dispersioni della rete di ricircolo. • La regolazione elettronica modula la portata priamaria per mantenere il setpoint e contenere la temperatura di ritorno.
VANTAGGI	• Assenza di generatore locale e accumulo sanitario, con minori ingombri e dispersioni di stoccaggio. • Produzione istantanea e ricircolo assicurano disponibilità più rapida di ACS, con minori attese e sprechi di acqua. • La modulazione primaria e la programmazione oraria del ricircolo favoriscono un impiego efficiente del teleriscaldamento.
SVANTAGGI	• Senza riserva termica, il servizio ACS dipende dalla disponibilità e dalla capacità istantanea della sottostazione. • Il ricircolo aumenta le dispersioni della distribuzione e il consumo del circolatore, anche in assenza di prelievi. • Servono isolamento, bilanciamento e programmazione; verifica della potenza contrattuale, perdite di carico e limiti sul ritorno.



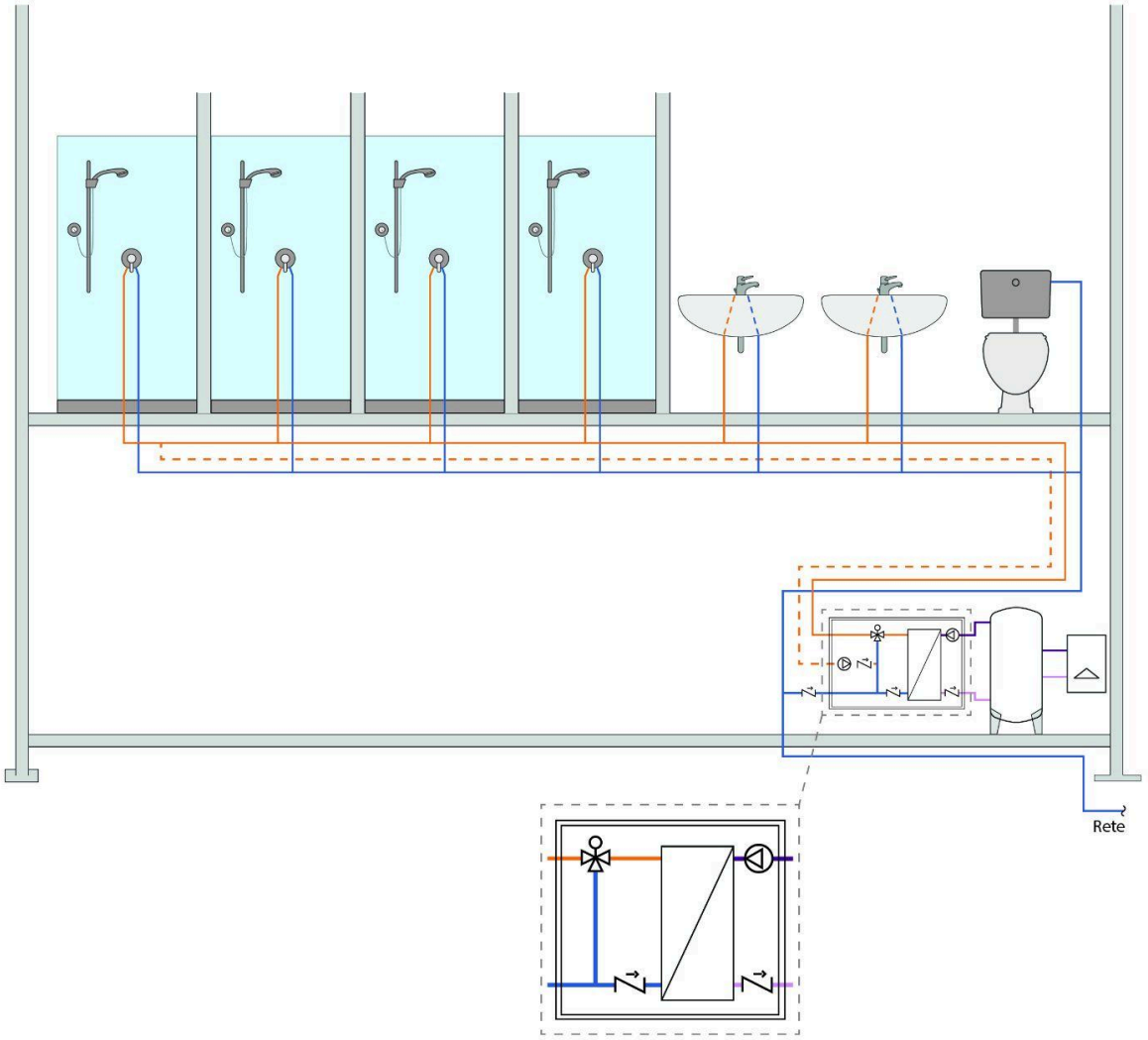
SCHEMA 4	Installazione centralizzata di FWS in cascata in un Hotel
CARATTERISTICHE IMPIANTO	• Hotel multipiano con domanda di ACS elevata, variabile e concentrata nelle fasce orarie di maggiore occupazione. • Produzione istantanea centralizzata mediante quattro FWS in cascata alimentate da un puffer tecnico comune. • Distribuzione ACS su montanti con circuito di ricircolo comune e ritorno alla centrale.
FOCUS FWS IN CASCATA	• Ogni modulo utilizza uno scambiatore a piastre e regola elettronicamente la portata primaria mediante circolatore modulante. • La gestione in cascata attiva progressivamente le FWS al crescere delle richieste, alternando la priorità di funzionamento. • Il ricircolo va gestito anche ai bassi carichi, mantenendo temperatura e portata senza attivare inutilmente tutti i moduli.
VANTAGGI	• Elevata portata di punta e ampio campo di modulazione senza ricorrere a un'unica stazione di grande taglia. • Ridondanza parziale: un modulo può essere escluso per manutenzione mentre gli altri continuano il servizio a capacità ridotta. • Il ricircolo comune riduce i tempi di attesa e rende più uniforme la temperatura ai piani.
SVANTAGGI	• Costi, ingombri e complessità superiori rispetto a una singola FWS. • Collettori, moduli e ricircolo richiedono bilanciamento e corretta sequenza di attivazione. • Aumentano pompe, valvole, sensori e scambiatori da manutenere; puffer e rete restano componenti comuni.



SCHEMA 5	Installazione di FWS in un ospedale
CARATTERISTICHE IMPIANTO	• Ospedale con produzione ACS centralizzata mediante FWS alimentata da accumulo tecnico collegato al generatore centrale. • Rete sanitaria estesa tra reparti e servizi, con prelievi elevati e variabili e necessità di continuità del servizio. • Distribuzione ACS con circuito di ricircolo comune per mantenere in temperatura le dorsali e ridurre i tempi di attesa.
FOCUS FWS	• La FWS centralizzata produce ACS mediante scambiatore a piastre, senza accumulo di ACS. • L'accumulo tecnico fornisce energia per i picchi e disaccoppia il generatore dalla domanda sanitaria istantanea. • Il ritorno di ricircolo rientra alla stazione; regolazione e monitoraggio coordinano prelievi, dispersioni e temperature.
VANTAGGI	• Produzione senza bollitore sanitario, con riduzione del volume di acqua potabile mantenuto caldo in centrale. • Il puffer favorisce la copertura dei picchi, mentre il ricircolo assicura la rapida disponibilità di ACS ai punti d'uso. • La centralizzazione agevola il controllo delle temperature, monitoraggio e la manutenzione programmata.
SVANTAGGI	• La rete ACS con ricircolo resta estesa: dispersioni, pompaggio e bilanciamento sono rilevanti. • La produzione istantanea non elimina il rischio nella rete: servono gestione igienica e manutenzioni rigorose.



SCHEMA 6	Installazione di una FWS in un centro sportivo
CARATTERISTICHE IMPIANTO	• Centro sportivo con spogliatoio, docce e lavabi; domanda ACS elevata e concentrata al termine delle attività. • Una FWS centralizzata è alimentata da un accumulo tecnico collegato al generatore e serve tutte le utenze. • ACS e AFS sono distribuite direttamente ai punti d'uso; nello schema non è previsto il ricircolo.
FOCUS FWS	• FWS centralizzata di tipo elettronico: lo scambiatore a piastre produce ACS istantaneamente e il circolatore modulante regola la portata primaria. • L'accumulo tecnico rende disponibile energia nei picchi e disaccoppia il generatore dalla rapida variazione dei prelievi. • Portata simultanea delle docce, temperatura e potenza disponibile sul primario determinano la taglia della stazione.
VANTAGGI	• Produzione istantanea senza accumulo sanitario, con riduzione del volume di acqua potabile mantenuto caldo. • L'accumulo tecnico attenua i picchi e consente al generatore un funzionamento più regolare. • La centralizzazione semplifica regolazione e manutenzione; senza ricircolo si riducono dispersioni e consumi di pompaggio.
SVANTAGGI	• La contemporaneità delle docce richiede elevata potenza istantanea e un corretto dimensionamento dell'accumulo. • Senza ricircolo, distanze elevate aumentano tempi di attesa e sprechi d'acqua. • Un guasto della sola FWS arresta il servizio; le chiusure prolungate richiedono adeguati flussaggi.



10. Dimensionamento

Il dimensionamento sviluppato in questo capitolo ha carattere impiantistico e definisce i dati necessari per selezionare correttamente una Fresh Water Station (FWS). Non viene affrontato il progetto costruttivo della stazione: geometria e superficie dello scambiatore, pompa, valvole, regolazione interna, protezioni e limiti di funzionamento restano di competenza del fornitore. Il progettista deve invece definire il profilo dei prelievi, la portata sanitaria di progetto, le temperature disponibili sul circuito primario, la potenza richiesta, il contributo della sorgente durante il picco e l'eventuale volume del puffer tecnico. Questi dati costituiscono la specifica prestazionale da verificare sul punto di funzionamento reale, non soltanto sulla potenza nominale della FWS [10, 16, 20].

10.1 Determinazione della portata sanitaria

La portata sanitaria è il dato di partenza dell'intero calcolo. Deve essere ricavata dal numero e dal tipo di punti di prelievo, dalle portate dei terminali, dal profilo temporale di utilizzo e dalla probabilità di utilizzo simultaneo (contemporaneità). La somma aritmetica di tutte le portate installate è generalmente eccessiva; occorre quindi applicare il metodo previsto dalle norme tecniche pertinenti e verificare che il risultato sia coerente con la destinazione d'uso dell'edificio [5-6, 10].

10.1.1 Conversione della portata miscelata

Le portate dichiarate per docce e rubinetti sono spesso riferite all'acqua miscelata al punto d'uso, mentre la FWS produce ACS a una temperatura superiore. La corrispondente portata di ACS si ottiene mediante il bilancio di miscelazione espresso dall’equazione (10.1):

$$\dot{V}_{ACS} = \dot{V}_{mix} \times \frac{(T_{mix} - T_{AFS})}{(T_{ACS} - T_{AFS})} \qquad (10.1)$$

Per esempio, un terminale che eroga 10 L/min a 40 °C, alimentato con acqua fredda a 10 °C e ACS a 45 °C, richiede circa 8,6 L/min di acqua calda.

Le portate così ottenute devono essere combinate applicando la contemporaneità propria della destinazione d'uso. Oltre al valore massimo deve essere definita la durata del picco: essa non modifica la potenza istantanea della FWS, ma incide direttamente sull'energia richiesta al puffer.

I dati minimi da raccogliere sono sintetizzati nella Tabella 10.1.

Dato	Contenuto necessario
Utenza	Destinazione d'uso, numero e tipo di terminali, profilo temporale e contemporaneità.
Condizioni sanitarie	Portata miscelata, T_mix, T_AFS e T_ACS.
Picco	Portata ACS di progetto, durata del picco e intervallo tra eventi successivi.
Circuito tecnico	Temperatura primaria minima, ritorno atteso e potenza utile del generatore durante il picco.
Puffer e ricircolo	Escursione termica utile, qualità della stratificazione ed eventuale carico simultaneo del ricircolo.

Tabella 10.1 - Dati minimi per il dimensionamento

10.2 Potenza richiesta e scambiatore di calore

Nota la portata ACS di progetto, la potenza utile trasferita all'acqua sanitaria è ottenuta dal bilancio termico. Assumendo densità dell'acqua prossima a 1 kg/L e calore specifico pari a circa 4,19 kJ/(kg K), con portata espressa in L/min si applica l'equazione (10.2):

$$P_{ACS}\ [\mathrm{kW}] = 0{,}0698 \times \dot{V}_{ACS}\ [\mathrm{L/min}] \times \left(T_{ACS} - T_{AFS}\right)\ [\mathrm{K}] \qquad (10.2)$$

L'equazione (10.2) quantifica il fabbisogno termico lato sanitario nelle condizioni di progetto. Ai soli fini del pre-dimensionamento, le equazioni (10.3) e (10.4) introducono un coefficiente cautelativo per ricavare la potenza richiesta sul circuito primario:

$$\eta_{sc} = \frac{P_{ACS}}{P_{prim,rich}} \qquad (10.3)$$

$$P_{prim,rich} = \frac{P_{ACS}}{\eta_{sc}} \qquad (10.4)$$

Il coefficiente adottato non rappresenta l'efficacia intrinseca dello scambiatore. La selezione definitiva della FWS deve essere verificata sulle curve prestazionali del fornitore, alle effettive temperature e portate di progetto.

La portata primaria di pre-dimensionamento è ricavata dall'equazione (10.5):

$$\dot{V}_{prim}\ [\mathrm{L/h}] = \frac{860 \times P_{ACS}\ [\mathrm{kW}]}{\eta_{sc} \times \Delta T_{prim}\ [\mathrm{K}]} \qquad (10.5)$$

La relazione fornisce una stima della portata richiesta dall'impianto. Per valutare la reale capacità di produzione, vanno verificati anche temperatura primaria minima, temperatura di ritorno, avvicinamento termico, perdite di carico e pulizia dello scambiatore [16, 20].

10.3 Dimensionamento del puffer tecnico

Il puffer immagazzina acqua tecnica e permette di separare la potenza istantanea richiesta dalla FWS dalla potenza resa disponibile dal generatore. Il suo volume deve essere determinato mediante un bilancio energetico sul periodo di punta, evitando regole fisse. La grandezza da valutare è il deficit tra la potenza prelevata dal puffer e quella che il generatore riesce effettivamente a fornire nello stesso intervallo [14].

