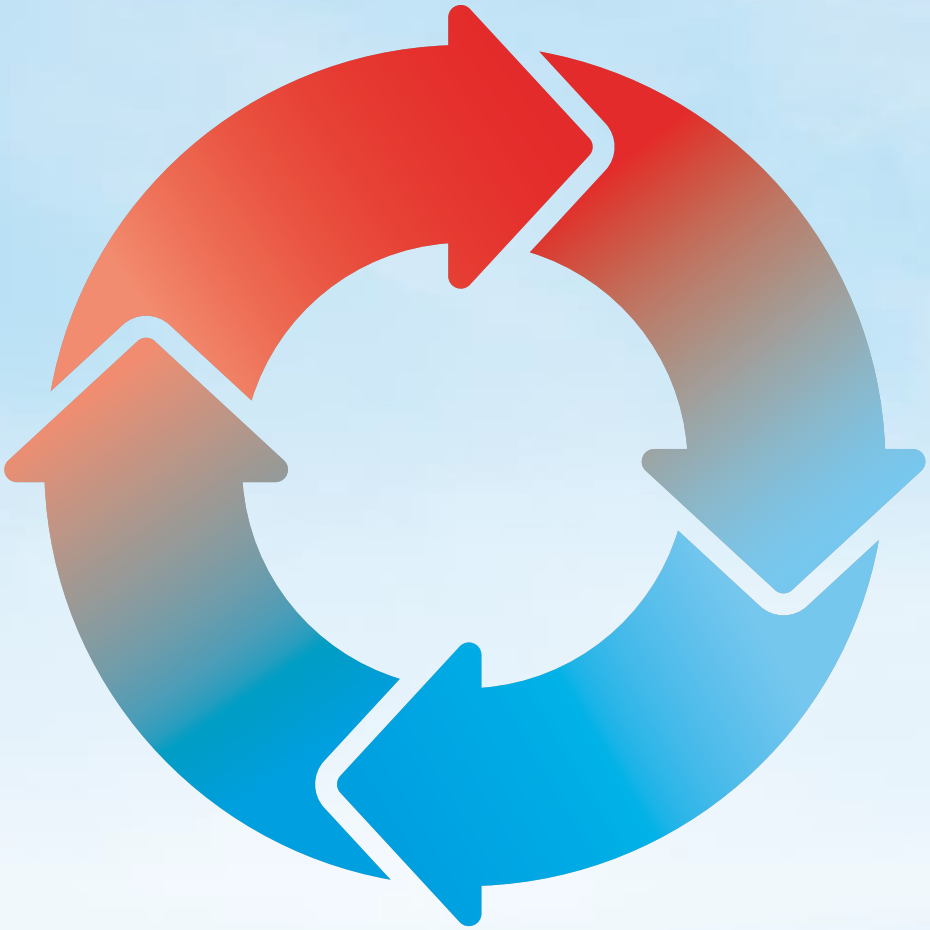
Genkinger (editore) I Alimpic I Messmer I Zgraggen I Zogg

Pompe di calore

progettazione, ottimizzazione, esercizio, manutenzione



faktor
Architektur Technik Energie

EnDK
Conferenza dei direttori cantonali dell'energia

svizzeraenergia

Impressum

Pompe di calore – progettazione, ottimizzazione, esercizio, manutenzione

Autori e autrici
Revisione 2026: Andreas Genkinger (coordinamento generale), Zoran Alimpic, Christoph Messmer, Lorenzo Zgraggen, David Zogg
Edizione 2018: Ralf Dott (coordinamento generale), Thomas Afjei, Zoran Alimpic, Andreas Genkinger, Peter Hubacher, Rita Kobler

Editing e impaginazione: Faktor Verlag, Zurigo; René Mosbacher, Christine Sidler

Traduzione: Teconia GmbH

Rilettura: Milton Generelli, Saverio Bechtiger e Simone Maroli, TicinoEnergia

Immagine titolo: Pixabay/Faktor Verlag

Questa pubblicazione fa parte della collana specializzata «Costruzione e ammodernamento sostenibile» (Nachhaltiges Bauen und Erneuern). La pubblicazione è stata finanziata dall'Ufficio federale dell'energia UFE/SvizzeraEnergia e dalla Conferenza dei direttori cantonali dell'energia (EnDK).

Comanda: Download (gratuito) da www.svizzeraenergia.ch oppure disponibile come libro dal Faktor Verlag: www.faktor.ch

6a edizione completamente rivista e integrata, settembre 2026
ISBN: 978-3-907944-05-9

Con il sostegno di

APP

SWKI

suissetec

ProKlima

brenet

SVK ASF ATF
Schweizerischer Verband für Kältetechnik

GebäudeKlima Schweiz
ImmoClimat Suisse
ImmoClima Svizzera

SVLW
Schweizerischer Verein Luft- und Wasserhygiene

Indice

1. Basi 5
1.1 Ciclo 5
1.2 Limiti del sistema e valori di riferimento 8
1.3 Norme 10

2. Componenti 17
2.1 Compressore 17
2.2 Scambiatore di calore 19
2.3 Valvole di laminazione 21
2.4 Dispositivi di sicurezza 22
2.5 Ulteriori componenti 22
2.6 Dispositivi di sbrinamento 23
2.7 Tipologie costruttive di pompe di calore 24
2.8 Processi alternativi 24

3. Refrigerante 25
3.1 Proprietà 25
3.2 Denominazione dei refrigeranti secondo l'ente ASHRAE 27
3.3 Scelta del fluido agente 27
3.4 Refrigeranti naturali 27
3.5 Capacità massima di refrigerante secondo la norma SN EN 378-1 32
3.6 Effetto serra e indice TEWI 33
3.7 Life Cycle Climate Performance (LCCP) 34
3.8 Ulteriori impatti ambientali: PFAS e TFA 35
3.9 Quadro giuridico e sviluppi 35
3.10 Ulteriori informazioni 38

4. Fonti di calore 39
4.1 Aria esterna 39
4.2 Calore della terra 40
4.3 Acqua di falda 47
4.4 Calore residuo 51
4.5 Raffreddamento dell'edificio 52
4.6 Fonti 60

5. Erogazione del calore 61
5.1 Riscaldamento ad acqua calda 62
5.2 Impianti di ventilazione meccanica 65
5.3 Acqua calda sanitaria 66
5.4 Altri sistemi 69

6. Pompa di calore agli impianti 71
6.1 Principio 71
6.2 Esercizio 71
6.3 Idraulica 74
6.4 Pompe di circolazione 80

7. Integrazione nel sistema fotovoltaico 81
7.1 Introduzione 81
7.2 Integrazione della pompa di calore 84
7.3 Modalità di funzionamento delle pompe di calore 85
7.4 Interfacce 87
7.5 Prospettive 89
7.6 Fonti 90

8. Acustica e protezione fonica 91
8.1 Valori limiti legali 91
8.2 Provvedimenti per la riduzione delle emissioni foniche 92

9. Progettazione 97
9.1 Marchio di qualità APP/EHPA 97
9.2 Modulo di sistema per pompe di calore 97
9.3 WPesti 98
9.4 Strumenti di progettazione 98
9.5 Fornitura di energia elettrica 99
9.6 Centrale termica 100
9.7 Economicità 100
9.8 Controllo delle prestazioni 102

10. Messa in funzione 109
10.1 Fase prima della messa in funzione 110
10.2 Preparazione della messa in funzione 110
10.3 Fonte di calore ed erogazione del calore 111
10.4 Messa in funzione della pompa di calore 111
10.5 Protocollo di messa in funzione 112
10.6 Istruzioni per l'uso 112
10.7 Protocollo di collaudo 113
10.8 Documentazione dell'impianto 114

11. Esercizio 117
11.1 Esercizio e controllo delle prestazioni 117
11.2 Controllo dell'esercizio 117
11.3 Manutenzione 117
11.4 Esercizio ottimale 118
11.5 Guasti e risoluzione dei problemi 121

12. Impianti per potenze più elevate 123
12.1 Informazioni generali 123
12.2 Integrazione 123
12.3 Edifici singoli 124
12.4 Progetti costruttivi 128
12.5 Sistemi di riscaldamento a distanza e di prossimità 129
12.6 Applicazioni industriali 129
12.7 Progettazione e realizzazione 129

13. Casi esemplari 133
13.1 Impianti di piccole dimensioni 133
13.2 Impianti più complessi 138

14. Allegato 147
14.1 Autori 147
14.2 Abbreviazioni 148
14.3 Indice 150

Premessa

Molto è stato fatto

Dalla prima edizione di questo testo datata 2008 è cambiato molto: oggi le pompe di calore sono diventate, per così dire, come il coltellino svizzero, per il riscaldamento, il raffreddamento e la fornitura di acqua calda agli edifici in modo ecologico. Grazie alle innovazioni tecnologiche, vengono ormai integrate in modo predominante non solo nei nuovi edifici, ma anche in quelli già esistenti. E sono ancora lungi dall'essere esaurite le possibilità offerte dalle pompe di calore nell'utilizzo del calore residuo, ad esempio quello proveniente dai centri di calcolo che attualmente stanno sorgendo ovunque.

Per sfruttare tutti i vantaggi in termini di protezione del clima, efficienza energetica e costi di esercizio, le pompe di calore devono essere progettate, installate e gestite in modo ottimale da personale qualificato. L'elemento essenziale per ottenere soluzioni efficaci è di norma la collaborazione interdisciplinare tra tutti i soggetti coinvolti nella progettazione e nella realizzazione. Vi rientrano in particolare architetti, tecnici e installatori. Grazie alle conoscenze e alle competenze acquisite, un team di questo tipo sarà in grado di fornire agli investitori, ai proprietari di immobili e alle agenzie per la gestione immobiliare le soluzioni migliori per la fornitura di calore e freddo.

L'obiettivo di questo testo era e rimane quello di trasmettere in modo comprensibile le conoscenze relative alle pompe di calore a un vasto pubblico di esperti. Con la nuova edizione, questo affermato testo di riferimento è ora disponibile in una versione aggiornata. Sono stati aggiunti due nuovi capitoli: uno sull'abbinamento di pompe di calore e impianti fotovoltaici e uno sulla progettazione di grandi impianti. Sono stati ampiamente modificati i capitoli sui refrigeranti, sull'etichetta energetica, sulla direttiva europea sulla progettazione ecocompatibile e sul raffreddamento degli edifici. Sono stati inseriti alcuni esempi pratici. E, naturalmente, tutti i contenuti sono stati aggiornati alle disposizioni di legge, alle norme e alle direttive attualmente in vigore.

Capitolo 1

Basi

1.1 Ciclo

Il procedimento principalmente utilizzato oggi nella tecnica delle pompe di calore è il ciclo di compressione del vapore saturo. Un fluido frigorigeno evapora in questo caso nella parte fredda del ciclo, assorbendo una quantità di calore d'evaporazione più grande possibile ($\dot{Q}_{MF}$). Per compressione, viene nuovamente liquefatto sul lato caldo, rilasciando calore di condensazione ($\dot{Q}_{PdC}$). In seguito, viene nuovamente espanso in una valvola di laminazione fino alla pressione di evaporazione. In tutti gli impianti che funzionano secondo questo principio, viene sfruttata la dipendenza della temperatura di evaporazione, rispettivamente di condensazione, dalla pressione del fluido frigorigeno. Un simile sistema può essere rappresentato in modo semplificato come nella Figura 1.1. Lavoro e calore sono valori di processo. Essi rappresentano le possibili forme di trasporto dell'energia nei limiti del sistema. Energia E, lavoro L e calore Q hanno come unità il Joule (J).

- Energia interna u: L'energia specifica interna, quale grandezza di stato calorifico, rappresenta la riserva di energia di un sistema termodinamico (kJ / kg).
- Entalpia h: L'entalpia specifica, quale grandezza di stato calorifico, è definita da $h = u + p \cdot V$.
- Exergia: L'energia racchiude exergia e anergia. L'exergia è quella parte di energia che in un ambiente prestabilito si lascia trasformare in qualsiasi forma di energia (ad es. elettricità per il compressore).
- Anergia: L'anergia é quella parte di energia, che in un ambiente prestabilito non si lascia trasformare in qualsiasi forma di energia (ad es. calore ambientale quale fonte di calore).
- Potenza P o $\dot{Q}$ è la parte di lavoro svolto o di calore convertito per unità di tempo, misurato in Watt (W).
- Entropia s: L'entropia misura l'irreversibilità e quindi la degradazione energetica in un processo.

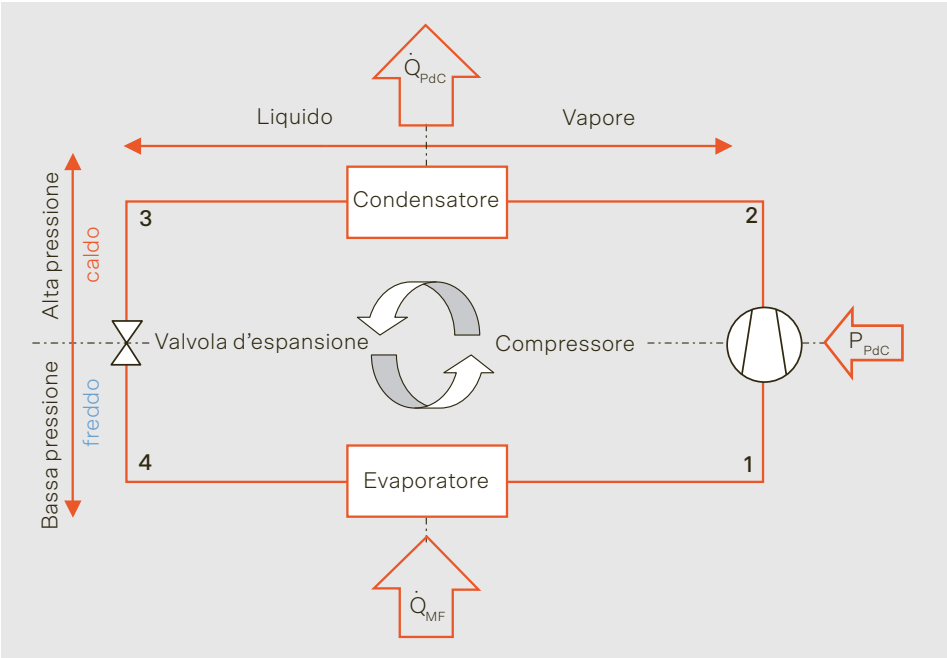


Figura 1.1: Principio del ciclo di compressione del vapore saturo.

Il ciclo di Carnot

Il ciclo ideale (ciclo inverso di Carnot) descrive il ciclo termodinamico ideale, privo di perdite. Per il ciclo di Carnot si determina il coefficiente di prestazione $\varepsilon_{C,PdC}$ per la modalità di riscaldamento (pompa di calore, impiego: calore) come segue:

$$\varepsilon_{C,PdC} = \left(\frac{\dot{Q}_{C,PdC}}{P_{C,mecc.}}\right)_{ideale} = \frac{T_C}{T_C - T_0}$$

La modalità di raffreddamento (macchina frigorifera, impiego: freddo) è sempre meno efficiente, perché in questo caso il calore del compressore non può essere utilizzato:

$$\varepsilon_{C,MF} = \left(\frac{\dot{Q}_{C,MF}}{P_{C,mecc.}}\right)_{ideale} = \frac{T_0}{T_C - T_0} = \varepsilon_{C,PdC} - 1$$

$\dot{Q}_{C,PdC}$ Potenza termica ceduta in kW
$\dot{Q}_{C,MF}$ Potenza frigorifera assorbita in kW
$P_{C,mecc.}$ Potenza meccanica fornita in kW
T_0 Temperatura di evaporazione in K
T_C Temperatura di condensazione in K

$\varepsilon_{C,PdC}$ ($\varepsilon_{C,MF}$) è un limite fisico ideale, in realtà le pompe di calore (macchine frigorifere) non possono mai raggiungere questo valore. Il rapporto tra il reale coefficiente di rendimento e quello di Carnot viene definito come grado di utilizzo η_{cr} (exergetico).

$$\eta_{PdC} = \frac{\varepsilon_{PdC}}{\varepsilon_{C,PdC}} \text{ risp. } \eta_{MF} = \frac{\varepsilon_{MF}}{\varepsilon_{C,MF}}$$

Il grado di utilizzo si situa generalmente tra 0,4 e 0,6.

Diagramma log p, h

Un diagramma log p, h rappresenta in modo chiaro il ciclo e mostra la relazione con le variabili di stato del fluido frigorigeno. Gli stati del fluido frigorigeno possono ad esempio essere ricavati dalla tabella di vapore del fluido frigorigeno corrispondente. La Figura 1.2 mostra l'andamento delle variabili di stato nei processi speciali, la Figura 1.3 mostra invece il ciclo privo di perdite di una pompa di calore sul diagramma log p, h, mentre il processo reale (con perdite) è rappresentato nella Figura 1.4. La rappresentazione è riferita al comportamento interno della macchina con le variazioni di stato del refrigerante (indice «R» nelle formule).
Il ciclo (linea blu) nella Figura 1.3, rispettivamente nella Figura 1.4, si svolge essenzialmente in quattro fasi:
- 1 – 2: compressione
- 2 – 3: liquefazione (condensazione)
- 3 – 4: espansione
- 4 – 1: evaporazione

Figura 1.2: Andamento delle grandezze di stato fisico nel diagramma log p, h.

Legenda:
log p: pressione in bar, scala logaritmica
s: entropia specifica in kJ/K/kg
h: entalpia specifica in kJ/kg
v: volume specifico in m^3/kg
t: temperatura in °C
x: parte di vapore in %

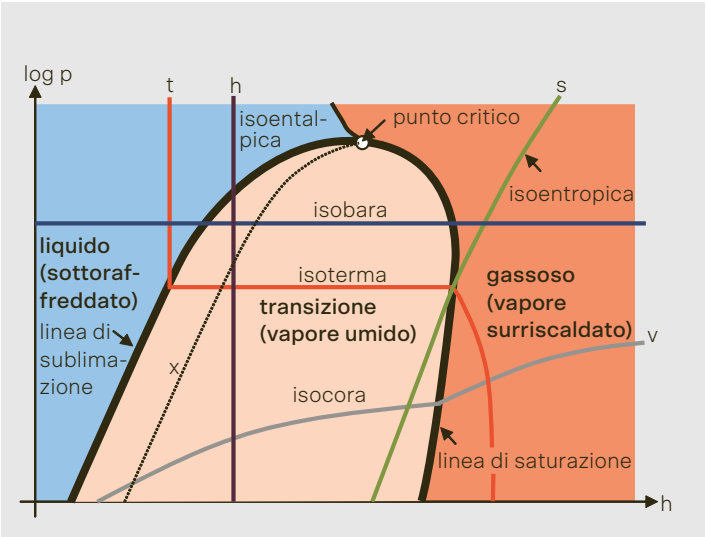
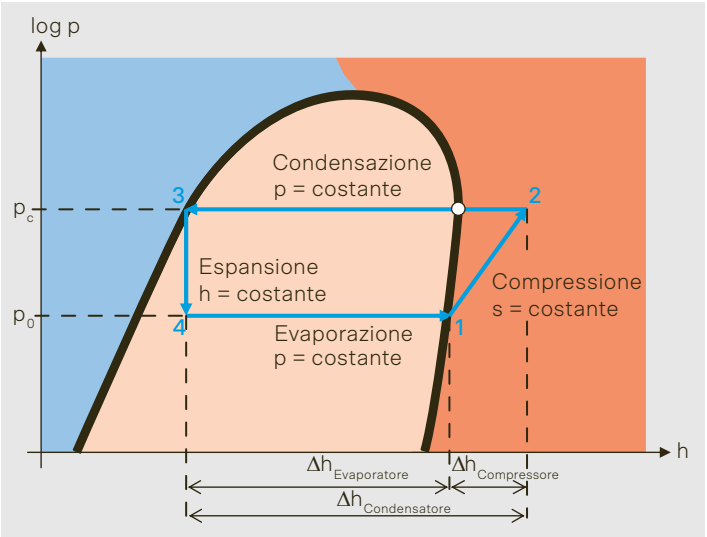


Figura 1.3: Il ciclo senza perdite nel diagramma log p, h.



$$\varepsilon_{R,PdC} = \frac{\dot{Q}_{R,PdC}}{P_{R,C}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

$\dot{Q}_{R,PdC}$ Potenza termica ceduta dal vapore del refrigerante in kW

$P_{R,C}$ Potenza assorbita dal refrigerante nel compressore in kW

h_1 Entalpia del fluido frigorigeno all'entrata del compressore in kJ / kg

h_2 Entalpia del fluido frigorigeno all'uscita del compressore in kJ / kg

h_3 Entalpia del fluido frigorigeno all'uscita del condensatore in kJ / kg

Nella Figura 1.4, concernente il processo reale, vi sono alcuni aspetti da tenere in considerazione:

– Per evitare che le gocce di fluido frigorigeno finiscano nel compressore e lo danneggino, è necessario surriscaldare il gas di aspirazione per alcuni tipi di compressori (punti 1'–1).

– Una parte del calore può essere estratta (spillata) a un livello di temperatura più alto, ossia al di sopra della temperatura di liquefazione, mediante un cosiddetto riscaldatore a gas caldo (punti 2–2').

Esempio: una pompa di calore funziona a 45 °C sul lato del condensatore; tuttavia, a seconda del fluido frigorigeno e del livello di carico, è possibile dedurre ca. dal 5 % al 15 % di questa potenza di riscaldamento mediante un desurriscaldatore a una temperatura superiore ai 60 °C. In questo modo si può riscaldare nuovamente l'acqua calda sanitaria.

Indicazione: il procedimento viene utilizzato solo in caso di pompe di calore di grandi dimensioni.

La Figura 1.5 mostra le condizioni di temperatura dei fluidi esterni (ad es.

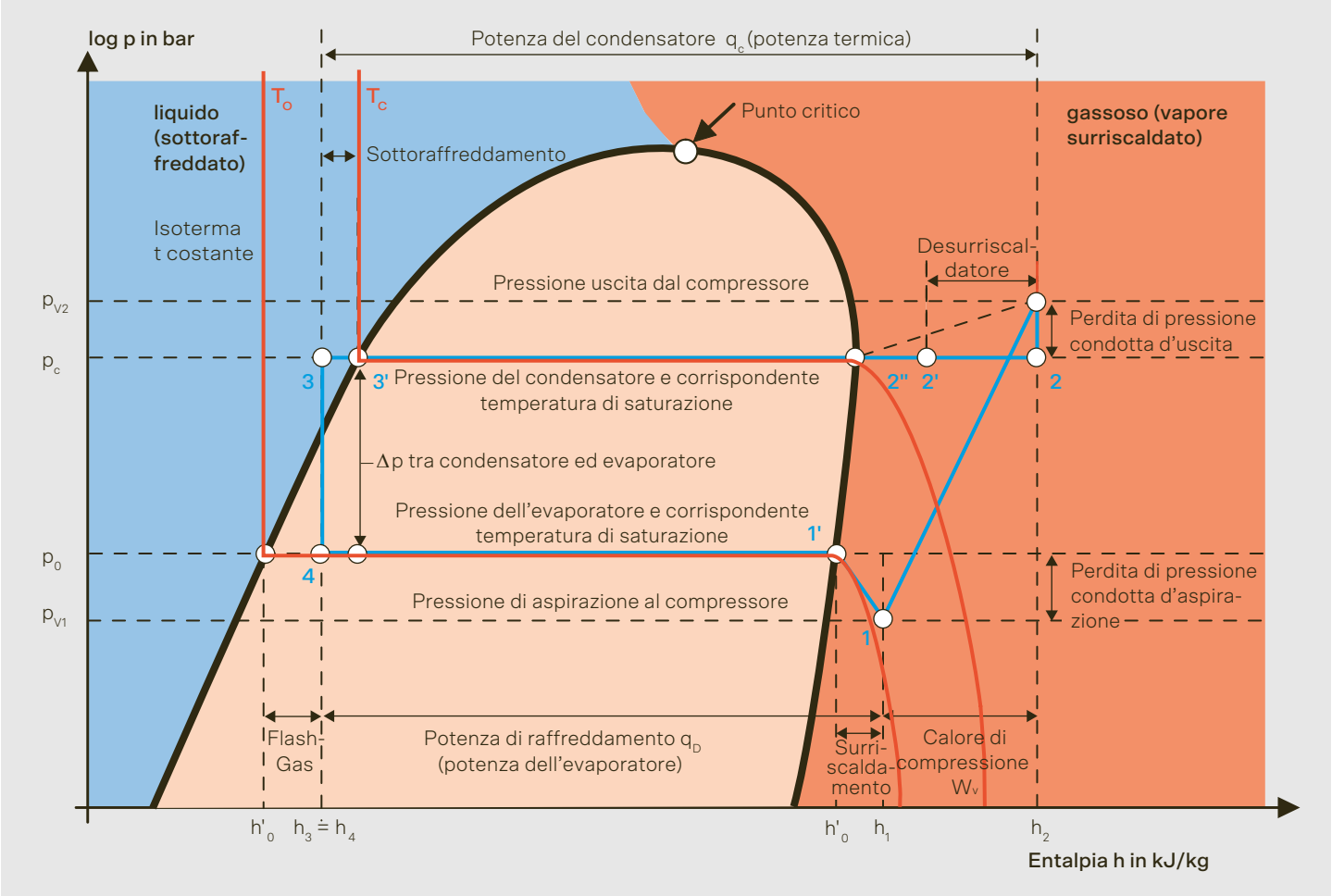


Figura 1.4: Il diagramma log p, h per il ciclo reale di un fluido frigorigeno.

l'acqua di riscaldamento) per una pompa di calore. Le temperature medie del fluido al condensatore / evaporatore sono sempre più basse/alte di quelle del fluido frigorigeno (T_c / T_o). Queste differenze di temperatura (differenziali) dipendono dal tipo di costruzione dello scambiatore di calore e dal fluido esterno. La temperatura di entrata nell'evaporatore e la temperatura di uscita dal condensatore sono contrassegnate in maniera particolare: queste temperature sono riportate nelle schede tecniche insieme agli indicatori di prestazione per questo punto di funzionamento.

1.2 Limiti del sistema e valori di riferimento

Gli indicatori di efficienza più comuni per gli impianti a pompa di calore nell'uso quotidiano sono il COP (Coefficient of Performance, coefficiente di prestazione) e il coefficiente di lavoro annuo (CLA). Il COP è definito in maniera chiara secondo la norma EN 14511, ovvero come rapporto tra la potenza erogata e la potenza assorbita in un determinato punto di funzionamento. Il coefficiente di lavoro annuo (CLA) corrisponde univocamente al grado di utilizzo (ovvero al rapporto tra energia fornita e consumo

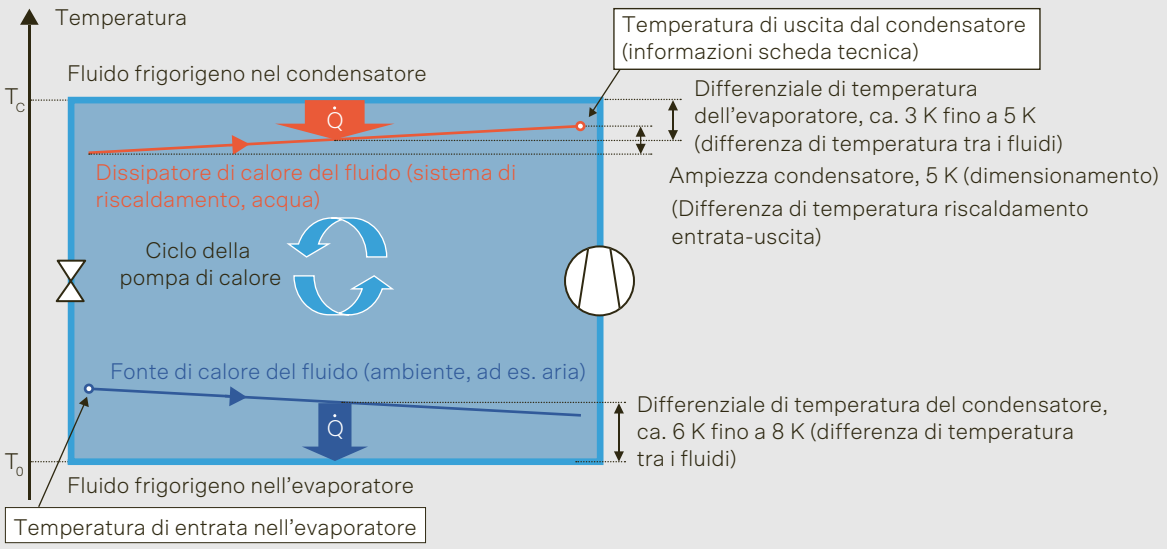


Figura 1.5: Temperature e flussi di energia in una pompa di calore. (Fonte: FHNW INEB)

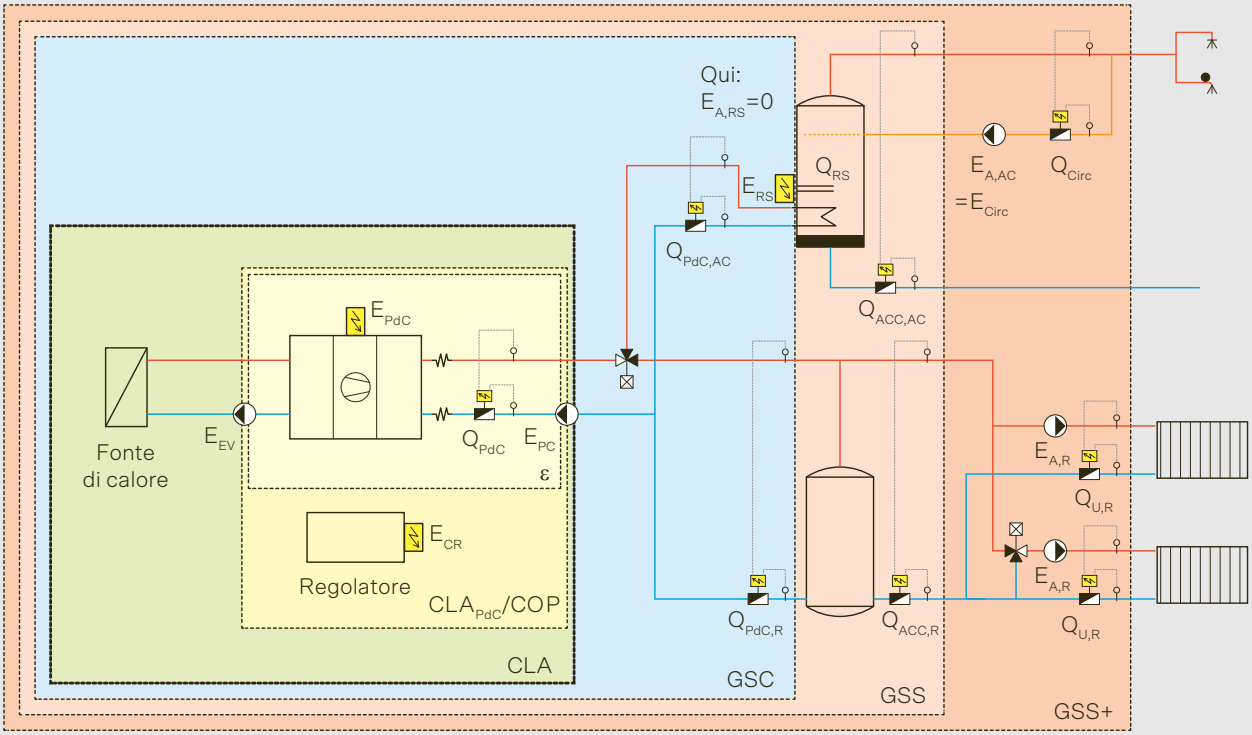
Potenze (valori istantanei o medi per un breve intervallo)

$\dot{Q}_{PdC}$	Potenza di riscaldamento della PdC
P_{PdC}	Potenza assorbita dal compressore della PdC
(P_E)	Percentuale potenza necessaria per superare perdita di carico evaporatore
(P_C)	Percentuale potenza necessaria per superare perdita di carico condensatore
P_{CR}	Potenza assorbita dal sistema di comando e di regolazione della PdC
P_S	Potenza media assorbita dall'impianto di sbrinamento

Energia (valori annui)

Q_{PdC}	$= Q_{PdC,R} + Q_{PdC,AC}$ Quantità di calore prodotta dalla pompa di calore
Q_{RS}	Quantità di calore prodotta dal riscaldamento supplementare
Q_{ACC}	$= Q_{ACC,R} + Q_{ACC,AC}$ Calore utile erogato dagli accumulatori
Q_U	$= Q_{U,R} + Q_{U,AC}$ Calore disponibile all'utilizzatore
E_{PdC}	Consumo energia compressore della pompa di calore
(E_{EV})	Consumo energia pompa evaporatore / ventilatore (parte interna PdC)
(E_C)	Consumo energia pompa condensatore (parte interna PdC)
E_{EV}	Consumo energia pompa evaporatore / ventilatore (totale)
E_{PC}	Consumo energia pompa condensatore (totale)
E_{CR}	Consumo energia sistema di comando e regolazione
E_S	Consumo energia impianto di sbrinamento
E_C	Consumo energia riscaldamento Carter
E_{RS}	Consumo energia riscaldamento supplementare
$E_{A,RS}$	Consumo energia ausiliaria riscaldamento suppl. (p.es. pompe)
$E_{A,R}$	Consumo energia ausiliaria distrib. calore risc. (p.es. pompe)
$E_{A,AC}$	Consumo energia ausiliaria distrib. calore AC (p.es. circolazione)

Figura 1.6: Spiegazione dei simboli della Figura 1.7.



Riferito alla potenza

Coefficiente di rendimento (ε)

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}_{PdC}}{P_{PdC}}$$

Coefficiente di prestazione (COP)

$$COP = \frac{\dot{Q}_{PdC}}{P_{PdC} + (P_E) + (P_C) + P_{CR} + P_S}$$

Riferito all'energia

Coefficiente di lavoro annuo della pompa di calore (CLA_{PdC})

$$CLA_{PdC} = \frac{Q_{PdC}}{E_{PdC} + (E_{EV}) + (E_{PC}) + E_{CR} + E_S + E_C}$$

Coefficiente di lavoro annuo (CLA)

$$CLA = \frac{Q_{PdC}}{E_{PdC} + E_{EV} + (E_{PC}) + E_{CR} + E_S + E_C}$$

Grado di sfruttamento del generatore di calore (GSC)

$$GSC = \frac{Q_{PdC} + [Q_{RS}]}{E_{PdC} + E_{EV} + E_{PC} + E_{CR} + E_S + E_C + [E_{RS} + E_{A,RS}]}$$

[...]: incl. riscaldamento supplementare

Grado di sfruttamento del sistema (GSS)

$$GSS = \frac{Q_{ACC}}{E_{PdC} + E_{EV} + E_{PC} + E_{CR} + E_S + E_C + E_{RS} + E_{A,RS}}$$

Grado di sfruttamento del sistema Plus (GSS+)

$$GSS+ = \frac{Q_N}{E_{PdC} + E_{EV} + E_{PC} + E_{CR} + E_S + E_C + E_{RS} + E_{A,RS} + E_{A,R} + E_{H,AC}}$$

Figura 1.7: Limiti del sistema e valori di riferimento negli impianti a pompa di calore.

energetico nell'arco di un anno), ma nella pratica viene utilizzato con limiti del sistema spesso poco chiari. Si sono affermate definizioni più diversificate indicate in Figura 1.7, che si differenziano dai dati del capitolo 1.1. in quanto riferite ai flussi di energia esterni (misurabili). Inoltre, occorre sempre distinguere se i valori si riferiscono al riscaldamento, all'acqua calda sanitaria o al sistema combinato riscaldamento / acqua calda sanitaria. In certi casi bisogna tener conto anche di altri consumatori (ad es. quando l'impianto serve anche per il riscaldamento di una piscina).

Coefficiente di prestazione stagionale (SCOP) ed efficienza energetica del riscaldamento degli ambienti η_s
Con l'introduzione dei requisiti di ecodesign e dell'etichetta energetica per gli apparecchi di riscaldamento, la definizione del cosiddetto «coefficiente di prestazione stagionale» SCOP secondo la norma EN 14825 è diventata di grande importanza; infatti, oltre ai requisiti legali, ora si basano su di esso anche diverse etichette di qualità. Lo SCOP descrive l'efficienza di un apparecchio di riscaldamento per un determinato carico teorico fisso (definito come curva di riscaldamento). L'apparecchio non viene quindi valutato solo in un determinato punto di funzionamento (COP); il COP «stagionale» (SCOP) rappresenta l'efficienza che considera tutti i punti di esercizio (anche a carico parziale) presenti nel corso dell'anno e li pondera. Come base climatica si può considerare il clima di Strasburgo (F), che corrisponde all'incirca alla situazione dell'Altopiano svizzero; in alternativa si possono utilizzare altre due situazioni climatiche («più freddo» / Helsinki e «più caldo» / Atene). Sulla base dei limiti del sistema definiti sopra, lo SCOP corrisponde maggiormente al grado di resa dei generatori di calore. Basandosi sullo SCOP, la norma EN 14825 definisce l'efficienza energetica primaria η_s, che presuppone un fattore di conversione, rispettivamente un fattore di energia primaria, per l'elettricità pari a 2,5 (stato del 2018). Nella conversione da SCOP a η_s bisogna tenere conto anche di piccole correzioni per la regolazione e per le pompe di circolazione. Sia per il riscaldamento sia per il raffreddamento si possono determinare valori caratteristici comparabili. Nel presente documento non si forniscono ulteriori informazioni, tuttavia nella Tabella 1.1 vi è un riassunto dei termini.

1.3 Norme

I test sul prodotto e le progettazioni di impianti si basano in gran parte su norme, che rappresentano l'attuale stato della tecnica a livello internazionale (ISO), europeo (EN) o nazionale (in Svizzera: SN o SIA); queste norme sono spesso alla base di marchi di qualità e requisiti legali. La Tabella 1.2 mostra le principali norme concernenti il settore delle pompe di calore.
Indicazione: oltre alle norme di test e di progettazione menzionate, bisogna tener conto in particolare delle direttive e delle schede informative sulla sicurezza degli apparecchi, tra cui:
- Direttiva apparecchi in pressione (2014 / 68 / EU, in precedenza 97 / 23 / EG)
- Direttiva macchine (direttiva 2006 / 42 / EG)
- Direttive della Commissione federale di coordinamento per la sicurezza sul lavoro (CFSL): CFSL 1825 (liquidi infiammabili), CFSL 6507 (ammoniaca), CFSL 6516 (attrezzature a pressione), CFSL 6517 (gas liquefatto)
- Direttive ATEX riguardanti la protezione contro le esplosioni
- Bollettino SUVA 2153 «Prevenzione e protezione contro le esplosioni»

Valore di riferimento	Descrizione	Descrizione	Norma
Riscaldamento / acqua calda sanitaria			
COP	Coefficiente di prestazione	Efficienza in uno specifico punto di funzionamento	EN 14511 / EN 16417
SCOP	Coefficiente di prestazione stagionale	Efficienza stagionale, tenendo in considerazione le condizioni di funzionamento mutevoli	EN 14825 / EN 16147
η_s / η_{wh}	Efficienza energetica primaria	Efficienza energetica primaria, basata sullo SCOP	EN 14825 / EN 16417
Raffreddamento			
EER	Indice di efficienza energetica	Analogo al COP per la modalità di raffreddamento	EN 14511
SEER	Indice di efficienza energetica stagionale	Analogo al COP per la modalità di raffreddamento	EN 14825
ESEER	Indice di efficienza energetica stagionale europeo	Confrontabile al SEER, ma diversa distribuzione del carico e senza perdite in standby. Nessun concetto di ecodesign (progettazione ecologica)	Eurovent / SIA 384/4

Tabella 1.1: Descrizioni dell'efficienza nel contesto dei requisiti per la progettazione sostenibile di apparecchi di riscaldamento, acqua calda sanitaria e di raffreddamento.

Norma	Descrizione	Impiego
Norme di prova		
SN EN 14511	Norma di prova base per le pompe di calore	Marchi di qualità, informazioni scheda tecnica
SN EN 14825	Norma di prova per le pompe di calore. Definisce le procedure per il calcolo dello SCOP e del SEER	Etichetta energia, marchi di qualità, informazioni scheda tecnica, autorizzazione all'immissione in commercio
SN EN 16147	Norma di prova per pompe di calore per acqua calda sanitaria	Etichetta energia, marchi di qualità, informazioni scheda tecnica, autorizzazione all'immissione in commercio
Norme di progettazione		
SIA 181	Isolamento acustico nell'edilizia	Base per l'isolamento acustico di impianti a pompa di calore
SN EN 378	Requisiti di sicurezza e ambientali	Utilizzo di fluidi frigorigeni
SIA 384/1	Basi per gli impianti di riscaldamento. Comprende anche le pompe di calore.	Calcolo della potenza del generatore di calore
SIA 384/3	Metodo di calcolo per determinare il fabbisogno energetico finale degli impianti di riscaldamento. Comprende anche le pompe di calore.	Valutazione semplificata (strumento di tipologia) e programma di calcolo dettagliato (WPesti)
SIA 384/4	Impianti di climatizzazione degli edifici	–
SIA 384/6	Sonde geotermiche	Base per la progettazione, l'esecuzione e l'esercizio delle sonde geotermiche.
SIA 384/7	Utilizzo del calore dell'acqua sotterranea	Complemento alla norma SIA 384/6
SIA 384.201	Metodo di calcolo della potenza termica nominale di locali ed edifici	Unitamente a SIA 384/1, base per il dimensionamento della potenza del generatore di calore.
SIA 385/2	Impianti per l'acqua calda sanitaria	Unitamente a SIA 384/1, base per il dimensionamento della potenza del generatore di calore.
SIA QT 2048	Ottimizzazione energetica dell'esercizio	–

Tabella 1.2: Selezione di importanti norme relative alle pompe di calore. Fa stato la versione in vigore.

Basi legali

Nella progettazione, nell'installazione e nella messa in esercizio degli impianti a pompa di calore bisogna sempre rispettare i requisiti legali; questi sono in parte regolamentati a livello nazionale, cantonale o comunale. La Tabella 1.3 offre una panoramica dei requisiti, senza pretesa di completezza. Le persone di contatto sono in ogni caso le autorità locali (Comuni e Cantone).

Ecodesign ed etichetta energia

Dal 2015 all'interno dell'Unione Europea vi sono dei requisiti per la «progettazione ecologica» degli apparecchi di riscaldamento. Al contempo, è stato introdotto l'obbligo di dare un'etichetta energia agli apparecchi con una potenza termica fino a 70 kW. La Svizzera ha ampiamente recepito questo con l'Ordinanza sull'energia (dal 2018, Ordinanza sull'efficienza energetica, OEEne). Entrambe le prescrizioni si basano sull'efficienza energetica primaria η_s. Con l'etichetta energia è stato inoltre introdotto uno strumento che dovrebbe aiutare nel confronto tra le diverse tecnologie. Caldaie, impianti di cogenerazione, impianti di riscaldamento elettrico diretto e pompa di calore sono quindi valutati con un'unica etichetta (Figura 1.8). Gli impianti a pompe di calore sono ulteriormente suddivisi in «Pompe di calore» (temperatura di mandata al dimensionamento di 55 °C) e «Pompe di calore a bassa temperatura» (temperatura di mandata al dimensionamento di 35 °C) – questi ultimi hanno requisiti superiori a livello energetico a causa della migliore efficienza (Tabella 1.4). Essi si situano tuttavia sempre nelle classi di efficienza più alte. La valutazione è però sempre collegata a un carico ben definito, rappresentato sotto forma di curva di riscaldamento in un clima medio (Strasburgo / F; all'incirca paragonabile con l'Altopiano svizzero). L'etichetta energia valuta così consapevolmente un apparecchio, non il suo sfruttamento effetti-

Base giuridica	Contenuto	Osservazioni
Ordinanza sull'energia (OEn), dal 2018: Ordinanza sull'efficienza energetica (OEEne)	Autorizzazione all'immissione in commercio e obbligo d'informazione per la commercializzazione di pompe di calore	Comprende l'obbligo di dichiarazione dei dati del prodotto e l'obbligo dell'etichettatura indicante il consumo di energia
Ordinanza contro l'inquinamento fonico (OIF)	Requisiti sulle immissioni foniche esterne	–
Modello di prescrizioni energetiche dei Cantoni (MoPEC)	Requisiti sull'utilizzo di pompe di calore, in particolare sulle temperature di mandata ammesse, sul sistema di riscaldamento, sul dimensionamento (riscaldamento elettrico)	Il MoPEC è un modello che viene implementato a livello cantonale
Ordinanza sulla riduzione dei rischi inerenti ai prodotti chimici (ORRPChim)	Gestione e utilizzo di fluidi frigorigeni	Tra gli altri, obbligo di notifica per gli impianti con più di 3 kg di fluidi frigorigeni che sono stabili nell'aria
Legge federale sulla protezione delle acque (LPAc), Ordinanza sulla protezione delle acque (OPAc)	Ad es. per l'utilizzo di acque sotterranee o di energia geotermica	Regolamentato a livello cantonale
Procedura per la concessione di licenze edilizie	Ad es. per l'utilizzo di acque sotterranee o di energia geotermica	Comunale/cantonale
Direttive della protezione antincendio (AICAA 24-15)	Requisiti di protezione antincendio per gli impianti termotecnici	Cantonale
Capitolato d'oneri modulo di sistema per pompe di calore (PdC-MS)	Requisiti relativi a componenti, sistema idraulico, regolazione e ottimizzazione del funzionamento di impianti completi	Base per incentivo finanziario per piccoli impianti a pompa di calore con potenza termica fino a 15 kW

Tabella 1.3: Selezione di leggi, ordinanze e direttive per impianti a pompa di calore.

vo o la sua integrazione nel sistema complessivo.

Indicazione: come per tutti i generatori di calore, i distributori di pompe di calore con una potenza termica fino a 70 kW devono essere muniti di etichetta energia: essa valuta tuttavia l'apparecchio solo in condizioni quadro ben specifiche; l'etichetta energia è quindi solo parzialmente adatta come unico criterio di scelta. Ad esempio, una pompa di calore aria-acqua con una valutazione A++ può, in determinate circostanze (ad es. nella regione alpina), essere meno adatta di un apparecchio salamoia-acqua con valutazione A+.

Revisione Ecodesign ed etichetta energetica

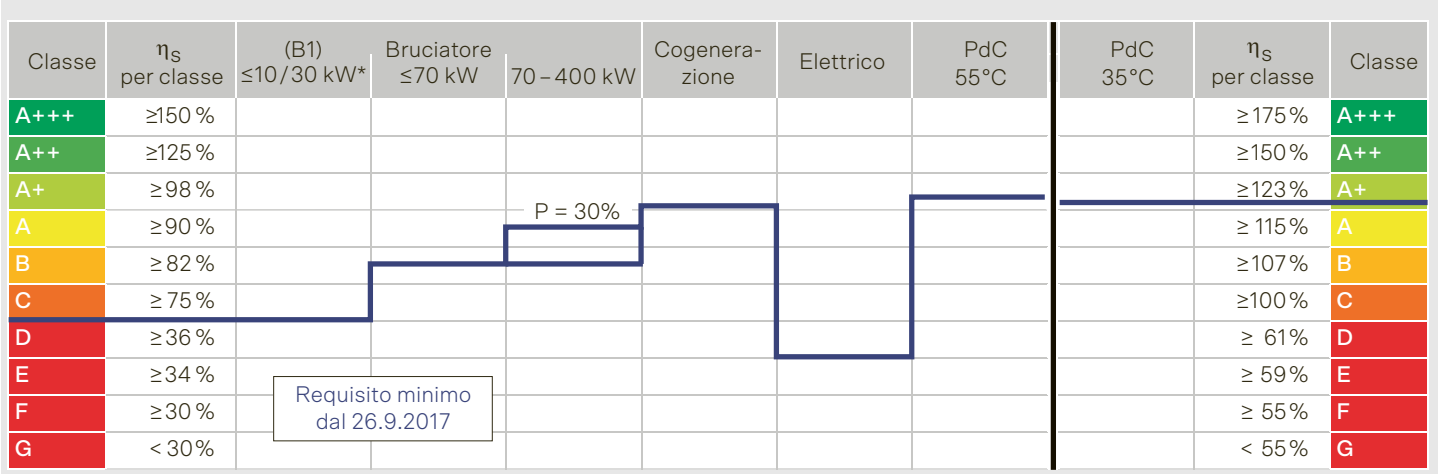
Il regolamento UE 2024/1781 del 13 giugno 2024 è inteso a creare un quadro per la definizione dei requisiti di progettazione ecocompatibile per i prodotti sostenibili (Ecodesign for Sustainable Products Regulation EU-ERSP). Vengono successivamente introdotti nuovi requisiti per quasi tutti i prodotti immessi sul mercato nell'UE. Uno dei requisiti è un passaporto digitale del prodotto, in cui sono riportati dati quali i materiali e la relativa provenienza o l'impatto ambientale durante l'intero ciclo di vita. L'obiettivo è quello di spingere le aziende verso un modello economico più sostenibile e una maggiore responsabilità sociale. Per il settore, ciò comporta un aumento notevole dell'impegno amministrativo. Oltre a ciò, produttori e gestori devono sostenere costi aggiuntivi a fronte della verifica obbligatoria della conformità da parte di terzi e dell'automonitoraggio.

Al momento della stampa di questo testo, i regolamenti UE 811/2013 e 812/2013 relativi all'etichetta energetica e i regolamenti 814/2013 e 815/2013 relativi alla progettazione ecocompatibile erano in fase di revisione finale. Le nuove versioni saranno presumibilmente pubblicate nel 2026 nella Gazzetta ufficiale dell'Unione europea. I relativi requisiti dovranno essere definitivamente implementati sul mercato circa due anni dopo. Alcuni dei requisiti possono tuttavia essere introdotti anche in un secondo momento e, se necessario, alcuni aspetti possono essere adeguati secondo un calendario prestabilito.

Una modifica sostanziale ai nuovi regolamenti riguarda ad es. i requisiti minimi relativi al coefficiente SCOP (Figura 1.9). L'obiettivo principale della revisione è

Tabella 1.4: Classificazione e requisiti energetici minimi per pompe di calore (SCOP per apparecchi aria-acqua, stato 2018). (Fonte: FHNW INEB)

	Temperatura di mandata di dimensionamento 55 °C		Temperatura di mandata di dimensionamento 35 °C	
	SCOP	η_s	SCOP	η_s
A+++	3,83	150 %	4,45	175 %
A++	3,20	125 %	3,83	150 %
A+	2,53	98 %	3,15	123 %
Requisiti ecodesign	2,83	110 %	3,20	125 %



*Tipo B1 bollitore ≤ 10 kW / Tipo B11 bollitore combinato ≤ 30 kW

Figura 1.8: Classificazione e requisiti minimi per l'efficienza energetica primaria η_s di generatori di calore. Per le pompe di calore a bassa temperatura («PdC 35 °C») è stata creata una classificazione separata. (Fonte: FHNW INEB, Andreas Genkinger)

quello di azzerare le emissioni di CO_2 del parco edifici entro il 2050. Vanno nella stessa direzione anche altre normative, tra cui la direttiva sull'efficienza energetica degli edifici (Energy Performance of Buildings Directive, EPBD) e il sistema di scambio di quote di emissione per gli edifici (Emissions Trading System, ETS2).

Ripercussioni per la Svizzera

La legislazione europea non è direttamente vincolante per il mercato svizzero. Esiste tuttavia un accordo tra Svizzera e UE inteso al riconoscimento reciproco delle valutazioni di conformità (principio Cassis de Dijon). Inoltre, in alcuni punti la legislazione svizzera fa riferimento diretto ai testi legislativi dell'UE. Al momento (2025) non è ancora chiaro in quale misura la Svizzera si adeguerà ai cambiamenti in atto nell'UE.

Per quanto riguarda le pompe di calore, dal punto di vista svizzero sono rilevanti le seguenti modifiche alle normative UE:

- Fattore di energia primaria più basso dell'energia elettrica europea delle utenze
- Struttura, contenuto informativo e scala dell'etichetta energetica
- Dichiarazione dei livelli di potenza sonora al 54 % del carico parziale anziché al 35 %.
- Temperatura della sorgente 5 °C per apparecchi salamoia-acqua
- Requisiti per manutenzione e riparazione
- Automonitoraggio tramite l'apparecchio
- Dichiarazioni tecniche modificate sulla potenza nominale

Un altro cambiamento che interesserà la Svizzera è il fattore di energia primaria per l'elettricità, che sta alla base della valutazione energetica della produzione di calore. A causa del cambiamento del mix produttivo in Europa, il fattore di energia primaria è stato ridotto da 2,5 a 1,9. Ciò comporta anche un aumento dell'efficienza energetica primaria η_s delle pompe di calore di circa il 50 % (in termini assoluti). Sono previste correzioni sia per i requisiti minimi secondo la Direttiva Ecodesign che per l'etichetta energetica, che garantiscono che i requisiti tecnici rimangano invariati. A seguito della nuova scala dell'etichetta energetica, le pompe di calore rientreranno in futuro nelle classi C e B anziché nelle classi A++ o A+++, come avviene attualmente. In generale, i dati riportati sull'etichetta energetica attuale e su quella futura non saranno comparabili tra loro, sia per quanto riguarda l'energia che le emissioni sonore.