10.3.1 Potenza di picco ed energia mancante

In assenza di altri carichi simultanei, la potenza di picco sul lato tecnico coincide con quella richiesta dalla FWS. Se il ricircolo viene riscaldato dalla stessa FWS durante il massimo prelievo, la sua quota simultanea sul lato sanitario deve essere aggiunta prima della conversione sul lato primario, come mostrato nell'equazione (10.6):

$$P_{\text{picco}} = \frac{P_{\text{ACS}} + P_{\text{ric,sim}}}{\eta_{\text{sc}}} \tag{10.6}$$

L'equazione (10.6) è applicabile soltanto quando il ricircolo preleva energia dallo stesso puffer attraverso la FWS. Se la relativa potenza è già nota sul lato primario, oppure se proviene da una sorgente separata, non deve essere sottoposta a una nuova conversione.

L'energia da rendere disponibile dal puffer è richiesta soltanto quando la potenza di picco supera quella utile effettivamente fornita dal generatore durante lo stesso intervallo. Le due condizioni sono espresse dalle equazioni (10.7a) e (10.7b):

$$\text{Se } P_{\text{picco}} > P_{\text{gen,utile}}\text{: } E_{\text{def}}\,[\text{kWh}] = \left(P_{\text{picco}} - P_{\text{gen,utile}}\right)[\text{kW}] \times t_{\text{picco}}\,[\text{h}] \tag{10.7a}$$

$$\text{Se } P_{\text{picco}} \leq P_{\text{gen,utile}}\text{: } E_{\text{def}} = 0 \tag{10.7b}$$

Nel bilancio deve essere impiegato il contributo effettivamente disponibile dalla sorgente durante il picco, al netto di eventuali altri servizi, senza assumere automaticamente la potenza nominale. Se tale contributo è incerto, lo scenario con generatore inattivo durante il picco costituisce una verifica cautelativa.

10.3.2 Volume utile e stratificazione

Il volume geometrico del puffer si ottiene dall'energia mancante mediante l'equazione (10.8):

$$V_{puffer}\ [m^3] = \frac{E_{def}\ [kWh]}{1{,}163 \times \Delta T_{utile}\ [K] \times \eta_{util}} \quad (10.8)$$

Il calcolo deve riferirsi all'escursione termica realmente sfruttabile e alla quota di energia effettivamente disponibile. Stratificazione non ideale, miscelazione interna, volumi morti, posizione delle sonde e ritorni troppo caldi riducono infatti il volume utile del serbatoio.
La temperatura minima utile del puffer non può essere stabilita in modo astratto: deve essere quella alla quale la FWS, alle portate di progetto, continua a garantire la temperatura ACS richiesta. Il valore deve quindi essere verificato sui dati prestazionali del fornitore.

10.3.3 Contributo della sorgente e tempo di ripristino

Dopo il picco, l'energia ceduta deve essere reintegrata prima dell'evento successivo. Il tempo minimo teorico di ripristino è espresso dall'equazione (10.9):

$$t_{rip}\ [h] = \frac{E_{reint}\ [kWh]}{P_{ecc}\ [kW]} \quad (10.9)$$

L'equazione (10.9) è valida soltanto quando esiste una potenza residua positiva per la ricarica. In caso contrario il puffer non può ripristinare l'energia necessaria nel periodo considerato e occorre rivedere sorgente, volume o profilo di utilizzo.

10.3.4 Effetto del ricircolo

Il ricircolo costituisce un carico termico aggiuntivo dovuto alle dispersioni della rete. La sua potenza può essere stimata con l'equazione (10.10):

$$P_{ric}\ [kW] = 1{,}163 \times \dot{V}_{ric}\ [m^3/h] \times (T_{mand} - T_{rit})\ [K] \quad (10.10)$$

La relazione restituisce la potenza da reintegrare per compensare le dispersioni della rete. Nel bilancio del puffer va considerata solo la quota realmente simultanea al picco.

10.3.5 Esempio sintetico

Si considera una portata ACS di 18 L/min, acqua fredda a 10 °C e ACS prodotta a 45 °C. Per il punto iniziale di pre-dimensionamento del circuito primario si assumono 65 °C in mandata e 45°C in ritorno, quindi ΔTprim = 20 K. Si adotta inoltre η_sc= 0,95, durata del picco pari a 10 minuti, Pgen,utile = 15 kW, nessun carico di ricircolo simultaneo, ΔTutile = 15 K ed η_util = 0,90.

L'escursione utile di 15 K può, ad esempio, corrispondere alla riduzione della temperatura della zona alta del puffer da 65 °C a 50 °C. Il mantenimento della produzione di 45 °C alla temperatura minima di 50 °C deve essere confermato sulla curva prestazionale della FWS; il salto ΔTprim = 20 K è quindi riferito al punto iniziale di calcolo della portata primaria e non deve essere considerato costante durante l'intera scarica del puffer.

$$P_{ACS} = 0{,}0698 \times 18 \times (45 - 10) = 43{,}97\ \text{kW} \approx 44{,}0\ \text{kW}$$

$$P_{prim,rich} = \frac{43{,}97}{0{,}95} = 46{,}29\ \text{kW} \approx 46{,}3\ \text{kW}$$

$$\dot{V}_{prim} = \frac{860 \times 43{,}97}{0{,}95 \times 20} \approx 1.990\ \text{L/h}$$

$$E_{def} = \left(46{,}29 - 15{,}0\right) \times \frac{10}{60} = 5{,}21\ \text{kWh}$$

$$V_{puffer} = \frac{5{,}21}{1{,}163 \times 15 \times 0{,}90} = 0{,}332\ \text{m}^3 \approx 332\ \text{L}$$

Il volume ottenuto, pari a circa 332 L, è un volume di calcolo e non una taglia commerciale definitiva. Nello scenario conservativo con generatore inattivo durante il picco, mantenendo le altre ipotesi, il volume salirebbe a circa 491 L. La selezione finale deve considerare il volume effettivamente utile del serbatoio, il tempo di ripristino, la stratificazione e il margine progettuale necessario.

10.4 Fase conclusiva: selezione demandata al fornitore

Il calcolo impiantistico si conclude con la redazione della specifica prestazionale della FWS. Il progettista comunica al fornitore i dati di portata, temperature, potenza, puffer, sorgente e ricircolo; il fornitore seleziona e dimensiona la stazione, verificandone le prestazioni nelle condizioni dichiarate. La ripartizione delle attività è riportata nella Tabella 10.2.

Definito dal progetto impiantistico	Verificato e selezionato dal fornitore della FWS
Portata ACS di progetto, temperature sanitaria e primaria, durata dei picchi e condizioni più gravose.	Taglia della stazione, geometria e superficie dello scambiatore, prestazione al punto dichiarato.
Potenza utile richiesta, portata primaria di pre-dimensionamento, volume e condizioni operative del puffer.	Portate e perdite di carico effettive, pompa, valvola, sensori e campo di modulazione.
Potenza realmente disponibile dal generatore, eventuale ricircolo, qualità dell'acqua e pressioni di impianto.	Materiali, limiti di esercizio, portata minima, regolazione, protezioni, certificazioni e manutenzione.
Prestazioni richieste e criteri di accettazione dell'impianto.	Conferma documentata che la FWS garantisca tali prestazioni nelle condizioni indicate.

Tabella 10.2 - Ripartizione delle attività di dimensionamento

Restano quindi di competenza del fornitore il dimensionamento costruttivo dello scambiatore, la scelta della pompa e della valvola primaria, la regolazione, le perdite di carico interne, la portata minima, il comportamento ai transitori, i materiali, le protezioni e l'eventuale coordinamento di più moduli. La verifica deve essere documentata per il punto reale di progetto e non limitarsi alla sola potenza nominale della FWS.

11. Distribuzione acqua calda sanitaria

La distribuzione dell'acqua calda sanitaria (ACS) è il tratto dell'impianto che collega la produzione ai punti di utilizzo. Anche quando la generazione è correttamente dimensionata, il servizio percepito dall'utente dipende dalla rete: lunghezza delle tubazioni, diametri, isolamento, portate simultanee, presenza o assenza di ricircolo e temperatura mantenuta nei tratti più sfavoriti.

Nel caso di una Fresh Water Station (FWS), la distribuzione assume un ruolo particolarmente importante. La stazione produce ACS in modo istantaneo, ma non può eliminare il volume d'acqua contenuto nelle tubazioni a valle. Se il punto di prelievo è lontano, l'utente dovrà comunque attendere lo svuotamento del tratto raffreddato prima di ricevere acqua alla temperatura richiesta. Per questo la scelta tra rete senza circuito di ricircolo e rete con circuito di ricircolo deve essere fatta in base alla geometria dell'edificio e non solo in base alla tecnologia di produzione.

La progettazione deve bilanciare tre esigenze: comfort, igiene ed efficienza energetica. Il comfort richiede tempi di attesa contenuti; l'igiene richiede riduzione della stagnazione e controllo delle temperature; l'efficienza richiede di limitare dispersioni e consumi elettrici delle pompe. Nessuna configurazione è valida in assoluto: una rete senza ricircolo è molto efficiente se i rami sono corti, mentre una rete con ricircolo diventa necessaria quando le distanze aumentano o quando il livello di servizio richiesto è elevato.

11.1 Distribuzione senza ricircolo

La distribuzione senza ricircolo è la soluzione più semplice dal punto di vista impiantistico. I rami di acqua calda terminano ai punti di prelievo e, quando non c'è consumo, l'acqua contenuta nella tubazione si raffredda progressivamente per dispersione verso l'ambiente. Al successivo utilizzo, il primo volume erogato non è ancora alla temperatura desiderata e deve essere scaricato prima che arrivi ACS prodotta dalla FWS.

Il tempo di attesa dipende dal volume del ramo e dalla portata di prelievo. In forma semplificata può essere stimato con la relazione: t_attesa = V_ramo / V_prelievo. A titolo indicativo, un tubo di piccolo diametro con volume interno pari a circa 2 litri e prelievo di 6 l/min richiede circa 20 secondi prima di svuotarsi; se il volume sale a 4 litri, l'attesa diventa

circa 40 secondi. Il diametro della tubazione incide molto: aumentare inutilmente il diametro riduce le perdite di carico, ma aumenta il volume d'acqua da rinnovare a ogni prelievo.
Un criterio tecnico spesso utilizzato è mantenere il volume dei rami terminali entro pochi litri, assumendo la soglia dei 3 litri come riferimento prudenziale per distinguere reti compatte da reti che richiedono maggiore attenzione. Questo criterio non deve essere letto come regola meccanica, ma come strumento di progetto: se il volume tra produzione e terminale è ridotto, la distribuzione senza ricircolo può garantire comfort accettabile e bassissime dispersioni; se il volume cresce, il comfort peggiora rapidamente. [5-6, 17, 21, 25]

11.1.1 Vantaggi

Il principale vantaggio della distribuzione senza ricircolo è l'efficienza energetica. Non essendoci un anello mantenuto costantemente caldo, le dispersioni termiche sono limitate ai brevi periodi successivi ai prelievi. Inoltre non sono necessari circolatori, tubazioni di ritorno, valvole di bilanciamento e regolazioni dedicate. L'impianto risulta quindi più economico, più semplice da installare e meno oneroso da manutenere.

Questa configurazione è coerente con la logica della FWS nei piccoli impianti: si produce ACS solo quando serve e non si mantiene in temperatura una rete estesa. In edifici compatti, con bagni vicini alla stazione o con produzione decentralizzata, la distribuzione senza ricircolo può offrire un buon equilibrio tra comfort e consumo energetico.

11.1.2 Svantaggi

Lo svantaggio più evidente è il tempo di attesa. Ogni tratto di tubazione raffreddato deve essere svuotato prima che arrivi acqua calda, con spreco idrico e riduzione del comfort. Il problema aumenta con lunghezza e diametro dei rami, isolamento insufficiente, prelievi brevi e punti d'uso poco frequenti. In alcuni casi l'utente percepisce il sistema come lento anche se la FWS lavora correttamente.
Dal punto di vista igienico, i rami poco utilizzati possono favorire stagnazione e permanenza dell'acqua a temperature intermedie. Per questo la distribuzione senza ricircolo richiede percorsi brevi, assenza di rami morti, isolamento corretto e possibilità di flussaggio dei terminali utilizzati raramente. In edifici estesi o con utenze sensibili, questi vincoli possono rendere più adatto un sistema con ricircolo.

11.1.3 Ambiti tipici e scenari d'uso

La distribuzione senza ricircolo è indicata in villette, appartamenti, piccoli uffici e impianti decentralizzati nei quali la produzione di ACS è vicina ai punti di prelievo. È adatta anche a terminali isolati serviti da produzione locale, dove il tratto di tubazione è molto breve e il rischio di attesa è contenuto. Diventa invece meno conveniente quando la rete è lunga, i terminali sono distribuiti su più piani o il servizio richiede acqua calda quasi immediata.

11.2 Ricircolo tradizionale

Negli impianti centralizzati e nelle reti estese, la distribuzione senza ricircolo non è sufficiente a garantire comfort e controllo igienico. Il problema principale è la variabilità temporale della richiesta: l'ACS viene utilizzata in modo intermittente, con picchi concentrati e lunghi periodi senza prelievi. In assenza di movimentazione, l'acqua contenuta nelle tubazioni cede calore all'ambiente, si raffredda e rimane ferma nei tratti di rete fino al prelievo successivo.

Il ricircolo tradizionale nasce per risolvere questo limite creando una rete ad anello. La tubazione di mandata porta ACS verso le utenze, mentre una tubazione di ritorno riconduce l'acqua non prelevata verso il sistema di produzione o verso l'accumulo. Una pompa dedicata mantiene il fluido in movimento, così che la rete principale resti a temperatura controllata anche quando non vi sono prelievi effettivi. [4, 13 ,19, 21]

L'obiettivo del ricircolo è triplice. Il primo è il comfort: l'acqua calda deve essere disponibile in tempi ridotti presso i terminali più sfavoriti. Il secondo è il contenimento dello spreco idrico: l'utente non deve scaricare grandi volumi di acqua raffreddata prima di ottenere ACS utile. Il terzo è igienico-sanitario: mantenere la rete in movimento e a temperatura adeguata riduce le condizioni di stagnazione e limita la formazione di biofilm nei tratti principali.
Questi vantaggi hanno però un costo energetico. Una rete di ricircolo disperde calore in modo continuo, perché mantiene calde tubazioni che attraversano cavedi, locali tecnici, vani scala e distribuzioni orizzontali. Inoltre la pompa assorbe energia elettrica e richiede manutenzione. Per questo il ricircolo non deve essere considerato una soluzione sempre migliorativa, ma una scelta da dimensionare e regolare in funzione dell'edificio.