Per il 2030 il requisito minimo di efficienza energetica primaria sarà probabilmente aumentato in modo forfettario ad almeno il 115 % per tutti i generatori di calore. Di conseguenza, gli impianti di

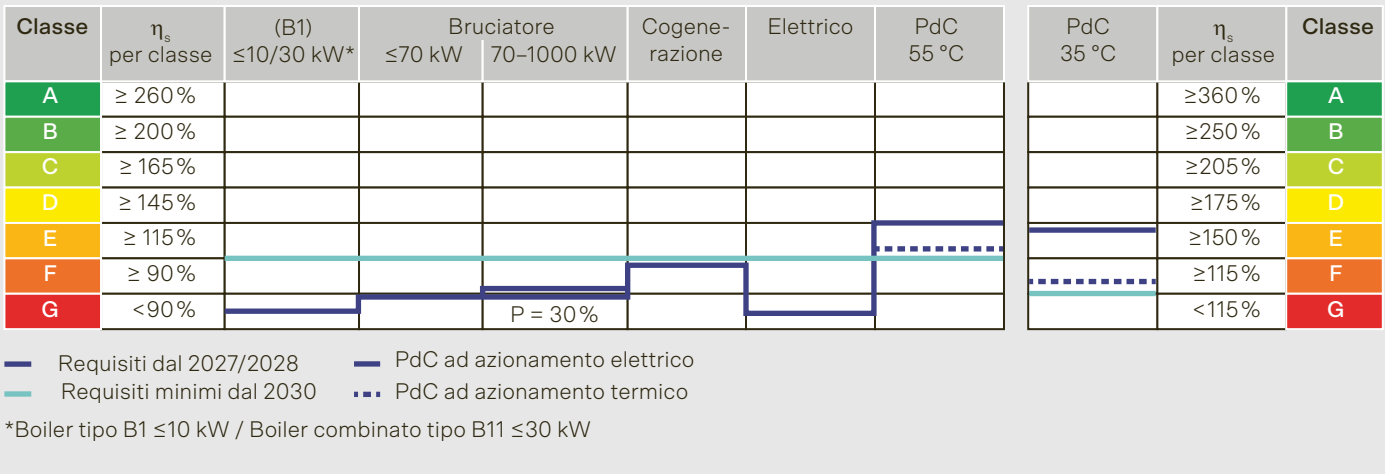


Figura 1.9: Classificazione e requisiti minimi di efficienza energetica primaria η_s dei generatori di calore secondo la bozza di nuova versione delle ordinanze sulla progettazione ecocompatibile/etichettatura energetica, stato 2025. (Fonte: FHNW INEB, Andreas Genkinger)

riscaldamento alimentati esclusivamente con combustibili fossili o direttamente con energia elettrica non saranno più competitivi sul mercato. Oltre alle pompe di calore ad azionamento termico, sono stati recentemente inclusi nella regolamentazione anche i sistemi ibridi con pompe di calore (non mostrati in Figura 1.9). Vi rientra ad es. la combinazione nello stesso apparecchio di combustione a gas e pompa di calore. Tuttavia, sul mercato svizzero dovrebbero comunque trovare scarsa diffusione, soprattutto come dispositivi di serie con prestazioni inferiori.
In concomitanza con questi adeguamenti, è stata sottoposta a una revisione approfondita anche l'etichetta energetica (Figura 1.10). La dichiarazione del livello di potenza sonora al punto di funzionamento A7 (35 % di carico parziale rispetto ad A-10) precedentemente utilizzata nell'etichetta energetica e nella Direttiva Ecodesign non si è affermata. Per questo motivo, in futuro verrà utilizzato il punto di funzionamento a carico parziale del 54 % (A2). Esso è decisamente più rappresentativo per un funzionamento medio nell'arco dell'intero anno. Questo aspetto è già stato preso in considerazione nella revisione 2024 dell'Ordinanza contro l'inquinamento fonico (OIF) svizzera. Sulla base delle condizioni di funzionamento attuali, la temperatura della sorgente per la valutazione dell'energia e del rumore nelle pompe di calore salamoia-acqua viene modificata dagli attuali 0 °C (B0) a 5 °C (B5).

Efficienza del materiale e delle risorse e monitoraggio

Il regolamento UE 2024/1781 ha sostituito da metà del 2024 la direttiva 2009/125/CE (Direttiva Ecodesign) fino ad allora in vigore, come base per la progettazione ecocompatibile dei prodotti connessi al consumo di energia. Su questo si basano i requisiti per i generatori di calore qui descritti.
Con il regolamento 2024/1781, i concetti di «sostenibilità» ed «economia circolare» assumono un ruolo significativo. L'attenzione non è più focalizzata solo sui requisiti energetici, ma anche sull'efficienza dei materiali e delle risorse, dove sono importanti la durata, la possibilità di manutenzione e la riparazione degli apparecchi. Di conseguenza, si dispone che in futuro i pezzi di ricambio siano reperibili entro dieci giorni per 10 anni oltre la disponibilità sul mercato del prodotto e che possano essere installati con strumenti comuni. Gli apparecchi devono essere di facile manutenzione e riparazione e i materiali devono essere riciclabili. Vengono inoltre prescritti i requisiti per la documentazione del prodotto, un presupposto fondamentale per l'efficacia del servizio di assistenza. Vi rientrano ad esempio i disegni esplosi.
La scelta di un apparecchio efficiente non garantisce che l'impianto funzioni a lungo, in modo affidabile ed efficiente. L'integrazione nel sistema complessivo e la qualità della regolazione sono fattori determinanti. Pertanto, i futuri requisiti

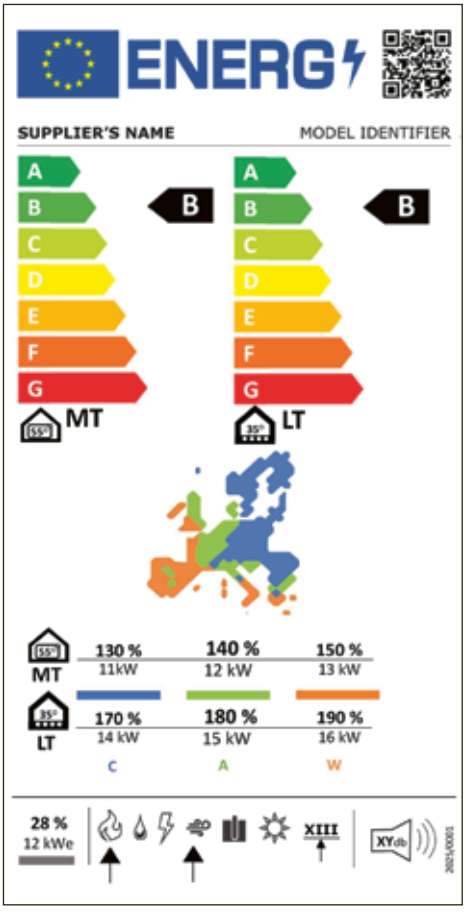


Figura 1.10: Bozza della nuova etichetta energetica per i generatori di calore. I dati non sono comparabili con la versione attuale (2025).

di progettazione ecocompatibile dovranno gettare le basi affinché anche gli apparecchi in serie consentano un monitoraggio minimo. Gli apparecchi devono presumibilmente rilevare, memorizzare e visualizzare ai gestori i valori caratteristici seguenti:

- Consumo di energia
- Energia termica fornita
- Efficienza derivata (COP e CLA)
- Numero di impulsi (cicli on/off)
- Tipo di funzionamento del generatore di calore (acqua calda o riscaldamento)

È quantomeno in discussione la possibilità di limitare esplicitamente e unicamente al funzionamento della pompa di calore, quindi senza riscaldamento supplementare, la potenza nominale di una pompa di calore indicata anche sull'etichetta energetica. La prassi attuale consente di tenere conto di una quota significativa di riscaldamento elettrico supplementare (temperatura di bivalenza fino a 2 °C). Secondo la legislazione svizzera, l'uso di una resistenza elettrica come riscaldamento supplementare è vietato.
Altri punti di discussione per la revisione delle norme UE relative ai generatori di calore riguardano la verifica di conformità stessa, gestite finora tramite una semplice autodichiarazione. Si prevede di affidare la valutazione di conformità a «organismi notificati», ovvero a terzi indipendenti. Probabilmente esclusa rimane l'idea di considerare nella valutazione di tali apparecchi anche il funzionamento in modalità raffrescamento delle pompe di calore reversibili.

Capitolo 2

Componenti

Le quattro componenti principali, senza le quali nessun ciclo di vapore saturo di base funziona (sistema di refrigerazione a compressione), sono:
- Compressore
- Condensatore
- Valvola a farfalla (valvola d'espansione)
- Evaporatore

2.1 Compressore

Il compressore comprime il gas refrigerante, aspirato dall'evaporatore, alla pressione necessaria per la condensazione del fluido frigorigeno. Sono disponibili le più disparate costruzioni di compressori sebbene, a dipendenza del loro settore d'utilizzo, ogni costruzione evidenzia vantaggi e svantaggi.

Tipologie costruttive

La Tabella 2.1 si limita a un elenco di compressori che vengono principalmente impiegati nel settore delle pompe di calore. I compressori turbo sono noti sul mercato anche con il nome «Turbocor». Questi compressori Turbocor senza olio, montati magneticamente, vengono impiegati a partire da una potenza termica di circa 320 kW, raggiungono una temperatura massima di mandata di 48 °C (a pieno carico) e hanno rendimenti molto elevati a carico parziale (dal 10 % al 70 %). In combinazione con una valvola di laminazione in aspirazione, il Turbocor si adatta in modo ottimale alle diverse condizioni di carico. Ulteriori vantaggi del Turbocor sono: bassa corrente di avviamento, elettronica controllo integrata con convertitore di frequenza interno, peso ridotto, basso livello di potenza sonora, assenza di parti meccaniche soggette a usura e quindi una maggiore sicurezza d'esercizio grazie a poche parti in movimento.

Forme costruttive

A dipendenza dell'impiego e considerando i costi, si distingue tra le seguenti tre forme costruttive di compressore.
- Compressori aperti: Il motore e il compressore sono gruppi di costruzione diversi. L'albero motore del compressore esce senza perdite di gas dall'involucro, dove viene collegato direttamente, o mediante una cinghia, al motore. Oltre che ai motori elettrici, esistono anche dei motori a combustione.
- Compressori ermetici: Il motore e il compressore rappresentano un'unica unità. A differenza di quello semiermetico, i compressori ermetici sono mon-

Tabella 2.1: Tipologie costruttive di compressori.

Tipo di compressore	A stantuffo	A spirale (scroll)	A vite	Turbo
Principio di lavoro	compressione	compressione	compressione	macchina a flusso
Compressione	statica	statica	statica	dinamica
Volume di compressione	geometrico	geometrico	geometrico	dipendente da pressione contraria
Flusso	a pulsazioni	costante	costante	costante
Portata (intervallo)	fino a 1000 m^3/h	fino a 500 m^3/h	100 fino a 10 000 m^3/h	250 fino a 50000 m^3/h
Potenza di riscaldamento (intervallo a B0 / W35)	fino a 800 kW	fino a 400 kW	80 fino a 8000 kW	100 fino a 40 000 kW
Rapporto pressione in regolazione (monostadio)	fino a 10	fino a 10	fino a 30	fino a 5
Regolabilità a numero di giri costante	a stadi	difficile	continuo	continuo
Regolazione dei giri	possibile	possibile	possibile	possibile
Sensibilità ai colpi di liquido	elevata	bassa	bassa	bassa
Provoca vibrazioni	si	no	no	no



Figura 2.1: Compressore a stantuffo aperto (esecuzione industriale). (Fonte: Grasso)

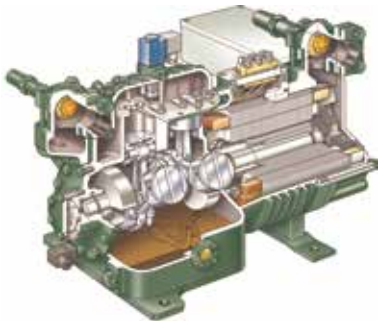


Figura 2.2: Compressore a stantuffo semiermetico. (Fonte: Bitzer)

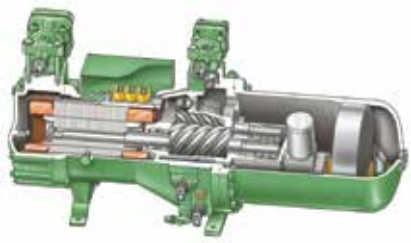


Figura 2.3: Compressore a vite semiermetico. (Fonte: Bitzer)



Figura 2.4: Compressore a spirale ermetico (scroll). (Fonte: Copeland)



Figura 2.5: Compressore turbo semiermetico (senza olio). (Fonte: Turbocor)

tati in un involucro completamente saldato. Il raffreddamento del motore avviene di regola attraverso il gas refrigerante aspirato (raffreddamento a gas aspirato). In caso di guasto è necessaria la completa sostituzione del compressore.

– Compressori semiermetici: Il motore e il compressore formano un'unica unità. L'albero di trasmissione è completamente collegato al motore all'interno dell'involucro. Il raffreddamento del motore elettrico avviene, o attraverso il gas refrigerante aspirato (raffreddamento a gas aspirato), o attraverso l'involucro con aria o acqua. Per ridurre l'attrito e l'usura, e per sigillare le perdite nella camera di compressione, i compressori sono solitamente lubrificati con olio. Il fluido frigorigeno si mescola dunque con l'olio e può accumularsi notevolmente, specialmente durante le fasi in cui il compressore non è in funzione. Quando il compressore viene riavviato, la miscela di olio e fluido frigorigeno produce schiuma; per evitare ciò, il serbatoio dell'olio può essere riscaldato, in modo che il fluido frigorigeno disciolto in esso evapori a sufficienza (riscaldamento del carter, del basamento o della coppa dell'olio).
– Compressori senza olio: I compressori senza olio sono compressori che, grazie alla particolare progettazione e costruzione, non richiedono lubrificazione a olio. Il vantaggio principale di questi compressori è rappresentato dal fatto che nessun olio circola assieme al fluido nel circuito refrigerante. In questo modo si elimina il problema di ritorno d'olio nel sistema. Questo crea considerevoli vantaggi soprattutto negli evaporatori sommersi e nei sistemi interconnessi (più compressori pro circuito refrigerante).

2.2 Scambiatore di calore

Evaporatore

Nell'evaporatore viene sottratto calore all'ambiente (aria, acqua, salamoia, ecc.). Il fluido frigorigeno assorbe questo calore ed evapora. Il calore viene trasmesso dalla fonte di calore al refrigerante. Sostanzialmente vengono distinte l'evaporazione a secco e sommersa, sebbene ci siano anche delle combinazioni di queste due varianti.

- Evaporazione a secco: Il fluido frigorigeno viene condotto all'evaporatore attraverso una valvola d'espansione. La quantità di fluido frigorigeno viene regolata in funzione della differenza tra la temperatura del gas e quella di saturazione (surriscaldamento del gas aspirato). All'uscita dell'evaporatore il gas refrigerante è surriscaldato e quindi «asciutto».
- Evaporazione sommersa: Il fluido frigorigeno viene condotto all'evaporatore attraverso una regolazione a galleggiante dell'alta o bassa pressione. La quantità di refrigerante viene regolata in funzione del livello del liquido nella parte dell'alta o della bassa pressione. All'uscita dell'evaporatore il gas refrigerante non è pressoché surriscaldato e quindi «bagnato». Nella maggior parte dei casi è perciò da prevedere un separatore di liquido, a protezione da impatti di liquido al compressore. Il vantaggio principale dell'evaporatore sommerso consiste nel fatto che non è necessaria la benché minima differenza di temperatura tra la parte del fluido frigorigeno e la fonte. Ciò significa che la temperatura di evaporazione può essere dimensionata più alta rispettivamente essa sale ulteriormente durante la fase di carico parziale. La conseguenza è un maggior rendimento dell'intero sistema.

Condensatore

Nel condensatore, attraverso la cessione di calore all'impianto per il riscaldamento, il gas refrigerante che arriva dal compressore si desurriscalda, condensa e sottoraffredda. La trasmissione di calore può avvenire anche attraverso più scambiatori di calore e così a diversi livelli di temperatura. Questo impiego con desurriscaldatore, condensatore e sottoraffreddatore diventa interessante per motivi di economicità d'impiego in grandi impianti così come in sistemi con grandi differenze di temperatura tra l'entrata e l'uscita del calore utile, come ad esempio il teleriscaldamento, il riscaldamento di acqua calda sanitaria e impieghi industriali.

Tipologie costruttive

- Scambiatori di calore a piastre: costruzione compatta realizzata mediante brasature, saldature o resa ermetica per lo scambio di calore di fluidi in forma liquida e – per impieghi speciali – in forma gassosa. Apparecchi a piastre hanno il vantaggio di avere contenuti moderati, grandi superfici di scambio su volumi molto ridotti e un'elevata modularità nella fabbricazione. Sono idonei sia per l'evapo-

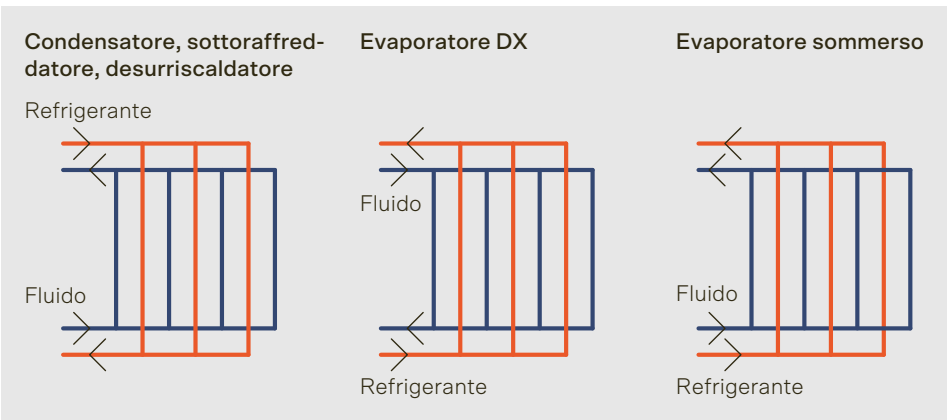


Figura 2.6: Schema scambiatore di calore a piastre.

razione a secco che sommersa. Per pompe di calore fino a circa 200 kW viene principalmente utilizzato questo tipo di costruzione.
- Gli scambiatori di calore a fascio tubiero sono le classiche costruzioni composte da fasci di tubi e un mantello per lo scambio di calore di fluidi in forma liquida e in alcuni casi anche gassosa. Apparecchi a fascio tubiero si contraddistinguono per l'elevata varietà dei materiali, con un basso rischio di corrosione e sporcizia, così come una reazione alle regolazioni lenta. Sono adatti sia per un'evaporazione con espansione a secco che per ingolfamento, sebbene nella variante ad ingolfamento è necessaria una quantità di fluido frigorigeno considerevolmente superiore.
- Negli scambiatori di calore coassiali lo scambio di calore avviene in un tubo doppio a spirale, normalmente eseguito in rame o acciaio. L'impiego avviene maggiormente negli impianti più piccoli o per motivi costruttivi.
- Gli scambiatori di calore a registri sono composti da serpentine di tubi o insiemi di piastre in diversi materiali, le quali vengono collocate all'interno di contenitori aperti e chiusi, così come anche senza contenitore. L'impiego avviene soprattutto in presenza di fluidi molto sporchi, come ad esempio l'acqua di scarico e nel sottosuolo.
- Gli scambiatori di calore a tubi laminati sono composti principalmente da singoli o più tubi paralleli con applicate delle lamelle. Sono ideali per lo scambio di calore di fluidi gassosi (ad es. aria). Sono possibili diverse combinazioni di materiali e regolazioni. Per un funzionamento ideale, va prestata particolare attenzione alla distanza tra le lamelle, siccome sporcizia, brina, ecc. possono causare considerevoli riduzioni delle prestazioni. Impiegandoli a temperature dell'aria al di sotto di ca. 5 °C, sullo scambiatore di calore si forma brina e ghiaccio. Questo aspetto incide parecchio sull'efficienza durante il funzionamento, a causa del necessario sbrinamento (vedi 2.6).



Figura 2.7: Scambiatore di calore a piastre. (Fonte: BMS)



Figura 2.8: Scambiatore di calore a fascio tubiero. (Fonte: Bitzer)



Figura 2.9 Scambiatore di calore coassiale. (Fonte: Wieland)

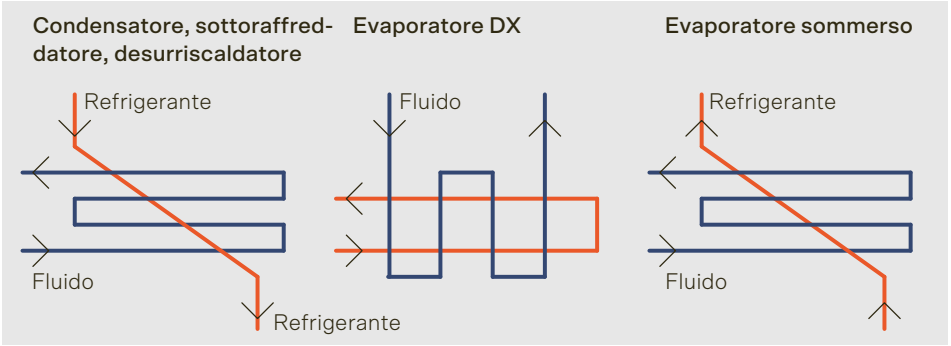


Figura 2.10: Schema scambiatore a fascio tubiero.

2.3 Valvole di laminazione

La valvola di laminazione espande il fluido frigorigeno condensato dalla parte ad alta pressione del ciclo refrigerante a quella a bassa pressione. Una valvola di laminazione posata correttamente, in particolare una valvola di espansione elettronica, ha una grande influenza sull'efficienza del ciclo di una pompa di calore.

Tipologie costruttive

- Le valvole d'espansione regolano il flusso di fluido frigorigeno all'evaporatore in base al surriscaldamento del gas in aspirazione all'uscita dell'evaporatore e vengono in sostanza impiegate nei sistemi con evaporazione mediante espansione a secco. Vanno distinte valvole d'espansione termostatiche, con compensazione della pressione interna ed esterna, e valvole d'espansione elettroniche. Il vantaggio principale nella variante elettronica è il minor surriscaldamento dei gas in aspirazione e la maggiore prestazione di una valvola. Ciò comporta vantaggi in diverse condizioni di esercizio e in condizioni di carico parziale.
- I regolatori di alta pressione a galleggiante dirigono il flusso di fluido frigorigeno verso l'evaporatore, a dipendenza del livello del liquido sul lato di alta pressione del regolatore a galleggiante. I regolatori di alta pressione a galleggiante non hanno bisogno di essere regolati e funzionano in modo molto stabile nell'intera prestazione dell'impianto.
- I regolatori di bassa pressione a galleggiante funzionano in modo analogo ai loro simili nell'ambito dell'alta pressione. Tuttavia, il flusso di fluido frigorigeno viene regolato in funzione del livello del liquido nell'evaporatore. Sono disponibili anche versioni elettroniche dei comandi a galleggiante.



Figura 2.11: Scambiatore di calore a registro (pacchetto a piastre). (Fonte: Omega)

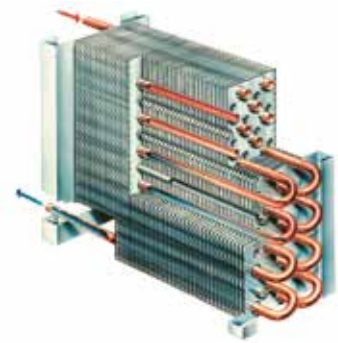


Figura 2.12: Scambiatore di calore a tubi laminati (batteria senza ventilatore, involucro, ecc.). (Fonte: Günter)



Figura 2.13: Valvola d'espansione termostatica. (Fonte: Danfoss)

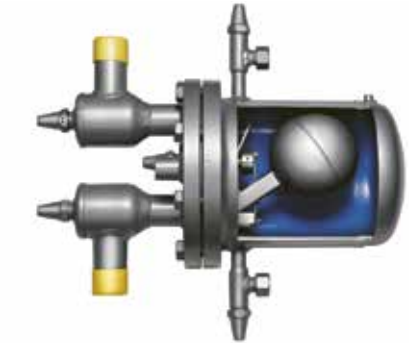


Figura 2.14: Regolatore di alta pressione a galleggiante. (Fonte: TH-Witt)

2.4 Dispositivi di sicurezza

In modo che apparecchi, componenti, tubazioni e materie prime del circuito refrigerante non subiscano sollecitazioni eccessive, sono necessari dispositivi di sicurezza. Il genere e la modalità della sicurezza sono fissati dal legislatore, in funzione della grandezza dell'impianto, del fluido frigorigeno e la collocazione. Qui di seguito una scelta dei dispositivi e organi di sicurezza più frequenti:

- Limitatore della pressione di sicurezza rispettivamente pressostato di alta pressione (disattivazione con l'aumento della pressione) per la protezione del compressore e tutte le componenti dalla parte di alta pressione. A partire da una determinata grandezza del compressore rispettivamente dell'impianto, questo apparecchio deve funzionare obbligatoriamente in modo meccanico e deve interrompere direttamente la corrente quale protezione principale del compressore.
- Bassa pressione: disinserimento con la riduzione della pressione, quale protezione dell'evaporatore e tutte le componenti dalla parte della bassa pressione.
- Interruttore di sicurezza della pressione dell'olio: disinserimento con la riduzione della differenza di pressione quale controllo della lubrificazione del compressore.
- Surriscaldamento del gas compresso: disinserimento con l'aumento della temperatura quale controllo della temperatura del gas caldo.
- Antigelo: disinserimento con la diminuzione del flusso secondario, quale protezione del condensatore contro il gelo.
- Flusso: disinserimento con la diminuzione del flusso secondario, quale protezione dell'evaporatore da sporcizia rispettivamente brina, del condensatore e desurriscaldatore dal surriscaldamento.
- Protezione dell'avvolgimento, Klixon, relè termico e salvamotore quale protezione dei motori elettrici (compressori, ventilatori, pompe ecc.).
- Valvole di sicurezza, membrane di sicurezza, spine di sicurezza ecc. quale protezione da elevate pressioni del sistema durante l'esercizio e quando è spento, ad es. in caso d'incendio.
- Controllo dei livelli, controllo del fluido frigorigeno, ecc. per il controllo del contenuto di refrigerante (sovraccarico, perdite, depositi, ecc.).

2.5 Ulteriori componenti

Quale funzione per l'impianto o perlomeno installazione vantaggiosa, tra le tante esistono i seguenti componenti e apparecchi:

- Filtro-essicatore per la raccolta di residui d'umidità nel sistema refrigerante. Quest'umidità può condurre al congelamento della valvola d'espansione, a cambiamenti della qualità dei materiali e a danni all'avvolgimento.
- Spia di livello con indicatore d'umidità per il controllo visuale dell'umidità nel sistema e la formazione di Flashgas (bollicine di gas) quale indicatore di mancanza di fluido frigorigeno, filtro-essicatore sporco, ecc.
- Filtro di depressione per la protezione meccanica del compressore.
- Valvola magnetica per l'automatico spegnimento, commutazione rispettivo spurgo di singoli scambiatori di calore.
- Regolatore di pressione per il mantenimento della pressione costante, alta e bassa di singoli settori del sistema.
- Assorbitore di vibrazioni per la separazione di parti dell'impianto che vibrano, ad es. il compressore.
- Silenziatore gas in pressione (silenziatore muffler) per l'assorbimento delle pulsazioni di gas dei compressori a stantuffo.
- Collettore fluido frigorigeno per la raccolta del refrigerante durante differenti stadi d'esercizio o nel funzionamento in aspirazione.
- Separatore d'olio per evitare grandi depositi di olio nel sistema e l'imbrattamento dell'evaporatore. Utilizzo in

tutti i compressori a vite, impianti a più compressori e evaporatori sommersi.
- Valvole di arresto e dispositivi di misurazione per una facile manutenzione e controllo dell'impianto (valvola di Schrader).
- Riscaldamento del carter o della coppa dell'olio per evitare che nei tempi di inattività il fluido frigorigeno si dissolva nell'olio lubrificante.

2.6 Dispositivi di sbrinamento

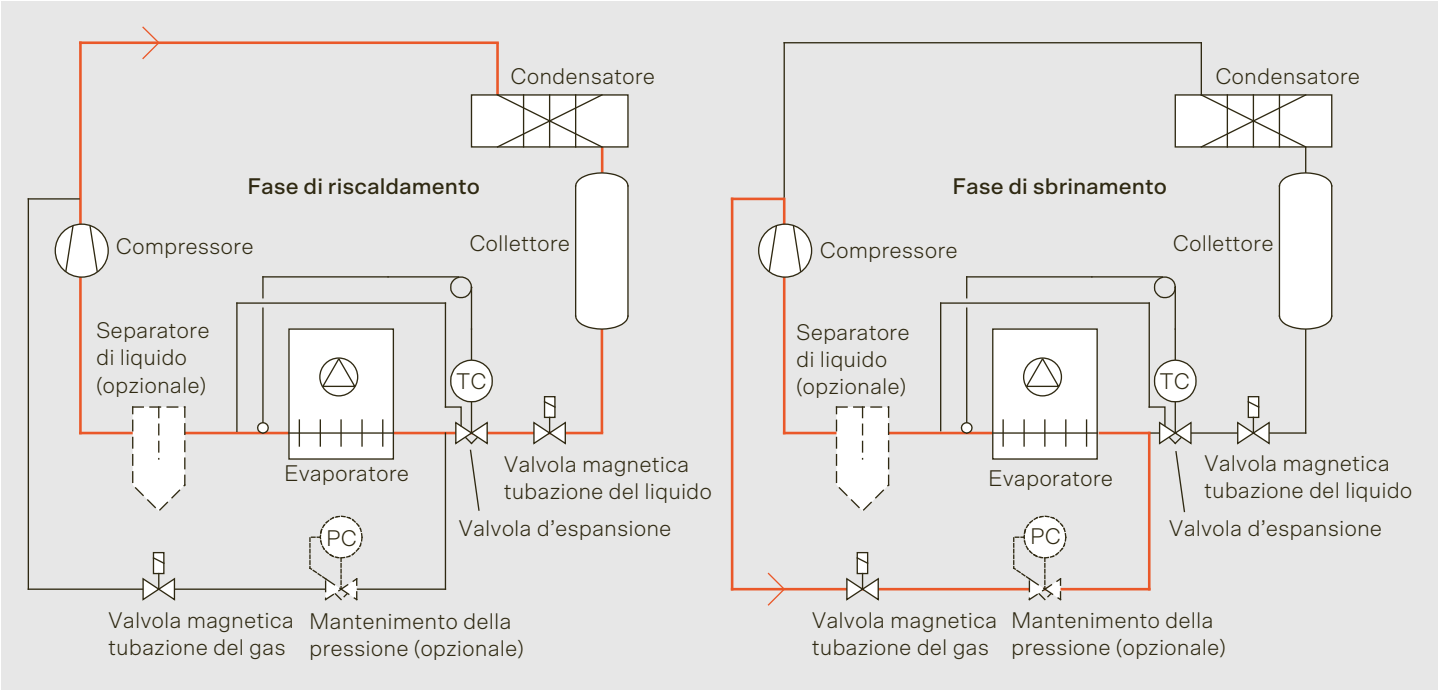
Gli scambiatori di calore a tubi alettati – ad esempio come gli evaporatori di pompe di calore ad aria e acqua – a basse temperature dell'aria possono subire la formazione di brina e ghiaccio.
Di conseguenza lo scambio di calore peggiora sempre più. Perciò in caso di necessità la superficie va sbrinata.
Per le pompe di calore aria-acqua si sono imposti i due seguenti sistemi di sbrinamento.

Bypass gas caldo (Figura 2.15)
Durante la fase di sbrinamento, il condensatore viene scavalcato mediante una valvola bypass e il gas in pressione viene condotto dal compressore direttamente all'evaporatore. È comunque importante che venga mantenuta alta la pressione dopo il compressore. La potenza di sbrinamento corrisponde quasi alla potenza elettrica assorbita dal compressore.

Inversione di ciclo (Figura 2.16)
Mediante rispettive combinazioni di valvole magnetiche a quattro vie, il processo viene invertito. Il condensatore funge da evaporatore e l'evaporatore da condensatore. È da verificare che durante il processo di sbrinamento sia a disposizione sufficiente energia dalla parte di utilizzo del calore, siccome per lo sbrinamento stesso viene assorbito del calore. La potenza di sbrinamento è di ca. 2 fino a 3 volte superiore alla potenza elettrica assorbita dal compressore.

Sbrinamento naturale
Lo sbrinamento con il solo ventilatore è, sopra i ca. 2 °C – 3 °C, il modo più rapido ed efficiente per sbrinare l'evaporatore. Questo tipo di sbrinamento può essere facilmente combinato con altri sistemi.

Figura 2.15: Schema di principio sbrinamento con bypass gas caldo.



2.7 Tipologie costruttive di pompe di calore

Nel settore delle pompe di calore vengono differenziate le seguenti tipologie costruttive.

- Compatta: tutte le componenti dell'impianto sono assemblate in modo compatto in fabbrica o sul posto in un involucro, in un locale tecnico o in un telaio.
- Split: parti importanti della pompa di calore si situano all'esterno di quella che è la centrale termica. Per esempio l'evaporatore di una pompa di calore aria-acqua viene collocato all'esterno dell'edificio, mentre il gruppo del compressore più condensatore invece è all'interno.

Nel settore commerciale della produzione di calore si è però imposto in aggiunta solo la tecnica ad assorbimento. Il rendimento di questi impianti è inferiore a quello dei sistemi refrigeranti a compressione. Questo processo viene soprattutto impiegato laddove è a disposizione calore costante e di qualità (calore residuo, ecc.), possibilmente gratuitamente.

2.8 Processi alternativi

Oltre al ciclo di compressione del vapore saturo (sistema refrigerante a compressione), esistono altri processi che possono essere utilizzati come pompe di calore. Per esempio impianti ad assorbimento, raffreddamento termoelettrico (effetto Peltier), processi di ciclo Stirling, macchine a iniezione di vapore freddo e gas freddo.

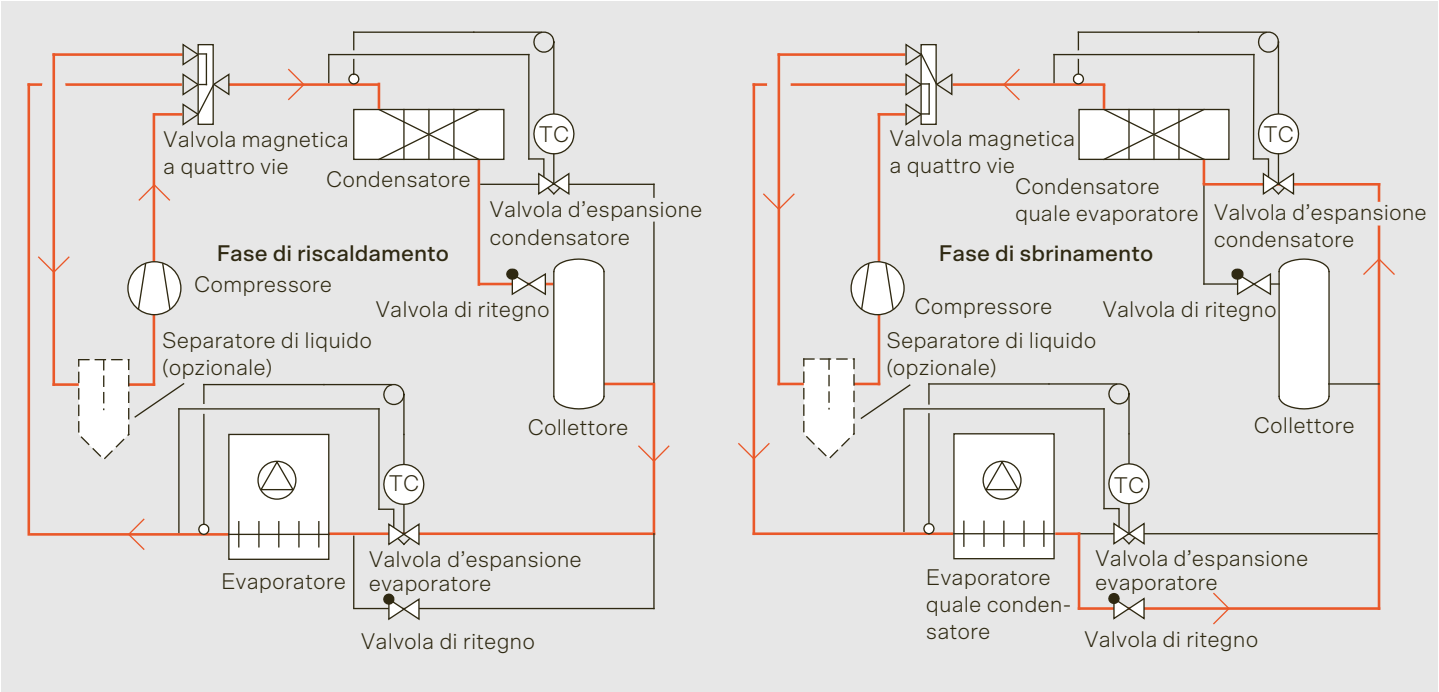


Figura 2.16: Schema di principio inversione di ciclo.

Capitolo 3

Refrigerante

3.1 Proprietà

Come refrigerante si definisce il fluido agente in una macchina a compressione di vapore. Spesso si utilizza questa definizione in generale per tutte le macchine frigorifere o qualsiasi processo della produzione di freddo, come le pompe di calore.

Ogni fluido frigorigeno dovrebbe avere se possibile le seguenti proprietà:

- buone proprietà termodinamiche
- elevata potenza refrigerante volumetrica (→ piccolo compressore. Valori tipici nella Figura 3.1)
- livello di pressione appropriato per il campo di utilizzo (→ temperatura critica sufficientemente alta e temperatura del punto triplo sufficientemente bassa)
- basse perdite di carico durante la circolazione
- chimicamente e termicamente stabile
- non tossico
- non infiammabile, non esplosivo
- buon miscelamento con lubrificanti
- basso potenziale di riduzione dello strato di ozono (Ozone Depletion Potential, ODP, idealmente = 0)
- basso pontenziale di riscaldamento globale (Global Warming Potential, GWP, idealmente = 0)
- economico

Si distinguono sei categorie di refrigeranti:

- I CFC (clorofluorocarburi completamente alogenati) sono fortemente dannosi per la distruzione dello strato di ozono e incidono molto sul clima.
- Gli HCFC (clorofluorocarburi parzialmente alogenati) sono dannosi per la distruzione dello strato di ozono e incidono sul clima.
- Gli HCFO (idro(cloro)fluoroolefine, idrocarburi insaturi parzialmente alogenati) presentano un potenziale di riduzione dell'ozono (ODP) pressoché nullo e valori di GWP estremamente ridotti.
- Gli HFC (idrofluorocarburi parzialmente alogenati) sono privi di cloro e quindi innocui per l'ozono, ma incidono sul riscaldamento climatico.
- I refrigeranti naturali non distruggono l'ozono e non incidono sul clima. In alcuni casi, tuttavia, le sostanze sono tossiche (ammoniaca), infiammabili (propano) o richiedono elevate pressioni di esercizio (CO_2). Questi svantaggi possono essere risolti strutturalmente (ad es. con l'involucro della pompa di calore). L'uso di refrigeranti naturali è auspicabile dal punto di vista ecologico.

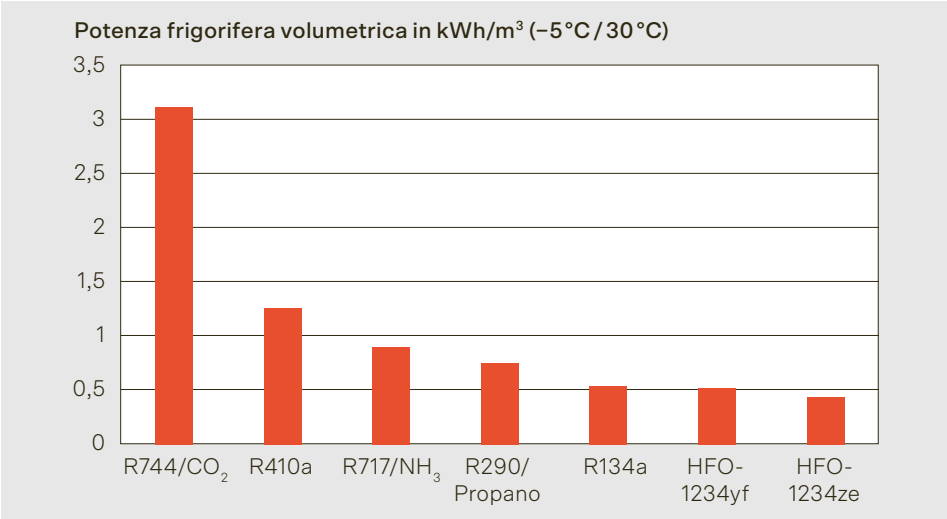
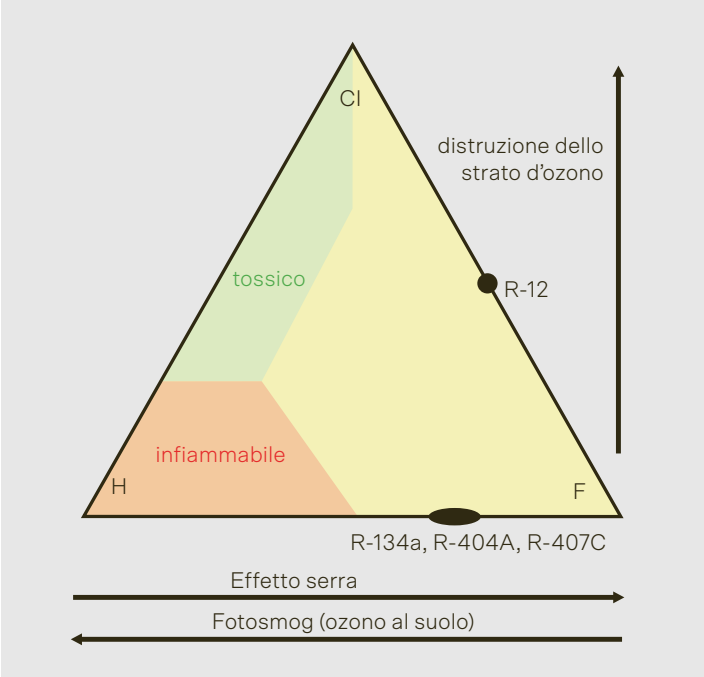


Figura 3.1: Potenza di raffreddamento volumetrica di alcuni refrigeranti in kWh/m³.

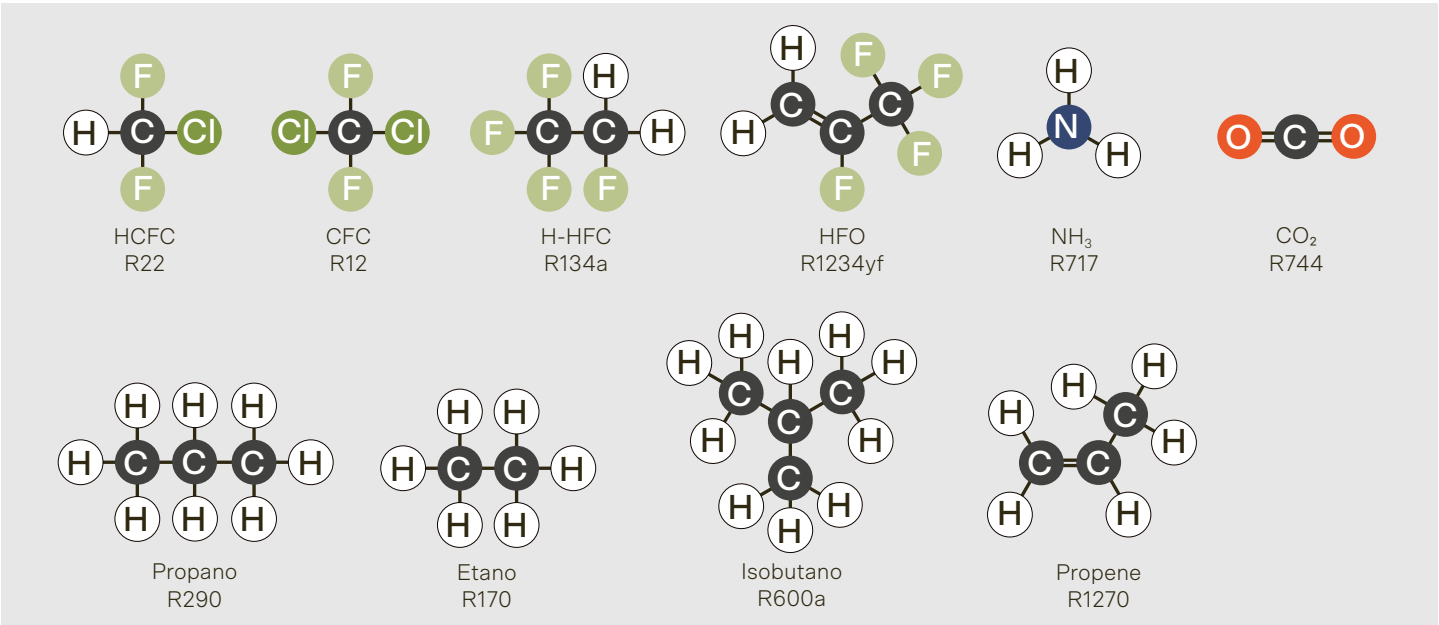
– HFO (idrofluoroolefine). HFC insaturi, cioè con almeno un doppio legame tra due atomi di carbonio (C = C). Dal punto di vista chimico, queste sostanze appartengono alla categoria delle cosiddette olefine, che comprende tutti gli idrocarburi non ciclici. HFO sono stati sviluppati come alternativa alle sostanze stabili e quindi influenti sul clima. Il doppio legame crea nella molecola una sorta di «punto di rottura», a partire dal quale si degrada e viene trasformata in altre sostanze in modo relativamente rapido nell'atmosfera. Grazie al potenziale di riscaldamento globale ridotto, gli HFO sono noti anche come refrigeranti con basso potenziale GWP. Un'ulteriore diffusione di questo gruppo di refrigeranti è, tra l'altro, limitata a causa della mancanza di conoscenza degli effetti a lungo termine (vedere Capitolo 3.8 «PFAS e TFA»).

Figura 3.2: Proprietà dei refrigeranti sintetici ad es. dei derivati alogenati di metano o etano.



Le proprietà dei refrigeranti sintetici sono illustrate in modo esemplificativo per i derivati del metano e dell'etano nella Figura 3.2. La Tabella 3.1 fornisce una panoramica delle categorie di refrigeranti con indicazioni sulle classi di pericolo e indici relativi all'impatto ambientale. La Figura 3.3 mostra le strutture chimiche di alcuni refrigeranti.

Figura 3.3: Struttura chimica dei refrigeranti (esempi). Le proprietà dei refrigeranti sintetici dipendono in particolare dagli atomi di cloro (Cl) e fluoro (F) e dai legami doppi (C=C). (Fonte: Andreas Genkinger, FHNW INEB)



3.2 Denominazione dei refrigeranti secondo l'ente ASHRAE

I refrigeranti vengono denominati secondo il sistema dell'American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). La denominazione è formata dagli elementi seguenti: R indica il refrigerante, seguito al massimo da tre numeri che, nel caso dei refrigeranti organici, descrivono la composizione con il numero di doppi legami di carbonio, atomi di idrogeno e fluoro. Alla fine compare una lettera che indica la disposizione degli atomi intorno alle catene di carbonio (Figura 3.4). Il cloro non viene indicato espressamente, al contrario di bromo e iodio, ad esempio in R-22B1.
Tale metodo di denominazione si applica solo alle sostanze pure. Le denominazioni delle miscele inizia con R4... o R5.... I numeri successivi sono o vengono assegnati progressivamente e non permettono di dedurre la composizione chimica.
I refrigeranti del Gruppo 4 (R4...) sono miscele zeotropiche con scorrimento della temperatura. Ciò significa che la temperatura di evaporazione e quella di condensazione dipendono dalla proporzione dei componenti della miscela. I refrigeranti del gruppo 5 (R5...) non presentano nessuno scorrimento della temperatura (azeotropico) o comunque non percettibile e si comportano quindi come refrigeranti monocomponenti.
I refrigeranti inorganici hanno come prima cifra identificativa un 7 (R7...), mentre i numeri successivi indicano il peso molecolare in unità di massa atomica u.
Esempio dell'ammoniaca: R717 (NH_3)
Peso atomico: N = 14 u e H = 1 u
Somma (peso molecolare) = 14 u + 3 x 1 u = 17 u

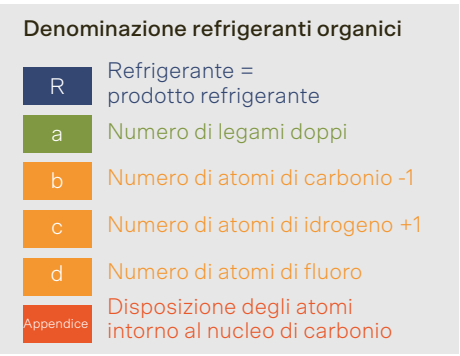


Figura 3.4: Formazione della denominazione dei refrigeranti secondo ASHRAE.

3.3 Scelta del fluido agente

Per ragioni di sicurezza e di protezione ambientale è importante, in linea di principio, ridurre al minimo la quantità di refrigerante. I requisiti tecnici di sicurezza per l'uso dei vari refrigeranti sono regolati nella norma SN EN 378. Per Legge, i refrigeranti dannosi per l'ozono (HCFC e CFC) non sono più consentiti nelle pompe di calore e negli impianti di refrigerazione. Quando potenza ed efficienza sono paragonabili, allora dovrebbero essere impiegati refrigeranti a basso GWP.
L'utilizzo dei refrigeranti consentiti è regolamentato dall'Ordinanza sulla riduzione dei rischi inerenti ai prodotti chimici (ORRPChim) nell'Allegato 2.10. La sua applicazione è finalizzata a favorire l'uso di refrigeranti naturali con basso potenziale di riscaldamento globale.
In pochi casi particolari è possibile richiedere un'autorizzazione eccezionale presso l'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM). Il modulo per la richiesta di autorizzazioni eccezionali per gli impianti di refrigerazione e ulteriori informazioni sono disponibili presso l'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM): www.bafu.admin.ch/prodotti-chimici.

3.4 Refrigeranti naturali

Esempio del propano

Il propano (R290) viene utilizzato sempre più spesso nelle pompe di calore come refrigerante, grazie al suo basso valore GWP e alle eccellenti proprietà termodinamiche. L'R290 è facilmente infiammabile (classe di sicurezza A3 secondo la norma SN EN 378-1), pertanto è indispensabile garantire una corretta manipolazione, stoccaggio e progetta-

Categoria di refrigerante			Refrigerante (esempi)	ODP[1]	GWP[2]	Gruppo di sicurezza[3]	Prescrizioni ORRChim per impianti con refrigerante
Refrigeranti che riducono lo strato di ozono	CFC	Refrigeranti monocomponenti	R11 R12 R13 R13B1	1000 1000 1000 10.000	4750 10.900 14.400 7140	A1 A1 A1 A1	– Immissione sul mercato vietata – Ricarica vietata – Obbligo di registrazione e libretto di manutenzione: impianti con capacità di miscele >3 kg – Controllo ermeticità: impianti con capacità >3 kg
		Miscele	R502	0,334	4657	A1	
	HCFC	Refrigerante monocomponente	R22	0,055	1810	A1	
		Miscele (blend), prevalentemente contenenti R-22	R401A (MP39) R402A (HP80) R402B (HP81) R408A (FX-10) R409A (FX-56)	0,037 0,021 0,033 0,021 0,048	1182 2788 2416 3152 1585	A1 A1 A1 A1 A1	
	HCFO	Refrigeranti monocomponenti	R1233zd(E) R1233zd(Z) R1224yd(Z)	<0,0004 0,0004 0,00023	3,7 0,4 0,8	A1 A1 A1	– Immissione sul mercato vietata; eccezione: allo stato della tecnica mancano alternative e sono state adottate misure atte a evitare le emissioni dei refrigeranti. – Ricarica consentita – Obbligo di registrazione e libretto di manutenzione: impianti con capacità >3 kg – Controllo ermeticità: impianti con capacità >3 kg
Refrigeranti stabili nell'aria	HFC/ HCFC	Refrigeranti monocomponenti	R23 R32 R125 R134a R143a	0 0 0 0 0	14.800 675 3500 1430 4470	A1 A2L A1 A1 A2L	– Immissione sul mercato: consentita con limitazioni in base a potenza di raffreddamento, potenziale di riscaldamento globale e circuiti secondari. Deroga qualora, secondo lo stato della tecnica, non sia possibile rispettare i requisiti di sicurezza previsti dalle norme SN EN 378-1, -2 e -3 senza l'uso di refrigeranti stabili nell'aria. – Ricarica di impianti ≥40 t CO_2 equivalenti e GWP del refrigerante ≥2500: solo refrigeranti rigenerati. Ricarica vietata a partire dal 1° gennaio 2030. – Obbligo di registrazione e libretto di manutenzione: impianti con capacità >3 kg – Controllo ermeticità: Impianti con capacità >3 kg o >5 t CO_2 equivalenti
		Miscele (blend)	R404A R407C R407F R410A R413A R417A R422A R422D R437A R507A R508A R508B	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	3922 1774 1825 2088 2053 2346 3143 2729 1805 3985 13.214 13.396	A1 A1 A1 A1 A2 A1 A1 A1 A1 A1 A1 A1	
		Miscele con HFO (blend)	R448A R449A R450A R452A R454C R455A R513A	0 0 0 0 0 0 0	1386 1396 601 2140 146 146 630	A1 A1 A1 A1 A2L A2L A1	

1 Potenziale di riduzione dell'ozono (ODP), valori numerici per CFC e HCFC secondo gli Allegati A e C del Protocollo di Montreal, valori numerici per HCFO, HCFC, HFO e refrigeranti naturali secondo l'OMM (2018) Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2018; valori ODP per miscele: somma dei valori ODP dei componenti ponderata in base alle relative percentuali di peso delle sostanze pure.

2 Potenziale di riscaldamento globale (GWP) su un orizzonte temporale di 100 anni, valori numerici per CFC, HCFC, HFC/HCFC e refrigeranti naturali dell'IPCC (2007), valori numerici per HCFO dell'OMM (2018), valori numerici per HFO dell'IPCC (2014); valori GWP per miscele: secondo la somma dei valori GWP dei componenti ponderata in base alle relative percentuali di peso delle sostanze pure.

3 Gruppo di sicurezza secondo la norma SN EN 378-1:2017; per R-454C, R-455A e R-1336mzz(Z) del rapporto Bitzer sui refrigeranti 20 (Pagg. 27 e 37).

Tabella 3.1: Panoramica dei principali refrigeranti (elenco non esaustivo), versione settembre 2020. L'utilizzo dei refrigeranti consentiti è regolamentato dall'Allegato 2.10 dell'Ordinanza sulla riduzione dei rischi inerenti ai prodotti chimici (ORRPChim). (Fonte: UFAM)

Categoria di refrigerante			Refrigerante (esempi)	ODP[1]	GWP[2]	Gruppo di sicurezza[3]	Prescrizioni ORRChim per impianti con refrigerante
Refrigeranti che non riducono lo strato di ozono e non sono stabili nell'aria	Refrigeranti naturali	Refrigeranti monocomponenti	R170 (etano) R290 (propano) R717 (NH_3) R718 (H_2O) R744 (CO_2) R600 (butano) R600a (isobutano) R1270 (propene)	- 0 - - 0 0 0 0	6 3 0 0 1 4 3 2	A3 A3 B2L A1 A1 A3 A3 A3	– Immissione sul mercato: consentita – Ricarica: consentita – Obbligo di registrazione e libretto di manutenzione: impianti con capacità >3 kg – Controllo ermeticità: nessuna indicazione
		Miscele (blend)	R290/R600a R290/R170 R723 (DME/NH_3)	0 0 0	3 3 8	A3 A3 –[4]	
	HFO		R1234yf R1234ze R1336mzz(Z)	0 0 0	<1 <1 2	A2L A2L A1	

4 L'R-723 non è contemplato nella norma SN EN 378-1:2017, ma può essere considerato tossico e non combustibile con composizione al 60 % di ammoniaca e 40 % di DME; vedere le indicazioni del produttore.

zione del sistema. La struttura della pompa di calore e i componenti elettrici utilizzati devono soddisfare i requisiti di sicurezza previsti dalla Direttiva europea ATEX 114.
Si applicano norme stringenti sull'installazione, la segnaletica di sicurezza, la suddivisione in zone delle aree con gas infiammabili, la manutenzione e lo smaltimento dei refrigeranti. I valori limite di riempimento sono regolamentati secondo la norma SN EN 378-1 in base al luogo di installazione e alla classe di sicurezza. Per le pompe di calore realizzate come sistemi permanentemente chiusi e installate internamente, la carica di refrigerante massima consentita è pari a 150 g per circuito frigorifero. Sono ammesse quantità di carica superiori, ma è necessario fornire la relativa documentazione e adottare le misure previste dalla norma SN EN 378-1. A causa della limitazione della carica, vengono generalmente offerte pompe di calore monoblocco installate all'esterno. Le pompe di calore per installazione interna utilizzano sensori di rilevamento di fughe di gas e sistemi di ventilazione di emergenza per rilevare eventuali perdite di gas refrigerante e convogliarle in sicurezza verso l'esterno.

Concetti di sicurezza

L'R290 è più pesante dell'aria. Per questo motivo, in caso di perdita, il gas fuoriuscito si accumula al suolo. Le pompe di calore installate all'esterno devono essere posizionate a distanza di sicurezza dalle aperture dell'edificio come finestre, porte e lucernari. Il passaggio delle condotte verso l'interno dell'edificio deve essere a tenuta di gas. Devono essere rigorosamente rispettate le distanze indicate dal produttore. Un esempio di installazione di una pompa di calore a propano è mostrato in Figura 3.5.

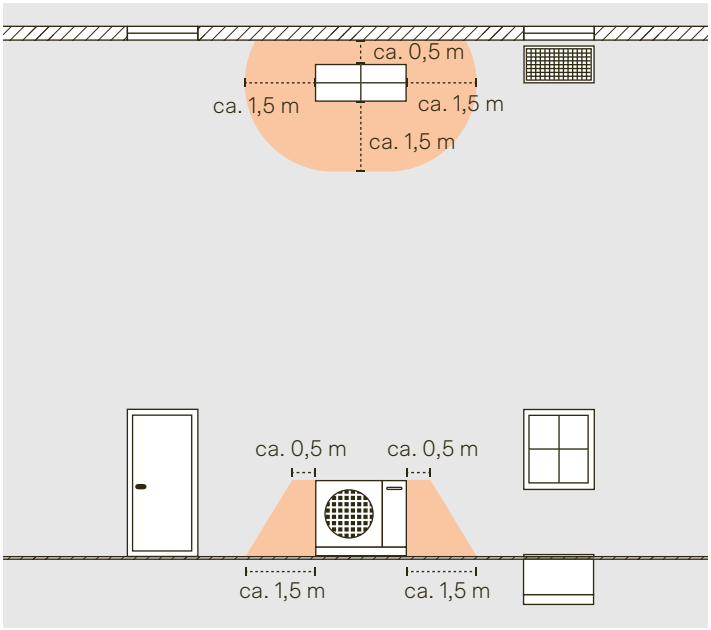


Figura 3.5: Specifiche per l'installazione di una pompa di calore a propano.

Devono essere evitati in ogni caso il congelamento e altri danni al condensatore. È particolarmente critica la fuoriuscita di gas refrigerante R290 nel circuito di riscaldamento/carica.
Le misure atte a prevenire le perdite nel circuito di riscaldamento/carica sono:
- Utilizzo di uno scambiatore di calore di sicurezza a doppia parete come condensatore.
- Utilizzo di valvole antigelo nei circuiti di riscaldamento/carica per scaricare l'acqua in caso di rischio di gelo.
- Utilizzo di un circuito aggiuntivo acqua/(glicole) tra la pompa di calore e il circuito di riscaldamento/carica, per limitare le perdite all'esterno. Ai fini dell'efficienza è indispensabile uno scambiatore di calore con indice di interscambio ridotto (raccomandazione 1–2 K).

Se, nonostante queste misure, il condensatore viene danneggiato, in caso di piccole perdite il refrigerante può penetrare lentamente nel circuito di riscaldamento/carica. Una microvalvola di sfiato per gas installato nell'apparecchio/all'esterno, oppure all'interno con una condotta di scarico verso l'esterno, convoglia il gas refrigerante all'esterno. In caso di perdite più consistenti, il refrigerante deve essere scaricato all'esterno tramite valvola di sovrapressione (Figura 3.6).
Per eseguire interventi sulle apparecchiature R290, sono necessari dispositivi di sicurezza, rilevatori di fughe di gas ed estintori per gas infiammabili. Gli specialisti di questo settore devono essere formati e certificati. Devono possedere l'autorizzazione speciale alla manipolazione di refrigeranti e il certificato CFSL, oltre a conoscenze in materia di misure di emergenza.
È indispensabile effettuare ispezioni regolari degli impianti con rilevatori di fughe di gas. Tuttavia, non si applicano agli impianti di piccole dimensioni con capacità inferiori a 150 g.
Gli interventi di manutenzione che possono generare fonti di innesco, come brasatura o riparazione di componenti elettrici, devono essere eseguiti con la massima cautela o, se possibile, evitati (vedere Capitolo 11.3).
Attenzione: i punti precedenti si applicano anche agli apparecchi con R170 (etano), R600a (isobutano), R1270 (propene) e le relative miscele.

Esempio dell'ammoniaca

L'ammoniaca (R717) è un refrigerante efficace ed ecocompatibile (GWP e ODP pari a 0). Tuttavia, a causa della tossicità, infiammabilità e proprietà cor-

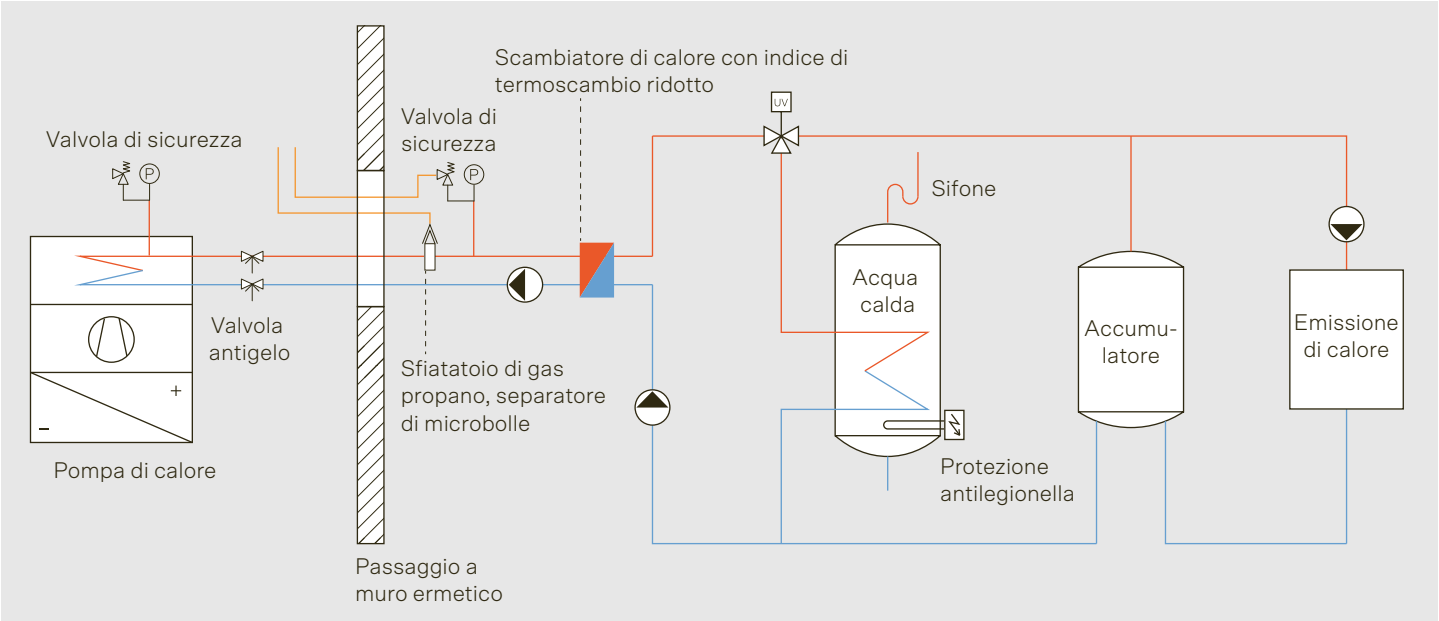


Figura 3.6: Misure di sicurezza per pompe di calore con propano come refrigerante.

rosive (classe di sicurezza B2L), richiede cautela e misure particolari.
Poiché l'ammoniaca è tossica già a basse concentrazioni, i sistemi a base di ammoniaca sono soggetti a normative stringenti secondo la SN EN 378. L'inalazione di concentrazioni elevate può avere gravi effetti sulla salute, tra cui irritazione delle vie respiratorie, danni ai polmoni e, in casi estremi, morte.
L'ammoniaca è meno infiammabile dell'R290 (propano), ma può bruciare in aria in concentrazioni volumetriche comprese tra il 16 e il 25 %. È necessario adottare misure precauzionali per evitare fonti di innesco in aree in cui potrebbe accumularsi ammoniaca, in particolare in locali chiusi, dove gli apparecchi elettrici devono essere protetti contro le esplosioni.
L'ammoniaca è corrosiva, in particolare sul rame e le sue leghe. Per questo motivo, componenti come tubazioni, valvole e raccordi sono generalmente realizzati in acciaio, acciaio inox o alluminio.
Di solito l'ammoniaca viene utilizzata per pompe di calore e impianti di condizionamento commerciali e industriali di grandi dimensioni, ad es. per piste di ghiaccio artificiali o impianti di teleriscaldamento, dove l'elevata entalpia di evaporazione specifica dell'R717 consente l'uso di aggregati di piccole dimensioni.
A causa della tossicità e della complessità dei sistemi, l'ammoniaca viene invece utilizzata raramente negli edifici residenziali o nei piccoli impianti. Per ridurre al minimo il rischio, gli impianti a base di ammoniaca vengono spesso collocati all'aperto o in appositi locali tecnici, dove eventuali perdite possono essere gestite facilmente. Negli ambienti interni sono obbligatori rilevatori di fughe di gas e sistemi di ventilazione di emergenza, che eliminano in modo rapido e sicuro le fughe di ammoniaca. I sistemi di arresto di emergenza e le valvole di sicurezza automatiche sono particolarmente importanti nelle pompe di calore ad ammoniaca, per isolare rapidamente il refrigerante in caso di perdite o guasti al sistema. Soprattutto negli ambienti industriali devono essere disponibili piani di emergenza in caso di possibile rilascio di ammoniaca.
Per lo stoccaggio e la manipolazione dell'ammoniaca vigono rigorosi protocolli di sicurezza. Sono necessari contenitori speciali, un'etichettatura adeguata e luoghi di stoccaggio sicuri.
I tecnici che eseguono interventi sui sistemi ad ammoniaca devono seguire una formazione per ottenere «l'autorizzazione speciale per la manipolazione di refrigeranti», ovvero i corsi ATF «Tecnica del freddo 1, nozioni di base» e «Ambiente ed ecologia». La gestione sicura degli impianti che utilizzano ammoniaca presuppone competenze su:
- Manutenzione corretta e ispezione per individuare eventuali perdite, corrosione e anomalie di pressione
- Progettazione del sistema e procedura di installazione
- Procedura di manutenzione per evitare incidenti
- Programmi di certificazione e formazione

Devono inoltre essere disponibili dispositivi di protezione individuale (DPI) per i lavoratori e il personale di servizio in loco.

Esempio dell'anidride carbonica
L'anidride carbonica (CO_2, R744) sarà utilizzata sempre più spesso in futuro, grazie al basso potenziale di riscaldamento globale (GWP pari a 1) e alla compatibilità ambientale (ODP pari a 0). Tuttavia, per la progettazione, l'installazione e il funzionamento delle pompe di calore a CO_2 è necessario tenere conto di alcuni aspetti particolari legati alle caratteristiche termodinamiche e funzionali della CO_2.
Gli impianti ad anidride carbonica funzionano con pressione notevolmente più elevata rispetto agli impianti con refrigeranti tradizionali. A seconda dell'applicazione e delle condizioni operative del sistema, la pressione è di norma compresa tra 30 e 130 bar. Al fine di ga-

rantire sicurezza e affidabilità, componenti come compressori, scambiatori di calore e tubazioni devono essere progettati per tale pressione elevata.

Funzionamento transcritico, rendimento termodinamico e COP: Secondo la Figura 3.1, la CO_2 ha una potenza volumetrica di raffreddamento/riscaldamento relativamente elevata, che rende possibile trasferire grandi quantità di calore per unità di volume e quindi realizzare unità compatte. A differenza di molti altri refrigeranti, la CO_2 viene spesso utilizzata nelle applicazioni di riscaldamento in condizioni transcritiche, in particolare quando sono richieste temperature di erogazione elevate. Nel circuito transcritico il gas non viene completamente condensato, ma passa attraverso un raffreddatore a gas invece che attraverso un condensatore. Questo richiede una progettazione speciale del sistema, per ottimizzare il trasferimento di calore e mantenere l'efficienza in condizioni transcritiche.
Le pompe di calore a CO_2 sono perfette per le applicazioni commerciali e industriali che richiedono il riscaldamento ad alta temperatura dell'acqua o degli ambienti, come ospedali, hotel, industria alimentare e teleriscaldamento. Nelle abitazioni private vengono utilizzate in particolare per la produzione di acqua calda.
Le pompe di calore a CO_2 richiedono componenti speciali, tra cui compressori, raffreddatori a gas e scambiatori di calore progettati per funzionare ad alta pressione e in condizioni transcritiche. Il valore COP delle pompe di calore a CO_2 è relativamente buono a basse temperature di erogazione, ma a temperature più elevate l'efficienza diminuisce a causa del comportamento transcritico. Per aumentare l'efficienza del processo vengono per questo motivo spesso utilizzati compressori multistadio e cosiddetti eiettori. L'ottimizzazione di un sistema a CO_2 richiede un controllo preciso dei livelli di pressione e temperatura, per mantenere l'efficienza in diverse condizioni operative.

Requisiti di installazione e manutenzione: Gli installatori devono essere formati per lavorare con sistemi ad alta pressione e potrebbero avere bisogno di strumenti e tecniche speciali per la manutenzione e le riparazioni. Per garantire che la pressione e la temperatura rimangano entro i limiti di progetto ed evitare perdite di efficienza o usura dei componenti, è indispensabile una manutenzione regolare.

Considerazioni sui costi: I costi di acquisto delle pompe di calore a CO_2 sono generalmente più elevati rispetto ai sistemi refrigeranti tradizionali, poiché richiedono componenti resistenti alle alte pressioni e strutture speciali. A lungo termine è tuttavia possibile ottenere risparmi grazie a costi di esercizio inferiori, soprattutto se il sistema può operare per la fornitura combinata di freddo e calore ad alta temperatura. In questo caso le pompe di calore a CO_2 sono particolarmente efficienti.

3.5 Capacità massima di refrigerante secondo la norma SN EN 378-1

Se il refrigerante può essere utilizzato per un'applicazione ai sensi dell'ordinanza ORRPChim, la capacità deve essere determinata secondo la norma SN EN 378-1. Sono previste restrizioni relative alla protezione delle persone per l'area di accesso e il luogo di installazione della pompa di calore. Si distinguono le categorie seguenti:

a Area di accesso generale (ospedali, scuole, hotel, ecc.)
b Area di accesso sorvegliato (locali commerciali, laboratori, uffici, ecc.)
c Area di accesso per persone autorizzate (capannoni produttivi, ecc.)

I luoghi di installazione sono classificati come segue:

– Classe I: attrezzatura meccanica posizionata all'interno dello spazio occupato (pompe di calore, sistema di refri-

gerazione o le parti contenenti refrigerante)
- Classe II: compressori in sala macchine o all'aria aperta (serpentine e tubazioni, comprese le valvole, possono essere collocate in uno spazio occupato)
- Classe III: sala macchine o aria aperta (tutte le parti contenenti refrigerante sono ubicate in una sala macchine o all'aria aperta)
- Classe IV: involucro ventilato (tutte le parti contenenti refrigerante sono posizionate in un involucro ventilato)

Per determinare o calcolare il limite della capacità di refrigerante, si tiene conto della tossicità e dell'infiammabilità secondo le tabelle di selezione della norma SN EN 378-1.
L'ausilio elettronico alla progettazione dell'Associazione Ticinese Frigoristi ATF semplifica l'attuazione della norma: https://bit.ly/SVK_378_it

3.6 Effetto serra e indice TEWI

TEWI (Total Equivalent Warming Impact, Impatto totale equivalente di riscaldamento) è una procedura per la valutazione del riscaldamento globale. Vengono rilevati sia l'apporto diretto nell'atmosfera delle emissioni di refrigerante sia l'apporto indiretto derivante dall'energia utilizzata per il funzionamento. In un determinato impianto l'indice TEWI racchiude:
- la conseguenza diretta sull'effetto serra attraverso la perdita di refrigerante a determinate condizioni;
- la conseguenza indiretta sull'effetto serra attraverso il CO_2, che viene liberato durante la produzione dell'energia necessaria al funzionamento dell'impianto durante la sua vita utile.

Gli aspetti più importanti dell'indice TEWI:
- L'applicazione dell'indice TEWI è molto efficace per valutare l'effetto serra.
- L'indice TEWI può essere calcolato con la formula indicata nel riquadro «Metodo di calcolo del TEWI».
- L'indice di sfruttamento energetico ha una grande influenza sul TEWI (riducendo l'assorbimento di energia).
- L'indice TEWI può essere ridotto in modo sensibile azionando la pompa di calore tramite corrente elettrica proveniente interamente da fonti rinnovabili.

Metodo di calcolo del TEWI

TEWI = Total Equivalent Warming Impact
$TEWI = (GWP \cdot L \cdot n) + (GWP \cdot m \cdot [1 - \alpha_{recupero}]) + (n \cdot E_{anno} \cdot \beta)$

Dove

$GWP \cdot L \cdot n$	quantità di perdite per le dispersioni
$(GWP \cdot m\ [1 - \alpha_{recupero}])$	quantità di perdite per il recupero
$(n \cdot E_{anno} \cdot \beta)$	quantità di perdite per il fabbisogno di energia

Dove

TEWI	impatto totale equivalente di riscaldamento in kg CO_2
GWP	potenziale di riscaldamento globale, basato sulla CO_2
L	quantità di perdite annue in kg per anno
n	tempo di esercizio dell'impianto in anni
m	capacità di refrigerante in kg
$\alpha_{recupero}$	fattore di recupero, rispettivamente riciclaggio (da 0 a 1)
E_{anno}	fabbisogno di energia annuo in kWh per anno
β	emissioni CO_2 in kg per kWh

– L'indice TEWI incide sui costi d'esercizio.

Misure efficaci per ridurre l'indice TEWI:
– Utilizzo di refrigeranti naturali o refrigeranti a basso GWP
– Progettazione o scelta dell'impianto di refrigerazione e del refrigerante ottimali
– Ottimizzazione dell'impianto per raggiungere valori di COP/EER rispettivamente di sfruttamento massimi
– Manutenzione corretta, senza perdite di refrigerante
– Recupero o riciclaggio dei refrigeranti usati

3.7 Life Cycle Climate Performance (LCCP)

Il valore LCCP (Life Cycle Climate Performance) è un indicatore ancora più completo per valutare l'impatto ambientale complessivo di una pompa di calore o di un impianto del freddo durante l'intero ciclo di vita. Tiene conto delle emissioni dirette dei refrigeranti e delle emissioni indirette derivanti dal consumo energetico, dalla produzione, dal trasporto e dallo smaltimento (Figura 3.7). GWP e TEWI sono indicatori parziali del metodo.

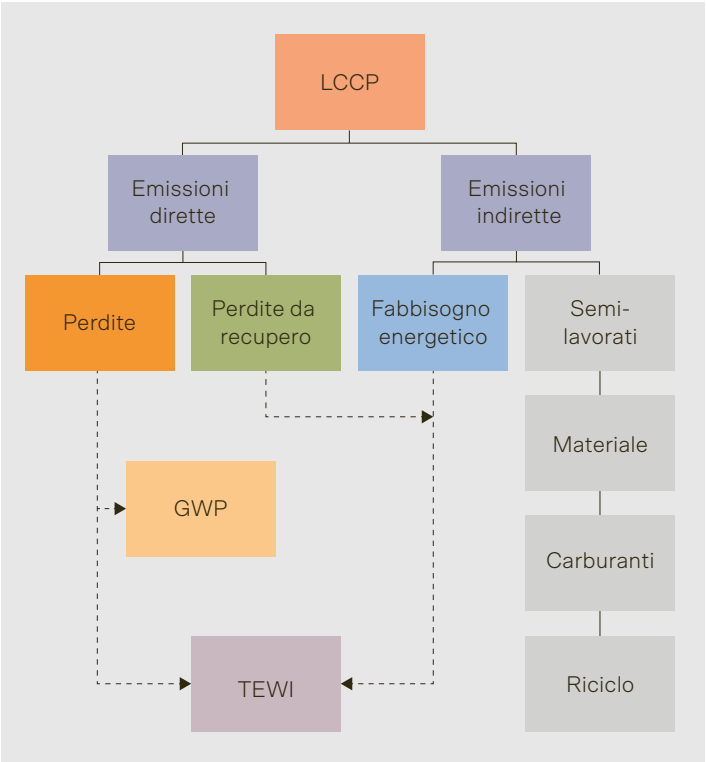


Figura 3.7: Aspetti considerati nella determinazione del valore LCCP (Life Cycle Climate Performance). (Fonte: ATF)

LCCP = emissioni dirette + emissioni indirette + emissioni da produzione e smaltimento in kg CO_2eq.

Le emissioni dirette si verificano a causa di perdite durante l'intera vita utile della pompa di calore, la manutenzione e la dismissione. Per ridurre l'impatto delle perdite vengono privilegiati con sempre maggiore frequenza i refrigeranti con valore GWP inferiore, come R32, R290 o CO_2.
Le emissioni indirette comprendono il consumo energetico durante il funzionamento delle pompe di calore, in base all'intensità di carbonio della fornitura di energia elettrica. Per ridurre al minimo le emissioni legate al consumo energetico è fondamentale che i valori di efficienza energetica siano elevati (COP, SCOP, CLA). Occorre inoltre considerare l'impatto ambientale derivante da
– produzione di componenti e refrigeranti,
– trasporto della pompa di calore dallo stabilimento all'utente finale,
– catena di fornitura complessiva, smaltimento e riciclo.

I prodotti di lunga durata migliorano il valore LCCP e la manutenzione regolare contribuisce a garantire l'efficienza.
Le pompe di calore alimentate con energie rinnovabili (vento, sole) o installate in regioni con fornitura elettrica a basse emissioni di carbonio, hanno emissioni indirette notevolmente inferiori rispetto a quelle alimentate da energia elettrica prodotta da combustibili fossili. Il valore LCCP dipende inoltre dalle condizioni climatiche e di carico. Nelle regioni fredde, il consumo di energia elettrica della pompa di calore è superiore.
I sistemi sovra o sottodimensionati portano a un funzionamento inefficiente, che nel tempo comporta emissioni indi-

rette più elevate. Il corretto dimensionamento del sistema per il carico di riscaldamento/raffreddamento dell'edificio è quindi imprescindibile per un valore LCCP ottimale.

3.8 Ulteriori impatti ambientali: PFAS e TFA

Le sostanze per- e polifluoroalchiliche (Per- and Polyfluoroalkyl Substances, PFAS), di cui fa parte anche l'acido trifluoroacetico (TFA), stanno diventando un grave problema ambientale e sanitario in relazione ai refrigeranti. I PFAS sono un gruppo di sostanze chimiche sintetiche note per la propria stabilità, resistenza al calore e idrorepellenza. A fronte di tali caratteristiche, i PFAS sono presenti in molti prodotti di uso quotidiano. Dopo il rilascio nell'ambiente, alcuni refrigeranti, come gli idrofluorocarburi (HFC) e le fluoroolefine (HFO), possono trasformarsi in composti PFAS, spesso definite «sostanze chimiche eterne», poiché non si degradano naturalmente nel corso del tempo. Vengono inoltre associati a effetti negativi sulla salute. Si tratta di sostanze chimiche bioaccumulabili, ovvero si accumulano nel corso del tempo negli organismi viventi, causando rischi a lungo termine per la salute. I governi e le autorità ambientali, in particolare l'EPA, Agenzia statunitense di protezione dell'ambiente, e l'Unione Europea, stanno quindi limitando in modo sempre più stringente l'utilizzo di PFAS, stabilendone i limiti di concentrazione nell'aria, nell'acqua e nei prodotti di consumo.
Il TFA (acido trifluoroacetico) è un acido carbossilico perfluorurato a catena corta che si forma come prodotto di degradazione di determinati HFC e HFO quali R1234yf, R134a e R125. Il TFA si forma nell'atmosfera quando i refrigeranti vengono degradati, in particolare attraverso l'interazione con i raggi UV e i processi atmosferici. Il TFA è facilmente solubile in acqua e può accumularsi nelle acque superficiali e sotterranee, negli oceani e nel suolo. La sua longevità significa che può bioaccumularsi nei sistemi acquatici. A differenza delle sostanze chimiche PFAS a catena lunga, il TFA a catena corta non si accumula nell'organismo nella stessa misura. Tuttavia, il TFA rappresenta un problema ambientale per il potenziale di contaminazione dell'acqua potabile e degli ecosistemi.
La scelta di refrigeranti naturali non causa la formazione di PFAS. In particolare, la sostituzione di HFC/HFO con refrigeranti non fluorurati, come i refrigeranti naturali ammoniaca, CO_2 o propano, non provoca un aumento delle sostanze chimiche PFAS nell'ambiente.

3.9 Quadro giuridico e sviluppi

Come prescritto dai trattati internazionali ratificati, la Svizzera si è impegnata a ridurre il consumo di idrofluorocarburi (HFC) al 15 % del valore iniziale (consumo medio negli anni dal 2011 al 2013) entro il 2036. Particolarmente rilevanti in tale contesto sono il Protocollo di Montreal (RS 0.814.021), recepito nel diritto federale, e la successiva quinta modifica («Emendamento di Kigali», RS 0.814.021.5).
Tali idrofluorocarburi producono un forte effetto serra e costituiscono la maggior parte dei refrigeranti stabili nell'aria. In Europa, l'uso di refrigeranti con valore GWP elevato è regolato dal cosiddetto Regolamento F-gas del 7 febbraio 2024 (Regolamento del Parlamento europeo e del Consiglio sui gas fluorurati a effetto serra). Il regolamento F-Gas non è tuttavia valido in Svizzera, dove si applica la corrispondente Ordinanza sulla riduzione dei rischi inerenti ai prodotti chimici (ORRPChim). Con la revisione dell'ordinanza ORRPChim relativa ai refrigeranti stabili nell'aria entrata in vigore il 1° gennaio 2025, è stato quindi garantito che in Svizzera e nell'UE si applichino norme comparabili.
Anche le norme relative all'immissione sul mercato di impianti con refrigeranti sintetici sono integrate da divieti specifici nel diritto internazionale vigente. Di

conseguenza, nell'Unione Europea entreranno progressivamente in vigore ulteriori disposizioni fino al 2035. Al fine di rispettare le fasi di riduzione previste per il consumo di HFC (2027, 2029, 2030, 2032, 2033, 3035) e di riflettere lo stato attuale della tecnica, sono già previsti ulteriori inasprimenti nell'Allegato 2.10 ORRPChim. La modifica dell'ordinanza, entrata in vigore il 1° gennaio 2025, riflette le norme che saranno valide anche nell'UE a partire da tale data.
Per gli impianti con capacità di refrigerante pari o superiore a 3 kg deve essere tenuto un libretto di manutenzione, dove devono essere registrati tutti gli interventi e le manutenzioni, come la ricarica di refrigerante, effettuati dal tecnico specializzato. Se si utilizzano refrigeranti che riducono lo strato di ozono o che sono stabili nell'aria, l'impianto deve essere inoltre registrato presso le autorità competenti e controllato regolarmente per verificarne l'ermeticità. Ciò si applica a tutti gli impianti con capacità di almeno 3 kg e più di 5 tonnellate di CO_2 equivalenti di refrigeranti stabili nell'aria. L'obbligo di controllo dell'ermeticità degli impianti HFO è stato modificato.
Con la registrazione, l'impianto riceve una vignetta da applicare sull'apparecchio, per consentirne l'identificazione. Per ulteriori informazioni e i modelli di libretto di manutenzione, si rimanda al sito web dell'UFAM «Registrazione di impianti con refrigeranti» (https://bit.ly/b_nrp) o all'ufficio incaricato delle registrazioni.
In Svizzera i refrigeranti che riducono lo strato di ozono sono completamente vietati da alcuni anni, anche per la ricarica in caso di perdite negli impianti esi-

Quando viene «immessa sul mercato» una pompa di calore in Svizzera?
Immettere sul mercato significa «rendere disponibile a terzi» o «cedere a terzi», ivi compresa l'importazione a fini professionali o commerciali (ORRPChim Art. 4 Par. 1 Lettera i). In concreto, ciò significa che è considerata «immissione sul mercato» anche la consegna di una pompa di calore a un cliente finale. Le pompe di calore soggette a divieto di immissione sul mercato non possono quindi più essere consegnate ai clienti finali dopo la data di riferimento del divieto di immissione sul mercato.
Nel diritto in materia di prodotti chimici (ORRPChim) e di energia (ad es. OEEne), la definizione del concetto di «immissione sul mercato» può variare. Per i refrigeranti è determinante l'articolo 4 Par. 1 Lettera i dell'ordinanza ORRChim, secondo la cui definizione anche la vendita di una pompa di calore a un cliente finale è considerata «immissione sul mercato». In concreto, ciò significa che gli impianti monosplit con <3 kg di refrigerante e GWP ≥750 non possono più essere venduti a partire dal 1° gennaio 2025.

Figura 3.8: Limitazioni per pompe di calore con refrigeranti stabili nell'aria. (Fonte: Sintesi grafica delle limitazioni per pompe di calore ai sensi dell'ordinanza ORRPChim, versione 31 dicembre 2025)

Divieto a partire dal 1.1.2027	Potenze di riscaldamento			Refrigerante/GWP
Tipo di costruzione	**<12 kW**	**>12 kW fino a 50 kW**	**>50 kW fino a 250 kW**	
Mono-Split-L/W	Non consentito con meno di 3 kg di refrigerante			H-HFC R134a, R407c, R410a >750 e <2100
Split-L/W	Non consentito	Consentito fino al 1.1.2029		
Monoblocco	Non consentito		Consentito fino al 1.1.2030	
Split-L/W	Non consentito	Consentito presumibilmente fino al 1.1.2033		H-HFC / HFO R32, R452b, R454b >150 e <750
Monoblocco	Non consentito		Cons. fino al 1.1. 2030	
Split-L/W	Consentito presumibilmente fino al 1.1. 2035	Consentito (nessuna data di divieto nota)		HFO R454c <150
Monoblocco	Consentito presumibilmente fino al 1.1. 2032	Consentito (nessuna data di divieto nota)		

stenti. Non è tuttavia vietato il funzionamento di impianti ermetici. L'utilizzo di refrigeranti stabili nell'aria è consentito solo in misura limitata. Ad esempio, non possono più essere immesse sul mercato le pompe di calore per il settore del comfort con R134a (un HCFC), in precedenza molto diffuso, e con una potenza dell'evaporatore superiore a 600 kW. La potenza massima sarà ridotta a partire dal 2027.
Una sintesi grafica delle norme relative all'immissione sul mercato e alla ricarica di refrigerante negli impianti fissi può essere scaricata dal sito web UFAM «Refrigeranti» (https://bit.ly/pr_UFAM).
Negli ultimi anni si è quindi passati a sostanze con valore GWP ridotto. Partendo dai climatizzatori delle automobili, sono state approfondite varie possibili alternative, da cui sono nati il refrigerante HFO R1234yf e le miscele derivate.
La minore stabilità dell'R1234yf ha tuttavia suscitato opinioni contrastanti sulla sua utilizzabilità e non si conoscono ancora gli effetti a lungo termine di tali sostanze. La Tabella 3.1 contiene l'elenco dei principali refrigeranti utilizzati nelle pompe di calore.
Oggi il mercato delle pompe di calore è in prevalenza basato su prodotti di serie fabbricati all'estero per l'intero spazio europeo, importati in Svizzera e venduti ai clienti finali in configurazioni standard. L'adeguamento del quadro normativo ha determinato in tale contesto un orientamento da parte dei produttori di pompe di calore verso i refrigeranti naturali. Mentre per le case unifamiliari e bifamiliari è già disponibile sul mercato un'ampia gamma di pompe di calore per installazione esterna con refrigeranti naturali, nel settore sono in fase di sviluppo pompe di calore sicure ed efficienti con refrigeranti naturali per altri campi di applicazione, ad esempio per installazione interna.

Esempi di immissione sul mercato

1. Il produttore europeo A consegna della merce alla sua rappresentanza in Svizzera il 20/12/aaaa. La merce si trova a disposizione degli installatori dopo il divieto. L'importazione in Svizzera ne rappresenta la prima immissione sul mercato. La consegna (trasferimento fisico) all'installatore è tuttavia considerata una nuova immissione sul mercato e rientra nelle norme vigenti al momento della consegna, ovvero, in questo esempio, nel divieto.
2. Il 20/12/aaaa l'installatore X acquista, per sicurezza, altre 10 pompe di calore con R410A e le mette a magazzino, così da poterle installare anche dopo l'entrata in vigore del divieto. Ha ricevuto conferme verbali dai clienti finali che ritireranno gli apparecchi nei successivi 6 mesi. Tuttavia, ciò non è consentito, poiché i dispositivi verrebbero consegnati ai clienti dopo l'entrata in vigore del divieto (immissione sul mercato).
3. Il 31/12/aaaa il cliente finale si fa consegnare e fatturare una pompa di calore, da installare dopo il divieto nell'autunno dell'anno successivo. Questo è consentito. La consegna al cliente finale equivale all'immissione sul mercato dell'impianto, anche se la fattura non fosse ancora stata emessa.
4. Il produttore B realizza un impianto su misura per un cliente in Svizzera. L'impianto è stato pagato, ma non può essere consegnato fino al 31/12/aaaa perché mancano ancora alcuni componenti. Il produttore può consegnare e installare il prodotto presso il cliente finale solo tre mesi dopo l'entrata in vigore del divieto. Ciò non è però consentito, poiché l'impianto viene immesso sul mercato solo al momento della consegna fisica, successiva all'entrata in vigore del divieto. (Fonte: Immoclima Svizzera, Associazione professionale svizzera per le pompe di calore)

Gli apparecchi monosplit con contenuto di refrigerante <3 kg e GWP ≥ 750 non potranno più essere commercializzati con l'entrata in vigore della revisione dell'ordinanza ORRPChim il 1° gennaio 2025, come già avviene nell'UE. Ciò è motivato dal fatto che per questi campi di applicazione sono già disponibili sul mercato apparecchi alternativi con refrigeranti naturali.
In Svizzera possono attualmente essere immessi sul mercato solo apparecchi con potenza di raffreddamento superiore a 600 kW con refrigeranti non stabili nell'aria. L'ulteriore procedura di consultazione ancora in corso sull'ordinanza ORRPChim prescrive che a partire dal 1° gennaio 2027 la normativa sia estesa a potenze di raffrescamento inferiori, ad es. 200 kW; al momento della stampa del presente testo, il valore esatto non era ancora noto. I campi di applicazione con potenze frigorifere fino, ad esempio, a 200 kW, dovranno essere regolamentati in modo analogo al Regolamento F-gas e potranno beneficiare di periodi di transizione più lunghi. Le autorità possono inoltre concedere deroghe qualora, allo stato attuale della tecnica, senza l'uso di un refrigerante stabile nell'aria, non sia possibile rispettare le norme SN EN 378-1, -2 e -3, IEC 603356-2-89 e IEC 60335-2-40, nella versione attualmente vigente. Anche questo aspetto sarà modificato dal 2027: al posto delle autorizzazioni dovranno essere disponibili deroghe direttamente applicabili.
Tali adeguamenti giuridici si rendono necessari per il raggiungimento dell'obiettivo prefissato di riduzione dei refrigeranti stabili nell'aria. Il settore industriale, le associazioni di categoria, i progettisti e gli installatori sono consapevoli delle criticità che comportano i refrigeranti naturali. Si tratta ora di mantenere l'impegno prioritario per la transizione dalle energie fossili a quelle rinnovabili, in collaborazione con l'UFAM. Ogni pompa di calore che sostituisce un impianto di riscaldamento alimentato da combustibili fossili rappresenta infatti un chiaro valore aggiunto per la protezione del clima, indipendentemente dal refrigerante utilizzato. Si stima che, in una tipica casa unifamiliare, la pompa di calore consenta un risparmio medio di 4 tonnellate di CO_2 all'anno rispetto a una caldaia alimentata a gas naturale.

3.10 Ulteriori informazioni

- Ufficio federale dell'ambiente: pagine web sui temi «Refrigeranti» e «Registrazione di impianti con refrigerante»
- Ufficio federale dell'ambiente: Aiuti all'esecuzione «Impianti contenenti prodotti refrigeranti: dal progetto all'immissione sul mercato», 2025, e «Impianti e apparecchi contenenti prodotti refrigeranti: esercizio e manutenzione», 2025
- SvizzeraEnergia: «Manuale fluidi refrigeranti per specialisti RCV», edizione 09/2025
- Immoclima Svizzera, Associazione professionale svizzera per le pompe di calore: Scheda informativa «Refrigeranti naturali», versione marzo 2024; scheda informativa «Stato dell'arte in materia di refrigeranti», marzo 2024
- Immoclima Svizzera, Associazione professionale svizzera per le pompe di calore: FAQ «Refrigeranti nelle pompe di calore: cosa si applica e cosa bisogna considerare?», versione settembre 2024
- Suissetec: Scheda «Impiego di pompe di calore e sistemi di refrigerazione con refrigeranti infiammabili a bassa tossicità», dicembre 2024
- Associazione Ticinese Frigoristi (ATF): Scheda «Gestione di pompe di calore e impianti di refrigerazione con refrigeranti a bassa tossicità e infiammabili delle classi di sicurezza A3 e A2L», luglio 2025 (solo in tedesco)

Capitolo 4

Fonti di calore

Le pompe di calore consentono l'utilizzo dei seguenti tipi di fonti di calore:
- Aria esterna
- Calore della terra
- Acqua di falda e di superficie
- Calore residuo
- Raffreddamento dell'edificio

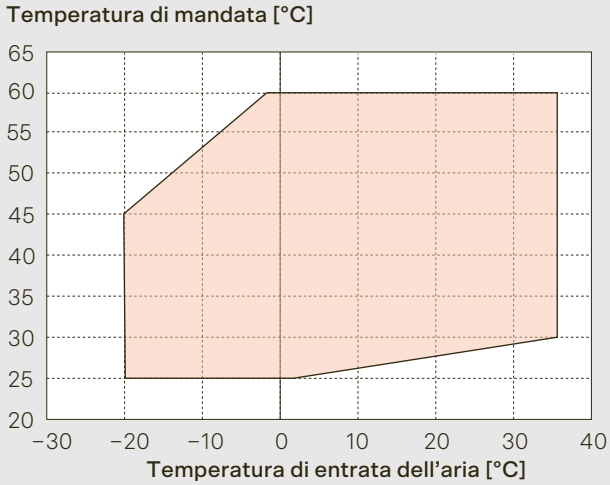
Di base si può affermare che, più è basso il livello di temperatura della fonte di calore, peggiore è l'efficienza (COP) della pompa di calore e viceversa.

4.1 Aria esterna

L'aria esterna è a disposizione quale fonte di energia in quantità illimitata. Tuttavia, la bassa capacità termica dell'aria – in confronto a quella della salamoia o dell'acqua – è svantaggiosa: in confronto richiede portate volumetriche elevate al condensatore; inoltre, in caso di aria esterna umida e fredda, sul condensatore può depositarsi della condensa che congela (brina) e che quindi deve essere regolarmente rimossa. Bisogna inoltre considerare che la temperatura della fonte di calore è opposta alla temperatura necessaria per l'impianto di riscaldamento: quando la temperatura dell'aria esterna aumenta, aumenta anche la capacità di riscaldamento dell'apparecchio. Questo effetto può essere contrastato grazie al controllo in cascata o alla regolazione della velocità dei compressori (Figura 4.1). Il trasporto dell'aria attraverso il ventilatore può provocare fastidiose emissioni sonore; per questo motivo le autorità comunali competenti per il rilascio delle licenze edilizie richiedono generalmente una verifica della protezione acustica (Capitolo 8).

Sistemi

Si differenziano le seguenti tipologie costruttive:
- **Impianto compatto per la posa interna:** Questa tipologia costruttiva viene adottata in genere per i piccoli e medi impianti. (potenza di riscaldamento: da 5 kW a 50 kW).
- **Impianto compatto per la posa esterna:** Questa tipologia costruttiva viene impiegata laddove nell'edificio non esiste sufficiente spazio (o esso viene richiesto dalla committenza).
- **Impianto split:** Viene impiegato laddove l'aria esterna, a causa dell'elevato volume d'aria necessario, non può essere condotta direttamente all'aggregato posizionato all'interno dell'edificio. La parte dell'evaporatore viene posizionata all'aperto, mentre il compressore e il condensatore nell'edificio. Il compressore può trovarsi nell'unità esterna o interna.



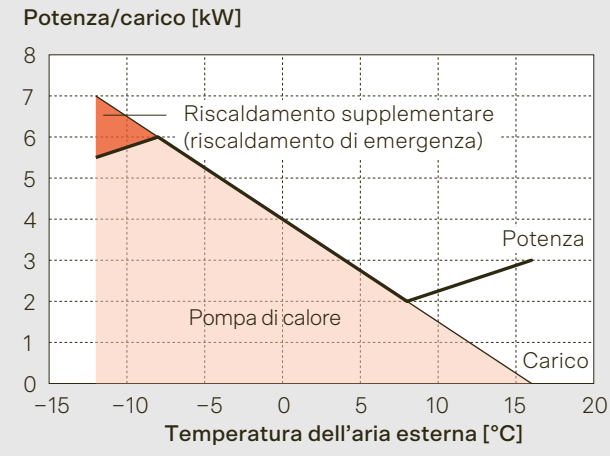


Figura 4.1: Esempio di limiti di applicazione di una pompa di calore aria-acqua (sopra). In caso di temperature di entrata dell'aria molto basse, sono raggiungibili solo ridotte temperature di mandata. Sotto: Carico dell'edificio e potenza termica (PdC con modulazione di potenza). In caso di basse temperature dell'aria esterna il carico deve essere garantito tramite un riscaldamento supplementare. Attenzione: per Legge, la pompa di calore deve poter coprire da sola il fabbisogno fino alla temperatura di dimensionamento.

Indicazioni per la progettazione
L'impiego dell'aria esterna quale fonte di calore in linea di principio non richiede autorizzazione; l'allacciamento elettrico deve comunque essere autorizzato dall'Azienda elettrica competente. Bisogna inoltre tener conto dei requisiti concernenti le procedure cantonali e comunali per l'ottenimento di una licenza edilizia, in particolare per quanto riguarda la protezione acustica.

- La temperatura del sistema di riscaldamento può essere limitata a causa delle temporanee basse temperature della fonte di calore. (Figura 4.1).
- Secondo la Legge (MoPEC) le pompe di calore devono essere dimensionate nella progettazione in modo tale che possano coprire l'intero fabbisogno di potenza.
- Con temperature esterne al di sotto di ca. + 5 °C e umidità dell'aria corrispondente, l'evaporatore si ghiaccia. È necessario uno sbrinamento automatico; è necessario quindi tener conto dei requisiti specifici dell'apparecchio.
- Con il raffreddamento dell'aria al di sotto del punto di rugiada, si forma dell'acqua di condensa. Questa va raccolta ed evacuata in una tubazione al sicuro dal rischio gelo. Ciò vale anche per gli allacciamenti al condensatore.
- È da evitare che l'aria raffreddata nella pompa di calore non venga raccolta nuovamente all'aspirazione dall'aria esterna (corto circuito). Inoltre, vi è anche il pericolo che si formi un «lago di aria fredda».
- Con l'impiego di scambiatori geotermici o mediante la presa di aria in posizioni «calde» (autorimesse, impianto d'aspirazione dell'edificio), è possibile aumentare l'efficienza energetica della pompa di calore.
- La pompa di calore va protetta dal rischio di danneggiamento da parte di persone, così come neve, fogliame, polvere e piccoli animali. Viceversa, bisogna proteggere le persone dalle parti in movimento (ventilatori, compressori e pompe, inclusi i collegamenti elettrici).
- Un'installazione fissa di apparecchi esterni richiede una domanda di autorizzazione.
- Nella progettazione di un impianto split sono da considerare con attenzione le regole base della tecnica frigorifera.
- Particolare attenzione va prestata al tema della protezione acustica (Capitolo 8).



Figura 4.2: Impianto compatto per posa interna. (Fonte: BKW AG)



Figura 4.3: Impianto compatto per posa esterna. (Fonte: BKW AG)



Figura 4.4: Sonda geotermica. (Fonte: BKW AG)

4.2 Calore della terra

Il terreno è un fornitore di calore ideale. Già a circa 10 m sotto la superficie terrestre nel sottosuolo si registra una temperatura più o meno costante durante tutto l'arco dell'anno. Con l'aumento della pro-

fondità la temperatura del sottosuolo aumenta di ca. 3 K ogni 100 m. La costante durante l'arco dell'anno crea la premessa ideale per l'impiego del calore della terra a scopi di riscaldamento. Le sonde geotermiche normalmente sono profonde tra i 50 m fino a 350 m. L'impiego del calore della terra richiede un'autorizzazione, mentre come base per la progettazione e per l'installazione fa riferimento la norma SIA 384/6 «Sonde geotermiche».

Sonde geotermiche

Per l'estrazione di calore dal terreno, così come per il raffrescamento attivo o passivo, oggi vengono impiegate normalmente delle sonde geotermiche oppure dei campi di sonde geotermiche riempite con acqua o una miscela di acqua e glicol.



Figura 4.5: Palo di fondazione. (Fonte: enercret Röthis)



Figura 4.6: Palo battuto. (Fonte: enercret Röthis)

Sistemi

Si tratta praticamente ovunque di tubi sintetici in PE, che possono essere disposti in diversi modi. Questi si distinguono in semplici tubi a U (sonde geotermiche Simplex), a doppia U (sonde geotermiche Duplex) o in esecuzione coassiale. Grazie alla loro efficienza (grande superficie di scambio termico) e alla loro facilità d'uso, si sono affermati generalmente i sistemi con tubi a doppia U. Al centro viene collocato un tubo, attraverso il quale il buco causato dalla perforazione viene riempito dal basso con una miscela di cemento, acqua e bentonite. Questo assicura inoltre che i tubi, nei quali circola l'acqua, non si allontanino dalle pareti della perforazione.

Gli impianti con sonde geotermiche sono da dimensionare in funzione dei seguenti rilevanti aspetti energetici:

- Potenza di scambio termico della sonda (estrazione o immissione)
- Fabbisogno energetico: durata dell'estrazione di calore e dell'eventuale immissione rigenerativa (rigenerazione, raffreddamento) nel corso dell'anno
- Geologia del sottosuolo: temperatura, conducibilità termica, densità, capacità termica, risorse idriche sotterranee, ecc.



Figura 4.7: Gabbia di rinforzo del palo con sonde fissate. (Fonte: HakaGerodur)

- Numero delle sonde con conducibilità termica del materiale di riempimento
- Lunghezza e profondità delle sonde
- Distanza tra le sonde
- Diametro del foro e delle tubazioni
- Protezione da acqua e gelo, senza formazione di ghiaccio
- Perdita di carico del sistema

Indicazioni per la progettazione

- Nei portali di geoinformazione dei Cantoni (carte di impiego di sonde geotermiche) è possibile vedere i luoghi dove è permesso sfruttare il calore della terra.
- Gli impianti con sonde geotermiche devono essere realizzati da ditte di trivellazione certificate e sono in ogni caso soggetti ad autorizzazione (organi responsabili: Cantoni). L'APP assegna un marchio di qualità alle ditte di trivellazione di sonde geotermiche e ne raccomanda la presa in considerazione. Il marchio è obbligatorio per il modulo del sistema a pompe di calore (Capitolo 9.2).
- Il dimensionamento deve essere conforme alla norma SIA 384/6, per impianti semplici fino a quattro sonde viene descritta una procedura semplificata. Principio: più è grande il campo di sonde geotermiche, minore è l'estrazione di calore a lungo termine per metro lineare di sonda. Devono anche essere prese in considerazione le sonde vicine che non vengono completamente rigenerate.
- Se l'impianto con sonde geotermiche viene impiegato anche come «fonte di freddo» per raffrescare (geocooling o freecooling), il terreno può essere parzialmente rigenerato grazie a questo apporto di calore. Le conseguenze della rigenerazione sul dimensionamento delle sonde geotermiche sono da chiarire mediante specialisti riconosciuti del settore e in ogni caso da simulare con un software adatto.
- Gli impianti con sonde geotermiche non possono essere impiegati per asciugare la costruzione, perché le citate condizioni quadro normalmente verrebbero superate.
- Bisogna garantire l'accesso al punto di perforazione con la trivella.
- Nella Tabella 4.1 vi sono indicazioni legate alla geometria delle sonde geotermiche.
- Le tubazioni di allacciamento delle sonde geotermiche si raccordano a un collettore, che può essere collocato all'esterno o all'interno dell'edificio (tener conto della protezione antigelo: isolamento termico o riempimento delle tubazioni con antigelo).
  La Figura 4.8 mostra un collettore esterno carrabile.
- Il collettore deve essere accessibile per tutta la sua durata di vita. Inoltre deve avere un'indicazione chiara di quale sonda geotermica è collegata a esso. Negli impianti con due o più sonde, installare le valvole di regolazione della portata per un corretto bilanciamento idraulico.
- La sonda geotermica deve essere dimensionata per una lunga durata di vita e la lunghezza non deve essere

Tabella 4.1: Lunghezza, contenuto e diametro delle sonde. Ipotesi: Tubo a doppio U.