11.2.1 Funzioni principali del ricircolo

Dal punto di vista del servizio, il ricircolo riduce la latenza all'erogazione. La rete rimane già prossima alla temperatura di progetto e il volume di acqua da scaricare prima dell'arrivo

dell'ACS è limitato ai soli rami terminali non ricircolati. In edifici con molti utenti, come condomini, alberghi, palestre o strutture sanitarie, questo aspetto incide in modo significativo sulla percezione di comfort e sulla qualità del servizio.

Dal punto di vista idrico, il ricircolo riduce gli sprechi associati all'attesa. Senza ricircolo, ogni prelievo dopo un periodo di inattività comporta lo scarico del volume raffreddato presente nella tubazione. Se l'edificio è grande e i prelievi sono frequenti, questa perdita può diventare rilevante. Il ricircolo riduce questo fenomeno, anche se lo sostituisce con un consumo energetico continuo o periodico. [11, 17, 19, 21, 25]

Dal punto di vista igienico, il ricircolo contribuisce a limitare stagnazione e stratificazione termica nei tratti serviti dall'anello. Non elimina da solo il rischio microbiologico, perché rami ciechi, terminali poco usati e tratti non ricircolati possono comunque restare critici; tuttavia, se correttamente bilanciato e mantenuto, permette di controllare meglio la temperatura dell'impianto e di individuare più facilmente le zone problematiche.

11.2.2 Principio di funzionamento

Il funzionamento si basa su un anello idraulico: la mandata ACS alimenta colonne, piani o utenze, mentre il ritorno riporta l'acqua verso la produzione. La pompa di ricircolo deve vincere le perdite di carico dell'anello, ma non deve generare portate eccessive, perché una portata troppo alta aumenta consumi elettrici, erosione e dispersioni. La portata corretta è quella necessaria a compensare le perdite termiche della rete e a mantenere la temperatura minima desiderata nei punti più sfavoriti.

La tubazione di ritorno può essere collegata all'ultimo punto di prelievo della colonna, al collettore di piano o a punti più prossimi alle utenze, a seconda della configurazione scelta. La posizione del ritorno determina il volume di acqua mantenuto caldo e il volume terminale che rimane invece soggetto a raffreddamento. Più il ritorno è vicino all'utenza, minore sarà il tempo di attesa; maggiore sarà però lo sviluppo della rete e quindi la dispersione termica.

11.2.3 Bilanciamento idraulico e controllo della temperatura

Il bilanciamento idraulico è una condizione essenziale per il corretto funzionamento del ricircolo. In un edificio con più colonne, l'acqua tende a percorrere i circuiti con minore resistenza, cioè i rami più vicini alla pompa o con perdite di carico inferiori. Senza

regolazione, alcune colonne ricevono portata eccessiva, altre rimangono ferme. Il risultato è una rete apparentemente dotata di ricircolo, ma termicamente disomogenea. [5-6, 11, 19, 21, 26]

Le valvole di bilanciamento, statiche o termostatiche, servono a distribuire le portate in modo coerente tra i rami. Le valvole statiche richiedono una taratura iniziale accurata, basata sulle perdite di carico e sulle portate di progetto. Le valvole termostatiche modulano invece l'apertura in funzione della temperatura di ritorno, favorendo i rami più freddi e limitando quelli già caldi.

Nei sistemi estesi possono essere utili anche collettori dedicati, punti di misura e circolatori a giri variabili. Il controllo della temperatura deve considerare sia il comfort sia la sicurezza. Temperature troppo basse riducono il comfort e possono creare condizioni igienicamente sfavorevoli; temperature troppo alte aumentano dispersioni, rischio di ustione e precipitazione del calcare. La temperatura di mandata, la temperatura di ritorno e la posizione delle valvole di miscelazione devono quindi essere progettate insieme, non regolate in modo indipendente.

11.2.4 Strategie di regolazione della pompa

La pompa di ricircolo può funzionare secondo diverse logiche. Il funzionamento continuo è il più semplice e garantisce disponibilità costante, ma comporta consumi energetici elevati e dispersioni permanenti. La regolazione oraria riduce il funzionamento nelle fasce di inutilizzo, ad esempio durante la notte o nei periodi di chiusura dell'edificio, ma deve essere compatibile con il profilo reale delle utenze.

La regolazione termostatica attiva o modula la pompa in base alla temperatura del ritorno. Quando il ritorno scende sotto il valore impostato, la circolazione aumenta; quando la rete è già calda, il sistema può ridurre o interrompere il funzionamento. I circolatori modulanti permettono una gestione ancora più fine, perché adattano la velocità alle condizioni idrauliche e termiche della rete, riducendo consumi elettrici e oscillazioni. [19-21, 28-29]

Negli edifici complessi, la regolazione può essere integrata con sonde, registrazione delle temperature e supervisione. Questa impostazione consente di individuare rami freddi, valvole non tarate, pompe sovradimensionate o anomalie nel ritorno. La diagnostica è particolarmente utile perché molti problemi del ricircolo non sono visibili nel locale tecnico: emergono solo come tempi di attesa elevati, consumi anomali o lamentele degli utenti.

11.2.5 Tipologie di reti di ricircolo

Le reti di ricircolo tradizionale possono essere organizzate con diversi livelli di capillarità. La scelta dipende dalla tipologia edilizia, dalla posizione dei cavedi, dal numero di utenze, dalla necessità di contabilizzazione e dal livello di comfort richiesto. Le configurazioni principali sono tre: ricircolo all'utenza o al collettore, ricircolo al piano e ricircolo alle colonne.

Ricircolo all'utenza o al collettore

Il ricircolo all'utenza o al collettore è la configurazione più capillare. La tubazione di ritorno non si ferma alle colonne principali, ma raggiunge i collettori o i punti di distribuzione più vicini ai terminali. In questo modo il volume di acqua raffreddata nei tratti terminali viene ridotto al minimo e il comfort è molto elevato. La soluzione è indicata in strutture ricettive, sanitarie, residenziali di pregio e impianti in cui il tempo di attesa deve essere quasi nullo.
Il limite è la complessità: più tubazioni, più isolamento, più punti da bilanciare e maggiori dispersioni. La rete deve essere progettata con cura per evitare cortocircuiti idraulici e squilibri tra rami vicini e lontani. È una scelta efficace solo quando il livello di servizio richiesto giustifica il maggior costo iniziale e i consumi di esercizio. [17, 19, 21, 25]

Questa configurazione è particolarmente adatta quando la distribuzione terminale è estesa o quando l'edificio ospita utenti vulnerabili. In tali contesti il comfort immediato e la riduzione dei volumi stagnanti sono obiettivi prioritari. La progettazione deve però prevedere spazi adeguati, accessibilità alle valvole e isolamento continuo, altrimenti il beneficio igienico e funzionale viene compensato da dispersioni elevate e manutenzione difficile.

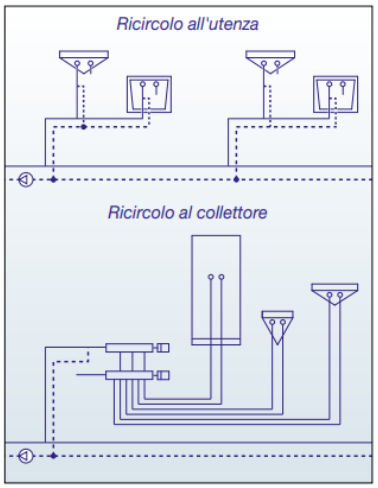


Figura 11.1 - Ricircolo all'utenza e al collettore

Ricircolo al piano

Il ricircolo al piano è una soluzione intermedia. La rete di ritorno raggiunge le cassette o i collettori di piano, senza entrare nei singoli tratti terminali verso ogni apparecchio. In questo modo si riduce la distanza non ricircolata rispetto al semplice ricircolo alle colonne, mantenendo però costi e dispersioni più contenuti rispetto al ricircolo capillare. Questa configurazione è adatta a condomini multipiano, edifici residenziali moderni e impianti nei quali la contabilizzazione per unità abitativa deve essere gestita con precisione. Il vantaggio principale è il compromesso tra comfort, semplicità e controllo dei consumi. Rimane comunque necessario verificare il volume dei rami terminali dopo il collettore, perché anche pochi metri non ricircolati possono incidere sui tempi di attesa.

Il ricircolo al piano è spesso la soluzione più equilibrata nelle nuove costruzioni, perché consente di avvicinare il mantenimento termico alle unità abitative senza moltiplicare eccessivamente i ritorni fino a ogni utenza. Il progettista deve però coordinare distribuzione ACS, contabilizzazione, isolamento e accessibilità alle cassette: se i collettori sono difficili da raggiungere, anche una piccola taratura o manutenzione può diventare onerosa. [5, 19, 21, 25]

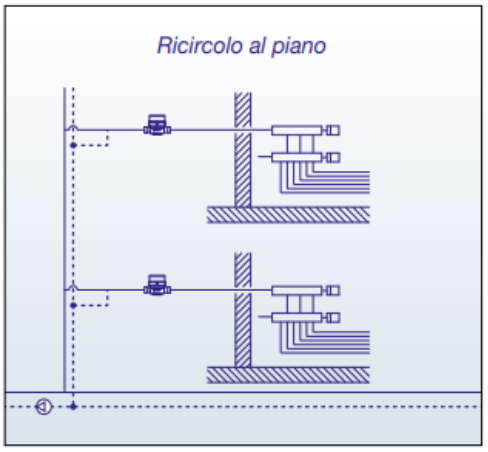


Figura 11.2 - Ricircolo al piano

Ricircolo alle colonne

Il ricircolo alle colonne è la configurazione tradizionale più semplice. La rete di ritorno collega la sommità o la base delle colonne montanti, creando un anello verticale, mentre i tratti orizzontali interni ai piani o agli alloggi non sono ricircolati. Questo schema riduce lo sviluppo delle tubazioni, limita le dispersioni rispetto alle reti più capillari e semplifica l'installazione.

Il limite principale è il comfort terminale: se i punti d'uso sono lontani dalla colonna, l'utente dovrà attendere lo svuotamento del ramo orizzontale raffreddato. Per questo il ricircolo alle colonne è adatto quando i servizi sono vicini ai montanti o quando il livello di comfort richiesto non giustifica reti più estese. Nei condomini esistenti resta spesso la soluzione più praticabile, purché il bilanciamento delle colonne sia eseguito correttamente. [5, 19, 21, 25]

Questa soluzione è frequente negli edifici esistenti perché richiede interventi meno invasivi rispetto a un ricircolo di piano o capillare. È però importante non confondere la semplicità dello schema con l'assenza di criticità: i tratti orizzontali non ricircolati devono rimanere brevi, isolati e privi di rami morti. In caso contrario il ricircolo mantiene calde le colonne, ma non garantisce comfort reale ai terminali.

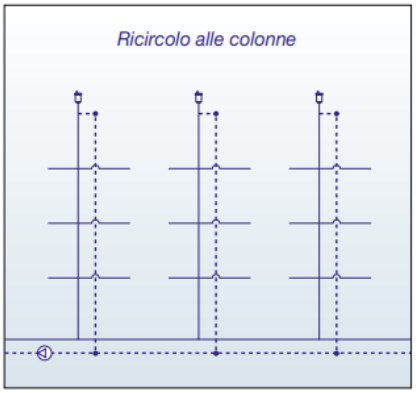


Figura 11.3 - Ricircolo alle colonne

11.2.6 Sintesi delle configurazioni distributive

La scelta tra assenza di ricircolo e ricircolo tradizionale dipende dalla distanza tra produzione e terminali, dal volume dei rami, dal profilo d'uso e dal livello di comfort richiesto. La FWS migliora la produzione istantanea, ma non sostituisce una corretta progettazione distributiva: se la rete è lunga o mal bilanciata, anche una stazione efficiente può fornire un servizio percepito come lento o instabile.

Configurazione	Ambito più adatto	Vantaggi principali	Limiti da controllare
Senza ricircolo	Alloggi compatti, piccoli uffici, terminali vicini alla produzione	Basso costo, dispersioni ridotte, impianto semplice e manutenzione minima	Tempi di attesa, spreco d'acqua al prelievo, rami poco usati e stagnazione
Ricircolo all'utenza o al collettore	Strutture sensibili, hotel, residenze di pregio, reti estese	Comfort elevato, volume stagnante minimo, temperatura più uniforme ai terminali	Costi elevati, maggiore sviluppo tubazioni, dispersioni e bilanciamento complesso
Ricircolo al piano	Condomini multipiano e nuove costruzioni con cassette di distribuzione	Buon compromesso tra comfort, contabilizzazione e costi di esercizio	Rami terminali ancora da controllare, corretta regolazione della temperatura di ritorno
Ricircolo alle colonne	Condomini tradizionali con utenze vicine ai montanti	Schema semplice, costi contenuti, minori dispersioni rispetto alle reti capillari	Comfort terminale limitato se i tratti orizzontali sono lunghi o poco isolati

Tabella 11.1 - Sintesi delle configurazioni distributive

11.3 La stazione di ricircolo

Sia il ricircolo tradizionale sia la distribuzione priva di ricircolo presentano limiti applicativi. La rete senza ricircolo è efficiente ma può generare tempi di attesa e ristagni nei rami lunghi; il ricircolo tradizionale garantisce comfort, ma può diventare difficile da realizzare in edifici multipiano con contabilizzazione individuale, riduttori di pressione, zone idrauliche separate o vincoli di spazio. La stazione di ricircolo nasce per rispondere a questi casi intermedi. Il suo scopo è creare un circuito locale di mantenimento termico, separato dalla rete principale tramite uno scambiatore di calore. In questo modo l'energia viene trasferita dalla dorsale ACS o dal circuito primario a un anello secondario dedicato, senza imporre una circolazione diretta attraverso contatori, valvole riduttrici di pressione o zone che devono rimanere idraulicamente indipendenti.

Esistono diverse architetture costruttive, ma il principio comune è la separazione tra circuito principale e circuito locale. La stazione non sostituisce la FWS di produzione, né sostituisce

automaticamente il ricircolo tradizionale; rappresenta piuttosto una soluzione specifica per quei tratti dell'impianto in cui il ricircolo convenzionale sarebbe inefficace, non contabilizzabile o incompatibile con la configurazione idraulica dell'edificio. [19-21]

11.3.1 Funzione e scopo

La funzione principale della stazione di ricircolo è mantenere in temperatura una porzione locale della rete ACS senza far circolare direttamente l'acqua della dorsale principale attraverso i terminali o attraverso dispositivi di contabilizzazione. Questa logica è utile quando la rete principale fornisce energia e acqua calda, ma l'anello locale deve rimanere fisicamente separato per ragioni di misura, pressione, sicurezza o gestione.