Diametro tubo della sonda geotermica	Contenuto al metro	Diametro della perforazione*	Lunghezza massima
32 mm	2,12 litri	112 a 115 mm	ca. 150 m
40 mm	3,34 litri	127 a 135 mm	ca. 300 m**
50 mm	5,18 litri	152 mm	oltre 300 m**

* Perforazioni in un terreno a rischio di fessurazioni (limo, ecc.) richiedono un diametro maggiore (4 ¾" fino a 7 ⅝"), a dipendenza del diametro della sonda e della situazione del sottosuolo.
** Da circa 250 m bisogna utilizzare sonde geotermiche con una maggiore resistenza alla pressione.

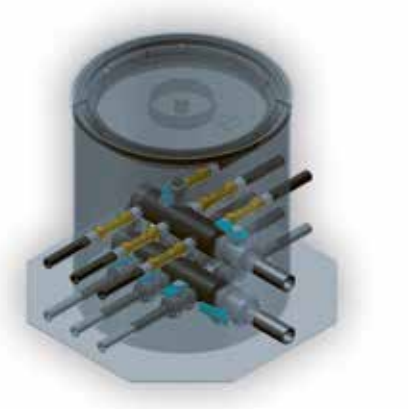


Figura 4.8: Distributore carrabile esterno all'edificio. (Fonte: Jansen AG)

scarsa (riserva per la sostituzione di una pompa di calore con una migliore efficienza).

Sonda geotermica con tecnologia a CO_2

Quale alternativa alle sonde geotermiche nelle quali circola acqua o acqua glicolata, la sonda può funzionare con un riempimento di CO_2. La sonda con la CO_2 funziona secondo il principio del tubo termovettore (heat pipe). Della CO_2 non velenosa (diossido di carbonio) circola nella sonda geotermica. La CO_2 viene inserita nella sonda allo stato liquido sotto pressione. Essa scende e si riscalda con l'aumentare della temperatura nel terreno. In questo modo il liquido evapora per poi condensare nuovamente nel punto più freddo, ovvero nell'evaporatore della pompa di calore, e trasmette così il calore della terra alla pompa di calore. La CO_2 circola senza energia ausiliaria, a differenza del fluido termovettore di una comune sonda geotermica, con un conseguente risparmio di energia. In ogni caso una simile sonda in estate non può venir rigenerata mediante un apporto di energia dalla pompa di calore. Un raffreddamento dell'edificio con questa sonda non è quindi possibile.

Scambiatore geotermico (serpentine nel terreno)

Anziché sonde geotermiche, vengono utilizzati scambiatori geotermici, composti da serpentine di tubi disposte orizzontalmente nel terreno, 1,2 fino a 1,5 metri sotto la superficie del terreno (Figura 4.9). Gli scambiatori geotermici captano dal terreno principalmente il calore ceduto a quest'ultimo tramite l'irraggiamento solare e la pioggia. Di regola quale fluido termovettore viene impiegata una miscela con antigelo.



Figura 4.10: Nuova installazione di collettori orizzontali; questi vengono poi nuovamente ricoperti di terra. (Fonte: HakaGerodur)

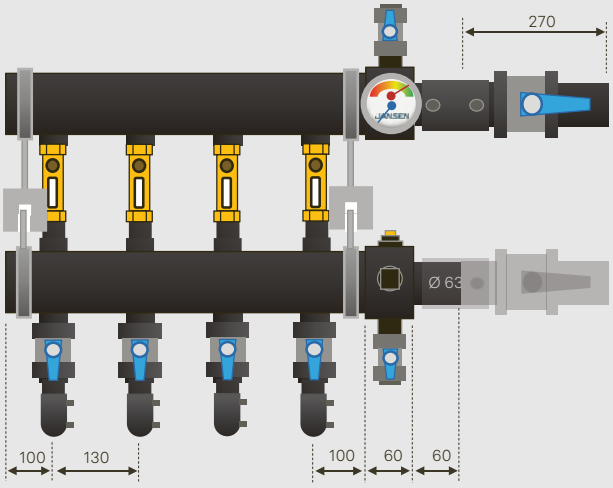
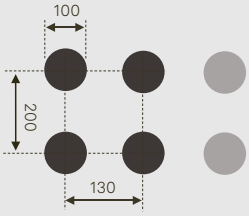
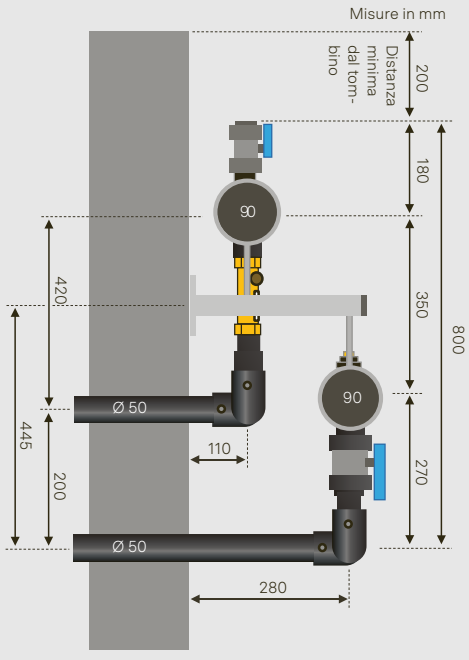


Figura 4.9: Esempio di collettore. (Fonte: Jansen AG)





Vista frontale

Schema di foratura dei carotaggi per tubi della salamoia

Vista di profilo

Sistemi

Gli scambiatori geotermici normalmente sono composti da tubi in materiale sintetico o tubi in rame rivestiti da materiale sintetico, i quali vengono raccordati a un collettore, risp. distributore, all'interno dell'edificio o in un vano all'esterno.

Indicazioni per la progettazione

- Gli scambiatori geotermici possono essere soggetti ad autorizzazione (organi responsabili: Cantoni).
- La potenza assorbita massima (potenza frigorifera) al m^2 di superficie è di ca. 25 W fino a 30 W o ca. 60 kWh du-



1 Saldatura di tenuta: Tutte le tubazioni sono saldate a tenuta stagna con la parete del tombino e garantiscono una tenuta assoluta.



2 Chiusino di alta qualità: Resistente ai raggi UV, coperchio resistente all'acqua in plastica PE con design robusto.



3 Robusto e funzionale: Realizzato con lastre in plastica PE con uno spessore fino a 12 mm. Soddisfa elevati requisiti statici. Con occhielli portanti per il fissaggio, il trasporto e la posa.



4 Condotta principale chiudibile: A seconda del tipo di tombino, con valvola a sfera o con clappa di serraggio; per una corretta installazione e un esercizio ottimale.



5 Tubazioni della salamoia e indicatori di flusso: Tutte le tubazioni della salamoia possono essere chiuse. Gli indicatori di flusso sono fissati con dadi per raccordi da 1¼" e, in caso di necessità, possono essere facilmente revisionati.



6 Attacco di spurgo: Gli attacchi di spurgo da 1" possono essere chiusi e consentono un rapido risciaquo e riempimento dell'impianto.

Figura 4.11: Collettore completo. (Fonte: Jansen AG)

rante il periodo di riscaldamento. In caso di terreno poco idoneo (asciutto) i valori si situano tra 10 W/m² e 15 W/m².
- Quando lo scavo viene ricoperto, lo scambiatore geotermico deve essere in pressione, così da individuare eventuali perdite nel sistema (sassi, scarti di cantiere, ecc. non sono adatti quale materiale di riempimento).
- In caso di gelo, nelle serpentine orizzontali vi possono essere dei movimenti stagionali del suolo.

Pali energetici

I pali energetici normalmente vengono impiegati dove il terreno in cui sorge una costruzione è instabile e necessita di pali di fondazione. Il palo energetico ha quindi innanzitutto una funzione statica. La disposizione e la dimensione seguono le esigenze poste per l'edificio rispettivamente per il fondo sul quale esso sorgerà. Il guadagno energetico dipende di conseguenza dalle condizioni geologiche e dagli accorgimenti statici necessari (lunghezza e disposizione). Di regola quale fluido termovettore viene impiegata una miscela con antigelo.

Sistemi

Vengono distinte due tipologie costruttive di pali energetici:
- I pali trivellati sono composti da reti d'armatura, alle quali vengono fissate delle tubazioni. Esse vengono inserite nelle perforazioni, che in seguito vengono riempite con calcestruzzo.
- I pali battuti sono pali in calcestruzzo preconfezionati, nei quali in fabbrica vengono posate e colate al loro interno le tubazioni. Durante la battitura è necessario assicurare che i collegamenti delle tubazioni alle estremità dei pali non vengano danneggiati.

Indicazioni per la progettazione

- I pali energetici sono soggetti ad autorizzazione (organi responsabili: Cantoni).
- Essi sono da dimensionare da parte di specialisti.
- È da garantire l'accesso al posto di trivellazione risp. battitura per le apparecchiature necessarie.
- Le tubazioni dal palo energetico al distributore sono da posare a una profondità sufficiente e vanno provviste di un isolamento termico.
- A dipendenza del terreno e dimensionamento, è possibile l'esercizio unicamente con acqua quale fluido termovettore.

Canestri geotermici

I canestri geotermici sono tubi sintetici arrotolati a spirale, che vengono posati a una profondità da 1,5 m fino a 3,5 m (Figura 4.12). Essi vengono influenzati dalle condizioni meteo sulla superficie terrestre, come gli scambiatori geotermici.

Trincee geotermiche

In trincee profonde da 1 m a 1,5 m vengono posati orizzontalmente dei tubi sintetici. Anch'essi sono influenzati dalle condizioni meteo sulla superficie terrestre.

Pareti colate

Le pareti colate vengono eseguite con una benna o una fresa in funzione del tipo di terreno o della profondità. Nello scavo viene inserita una gabbia con fissati dei tubi in materiale sintetico, in seguito riempito con calcestruzzo.



Figura 4.12: Canestri geotermici.
(Fonte: Calmotherm)

Allacciamento del sistema di sfruttamento del calore della terra
Oltre che al corretto dimensionamento della fonte di calore, va prestata la giusta attenzione all'idraulica del circuito primario.

Fluido termovettore
Normalmente nei sistemi di sfruttamento del calore della terra vengono impiegati delle miscele con antigelo. Questi sistemi però, mediante un dimensionamento corrispondente (ad es. con l'esecuzione di una simulazione), possono funzionare anche con acqua senza additivi. In questo caso la temperatura d'evaporazione può scendere ad un livello massimo tale da evitare la formazione di ghiaccio. La concentrazione di antigelo nella miscela deve corrispondere alle indicazioni del produttore (protezione anticorrosione). Le proprietà fisiche della miscela di antigelo cambiano in funzione della temperatura e la capacità termica.

Pompe di circolazione
La pompa di circolazione è da dimensionare sempre in funzione dell'impianto. A dipendenza della lunghezza e la disposizione della sonda geotermica, la perdita di carico è considerevole. Una pompa di circolazione sovra o sottodimensionata può peggiorare il rendimento di tutto l'impianto. In generale lo scopo è quello di raggiungere un rendimento della pompa di circolazione più elevato possibile. Con pompe di circolazione a potenza variabile, va adattata la potenza della pompa nel circuito delle sonde in funzione delle esigenze. È inoltre da tenere in considerazione la formazione di acqua di condensa.

Dispositivi di sicurezza
- Il controllo di pressione spegne l'impianto della pompa di calore se si manifesta una caduta di pressione del circuito primario.
- Il vaso d'espansione compensa le variazioni di pressione nel sistema, che si manifestano a causa delle variazioni di temperatura e nei materiali (ad es. deformazione dei tubi sintetici).
- Per proteggere l'impianto da sovrappressioni, è da prevedere una valvola di sicurezza. Lo scarico di quest'ultima è da raccogliere in un contenitore.

Sistemi di distribuzione
- Sono da utilizzare materiali resistenti alla corrosione come materiali sintetici, acciaio cromato (V4A) o acciai con trattamenti anticorrosione. Non possono venir impiegati tubi zincati o sistemi fitting.
- All'interno dell'edificio, la distribuzione (incluse le valvole) deve essere isolata contro la diffusione di vapore, in modo da evitare la formazione di condensa.

Bilanciamento idraulico
I singoli circuiti delle sonde geotermiche sono da bilanciare idraulicamente tra loro. I corrispondenti organi di regolaggio sono da montare sul distributore delle sonde geotermiche.

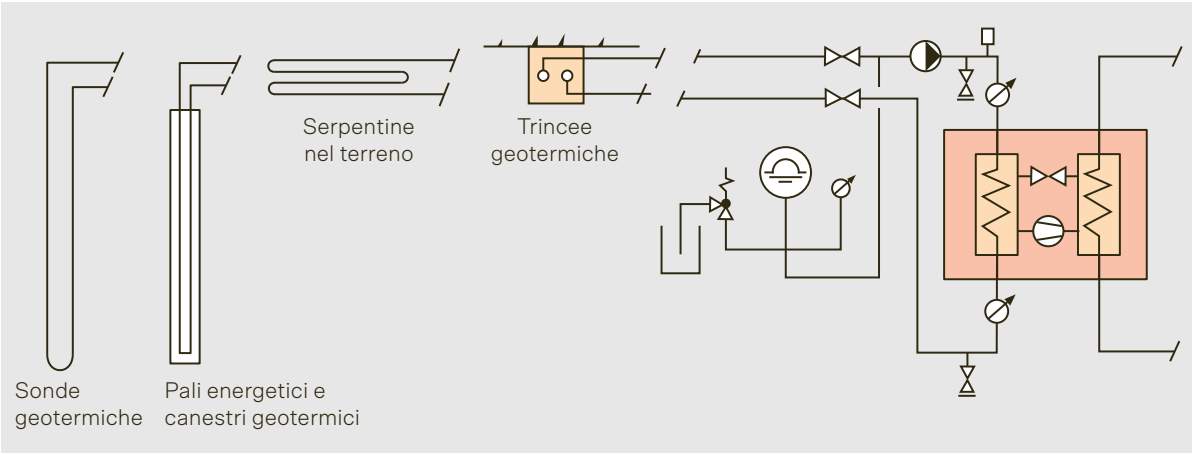


Figura 4.13: Collegamento al sistema di sfruttamento del calore della terra.

4.3 Acqua di falda

Provenienza dell'acqua di falda

L'acqua che nel sottosuolo riempie le intercapedini nella roccia, fessure o crepacci, viene definita come acqua di falda. Essa scorre principalmente per effetto della gravità attraverso le zone permeabili tra materiale fisso e sciolto (zone ricche di ghiaia e sabbia, arenaria, rocce spaccate o carsiche). Acqua di falda vicina alla superficie, nella maggior parte dei casi, si raccoglie a pochi metri fino a più decine di metri di profondità, soprattutto grazie alla presenza di materiale sciolto (letto di ghiaia). L'acqua di falda vicina alla superficie viene a volte utilizzata anche come acqua potabile, in questo caso l'impiego è regolato dalla legge sulla protezione delle acque di falda ed è sempre necessaria un'autorizzazione o una concessione all'utilizzo.

La temperatura media annuale dell'acqua di falda in prossimità della superficie di regola è pari a 9 °C fino a 11 °C e quindi al di sopra del valore medio per l'aria esterna. La temperatura può essere influenzata da infiltrazioni di acqua di superficie o dalla temperatura dell'aria. Se l'influenza dell'acqua di superficie è relativamente ridotta e il punto di estrazione è a diversi metri di profondità, le variazioni annuali della temperatura sono minime. Con l'aumentare della profondità inoltre aumenta lo sfasamento tra i valori minimi e massimi. L'oscillazione massima della temperatura è pari a ca. 5 K (Figura 4.14). Grazie al suo relativamente costante livello di temperatura, l'acqua di falda rappresenta una fonte di calore ideale e affidabile per le pompe di calore. La norma SIA 384/7 «Utilizzo del calore dell'acqua sotterranea» serve come base per la progettazione.

Qualità dell'acqua di falda

La qualità dell'acqua di falda può essere influenzata in maniera decisiva attraverso l'infiltrazione dai bacini superficiali (Figura 4.15). Oltre che al condizionamento dal lato termico, va prestata attenzione all'influenza sulla qualità dell'acqua di falda. Nella maggior parte dei casi l'acqua di falda non è aggressiva. In particolare l'apporto di materiale organico o ossigeno mediante l'aggiungersi di acqua di superficie può condurre a reazioni indesiderate. È per questi motivi che si consiglia una semplice analisi della qualità dell'acqua di falda. Sono da rispettare i seguenti valori limite:

- Valore pH: ≥ 7
- Ferro (sciolto): ≤ 0,15 mg/l
- Manganese (sciolto): ≤ 0,1 mg/l

Figura 4.14: Temperature dell'acqua di falda.

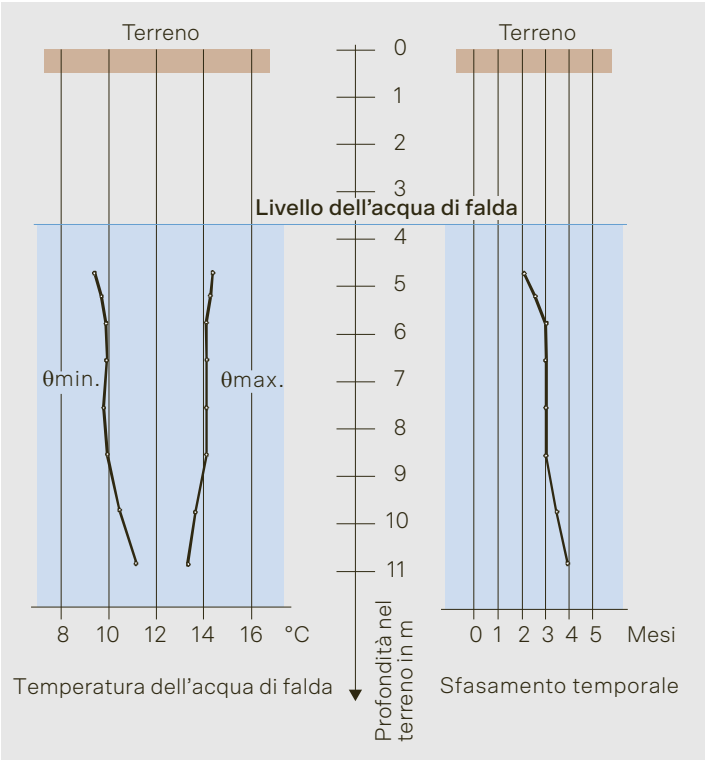
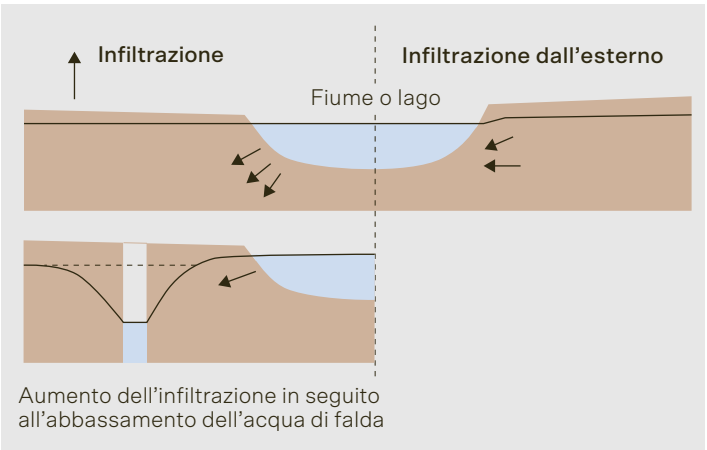


Figura 4.15: Infiltrazione dell'acqua di superficie.



Sporcizia attraverso sabbia, che potrebbe causare danni meccanici all'impianto, non dovrebbe riscontrarsi in un impianto concepito correttamente, né attraverso l'influsso di acqua di superficie, né dall'approvvigionamento nei pozzi filtranti. Per garantire ciò, sia il pozzo di captazione che quello di restituzione devono essere progettati e realizzati con la supervisione di specialisti. Inoltre, è importante la dissabbiatura, svolta da uno specialista, prima del completamento e della messa in esercizio del pozzo.

Captazione dell'acqua di falda e restituzione

Il dimensionamento dei pozzi di captazione e restituzione (Figura 4.16) si basa principalmente sulle proprietà delle rocce acquifere così come sulla portata necessaria alla pompa di calore. La quantità di pescaggio ottimale da un pozzo di captazione si situa a metà della quantità massima di captazione possibile (Figura 4.17). La portata necessaria al kW di fabbisogno termico normalmente si situa tra i 150 l/h e i 200 l/h. Con l'aumentare della quantità di captazione di regola sono necessari diametri di perforazione maggiori. Il dimensionamento delle perforazioni dipende in maniera importante dalle condizioni locali e deve essere svolto da uno specialista. La restituzione spesso avviene anche attraverso un pozzo perdente poco profondo. In questo caso è da chiarire la permeabilità del sottosuolo. A dipendenza dei casi è possibile reinserire l'acqua in un bacino superficiale nelle vicinanze.



Figura 4.16: Pozzo di captazione e restituzione. (Fonte: BKW AG)

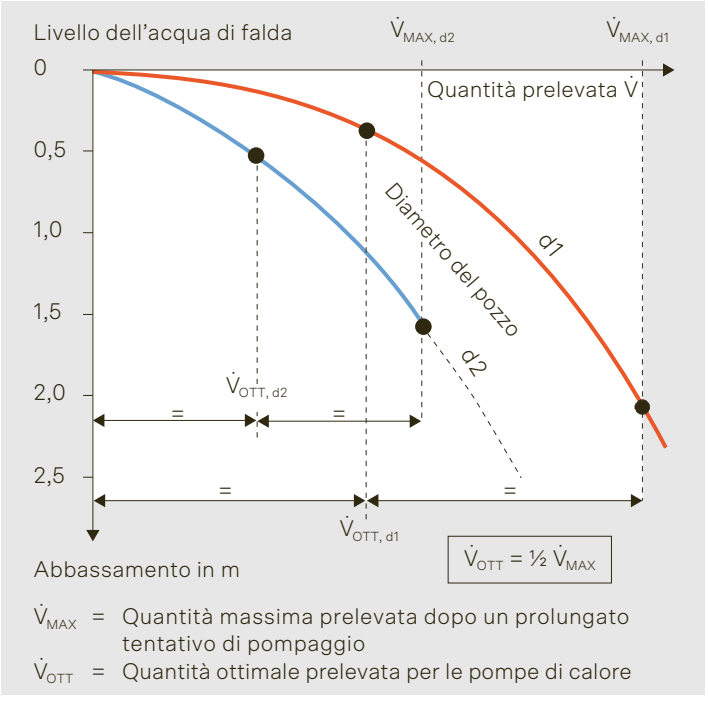


Figura 4.17: Due esempi per il dimensionamento di una captazione dell'acqua di falda.

$\dot{V}_{MAX}$ = Quantità massima prelevata dopo un prolungato tentativo di pompaggio
$\dot{V}_{OTT}$ = Quantità ottimale prelevata per le pompe di calore

Indicazioni per la progettazione e l'implementazione

- Sul portale di geoinformazione dei Cantoni (nelle mappe che rappresentano la protezione delle acque e l'impiego del calore) sono visibili le zone dove può essere utilizzata l'acqua di falda.
- Per un impiego dell'acqua di falda è necessaria un'autorizzazione comunale o rispettivamente una concessione; questo riguarda anche le perforazioni di prova. La procedura di autorizzazione è differente, a dipendenza del Cantone considerato. Spesso è richiesto un monitoraggio del livello e della temperatura dell'acqua di falda nel pozzo; ad esempio, devono essere calati – per mezzo della pompa dell'acqua di falda – dei sensori speciali di pressione e di temperatura.
- La progettazione e l'implementazione devono avvenire con il coinvolgimento di un consulente geologo o idrogeologo.
- È raccomandata un'analisi semplice dell'acqua; è importante in particolare tener conto che la qualità dell'acqua può variare secondo le stagioni. Bisogna inoltre fare attenzione allo stato

dei materiali delle tubazioni e delle componenti (corrosione e sporcizia).
- In caso di captazioni nei pressi di acque di superficie, bisogna tener conto di una possibile infiltrazione.
- Nella localizzazione dei luoghi di captazione e di restituzione bisogna tener conto della portata dell'acqua di falda (nessuna restituzione nell'area di afflusso della captazione).
- La potenza della pompa di alimentazione dovrebbe essere progettata per il livello di acqua di falda atteso.
- Un monitoraggio della temperature e della portata fornisce una protezione contro il raffreddamento sotto al punto di congelamento dell'acqua impiegata e contro l'utilizzo eccessivo della captazione.
- Se l'acqua di falda è contaminata, bisogna installare un circuito intermedio per proteggere lo scambiatore di calore della pompa di calore.

Secondo la norma SIA 384/7, l'intero sistema dell'impianto deve comprendere le seguenti componenti di sistema (Figura 4.18):

- Pozzo di captazione
- Sistema di prelievo (pompa, raccordi di spurgo, tubazioni e scambiatore di calore) per convogliare l'acqua di falda dal pozzo di captazione fino alla restituzione
- Dispositivi di sicurezza per la protezione della pompa di alimentazione (esercizio a secco)
- Dispositivi di sicurezza per la protezione dello scambiatore di calore (contro il sovraccarico meccanico o chimico)
- Restituzione (pozzo o infiltrazione)
- Impianto per il monitoraggio dell'acqua di falda estratta (quantità di acqua, temperatura dell'acqua di captazione e di restituzione)
- Impianto per il monitoraggio dell'acqua di falda (livello dell'acqua)

Acqua di superficie

Le acque di superficie hanno un notevole potenziale per il riscaldamento e il raffreddamento di edifici vicini, tuttavia bisogna tenere conto anche dell'ecosistema: anche per l'impiego delle acque di superficie è necessario quindi un'au-

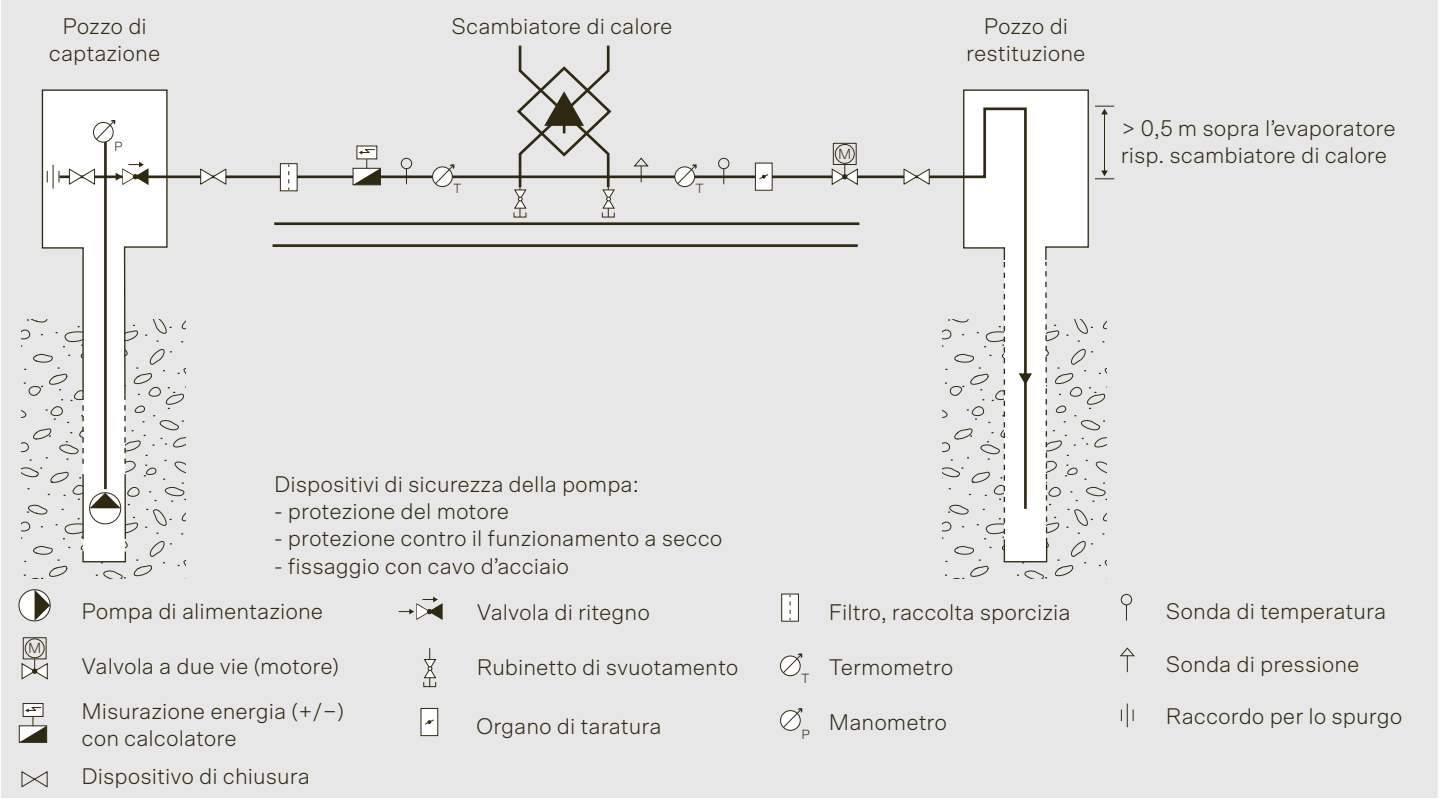


Figura 4.18: Panoramica dei componenti del sistema. Indicazione: simboli secondo norma SIA 410. (Fonte: norma SIA 384/7)

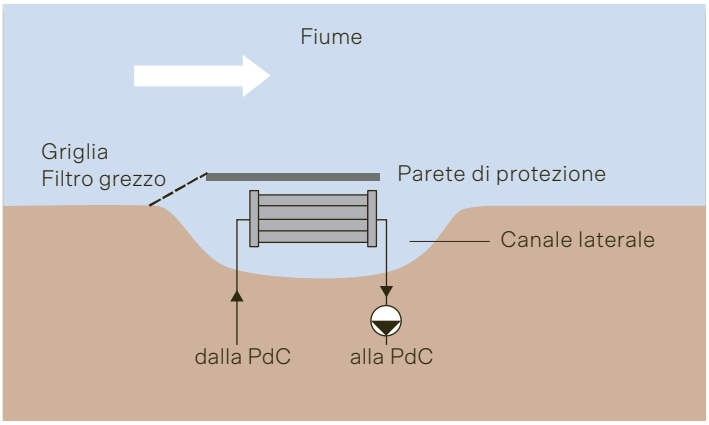
torizzazione o una concessione, da richiedere ai Cantoni o ai Comuni. Le relativamente elevate variazioni della temperatura dell'acqua di superficie (acqua di fiume, lago o bacino) normalmente non permettono un esercizio monovalente con impiego diretto. Quindi nella maggior parte dei casi avviene un utilizzo indiretto: la fonte di calore cede la propria energia a uno scambiatore, collegato alla pompa di calore mediante un circuito intermedio. Questo circuito contiene una miscela con antigelo, affinché la temperatura di evaporazione possa scendere sotto gli 0 °C. Il circuito intermedio, spesso richiesto anche dalle autorità, protegge inoltre l'acqua dalla contaminazione tramite refrigerante in caso di danni.

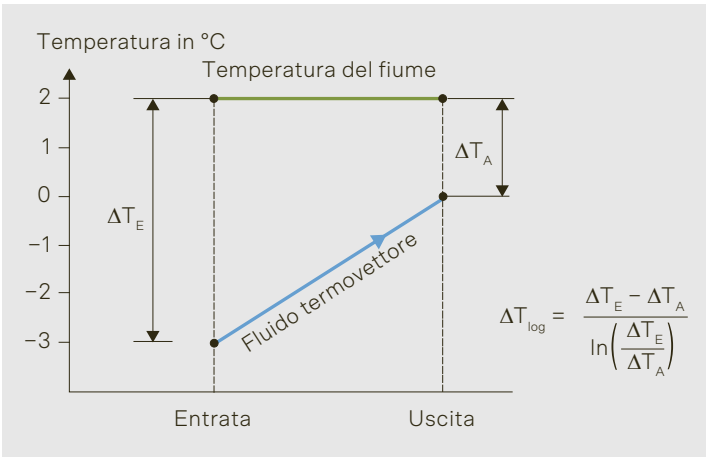
La captazione di calore dall'acqua di superficie è sostanzialmente possibile in due modi:

- **Registro nel flusso d'acqua corrente** (Figura 4.19): attraverso il registro scorre una grande quantità di acqua, di conseguenza il raffreddamento è lieve (Figura 4.20).
- **Pozzo filtrante** (Figura 4.22): l'acqua viene raccolta direttamente in un pozzo filtrante accanto all'acqua di superficie, e da qui pompata verso lo scambiatore.

Figura 4.19: Registro nel flusso d'acqua corrente.

Figura 4.20: Definizione della differenza di temperatura media logaritmica.





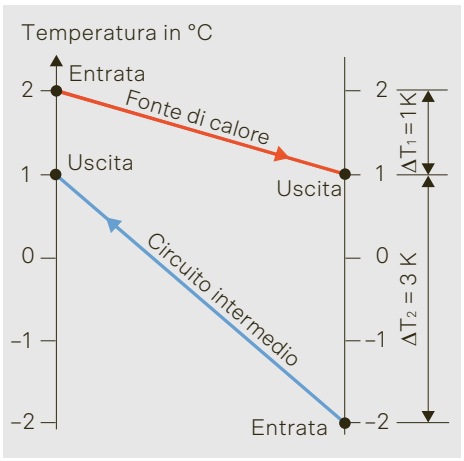


Figura 4.21: Temperature della fonte di calore e il circuito intermedio.

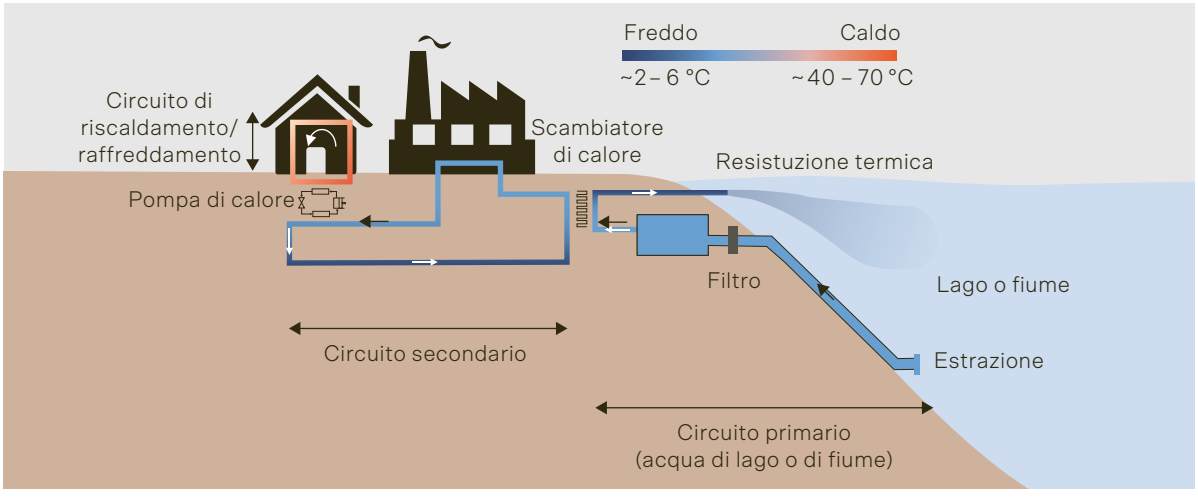


Figura 4.22: Pozzi filtranti in caso di utilizzo dell'acqua di lago. Nell'esempio il circuito secondario viene utilizzato per raffreddare (processo industriale) e per riscaldare (edifici), l'acqua di restituzione è più fredda dell'acqua di estrazione. (Fonte: EAWAG 2018)

Per la variante con registro è consigliabile calcolare con una differenza di temperatura media logaritmica massima di 5 K fino a 6 K (Figura 4.20). Per il dimensionamento della superficie dello scambiatore di calore si possono ipotizzare valori U di 200 fino a 300 W/(m²K) (velocità di scorrimento > 0,5 m/s). Si consiglia inoltre di aggiungere un fattore di sicurezza di circa 25 %, in considerazione del possibile imbrattamento del registro. Lo scorrimento rapido della fonte di calore (acqua di bacino o fiume) evita la formazione di ghiaccio. La distanza tra i tubi deve essere di almeno 4 cm. In più il registro va protetto mediante dei ripari contro il ghiaione e deve poter essere pulito facilmente. In caso di bacini d'acqua stagnante questa soluzione è applicabile solo a determinate condizioni. Il vantaggio della variante con pozzo filtrante è la captazione di acqua praticamente esente da sporcizia. Spesso è possibile un esercizio monovalente. Nell'impiego di acqua di lago bisogna tener conto della stratificazione della temperatura: la captazione dovrebbe avvenire a una profondità di almeno 15 m; per dei fabbisogni di freddo la profondità deve essere maggiore (tra i 30 m e 70 m). La restituzione non deve riscaldare ulteriormente gli strati superficiali.
In sintesi si può dire che:

- Un circuito intermedio determina temperature di evaporazione più basse e quindi coefficienti di prestazione peggiori (Figura 4.21).
- L'offerta d'acqua dei fiumi è spesso variabile (in particolare per piccoli corsi d'acqua).
- Nei corsi d'acqua bisogna tener conto anche dell'impiego superiore o inferiore (ossia a monte o a valle).
- Pro kW di fabbisogno energetico, il quantitativo d'acqua necessario è normalmente pari a ca. 300 l/h fino a 400 l/h.
- La realizzazione è piuttosto difficoltosa (specialmente la variante con registro, le captazioni di acqua di lago sono di regola non problematiche).
- Per lo sfruttamento dell'acqua di superficie è necessaria un'autorizzazione da parte delle autorità. La procedura di autorizzazione e la manutenzione possono essere parecchio impegnative, soprattutto nella variante con registro.
- Un'analisi dell'acqua è assolutamente consigliata. Bisogna considerare in particolare che la qualità stagionale dell'acqua può variare. Va quindi prestata attenzione ai materiali delle tubazioni e delle componenti (corrosione e sporcizia).
- Attenzione inoltre al rischio d'incrostazione o intasamento a causa di molluschi o biofilm.
- L'apporto termico estivo è più delicato dal punto di vista ecologico e non viene quindi generalmente permesso.

4.4 Calore residuo

Il calore residuo, dove possibile, dovrebbe essere sfruttato direttamente. Se non è possibile un impiego diretto a causa delle temperature d'esercizio richieste, è possibile elevare il calore a disposizione alla temperatura richiesta mediante una pompa di calore.

Acque di scarico

L'acqua di scarico è presente in diverse forme; ad es. non depurata nelle canalizzazioni, parzialmente pulita nei processi industriali che necessitano di elevate quantità di acqua fredda, o pulita all'uscita dell'impianto di depurazione. Le temperature dell'acqua si situano tra i 10 °C e i 25 °C nelle canalizzazioni e negli impianti di depurazione, rispettivamente fino oltre i 60 °C nei processi industriali.
Il raffreddamento dell'acqua di scarico non è un problema, se gli impianti sono dimensionati correttamente, rispettando le indicazioni fornite da chi gestisce gli impianti di depurazione. Questo procedimento inoltre non crea problemi né al procedimento di depurazione dell'acqua di scarico, né all'acqua stessa.

Sistemi

Scambiatore di calore nel canale: Il recupero di energia avviene mediante uno scambiatore di calore integrato nel fondo del canale di scarico. Nelle nuove canalizzazioni vengono anche inseriti dei tubi direttamente in getto nel canale di scarico, allo scopo di recuperarne il calore.

Scambiatore di calore in bypass: L'inserimento avviene parallelo al canale di scarico. Questo ha il vantaggio che durante la fase di realizzazione non viene praticamente intaccato il canale di scarico.

Recupero di calore senza lo scambiatore di calore nel canale: Questo è vantaggioso nel caso di grandi impianti, laddove l'impiego di scambiatori di calore nei canali presenta delle limitazioni tecniche. In questi casi l'acqua di scarico viene convogliata all'evaporatore della pompa di calore, con o senza un circuito intermedio. Affinché l'evaporatore rispettivamente lo scambiatore di calore non si sporchi, è necessario o un trattamento preliminare dell'acqua di scarico, o una scelta costruttiva degli apparecchi in funzione della qualità dell'acqua di scarico.

Pompe di calore sull'acqua di scarico: Il recupero di calore avviene direttamente nell'edificio o a fianco di quest'ultimo, prima che l'acqua di scarico raggiunga la canalizzazione. Sono a disposizione diversi sistemi con specifiche fabbricazioni.

Indicazioni per la progettazione

- Per motivi tecnici ed economici, questi impianti richiedono una portata d'acqua minima.
- Impiegando scambiatori di calore nel canale, è possibile calcolare con una potenza media di captazione pari a ca. 1,5 kW/m^2 fino a 2 kW/m^2.
- Elevate temperature dell'acqua di scarico permettono un elevato raffreddamento e di conseguenza un grande recupero di energia. Le condizioni ideali sono date da temperature dell'acqua di scarico, che nel peggiore dei casi rimangono sopra i 10 °C.
- Un'importante premessa è che sia a disposizione un flusso di acqua di scarico continuo. Anche durante la notte o i fine settimana dovrebbero essere rispettate le quantità minime di acqua necessarie per l'esercizio.
- Deve essere garantita l'accessibilità per la realizzazione e la successiva manutenzione.
- Gli scambiatori di calore nel canale bypass devono essere mantenuti liberi dalla sporcizia e da materiali estranei (sabbia, pietre, fango).
- La distanza tra la fonte di calore e il luogo della pompa di calore deve essere più breve possibile, altrimenti viene utilizzata parecchia dell'energia recuperata per il trasporto, con conseguenze negative sul coefficiente di lavoro annuo CLA.
- Simili impianti vanno realizzati da specialisti con corrispondente esperienza.
- Coinvolgere fin dall'inizio l'Ufficio responsabile del settore delle acque reflue.
- Non è adatto per impianti di piccole dimensioni.

Indicazione: l'impiego del calore residuo è spesso prescritto dalla legge. Non bisogna però pensare solamente alle acque di scarico: anche il raffreddamento degli impianti di refrigerazione può essere ad esempio una fonte di calore residuo.

4.5 Raffreddamento dell'edificio

Norme e basi giuridiche

Gli edifici devono essere progettati e realizzati in modo che, in caso di utilizzo con moderati apporti di calore interni specifici, i requisiti di comfort secondo la norma SIA 180 siano soddisfatti senza raffrescamento attivo o passivo. Ciò presuppone che i dispositivi mobili di protezione solare vengano utilizzati conformemente alla loro destinazione e che

la ventilazione avvenga secondo il fabbisogno. I termini comunemente utilizzati e le norme rilevanti sono riportati nel diagramma di flusso della procedura di progettazione (Figura 4.24).
Nel caso di raffrescamento attivo, la pompa di calore funziona in modalità inversa come macchina frigorifera: le funzioni del condensatore e dell'evaporatore vengono invertite. Rispetto al raffrescamento passivo, il processo richiede energia elettrica aggiuntiva per il compressore.

Necessità di raffreddamento

La norma SIA 380/2 definisce i requisiti costruttivi per la protezione termica estiva, ad es. in materia di protezione solare, isolamento termico e capacità di accumulo termico, ventilazione. Se questi requisiti sono soddisfatti, il raffreddamento dell'edificio può comunque risultare «necessario» o almeno «auspicabile». Ciò può verificarsi ad es. quando gli apporti di calore interni da persone o apparecchi, compresa l'illuminazione, pregiudica il comfort (Tabella 4.2). In primo luogo, i carichi interni dovrebbero pertanto essere sempre mantenuti più bassi possibile.

Prescrizioni di legge

Per l'utilizzo del raffreddamento attivo devono essere soddisfatti i requisiti di legge previsti dal MoPEC e dalle leggi sull'energia dei rispettivi Cantoni. I requisiti vanno dalla protezione termica estiva (valore g delle finestre, vetri conformi alla norma SIA 180, protezione solare automatica sulla facciata, protezione solare resistente al vento) alle specifiche per l'utilizzo del calore residuo, nella misura in cui ciò sia tecnicamente e operativamente possibile ed economi-

Apporti interni di calore giornalieri in Wh/m²			Raffreddamento
con ventilazione tramite finestre giorno e notte	con ventilazione tramite finestre in caso di occupazione	senza ventilazione tramite finestre	
>200	>140	>120	necessario
140–200	100–140	80–120	auspicabile*
<140	<100	<80	non necessario*

*Consentito solo raffrescamento minimo fino a max 7 W/m² di superficie piano. Negli impianti esistenti o ristrutturati sono consentiti 12 W/m².

Tabella 4.2: Valutazione della necessità di raffreddamento a fronte del calore generato internamente per m² di superficie piano. (Fonte: SIA 380/2)

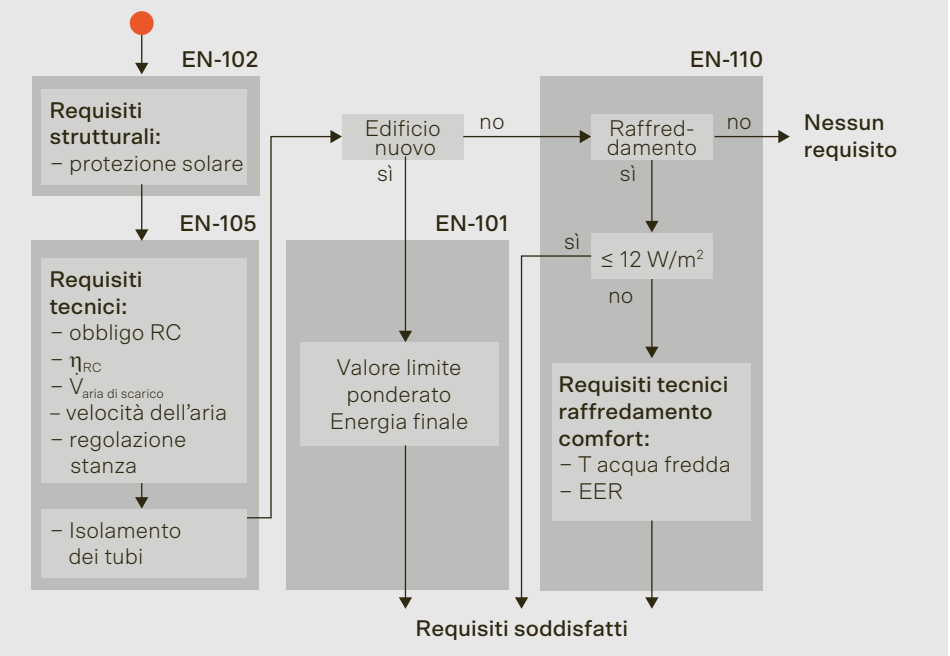


Figura 4.23: Panoramica dei requisiti legali per l'utilizzo del raffreddamento attivo. (Fonte: Guida applicativa EN-110 Raffreddamento, umidificazione e deumidificazione)

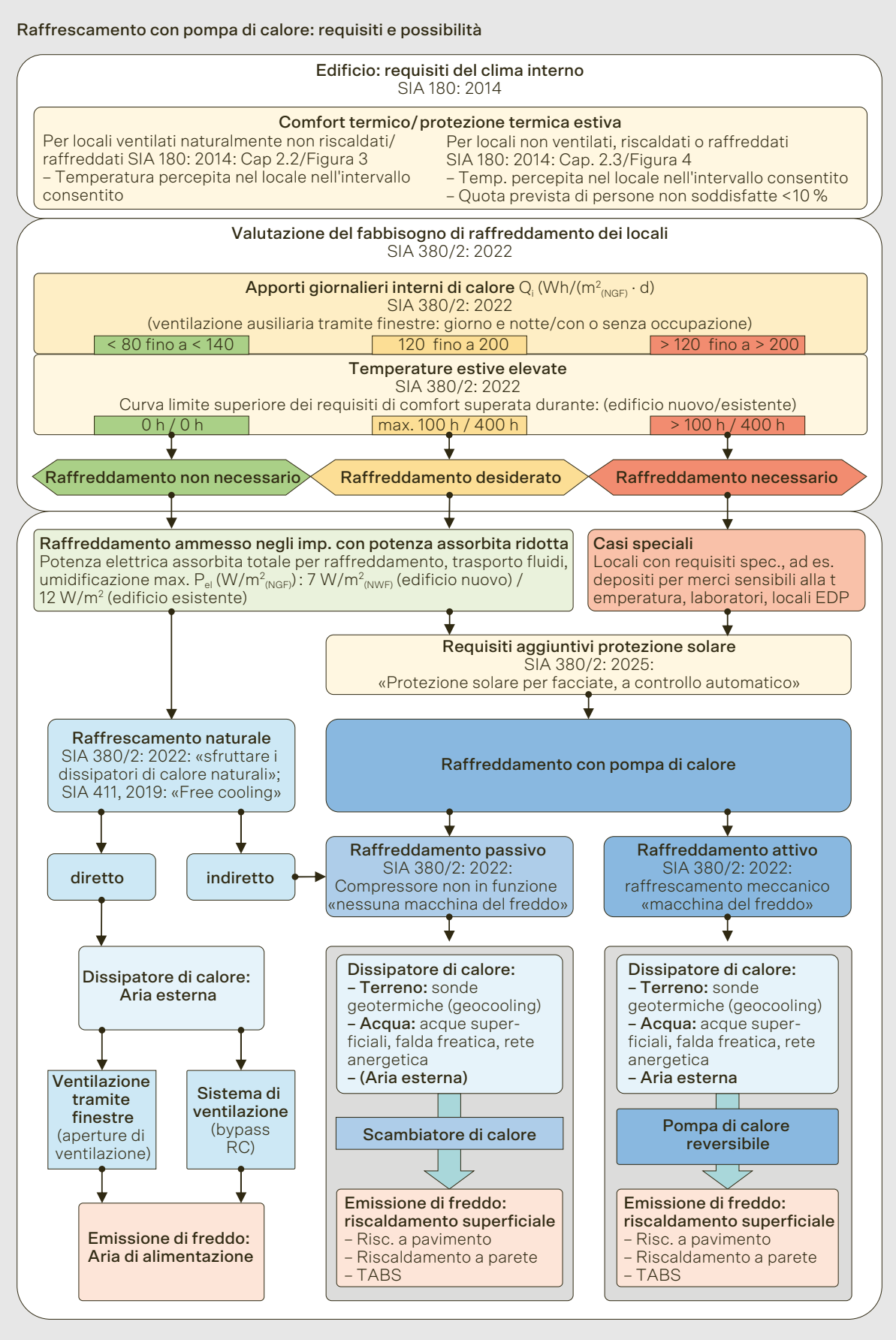


Figura 4.24: Diagramma di flusso Progettazione del raffreddamento con pompe di calore. (Fonte: Christoph Sibold, FHNW INEB)

camente giustificato. La verifica del fabbisogno per gli impianti di raffreddamento, umidificazione e deumidificazione è stata sostituita dai requisiti tecnici. In Figura 4.24 è rappresentata una panoramica dei requisiti di legge.

Criterio di valutazione Valore di riferimento della temperatura ambiente in caso di raffreddamento

Mediante una simulazione termica della zona interessata, mediante una procedura di verifica, è possibile verificare, se per garantire il comfort sia necessario un raffreddamento. Si genera così il collegamento incrociato con la figura 1 nel diagramma di comfort della norma SIA 380/2. Come metodologia equivalente, si considera il metodo di misurazione della temperatura ambiente nella relativa zona. Si applicano i seguenti criteri di valutazione:

- Nuovi edifici: se la curva limite superiore della figura 1 (vedere Figura 4.25) viene superata per più di 100 ore all'anno, è necessario un raffreddamento.
- Negli edifici esistenti si presume una maggiore tolleranza da parte degli utenti. Qui il valore limite applicabile è pari a 400 h all'anno.

Impatti del cambiamento climatico

Il cambiamento climatico causa un aumento delle temperature, come dimostra ad esempio la durata del periodo vegetativo. Tra il 1971 e il 2020 si è prolungata di circa dieci giorni per decennio, ovvero in media di un giorno all'anno. L'aumento delle temperature accresce anche il fabbisogno di raffreddamento degli edifici, sebbene una parte di questo fabbisogno potrebbe essere compensata da un maggiore refrigerazione per evaporazione negli ambienti verdi. [1]. Nel complesso, dal 1960 i giorni in cui si rende necessario il raffreddamento sono aumentati notevolmente (Figura 4.26). Per quanto riguarda il fabbisogno di raffreddamento degli edifici, un buon indicatore è il numero di notti tropicali, ovvero le notti in cui la temperatura esterna non scende sotto i 20 °C. Negli ultimi anni in Svizzera si è registrato un netto aumento, come dimostrano ad esempio le statistiche della stazione meteorologica di Locarno-Monti, dove il numero di notti tropicali è aumentato di circa dieci volte dal 1960 (Figura 4.27). Nel 2024 sono state registrate 33 notti tropicali, il secondo valore più alto dall'inizio delle misurazioni nel 1901 [2].

Il numero crescente di notti tropicali ha un impatto diretto sul raffreddamento

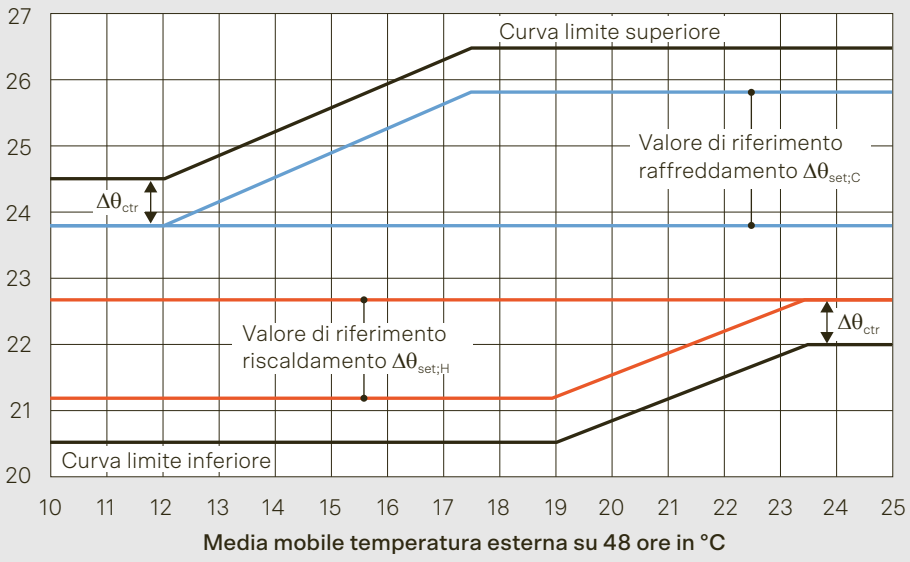


Figura 4.25: Valori di riferimento della temperatura ambiente per il riscaldamento e il raffreddamento. (Fonte: Norma SIA 380/2)

degli edifici. Durante la notte si registra di norma una differenza di temperatura tra l'interno e l'esterno che consente di raffreddare gli edifici attraverso il raffrescamento notturno passivo. Se tuttavia durante la notte la temperatura esterna non scende sotto i 20 °C, questo sistema non funziona più in modo adeguato e il calore immagazzinato permane anche durante la notte. Di conseguenza, il comfort desiderato non potrà più essere mantenuto solo con il naturale raffrescamento notturno.

Sistemi di raffreddamento

Alla luce dei cambiamenti climatici è opportuno scegliere sistemi tecnici per edifici che, oltre al riscaldamento, ne consentano anche il raffreddamento, come ad esempio una pompa di calore salamoia-acqua abbinata al riscaldamento a pavimento, che garantisce un riscaldamento efficiente e consente il raffrescamento dell'edificio, grazie al collegamento al terreno fresco o addirittura al funzionamento inverso della pompa di calore. Poiché il fabbisogno di raffreddamento, almeno nell'ambito del comfort, coincide di norma con i periodi di irraggiamento solare elevato, è opportuno l'abbinamento a un impianto fotovoltaico.

Gli edifici costruiti prima del 1960 sono riscaldati prevalentemente tramite radiatori, ma il dato può variare molto a seconda della località svizzera. In generale, è tuttavia possibile affermare che negli edifici esistenti le possibilità di raffreddamento sono limitate. In estate il punto di rugiada della superficie di un radiatore a 400 m s.l.m. e con umidità relativa dell'aria ambiente del 60 % è già pari a circa 18 °C. La formazione di condensa deve però essere assolutamente evitata, poiché può causare corrosione («ruggine») e problemi generali di umidità, con conseguenti danni all'edificio. Poiché per i motivi sopra citati i radiatori consentono solo pochi gradi Kelvin di differenza di temperatura con l'aria ambiente e la superficie di raffreddamento è limitata, il fabbisogno specifico di potenza di raffreddamento per la climatizzazione può essere soddisfatto solo mediante l'impiego di sistemi di raffreddamento (attivi) supplementari.

Non appena la temperatura del refrigerante scende sotto il punto di rugiada dell'aria ambiente, sono soggetti al rischio di condensa anche le condotte del freddo e i raccordi aperti e non isolati termicamente. Per questo motivo, le condotte del freddo e i raccordi devono essere sempre isolati in modo da essere a tenuta di diffusione (Tabella 4.3). Secondo il MoPEC, le condotte del freddo sono soggette a requisiti minimi di isolamento e distanze minime tra i tubi.

Free cooling tramite il riscaldamento a pavimento

Se il riscaldamento a pavimento viene utilizzato per raffreddare l'edificio (raffreddamento a pavimento con changeover) e il calore viene portato direttamente all'impianto con sonda geotermica ad esempio tramite uno scambiatore di calore (post-raffreddamento), si tratta di

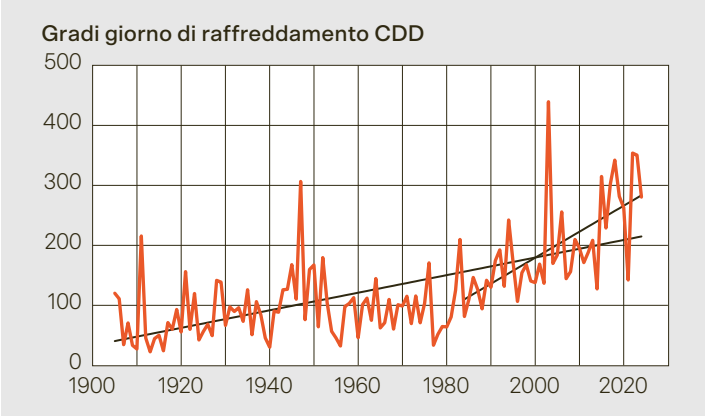


Figura 4.26: Andamento dei gradi giorno di raffreddamento rispetto alla temperatura di riferimento di 18,3 °C. Stazione climatica di Basilea-Binningen. Sono riportate anche le linee di tendenza relative all'intero periodo e agli ultimi 40 anni. (Andreas Genkinger, FHNW. Fonte dei dati: MeteoSvizzera)

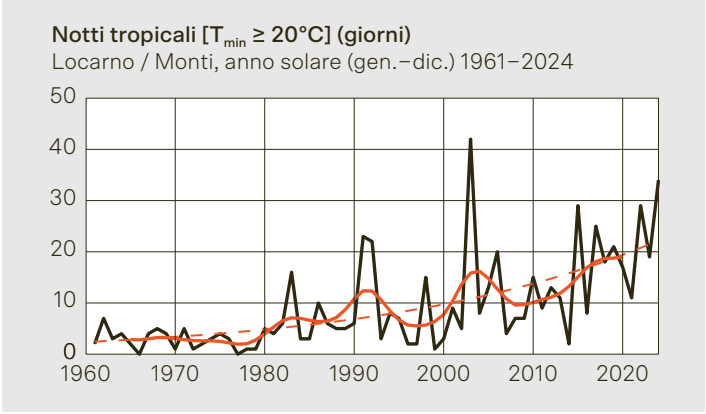


Figura 4.27: Notti tropicali Locarno Monti. (Fonte: MeteoSvizzera)

raffrescamento passivo (Figura 4.28), definito anche natural cooling o geocooling. Si tratta di un processo con prestazioni limitate, ma con dispendio aggiuntivo in termini economici ed energetici molto contenuto.

Rigenerazione delle sonde geotermiche

Secondo Suissetec, durante la rigenerazione delle sonde geotermiche la temperatura di mandata non deve superare i 40 °C [4]. Temperature troppo elevate riducono l'assorbimento di calore del terreno e possono causare accumuli di calore locali. Inoltre, la struttura del terreno può subire alterazioni che compromettono il trasferimento di calore. Alle alte temperature il liquido della sonda invecchia più rapidamente. Per contro, le basse temperature possono causare formazione di condensa su un collettore solare e quindi danneggiarlo, specialmente nei modelli vetrati. Una limitazione controllata della temperatura garantisce il funzionamento efficiente e durevole. Figura 4.29 e Figura 4.30 mostrano possibili sistemi di rigenerazione.

Valori caratteristici

Per quanto riguarda il raffreddamento, l'efficienza dell'apparecchio viene espressa tramite gli indici EER (Energy Efficiency Ratio) e SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio), corrispondenti ai parametri COP e SCOP per il riscaldamento. Il valore EER è il rapporto tra potenza di raffreddamento e potenza elettrica richiesta. Al pari del parametro COP, l'indice EER si applica solo a una condizione operativa molto precisa. Un valore EER più elevato indica un utilizzo più efficiente dell'energia elettrica e, di conseguenza, costi di esercizio inferiori. Il valore SEER misura l'utilizzo dell'impianto di condizionamento nell'arco dell'anno e considera quindi le diverse condizioni di funzionamento che si veri-

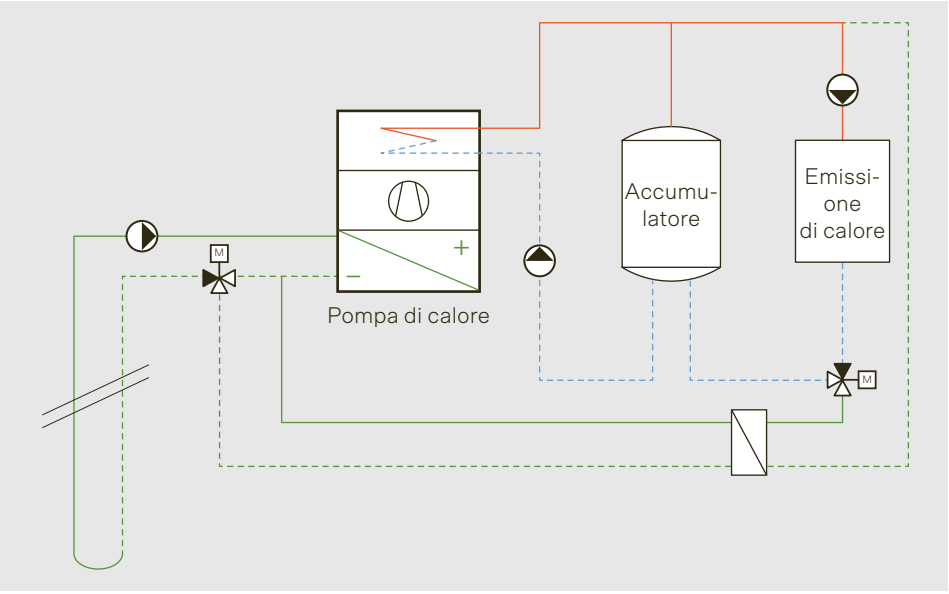


Figura 4.28: Schema di principio per geocooling, senza rigenerazione.

Tabella 4.3: Spessori minimi di isolamento consigliati le condotte del freddo. (Fonte: [3])

Temperatura del fluido[1]: +6 °C, temperatura ambiente: +25 °C, umidità relativa: 60 %														
	Spessore dell'isolamento in mm													
Diametro tubo	17	21	22	28	35	42	48	60	76	89	114	140	168	219
λ ≤0,03	30[2]	30[2]	30[2]	30[2]	30[2]	30[2]	30[2]	30[2]	30[2]	30[2]	30[2]	30[2]	40[2]	40[2]
λ >0,03 - ≤0,04	19	19	19	25	25	25	25	25	32	32	32	38	2 x 19 = 38	2 x 25 = 50
λ >0,04 - ≤0,05	30	30	30	30	30	40	40	40	40	50	50	50	60	80
1: La temperatura del fluido è riferita alla mandata, il ritorno deve essere isolato come la mandata.														
2: Gli isolamenti con materiale isolante PIR devono essere provvisti anche di freno vapore ≥50 m (μ x s).														

ficano. Quanto maggiore è il valore SEER, tanto maggiore è l'efficienza del sistema. I valori medi tipici delle pompe di calore reversibili di piccole dimensioni disponibili sul mercato sono riportati in Tabella 4.4.

Commutazione tra modalità di riscaldamento e raffreddamento

Una commutazione troppo rapida tra riscaldamento e raffreddamento può comportare un notevole dispendio energetico aggiuntivo. Il motivo è che, passando dal riscaldamento al raffreddamento, la massa termica del sistema di emissione del calore e/o degli accumulatori tecnici deve essere alternativamente riscaldata e raffreddata. Nei casi estremi, si riscalda al mattino presto, ma durante il giorno si raffredda. È possibile evitare questa situazione tramite

EER +7 °C/+12 °C	3,0
EER +18 °C/+23 °C	4,5
SEER +7 °C/+12 °C	4,9
SEER +18 °C/+23 °C	6,6

Tabella 4.4: Valori EER e SEER tipici delle pompe di calore reversibili di piccole dimensioni. Versione 2024.

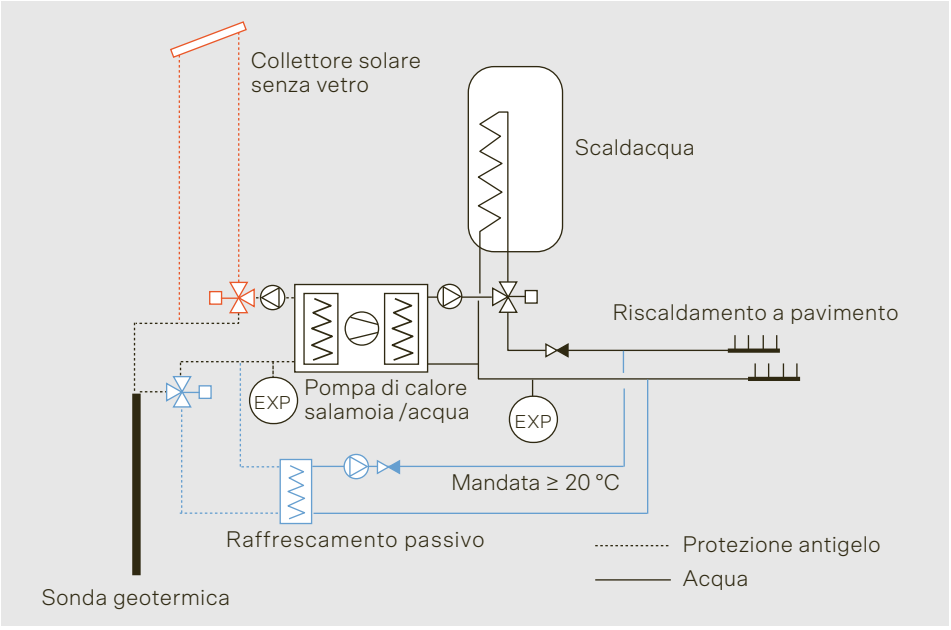


Figura 4.29: Integrazione di un impianto di riscaldamento a pavimento esistente e acqua calda con rigenerazione tramite raffrescamento passivo e/o collettore solare senza vetro. Il sistema di monitoraggio del punto di rugiada o la limitazione della temperatura di mandata min 20 °C impedisce la formazione di condensa. (Fonte: [4])

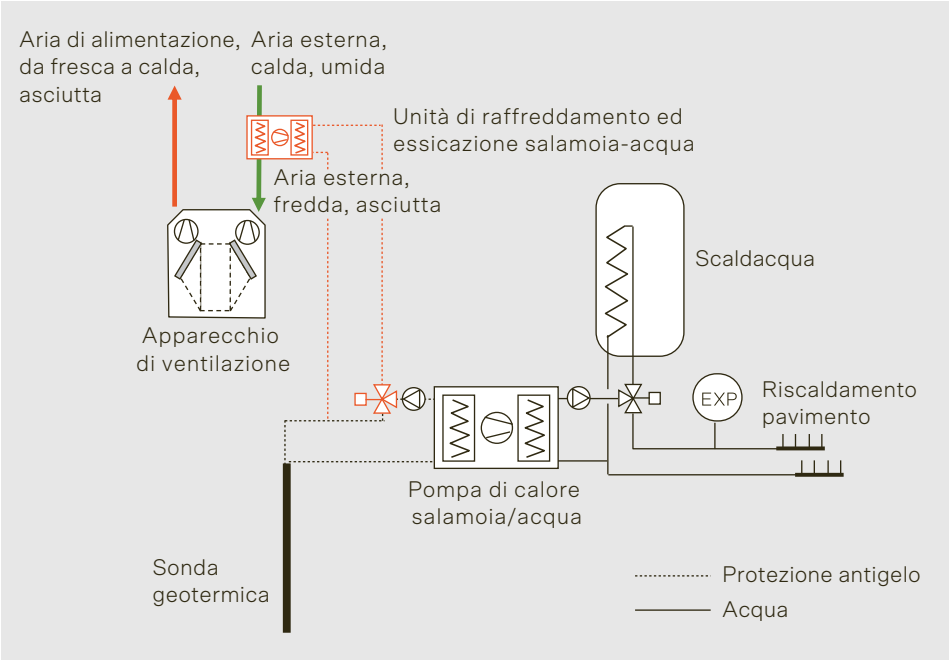


Figura 4.30: Integrazione di un impianto di riscaldamento a pavimento esistente e acqua calda con rigenerazione tramite recupero di calore da aria esterna (ed essiccatore). (Fonte: [4])

una corretta regolazione, i cui parametri fondamentali sono:
- Limite di riscaldamento
- Limite di raffreddamento
- Tempo di media della temperatura esterna

I parametri di misura importanti all'ingresso della centralina sono:
- Temperatura esterna
- Temperatura ambiente
- Umidità dell'aria

Un esempio di curva di riscaldamento/raffreddamento per il funzionamento alternato di un impianto con free cooling tramite riscaldamento a pavimento è mostrato in Figura 4.31. La base è costituita dalla temperatura esterna calcolata come media mobile su un periodo sufficientemente lungo, preferibilmente almeno 12–24 ore. La differenza tra il limite di riscaldamento e il limite di raffreddamento dovrebbe essere di almeno 4 °C (zona neutra). In Figura 4.31 il limite di riscaldamento è pari a 14 °C e il limite di raffreddamento è pari a 18 °C. Grazie al lungo tempo di media scelto per la temperatura esterna, il riscaldamento e il raffreddamento nello stesso giorno vengono perlopiù evitati. Si consiglia comunque di rispettare un tempo morto di almeno 12 ore tra il funzionamento in modalità riscaldamento e quello in modalità raffreddamento, soprattutto quando i tempi di media della temperatura esterna sono più vicini a 12 ore che a 24 ore.
In ogni caso è necessario prestare attenzione al rischio di condensa sul pavimento (pericolo di scivolamento) o sulle condotte di distribuzione e sui raccordi. Durante il funzionamento in modalità raffreddamento, la temperatura superficiale del pavimento è solitamente superiore di 1–2 K rispetto alla temperatura del fluido che circola al suo interno. A 20 °C di tempertaura superficiale, nel tipico clima svizzero il rischio di formazione di condensa è minimo. Indossando calzature tale temperatura viene ancora considerata confortevole. Per il Ticino, il limite del rischio di condensa è superiore di circa 1 K.
La curva di raffreddamento di Figura 4.31 non presenta alcuna inclinazione. All'aumento della temperatura esterna, aumenta quindi anche la potenza di raffreddamento, ma parimenti aumenta il rischio di condensa. È quindi consigliata una curva di raffreddamento leggermente crescente con l'aumento della temperatura esterna. In alternativa o in aggiunta, l'impianto può essere dotato di un sistema di monitoraggio del punto di rugiada. È inoltre importante scegliere termostati ambiente utilizzabili sia per il riscaldamento che per il raffreddamento: i termostati ambiente progettati esclusivamente per il riscaldamento restano «spenti» durante l'estate.

Indicazioni per la progettazione
- Rispettare le prescrizioni cantonali su ambiente, energia ed edilizia.
- Il fabbisogno di calore o raffreddamento dell'edificio con le relative temperature del fluido devono essere definite in anticipo.
- Negli impianti con sonde geotermiche, la scelta della lunghezza della sonda deve considerare l'utilizzo primario (riscaldamento o raffreddamento).
- In caso di sfruttamento delle acque sotterranee, superficiali o reflue, è indispensabile chiarire con le autorità competenti la temperatura massima di ritorno.

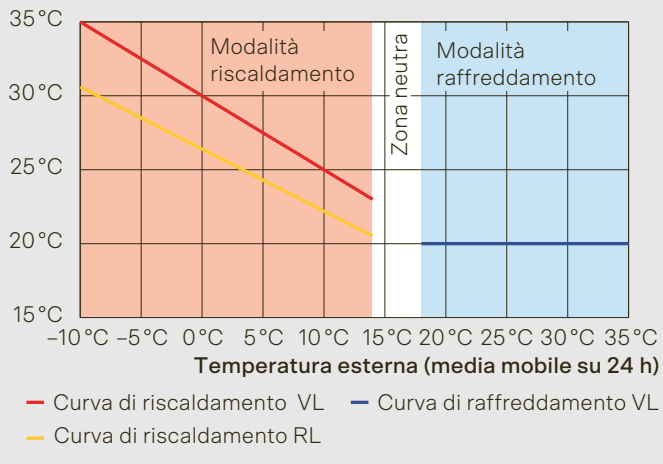


Figura 4.31: Esempio di curva di riscaldamento/raffreddamento per free cooling tramite riscaldamento a pavimento. (Fonte: Andreas Genkinger, FHNW INEB)

- Il dimensionamento e la definizione dei limiti di impiego, nonché l'interfaccia idraulica e di regolazione devono essere chiarite con il produttore o il fornitore dell'impianto di refrigerazione.
- Occorre prestare attenzione all'isolamento termico (acqua di condensa) del sistema di raffreddamento, qualora l'impianto venga utilizzato in modalità free-cooling (condotte fredde nella zona calda).
- Riveste particolare importanza la scelta corretta delle interfacce di regolazione tra produzione, distribuzione e utenze. Una separazione chiara e adeguata semplifica la progettazione, la realizzazione e il funzionamento, soprattutto negli impianti complessi.
- Nei sistemi di riscaldamento a pavimento deve essere prevista una limitazione della temperatura di mandata (minimo 18 °C), in modo da prevenire la formazione di condensa sulla superficie del pavimento o nel sottofondo.

Impianti di ventilazione e climatizzazione

Sistemi

L'utilizzo di pompe di calore è indicato anche negli impianti di ventilazione e climatizzazione. La pompa di calore rappresenta un componente ottimale per il recupero del calore (RC) o l'utilizzazione del calore residuo (UCR). Consente di recuperare sia il calore sensibile che latente da un flusso di aria aspirata e di reimmetterne l'energia nel circuito, insieme al fabbisogno di potenza richiesto. Soluzioni standardizzate si possono trovare ad es. negli apparecchi di ventilazione per piscine o negli edifici con ventilazione controllata.

Per le piscine è prioritaria soprattutto la deumidificazione dell'aria ambiente. In questi apparecchi il flusso d'aria passa dapprima nell'evaporatore (deumidificazione) e poi nel condensatore (nuovo riscaldamento del flusso d'aria). Il calore in esubero viene spesso impiegato per il riscaldamento dell'acqua delle vasche.

Un ulteriore utilizzo avviene negli impianti di ventilazione decentralizzati. Negli impianti di piccole dimensioni con distanza inferiore a ca. 25 m tra gli impianti di espulsione e quelli di immissione dell'aria, l'evaporatore viene installato direttamente nel monoblocco di espulsione, mentre il condensatore viene installato nel monoblocco di immissione. Negli impianti di grandi dimensioni o in caso di distanze elevate, è utile inserire un circuito intermedio. In caso di surplus di calore, gli impianti possono essere utilizzati per il riscaldamento di edifici o, al di fuori del periodo di riscaldamento, per la preparazione di acqua calda sanitaria.

Indicazioni per la progettazione

- Gli scambiatori di calore negli impianti di ventilazione devono essere facilmente accessibili per consentire una pulizia regolare. È inoltre da prevedere un isolamento termico idoneo (acqua di condensa).
- Entrambi i flussi di energia (sorgente e scarico) devono possibilmente essere disponibili in contemporanea; in caso contrario è necessario un accumulo di energia, che può però generare rapidamente costi elevati.

4.6 Fonti

[1] Calanca, P., Holzkämper, A., Isotta, F. A., Die thermische Vegetationszeit im Wandel des Klimas. Agrarforschung Schweiz 14: Pagg. 150–158, 2023

[2] Bollettino del clima dell'anno 2024. Zurigo, 2025

[3] Promemoria Isolazione nella tecnica della costruzione, Suissetec 2023

[4] Promemoria 5, Sonde geotermiche: scarico o rigenerazione?, Suissetec, 2020

Capitolo 5

Erogazione del calore

Con l'erogazione del calore viene definito il sistema con il quale il calore, rispettivamente il freddo, generato con la produzione e trasportato con la distribuzione di calore o freddo, viene ceduto agli ambienti interni. Di seguito viene trattato il funzionamento in modalità riscaldamento, poi si parlerà del sistema di erogazione del calore. Le temperature del sistema di erogazione del calore dipendono dal carico di riscaldamento nominale (fabbisogno di potenza termica) dell'edificio, e con questo la sua conformazione energetica (collocazione, luogo, geometria, costruzione, utilizzo). La riduzione del fabbisogno energetico derivante dalle leggi sull'energia introdotte negli anni '80 ha avuto un'influenza diretta sul fabbisogno di potenza termica e sulla progettazione dei sistemi di riscaldamento degli ambienti. Oggi le temperature di mandata massime consentite sono specificate dalla legislazione.

Un criterio essenziale riguardo alle temperature necessarie nel sistema di riscaldamento è legato alla progettazione. È particolarmente rilevante la dimensione della superficie di scambio termico che, ad esempio, distingue chiaramente gli impianti di riscaldamento a pavimento dagli impianti di riscaldamento a radiatori.

Siccome le pompe di calore impiegano al meglio l'energia necessaria al compressore, se l'aumento di temperatura tra l'evaporatore e il condensatore è contenuto, è da favorire una temperatura più bassa possibile al condensatore, rispettivamente una temperatura di mandata più bassa possibile nel sistema di riscaldamento. In particolare durante il carico parziale è preferibile una temperatura di mandata variabile, anziché un funzionamento costante. Pompe di calore che funzionano con regimi di temperatura inutilmente alti, sprecano preziosa energia elettrica e pesano sul bilancio d'esercizio dell'utente. Inoltre, la durata tecnica dei componenti è più breve con pressioni di esercizio più elevate (nel circuito di refrigerazione). In termini di efficienza energetica, le case a basso consumo energetico con sistemi di distribuzione a pavimento offrono le migliori condizioni per il funzionamento delle pompe di calore. Le pompe di calore sottostanno nella loro funzione a determinate leggi termodinamiche e costruttive. Al dimensionamento quindi vengono posti die limiti. A differenza di un impianto con caldaia, dove la potenza del bruciatore e quindi quella della caldaia può essere elevata entro certi limiti, nella pompa di calore questo non è possibile. Per questo motivo le pompe di calore sono poco indicate ad esempio per l'asciugatura di edifici appena costruiti, tramite l'innalzamento della temperatura di mandata, o per la compensazione energetica di una riduzione notturna dell'impianto di riscaldamento.

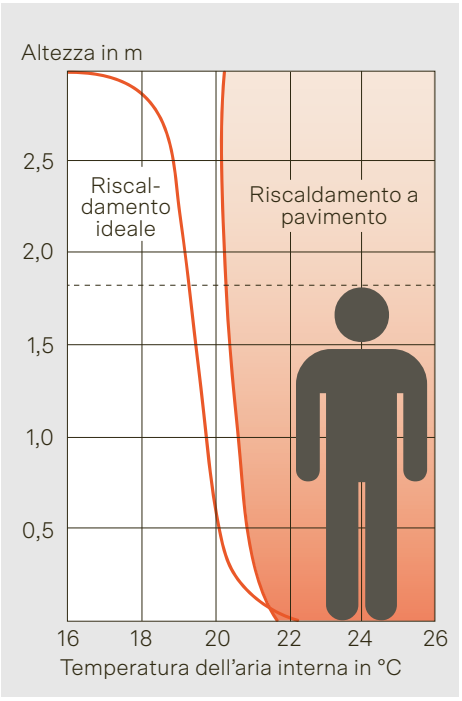


Figura 5.1: Andamento della temperatura in un locale con riscaldamento a pavimento. Più in alto la temperatura diminuisce gradualmente e viene percepita come gradevole.

5.1 Riscaldamento ad acqua calda

Sistemi

I sistemi di erogazione del calore nei riscaldamenti ad acqua calda riguardano principalmente i riscaldamenti a pavimento e con corpi riscaldanti o la combinazione dei due. Negli ultimi anni, soprattutto negli edifici a basso consumo energetico, sono sempre più utilizzati sistemi ad attivazione termica della massa (TABS). Fisicamente, il trasferimento di calore nell'ambiente si basa quasi esclusivamente sulla convezione e sulla radiazione di calore. Il rapporto tra convezione e radiazione è indicato per ogni impianto di riscaldamento dall'esponente «n» dell'emettitore indicato sulla scheda tecnica ed è importante per ulteriori calcoli. Più piccolo è l'esponente n, più alto è il livello di radiazione del calore. Gli esponenti degli emettitori sono approssimativamente:

- Piastre radianti: n = 1,2 – 1,3
- Radiatori: n = 1,3
- Riscaldamenti a pavimento: n = 1,1

Riscaldamento a pavimento

Vantaggi

- Grande erogazione del calore a basse temperature grazie alla compensazione attraverso la grande superficie di pavimento
- Effetto autoregolante: la potenza termica degli impianti di riscaldamento a pavimento è in un certo senso autoregolante. Esempio: se l'aria dell'ambiente si riscalda a causa dell'irraggiamento solare o da una maggiore presenza di persone nell'abitazione, la potenza termica della superficie del pavimento si riduce automaticamente. Questo effetto autoregolante è particolarmente pronunciato nei sistemi di riscaldamento a pavimento a causa della poca differenza di temperatura tra la temperatura dell'aria ambiente e la temperatura superficiale della superficie riscaldante (di solito intorno ai 2 K). Buona distribuzione della temperatura su tutta l'altezza del locale (Figura 5.1).
- Lo spessore del pavimento (betoncino) può essere utilizzato come accumulatore.
- Il riscaldamento a pavimento può essere utilizzato anche in estate per raffreddare (leggermente) il pavimento (modalità Change-over). Per separare le reti di riscaldamento e raffreddamento è sufficiente installare uno scambiatore di calore supplementare. Necessario evitare la formazione di condensa (controllo del punto di rugiada)!

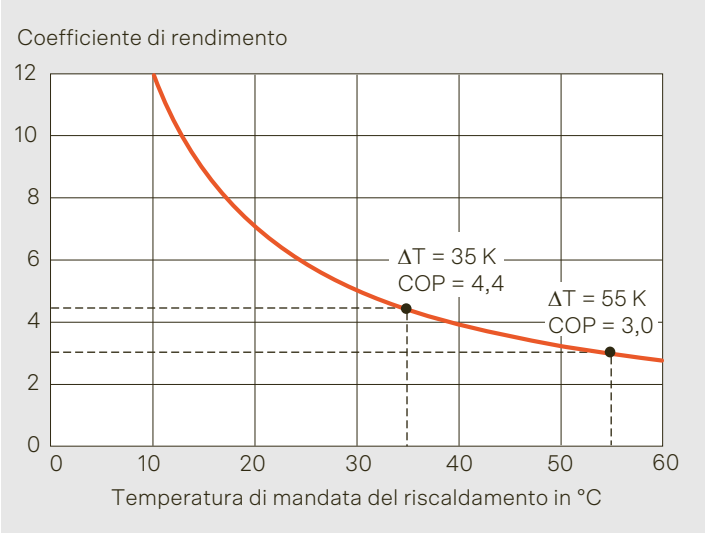


Figura 5.2: Coefficiente di rendimento in funzione della temperatura di mandata del riscaldamento (°C) di una pompa di calore con serpentine nel terreno (0 °C) e riscaldamento a pavimento (inverno).

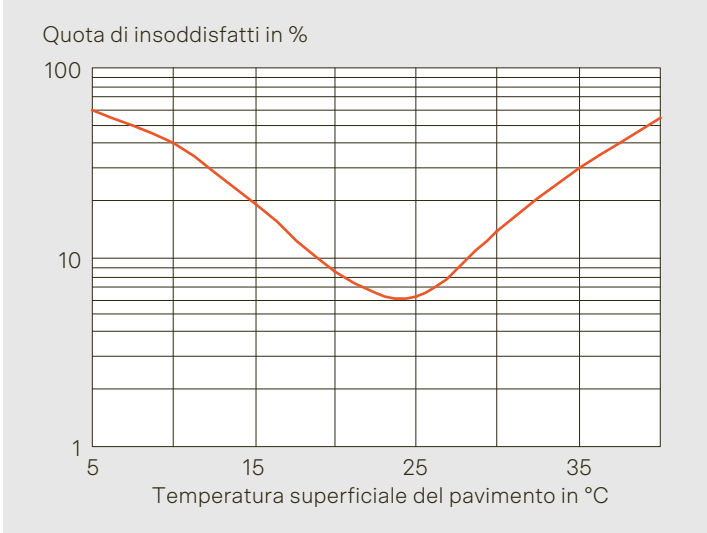


Figura 5.3: Percentuale di persone insoddisfatte, che indossano scarpe leggere, in funzione della temperatura superficiale del pavimento.

Svantaggi
- Inerzia a causa dell'integrazione nel betoncino
- Il sistema di erogazione del calore non è più accessibile in seguito alla sua realizzazione.

La riduzione del fabbisogno di energia, grazie all'introduzione dagli anni '80 di Leggi in materia energetica, ha una conseguenza diretta sul fabbisogno di calore e il dimensionamento dei sistemi di riscaldamento degli ambienti, infatti le temperature di mandata in parte possono essere considerevolmente ridotte. Con una temperatura di mandata bassa, si raggiunge con la pompa di calore un impiego energetico più efficiente. Il luogo comune per il quale «il riscaldamento a pavimento equivale a un pavimento caldo» non corrisponde alla realtà. È un dovere del progettista e dell'installatore informare l'architetto e la committenza che le basse temperature di mandata hanno un peso da non sottovalutare nella scelta del materiale per il rivestimento del pavimento; infatti i riscaldamenti a pavimento sono spesso fonte di reclami a causa delle loro superfici relativamente fredde (vedi Figura 5.3).
La Figura 5.4 mostra in modo significativo il flusso di calore dal piede a dipendenza del materiale di rivestimento del pavimento.

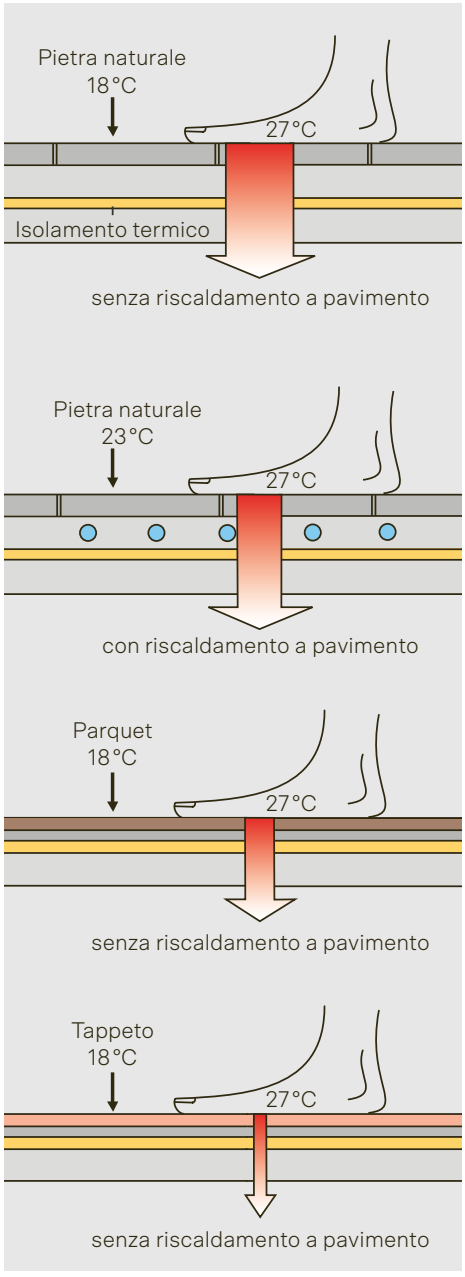


Figura 5.4: Disperdimento di calore dal piede con diversi rivestimenti del pavimento.

Sistemi ad attivazione termica della massa
Sistemi ad attivazione termica della massa sono elementi costruttivi che, quali parti delle superfici che circoscrivono il locale, possono essere muniti di un sistema di tubazioni con un fluido riscaldante o raffreddante, rendendo così possibile il riscaldamento o il raffreddamento del locale. La varietà di tipologie va dai soffitti riscaldanti risp. raffreddanti, passando per le solette intermedie con integrate le tubazioni al centro, fino ai riscaldamenti a pavimento. Questi sistemi estremamente inerti vengono volutamente impiegati per separare temporalmente l'offerta di energia dal fabbisogno di calore dei locali, nell'ottica di un impiego razionale dell'energia, per esempio un raffreddamento attivo

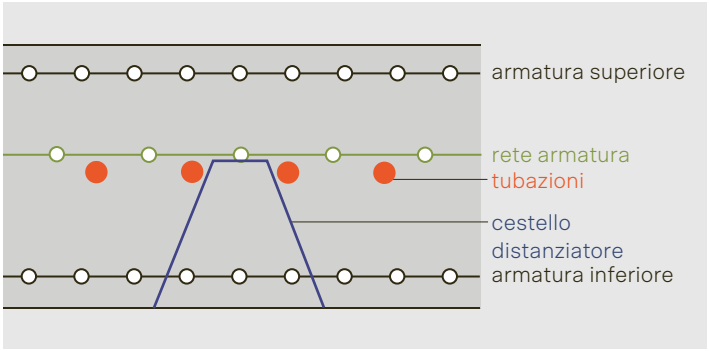


Figura 5.5 Dettaglio in sezione TABS.

dell'elemento durante la notte, per un raffreddamento passivo durante il giorno, grazie all'elemento raffreddato. Concetti di edifici e impianti, dove è previsto l'impiego di sistemi ad attivazione termica della massa con i relativi tempi di reazione lenti, esigono l'impiego di moderni strumenti di simulazione per edifici. Questo nell'ottica di una progettazione competente e responsabile, così da poter formulare delle fondate considerazioni in merito al benessere termico e al fabbisogno di energia.
Decisivo è il passaggio di calore: è possibile calcolare lo scambio di calore tra gli elementi termoattivi e il locale con un coefficiente di trasmissione calorica (α) combinato per l'irraggiamento e la convezione. Per flussi di calore disposti orizzontalmente o verticalmente, questo coefficiente è pari a ca. 7 fino a 8 W/(m² K) (per convezione ca. 2 fino a 3 W/(m² K), per irraggiamento ca. 5 W/(m² K)). Ne risulta una trasmissione di calore di circa 50 W/m² con una differenza di calore tipica tra superficie dell'elemento e l'aria del locale di 6 K (temperatura superficiale dell'elemento di 19 °C e temperatura dell'aria del locale di 25 °C). Se una potenza termica di 50 W/m² condiziona l'elemento per 24 ore a pieno carico, si ottiene una quantità di energia pari a 1,2 kWh/m², che giornalmente viene ceduta al locale.

Riscaldamento con corpi riscaldanti

Vantaggi
- Reagisce velocemente a cambiamenti di carico.
- Sistema di erogazione di calore sempre accessibile.
- È possibile evitare la caduta di aria fredda in prossimità delle superfici fredde, a dipendenza del posizionamento dei corpi riscaldanti.
- Elevata flessibilità durante le ristrutturazioni, in quanto i corpi riscaldanti possono essere facilmente smontati e riposizionati.

Svantaggi
- Potenza di riscaldamento bassa con temperature di mandata basse.
- Pessima distribuzione della temperatura sull'altezza del locale (Figura 5.6).
- Pavimento freddo se in pietra.
- Necessità di superfici riscaldanti relativamente grandi.
- Questo sistema non può essere utilizzato per il raffreddamento.

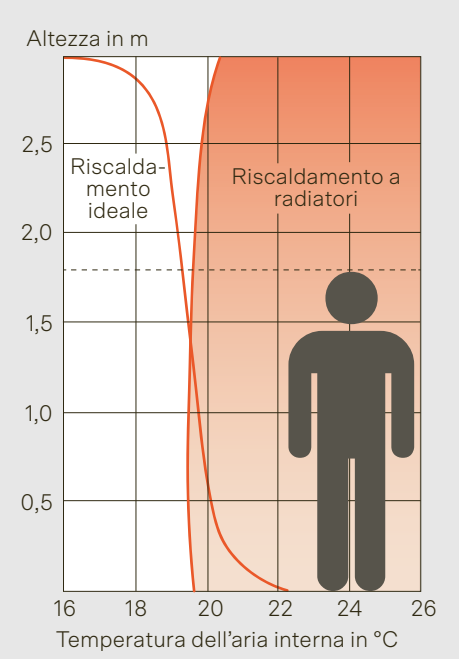


Figura 5.6: Andamento della temperatura con riscaldamento a radiatori.

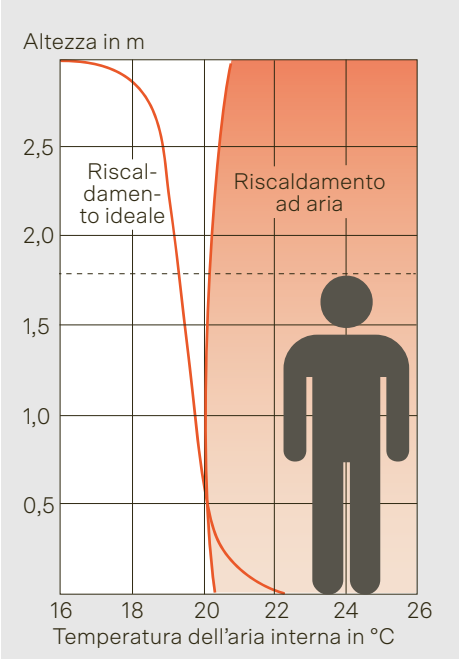


Figura 5.7: Andamento della temperatura con riscaldamento ad aria.

Anche nei sistemi con corpi riscaldanti variano le superfici di riscaldamento (superficie che contribuisce attivamente all'erogazione di calore), a dipendenza delle temperature del sistema e il fabbisogno di riscaldamento. Sebbene qui si pongono dei limiti riguardo alle superfici in vista (superficie, con la quale si percepisce frontalmente la superficie di riscaldamento) e l'impiego di materiale.

Indicazioni per la progettazione
- Scegliere le temperature di mandata più basse possibili (radiatori a bassa temperatura).
- Rispettare le condizioni quadro legali (temperature massime di mandata).
- Nella scelta del refrigerante è da considerare la differenza di temperatura (sbalzi di temperatura).
- Rispettare la temperatura massima di mandata delle tubazioni posate in solaio o nel sottopavimento (norme SIA).

5.2 Impianti di ventilazione meccanica

Riscaldamento ad aria

Sistemi
Il riscaldamento ad aria è una possibile alternativa ai sistemi di erogazione del calore ad acqua per le case Minergie-P e passive. Il suo vantaggio principale consiste nella possibilità di poter rinunciare a un sistema di riscaldamento ad acqua separato. Il prerequisito è una progettazione estremamente accurata.

Vantaggi
- Reagisce velocemente a cambiamenti di carico.
- Il sistema di erogazione è sempre accessibile, laddove non è prevista la posa in getto.
- Nessun sistema di distribuzione aggiuntivo necessario (utilizzo dell'impianto di ventilazione per riscaldare).

Svantaggi
- Pessima distribuzione della temperatura sull'altezza del locale.
- Pavimento freddo se in pietra.
- Possibile caduta di aria fredda presso le superfici fredde.
- Igiene nella rete di distribuzione dell'aria
- Necessaria una temperatura al condensatore elevata (COP peggiore).
- L'acqua ha una capacità termica 3200 volte superiore a quella dell'aria (a parità di volume), per cui i sistemi di ventilazione sono meno efficienti dal punto di vista energetico rispetto ai sistemi ad acqua (sono necessari elevati flussi d'aria).
- Pericolo di aria secca.

Indicazioni per la progettazione
- Scegliere le temperature d'immissione più basse possibili. Occorre tuttavia accertarsi che non si verifichino correnti d'aria.
- Nella scelta del refrigerante è da considerare la differenza di temperatura (sbalzi di temperatura).
- Evitare punti d'immissione dell'aria nella zona di soggiorno.

5.3 Acqua calda sanitaria

Sistemi

Il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria mediante pompa di calore può essere sostanzialmente suddiviso in due sistemi.

- Utilizzo indiretto: l'acqua viene indirettamente riscaldata dal sistema di riscaldamento mediante uno o più scambiatori di calore.
- Utilizzo diretto: l'acqua viene direttamente riscaldata mediante uno o più scambiatori di calore del circuito di refrigerazione.

Evidentemente è possibile combinare i due sistemi (ad esempio, pompa di calore per l'acqua calda, spesso denominata boiler a pompa di calore).

Il ciclo antilegionella non viene sostanzialmente più raccomandato, né giornalmente né settimanalmente. Questo aspetto deve essere considerato separatamente, a seconda dell'uso dell'edificio, ad es. nelle strutture sanitarie, di accoglienza, scuole e altro. La temperatura dell'acqua calda non deve scendere sotto i 55 °C in nessun punto del sistema. Oggi la prevenzione antilegionella è rivolta principalmente al sistema di distribuzione e non all'accumulatore.

Utilizzo indiretto

Vantaggi

- Facilmente integrabile in circuiti idraulici standardizzati.
- Elevata disponibilità di componenti standard.

Svantaggi

- Esercizio parallelo (simultaneo) di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria possibile solo con un basso rendimento globale dell'impianto.
- Basso rendimento a causa dello scambiatore di calore supplementare.

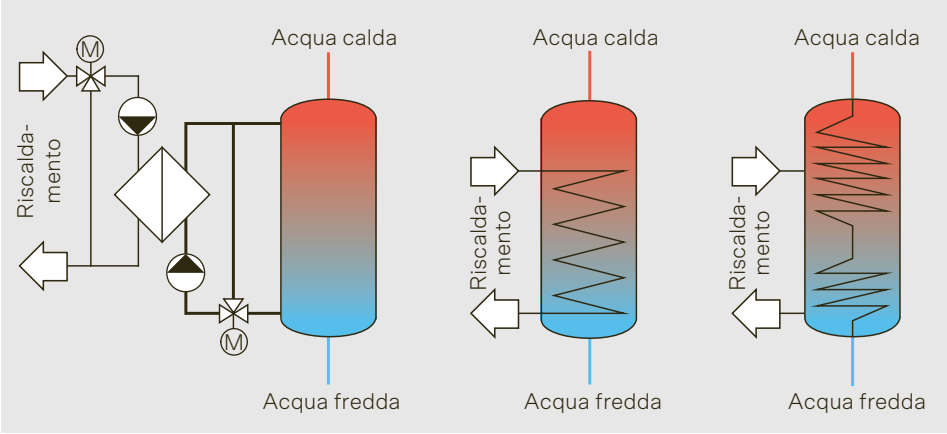


Figura 5.8: Sistemi indiretti di riscaldamento dell'acqua calda.

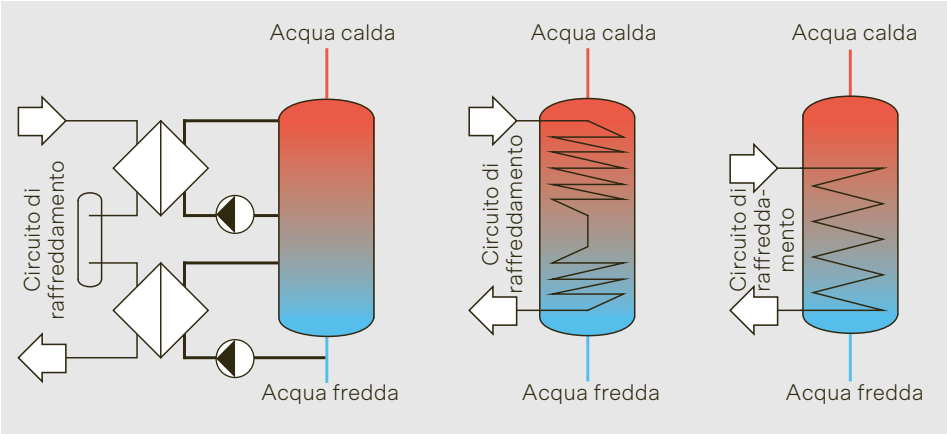


Figura 5.9: Sistemi diretti di riscaldamento dell'acqua calda.

– Basse temperature dell'acqua a causa dello scambiatore di calore supplementare.

Tipici esempi di impiego indiretto sono:
– Accumulatore con scambiatore di calore esterno
– Accumulatore con registro
– Accumulatore combinato o a spirale

Indicazione: Un circuito prioritario per l'acqua calda con un livello di temperatura impostato (ad es. 55 °C per il caricamento dell'acqua calda, 40 °C per il funzionamento del riscaldamento) è preferibile all'esercizio parallelo (simultaneo) di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria, in modo che la pompa di calore possa funzionare nel punto di funzionamento ottimale (temperature di uscita più basse possibili; massima efficienza possibile).

Utilizzo diretto

Vantaggi
– Rendimento elevato
– Utilizzo del calore in funzione della temperatura mediante desurriscaldamento, condensazione e sottoraffreddamento del refrigerante

Svantaggi
– Dal lato del refrigerante si prediligono scambiatori di calore separati per il riscaldamento e per la produzione di acqua calda sanitaria.
– Elevati contenuti di refrigerante.
– Elevata formazione di calcare, con conseguente frequente pulizia dello scambiatore (desurriscaldatore, condensatore).
– Il circuito refrigerante-olio deve essere eseguito conforme alle prescrizioni in materia alimentare (tubo a doppia parete con sensore del refrigerante).

Disaccoppiamento termico in funzione della temperatura: L'innalzamento della temperatura nella produzione di acqua calda sanitaria è normalmente molto più alto rispetto all'acqua di riscaldamento. Questa circostanza può essere sfruttata se considerata nel dimensionamento della pompa di calore e nella connessione idraulica del calore di desurriscaldamento, condensazione e sottoraffreddamento a differenti livelli di temperatura. Questa ottimizzazione dell'estrazione di calore è applicabile con diversi sistemi.
– Scambiatori di calore separati (desurriscaldatore, condensatore, sottoraffreddatore).
– Provvedimenti costruttivi per l'utilizzo del sottoraffreddamento e il desurriscaldamento nel condensatore.