Il caso tipico è l'edificio multipiano in cui ogni alloggio o zona dispone di contatore ACS. Se si realizzasse un ricircolo tradizionale attraverso i contatori, il passaggio continuo dell'acqua potrebbe generare consumi apparenti o alterare la lettura reale dei prelievi. Una stazione di ricircolo evita questo problema: la dorsale principale cede calore a un circuito secondario locale, mentre l'acqua effettivamente consumata continua a essere prelevata e contabilizzata attraverso il percorso corretto.

Un altro caso frequente riguarda le zone con differenti pressioni di esercizio. La presenza di riduttori di pressione o di sottoreti separate può impedire la realizzazione di un anello unico di ricircolo. Collegare direttamente zone a pressione diversa può compromettere l'equilibrio idraulico e generare ritorni indesiderati. La stazione di ricircolo consente invece di trasferire energia termica senza mettere in comunicazione idraulica circuiti che devono rimanere separati.

Dal punto di vista del servizio, il risultato atteso è simile a quello del ricircolo tradizionale: riduzione dei tempi di attesa, limitazione dello spreco d'acqua e migliore controllo dei rami terminali. La differenza è che il mantenimento termico avviene su un anello locale, progettato per una zona specifica e alimentato indirettamente tramite scambio termico.

11.3.2 Principio di funzionamento

Il principio operativo si basa su uno scambiatore di calore. Sul lato primario scorre acqua calda sanitaria proveniente dalla dorsale ACS; sul lato secondario circola l'acqua dell'anello locale. La pompa secondaria mantiene il movimento nel loop, mentre lo scambiatore reintegra

le perdite termiche dovute alla dispersione delle tubazioni. La produzione di calore non avviene nella stazione: la stazione trasferisce energia già disponibile.

In condizioni di assenza di prelievo, il circuito secondario può circolare a bassa portata per mantenere la temperatura dei rami locali. Quando un utente apre un terminale, il sistema deve evitare che il prelievo venga alimentato impropriamente dal circuito di ricircolo locale di un'altra utenza o da un percorso non contabilizzato. Per questo alcune architetture utilizzano dispositivi di isolamento automatico, valvole di non ritorno o logiche di controllo capaci di distinguere il mantenimento termico dal consumo reale. [7, 19, 21]

Il punto tecnico più delicato è la separazione tra circolazione e prelievo. Durante il mantenimento, l'acqua può muoversi nel circuito locale per ridurre l'attesa; durante il prelievo, invece, l'acqua consumata deve seguire il percorso previsto dalla rete principale e dagli organi di misura. Una progettazione non corretta può generare interconnessioni tra utenze, errori di contabilizzazione o squilibri di pressione.
Per questo motivo la stazione di ricircolo non è un semplice gruppo pompa. È un insieme di scambio, regolazione, sicurezza e controllo. La sua efficacia dipende dalla corretta relazione tra lato primario, anello secondario, valvole di isolamento, sensori e logiche di comando.

11.3.3 Componenti principali

Una stazione di ricircolo può essere realizzata in diversi livelli di complessità, ma in generale comprende alcuni componenti ricorrenti. Lo scambiatore di calore è l'elemento centrale, perché consente il trasferimento energetico tra circuito principale e circuito locale. La pompa secondaria garantisce la circolazione nel loop. Le valvole di ritegno, intercettazione e isolamento automatico evitano ritorni indesiderati e permettono la manutenzione. [7, 23, 27, 31-32]

Completano il sistema gli organi di bilanciamento, il vaso di espansione per l'anello chiuso, i dispositivi di sicurezza, le sonde di temperatura, eventuali misuratori di portata e una centralina di controllo. Nei sistemi più semplici la regolazione può essere temporizzata o termostatica; nei sistemi più evoluti può includere alternanza pompe, allarmi, registrazione delle temperature, cicli di flussaggio e comunicazione con sistemi di supervisione. [28-29]

Componente	Funzione	Criteri progettuali
Scambiatore di calore	Trasferisce energia dalla dorsale ACS o dal circuito primario all'anello secondario locale.	Materiale idoneo, potenza compatibile con le dispersioni del loop, perdite di carico e accessibilità per manutenzione.
Pompa di circolazione	Mantiene in movimento l'anello secondario locale.	Portata minima richiesta, prevalenza disponibile, consumo elettrico, eventuale ridondanza o alternanza pompe.
Valvole di isolamento automatico	Separano il circuito locale durante il prelievo, evitando interconnessioni e consumi non contabilizzati.	Sensibilità alla pressione, posizione rispetto al contatore, affidabilità e possibilità di verifica.
Valvole di bilanciamento	Distribuiscono le portate tra più circuiti secondari o più alloggi.	Taratura iniziale, stabilità al variare delle portate, accessibilità e controllo della temperatura di ritorno.
Vaso di espansione e sicurezza	Assorbono dilatazioni e proteggono l'anello chiuso da sovrapressioni.	Volume, pressione di precarica, valvole di sicurezza, scarichi e condizioni di manutenzione.
Centralina e sonde	Gestiscono cicli, pompe, temperature, allarmi e funzioni di flussaggio.	Logiche orarie/termostatiche, registrazione dati, allarmi e integrazione con supervisione.

Tabella 11.2 - Componenti principali delle stazioni di ricircolo

11.3.4 Tipologie di stazioni di ricircolo

Le stazioni di ricircolo possono essere classificate in base alla scala dell'anello secondario servito. La distinzione più utile non è commerciale, ma funzionale: stazioni multi-zona, stazioni per zona singola e unità compatte. Ogni categoria risponde a un diverso livello di complessità impiantistica.

Stazioni multi-zona

Le stazioni multi-zona servono più alloggi o più circuiti locali dallo stesso gruppo. Sono adatte a piani residenziali, edifici multipiano o vani tecnici nei quali convergono più linee dotate di contabilizzazione. La stazione lavora come interfaccia tra la dorsale principale e i circuiti secondari locali: trasferisce calore ai singoli anelli, mantiene la temperatura e impedisce che la circolazione locale alteri la contabilizzazione dei consumi. [11, 21, 26-28]

Questa soluzione richiede particolare attenzione al bilanciamento. Ogni circuito locale può avere lunghezza, perdita di carico e dispersione diversa; se non viene regolato, il circuito più favorevole riceve più portata e gli altri rimangono sfavoriti. Per questo sono necessari organi di taratura, accessibilità ai componenti e possibilità di verificare la temperatura di ritorno di ciascun loop.

Stazioni per singola zona

Le stazioni per zona singola servono un'area funzionale: un blocco di piano, un gruppo di uffici, una zona di edificio, un reparto o una porzione di struttura ricettiva. Sono utili quando la rete principale non può essere ricircolata direttamente oltre un riduttore di pressione o quando si vuole mantenere separata la gestione termica di una zona rispetto al resto dell'edificio. In questi casi la continuità di servizio può essere importante. Alcune configurazioni prevedono pompe in alternanza, così da distribuire le ore di funzionamento e garantire una certa ridondanza. La logica di controllo può essere oraria, termostatica o collegata alla presenza effettiva degli utenti.

Unità compatte

Le unità compatte sono destinate a un singolo alloggio, attico, villetta o zona terminale con ramo lungo. La potenza richiesta è in genere limitata, perché l'obiettivo non è produrre ACS per il consumo istantaneo, ma compensare le dispersioni dell'anello locale e mantenere in temperatura un volume ridotto. Sono soluzioni utili quando non è praticabile realizzare un ritorno tradizionale fino alla centrale. [19]

La semplicità costruttiva non deve però far trascurare la verifica idraulica. Anche una piccola stazione deve avere portata sufficiente, scambiatore adeguato, valvole di ritegno e dispositivi di sicurezza. Inoltre deve essere installata in una posizione accessibile, perché filtri, pompe e valvole richiedono controlli periodici.

Tipologia	Descrizione generale	Applicazione tipica	Dimensione indicativa
Multi-zona	Unità con scambiatore, circolazione locale e dispositivi di isolamento per più alloggi o circuiti.	Piani residenziali con contatori divisionali, più appartamenti serviti dallo stesso vano tecnico.	Da pochi a circa dieci circuiti locali, secondo sviluppo dei loop e dispersioni.
Zona singola	Stazione dedicata a una zona, a un blocco di piano o a un gruppo funzionale dell'edificio.	Uffici, hotel, reparti, zone con riduttori di pressione o reti secondarie autonome.	Potenza proporzionata alle perdite termiche del circuito e alla temperatura di mantenimento richiesta.
Unità compatta	Modulo semplificato per un singolo appartamento, attico, villetta o zona terminale estesa.	Unità con ramo terminale lungo, impossibilità di ricircolo tradizionale o vincoli di contabilizzazione.	Potenze ridotte, tipicamente legate al solo mantenimento termico del loop locale.

Tabella 11.3 - Tipologie di stazioni di ricircolo

11.3.5 Contesti applicativi

Le stazioni di ricircolo trovano applicazione soprattutto nei casi in cui il ricircolo tradizionale è ostacolato da vincoli fisici o funzionali. Il criterio di scelta non è la sola distanza dal generatore, ma l'insieme di distanza, contabilizzazione, pressioni, uso discontinuo e rischio igienico. La presenza di rami terminali lunghi, zone poco utilizzate o utenze sensibili aumenta l'interesse per una soluzione locale. [13, 19]

Nei condomini, la stazione è utile quando la contabilizzazione individuale impedisce di realizzare un anello comune senza alterare le misure. Negli edifici con riduttori di pressione, consente di superare il vincolo delle zone idrauliche separate. In hotel, uffici e strutture sanitarie permette invece di gestire aree con uso discontinuo, camere non occupate, reparti parzialmente utilizzati o terminali che richiedono flussaggio programmato.

Un impiego particolarmente interessante riguarda le reti esistenti. In molti edifici non è realistico rifare completamente la distribuzione ACS, ma è possibile intervenire su alcune zone critiche con una stazione locale. In questi casi la stazione di ricircolo non elimina la necessità di una buona progettazione, ma offre una soluzione meno invasiva rispetto alla ricostruzione dell'intero anello di ritorno.

Contesto	Problema impiantistico	Logica della soluzione
Condominio con contatori ACS	Il ricircolo attraverso i contatori può generare consumi apparenti o misure non corrette.	Separazione tra dorsale primaria e circuiti locali, con contabilizzazione preservata.
Edificio con zone di pressione	Riduttori di pressione o sottoreti impediscono una circolazione continua tradizionale.	Stazioni per zona che trasferiscono calore senza unire idraulicamente le zone.
Attici, townhouse o alloggi estesi	Rami terminali lunghi e assenza di spazio per ritorni convenzionali.	Circolazione locale compatta a valle della distribuzione principale.
Hotel e strutture ricettive	Camere fuori servizio o ali poco occupate possono generare stagnazione.	Flussaggio programmato, monitoraggio temperatura e anelli locali per zone critiche.
Uffici e utenze discontinue	Rete ferma per molte ore o giorni, con alternanza tra inattività e picchi.	Cicli temporizzati e gestione per fasce d'uso, evitando ricircolo continuo inutile.
Strutture sanitarie o sensibili	Terminali poco usati e requisiti igienici elevati.	Monitoraggio, registrazione delle temperature e possibilità di flussaggio controllato.

Tabella 11.4 - Contesti applicativi delle stazioni di ricircolo

11.3.6 Criteri preliminari di dimensionamento

Il dimensionamento di una stazione di ricircolo deve partire dalle dispersioni termiche dell'anello locale, non dalla potenza di picco dei prelievi ACS. La stazione non ha lo scopo principale di produrre tutta l'acqua sanitaria richiesta dagli utenti, ma di compensare il calore perso dalla rete secondaria e mantenere il loop entro il campo di temperatura desiderato. La potenza richiesta dipende quindi da lunghezza dei tubi, isolamento, temperatura ambiente, temperatura di mantenimento e durata di funzionamento.

In forma semplificata, la potenza può essere stimata sommando le dispersioni dei tratti ricircolati. Una rete lunga, poco isolata o posta in ambienti freddi richiede più potenza e maggiore portata di ricircolo. Al contrario, un loop corto e ben coibentato può essere mantenuto con potenze ridotte. La portata di ricircolo deve essere sufficiente a limitare il salto termico tra mandata e ritorno, ma non eccessiva, perché portate troppo alte aumentano consumi elettrici e perdite di carico.