Esempi tipici per un utilizzo indiretto sono:
– Accumulatore con condensatore esterno e sottoraffreddatore
– Accumulatore con zone-registro separate per il desurriscaldamento, condensazione e sottoraffreddamento
– Accumulatore con registro semplice

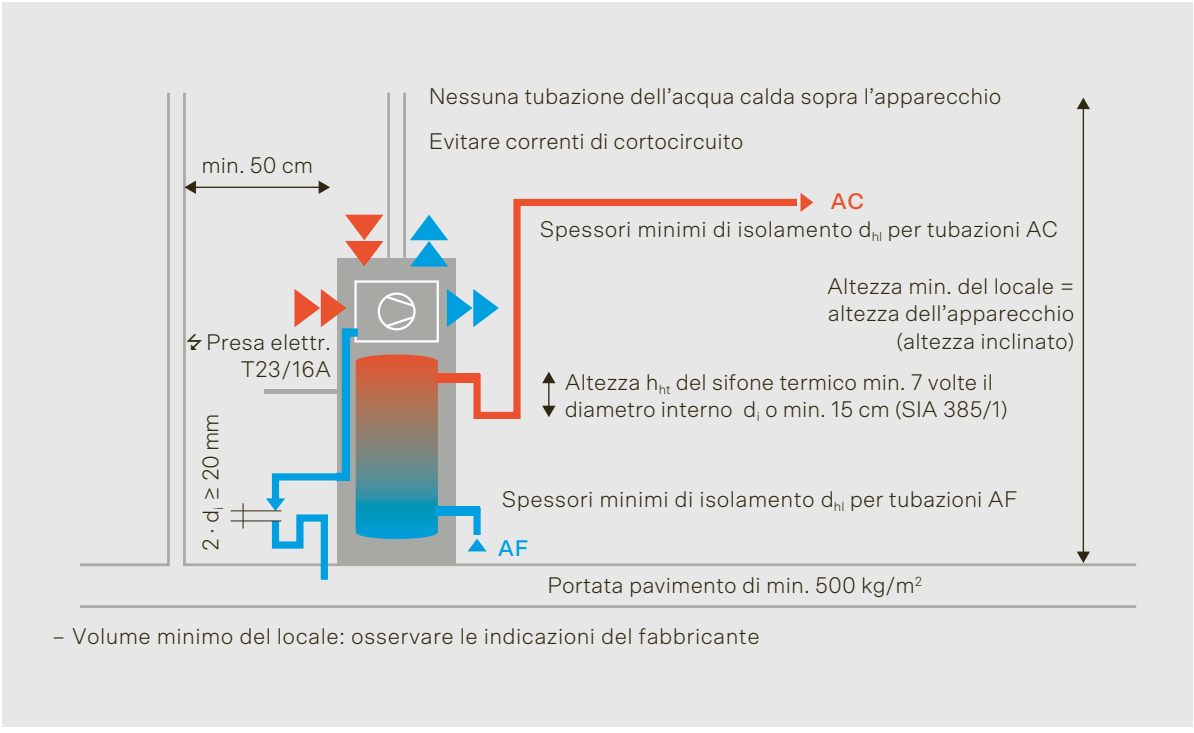
Indicazioni per la progettazione
– In sistemi monovalenti è da verificare l'impiego di un riscaldamento elettrico d'emergenza (soddisfare i requisiti di legge).
– Per scongiurare la legionella sono da prendere i necessari provvedimenti per l'intera rete dell'acqua calda sanitaria.
– La produzione di acqua calda sanitaria dovrebbe avvenire tutto l'anno mediante la pompa di calore e non solo durante il periodo di riscaldamento. Per il dimensionamento delle sonde geotermiche questo è da considerare.
– Temperature troppo elevate alla superficie dello scambiatore di calore conducono alla formazione di calcare nell'acqua da riscaldare.
– È da considerare l'influenza della circolazione.
– È da garantire la stratificazione dell'acqua calda sanitaria nell'accumulatore (da verificare in caso di accumulatore esistente).
– Gli scambiatori di calore nell'accumulatore dell'acqua calda devono essere

dimensionati sulla potenza massima della pompa di calore (pompe di calore aria-acqua hanno quasi il doppio della potenza in estate.)
- Il luogo di installazione deve essere il più vicino possibile all'utilizzatore principale per ridurre al minimo le perdite di distribuzione e i tempi di erogazione.

Legionella

I batteri della legionella sono presenti quasi ovunque in natura, anche nell'acqua potabile. L'inalazione di legionelle provoca il rischio di malattia («Legionellosi»), in particolare di polmonite. La legionella trova condizioni di vita ottimali in temperature che variano tra 25 °C e 45 °C e viene eliminata solo a partire da 55 °C. La norma SIA 385/1 (versione 2020) richiede quindi temperature minime di 55 °C all'uscita dell'accumulatore per le condotte dell'acqua mantenute in temperatura e di 52 °C per le condotte dell'acqua non mantenute in temperatura. L'utilizzo di propano come refrigerante consente di raggiungere temperature di uscita pari a 65 °C. Le condotte mantenute in temperatura devono essere mantenute ad almeno 55 °C in ogni punto del sistema, mentre al punto di erogazione la temperatura non deve scendere sotto i 50 °C. Le condotte dell'acqua fredda devono essere installate in modo da non riscaldarsi (ad es. a causa di condotte dell'acqua calda o del riscaldamento posate in parallelo). Il ciclo anti-legionella settimanale che prevede il riscaldamento dell'acqua ad almeno 60 °C, non è più raccomandato secondo la norma SIA 385/1:2020, a causa del rischio di una selezione indesiderata di ceppi di legionella più resistenti alla temperatura e con maggiore infettività.

L'acqua calda sanitaria che viene utilizzata entro 24 ore non presenta alcun rischio di formazione di legionella, per cui i serbatoi di accumulo non devono essere troppo grandi (dimensionamento secondo la norma SIA 385/2). Ulteriori misure sulla rete di distribuzione sono:
- Separazione delle sezioni di tubo non utilizzate dalla rete di distribuzione
- Lunghezze di tubazioni corte
- Buon risciacquo (nessun ristagno d'acqua)
- Risciacquare e pulire regolarmente rubinetti, tubi di doccia, rubinetterie per vasca da bagno e doccia usati di rado.



– Volume minimo del locale: osservare le indicazioni del fabbricante

Figura 5.10: Installazione degli scaldacqua con pompa di calore. (Fonte: scheda tecnica ImmoClima «Pompe di calore ad acqua calda»)

5.4 Altri sistemi

Scaldacqua con pompa di calore
Lo scaldacqua con pompa di calore (bollitore a pompa di calore) è un'unità compatta, composta da una pompa di calore aria-acqua e un accumulatore. L'energia necessaria dall'aria può essere assorbita dal locale d'installazione, da un locale vicino o dall'aspirazione, ecc. L'aria viene raffreddata e deumidificata, quindi il locale è indicato ad esempio quale dispensa o locale asciugatura. Il corretto dimensionamento, la sifonatura delle tubazioni dell'acqua calda (non necessario a seconda del sistema di distribuzione, ad esempio per il riscaldamento a traccia) e l'isolamento termico completo garantiscono un'elevata efficienza energetica, rendendo il sistema adatto alla sostituzione di bollitori elettrici. Oltre alle unità compatte, sono disponibili anche unità split per un facile utilizzo dell'aria esterna come fonte di calore.

Indicazioni per la progettazione
- Il bilancio energetico è da chiarire con esattezza, affinché non avvenga una sottrazione del calore dai locali riscaldati.
- Prevedere un buon isolamento termico verso i locali riscaldati.
- Per scongiurare la legionella sono da prendere i necessari provvedimenti

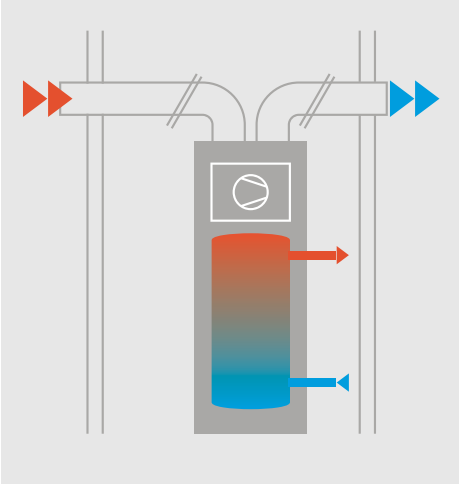


Figura 5.11: Scaldacqua con pompa di calore, con sistema canalizzato per l'utilizzo dell'aria esterna come fonte di calore. (Fonte: scheda tecnica ImmoClima «Pompe di calore ad acqua calda»)

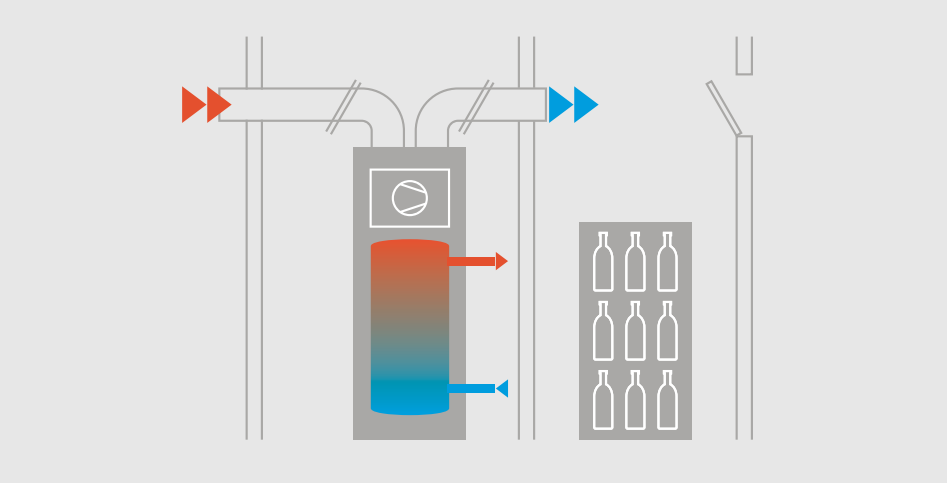


Figura 5.12: Posa di bollitori a pompa di calore per il raffreddamento di locali.

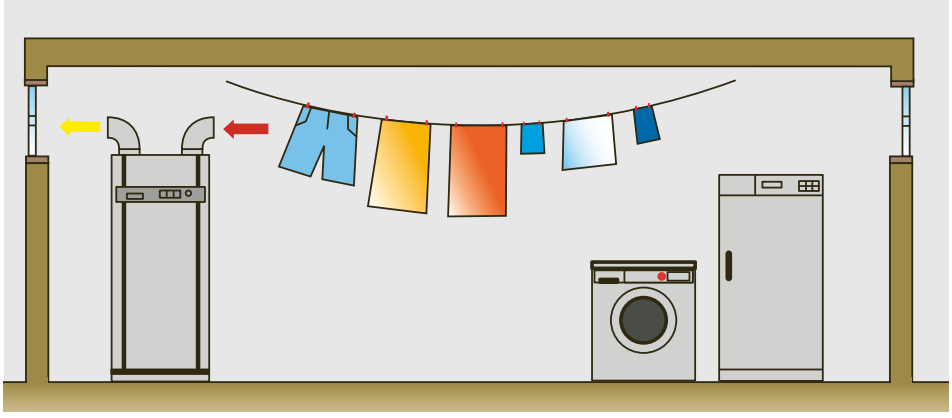


Figura 5.13: Posa di bollitori a pompa di calore per la deumidificazione di locali.

per l'intera rete dell'acqua potabile (cfr. Capitolo 5.3, Paragrafo «Legionella»).
- Per emergenze è da prevedere una resistenza elettrica aggiuntiva.
- Necessario lo scarico della condensa.

Pompa di calore per l'acqua delle piscine

Pompa di calore aria/acqua per il riscaldamento di piscine esterne nella stagione calda.

Indicazioni per la progettazione

- Rispettare le disposizioni cantonali in materia di costruzione ed energia (ad es. copertura della superficie dell'acqua).
- Osservare la scelta del materiale per le componenti.
- Ponderare il luogo di posa per una pompa di calore aria-acqua (acustica/rumore, inquinamento, distanze del confine).
- Osservare le prescrizioni (permessi).

Capitolo 6

Pompa di calore agli impianti

6.1 Principio

La pompa di calore viene allacciata al sistema idraulico dell'impianto. L'inserimento è da scegliere in modo che possa essere garantito un funzionamento energeticamente efficiente, economico e con meno guasti possibile. Sono da osservare i seguenti punti:

- Allacciamento idraulico corretto, senza collegamento in serie delle pompe di circolazione, ecc.
- Possibile disaccoppiamento idraulico del generatore di calore dalla distribuzione del calore tramite accumulatore o eventualmente con un separatore idraulico (se necessario)
- Spurgo dell'impianto prima dell'allacciamento della pompa di calore
- Potenza termica resa (se necessario, comprese le perdite del collegamento del condensatore)
- Grado di copertura della pompa di calore (se possibile monovalente)
- Portata d'aria possibile per una pompa di calore aria-acqua
- Processo di sbrinamento per una pompa di calore aria-acqua
- Temperature di esercizio del sistema di emissione del calore (in particolare la massima temperatura di mandata)
- Limiti d'impiego della pompa di calore
- Adattamento ai casi di carico parziale
- Potenza a disposizione dall'ambiente (se necessario, incluso il collegamento dell'evaporatore)
- Le prescrizioni per la ventilazione della centrale termica, così come la separazione del locale della caldaia e la pompa di calore, dipendono dalla tipologia e quantità del refrigerante e del vettore energetico addizionale
- Protezione fonica (verso l'interno e verso l'esterno)
- Per ottimizzazioni dell'esercizio consultare il quaderno tecnico SIA 2048 (liste di controllo)

6.2 Esercizio

Esercizio monovalente

Nel caso di un esercizio monovalente, la pompa di calore garantisce la potenza di riscaldamento necessaria a tutti i possibili regimi di funzionamento. Di conseguenza la pompa di calore deve

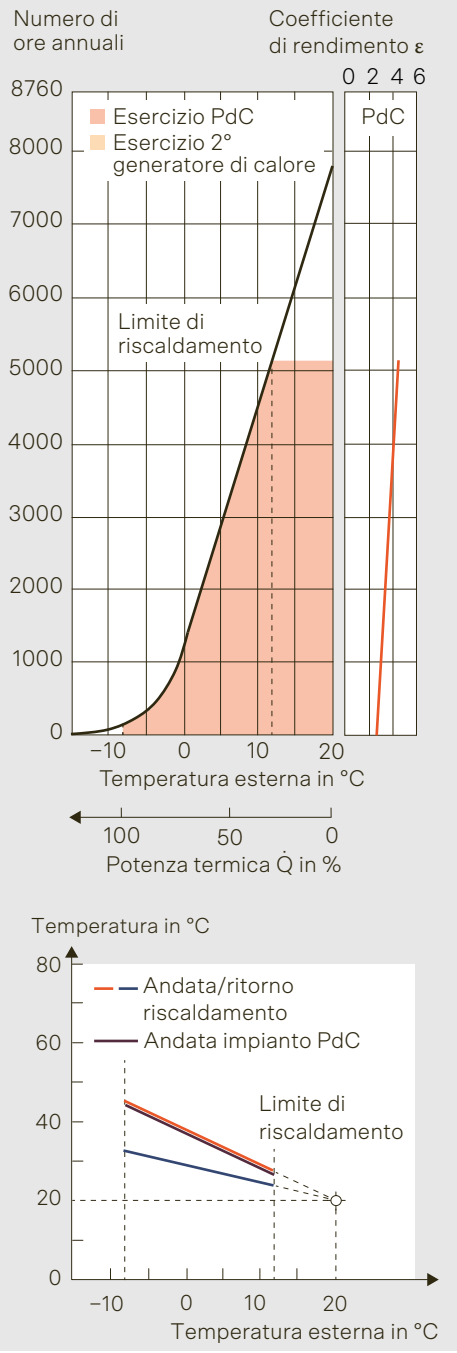


Figura 6.1: Funzionamento monovalente.

essere dimensionata in base al fabbisogno massimo di potenza dell'edificio, così come alla temperatura di mandata massima necessaria. (Figura 6.1).

Esercizio bivalente

Se la pompa di calore non può o non deve fornire l'intera potenza termica, è necessario un secondo generatore di calore. In questo caso si parla di sistema bivalente o di esercizio bivalente.

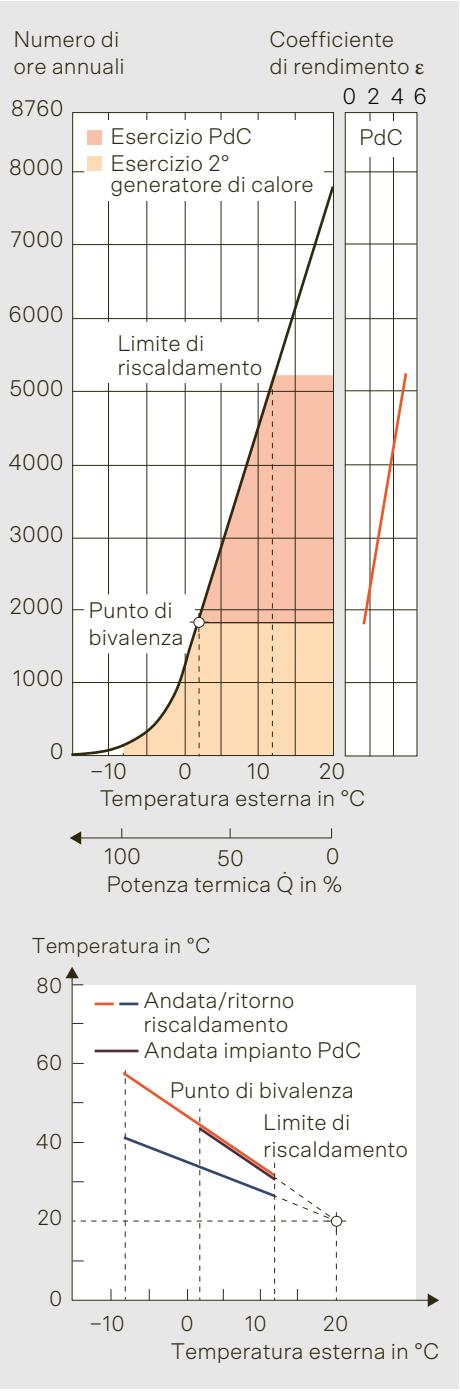


Figura 6.2: Funzionamento bivalente-alternativo.

Il punto di esercizio fino al quale la sola pompa di calore fornisce la potenza termica dipende dalla temperatura esterna dell'aria; questo viene chiamato «punto di bivalenza», la temperatura associata «temperatura di bivalenza». Il punto di bivalenza dipende da diversi criteri:

- La potenza elettrica collegata richiesta o possibile
- La temperatura massima di mandata
- Lo spazio necessario per un secondo generatore di calore
- Le temperature della fonte di calore

Inoltre, in caso di impianti di grandi dimensioni:

- Economicità
- Ridondanza

Indicazioni

- È necessario più spazio per il serbatoio dell'olio o per il locale di stoccaggio della legna, per la caldaia, l'accumulatore di stoccaggio e la canna fumaria di un sistema di riscaldamento supplementare.
- I sistemi di generazione di calore bivalenti andrebbero evitati negli impianti di piccole dimensioni (case monofamiliari o plurifamiliari) per quanto possibile a causa della loro elevata complessità.

Esistono due tipi diversi di esercizio.

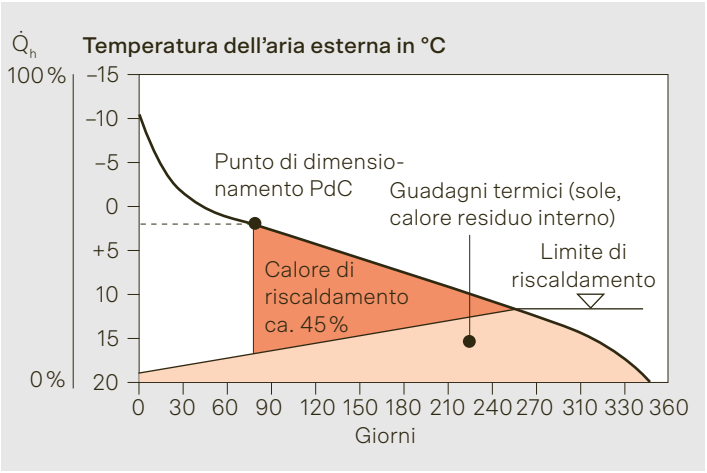


Figura 6.3: Funzionamento bivalente-alternativo.

Esercizio bivalente – alternativo
La pompa di calore copre il fabbisogno di potenza di riscaldamento alle alte temperature dell'aria esterna (oltre il punto di bivalenza). Nei periodi con temperature dell'aria esterna basse, la copertura del fabbisogno di potenza viene garantita interamente da una produzione di calore alternativa (caldaia a legna, a gas o a gasolio). La pompa di calore va dimensionata al punto di bivalenza, mentre il secondo produttore di calore al fabbisogno massimo di potenza dell'edificio. (Figura 6.2).

Esercizio bivalente – parallelo o bivalente – parzialmente parallelo
Nell'esercizio bivalente – parzialmente parallelo i produttori di calore lavorano a volte contemporaneamente. La pompa di calore copre il fabbisogno di potenza per il riscaldamento alle alte temperature dell'aria esterna (oltre il punto di bivalenza).
Al di sotto del punto di bivalenza, quindi alle basse temperature esterne, si aggiunge un secondo produttore di calore (caldaia a legna, a gas o a gasolio). In questa fase entrambi i produttori di calore lavorano in parallelo (Figura 6.4).
Nell'esercizio bivalente – parzialmente parallelo, a una determinata temperatura dell'aria esterna la pompa di calore viene spenta completamente. Questo vale soprattutto per le pompe di calore aria-acqua. Quindi solo in caso di esercizio parzialmente parallelo, il secondo produttore di calore (caldaia) deve essere dimensionato alla potenza di dimensionamento.

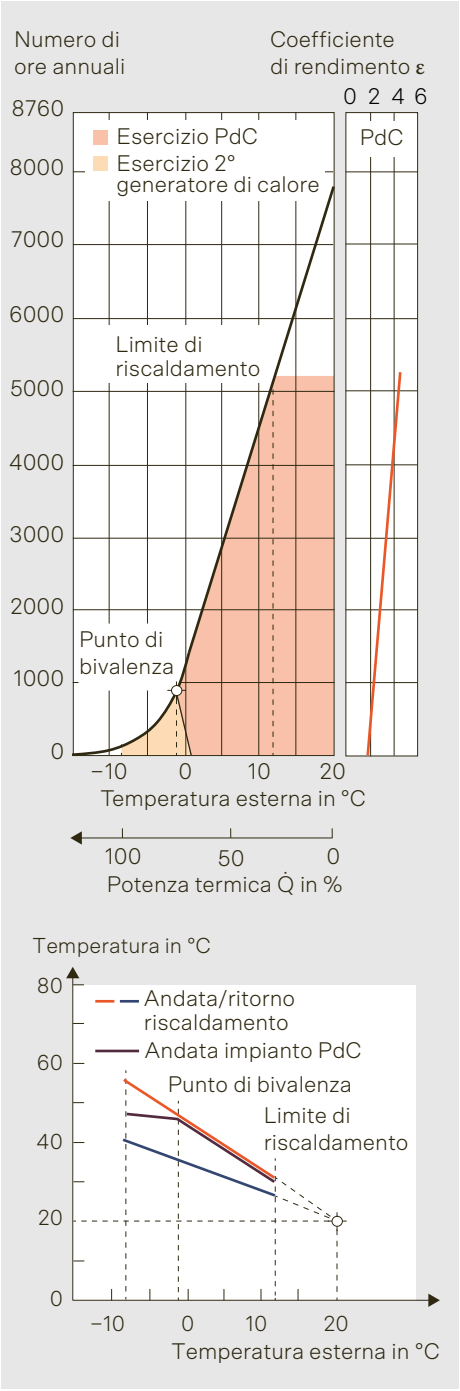


Figura 6.4: Esercizio bivalente – parallelo o bivalente – parzialmente parallelo.

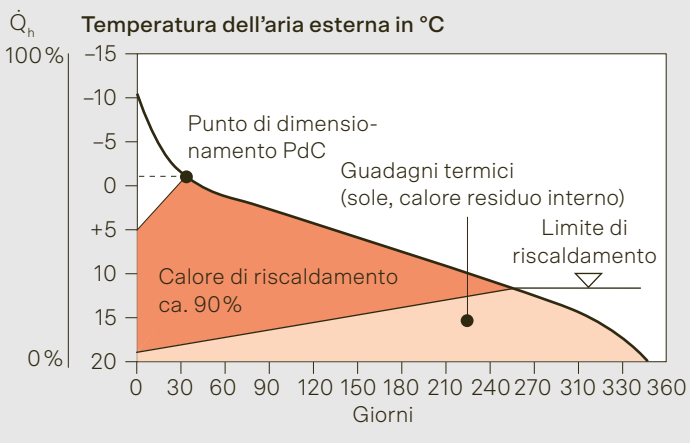


Figura 6.5: Esercizio bivalente-parallelo.

6.3 Idraulica

Differenza di temperatura e portata negli scambiatori di calore
La differenza di temperatura negli scambiatori di calore definisce la portata, la perdita di carico e il consumo di corrente delle relative pompe di circolazione e ventilatori. I sistemi di erogazione del calore vengono dimensionati, a dipendenza della temperatura media di riscaldamento necessaria, tra massimo 40 / 30 °C per i corpi riscaldanti (per i risanamenti 50 °C possibile) e minimo 26 / 22 °C per le superfici radianti. I riscaldamenti a pavimento autoregolanti (temperatura massima di mandata 30 °C), sempre più utilizzati, non hanno valvole termostatiche e quindi non necessitano un disaccoppiamento idraulico.

Disaccoppiamento idraulico: Con la diminuzione del carico termico dell'edificio, ad esempio a temperature esterne elevate, si riduce la portata attraverso l'erogatore di calore. In funzione del fabbisogno variabile, nel caso delle pompe di calore senza esercizio modulare, è necessario un disaccoppiamento idraulico sotto forma di un accumulatore, un bypass o una valvola. Pompe di calore con un esercizio modulare possono essere utilizzate senza un disaccoppiamento idraulico (Figura 6.6).

Accumulatore: Con un accumulatore possono essere superati gli orari di interdizione da parte dell'Azienda elettrica. In questo modo è possibile accordarsi con l'Azienda per una corrente a tariffa vantaggiosa. È opportuno distinguere gli accumulatori come segue:
- Accumulatore tecnico per una separazione idraulica e a garanzia di un numero di inserimenti massimi permesso.
- Accumulatore termico per l'accumulo di energia termica per la copertura dei picchi e il superamento degli orari di interdizione, e di conseguenza un aumento minimo del contenuto dell'impianto (massa d'accumulo).
- Separatore idraulico per il disaccoppiamento del circuito di riscaldamento del generatore di calore dal circuito di utenza, quindi nessun collegamento in serie delle pompe di circolazione.

Strategie di carica per l'accumulatore
- Carica graduale: In una carica graduale dell'accumulatore, la portata attraverso il produttore di calore è costante. Il generatore può elevare la temperatura di ritorno solo fino a una determinata differenza di temperatura. Così la temperatura dell'accumulatore viene elevata di una piccola differenza a ogni passaggio. Questo permette di avere coefficienti di rendimento migliori che nella carica stratificata, soprattutto al primo ciclo di carica. Tuttavia, le temperature finali dell'accumulatore variano notevolmente a dipendenza dello stato iniziale prima del caricamento dell'accumulatore (Figura 6.7).
- Carica stratificata: In una carica stratificata dell'accumulatore, la temperatura del produttore di calore viene regolata a un determinato valore di consegna mediante una regolazione di carica, indipendentemente dalla temperatura di ritorno dagli erogatori. La temperatura di consegna può essere regolata su un valore costante, oppure variabile, ad es. in funzione della temperatura dell'aria esterna. La carica a stratificazione ha il vantaggio che l'accumulatore viene caricato con una temperatura definita e così rimane a diposizione una temperatura definita anche per l'erogatore di calore (Figura 6.8).

Indicazioni: Per piccoli impianti, la carica stratificata si è affermata come variante affidabile ed efficiente dal punto di vista energetico; di conseguenza, per tali sistemi dovrebbe essere attuata questa modalità di carica.

Indicazioni per la progettazione

- Per prolungare il tempo d'esercizio della pompa di calore, è necessaria una sufficiente massa d'accumulo termico. Questa può essere presente nella massa della costruzione (serpentine, TABS) o mediante un accumulatore (tampone di riscaldamento). Innanzitutto, anche con un riscaldamento a pavimento, non è per forza necessario utilizzare un tampone di riscaldamento.
  Il tempo minimo di esercizio per ogni avvio del compressore dovrebbe essere di circa 20 – 30 minuti.
- Un bilanciamento idraulico preciso è particolarmente importante in caso di impianti di riscaldamento autoregolanti, senza valvole termostatiche. L'ideale è il bilanciamento idraulico di tutti i circuiti di riscaldamento a pavimento con il sistema Tichelmann.
- Un accumulatore tecnico (piccolo contenuto d'acqua) viene impiegato soprattutto quale separazione idraulica (esempio: più gruppi di riscaldamento).
- Gli attacchi idraulici all'accumulatore sono se possibile da collegare con un sifone termico e da isolare termicamente (per una riduzione delle perdite di stoccaggio).

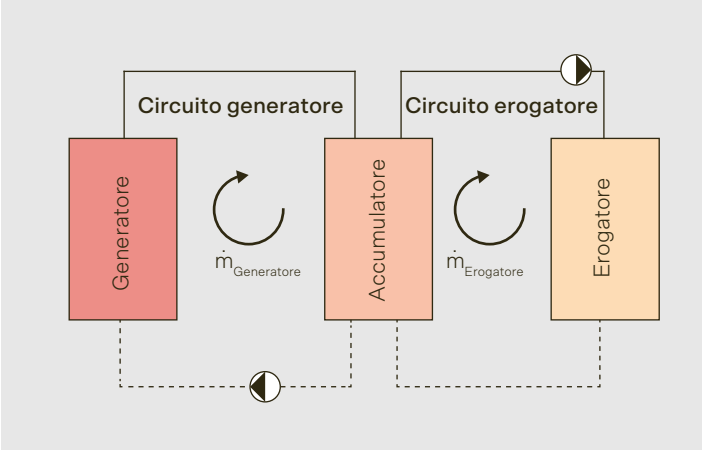


Figura 6.6: La portata attraverso il circuito del generatore è da determinare affinché sia maggiore di quella attraverso gli erogatori: $m_{Generatore} > m_{Erogatore}$.

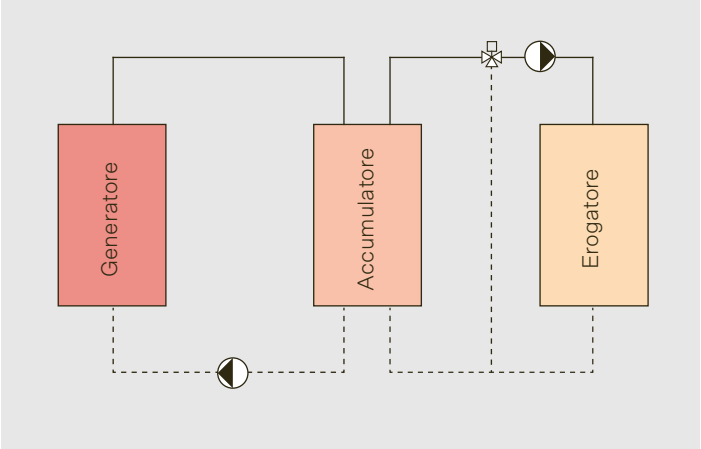


Figura 6.7: Circuito idraulico per carica graduale.

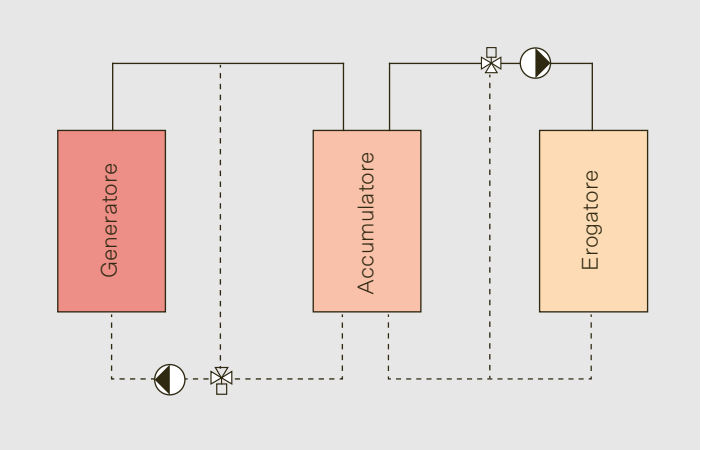
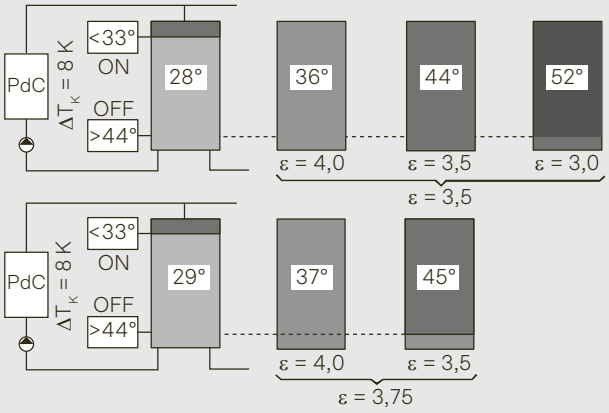


Figura 6.8: Circuito idraulico per carica stratificata.

Moduli di produzione istantanea di acqua calda

I moduli di produzione istantanea di acqua calda sono scambiatori di calore esterni a piastre (o scambiatori di calore interni con tubi a spirale) che riscaldano l'acqua potabile calda in un sistema a portata continua al momento del prelievo. L'energia necessaria proviene da un accumulatore (Figura 6.9). Il vantaggio di questa soluzione risiede nell'igiene: a parte nei tubi di distribuzione, l'acqua calda non viene quasi mai accumulata. Ciò significa che la temperatura dell'acqua calda può essere mantenuta bassa, a vantaggio dell'efficienza della pompa di calore.

Carica graduale



Descrizione
L'accumulatore viene caricato gradualmente in diverse fasi con l'aumento della temperatura in uscita dal condensatore. L'accumulatore non può essere caricato a una temperatura finale esatta; questa varia in base alla differenza di temp. attraverso il condensatore.

Vantaggi
- Bassa temperatura di uscita dal condensatore
- Costi inferiori (nessuna regolazione della carica)

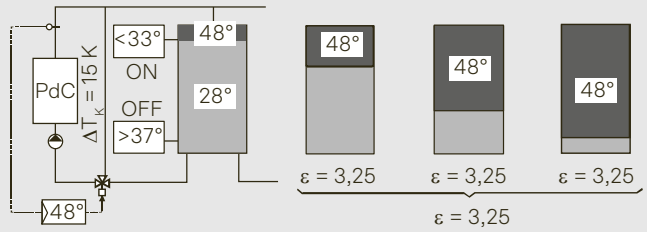
Svantaggi
- Temperatura dell'accumulatore variabile
- Fluttuazioni nella temperatura di mandata durante il caricamento
- Carenza di copertura nel primo passaggio
- Maggiore potenza per la pompa del condensatore
- Capacità di accumulazione non utilizzata al massimo
- Stratificazione peggiore
- Effetto retroattivo sull'evaporatore (azionamento specifico!)

Portata del condensatore $\dot{V}_K$ a potenza condensatore/di risc. Φ_K
$\dot{V}_K$ [m³/h] = 0,86 · Φ_K [kW] / ΔT_K [K]
È necessario trovare un compromesso:
- Portata massima possibile, affinché la temp. di condensazione sia bassa, la fluttuazione della temperatura di accumulazione sia piccola e la capacità di accumulazione sia grande.
- Portata minima possibile, affinché la potenza della pompa del condensatore sia ridotta.

Raccomandazione sul dimensionamento della differenza di temperatura del condensatore ΔT_K
Fonte di calore quasi costante
- monovalente $\Delta T_K = 0{,}5 \cdot \Delta T_{dimensionamento}$
- bivalente-parallela $\Delta T_K = 0{,}7 \cdot \Delta T_{bivalenza}$
- bivalente-alternativa $\Delta T_K = 0{,}7 \cdot \Delta T_{bivalenza}$

Fonte di calore fortemente variabile
- monovalente $\Delta T_K = 0{,}5 \cdot \Delta T_{dimensionamento}$
- bivalente-parallela $\Delta T_K = 0{,}5 \cdot \Delta T_{bivalenza}$
- bivalente-alternativa $\Delta T_K = 0{,}5 \cdot \Delta T_{bivalenza}$

Carica stratificata



ε = Coeff. di rendimento della PdC alle relative condizioni d'esercizio
Indicazione: La differenza dei coefficienti di rendimento della carica graduale e a stratificazione è inferiore a quella qui rappresentata, se si tiene conto anche del consumo di corrente supplementare della pompa della carica graduale.

Descrizione
L'accumulatore viene caricato a strati in un unico passaggio con temperatura costante all'uscita del condensatore. Può essere caricato a un preciso valore desiderato, controllabile in base alle condizioni meteo.

Vantaggi
- Esatto rispetto della temperatura dell'accumulatore specificata
- Temperatura di mandata costante garantita
- Nessuna carenza di copertura
- Potenza della pompa del condensatore inferiore
- Sfruttamento massimo della capacità di accumulazione
- Migliore stratificazione
- Nessun effetto retroattivo sull'evaporatore

Svantaggi
- Temperatura di condensazione più elevata
- Costi più elevati (regolazione della carica)
- Efficienza peggiore

Portata condensatore $\dot{V}_K$ a potenza condensatore/di risc. Φ_K
$\dot{V}_K$ [m³/h] = 0,86 · Φ_K [kW] / ΔT_K [K]
In generale vale:
- Con fonte di calore a potenza +/- costante, il dimensionamento può essere fatto alla portata min. portata maggiore sensata se regolazione in base dalle condizioni meteo).
- Con una potenza della fonte di calore variabile, sono generalmente necessarie portate d'esercizio maggiori.

Raccomandazione sul dimensionamento della differenza di temperatura del condensatore ΔT_K
Fonte di calore quasi costante
- monovalente $\Delta T_K = \Delta T_{dimensionamento}$
- bivalente-parallela $\Delta T_K = \Delta T_{bivalenza}$
- bivalente-alternativa $\Delta T_K = \Delta T_{bivalenza}$

Fonte di calore fortemente variabile
- monovalente $\Delta T_K = 0{,}5 \cdot \Delta T_{dimensionamento}$
- bivalente-parallela $\Delta T_K = 0{,}7 \cdot \Delta T_{bivalenza}$
- bivalente-alternativa $\Delta T_K = 0{,}7 \cdot \Delta T_{bivalenza}$

Temperatura d'inserimento T_{ON}
T_{ON} deve essere almeno pari alla temperatura max. di ritorno affinché non ci sia un «passaggio vuoto» a livello temp. di ritorno, lato utilizzo calore. Le perdite d'accumulo possono causare una temperatura di mandata troppo bassa dopo un'interruzione prolungata, ma ciò di regola non è un problema (eccezioni: ventilazione senza RC, riscaldamento acqua calda). In caso di carica graduale, è impossibile evitare una carenza di copertura, causa temp. di ritorno troppo bassa durante il primo passaggio.

Temperatura di spegnimento T_{OFF}
$T_{OFF} \leq T_{K,MAX} - \Delta T_K$ con la condizione $T_{OFF} > T_{ON}$ (altrimenti l'acqua tra T_{OFF} e T_{ON} non può uscire dall'accumulatore!)
Con aria esterna quale fonte ΔT_K è molto variabile. Utilizzare quindi il valore massimo risultante. Se così la condizione $T_{OFF} > T_{ON}$ non è rispettata, il punto di spegnimento (ed ev. anche il punto d'inserimento) va regolato in base alla meteo.

Temperatura di carica T_{carica}
Affinché funzioni lo spegnimento, vale: $T_{carica} > T_{OFF}$

Tabella 6.1 (pagina a sinistra): Confronto tra carica graduale e carica stratificata. (Fonte: Ravel im Wärmesektor; Wärmepumpen, Heft 3, 1993)

Vantaggi
- Possibile avere basse temperature dell'acqua calda
- Nessuna presenza di acqua calda potabile stagnante

Svantaggi
- Assenza di acqua calda in caso di mancanza di corrente elettrica
- Ev. costi leggermente superiori

Indicazioni per la progettazione
- Necessaria una progettazione attenta alle reali esigenze
- Separazione netta delle zone per l'acqua calda, l'acqua di riscaldamento e per il preriscaldamento solare con valvole di commutazione sull'andata e sul ritorno
- Attacchi a sifone
- Mantenimento delle portate volumetriche massime e delle velocità di flusso con i collegamenti dell'accumulatore
- Finestra temporale consigliata per la ricarica di acqua calda (due volte, due ore al giorno)
- Tener conto del posizionamento del sensore
- Priorità all'acqua calda
- Tener conto della calcificazione
- Protezione contro la legionella (termica, irraggiamento UV) per tubazioni mantenute calde
- Sono disponibili delle soluzioni collaudate (accumulatori testati, moduli di sistema per pompe di calore) che garantiscono una buona efficienza degli impianti ad accumulazione combinata anche nell'accoppiamento con pompe di calore.

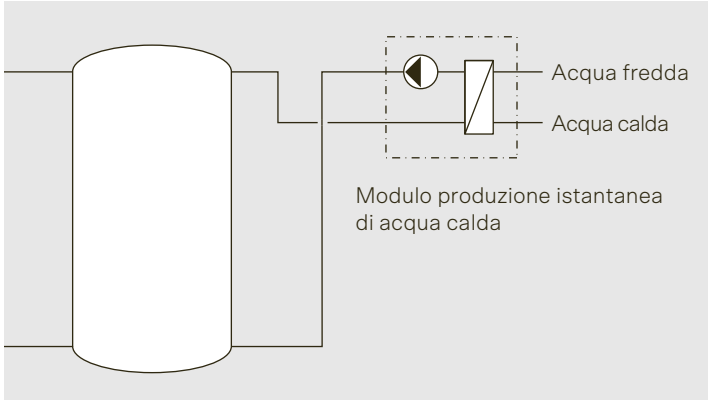


Figura 6.9: Modulo produzione istantanea di acqua calda con collegamento all'accumulatore. La struttura interna del modulo è rappresentata in maniera semplificata.

Accumulatore combinato (kombi)

Gli accumulatori combinati sono degli accumulatori che immagazzinano sia l'acqua per il riscaldamento dei locali sia l'acqua calda sanitaria. Sono interessanti non solo per l'integrazione con il calore solare, ma anche per il ridotto ingombro (rispetto alle soluzioni con due accumulatori separati). Si deve prestare particolare attenzione all'integrazione nell'intero sistema, in modo che sia mantenuta la stratificazione della tem-

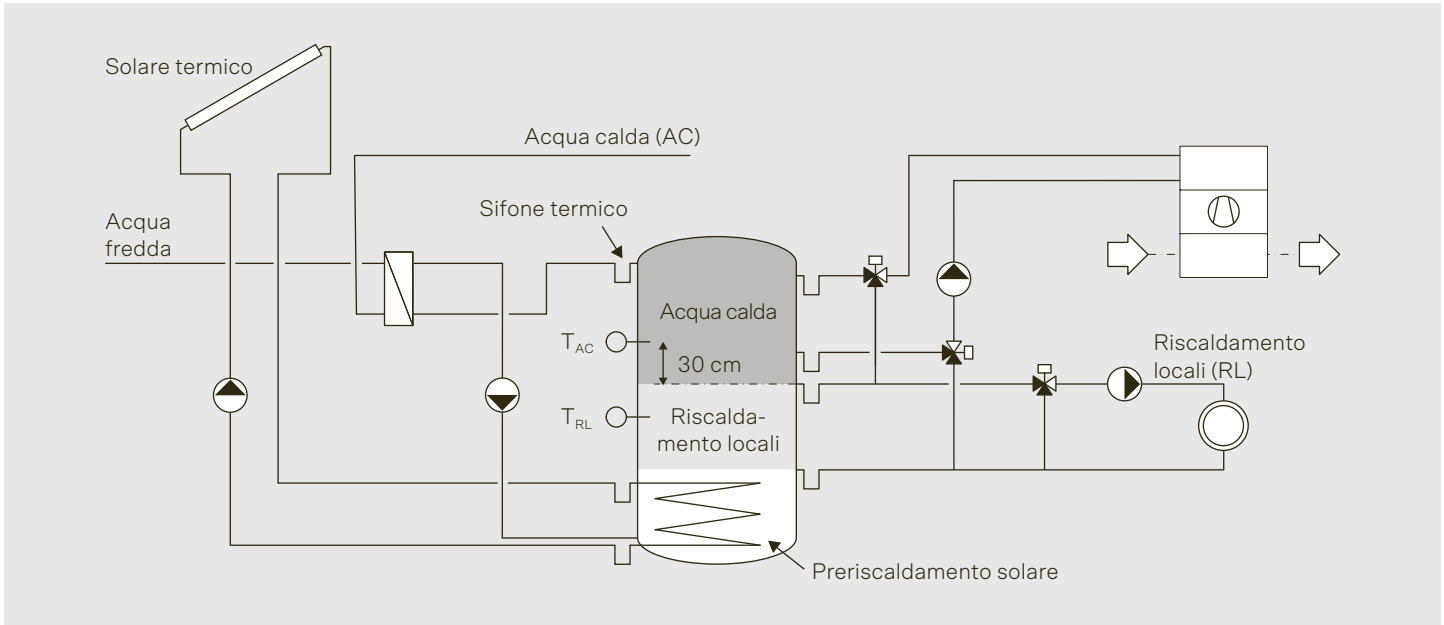


Figura 6.10: Accumulatore combinato e pompe di calore. Schema esemplare con modulo produzione istantanea di acqua calda. Lo scambiatore di calore a piastre viene qui raffigurato con il corretto orientamento di installazione (verticale, lato caldo in basso).

peratura nell'accumulatore e che la pompa di calore possa fornire il calore secondo le reali esigenze di temperatura dell'utenza. Bisogna prestare particolare attenzione ai flussi volumetrici massimi (che mantengono la stratificazione) durante le operazioni di carico o di scarico e alle tubazioni di circolazione. Se la stratificazione della temperatura viene regolarmente annullata dalla miscelazione, il fabbisogno energetico aumenta notevolmente.

Idraulica durante il raffreddamento passivo

Raffreddamento diretto (passivo) con sonde geotermiche: Siccome il sottosuolo in estate è più freddo che la temperatura ambiente, è possibile sfruttarlo per condizionare gli ambienti mediante un riscaldamento a pavimento o a parete, rispettivamente un sistema di attivazione termica della massa (TABS). In questo modo è possibile rigenerare il terreno che circonda la sonda.
Funzione: Nel circuito della salamoia viene inserito uno scambiatore di calore a piastre (Figura 6.11, Free-Cooling). La temperatura di raffreddamento minima (temperatura del punto di rugiada) viene regolata mediante una valvola di miscela a tre vie e la pompa di circolazione accesa e spenta attraverso una sonda di temperatura ambiente. Per evitare la formazione di acqua di condensa (superamento del punto di rugiada) sulle superfici raffreddanti, è necessario un controllo continuo della temperatura di mandata (minimo 18 °C).

Vantaggi
- Configurazione semplice
- Ulteriore rigenerazione del sottosuolo
- Costi d'esercizio contenuti
- Efficiente (è necessaria solo la corrente della pompa di circolazione)

Svantaggi
- Potenza di raffreddamento limitata

Se il raffreddamento passivo non è considerato solo come un vantaggio economico aggiuntivo del sistema di riscaldamento, la sonda geotermica deve essere dimensionata per la potenza di raffreddamento richiesta.

Valori indicativi per potenze di raffreddamento nella restituzione del calore:
- Dalla sonda geotermica ca. 30 W/m

Valori indicativi per potenze di frigorifere del sistema d'assorbimento del calore:
- Per riscaldamenti a parete ca. 50 W/m²
- Per riscaldamenti a pavimento ca. 25 W/m²
- Per riscaldamenti a soffitto (TABS) ca. 30 fino a 40 W/m²

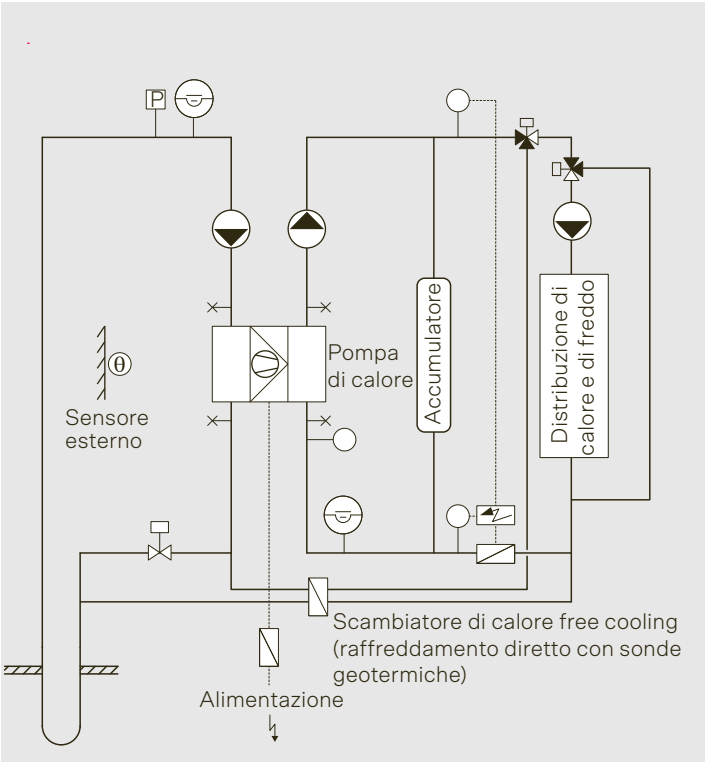


Figura 6.11: Raffreddamento diretto con sonde geotermiche.

Idraulica durante il raffreddamento attivo

Raffreddamento mediante inversione di ciclo nella pompa di calore

Funzione: Mediante una valvola a quattro vie, in estate la pompa di calore può funzionare da macchina refrigerante. In aggiunta è necessario un accumulatore per il freddo. La temperatura di raffreddamento minima (temperatura del punto di rugiada) viene regolata mediante una valvola di miscela a tre vie, e la pompa di circolazione accesa e spenta attraverso una sonda di temperatura ambiente.

Vantaggi
- Investimento minimo, vista la presenza della pompa di calore
- Grande potenza di raffreddamento
- Ulteriore rigenerazione del sottosuolo, nel caso di pompe di calore salamoia-acqua

Svantaggi
- Costi dell'elettricità per l'esercizio della pompa di calore
- È necessaria una pompa di calore con la possibilità di inversione del ciclo

Raffreddamento mediante inversione di ciclo nell'idraulica

Funzione: Mediante delle valvole di connessione, il circuito di riscaldamento passa attraverso l'evaporatore, mentre il circuito della fonte di calore attraverso il condensatore.

Vantaggi
- Utilizzabile pompa di calore convenzionale
- Investimento minimo
- Grande potenza di raffreddamento
- Ulteriore rigenerazione del sottosuolo

Svantaggi
- Costi dell'elettricità per l'esercizio della pompa di calore

Indicazioni
Analogamente al raffreddamento passivo e attivo tramite sonde geotermiche menzionato in precedenza, le acque di falda o di superficie possono essere utilizzate anche per il raffreddamento. Attenzione: tenere conto delle condizioni di temperatura e dei requisiti legali. Anche le pompe di calore aria-acqua con possibilità di raffreddamento attivo tramite inversione di ciclo vengono offerte sempre più spesso. L'energia fotovoltaica è invece particolarmente indicata per l'azionamento di una macchina frigorifera per il raffreddamento degli ambienti, poiché carico e produzione (radiazione solare) si verificano solitamente contemporaneamente.

Indicazioni per la progettazione
Sono necessarie delle valvole termostatiche particolari, adatte sia per l'esercizio durante il riscaldamento che il raffreddamento. Le comuni valvole termostatiche chiudono con le temperature ambiente elevate.

6.4 Pompe di circolazione

Il dimensionamento delle pompe di circolazione avviene sulla base dei seguenti fattori:

- Dimensionamento punto d'esercizio
- Portata
- Perdita di carico
- Tempo d'esercizio
- Possibilità di regolazione (numero di giri)

Dimensionamento punto d'esercizio

Determinante per il dimensionamento della pompa è il punto d'esercizio selezionato, ovvero la portata volumetrica massima e minima richiesta alle temperature (e al fluido) date. Se i punti d'esercizio cambiano (ad es. in caso di riscaldamento con valvole termostatiche), è necessario utilizzare se possibile pompe di circolazione a numero di giri variabile.

Portata

La portata volumetrica è determinata dall'emissione risp. generatore di calore (portata volumetrica minima). La portata viene determinata con la formula:

$$\dot{V} = \frac{\Phi}{\rho \cdot c \cdot (\theta_{VL} - \theta_{RL})}$$

dove:

$\dot{V}$ = Portata in m^3/s
Φ = Potenza termica in W (J/s)
ρ = Densità del fluido in kg/m^3
c = Capacità termica specifica del fluido in J/(kg K)
θ = Temperatura del fluido in °C

Per l'acqua vale ca. c = 4200 J/(kg K) e ρ = 1000 kg/m^3.

Perdita di carico

La perdita di carico in un circuito viene determinata attraverso la grandezza (estensione e lunghezza) della rete, la portata di circolazione, i diametri delle condotte e le componenti. Sono da considerare quelle parti dell'impianto che provocano una perdita di carico nel circuito corrispondente. I diagrammi delle pompe indicano sovente la prevalenza. Con la seguente formula è possibile trasformare la perdita di carico (Pa) in una prevalenza (m):

$$H = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g}$$

H = Prevalenza in m
Δp = Perdita di carico in Pa
ρ = Densità del fluido in kg/m^3
g = Accelerazione di gravità in m/s^2

Tempo d'esercizio

Le pompe di circolazione dovrebbero essere in funzione solamente quando è richiesta una potenza termica (ove la regolazione lo permette). Ogni inutile esercizio della pompa di circolazione utilizza energia elettrica, riduce l'efficienza energetica e causa inutili costi energetici. Le pompe possono essere gestite elettronicamente mediante una regolazione o con un temporizzatore. Se l'idraulica lo permette, le pompe di circolazione possono essere regolate con un numero di giri variabile. In questo modo circola unicamente la portata necessaria, permettendo così un risparmio di energia e costi.

Indicazioni

- Come controllo del dimensionamento per le pompe del gruppo di riscaldamento, si può ipotizzare un consumo di energia elettrica della pompa di circa l'1‰ della potenza termica di riscaldamento.
- Riducendo la portata, secondo la teoria, la perdita di carico si riduce al quadrato e la potenza alla terza. Esempio: metà portata $(½)^2$ = ¼ perdita di carico → $(½)^3$ = ⅛ potenza.

Capitolo 7

Integrazione nel sistema fotovoltaico

7.1 Introduzione

La pompa di calore è uno dei maggiori consumatori dell'edificio e, grazie alla sua elevata flessibilità, è particolarmente adatta a essere abbinata agli impianti fotovoltaici (impianti FV). L'obiettivo principale è ottimizzare l'autoconsumo, coordinando il più possibile il funzionamento della pompa di calore con la produzione degli impianti FV. Ulteriori informazioni sono disponibili in [1].

Valori di riferimento

Per l'ottimizzazione dell'autoconsumo sono rilevanti i valori di riferimento seguenti:

E_{auto} Autoconsumo (kWh)
E_{rete} Prelievo dalla rete (kWh)
E_{su} Surplus (kWh)
E_{tot} Consumo totale di elettricità (kWh)
E_{prod} Autoproduzione di energia elettrica (kWh)

L'autoconsumo E_{auto} è la quota energetica del consumo totale di elettricità prodotta simultaneamente in loco. E_{rete} è la corrente elettrica prelevata dalla rete, E_{su} viene immessa nella rete. La Figura 7.1 mostra un esempio di andamento giornaliero della produzione elettrica $P_{prod}(t)$ dell'impianto FV e del consumo totale $P_{tot}(t)$ di un edificio. Le aree sotto alle curve corrispondono alle quote energetiche, da cui si possono trarre i valori di riferimento seguenti.

Il **grado di autoconsumo** indica il rapporto tra autoconsumo E_{auto} e produzione totale dell'impianto FV E_{prod}.

$$r_{auto} = \frac{E_{auto}}{E_{prod}} = \frac{E_{tot} - E_{rete}}{E_{prod}} \quad (1)$$

L'obiettivo primario dell'ottimizzazione dell'autoconsumo è aumentare al massimo il grado di autoconsumo. Questo valore di rifermento non deve tuttavia essere ottimizzato unilateralmente, ma sempre in relazione agli indicatori seguenti:

Il **grado di autarchia** indica il rapporto tra autoconsumo E_{auto} e consumo totale di elettricità E_{tot} dell'edificio.

$$r_{aut} = \frac{E_{auto}}{E_{tot}} = \frac{E_{tot} - E_{rete}}{E_{tot}} \quad (2)$$

Il grado di autarchia indica il livello di indipendenza dell'edificio dalla rete elettrica. Un autoconsumo elevato non significa necessariamente che sia elevato anche il grado di autarchia. Per aumentare quest'ultimo, è necessario ridurre anche il consumo di energia elettrica al di fuori degli orari di produzione dell'impianto FV.

A differenza del grado di autarchia, il **grado di copertura solare della pompa di calore** non considera l'intero edificio, ma solo la pompa di calore. Indica il rapporto tra la quota di energia solare prodotta $E_{auto,\,PdC}$ e il consumo totale di energia elettrica E_{PdC} della pompa di calore.

$$r_{solare,\,PdC} = \frac{E_{auto,\,PdC}}{E_{PdC}} \quad (3)$$

Il grado di copertura solare della pompa di calore indica quindi il livello di indipendenza dalla rete elettrica del funzionamento della pompa di calore. Questo

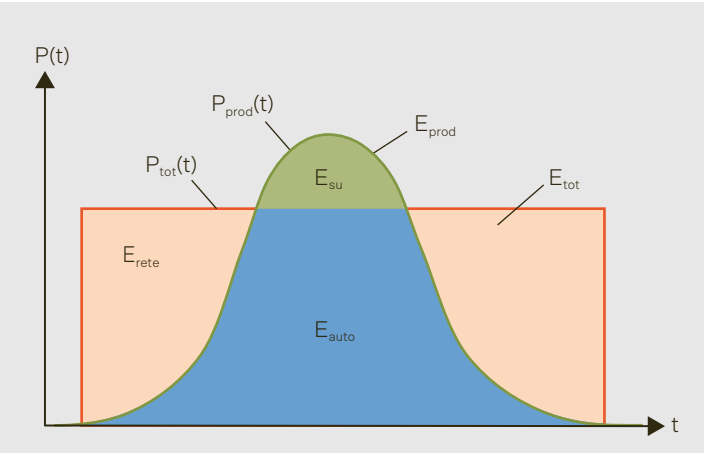


Figura 7.1: Esempio di andamento temporale della produzione e del consumo come spiegazione degli indicatori. (Fonte: [1])

consente di valutare separatamente l'ottimizzazione della pompa di calore.
Il **coefficiente di prestazione** (COP) e il **coefficiente di lavoro annuo** (CLA) consentono di valutare l'efficienza della pompa di calore (Capitolo 1.2). È importante tenere sempre presenti questi valori di riferimento per l'ottimizzazione. Non è consigliabile ottimizzare unilateralmente il grado di autoconsumo a scapito dell'efficienza (ad es. tramite riscaldamento elettrico supplementare)!

Potenziale dei diversi accumulatori termici

Per ottimizzare la pompa di calore vengono utilizzati gli accumulatori termici, che vengono caricati durante la produzione FV e successivamente scaricati. La Tabella 7.1 fornisce una panoramica della capacità di accumulo termico in chilowattora (kWh) della massa dell'edificio e degli accumulatori tecnici.
Per gli edifici, la norma SIA 380/1 [2] distingue tra sistemi costruttivi «pesanti», «medi» e «leggeri», e ne specifica le capacità di accumulo (in kWh/m²K). Le dimensioni dell'edificio sono descritte tramite la superficie di riferimento energetico (AE) in metri quadrati, distinguendo tra abitazioni monofamiliari e plurifamiliari. Per quanto riguarda l'aumento della temperatura, si presume che la temperatura ambiente media aumenti di

Sistema costruttivo «pesante» (capacità termica/AE = 0,15 kWh/m²K)
Capacità di accumulo (kWh)

Aumento di temperatura (K)	monofamiliari			plurifamiliari		
	Superficie di riferimento energetico (m²)					
	100	140	200	1000	1500	2000
1	15	21	30	150	225	300
2	30	42	60	300	450	600
3	45	63	90	450	675	900

Sistema costruttivo «medio» (capacità termica/AE = 0,08 kWh/m²K)
Capacità di accumulo (kWh)

Aumento di temperatura (K)	monofamiliari			plurifamiliari		
	Superficie di riferimento energetico (m²)					
	100	140	200	1000	1500	2000
1	8	11	16	80	120	160
2	16	22	32	160	240	320
3	24	34	48	240	360	480

Sistema costruttivo «leggero» (capacità termica/AE = 0,03 kWh/m²K)
Capacità di accumulo (kWh)

Aumento di temperatura (K)	monofamiliari			plurifamiliari		
	Superficie di riferimento energetico (m²)					
	100	140	200	1000	1500	2000
1	3	4	6	30	45	60
2	6	8	12	60	90	120
3	9	13	18	90	135	180

Accumulatori tecnici (capacità termica acqua = 4,19 kJ/kgK)
Capacità di accumulo (kWh)

Aumento di temperatura (K)	monofamiliari		plurifamiliari		
	Volume (litri)				
	300	500	1000	1500	2000
5	2	3	6	9	12
10	3	6	12	17	23
15	5	9	17	26	35

Tabella 7.1: Capacità termica degli edifici e degli accumulatori tecnici. (Fonte: [1])

1 – 3 Kelvin per l'accumulo termico di energia.
A titolo di confronto viene stimata la capacità di accumulo termico degli accumulatori tecnici in funzione del volume di accumulo (in litri) e dell'aumento di temperatura di 5, 10 e 15 K. Gli accumulatori tecnici comprendono gli accumulatori di acqua calda sanitaria e gli accumulatori tampone.
Risulta subito evidente che la massa dell'edificio ha una capacità di accumulo notevolmente superiore rispetto agli accumulatori tecnici. Occorre pertanto concentrarsi sull'accumulo di energia nella massa dell'edificio, che funziona bene già per i sistemi costruttivi «medi» con riscaldamento a pavimento, grazie all'elevata inerzia.

Dimensionamento dell'accumulatore
Per il dimensionamento degli accumulatori tecnici (accumulatori tampone e di acqua calda sanitaria) devono essere rispettate le norme SIA 384/1 [1], SIA 385/1 [4], SIA 385/2 [5] e il modulo di sistema per pompe di calore [6] con le indicazioni sul dimensionamento degli accumulatori [7]. Per ottimizzare l'autoconsumo in modalità di riscaldamento è sufficiente il dimensionamento standard degli accumulatori tampone, poiché la maggior parte del calore può essere immagazzinata nell'edificio stesso. L'accumulo di calore nell'edificio è più efficiente, poiché si lavora con aumenti di temperatura più contenuti.
Per quanto riguarda l'ottimizzazione dell'autoconsumo nella produzione di acqua calda, anche nel caso delle abitazioni monofamiliari è sufficiente il dimensionamento standard degli accumulatori di acqua calda sanitaria. Negli edifici plurifamiliari è invece consigliabile dimensionare gli accumulatori con un fattore compreso tra 1,5 e 2, superiore a quanto previsto dalle norme. Ciò dovrebbe garantire che una sola ricarica sia sufficiente a coprire un'intera giornata.

Potenziale della tecnologia di regolazione a confronto
In quale misura è possibile aumentare il grado di copertura solare della pompa di calore (secondo la definizione sopra riportata) mediante l'impiego della tecnica di regolazione? La Figura 7.2 fornisce una panoramica del potenziale delle diverse strategie di regolazione, sulla base dei valori ottimali rilevati nella pratica. Il «grado di copertura solare naturale» senza ottimizzazione viene assunto come fattore 1 e vengono considerati i relativi aumenti.
Nel caso dell'ottimizzazione manuale, sul lato della pompa di calore i programmi orari per il riscaldamento e per la produzione di acqua calda sanitaria (ACS) vengono spostati intenzionalmente durante il giorno. In questo modo, per l'acqua calda sanitaria, è possibile ottenere un aumento significativo fino a circa un fattore 2. Per il riscaldamento, il grado di copertura può essere aumentato di circa il 10 % grazie a un aumento mirato della temperatura durante il giorno.
Nell'ottimizzazione automatica del riscaldamento si distinguono due casi. Con l'ottimizzazione semplice, in caso di surplus solare viene sovraccaricato solo l'accumulatore tampone. Ciò comporta aumenti fino al 30 %, a seconda dell'aumento di temperatura impostato. Una tale regolazione richiede un sistema di gestione dell'energia (Energy Managemet System, EMS) provvisto di interfaccia con la pompa di calore.
Nell'ottimizzazione automatica con l'edificio come accumulatore, l'intera massa

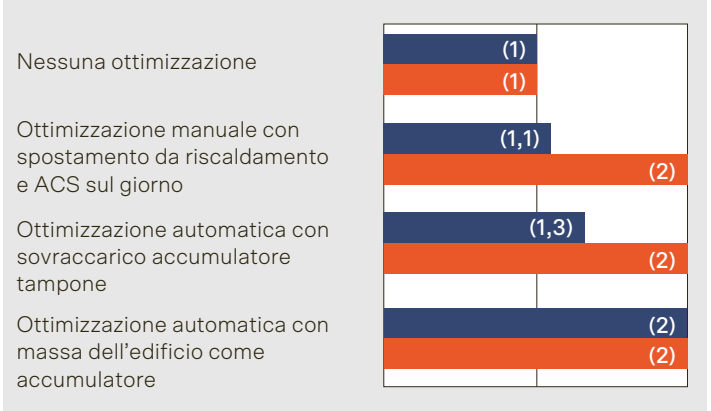


Figura 7.2: Potenziale di aumento di diverse strategie di regolazione a confronto. (Fonte: [1])
■ Grado di copertura solare per riscaldamento
■ Grado di copertura solare per produzione di acqua calda sanitaria
(n) fattore incrementale approssimativo

dell'edificio viene utilizzata attivamente come accumulatore termico. Ciò richiede un sistema di gestione dell'energia con gestione termica in grado di modificare e monitorare la temperatura ambiente. In questo caso, il grado di copertura solare può essere nel migliore dei casi raddoppiato (fattore 2) anche in modalità riscaldamento.

7.2 Integrazione della pompa di calore

Lo schema in Figura 7.3 mostra l'integrazione elettrica dei componenti in una casa monofamiliare. Nell'edificio viene installato un sistema di gestione dell'energia (EMS) che coordina tutti i consumatori in modo centralizzato. L'EMS deve disporre di interfacce aperte per il controllo da parte dei tipici consumatori. Deve inoltre essere facilmente configurabile e ampliabile.
Per l'ottimizzazione, l'EMS deve necessariamente registrare la produzione dell'impianto FV (contatore FV) e il prelievo netto rispettivamente l'immissione all'allacciamento domestico (contatore totale). Se è presente una batteria, anche questa deve essere rilevata tramite contatore. Al posto dei contatori è possibile utilizzare anche apposite interfacce per inverter e batteria. In futuro, i contatori intelligenti saranno dotati di interfacce per i contatori delle aziende di approvvigionamento elettrico (AAE).
La pompa di calore viene comandata tramite contatti relè o connessione LAN (TCP/IP) e regolata in modo centralizzato dall'EMS. Lo scaldacqua (ad es. un boiler a termopompa) viene integrato allo stesso modo di una pompa di calore. Anche in questo caso può risultare vantaggioso effettuare una misurazione separata dei consumi. Anche gli altri elettrodomestici e, se necessario, le stazioni di ricarica per veicoli elettrici possono essere controllati dal sistema EMS centrale.

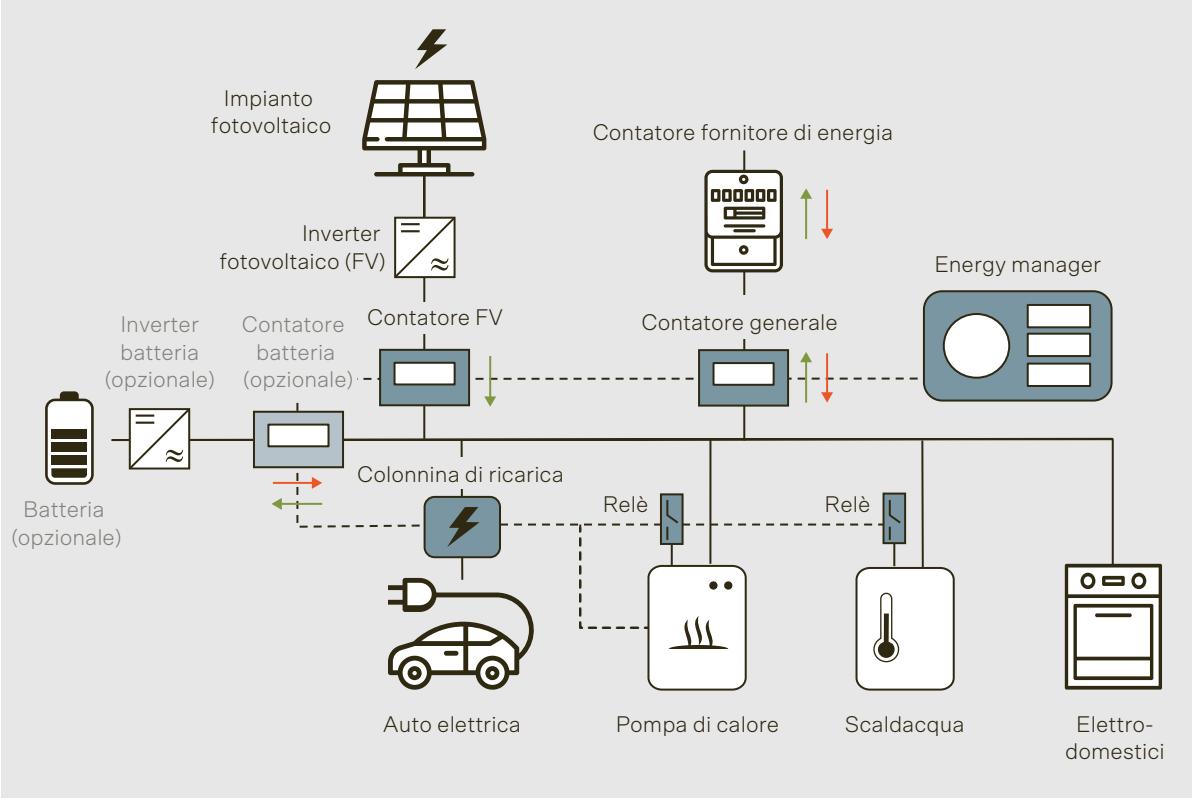


Figura 7.3: Schema di integrazione elettrica di una pompa di calore in una casa monofamiliare. ---- Collegamenti dati (Fonte: [1])

7.3 Modalità di funzionamento delle pompe di calore

Per quanto riguarda le pompe di calore, si distingue tra quelle con funzionamento on/off e quelle con modulazione. Rispetto ai modelli convenzionali, che possono essere solo accesi e spenti, i moderni sistemi a inverter offrono diversi vantaggi grazie alla regolazione della potenza in base al fabbisogno. Entrambi i sistemi possono essere utilizzati per ottimizzare l'autoconsumo, ma i sistemi con inverter sono più flessibili, poiché consentono di adattare meglio la potenza alla produzione attuale.
La Figura 7.4 illustra il funzionamento di una pompa di calore on/off nell'arco di una giornata in varie stagioni dell'anno. Vengono presi in considerazione il consumo elettrico della pompa di calore e la produzione dell'impianto FV. Appare evidente la contrapposizione tra produzione e consumo, sia a livello stagionale che nell'arco della giornata. In estate è rilevante solo la produzione di acqua calda. Per motivi di comfort, in inverno è necessario riscaldare anche al di fuori degli orari di produzione FV. Nella stagione intermedia, il potenziale di ottimizzazione è maggiore, poiché la produzione e il consumo sono più o meno in equilibrio. Nell'ottimizzazione FV, l'obiettivo è quello di spostare il più possibile verso il giorno gli orari di funzionamento della PdC. Inoltre, durante il giorno il consumo elettrico aumenta a causa dell'innalzamento delle temperature di accumulo.

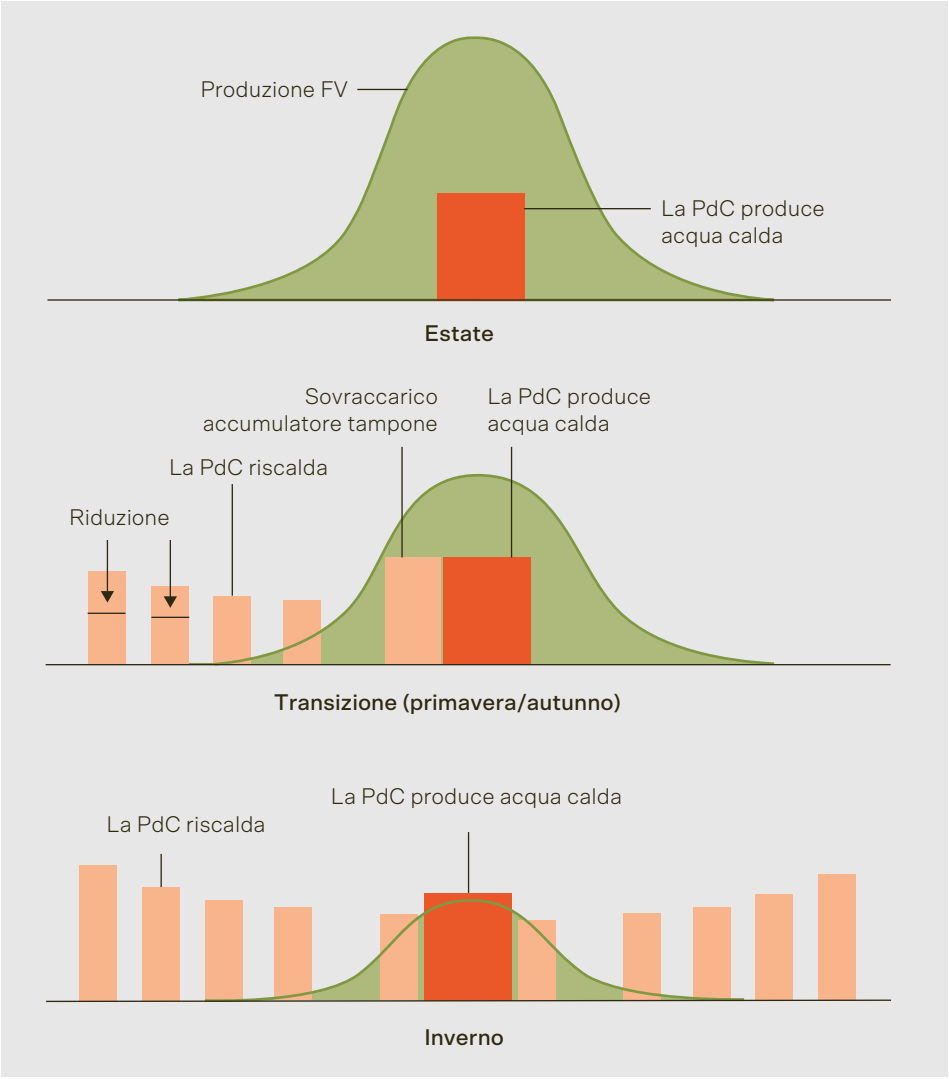


Figura 7.4: Funzionamento giornaliero di una pompa di calore on/off in diversi periodi dell'anno.
(Fonte: [1])

Carica dell'acqua calda sanitaria durante il giorno

Con una finestra di carica al giorno è possibile aumentare in modo più efficace il grado di copertura solare della produzione di acqua calda (Figura 7.5). Per motivi di efficienza ed economicità, l'accumulatore di acqua calda sanitaria dovrebbe essere caricato principalmente con la pompa di calore e non tramite resistenza elettrica. Le pompe di calore attuali sono progettate per cariche giornaliere di acqua calda sanitaria da 55–60 °C. La finestra di carica viene programmata tramite il dispositivo di regolazione della pompa di calore o il sistema di gestione dell'energia.
In casi eccezionali è possibile utilizzare le resistenze elettriche, se la pompa di calore non raggiunge la temperatura dell'acqua calda necessaria. Per evitare un consumo energetico inutile, è opportuno che questi dispositivi vengano attivati dopo la pompa di calore. Questo vale in linea di principio anche per le cosiddette resistenze elettriche intelligenti a potenza variabile. In futuro potranno tuttavia essere utilizzati anche per alleggerire la rete elettrica dai picchi di immissione eccessivi in estate (peak shaving). In questi casi è irrilevante se vengano accesi prima o dopo la pompa di calore.

Riscaldamento: aumento diurno anziché riduzione notturna

Come ottimizzazione manuale è possibile impostare un aumento diurno della regolazione del riscaldamento. (Figura 7.6). In questo modo, la temperatura

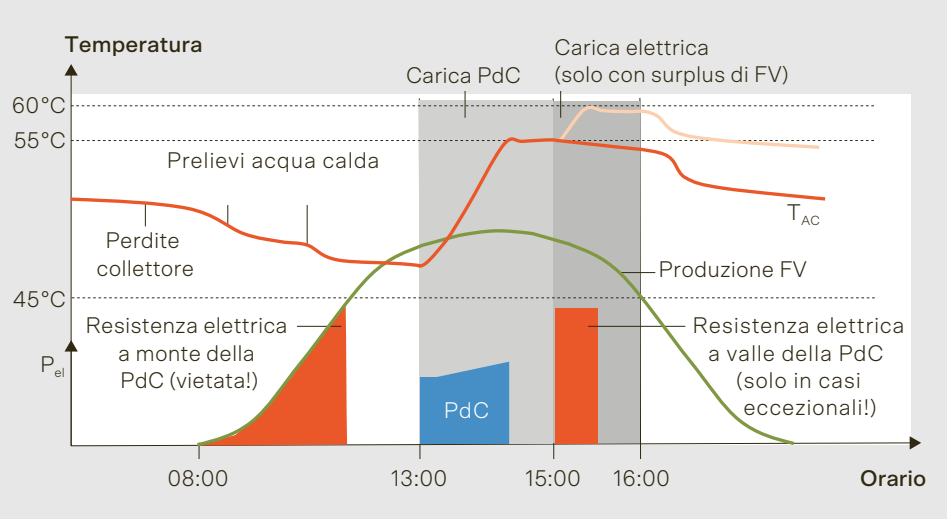


Figura 7.5: Caricamento dell'acqua calda durante il giorno principalmente con pompa di calore, in casi eccezionali con resistenza elettrica. (Fonte: [1])
T_{WW} = temperatura dell'acqua calda nell'accumulatore
P_{el} = potenza elettrica

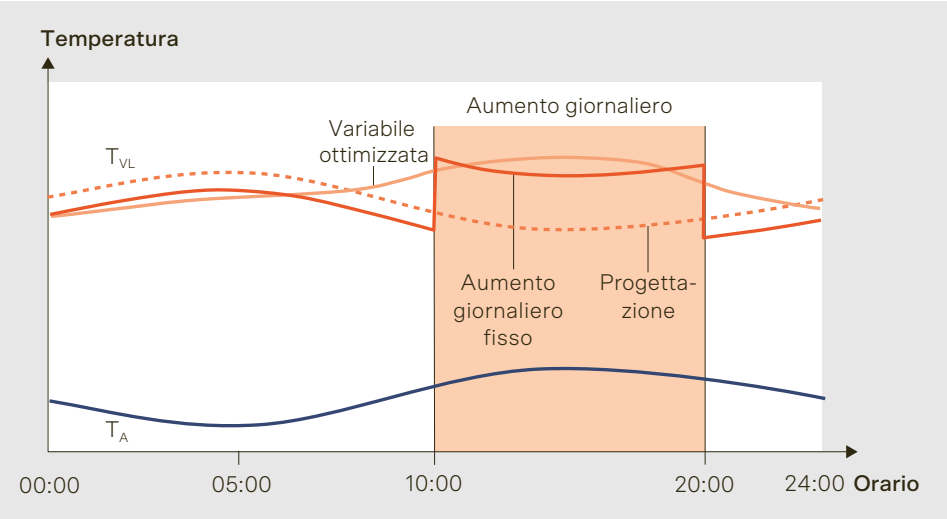


Figura 7.6: Andamento della temperatura con aumento diurno. (Fonte: [1])
T_{VL} = temperatura di mandata
T_A = temperatura esterna

di mandata viene leggermente aumentata durante il giorno. Ciò sposta il funzionamento della pompa di calore nelle ore diurne, quando le temperature esterne sono più elevate, permettendole di lavorare in modo più efficiente. Inoltre, può sfruttare l'energia elettrica prodotta dall'impianto FV. Soprattutto nel caso delle pompe di calore aria-acqua, l'innalzamento diurno contribuisce a migliorare il COP.
Dal punto di vista fisico, l'aumento diurno sfrutta la massa termica dell'edificio. Sono quindi ottimali gli edifici in muratura massiccia con riscaldamento a pavimento, la cui inerzia termica fa sì che l'aumento della temperatura abbia un effetto ritardato sulla temperatura percepita nella stanza, con conseguente miglioramento del comfort.
Per evitare il surriscaldamento nella stagione intermedia, l'aumento della temperatura dovrebbe essere regolato con cautela e gradualmente. Ancora meglio è controllarlo tramite il monitoraggio integrato della temperatura ambiente di un sistema di gestione dell'energia.
L'innalzamento della temperatura può essere programmato manualmente direttamente sul dispositivo di regolazione della pompa di calore. Partendo da una curva di riscaldamento impostata in modo ottimale in base alla configurazione, si procede come segue:

1. Impostare gli orari del programma per la modalità comfort in base agli orari tipici di produzione FV (ad es. dalle 10 alle 20). Al di fuori degli orari programmati, la PdC funziona in modalità eco.
2. Aumentare la modalità comfort di circa 2 – 3 K rispetto alla progettazione
3. Diminuire la modalità eco di circa 1 K rispetto alla progettazione

È importante che il valore nominale della temperatura di mandata rimanga mediamente uguale a quello previsto in fase di progettazione.
Se è presente un sistema di gestione dell'energia, l'innalzamento diurno può essere regolato automaticamente tramite esso. In questo caso dovrebbe essere possibile impostare l'aumento di temperatura desiderata in modo simile a quanto descritto sopra. Con il sistema di gestione dell'energia, l'aumento non viene tuttavia attivato a orari prestabiliti, ma in base alla produzione FV.

7.4 Interfacce

I sistemi di gestione dell'energia (EMS) comunicano con le pompe di calore tramite un'interfaccia, che consente di modificare le condizioni di funzionamento o i parametri dell'impianto a pompa di calore. In questo modo, in caso di surplus di FV, si può ad esempio aumentare in modo mirato le temperature degli accumulatori, come raffigurato in Figura 7.7 in riferimento a un tipico collegamento idraulico.

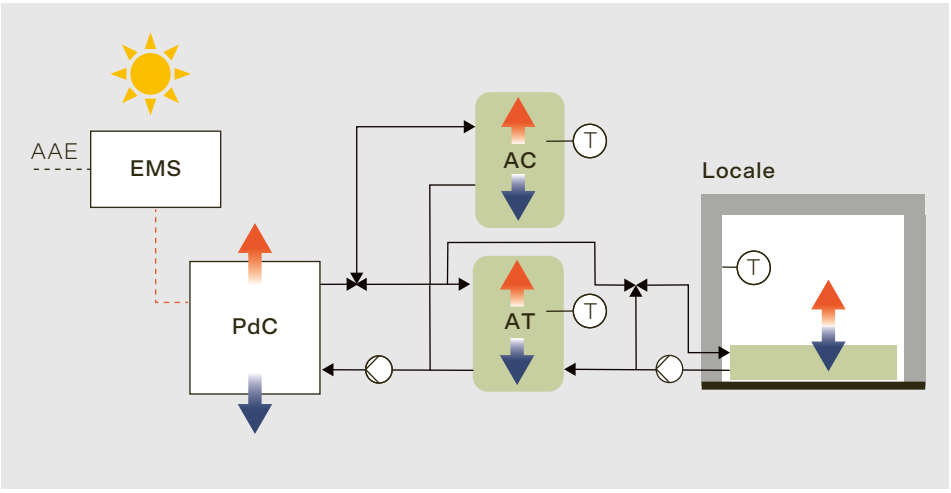


Figura 7.7: Integrazione di una pompa di calore (PdC) e modifica della temperatura degli accumulatori. (Fonte: [1])
AT = accumulatore tampone
AC = accumulatore di acqua calda sanitaria

Gli EMS più semplici modificano solo la temperatura degli accumulatori tecnici (tampone e acqua calda sanitaria). I sistemi provvisti di gestione termica possono incidere sull'intero edificio, compreso il monitoraggio della temperatura ambiente. Nel caso delle pompe di calore inverter, alcuni produttori consentono anche un'influenza esterna sulla potenza tramite la variazione della velocità del compressore, sebbene solo in un intervallo consentito dal produttore.
Tabella 7.2 fornisce una breve panoramica delle possibili interfacce. Il modulo di sistema per pompe di calore (PdC-MS) suggerisce interfacce aperte SG-Ready BWP o SmartGridready. Per queste interfacce non vengono più richieste certificazioni singole [8].
Il nuovo standard SmartGridready supporta tutte le interfacce fisiche elencate in Tabella 7.2. Esso semplifica l'interazione senza interruzioni tra l'EMS e le pompe di calore, con effetti positivi anche sulla progettazione e sulla messa in funzione degli impianti. La sezione SmartGridready del Capitolo 7.5 analizza lo standard in modo più approfondito.

Interfaccia	Finalità d'uso e possibilità
Ingresso di blocco AAE	Tramite questa interfaccia, l'azienda di approvvigionamento energetico (AAE) può bloccare o sbloccare la pompa di calore tramite un segnale di telecomando centralizzato. Ogni pompa di calore dispone di questa interfaccia, anche i modelli più datati, che però si adatta agli EMS solo in misura limitata. Per evitare la perdita di comfort, dovrebbe essere implementato un sistema di monitoraggio della temperatura ambiente.
SG-Ready BWP	Questa interfaccia è stata originariamente sviluppata dall'associazione tedesca BWP (Bundesverband Wärmepumpe) per i fornitori di energia, per poter controllare le pompe di calore in modo utile alla rete. Le specifiche prevedono 4 livelli controllati tramite 2 ingressi relè: blocco, sblocco, funzionamento desiderato e funzionamento forzato. Oggi la maggior parte degli EMS utilizza questa interfaccia per ottimizzare l'autoconsumo locale. Lo svantaggio è tuttavia la mancanza di feedback sullo stato della pompa di calore. Inoltre, i parametri della pompa di calore devono essere impostati in modo che questa comprenda i segnali SG-Ready e li applichi correttamente.
Ingresso FV	Questa interfaccia è stata sviluppata da alcuni produttori di pompe di calore, per agevolare il controllo tramite inverter o EMS. Dispone solo di 1 ingresso relè e può accogliere 2 livelli: funzionamento normale e funzionamento FV. Il vantaggio è rappresentato dalla facilità di integrazione. Tuttavia, questa interfaccia non viene offerta da tutti i produttori e manca il feedback sullo stato della pompa di calore.
Modbus/TCP	Qui la comunicazione è gestita tramite il protocollo modbus. Nella variante modbus/TCP, la pompa di calore viene integrata tramite un cavo LAN; lo scambio di dati si basa quindi sul protocollo IP. Tramite il registro del protocollo modbus è possibile impostare i parametri desiderati e i valori nominali della pompa di calore. Si possono così impostare valori nominali di temperatura variabili per i vari accumulatori o per i circuiti di riscaldamento. Grazie alla comunicazione bidirezionale, l'EMS riceve anche un feedback dettagliato sullo stato della pompa di calore. Per il corretto funzionamento è indispensabile un EMS. Poiché i registri del protocollo modbus sono specifici del produttore, è indispensabile verificare preventivamente che EMS e PdC siano compatibili. Gli elenchi di compatibilità sono disponibili presso i produttori.

Tabella 7.2: Interfacce per l'integrazione di pompe di calore sui sistemi di gestione dell'energia.

7.5 Prospettive

SmartGrid e gestione della flessibilità

In futuro, sarà prioritaria l'integrazione del sistema di gestione dell'energia locale nella rete elettrica sovraordinata. Con l'approccio dello SmrtGrid, la rete elettrica diventa intelligente. Questo consente ad esempio di alleggerire la rete controllando i carichi in modo mirato. Si possono così ridurre la potenza di allacciamento e i costi di ampliamento della rete.
Le pompe di calore vi rivestono un ruolo importante, in quando causano carichi importanti che possono però essere regolati con flessibilità. L'integrazione di più impianti consente di accumulare energia negli edifici durante i periodi di basso carico e di ridurre la potenza prelevata nei periodi di alto carico (peak shaving). Segnali di prezzo dinamici nelle tariffe elettriche creeranno un incentivo corrispondente.

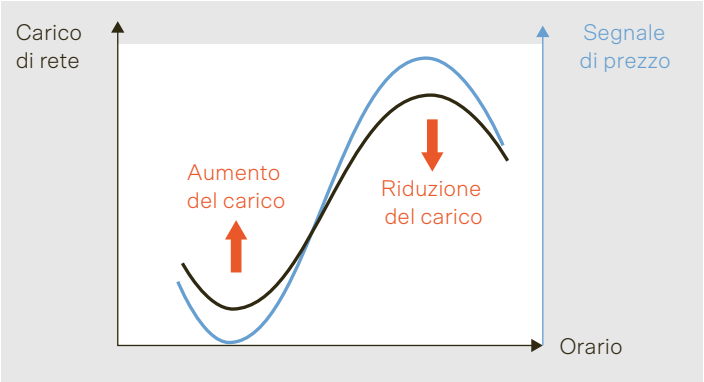


Figura 7.8: Concetto di peak shaving nella rete elettrica. In futuro, i carichi rilevanti come le pompe di calore saranno gestiti in modo utile alla rete.

SmartGridready

Attualmente è possibile certificare secondo lo SmartGridready i sistemi di gestione dell'energia, le pompe di calore e altri prodotti. [9]. Tale standard garantisce l'interazione senza ostacoli tra i componenti certificati, ovvero il coordinamento delle interfacce. A tal fine, i diversi protocolli dei produttori vengono registrati tramite descrizioni digitali delle interfacce (External Interface Descriptions, EID), consultabili nel sistema di gestione dell'energia. L'elenco dei prodotti certificati può essere richiamato tramite la biblioteca online [10]. Con SmartGridready le interfacce sono coperte dal modello a livelli secondo la Tabella 7.3.

Livello	Descrizione	Descrizione
1	Attivazione, disattivazione	Commutazione tra due condizioni di funzionamento distinte. Corrisponde al precedente blocco AAE.
2	Diverse modalità di funzionamento distinte	Commutazione tra più stati di funzionamento distinti. Corrisponde alla precedente interfaccia SG-Ready secondo l'associazione BWP [9].
3	Curve caratteristiche configurate in modo fisso	Attivazione di varie curve caratteristiche configurate in modo fisso. Utilizzate principalmente negli inverter e in minor misura nelle pompe di calore.
4	Valori nominali dinamici	Impostazione di valori nominali continui. Nelle pompe di calore, questo livello consente di controllare dinamicamente i valori nominali di temperatura. In questo modo è possibile sovraccaricare gli accumulatori tecnici e utilizzare l'edificio per l'accumulo termico. In futuro sarà possibile intervenire dinamicamente anche sulla potenza delle pompe di calore con inverter.
5	Curve caratteristiche variabili	Impostazione di parametri di regolazione continui o valori caratteristici. Utilizzate principalmente negli inverter e in minor misura nelle pompe di calore.
6	Previsione	Consente di impostare nuovi valori nominali e parametri di regolazione o valori caratteristici sulla base delle previsioni relative alla produzione di energia o al carico, fino all'integrazione di un gemello digitale. Con questo livello è possibile in futuro sfruttare in modo ottimale la flessibilità delle pompe di calore. È possibile definire sia le previsioni di carico che i segnali dinamici dei prezzi, ad es. sotto forma di previsioni giornaliere.
m	Monitoraggio	Applicazione di monitoraggio: abbinabile ai livelli precedenti. In una pompa di calore, questo livello consente di leggere parametri interni importanti quali temperatura, condizioni di funzionamento, ecc.

Tabella 7.3: Modello a livelli di SmartGridready.

7.6 Fonti

[1] Wärmepumpen, Photovoltaik und Elektromobilität. Planungsgrundlagen für Wohnbauten (EFH und MFH). SvizzeraEnergia, 2023
[2] Norma SIA 380/1: Fabbisogno termico per il riscaldamento, SIA Zurigo, 2016
[3] Norma SIA 384/1: Impianti di riscaldamento degli edifici – Basi generali ed esigenze, SIA Zurigo, 2009 (nuova prSIA 384/1 in preparazione)
[4] Norma SIA 385/1: Impianti per l'acqua calda sanitaria negli edifici – Basi generali e requisiti, SIA Zurigo, 2020
[5] Norma SIA 385/2: Impianto per l'acqua calda sanitaria negli edifici – Fabbisogno di acqua calda, requisiti globali e dimensionamento, SIA Zurigo, 2015
[6] Modulo di sistema per pompe di calore: www.pdc-modulo-sistema.ch
[7] Modulo di sistema per pompe di calore – Disposizioni per il dimensionamento degli accumulatori nel capitolato d'oneri PdC-SM, agosto 2018
[8] Modulo di sistema per pompe di calore – Capitolato d'oneri FV+PdC-SM (esenzione autorizzazione singola), APP/DE, nov. 2022
[9] SmartGridready – Label für die standardisierte, sichere Kommunikation zwischen Produkten, Systemen, Anlagen sowie Elektrizitätsnetzen, smartgridready.ch
[10] SmartGridready Library (Deklarationsdatenbank mit aktuellen Produkten). library.smartgridready.ch

Capitolo 8

Acustica e protezione fonica

8.1 Valori limiti legali

Emissioni foniche presso il vicinato
In Svizzera l'Ordinanza contro l'inquinamento fonico (OIF) regola la rilevazione e valutazione delle emissioni foniche esterne mediante valori limite di esposizione (Tabella 8.1). Le emissioni foniche generate da pompe di calore vengono valutate secondo l'Allegato 6 della OIF. Quale valore di giudizio vi è il cosiddetto livello di valutazione del rumore (L_r; vedere Figura 8.1), indicato in dB(A) e determinato al centro della finestra aperta di locali sensibili al rumore. Per impianti fissi nuovi o sostituzione di impianti esistenti (OIF Articolo 7) i valori di progettazione non possono essere superati.
Il grado di sensibilità II (GS II) vale per le zone in cui non sono ammesse attività moleste, segnatamente le zone destinate all'abitazione e quelle riservate agli edifici e impianti pubblici.
Il grado di sensibilità III vale per le zone in cui sono ammesse attività mediamente moleste, segnatamente le zone destinate all'abitazione e all'industria (OIF Articolo 43).
Gli organi competenti per l'attribuzione dei gradi di sensibilità sono i Comuni.

Esigenze per i locali in cui soggiornano persone, come soggiorno e camere da letto, uffici, ecc.
Sono da rispettare i valori limite fonici legali. Per quanto riguarda gli impianti domestici, l'OIF fa riferimento alla norma SIA 181 (Tabella 8.2). In particolar modo nella posa esterna di una pompa di calore aria-acqua, bisogna prestare attenzione a dove sono presenti soggiorni e camere da letto degli edifici circostanti.
Nel caso in oggetto di rumore industriale e commerciale, il livello di valutazione del rumore L_r viene determinato da una

Grado di sensibilità al rumore (GS)	Valore di progettazione L_r in dB(A)		Valore limite di immissione L_r in dB(A)		Valore d'allarme L_r in dB(A)	
	Giorno	Notte	Giorno	Notte	Giorno	Notte
I (zona ricreativa)	50	40	55	45	65	60
II (zona residenziale)	55	45	60	50	70	65
III (zona mista)	60	50	65	55	70	65
IV (zona industriale)	65	55	70	60	75	70

Tabella 8.1: Valori limite di esposizione al rumore industriale e commerciale ai sensi dell'Ordinanza sulla protezione acustica (livello di valutazione L_r nel luogo di immissione). Sono compresi anche gli impianti di riscaldamento, ventilazione e climatizzazione.

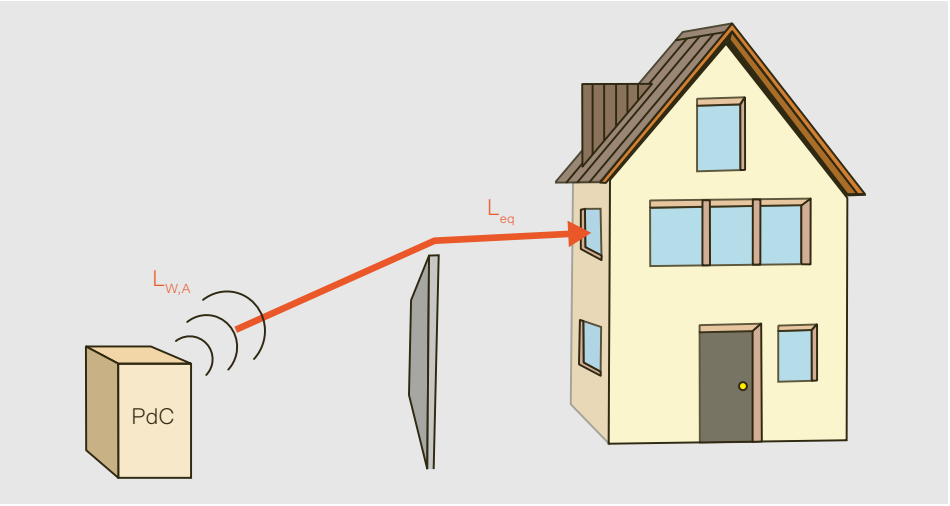


Figura 8.1:
$L_{W,A}$ è il livello di potenza sonora della fonte di rumore.
L_{eq} è il livello di pressione sonora, misurato al centro della finestra aperta.
L_r è il livello di valutazione (L_{eq} considerando le correzioni del livello).

combinazione di valori acustici rilevati (livello sonoro) e di regole empiriche (fattori di correzioni), relative alla durata delle fasi di rumore e al disturbo di rumori specifici.
Nell'ambito delle procedure di autorizzazione è particolarmente importante la verifica per la prevenzione del rumore delle pompe di calore aria-acqua della Cercle Bruit, l'associazione dei responsabili cantonali per la prevenzione del rumore. Le pompe di calore salamoia-acqua e acqua-acqua non presentano generalmente problemi per quanto riguarda le emissioni foniche esterne. La verifica segue il principio di precauzione secondo il quale le emissioni devono essere limitate il più possibile. Sono prese in considerazione le seguenti misure:
- Selezione di un impianto con un basso livello di potenza sonora $L_{W,A}$
- Luogo di installazione dei componenti rumorosi del sistema
- Insonorizzazione di qualsiasi tipo
- Eventuali direttive operative

Sulla base delle informazioni sulle emissioni foniche dell'apparecchio (livello di potenza sonora $L_{W,A}$), il livello di valutazione viene determinato tenendo conto delle misure di cui sopra e confrontato con il relativo valore di progettazione (Tabella 8.1). Un fattore importante è inoltre rappresentato dal luogo di installazione della pompa di calore (o dei suoi componenti rumorosi): da un lato, una maggiore distanza riduce gli effetti sonori nei locali sensibili al rumore; dall'altro lato, la condizione di installazione ha una notevole influenza sulla propagazione del suono attraverso l'effetto direzionale (Figura 8.2). Per questo motivo si dovrebbe tener conto fin dall'inizio del luogo di installazione ottimale.

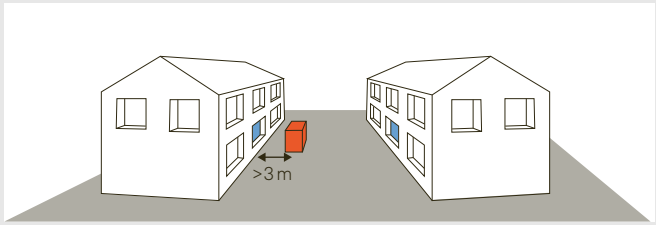
Tabella 8.2: Requisiti minimi per la protezione contro i rumori da installazioni tecniche negli edifici (norma SIA 181).

Tipo di rumore sul lato dove avviene l'emissione (locale emittente)	Rumori singoli		Rumori continui
	Rumori generati dal funzionamento degli impianti	Rumori causati dall'utente	Rumori generati dal funzionamento degli impianti e causati dall'utente
Sensibilità al rumore	**Valori dei requisiti L_H**		
bassa	38 dB(A)	43 dB(A)	33 dB(A)
media	33 dB(A)	38 dB(A)	28 dB(A)
alta	28 dB(A)	33 dB(A)	25 dB(A)

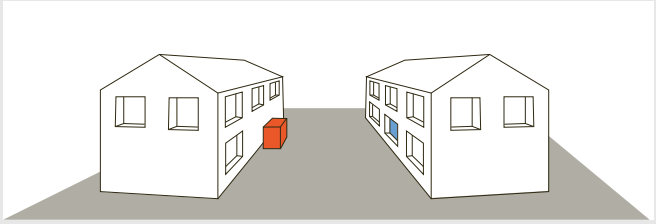
Osservazioni sulla tabella: come requisiti maggiorati per la protezione contro il rumore proveniente dalle installazioni tecniche valgono i valori ridotti di 4 dB(A); inoltre, il valore min. è 25 dB(A).

8.2 Provvedimenti per la riduzione delle emissioni foniche

Nella progettazione di impianti con pompa di calore è necessaria un'attenta valutazione delle emissioni foniche. Se i provvedimenti per la riduzione delle emissioni foniche vengono considerati già nelle prime fasi di sviluppo del progetto, è possibile contenere al minimo i costi supplementari. Provvedimenti aggiuntivi richiedono spesso uno sforzo supplementare molto oneroso e operazioni macchinose.



Indipendente +3 dB
(nessuna parete a meno di 3 metri)


Alla parete +6 dB

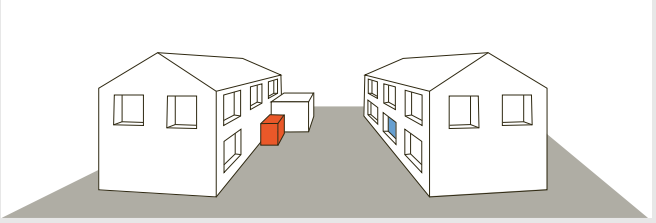

Angolo rientrante +9 dB

Figura 8.2: Il valore di L_{eq} dipende, tra l'altro, dal luogo in cui è installata la pompa di calore. La direttività porta, nella situazione sopra descritta, ad un aumento del livello di 3 dB(A), sulla parete di 6 dB(A) e nell'angolo di 9 dB(A). (Fonte: Cercle Bruit)

Cause di rumore

Negli impianti con pompa di calore aria-acqua, il rumore percepibile dal vicinato è nella maggior parte dei casi dovuto al ventilatore. L'apertura per la presa d'aria, direttamente allacciata al ventilatore, nella maggior parte dei casi causa emissioni foniche maggiori rispetto all'apertura dalla parte dell'evaporatore. Malgrado l'importanza generale del rumore causato dal ventilatore, non sono da trascurare le altre fonti di rumore quali le emissioni foniche del compressore, i rumori causati dal flusso d'aria e dal bilanciamento non ottimale, i rumori elettrici e i rumori di commutazione durante lo sbrinamento.

Emissioni foniche

- Rumore aereo: È da prevedere un involucro della pompa di calore fonicamente isolante o, per impianti di grandi dimensioni, una separazione fonoisolante rispettivamente un rivestimento fonoassorbente del locale. Eventualmente è da valutare l'inserimento di silenziatori ad assorbimento.
- Rumore strutturale: È da evitare il rumore strutturale mediante un sistematico impiego di collegamenti flessibili (tubi flessibili, compensatori, manicotti elastici, allacciamenti elettrici flessibili). Per ridurre le vibrazioni della pompa di calore, è da prevedere l'utilizzo di ammortizzatori di vibrazioni tra la pompa di calore e lo zoccolo, o tra lo zoccolo e il pavimento.

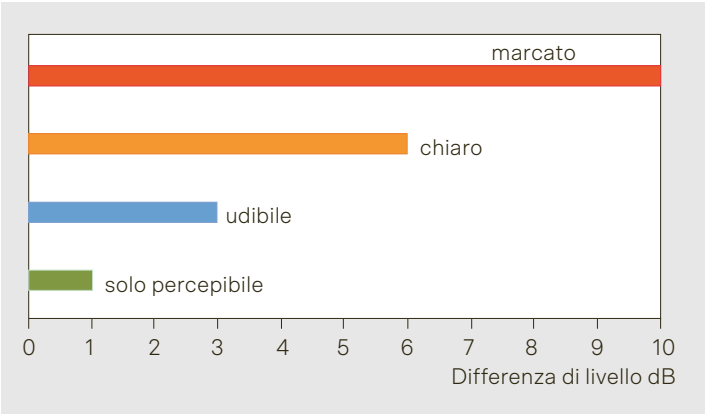


Figura 8.3: Per la percezione sonora, rispettivamente l'aumento chiaramente udibile di una differenza di livello, è necessario un cambiamento di 8 dB fino a 10 dB. Il più piccolo cambiamento percettibile ammonta a 1 dB, da 3 dB è (marcato) udibile.

Tabella 8.3: Valori tipici per la pressione sonora, che l'udito può percepire in un intervallo straordinariamente grande.

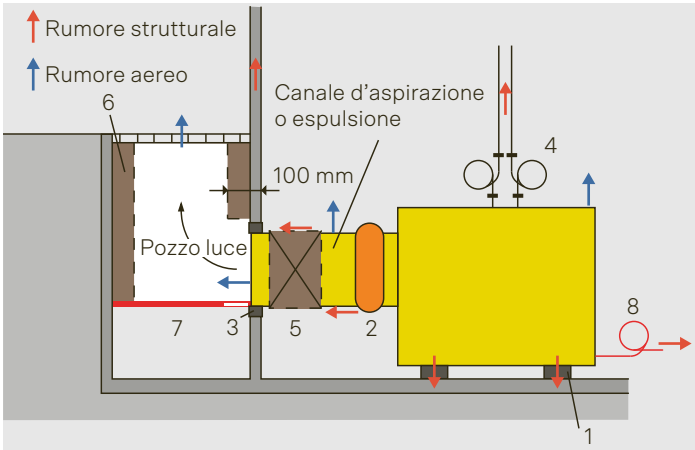
Livello sonoro	Fonte di rumore	Pressione sonora
170 dB		Fucile d'ordinanza
160 dB	2 000 000 000 µPa (2 kPa)	Pistola 9 mm
150 dB		Pistola fissa chiodi
140 dB	200 000 000 µPa (200 Pa)	Banco di prova dei jet
130 dB		
120 dB	20 000 000 µPa (20 Pa)	Soglia del dolore
110 dB		Martello pneumatico
100 dB	2 000 000 µPa (2 Pa)	Discoteca
90 dB		Catena di montaggio
80 dB	200 000 µPa (200 mPa)	Traffico stradale
70 dB		Conversazione
60 dB	20 000 µPa (20 mPa)	Ufficio
50 dB		Soggiorno
40 dB	2000 µPa (2 mPa)	Locale lettura
30 dB		Camera da letto
20 dB	200 µPa	Studio radio
10 dB		
0 dB	20 µPa	Soglia di udibilità

Dispersione del suono

Anche la posa accurata della pompa di calore è importante. Un tubo per il convoglio della biancheria tra le camere da letto e la lavanderia nella quale è installata la pompa di calore, è difficilmente isolabile dal lato fonico. Anche le tubazioni d'allacciamento (fonte di calore, distribuzione del calore e cavi elettrici) devono essere flessibili e al loro montaggio è da prevedere una separazione dagli elementi della costruzione (fissaggi disaccoppiati).