Devono essere verificati anche scambiatore, pompa, vaso di espansione, valvole di sicurezza e logica di controllo. Nei sistemi multi-zona occorre controllare che ogni circuito riceva la portata minima necessaria; nei sistemi per zone sensibili è opportuno prevedere sonde e registrazione delle temperature; nelle applicazioni con uso discontinuo può essere utile una programmazione oraria o a cicli, evitando il funzionamento continuo quando non richiesto. [11, 19, 26, 28]

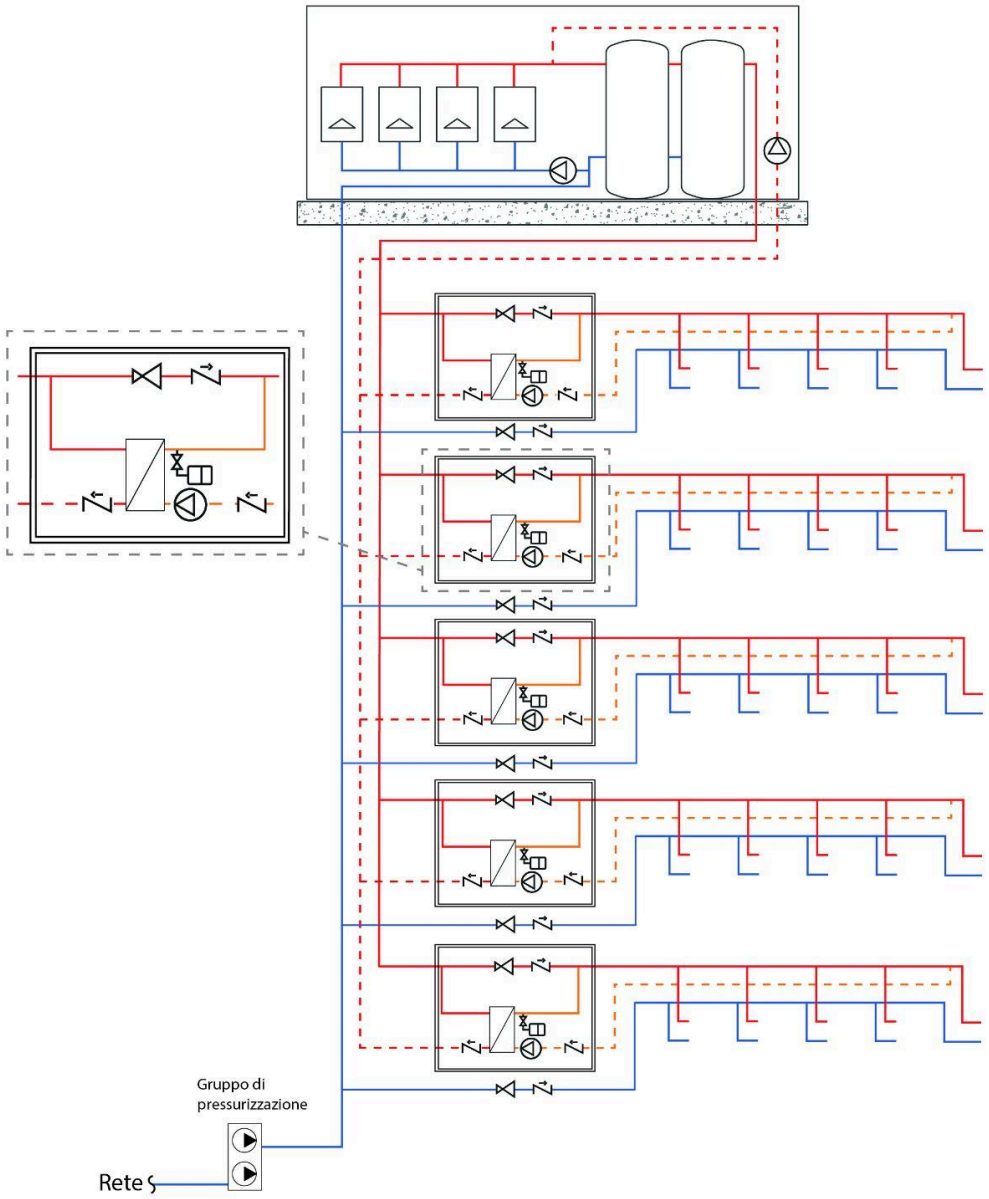
12 Schemi di impianti con stazioni di ricircolo

Il presente capitolo propone alcuni schemi applicativi delle stazioni di ricircolo, con l'obiettivo di mostrare come tali dispositivi possono essere integrati nella distribuzione dell'acqua calda sanitaria in edifici multipiano o suddivisi in differenti zone di pressione.

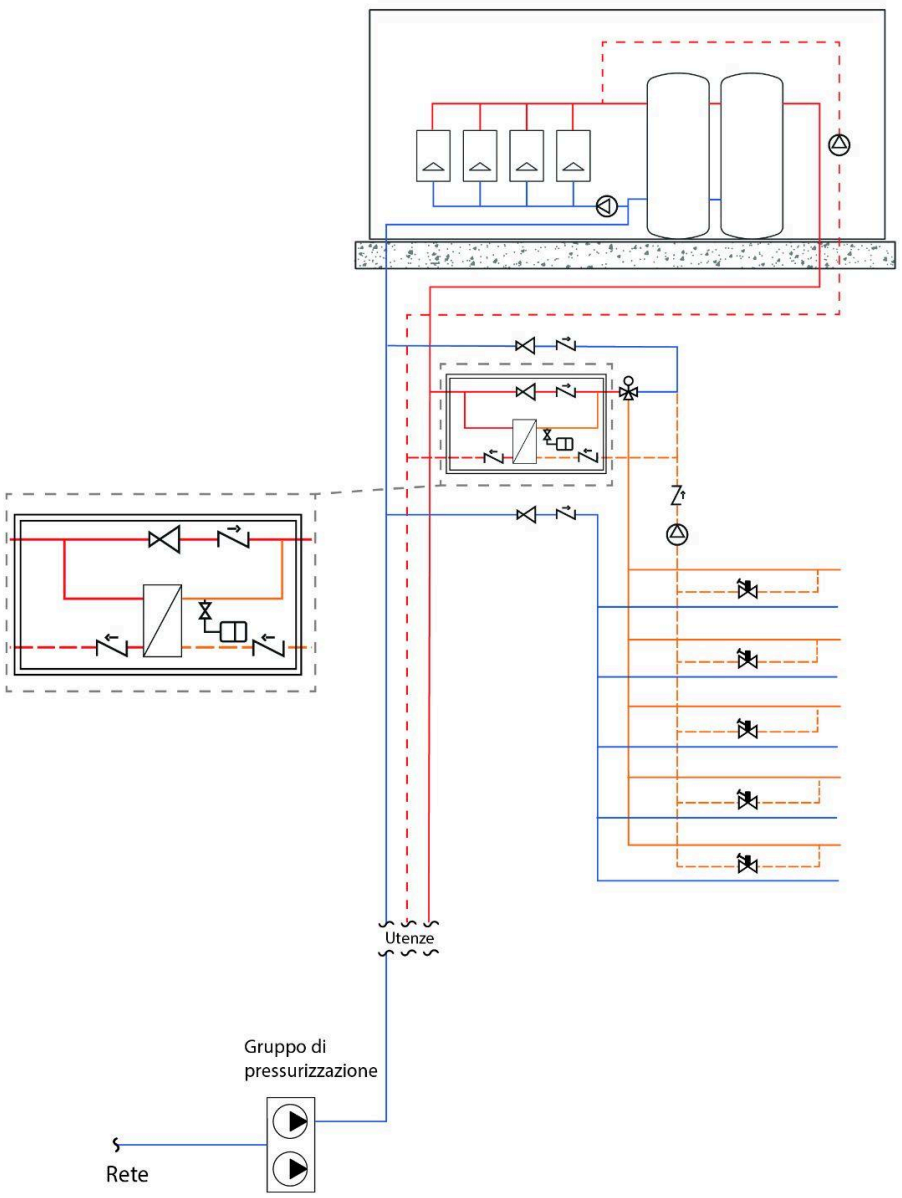
Le configurazioni illustrate comprendono l'installazione di una stazione di ricircolo per ciascun piano, per una singola zona estesa su più livelli e l'integrazione con un sistema centralizzato costituito da FWS in cascata. In queste configurazioni la stazione di ricircolo non produce ACS destinata ai prelievi, ma trasferisce al circuito locale il calore necessario a compensare le dispersioni di rete e a mantenerla alla temperatura desiderata.

Le rappresentazioni hanno carattere funzionale e semplificato: dimensionamento, bilanciamento, dispositivi di sicurezza e componenti accessori devono essere definiti in relazione alle effettive condizioni di progetto.

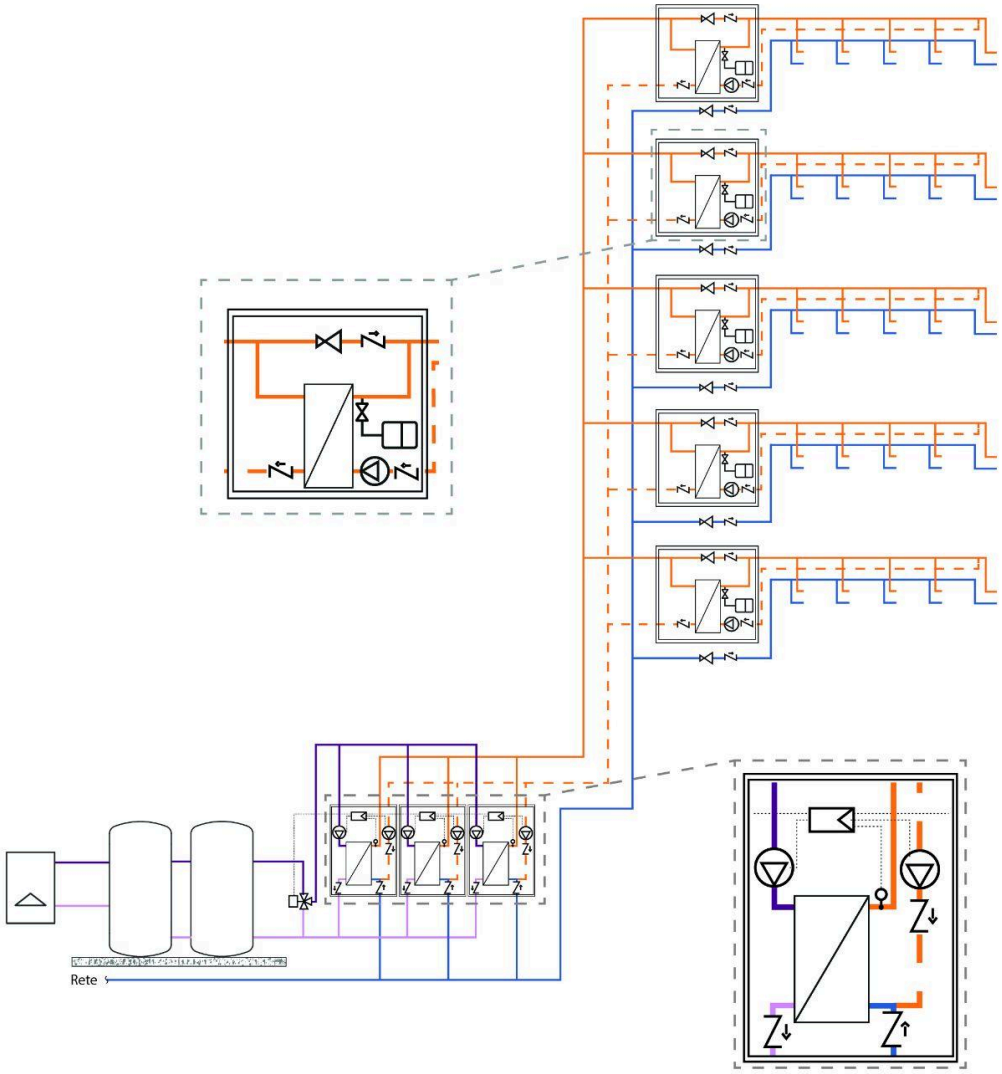
SCHEMA 1	Installazione di stazioni di ricircolo, una per piano, a servizio di più utenze
CARATTERISTICHE IMPIANTO	• Produzione ACS centralizzata mediante caldaie in cascata abbinate ad accumuli in serie. • Distribuzione multipiano mediante dorsali verticali; ogni livello alimenta più utenze. • Una stazione dedicata mantiene in temperatura l'anello di ricircolo locale di ciascun piano.
FOCUS STAZIONI DI RICIRCOLO	• Configurazione con una stazione per piano: ogni stazione gestisce un anello di ricircolo e le relative utenze. • Lo scambiatore reintegra le dispersioni nell'anello di ricircolo; il circolatore mantiene la portata di ricircolo locale. • La stazione non produce ACS: la produzione per il prelievo resta centralizzata, mentre il ricircolo di piano è indipendente.
VANTAGGI	• Tempi di attesa ridotti e temperatura più uniforme per le utenze del piano. • Regolazione, bilanciamento e manutenzione sono indipendenti per ciascun livello. • Orari e setpoint sono differenziabili in funzione dell'occupazione e dell'utilizzo dei piani.
SVANTAGGI	• Più scambiatori, circolatori e organi di regolazione, con maggiori costi, ingombri e manutenzione. • Ogni anello di ricircolo richiede dimensionamento, bilanciamento e verifica della temperatura di ritorno. • Aumentano consumi ausiliari e punti di guasto; la centrale deve garantire portata, temperatura e pressione.



SCHEMA 2	Installazione di una stazione di ricircolo a servizio di una zona multipiano
CARATTERISTICHE IMPIANTO	• Produzione ACS centralizzata mediante caldaie in cascata abbinate ad accumuli in serie. • Distribuzione suddivisa in zone; la stazione di ricircolo serve una zona estesa su più piani. • La zona dispone di un anello di ricircolo dedicato per più piani, separato dalla dorsale tramite la stazione.
FOCUS STAZIONE DI RICIRCOLO	• La stazione di ricircolo non produce ACS; trasferisce calore al circuito locale e compensa le dispersioni dell'anello di zona. • Scambiatore e circolatore mantengono in temperatura il ricircolo comune ai piani della stessa zona. • La separazione idraulica consente il ricircolo a valle della riduzione senza unire reti a pressioni diverse.
VANTAGGI	• Riduzione dei tempi di attesa e maggiore uniformità di temperatura ai piani serviti. • Compatibilità con zone a pressioni differenti e gestione indipendente del ricircolo. • Una sola stazione serve più piani della stessa zona, limitando il numero di unità installate.
SVANTAGGI	• Scambiatore e circolatore vanno dimensionati sulle dispersioni dell'intero anello multipiano. • Occorrono il bilanciamento delle diramazioni e il controllo della temperatura di ritorno. • Costi, ingombri, consumi ausiliari e manutenzione superiori a una rete senza ricircolo.



SCHEMA 3	Installazione FWS in cascata combinata con stazioni di ricircolo
CARATTERISTICHE IMPIANTO	• Edificio multipiano con FWS in cascata alimentate da puffer tecnico. • Produzione ACS centralizzata e istantanea; distribuzione suddivisa in zone. • Ogni zona dispone di stazione di ricircolo e anello secondario separato tramite scambiatore.
FOCUS FWS e STAZIONE DI RICIRCOLO	• FWS con regolazione elettronica della portata primaria mediante circolatore PWM. • Ogni stazione mantiene in temperatura un anello di ricircolo locale, separato idraulicamente dalla dorsale mediante lo scambiatore di calore. • Le FWS producono ACS; le stazioni di ricircolo mantengono in temperatura gli anelli locali.
VANTAGGI	• Elevata portata di punta, modulazione e ridondanza della produzione ACS. • Comfort uniforme e minori tempi di attesa delle diverse zone. • Separazione idraulica e gestione indipendente dei circuiti locali.
SVANTAGGI	• Costi, ingombri e complessità elevati per la presenza di più unità. • Più scambiatori, pompe e componenti da regolare e manutenere. • Bilanciamento e controlli coordinati; maggiori dispersioni e consumi ausiliari.



13. Confronto tecnico-economico

Il confronto tecnico-economico tra le soluzioni per la produzione e la distribuzione di acqua calda sanitaria non può essere ridotto al solo costo di acquisto dei componenti. Un impianto ACS è un sistema che lavora per molti anni, con carichi variabili, vincoli igienici, dispersioni termiche, manutenzione periodica e aspettative di comfort molto diverse a seconda dell'edificio.
La soluzione meno costosa in fase di installazione può diventare onerosa in esercizio; allo stesso modo, una tecnologia avanzata può risultare sproporzionata se applicata a un edificio semplice, con pochi punti di prelievo e bassa criticità gestionale.

La valutazione deve quindi considerare contemporaneamente prestazioni tecniche e costo globale. Le prestazioni tecniche riguardano igiene, comfort, efficienza, affidabilità e complessità di gestione. Il costo globale comprende investimento iniziale, energia termica, energia elettrica ausiliaria, manutenzione, controlli igienici, eventuale spreco d'acqua e costi indiretti legati a disservizi o interventi correttivi. Solo l'insieme di questi elementi consente di stabilire quale soluzione sia realmente conveniente in uno specifico contesto.

In assenza di listini completi, omogenei e riferiti a installazioni confrontabili, non sarebbe corretto costruire un confronto economico basato su prezzi assoluti. Le tabelle seguenti adottano perciò una lettura qualitativa e progettuale, utile per orientare la scelta senza attribuire valori numerici non verificabili. L'obiettivo non è stabilire una classifica universale, ma individuare la coerenza tra tecnologia, edificio, rischio e costo totale di esercizio. [12, 18-19]

13.1 Criteri di confronto

La prima dimensione del confronto è tecnica. Un sistema ACS deve garantire acqua calda disponibile in tempi accettabili, temperatura stabile durante i prelievi e condizioni igieniche controllabili. A questi requisiti si aggiungono la compatibilità con la sorgente primaria, la facilità di manutenzione e la possibilità di adattarsi a profili d'uso discontinui. Le Fresh Water Station offrono un vantaggio igienico importante perché riducono il volume di acqua sanitaria mantenuta calda; tuttavia richiedono corretta regolazione e una progettazione accurata del lato primario e della distribuzione.
La seconda dimensione è economica. Il costo iniziale, o CAPEX, comprende apparecchiature, puffer, scambiatori, pompe, tubazioni, isolamento, valvole, contabilizzazione, supervisione e

installazione. Il costo operativo, o OPEX, comprende invece energia, consumi elettrici ausiliari, manutenzione, controlli igienici, eventuali lavaggi e costi di esercizio. Il costo totale di proprietà, spesso indicato come TCO, nasce dalla somma di queste voci lungo un orizzonte temporale coerente con la vita utile dell'impianto. [12]

Soluzione	Punti di forza	Criticità	Contesto più coerente
Accumulo sanitario tradizionale	Schema noto, componenti semplici, buona risposta ai picchi se il volume è adeguato.	Maggiore volume di ACS calda, dispersioni dell'accumulo, attenzione elevata a temperatura, ricircolo e igiene.	Impianti semplici, ristrutturazioni limitate, utenze con gestione tecnica ordinaria e rischio igienico contenuto.
FWS senza ricircolo	Volume sanitario caldo molto ridotto, buona efficienza, integrazione favorevole con puffer	Comfort dipendente dalla lunghezza dei rami terminali; non adatta da sola a distribuzioni estese.	Edifici compatti, alloggi singoli, piccoli impianti con terminali vicini e profilo d'uso discontinuo.
FWS con ricircolo di rete	Produzione istantanea unita a tempi di attesa ridotti; buona qualità del servizio su reti estese.	Richiede bilanciamento, isolamento, pompa di ricircolo e controllo delle temperature di ritorno.	Condomini, strutture ricettive, uffici e impianti dove il comfort terminale è prioritario.
FWS in cascata con supervisione	Ridondanza, modulazione della potenza, tracciabilità dei dati e continuità di servizio.	CAPEX più elevato, maggiore complessità di regolazione e manutenzione specialistica.	Grandi edifici, hotel, residenze collettive, strutture sanitarie e utenze con servizio critico.
FWS con ricircolo locale	Mantiene in temperatura zone specifiche senza unire circuiti separati, contatori o zone di pressione.	Richiede verifica accurata di scambiatore, pompa, isolamento e logica di separazione tra ricircolo e prelievo.	Edifici con contabilizzazione individuale, riduttori di pressione, rami terminali lunghi o interventi di retrofit mirato.

Tabella 13.1 - Criteri di confronto tecnico-economico

13.2 Driver di costo iniziale

Il CAPEX non coincide con il prezzo della sola stazione. In molti casi la quota più rilevante dell'investimento è distribuita tra puffer tecnico, tubazioni, pompe, organi di regolazione, isolamento, dispositivi di sicurezza, sistemi di contabilizzazione e opere di installazione. Per questo due impianti con la stessa potenza nominale possono avere costi molto diversi: cambiano la distanza tra centrale e utenze, la qualità dell'isolamento, il numero di circuiti, la necessità di ridondanza e il livello di supervisione richiesto.

Una valutazione corretta deve evitare sia il sottodimensionamento sia l'eccesso di tecnologia. Il sottodimensionamento genera instabilità di temperatura, tempi di attesa, manutenzione frequente e insoddisfazione dell'utente. L'eccesso di tecnologia, al contrario, immobilizza capitale in funzioni non utilizzate e aumenta la complessità manutentiva. La progettazione

economica deve quindi procedere insieme alla progettazione idraulica e non essere affrontata solo alla fine della scelta impiantistica. [12, 14]

Driver CAPEX	Descrizione	Elementi da verificare
Modulo di produzione	Taglia della FWS, tipo di scambiatore, materiali, regolazione termostatica o elettronica, accessori di sicurezza.	Potenza realmente richiesta, temperatura primaria disponibile, perdite di carico e qualità dell'acqua.
Accumulo tecnico	Volume del puffer, coibentazione, stratificazione, attacchi idraulici e integrazione con la sorgente.	Autonomia sui picchi, compatibilità con pompe di calore, solare termico o sistemi ibridi.
Circuito primario	Tubazioni, pompe, valvole, isolamento, organi di regolazione e collegamenti alla centrale.	Portata primaria, prevalenza disponibile, stabilità della temperatura e accessibilità manutentiva.
Distribuzione ACS	Sviluppo delle tubazioni sanitarie, isolamento, collettori, valvole, eventuali ritorni di ricircolo.	Lunghezza dei rami, tempi di attesa, bilanciamento e contabilizzazione.
Controllo e supervisione	Sonde, centraline, allarmi, registrazione dati e integrazione con sistemi di gestione dell'edificio.	Necessità di tracciabilità, continuità di servizio e gestione del rischio igienico.
Installazione e avviamento	Opere idrauliche, spazi tecnici, collaudo, taratura, messa in servizio e istruzione del gestore.	Vincoli del cantiere, possibilità di fermo impianto, facilità di accesso e documentazione finale.

Tabella 13.2 - Driver di costo iniziale

13.3 Driver di costo operativo

L'OPEX è spesso il vero elemento discriminante tra soluzioni apparentemente simili. Le dispersioni del ricircolo possono pesare in modo significativo negli edifici estesi, soprattutto quando le tubazioni sono lunghe, poco isolate o mantenute calde per molte ore senza reale richiesta. Anche le pompe incidono sul bilancio, non solo per il consumo elettrico diretto, ma perché portate eccessive aumentano le perdite di carico e possono peggiorare il funzionamento complessivo della rete.

Un altro elemento importante è la manutenzione. Gli scambiatori possono richiedere pulizia periodica in presenza di acqua dura; i filtri e le valvole devono essere accessibili; le sonde devono mantenere precisione; le pompe devono poter essere sostituite senza fermare l'intero servizio. Nei contesti sensibili, la registrazione delle temperature, i controlli di esercizio e le procedure di gestione igienica diventano parte integrante del costo operativo. [11, 19]

Nel confronto va incluso anche lo spreco d'acqua legato ai tempi di attesa. In una distribuzione senza ricircolo, se 20 appartamenti effettuano 3 prelievi al giorno scaricando in media 3 litri prima di ricevere acqua calda utilizzabile, il volume annuo sprecato è pari a circa 65.700 litri. Il valore economico dipende dalla tariffa locale, ma il dato è utile per ricordare che l'assenza di ricircolo non elimina sempre i costi: in alcuni casi li sposta sull'utente e sulla risorsa idrica.

Driver OPEX	Meccanismo di costo	Come si contiene
Energia termica	Dipende dal rendimento della sorgente, temperatura di lavoro, dispersioni di accumulo e ricircolo.	Temperature coerenti, isolamento, ritorni primari freddi e scelta corretta della sorgente.
Energia elettrica ausiliaria	Pompe primarie, pompe di ricircolo, eventuali circolatori locali e dispositivi di controllo.	Pompe modulanti, fasce orarie, prevalenze corrette e riduzione delle portate inutili.
Manutenzione	Pulizia dello scambiatore, verifica valvole, sensori, filtri, pompe e organi di sicurezza.	Accessibilità, trattamento acqua, componenti ispezionabili e piano manutentivo chiaro.
Gestione igienica	Controlli temperatura, flussaggi, disinfezioni, campionamenti e registrazioni operative.	Riduzione dei volumi stagnanti, tracciabilità, procedure di esercizio e monitoraggio.
Spreco idrico	Nei rami senza ricircolo l'utente scarica acqua fredda o tiepida prima di ricevere ACS utilizzabile.	Rami corti, ricircolo ben progettato, stazioni locali o produzione prossima ai punti d'uso.
Interruzioni del servizio	Guasti, fermate per manutenzione o mancanza di ridondanza possono generare costi indiretti.	Cascata, by-pass, componenti ridondanti, ricambi disponibili e allarmi tempestivi.

Tabella 13.3 - Driver di costo operativo

13.4 Costo globale e TCO

Il costo globale è la somma attualizzata dei costi che l'impianto genera durante la sua vita utile. In termini progettuali può essere letto come: investimento iniziale, più costi di energia, manutenzione, acqua e gestione, più eventuali sostituzioni, meno il valore residuo finale. Questa formulazione non richiede necessariamente di disporre subito di tutti i prezzi, ma obbliga a considerare le voci che spesso vengono trascurate quando si confrontano soltanto i preventivi iniziali.

La matrice qualitativa seguente sintetizza il comportamento economico delle principali famiglie di soluzione. I giudizi sono relativi e devono essere interpretati rispetto al contesto:

una soluzione con CAPEX alto può avere TCO favorevole se riduce rischi e disservizi in un edificio critico; una soluzione con CAPEX basso può risultare meno conveniente se genera dispersioni, sprechi o manutenzione frequente. [12]

Soluzioni	CAPEX relativo	OPEX relativo	Rischio gestionale	Lettura TCO
Accumulo sanitario tradizionale	Medio	Medio-alto	Medio-alto	Conveniente solo se la semplicità iniziale non viene superata da dispersioni, ricircolo e gestione igienica.
FWS senza ricircolo	Medio	Medio-basso	Basso	Molto competitiva in edifici compatti con rami corti e sorgente primaria efficiente.
FWS con ricircolo di rete	Medio-alto	Medio	Medio	Equilibrata quando il comfort terminale giustifica le dispersioni e la complessità del ricircolo.
FWS in cascata con supervisione	Alto	Medio	Basso	Coerente nei grandi edifici, dove continuità di servizio, tracciabilità e ridondanza valgono il maggior investimento.
FWS con ricircolo locale	Medio-alto	Medio-basso	Medio	Competitiva quando evita opere invasive, ritorni aggiuntivi o consumi apparenti legati alla contabilizzazione.

Tabella 13.4 - Confronto qualitativo CAPEX-OPEX-rischio gestionale

13.5 Lettura per contesto applicativo

La scelta tecnico-economica cambia in modo netto al variare dell'edificio. In una villetta o in un piccolo alloggio il problema principale è evitare un impianto troppo complesso rispetto al fabbisogno reale. In un condominio, invece, diventano importanti contabilizzazione, lunghezza della distribuzione, comfort degli utenti e accessibilità manutentiva. In un hotel o in una struttura sanitaria, il costo del disservizio e del rischio igienico può pesare più del costo iniziale dei componenti.

Per questo motivo non esiste una soluzione universalmente migliore. La FWS semplice è molto efficace quando le distanze sono contenute; il ricircolo di rete è giustificato quando il comfort terminale è prioritario; la cascata con supervisione è coerente dove servono continuità e tracciabilità; le stazioni di ricircolo locale diventano interessanti quando la distribuzione tradizionale è ostacolata da contatori, riduttori di pressione o rami terminali particolarmente lunghi.

Scenario	Priorità tecnica	Scelta tendenzialmente corretta	Nota economica
Villetta o piccolo alloggio	Semplicità, rami brevi, costo iniziale contenuto.	FWS semplice o sistema compatto senza ricircolo esteso.	Il sovrainvestimento in funzioni avanzate raramente si recupera.
Condominio compatto	Comfort, contabilizzazione e manutenzione ordinaria sostenibile.	FWS centralizzata con distribuzione ben isolata e ricircolo dove necessario.	Il TCO dipende soprattutto da dispersioni del ricircolo e qualità del bilanciamento.
Condominio con contatori o zone di pressione	Separazione dei circuiti, tempi di attesa contenuti, assenza di consumi apparenti.	FWS con stazioni di ricircolo locali o anelli secondari separati.	La convenienza cresce se si evitano rifacimenti estesi della distribuzione.
Hotel o struttura ricettiva	Picchi concentrati, camere non sempre occupate, comfort immediato.	FWS modulare, ricircolo controllato e supervisione delle zone critiche.	Il costo iniziale si giustifica con servizio, riduzione reclami e gestione dei periodi di bassa occupazione.
Struttura sanitaria o utenza sensibile	Igiene, continuità, tracciabilità e ridondanza.	FWS in cascata con monitoraggio, allarmi e procedure di gestione documentate.	Il confronto non può basarsi solo sul CAPEX: il costo del rischio domina la scelta.

Tabella 13.5 - Applicazioni per contesto applicativo

13.6 La regola del minimo costo globale

Il criterio conclusivo del confronto non è scegliere la soluzione più economica in acquisto, né quella tecnologicamente più ricca. Il criterio corretto è individuare il minimo costo globale coerente con il livello di servizio e con il rischio dell'edificio. La parola coerente è fondamentale: un impianto semplice può essere la scelta migliore in un contesto ordinario, ma può diventare inadeguato in un edificio con elevati requisiti igienici; un sistema supervisionato e ridondante può essere eccessivo in una piccola abitazione, ma necessario in una struttura con servizio continuo.

Applicare questo principio significa rispondere ad alcune domande prima della scelta definitiva. Quanto è critico il tempo di attesa dell'ACS? Quanto pesa il rischio igienico? Quanto costa un'interruzione del servizio? La sorgente primaria lavora meglio con ritorni freddi e portate variabili? La rete di distribuzione è corta, estesa o vincolata da contabilizzazione e zone di pressione? Esiste personale in grado di gestire regolazioni evolute e supervisione? Le risposte determinano non solo la taglia della stazione, ma anche il livello di regolazione, monitoraggio e ridondanza realmente necessario. [12]

In sintesi, il confronto tecnico-economico mostra che la convenienza delle Fresh Water Station non dipende da un vantaggio assoluto valido in ogni caso, ma dalla loro capacità di ridurre volumi sanitari caldi, migliorare l'integrazione con sorgenti efficienti e adattarsi a edifici con esigenze diverse. La scelta più solida è quella che bilancia investimento iniziale, consumi, manutenzione, igiene e comfort, evitando sia la semplificazione eccessiva sia la complessità non necessaria.

14. Conclusioni

La produzione e la distribuzione dell'acqua calda sanitaria sono spesso considerate funzioni impiantistiche ordinarie, ma l'analisi svolta in questa tesi mostra come esse concentrino problemi tra loro strettamente collegati: tutela della qualità dell'acqua, risposta a carichi fortemente variabili, contenimento delle dispersioni, integrazione con fonti termiche efficienti e continuità del servizio. Il lavoro ha affrontato questi temi attraverso due tecnologie poste in punti diversi dell'impianto: le Fresh Water Station, dedicate alla produzione istantanea di ACS, e le stazioni di ricircolo, destinate al mantenimento termico di circuiti locali quando la distribuzione tradizionale presenta vincoli.

La domanda centrale non era stabilire quale prodotto fosse migliore in assoluto, ma comprendere in quali condizioni queste due famiglie di soluzione siano tecnicamente giustificate e come possano operare insieme. La risposta emersa è che esse affrontano problemi complementari ma non intercambiabili. La FWS interviene sul modo in cui l'energia viene trasferita all'acqua sanitaria; la stazione di ricircolo interviene sul modo in cui una porzione della rete viene mantenuta in temperatura senza imporre una circolazione diretta attraverso contatori, riduttori di pressione o zone che devono restare idraulicamente separate. La qualità finale dipende dal coordinamento tra produzione e distribuzione. [18-21]

Il contributo più significativo della FWS non risiede nel solo scambiatore, ma nel diverso principio con cui viene organizzata la produzione. Nei sistemi con accumulo sanitario, l'acqua potabile viene riscaldata e conservata in attesa dell'utilizzo. Nella FWS viene accumulata energia sul circuito tecnico e l'acqua sanitaria viene riscaldata soltanto durante il prelievo. Questa separazione consente di disaccoppiare, almeno in parte, il tempo della generazione dal tempo del consumo senza utilizzare grandi volumi di acqua potabile come riserva termica. Si tratta di un cambiamento architetturale che incide su igiene, efficienza, regolazione e integrazione energetica.

La stazione di ricircolo applica una logica diversa. Non ha lo scopo principale di produrre l'intera portata ACS richiesta durante il consumo, ma di compensare le dispersioni di un anello secondario locale e mantenerlo entro il campo di temperatura previsto. Lo scambiatore trasferisce calore dalla dorsale ACS o da un circuito primario disponibile, mentre una pompa

mantiene la circolazione nel loop locale. Valvole di ritegno, isolamento e controllo devono distinguere la fase di mantenimento dal prelievo reale, affinché l'acqua consumata segua il percorso previsto dalla rete e dagli organi di contabilizzazione. La stazione è quindi un sistema di scambio, circolazione e separazione idraulica, non un semplice gruppo pompa.

Dal punto di vista igienico, le due tecnologie agiscono su parti differenti dello stesso problema. La FWS riduce la permanenza di grandi volumi di acqua sanitaria calda sul lato della produzione. La stazione di ricircolo può limitare tempi di attesa, ristagni e raffreddamento nei rami terminali che non possono essere serviti da un ritorno convenzionale. Nessuna delle due elimina automaticamente il rischio: tubazioni sovradimensionate, zone scarsamente utilizzate, temperature insufficienti, loop sbilanciati e cicli di esercizio non coerenti possono mantenere condizioni critiche. La sicurezza dipende quindi dalla continuità tra produzione, distribuzione, controllo delle temperature, flussaggio e manutenzione. [19]

Anche il quadro normativo conduce alla stessa conclusione. La conformità non appartiene a un apparecchio isolato, ma al sistema installato e al modo in cui viene gestito. Separazione dei circuiti, protezione dal riflusso, idoneità dei materiali, qualità dell'acqua, controllo delle temperature, contabilizzazione corretta, dimensionamento della rete e accessibilità manutentiva devono essere verificati congiuntamente. FWS e stazioni di ricircolo possono rendere più controllabili specifiche parti dell'impianto, ma non sostituiscono le responsabilità del progettista, dell'installatore e del gestore. La norma diventa così un criterio con cui valutare la coerenza dell'intera soluzione.

Sul piano prestazionale, il lavoro ha evidenziato che le due tecnologie richiedono criteri di dimensionamento differenti. Per la FWS, la capacità effettiva di produrre ACS dipende dalla portata di punta, dalla temperatura dell'acqua fredda, dal setpoint sanitario e dalle condizioni reali del primario. Temperatura del puffer, portata primaria, superficie dello scambiatore, perdite di carico e capacità di reintegro della sorgente determinano il risultato durante il picco. La verifica deve essere eseguita nelle condizioni più sfavorevoli prevedibili: un margine apparentemente modesto sul primario può modificare in modo sostanziale la portata sanitaria realmente erogabile.

La regolazione assume di conseguenza un ruolo decisivo. Una stazione istantanea deve riconoscere l'inizio del prelievo, adattarsi rapidamente alla portata richiesta e mantenere la

temperatura senza oscillazioni, anche quando il puffer si scarica o più utenze entrano in funzione contemporaneamente.
La soluzione più evoluta non è necessariamente la più adatta: in un impianto semplice e stabile può essere preferibile una regolazione essenziale e robusta; in presenza di sorgenti a bassa temperatura, profili molto variabili, cascata di moduli o necessità di supervisione, un controllo modulante diventa invece parte integrante della prestazione. Il livello di automazione deve seguire la complessità del problema, non anticiparla senza una ragione tecnica.

Per la stazione di ricircolo, invece, il dimensionamento parte dalle dispersioni dell'anello locale e dalla temperatura di ritorno da garantire, non dalla potenza di picco dei prelievi. Lunghezza e isolamento delle tubazioni, temperatura ambiente, salto termico ammesso e durata di funzionamento determinano la potenza di mantenimento. La portata deve compensare le perdite senza essere eccessiva, perché valori troppo alti aumentano consumo elettrico e perdite di carico. Nei sistemi multi-zona diventano essenziali il bilanciamento dei singoli loop e l'isolamento durante i prelievi; nelle utenze discontinue assumono importanza fasce orarie, cicli di flussaggio e controllo della temperatura di ritorno.

L'integrazione con le fonti energetiche conferma il carattere sistemico dell'insieme. L'accumulo tecnico collegato alla FWS può ricevere energia da sorgenti diverse e separare la produzione termica dai picchi istantanei di ACS. Questa flessibilità è interessante nel passaggio verso pompe di calore, sistemi ibridi, solare termico e reti efficienti, ma la compatibilità non coincide automaticamente con l'efficienza. Temperature primarie più basse migliorano il rendimento della sorgente, ma riducono il margine sullo scambiatore. Sul lato distributivo, anche la stazione di ricircolo deve evitare di trasformare il comfort in una dispersione continua: isolamento, orari, modulazione e ampiezza della zona mantenuta in temperatura determinano il bilancio energetico reale. [10, 16, 20]

La rete di distribuzione è il luogo nel quale l'efficienza teorica della produzione incontra l'esperienza reale dell'utente. Una FWS correttamente dimensionata non elimina l'acqua raffreddata contenuta nelle tubazioni a valle. Negli edifici compatti, una rete senza ricircolo può ridurre dispersioni e complessità; nelle reti estese, un ricircolo tradizionale ben isolato e bilanciato può essere necessario.

La stazione di ricircolo occupa lo spazio intermedio: è utile quando si deve mantenere in temperatura una zona locale, ma un ritorno convenzionale è impedito da contatori divisionali, differenze di pressione, vincoli di spazio o necessità di conservare la separazione idraulica. Se il ricircolo tradizionale è semplice e corretto, la stazione locale può non essere necessaria.

Queste considerazioni spiegano perché la convenienza vari tra gli edifici. In una piccola abitazione con terminali vicini, né una FWS molto evoluta né una stazione di ricircolo dedicata sono necessariamente giustificate. In un condominio diventano importanti contemporaneità, contabilizzazione, rami terminali e zone di pressione. In hotel, uffici e strutture sanitarie, uso discontinuo, aree poco occupate, tracciabilità e continuità possono rendere utili FWS modulari e stazioni di ricircolo per zone critiche. Negli edifici esistenti, la possibilità di intervenire localmente senza ricostruire l'intero ritorno ACS può inoltre rendere la stazione di ricircolo una soluzione tecnicamente ed economicamente interessante.

L'analisi della componentistica ha mostrato che l'affidabilità dipende dall'intero sistema. Per la FWS sono decisivi puffer, portata primaria, filtrazione, sensori e protezione dello scambiatore. Per la stazione di ricircolo assumono particolare importanza pompa secondaria, valvole di ritegno e isolamento, bilanciamento, vaso di espansione, sonde e logica di comando. In entrambi i casi, incrostazioni, accessi insufficienti o componenti non verificabili possono compromettere le prestazioni. La manutenibilità deve quindi essere progettata attraverso spazi, sezionamenti, scarichi, punti di misura e procedure definite prima dell'installazione.

Il confronto economico completa questa lettura. Energia termica, consumi elettrici ausiliari, dispersioni del ricircolo, acqua sprecata durante l'attesa, manutenzione e conseguenze dei disservizi concorrono al costo effettivo. Una stazione di ricircolo comporta investimento, pompaggio e manutenzione, ma può evitare un rifacimento invasivo della rete, preservare la contabilizzazione e intervenire solo sulle zone critiche. Il criterio più solido resta quello del minimo costo globale coerente: la configurazione che raggiunge il livello di igiene, comfort e affidabilità richiesto con il costo complessivo più ragionevole lungo la vita utile. [12, 19]

Da questo principio deriva un metodo di progetto su due livelli. Il primo riguarda la produzione: profilo dei prelievi, contemporaneità, temperature, sorgente, puffer e potenza di scambio definiscono la FWS più coerente. Il secondo riguarda la distribuzione: lunghezze,

tempi di attesa, dispersioni, ricircolo esistente, contabilizzazione e pressioni determinano se serva una rete senza ricircolo, un ritorno tradizionale o una stazione locale. Seguono le verifiche comuni di qualità dell'acqua, manutenzione, monitoraggio e costo globale. Partire dal prodotto espone al rischio di adattare l'edificio alla soluzione scelta, anziché progettare la soluzione sul problema reale.

Il risultato della tesi non è quindi l'individuazione di una configurazione vincente, ma la definizione delle condizioni che rendono appropriate entrambe le tecnologie. La FWS è convincente quando serve separare accumulo energetico e acqua sanitaria, integrare sorgenti efficienti o affrontare carichi discontinui. La stazione di ricircolo è coerente quando occorre mantenere una zona locale senza attraversare contatori o unire circuiti a pressione diversa. Se questi problemi non esistono, soluzioni più semplici possono essere preferibili. Riconoscere i limiti applicativi rende l'impiego di FWS e stazioni di ricircolo più credibile e tecnicamente fondato.

14.1 Limiti e prospettive di sviluppo

Il lavoro ha adottato un approccio tecnico, normativo e comparativo, utile a costruire un quadro progettuale unitario ma non sostitutivo della verifica sperimentale. Le prestazioni reali dipendono da variabili difficili da riprodurre interamente attraverso dati nominali: abitudini degli utenti, temperatura dell'acqua fredda, qualità dell'acqua, taratura, degrado dello scambiatore, stratificazione effettiva e comportamento dinamico della sorgente. Anche il confronto economico è stato mantenuto su un piano qualitativo, poiché prezzi, tariffe e costi di manutenzione cambiano nel tempo e tra contesti diversi. Le conclusioni devono quindi essere lette come criteri di scelta e di verifica, non come valori universali. [5, 10, 17, 21]

Uno sviluppo naturale consiste nel monitoraggio di impianti reali per periodi sufficientemente lunghi. Per le FWS sarebbero rilevanti portate sanitarie, temperature del puffer, ritorno primario, assorbimenti e stabilità del setpoint, soprattutto con pompe di calore a bassa temperatura. Per le stazioni di ricircolo dovrebbero essere misurati temperatura del loop e del ritorno, ore di pompaggio, dispersioni, tempi di attesa, acqua risparmiata e comportamento durante i prelievi. Modelli TCO basati su casi reali consentirebbero di quantificare il rapporto tra investimento, consumi, manutenzione, opere evitate e continuità del servizio.

Il monitoraggio digitale è utile se finalizzato alla gestione. Temperature, portate ed eventi possono rivelare degrado e squilibri. La complessità aggiuntiva è giustificata soltanto quando i dati sostengono manutenzione, documentazione o il miglioramento di una prestazione misurabile.

14.2 Considerazione conclusiva

La riflessione complessiva porta a spostare l'attenzione dall'apparecchio al servizio e a riconoscere due scale complementari. La prima è la produzione, nella quale la FWS trasferisce all'acqua sanitaria l'energia accumulata sul circuito tecnico. La seconda è la distribuzione, nella quale la stazione di ricircolo mantiene in temperatura soltanto un circuito locale che non può essere servito correttamente da un ritorno convenzionale. Un sistema ACS di qualità coordina queste scale e rende disponibile l'acqua richiesta, alla temperatura corretta, nel tempo atteso e con un livello di rischio compatibile con la destinazione dell'edificio. [13, 28]

La qualità complessiva può essere letta attraverso tre grandezze. La prima è la quantità di acqua sanitaria mantenuta calda senza richiesta, che la FWS riduce sul lato della produzione e che il ricircolo deve limitare ai volumi realmente necessari. La seconda è la temperatura richiesta alla sorgente e mantenuta nella rete, dalla quale dipendono rendimento, capacità di scambio e sicurezza igienica. La terza è il tempo tra la domanda dell'utente e la disponibilità effettiva dell'ACS. Una soluzione equilibrata non minimizza una sola grandezza a scapito delle altre, ma le rende compatibili con il profilo dell'edificio.

Questa prospettiva ha una conseguenza professionale importante. Progettare un sistema ACS significa tradurre aspettative spesso generiche, come comfort, igiene ed efficienza, in requisiti verificabili: portata minima garantita, stabilità della temperatura, tempo massimo di attesa, condizioni del ritorno primario, livelli di ridondanza e modalità di manutenzione. La qualità della scelta può essere dimostrata soltanto se questi requisiti vengono controllati durante la messa in servizio e confrontati con il comportamento reale dell'impianto. Il progetto non termina quindi con la selezione dei componenti, ma con la verifica del servizio che essi riescono a fornire insieme.

FWS e stazioni di ricircolo offrono risposte coerenti a questa esigenza su livelli diversi. La prima consente di accumulare energia senza trasformare grandi volumi di acqua potabile in riserva termica; la seconda permette di mantenere in temperatura una zona locale senza

alterare misura, pressioni o separazioni idrauliche. Il loro valore non è automatico e non può essere attribuito al singolo modulo. Nasce dalla relazione tra sorgente, puffer, scambio, pompaggi, valvole, distribuzione e gestione. Quando queste parti non sono coordinate, anche una soluzione avanzata rimane un componente inserito in un sistema debole.

Nel percorso di decarbonizzazione degli edifici, coordinare produzione e distribuzione assume un'importanza crescente. La riduzione del fabbisogno per il riscaldamento aumenta il peso relativo dell'ACS sul bilancio complessivo. Diventa quindi meno accettabile compensare un progetto poco accurato con temperature elevate, accumuli sovradimensionati o ricircoli continuamente attivi. La FWS può valorizzare sorgenti efficienti; la stazione di ricircolo può concentrare il mantenimento termico nelle zone che ne hanno bisogno. Il risultato dipende però dal controllo delle perdite di rete e dei consumi ausiliari. L'innovazione utile riduce l'energia senza trasferire il costo su comfort, acqua o sicurezza.

La conclusione più importante è quindi semplice: un sistema ACS evoluto accumula energia invece di grandi volumi di acqua potabile e mantiene in temperatura soltanto le porzioni di rete che ne hanno realmente bisogno. Le FWS e le stazioni di ricircolo operano su questi due livelli complementari, produzione e distribuzione. Diventano davvero efficaci quando restano parti coordinate di un progetto consapevole e non sostituti del progetto stesso. [18, 21]

Bibliografia

Legislazione e atti ufficiali

[1] PARLAMENTO EUROPEO; CONSIGLIO DELL'UNIONE EUROPEA. Direttiva (UE) 2020/2184 del 16 dicembre 2020 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, L 435, 23 dicembre 2020,

[2] ITALIA. Decreto legislativo 23 febbraio 2023, n. 18. Attuazione della direttiva (UE) 2020/2184 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano, come modificato dal decreto legislativo 19 giugno 2025, n. 102. Gazzetta Ufficiale, Serie generale n. 55, 6 marzo 2023; decreto correttivo in Serie generale n.153, Supplemento ordinario n.24, 4 luglio 2025. Testo vigente.

[3] MINISTERO DELLA SALUTE. Decreto 6 aprile 2004, n. 174. Regolamento concernente i materiali e gli oggetti che possono essere utilizzati negli impianti fissi di captazione, trattamento, adduzione e distribuzione delle acque destinate al consumo umano. Gazzetta Ufficiale, Serie generale n. 166, 17 luglio 2004.

[4] MINISTERO DELLA SALUTE; CONFERENZA STATO–REGIONI. Linee guida per la prevenzione ed il controllo della legionellosi. Accordo del 7 maggio 2015, pubblicato il 13 maggio 2015.

Norme tecniche

[5] UNI 9182:2014. Impianti di alimentazione e distribuzione d'acqua fredda e calda - Progettazione, installazione e collaudo. Milano: UNI, 2014.
[6] UNI EN 806. Specifiche relative agli impianti all'interno di edifici per il convogliamento di acque destinate al consumo umano. Parti considerate: UNI EN 806-2:2008, Progettazione, con EC 1-2023; UNI EN 806-3:2008, Dimensionamento delle tubazioni - Metodo semplificato; UNI EN 806-5:2012, Esercizio e manutenzione. Milano: UNI, 2008-2012.
[7] UNI EN 1717:2025. Protezione dall'inquinamento dell'acqua destinata al consumo umano negli impianti di acqua potabile e requisiti generali dei dispositivi atti a prevenire l'inquinamento da riflusso. Milano: UNI, 2026. La nuova edizione è in vigore dal 30 luglio 2026.
[8] UNI 8065:2019. Trattamento dell'acqua negli impianti per la climatizzazione invernale ed estiva, per la produzione di acqua calda sanitaria e negli impianti solari termici, con EC 1-2019. Milano: UNI, 2019.
[9] UNI EN 12828:2014. Impianti di riscaldamento negli edifici - Progettazione dei sistemi di riscaldamento ad acqua. Milano: UNI, 2014.
[10] UNI EN 12831-3:2018. Prestazione energetica degli edifici - Metodo di calcolo del carico termico di progetto - Parte 3: Carico termico dei sistemi di acqua calda sanitaria e caratterizzazione dei fabbisogni, Moduli M8-2, M8-3. Milano: UNI, 2018.
[11] UNI EN ISO 12241:2022. Isolamento termico per gli impianti negli edifici e per le installazioni industriali - Metodi di calcolo, con EC 1-2023. Milano: UNI, 2022.
[12] UNI EN 15459-1:2018. Prestazione energetica degli edifici - Procedura di valutazione economica per i sistemi energetici negli edifici - Parte 1: Procedure di calcolo, Modulo M1-14. Milano: UNI, 2018.

Linee guida e letteratura scientifica

[13] Gruppo di lavoro ad hoc sulla sicurezza dell'acqua nei sistemi di distribuzione idrica interni degli edifici e di talune navi. Linee guida per la valutazione e la gestione del rischio per la sicurezza dell'acqua nei sistemi di distribuzione interni degli edifici prioritari e non prioritari e in talune navi ai sensi della Direttiva (UE) 2020/2184. Roma: Istituto Superiore di Sanità, 2022. Rapporti ISTISAN 22/32, xiv, 161
[14] ASHRAE. 2023 ASHRAE Handbook - HVAC Applications, Chapter 51, "Service Water Heating". Peachtree Corners, GA: ASHRAE, 2023.

Manuali e letteratura scientifica

[15] SIEGENTHALER, John. Modern Hydronic Heating and Cooling: For Residential and Light Commercial Buildings. 4th ed. Boston: Cengage, 2023. ISBN 978-1-337-90491-9.

[16] SEKULIĆ, Dušan P.; SHAH, Ramesh K. Fundamentals of Heat Exchanger Design. 2nd ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2023. ISBN 978-1-119-88326-5.

[17] FUENTES, E.; ARCE, L.; SALOM, J. A review of domestic hot water consumption profiles for application in systems and buildings energy performance analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018, vol. 81, part 1

[18] YANG, X.; LI, H.; SVENDSEN, S. Decentralized substations for low-temperature district heating with no Legionella risk, and low return temperatures. Energy, 2016, vol. 110.

[19] BENAKOPOULOS, T.; VERGO, W.; TUNZI, M.; SALENBIEN, R.; SVENDSEN, S. Overview of solutions for the low-temperature operation of domestic hot-water systems with a circulation loop. Energies, 2021, vol. 14, n. 11, art. 3350.

Pubblicazioni tecniche Caleffi

[20] CALEFFI S.p.A. Idraulica, n. 66, La produzione dell'acqua calda sanitaria: sistemi attuali e futuri. Fontaneto d'Agogna: Caleffi, luglio 2024.
[21] CALEFFI S.p.A. Idraulica, n. 59, Reti di distribuzione acqua calda e fredda sanitaria: dal progetto all'applicazione. Fontaneto d'Agogna: Caleffi, gennaio 2021.
[22] CALEFFI S.p.A. Idraulica, n. 67, La distribuzione dell'acqua potabile. Nuovo decreto n. 18, febbraio 2023. Fontaneto d'Agogna: Caleffi, 2025.
[23] CALEFFI S.p.A. Idraulica, n. 60, Protezione della rete idrica, fino al rubinetto. Fontaneto d'Agogna: Caleffi, 2021.
[24] CALEFFI S.p.A. Idraulica, n. 52, Riqualificazione impianti - Disinfezione termica. Fontaneto d'Agogna: Caleffi, 2017.
[25] CALEFFI S.p.A. Idraulica, n. 50, Le reti di distribuzione degli impianti idrosanitari. Fontaneto d'Agogna: Caleffi, 2016.
[26] CALEFFI S.p.A. Idraulica, n. 53, Le pompe di circolazione. Fontaneto d'Agogna: Caleffi, 2017.
[27] CALEFFI S.p.A. Idraulica, n. 55, La pressione di distribuzione nelle reti di acqua sanitaria. Fontaneto d'Agogna: Caleffi, 2018.
[28] CALEFFI S.p.A. Idraulica, n. 56, La regolazione degli impianti. Fontaneto d'Agogna: Caleffi, 2019.
[29] CALEFFI S.p.A. Idraulica, n. 57, Strategie di regolazione degli impianti. Fontaneto d'Agogna: Caleffi, 2019.
[30] CALEFFI S.p.A. Idraulica, n. 64, Pompe di calore aria-acqua: efficienza e retrofit degli impianti. Fontaneto d'Agogna: Caleffi, 2023.

[31] CALEFFI S.p.A. Dispositivi di protezione anti riflusso. Guida monografica, cod. 03195, 32 p. Fontaneto d'Agogna: Caleffi, 2024.
[32] CALEFFI S.p.A. Riduttori di pressione per impianti idrosanitari. Guida monografica, cod. 03301, Fontaneto d'Agogna: Caleffi, 2024.
[33] CALEFFI S.p.A. Componenti per impianti a pompa di calore. Guida monografica, cod. 03313, Fontaneto d'Agogna: Caleffi, 2025.

Elenco degli acronimi e delle abbreviazioni

Acronimo	Significato
ACS	Acqua calda sanitaria
AFS	Acqua fredda sanitaria
BMS	Building Management System - Sistema di supervisione dell'edificio
CAPEX	Capital Expenditure - costi di investimento iniziale
COP	Coefficient of performance - Coefficiente di prestazione
D.Lgs	Decreto legislativo
EN	Norma europea
FWS	Fresh Water Station
GIDI	Gestore della distribuzione idrica interna
HVAC	Heating, Ventilation and air conditioning - Riscaldamento, ventilazione e condizionamento
ISO	International Organization for standardization
OPEX	Operating Expenditure - costi operativi
PID	Proportional-Integral-Derivative - regolazione proporzionale, integrale e derivativa
PWM	Pulse Width Modulation - modulazione a larghezza d'impulso
SCOP	Seasonal Coefficient of performance - Coefficiente di prestazione stagionale
TCO	Total Cost of Ownership - costo totale di proprietà
UE	Unione Europea
UNI	Ente Italiano di Normazione

Nomenclatura delle grandezze e dei simboli di calcolo

Simbolo	Definizione	Unità di misura
$\dot{V}_{mix}$	Portata volumetrica di acqua miscelata richiesta al punto d'uso.	L/min
$\dot{V}_{ACS}$	Portata volumetrica di acqua calda sanitaria prodotta dalla FWS.	L/min
T_{mix}	Temperatura dell'acqua miscelata richiesta al punto d'uso.	°C
T_{AFS}	Temperatura dell'acqua fredda sanitaria in ingresso.	°C
T_{ACS}	Temperatura dell'acqua calda sanitaria prodotta.	°C
P_{ACS}	Potenza termica effettivamente trasferita all'acqua sanitaria.	kW
η_{sc}	Rendimento termico dello scambiatore nel punto di progetto.	-
$P_{prim,rich}$	Potenza termica richiesta sul circuito primario della FWS.	kW
$\dot{V}_{prim}$	Portata volumetrica richiesta sul circuito primario.	L/h
ΔT_{prim}	Differenza tra le temperature di mandata e di ritorno del circuito primario.	K
P_{picco}	Potenza termica complessiva richiesta al circuito tecnico durante il picco.	kW
$P_{ric,sim}$	Quota della potenza di ricircolo effettivamente simultanea al massimo prelievo.	kW
$P_{gen,utile}$	Potenza utile realmente fornita dal generatore durante il picco, al netto degli altri servizi.	kW
E_{def}	Energia che deve essere resa disponibile dal puffer durante il picco.	kWh
t_{picco}	Durata del periodo di massimo prelievo.	h
V_{puffer}	Volume geometrico richiesto per il puffer tecnico.	m³
ΔT_{utile}	Escursione termica del puffer effettivamente utilizzabile dalla FWS.	K
η_{util}	Coefficiente di utilizzazione del puffer, comprensivo degli effetti della stratificazione e dei volumi non utilizzabili.	-
E_{reint}	Energia da reintegrare nel puffer dopo il prelievo.	kWh
P_{ecc}	Potenza residua disponibile per la ricarica del puffer.	kW
t_{rip}	Tempo minimo teorico necessario per il ripristino energetico del puffer.	h
P_{ric}	Potenza termica necessaria a compensare le dispersioni del circuito di ricircolo.	kW
$\dot{V}_{ric}$	Portata volumetrica del circuito di ricircolo.	m³/h
T_{mand}	Temperatura dell'ACS sulla mandata del circuito di ricircolo.	°C
T_{rit}	Temperatura dell'ACS sul ritorno del circuito di ricircolo.	°C
0,0698	Coefficiente per ottenere la potenza in kW con portata in L/min e differenza di temperatura in K.	kW/(L/min·K)
1,163	Energia accumulata da un metro cubo d'acqua per ogni kelvin di differenza.	kWh/(m³·K)
860	Coefficiente per ottenere la portata in L/h dalla potenza in kW e dal salto termico in K.	L·K/kWh

Legenda dei simboli degli schemi impiantistici

COMPONENTE	DESCRIZIONE
	• Accumulo
	• Scambiatore di calore
	• Centralina
	• Riduttore di pressione
	• Pompa
	• Valvola di intercettazione
	• Valvola di ritegno
	• Valvola miscelatrice elettronica
	• Valvola miscelatrice termostatica
	• Sensore di portata
	• Vaso di espansione
	• Regolatore di portata
	• Gruppo di pressurizzazione
	• Generatore di calore

COMPONENTE	DESCRIZIONE
	• Mandata acqua calda tecnica
	• Ritorno acqua calda tecnica
	• Acqua calda sanitaria
	• Acqua fredda sanitaria
	• Acqua calda sanitaria proveniente dall'accumulo o dal generatore di calore
	• Circuito di ricircolo
	• Circuito di ricircolo centralizzato