Provvedimenti per la riduzione del rumore

Con la revisione dell'Ordinanza contro l'inquinamento fonico si concretizza anche il rapporto costi-benefici dell'articolo 7 capoverso 3, dove si evidenziano le condizioni alle quali devono essere adottate misure precauzionali supplementari. Se i valori di progettazione sono rispettati, le misure supplementari sono considerate giustificate solo qualora sia possibile ottenere una riduzione



1: Separazione del rumore strutturale tra la pompa di calore e il pavimento
2: Separazione del rumore strutturale tra la pompa di calore e il canale (il flessibile non deve essere in tensione)
3: Separazione del rumore strutturale tra il canale e l'edificio
4: Separazione del rumore strutturale tra la pompa di calore e le tubazioni di riscaldamento
5: Silenziatore ad assorbimento nei canali dell'aria per esigenze accresciute
6: Pozzo luce rivestito con materiale assorbente
7: Silenziatore a risonanza per esigenze accresciute
8: Separazione del rumore strutturale tra la pompa di calore e i collegamenti elettrici

Figura 8.4: Provvedimenti per la riduzione del rumore. (Fonte: «Protezione fonica della posa di pompe di calore» (in tedesco e francese), distribuzione APP)

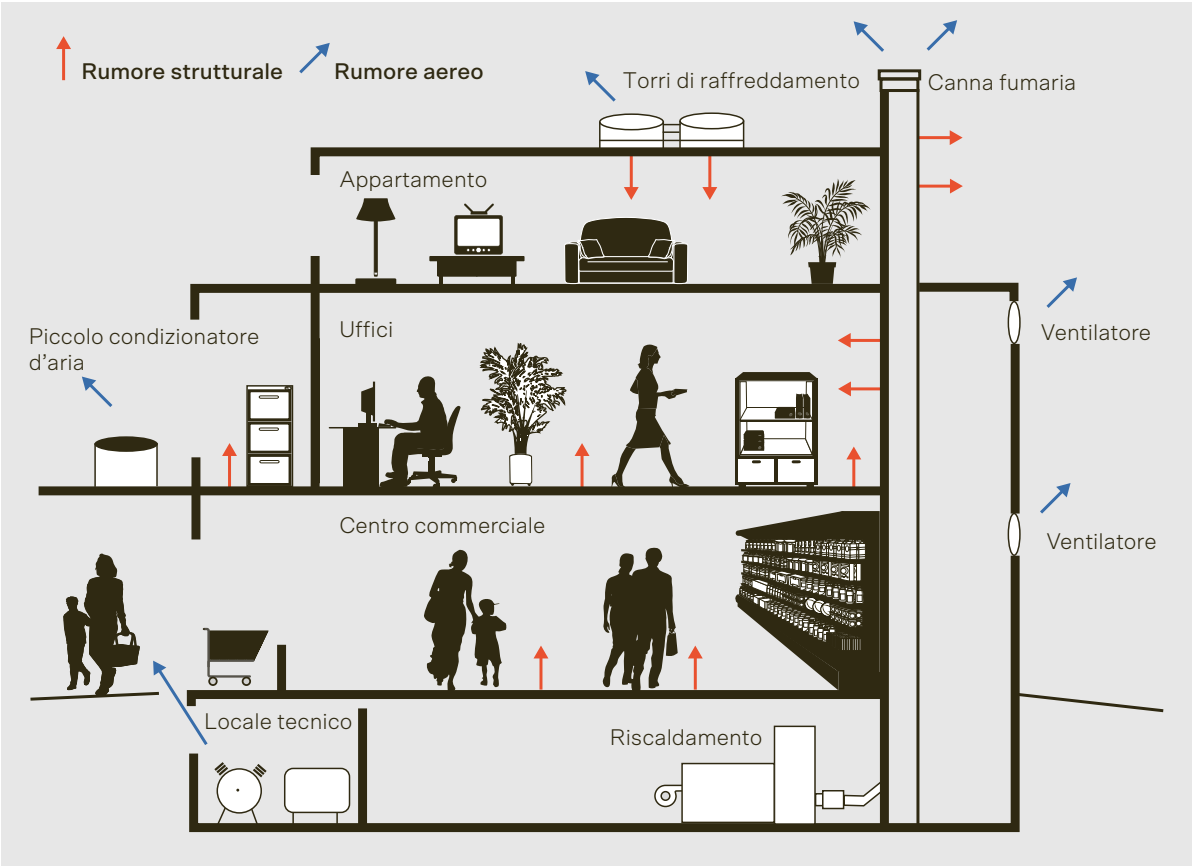


Figura 8.5: Un esempio di suoni trasmessi per via solida e per via aerea in un edificio residenziale e commerciale con impianti domestici (Fonte: Opuscolo sulla limitazione del rumore negli impianti domestici «Lärmbegrenzung bei Haustechnikanlagen», Cantoni Basilea Campagna e Basilea Città).

Origine	Vie di trasmissione	Possibili soluzioni
Pompe di calore macchine refrigeranti (posate all'interno/unità interne divise per apparecchio)	– Rumore per via solida prodotto dai compressori: attraverso le fondamenta, le tubazioni di riscaldamento e i cavi elettrici – Rumore aereo dei ventilatori: attraverso le aperture di aspirazione e di espulsione dell'aria	– Scegliere apparecchi silenziosi – Ottimizzare la posizione – Utilizzare un silenziatore – Isolamento acustico dei canali dell'aria – Distribuzione dei canali (deviazione) – Posa, rivestimento, disposizione nei locali – Base, collegamenti elastici
Pompe di calore macchine refrigeranti (posate all'esterno)	– Rumore aereo prodotto da compressori e ventilatori: attraverso le aperture di aspirazione e di espulsione dell'aria o gli alloggiamenti. – Rumore per via solida dei compressori: tramite le tubazioni di riscaldamento	– Scegliere apparecchi silenziosi – Ottimizzare la posizione – Utilizzo di elementi elastici di disaccoppiamento sotto la pompa di calore – Separazione tra basamento e fondamenta dell'edificio – Montaggio e gestione delle tubazioni di riscaldamento e del fluido frigorigeno – Incapsulamento parziale o totale – Blocco del numero di giri più elevato («modalità silenziosa»)
Condensatori/ Evaporatori raffreddati ad aria (posati all'esterno/unità separate)	– Rumore aereo prodotto dai ventilatori – Rumore per via solida prodotto dai compressori: attraverso le tubazioni del fluido frigorigeno	

Tabella 8.4: Il rumore e la sua riduzione in impianti a pompa di calore – Origine e soluzioni.

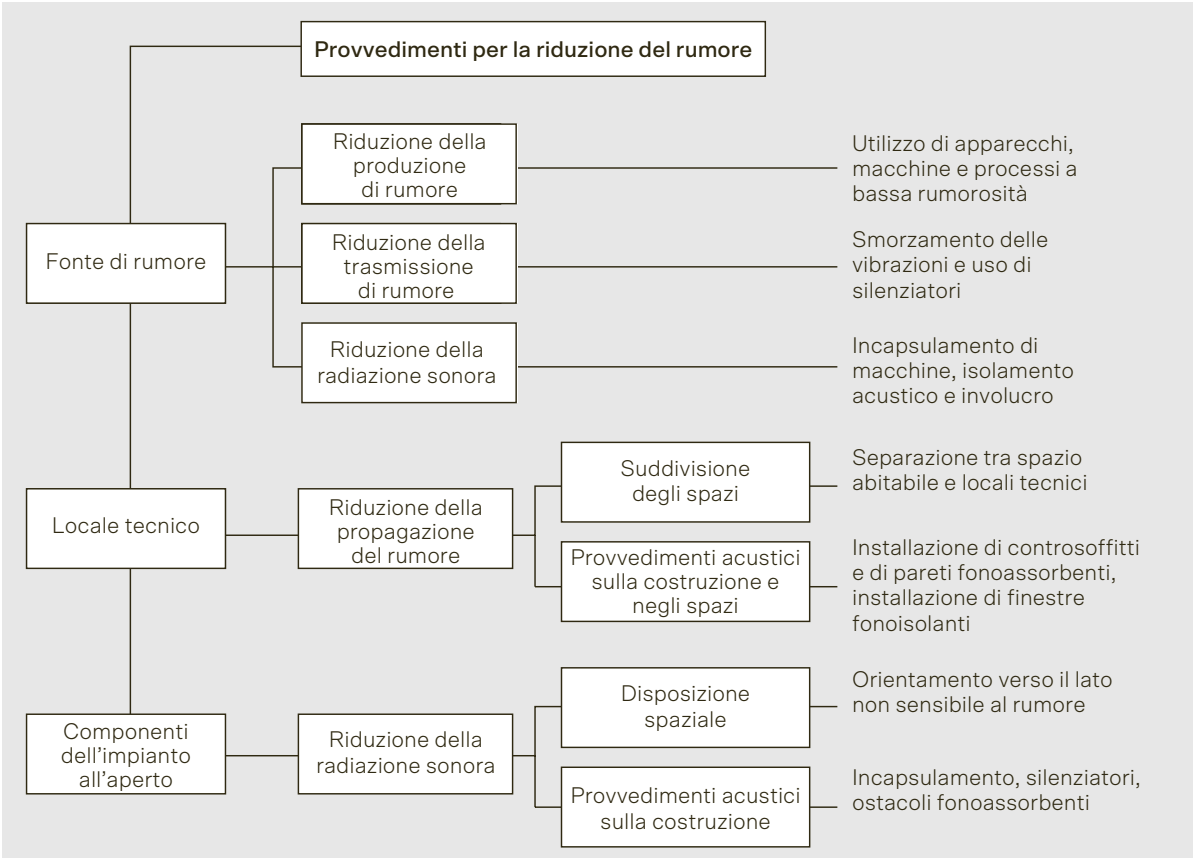


Figura 8.6: Provvedimenti per la riduzione del rumore. (Fonte: Opuscolo sulla limitazione del rumore negli impianti domestici «Lärmbegrenzung bei Haustechnikanlagen», Cantoni Basilea Campagna e Basilea Città)

di almeno 3 decibel (dB) con un costo massimo pari all'1 % dei costi di investimento dell'impianto. Tutti i provvedimenti per la riduzione del rumore riportati nella Figura 8.4 sono da considerare sia nella progettazione che nell'esecuzione. Come mostrato nella Figura 8.5, si distingue tra rumore trasmesso per via solida e rumore aereo. Il rumore trasmesso per via solida può di solito essere portato facilmente al di sotto dei valori limite con un adeguato basamento dell'apparecchio e con smorzatori di vibrazioni correttamente progettati. Per il rumore aereo, i componenti del sistema, come ventilatori e compressori, devono essere appositamente progettati o selezionati per i valori desiderati. Negli edifici, il rumore aereo può essere un problema soprattutto durante la notte (Tabella 8.4). La Figura 8.6 serve come lista di controllo per i provvedimenti per la riduzione del rumore.

Con un'attenta pianificazione con i tecnici acustici e con il fornitore delle apparecchiature, è di solito possibile portare le emissioni di rumore al di sotto del valore di riferimento desiderato senza costi aggiuntivi di rilievo.

Come valore di riferimento per la determinazione delle emissioni sonore delle pompe di calore aria-acqua, ora è determinante il livello di rumore generato a una temperatura esterna di 2 °C. La dichiarazione del livello di potenza sonora a A2 diventerà presumibilmente rilevante anche per l'omologazione e la documentazione tecnica con la revisione della normativa Ecodesign in Europa (vedere il Capitolo 1.3, «Ecodesign ed etichetta energia»).

Capitolo 9

Progettazione

9.1 Marchio di qualità APP/ EHPA

I marchi di qualità dell'Associazione europea delle pompe di calore (EHPA), rispettivamente dell'Associazione professionale svizzera delle pompe di calore (APP) si sono affermati da anni come riconoscimento di qualità per le pompe di calore destinate al riscaldamento degli ambienti e alla produzione di acqua calda sanitaria. Essi contraddistinguono gli apparecchi particolarmente efficienti dal punto di vista energetico, prodotti da aziende che soddisfano requisiti qualitativi relativi alla documentazione di progettazione e ai servizi di assistenza. Da un punto di vista energetico, il marchio di qualità si basa sui valori SCOP dell'apparecchio (Tabella 9.1). Il marchio di qualità si applica alle pompe di calore azionate elettricamente, prodotte in serie, fino a una potenza termica di 400 kW.
Dal 2024 il marchio di qualità per pompe di calore per acqua calda sanitaria comprende anche i requisiti minimi di efficienza e sostituisce sul mercato svizzero la certificazione APP conosciuta in precedenza. Si applicano i requisiti relativi al valore SCOP definiti ai sensi della norma di prova EN 16147 secondo la Tabella 9.2.

Tipo di pompa di calore	SCOP	
	35 °C	55 °C
Aria-acqua	3,50	3,00
Salamoia-acqua	4,30	3,38
Acqua-acqua	4,30	3,38

Tabella 9.1: Valori SCOP di vari tipi di pompe di calore.

Tipo di pompa di calore	SCOP
Aria esterna (A7)	2,80
Aria ambiente non riscaldata (A15)	2,90
Aria aspirata (A20)	3,20

Tabella 9.2: Requisiti minimi delle pompe di calore per acqua calda sanitaria.

9.2 Modulo di sistema per pompe di calore

Poiché per un esercizio ottimale delle pompe di calore è particolarmente importante l'integrazione nell'intero sistema, a partire dalla generazione di calore, passando dallo stoccaggio e la distribuzione, fino alla resa del calore, l'Associazione ImmoClima Svizzera, l'Associazione professionale svizzera delle pompe di calore (APP), la Suissetec e la Società svizzera degli ingegneri nella tecnica impiantistica (SWKI) hanno sviluppato e lanciato congiuntamente il cosiddetto «modulo di sistema per pompe di calore (PdC MS)», con il supporto di SvizzeraEnergia. In primo piano vi sono sia l'efficienza energetica che la sicurezza nella fase d'esercizio dell'intero sistema; ma un obiettivo è anche una chiara regolamentazione delle responsabilità. Per la valutazione energetica dell'apparecchio, il modulo PdC MS si basa sui requisiti minimi del marchio di qualità APP/EHPA. Le specifiche del PdC MS più importanti sono:

- Per i nuovi edifici, la potenza di riscaldamento deve essere calcolata secondo la norma SIA 384/1, il carico termico di riscaldamento secondo la norma SIA 384.201. Il supplemento per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria deve essere conforme alla norma SIA 384/1.
- La potenza termica, in caso di risanamento dell'impianto, deve essere stabilita in base al consumi degli anni precedenti. È disponibile uno strumento di calcolo dedicato.
- Nel caso in cui la fonte di calore siano delle sonde geotermiche, queste devono essere dimensionate secondo la norma SIA 384/6.
- Verifica protezione acustica secondo Cercle Bruit e il Cantone, requisiti secondo l'Ordinanza sull'inquinamento fonico.

- Per una collaudata integrazione idraulica sono presenti circuiti idraulici prestabiliti.
- Pompe di circolazione: nel tipo senza rotore bagnato; devono rispettare le Ordinanze sull'energia, il che comporta un indice di efficienza energetica IEE di massimo 0,23 (situazione 2018).
- Le pompe di calore sono certificate secondo il Regolamento del marchio di qualità EHPA.
- Produttore o fornitore con organizzazione di servizio in Svizzera.
- Selezionare imprese di perforazione con il marchio di qualità APP.
- Temperature minime di mandata raggiungibili dalla pompa di calore secondo la Tabella 9.3.
- Messa in funzione e controllo secondo le specifiche tecniche del modulo di sistema per pompe di calore.

Il modulo di sistema per pompe di calore è applicabile a sistemi con una potenza termica fino a circa 15 kW. Sono certificabili sistemi con o senza produzione dell'acqua calda sanitaria e con supporto solare opzionale per il riscaldamento dell'acqua. La maggior parte dei Cantoni e altre agenzie di finanziamento elargiscono incentivi per la sostituzione del riscaldamento a energia fossile o elettrico diretto con pompe di calore che rispettano il PdC MS. Ulteriori informazioni:
www.pdc-modulo-sistema.ch

9.3 WPesti

Il WPesti è lo strumento di calcolo più utilizzato per progettare sistemi a pompa di calore. Il programma viene utilizzato per calcolare il coefficiente di prestazione annuo delle pompe di calore e i valori calcolati sono direttamente utilizzabili per le verifiche Minergie. Il WPesti si basa su un semplice foglio Excel ed è disponibile gratuitamente online. In esso è integrato un database con i valori caratteristici delle pompe di calore standard. Gli utenti del WPesti fanno riferimento all'incarto energia e riprendono i dati sulla stazione climatica di riferimento, la categoria dell'edificio, la superficie di riferimento energetico, il fabbisogno termico e le perdite termiche per ventilazione. Se il prodotto non è contenuto nel database PdC, il progettista può utilizzare i valori del Centro di test per pompe di calore di Buchs (WPZ) oppure del produttore o del fornitore. Molto importanti per il calcolo del CLA (coefficiente di lavoro annuo) sono le temperature d'esercizio, in particolar modo le temperature di mandata e di ritorno. Per quanto riguarda i locali esposti, la temperatura di mandata è di grande importanza. I valori rilevanti sono forniti dal progettista dell'impianto di riscaldamento. Lo strumento di calcolo WPesti facilita il confronto tra diversi tipi di impianti, ad esempio tra aria e suolo quali fonti di calore. Ulteriori informazioni: https://bit.ly/WPesti_it

9.4 Strumenti di progettazione

Le norme rispecchiano lo stato attuale della tecnica, mentre la loro applicazione fornisce una garanzia per un'implementazione professionale di sistemi a pompa di calore efficienti. Tuttavia, sono spesso normative e regolamenti complessi, il cui studio difficilmente trova spazio nell'attività lavorativa quotidiana. Le associazioni di categoria ImmoClima Svizzera, Associazione professionale svizzera delle pompe di calore (APP) e l'Associazione svizzera e del Liechtenstein della tecnica della costruzione (suissetec) hanno quindi redatto schede informative su molti aspetti legati ai sistemi a pompa di calore. Que-

Tabella 9.3: Requisiti minimi alle temperature minime di uscita con il Modulo di Sistema per pompe di calore. Versione novembre 2024.

Tipo di pompa di calore	Aria-acqua	Salamoia-acqua	Acqua-acqua
Temperatura minima di mandata raggiungibile	55 °C a A-7 °C 60 °C a A0	60 °C a B0	60 °C a W10

ste forniscono istruzioni di progettazione e installazione in un formato compatto e di facile comprensione, aiutano con i calcoli e forniscono liste di controllo su tematiche specifiche. Queste schede informative sono disponibili sui siti internet delle rispettive associazioni e costituiscono preziosi strumenti di lavoro. Ulteriori strumenti di progettazione sono il citato strumento informatico WPesti, il «calcolatore del rumore» della APP, nonché le indicazioni e le guide all'esecuzione della Confederazione (UFE/UFAM), i Cantoni e il Cercle Bruit.

9.5 Fornitura di energia elettrica

Per le pompe di calore, nel settore dell'alimentazione elettrica domestica vengono impiegati grandi motori asincroni. Laddove le reti sono debolmente dimensionate, il loro avviamento può causare vuoti di tensione non permessi. Le pompe di calore sottostanno quindi ad autorizzazione. Siccome ogni Azienda elettrica è responsabile per la sua rete, già nelle fasi preliminari sono da considerare le condizioni d'allacciamento dei rispettivi gestori di rete.

Allacciamento e autorizzazioni
Per i gestori di impianti di grandi dimensioni può essere anche economico equipaggiare la pompa di calore con una compensazione della corrente reattiva, considerando che alcune Aziende elettriche fatturano, nel caso di un fattore di potenza elettrico troppo basso (normalmente con un cos-φ inferiore a 0,92), la corrispondente corrente reattiva. Inoltre la condotta principale di allacciamento elettrico risulterà essere più piccola e quindi più economica. Le informazioni sulle tariffe (anche le tariffe speciali per le pompe di calore) con le tabelle degli orari di blocco e i formulari di richiesta si possono ottenere presso l'Azienda elettrica competente.
Si consiglia inoltre, per gli impianti di grandi dimensioni, di collegare la pompa di calore e la macchina del freddo direttamente al quadro principale. In caso di emergenza, i compressori non devono necessariamente essere alimentati dai generatori di emergenza, purché non siano collegati apparecchi sensibili, che necessitano di essere costantemente riscaldati oppure raffreddati.

Limitazione della potenza di avviamento
I maggiori gestori di rete richiedono una limitazione della potenza di avviamento, a partire da una determinata potenza del motore (normalmente da 3 kW). Qui di seguito alcuni esempi di riduzione della corrente di avviamento:
- Avviatori a resistenza (piccoli compressori)
- Softstarter, chiamati anche avviatori ad azionamento graduale (inseriti di serie nella maggior parte delle pompe di calore di piccola taglia)
- Convertitori di frequenza: considerare la classe in base al tipo di applicazione (appartamenti, industria, commercio) e alle prescrizioni EMC (filtri, bobina, posa dei cavi). (EMC: compatibilità elettromagnetica)
- Avviamento con avvolgimento parziale (avvolgimento standard nei compressori semiermetici da ca. 3 kW di potenza del motore)
- Avviamento in stella-triangolo (in compressori aperti e semiermetici molto grandi)
- Negli impianti interconnessi (sistemi a più compressori) è da scegliere sempre un avviamento a stadi dei singoli compressori.

Con queste tipologie di avviamento o combinazioni di esse, le esigenze delle Aziende elettriche di regola sono soddisfatte. Le differenze di prezzo possono essere molto elevate soprattutto nei grandi impianti, perciò è indispensabile un chiarimento preliminare delle condizioni locali.

9.6 Centrale termica

Le esigenze riguardo la centrale termica riferite al luogo, protezione, ventilazione, ecc. possono essere particolarmente complesse, soprattutto in caso di impianti bivalenti o di grandi dimensioni.

Posa e accessibilità

- Il locale di posa per piccole pompe di calore con potenze di riscaldamento inferiori a 20 kW può essere progettato per la maggior parte dei casi come una normale centrale termica. Quando vengono utilizzati refrigeranti infiammabili, l'involucro della pompa di calore o il locale di posa sono da ventilare naturalmente (osservare le norme antincendio).
- Nel caso di installazioni di pompe di calore aria-acqua all'interno dell'edificio, è sempre da prevedere uno scarico della condensa (condensa all'evaporatore).
- Solamente in un'installazione ben accessibile è possibile effettuare una corretta gestione e manutenzione. Sono assolutamente da osservare le relative indicazioni del fabbricante.

Sicurezza

- La sicurezza delle persone viene prima di tutto. Oggi i refrigeranti presenti sul mercato sono in parte velenosi (tossici), rispettivamente infiammabili. A dipendenza delle caratteristiche dell'impianto, sono da chiarire con le autorità locali la necessità d'impiego di estintori, dispositivi ed equipaggiamento per la protezione delle persone, vie di fuga, compartimenti tagliafuoco, ecc. In alcuni casi può essere necessario effettuare un'analisi dei rischi.
- Tutti gli impianti sono da proteggere contro il rischio di pressioni di sistema troppo elevate. A dipendenza del genere di impianto e della sua grandezza, le tubazioni di sfogo delle valvole di sicurezza devono essere condotte direttamente all'esterno o in speciali recipienti di raccolta. In questi casi vale il rispetto delle prescrizioni e direttive corrispondenti.
- Se e come va effettuata la ventilazione di locali per impianti con pompe di calore, contro i pericoli per le persone e l'ambiente, é regolato nelle corrispondenti prescrizioni e direttive. Vi rientrano ad esempio: la norma SN EN 378 e le relative pubblicazioni della Commissione Federale di coordinamento per la Sicurezza sul Lavoro (CFSL), dell'Istituto nazionale svizzero di assicurazione contro gli infortuni (SUVA), dell'Associazione degli Istituti Cantonali di Assicurazione Antincendio (AICAA), vedi il Capitolo 1.3). In caso di dubbio vanno contattate le autorità competenti.

Condizioni tecniche

- Durante la progettazione e l'installazione sono da considerare la protezione acustica e in particolare il rumore strutturale. La posizione geografica riferita ai locali critici, dal punto di vista del rumore (camere da letto, uffici, ecc.) e rispetto agli immobili circostanti, sono da considerare dagli architetti rispettivamente dai committenti già nella fase progettuale dell'edificio (Capitolo 8).
- Negli impianti bivalenti con caldaia, durante l'aerazione del locale è da osservare che la ventilazione della pompa di calore non influisca sull'approvvigionamento di aria comburente per il riscaldamento a gasolio, gas o legna.

9.7 Economicità

Indicazioni generali

L'economicità di impianti tecnici energetici dipende dai comuni fattori d'influenza: costi del capitale (ammortamento e interessi dei costi per gli apparecchi e le installazioni), costi dell'energia (ad es. corrente per la pompa di calore), costi d'esercizio e manutenzione. Le seguenti grandezze sono decisive per i calcoli di redditività:

- Costi d'investimento: Come costi d'investimento valgono le spese necessa-

rie per la realizzazione di un impianto, per esempio il collegamento con la fonte di calore.
- Costi d'esercizio: i costi d'esercizio per i sistemi energetici sono i costi dell'energia, di manutenzione, d'esercizio e riparazione.
- Periodo d'utilizzo e periodo considerato: con il periodo d'utilizzo si definisce l'effettiva presunta durata tra la messa in funzione e la sostituzione dell'elemento dell'impianto.
- Tasso d'interesse di calcolo: Il tasso d'interesse di calcolo è la grandezza più importante per i calcoli economici. Esso dovrebbe corrispondere al tasso d'interesse di mercato per il pagamento degli interessi del capitale immesso nell'impianto.
- Rincaro: il rincaro indica l'evoluzione dei prezzi nel corso degli anni, ad esempio i costi energetici.
- Costi esterni: Per i costi esterni (chiamati anche costi ambientali, o sovrapprezzo dell'energia calcolato) vanno scelti valori secondo le migliori informazioni economiche disponibili al momento di effettuare il calcolo economico, o i valori riconosciuti dalle autorità federali.
- Confronto offerte di pompe di calore: Per il raffronto delle offerte occorre considerare i criteri indicati nel riquadro.

Prezzi dell'energia
- Gli impianti energetici, rispettivamente i loro componenti hanno una lunga durata di vita (da 10 a 40 anni). Lo sviluppo dei tassi di interesse e di inflazione, in particolare sui prezzi dell'energia, è imprevedibile per un periodo di tempo così lungo. Pertanto, un'analisi di sensibilità (confronto dei risultati con diverse ipotesi) è utile.
- Oltre ai dati quantitativi, nel caso di vettori energetici legati alla rete vanno considerati anche contributi per la rete, tasse base e sulla potenza.

Criteri per il raffronto delle offerte di pompe di calore

Costi
- Costi d'investimento
- Costi di manutenzione
- Costi d'esercizio

Volume di consegna
- Completezza
- Punti di connessione (scelta e adeguatezza)
- Opere da capomastro
- Durata e condizioni della garanzia, ev. dal collaudo dell'impianto
- Fornitura
- Funzionalità

Prestazioni
- Funzionalità
- Coefficiente di lavoro annuo (CLA) a definite condizioni quadro
- Coefficiente di prestazione (COP) a 3 o 4 differenti condizioni, riferite all'esercizio a pieno carico e carico parziale, rispettivamente SCOP. Lo stesso vale per il raffreddamento con l'indice di efficienza energetica (EER).
- Potenza di risc. e raffreddamento
- Limiti d'impiego

Per impianti di grandi dimensioni inoltre in aggiunta:
- Perdite di carico degli scambiatori di calore
- Indice TEWI (Capitolo 3.6)

Qualità
- Label di qualità come il marchio di qualità o il modulo di sistema per pompe di calore
- Organizzazione del servizio tecnico da parte del fornitore (365 giorni, 24 ore)
- Disponibilità dei pezzi di ricambio
- Sistema di garanzia di qualità
- Referenze

9.8 Controllo delle prestazioni

Le pompe di calore sono particolarmente sensibili ai cambiamenti delle condizioni operative. Il controllo delle prestazioni è uno strumento importante che contribuisce a garantire un funzionamento affidabile, duratoro ed efficiente dal punto di vista energetico della produzione di calore, rispettivamente di freddo. In particolare, costituisce il punto di partenza per le ottimizzazioni che, qualora implementate correttamente, consentono sostanzialmente un risparmio energetico dal 10 al 15 % negli impianti ben funzionanti. La Tabella 9.4 fornisce una panoramica dei fattori che influenzano l'efficienza e delle possibili misure di ottimizzazione. Questi fattori dovrebbero essere tenuti in considerazione già in fase di dimensionamento e progettazione.

Il controllo delle prestazioni è utile sia per gli impianti più grandi che per quelli più piccoli. Sebbene per motivi di costo negli impianti di piccole dimensioni vengano di norma effettuate poche misurazioni, anche queste possono fornire indicazioni importanti sul corretto funzionamento.

Fattore	Impatto sull'efficienza	Misura di ottimizzazione
Temperatura della fonte di calore	Temperature più elevate migliorano l'efficienza	Scelta della fonte di calore con temperatura più alta possibile, ad es. acqua di falda anziché aria esterna
Temperatura di mandata del sistema di riscaldamento	Una temperatura di mandata inferiore aumenta l'efficienza	Utilizzo di superfici radianti (ad es. riscaldamento a pavimento) o radiatori a bassa temperatura
Modalità di funzionamento della pompa di calore	I sistemi modulanti sono più efficienti di quelli con regolazione on/off	Utilizzo di pompe di calore a velocità variabile con regolazione intelligente
Configurazione idraulica e regolazione	Una buona regolazione riduce le perdite e aumenta l'efficienza	Ottimizzazione del dimensionamento delle pompe, prevenzione di circolazione errata e perdite di pressione elevate, regolazione in base alle esigenze, bilanciamento idraulico della distribuzione del calore
Posizione e clima	Le basse temperature riducono l'efficienza, soprattutto con le pompe di calore aria-acqua	Scelta di una pompa di calore adatta con efficienza elevata per regioni fredde, eventualmente soluzioni ibride (con carichi maggiori)
Impianti ausiliari	I gruppi ausiliari efficienti aumentano l'efficienza complessiva	Pompe di circolazione efficienti e, se presenti, ventilatori; basso consumo in stand-by del dispositivo di regolazione; se possibile, in estate spegnere completamente il riscaldamento
Produzione di acqua calda sanitaria	Temperature elevate di ACS riducono l'efficienza della pompa di calore	Utilizzo di un accumulatore di acqua calda separato («boiler ausiliario»), di una pompa di calore per acqua calda («boiler a pompa di calore») o una combinazione con impianto solare termico; scegliere uno scaldacqua adatto alle pompe di calore con superficie di scambio termico di almeno 0,3 m^2 per kW di potenza termica in modalità acqua calda

Tabella 9.4: Fattori che influenzano l'efficienza di un impianto a pompa di calore.

Oggi vengono sempre più spesso registrati e visualizzati nel dispositivo di regolazione anche i parametri operativi dei dispositivi di serie. Spesso questo vale anche per i dispositivi di regolazione sovraordinati, ad es. quando un impianto fotovoltaico e un accumulatore a batteria sono integrati nel sistema complessivo. In questo caso occorre verificare come siano stati ottenuti i valori indicati e se si tratti di valori di misura «reali» o di valori tabellari ricavati da diagrammi caratteristici, che possono indicare valori «corretti» anche in caso di guasto.
Per poter effettuare una verifica significativa dei risultati, è necessario definire un concetto di misurazione già in fase di progettazione dell'impianto a pompa di calore. Un criterio importante è la scelta dei limiti di sistema (Capitolo 1.2). Solamente chi conosce dall'inizio il processo e la strumentazione necessaria, può successivamente eseguire un controllo delle prestazioni affidabile. Una progettazione lungimirante considera anche la possibilità di successiva integrazione di ulteriori strumenti, ad es. mediante inserimento di tratti predisposti e valvole di intercettazione.

Parametri di riferimento
Per valutare i risultati del controllo delle prestazioni, è possibile ricorrere a valori comparativi o empirici relativi a impianti simili. La Tabella 9.5 elenca alcuni valori indicativi dei coefficienti di lavoro annuo (CLA) per vari tipi di pompe di calore e di applicazioni.
È importante tenere presente che questi dati dipendono in larga misura dalle condizioni locali effettive (temperatura

Pos.	Tipo	Regione	Metri s.l.m	Riscaldamento a radiatori		Riscaldamento a pavimento	
				Temperatura di dimensionamento 45/40 °C		Temperatura di dimensionamento 35/30 °C	
				solo riscaldamento	con ACS	solo riscaldamento	con ACS
1	LW	Altopiano svizzero	400–500	2,90	2,80	3,50	3,25
2		Prealpi	fino a 800	2,65	2,60	3,25	3,00
3			fino a 1000	2,55	2,50	3,15	2,90
4	Split LW	Altopiano svizzero	400–500	2,80	2,70	3,40	3,15
5		Prealpi	fino a 800	2,55	2,50	3,15	2,90
6			fino a 1000	2,45	2,40	3,05	2,80
7	Inverter LW	Altopiano svizzero	400–500	3,00	2,80	3,55	3,30
8		Prealpi	fino a 800	2,75	2,65	3,25	3,10
9			fino a 1000	2,65	2,55	3,15	3,00
10	SW	Altopiano svizzero	400–500	3,50	3,40	4,40	4,10
11		Prealpi	fino a 800	3,40	3,30	4,30	4,00
12		Regione montana	>800	3,30	3,20	4,20	3,90
13	Inverter SW	Altopiano svizzero	400–500	3,70	3,60	4,50	4,35
14		Prealpi	fino a 800	3,60	3,50	4,40	4,25
15		Regione montana	>800	3,50	3,40	4,30	4,15

Tabella 9.5: Valori indicativi dei coefficienti lavoro annuo (CLA) per diversi tipi di pompe di calore e applicazioni. (Fonte: Hubacher Engineering GmbH)

ambiente, qualità energetica dell'involucro dell'edificio, generatori di calore supplementari, ecc.) e possono quindi servire solo come riferimento.
Se i valori del controllo non rientrano nei limiti indicati dal produttore o dal progettista, è opportuno rivolgersi a un installatore qualificato che regoli la pompa di calore affinché lavori in modo più efficiente. Anche i malfunzionamenti (non rilevati) forniscono indicazioni importanti per l'ottimizzazione. Vi rientrano ad esempio l'attivazione involontaria di un riscaldamento elettrico, che da sola può portare a un aumento del CLA della pompa di calore.
In generale, è importante evitare tempi di funzionamento brevi del compressore per ogni avvio: come valore minimo si possono considerare dai 20 ai 30 minuti. Di norma sono possibili tempi di funzionamento notevolmente più lunghi, in particolare negli apparecchi a potenza modulante. Tempi di funzionamento brevi per ogni accensione possono essere indice di una configurazione idraulica e/o di una strategia di regolazione non ottimali.

Concetto di misurazione

La base per la gestione energetica e l'ottimizzazione del funzionamento è l'implementazione di un concetto di misurazione efficace e definito con chiarezza. Secondo la direttiva SWKI 98-1 «Messkonzept für Energie und Medien», ciò comprende i componenti secondo la Figura 9.1. Vale come presupposto per il raggiungimento degli obiettivi seguenti:

A. *Il concetto di misurazione si traduce in una struttura adeguata della distribuzione dei fluidi. Le misurazioni possono essere installate fisse oppure per un breve periodo (misurazione temporanea). Le misurazioni possono anche essere installate successivamente a basso costo. Devono essere adottati gli opportuni provvedimenti. Esempio: installazione di un raccordo per i contatori di energia.*
B. *Il concetto di misurazione indica l'installazione dei dispositivi necessari per la verifica parametri garantiti. Esempi: CLA per PdC, ESEER per impianti frigoriferi.*
C. *Il concetto di misurazione permette l'installazione di strumenti per definire contabilità e statistiche energetiche.*
D. *Il concetto di misurazione consente l'installazione di strumenti per identificare il potenziale di risparmio energetico. Pertanto si ricavano le misure di ottimizzazione.*
E. *Il concetto di misurazione consente l'installazione di apparecchiature per il conteggio dei costi energetici accessori. Da un lato si rispettano le normative di legge, dall'altro possono essere soddisfatti anche i desideri del committente o dell'inquilino.*
F. *Il concetto di misurazione consente l'installazione di apparecchiature per il controllo efficace delle misure di ottimizzazione dell'esercizio implementate.*
G. *Il concetto di misurazione consente l'installazione di dispositivi. I risultati sono la base per progettazione ed esecuzione del rinnovo /sostituzione degli impianti.*

Fonte: Direttiva SWKI 98-1 «Messkonzept für Energie und Medien», disponibile solo in tedesco e francese

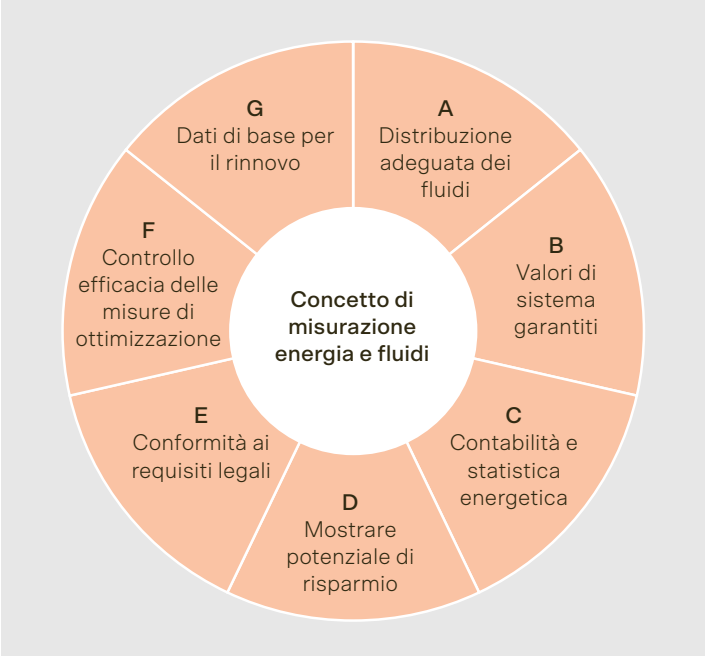


Figura 9.1: Concetto di misurazione di energia e fluidi, secondo SWKI 98-1.

Funzioni
Un concetto di misurazione chiaramente definito, insieme alla valutazione delle misurazioni di energia e dei fluidi crea i presupposti per:
– Indicatori energetici significativi per verificare i dati di progetto e controllare i valori garantiti
– Dati per l'ottimizzazione energetica d'esercizio (OEe), dove vengono individuati i potenziali di risparmio energetico e si gettano le basi per le misure OEe.
– Il rilevamento (precoce) dei malfunzionamenti
– Basi per le previsioni di consumo e per la pianificazione del budget
– Il rispetto delle prescrizioni legali, come la fatturazione dei costi di riscaldamento basata sui consumi

Strumenti di misura
Il concetto di misurazione deve comprendere i seguenti strumenti e punti di misura:
– Contatore elettrico per compressore
– Misuratore dei tempi di funzionamento e degli impulsi del compressore
– Contatore termico per ogni generatore di calore
– Raccordi di misura per rilevare le temperature di ingresso e di uscita nel circuito dell'evaporatore e del condensatore ed eventualmente per misurare le perdite di pressione; se possibile, prevedere raccordi di misura Twinlock, eventualmente valvole a sfera con attacco per sensore

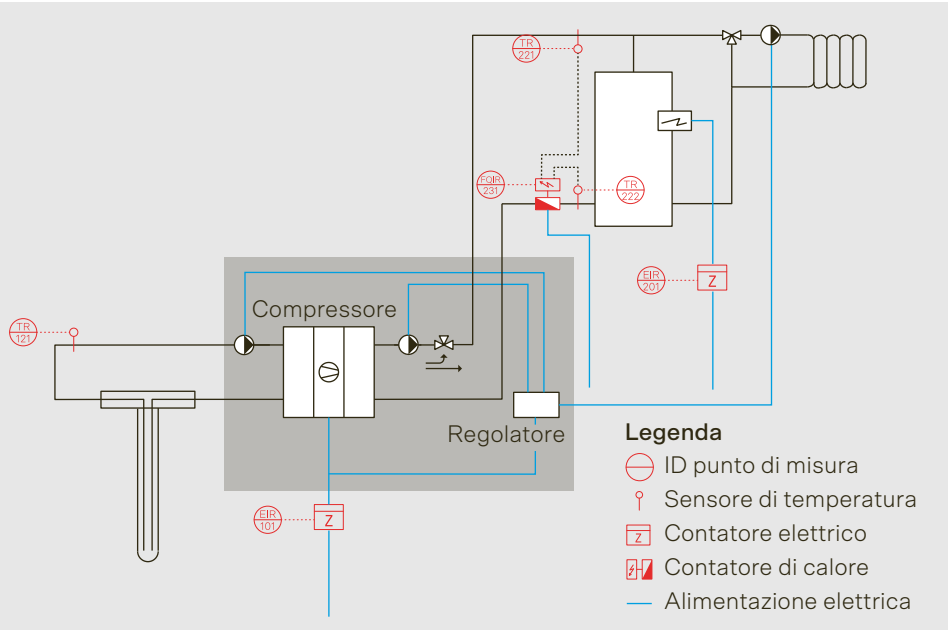
Negli impianti più grandi e complessi servono inoltre:
– Sensori di temperatura su ogni ingresso e uscita dello scambiatore di calore
– Sensori della temperatura ambiente
– Sensori della temperatura esterna
– Rilevamento della regolazione di potenza del compressore
– Contatore delle ore di funzionamento (ev. contatore elettrico) per pompe, ventilatori, risc. ausiliari (ad es. risc. elettrico di emergenza), ecc.
– Contatore di calore per ogni fonte di calore
– Rilevatore delle posizioni delle valvole

Gli strumenti di misura sono soggetti a imprecisioni che dipendono in gran parte dalla complessità dell'apparecchiatura. Per quanto riguarda i contatori di calore, è necessario prestare particolare attenzione ai seguenti punti:
– L'incertezza di misura della portata volumetrica dipende dal flusso effettivo.
– Dipende inoltre dalla differenza di temperatura tra mandata e ritorno.
– È necessario verificare che l'organo di calcolo indichi i fluidi corretti (acqua, salamoia, ecc.). Indicazioni errate causano errori sistematici.
– È necessario assicurarsi che gli strumenti di misura siano installati secondo le indicazioni del produttore. Sono importanti soprattutto la posizione di montaggio, il tratto di stabilizzazione e l'inserimento di punti di misura della portata volumetrica nel flusso di ritorno.

La precisione nella rilevazione metrologica del coefficiente di lavoro annuo (CLA) può di norma variare tra il 5 e il 10 %, a causa delle incertezze di misura relative all'energia elettrica e al calore generato. Per ottenere risultati più precisi e ridurre il margine di errore, è opportuno considerare gli aspetti seguenti:
– Sono rispettate le necessarie tratte di ingresso e di stabilizzazione a monte e a valle del punto di misura della portata volumetrica dei contatori di calore? In tale contesto, gli apparecchi a ultrasuoni non presentano di norma problemi.
– Quali consumatori vengono alimentati dai vari collegamenti elettrici? Piccoli consumatori, come le pompe di circolazione e l'elettronica di regolazione, possono essere alimentati tramite una fase dell'alimentazione del compressore o tramite un cavo di alimentazione monofase separato.

- Sono comprese nella misurazione anche consumatori esterni non alimentati direttamente dalla pompa di calore (ad es. inserti elettrici diretti negli accumulatori)?
- In quale punto viene misurato il calore? È possibile distinguere tra riscaldamento e acqua calda, se richiesto?
- I sensori di temperatura corti (fino a 60 mm) dovrebbero idealmente essere immersi direttamente. Se si utilizzano pozzetti termometrici, questi devono essere perfettamente compatibili con i sensori utilizzati, senza l'uso di pasta termoconduttiva. È consigliabile acquistare i pozzetti presso i fornitori dei contatori di calore.
- Non prolungare né accorciare i raccordi dei sensori di temperatura montati in fabbrica.
- I sensori di temperatura sono posizionati correttamente all'interno del tubo, in particolare la punta del sensore?
- I sensori di temperatura che non fanno parte di un determinato contatore di calore sono calibrati correttamente (ad es. per il monitoraggio della temperatura delle sonde geotermiche)?
- Viene utilizzato lo stesso sistema sia per il riscaldamento che il raffreddamento? In questo caso, i contatori di calore devono essere progettati appositamente per rilevare sia il caldo che il freddo e il consumo di elettricità della pompa di calore deve essere ripartito correttamente.

La Figura 9.2 mostra un esempio semplice di punti di misurazione per il rilevamento del CLA nei piccoli impianti a pompa di calore in modalità riscaldamento (limiti di sistema rendimento del generatore di calore, RGC), per quanto possibile con un impegno minimo. Il collegamento elettrico della pompa di calore alimenta in questo caso sia il dispositivo di regolazione che tutte le pompe di



ID punto di misura	Grandezza	Unità di misura
EIR 101	Energia elettrica compressore	kWh
TR 121	Temperatura uscita sonda geotermica	°C
TR 221	Temperatura mandata accumulatore tampone	°C
EIR 201	Energia elettrica riscaldamento di emergenza	kWh
TR 222	Temperatura ritorno accumulatore tampone	°C
FQIR 231	Calore carica accumulatore tampone	kWh

Figura 9.2: Schema esemplificativo del dispositivo di misura per la definizione del CLA. ID punti di misura secondo la norma DIN 19227 o DIN EN 62424.

circolazione. Vale la pena rilevare separatamente anche i tempi di funzionamento o il consumo elettrico (EIR 201) degli elementi di riscaldamento supplementare. Ciò fornisce indicazioni sui malfunzionamenti durante il funzionamento, come l'attivazione involontaria del riscaldamento elettrico di emergenza.
Se viene rilevato il tempo di funzionamento, occorre prestare attenzione a che venga effettivamente rilevato il tempo di funzionamento effettivo del riscaldamento supplementare e non solo l'attivazione da parte del dispositivo di regolazione. Per determinare gli avviamenti del compressore è possibile utilizzare i cosiddetti contatori doppi, che registrano e visualizzano sia il tempo di funzionamento che gli avviamenti.

Capitolo 10

Messa in funzione

Dopo la fase di realizzazione, segue la preparazione ed esecuzione della messa in funzione. In seguito, avviene il collaudo e l'esercizio (si veda SN EN 378). Durante il collaudo viene verificato se e come l'impianto corrisponde al contratto d'appalto e alle esigenze specifiche. In seguito alla messa in funzione è consigliato, dopo 2 o 3 mesi d'esercizio, verificare ancora le impostazioni in fase di carico e ottimizzare l'esercizio di conseguenza.

Breve descrizione secondo la SIA 113
La raccomandazione SIA 113 «Progettazione e realizzazione secondo le regole del FM» (Figura 10.1) descrive i compiti per la definizione delle prestazioni specifiche della progettazione e realizzazione dal punto di vista del Facility Management (FM). Il grafico è strutturato verticalmente secondo le cinque fasi del processo di costruzione secondo il modello di prestazioni della SIA 112, con le relative sottofasi. I temi che suddividono orizzontalmente il grafico sono i vari punti di vista da considerare, l'assicurazione qualità e la gestione delle informazioni e dei dati. I punti di vista del proprietario, dell'utilizzatore e del fornitore di servizi sono suddivisi nelle tematiche Finanze / Risorse, Processi / Compiti e Organizzazione. Inoltre, la gestione delle informazioni e dei dati include le tematiche di Denominazione + Strutturazione, Archiviazione e Scambio. Nelle interfacce così risultanti vengono definite, per ogni singola sottofase, determinate prestazioni per ciascuna tematica. La suddivisione secondo i punti di vista del proprietario, dell'utilizzatore e del fornitore di servizi è necessaria per poter integrare in modo completo e sistematico nella fase di proget-

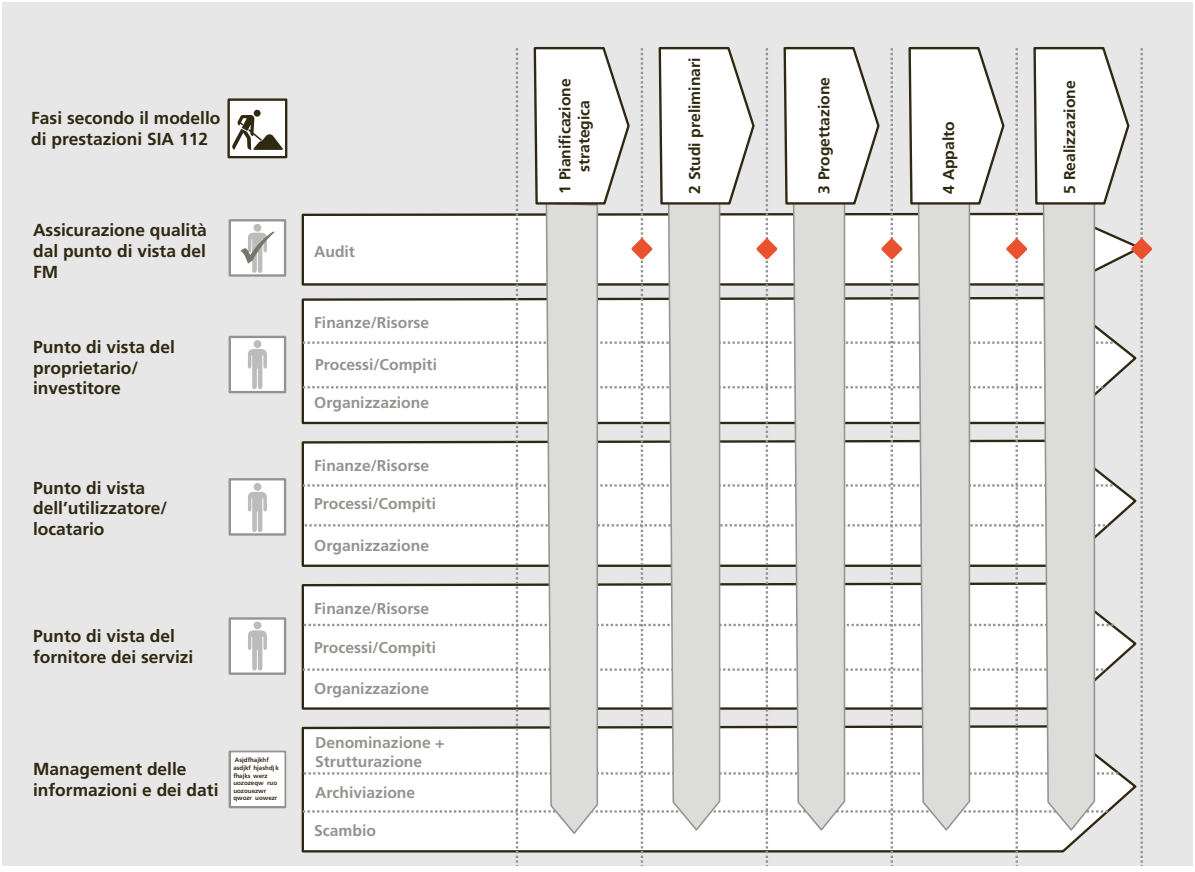


Figura 10.1: Punti di vista nel FM secondo la norma SIA 113. (Fonte: Planungs- und baubegleitendes Facility Management pbFM, Praxisleitfaden für die Empfehlung SIA 113, CRB)

tazione e costruzione i principali requisiti posti dalla successiva fase di gestione.

10.1 Fase prima della messa in funzione

Controllo del montaggio
Alla fine della fase di realizzazione, prima del riempimento del sistema idraulico con i relativi fluidi, è necessario un controllo dettagliato del montaggio degli impianti installati. In questa fase va verificato se l'installazione corrisponde alle esigenze specifiche e se le componenti dell'impianto sono state montate correttamente. È da osservare inoltre se tutti gli apparecchi e le loro componenti sono muniti di contrassegni descrittivi con i relativi numeri di posizione in corrispondenza allo schema dell'impianto e altri documenti.

Controllo dei dispositivi di misurazione e regolazione
Già durante la progettazione, vanno valutati i punti di misurazione da raccogliere per messa in funzione, collaudo, ottimizzazione dell'esercizio e funzionamento dell'impianto. L'installazione in un secondo tempo di manicotti a immersione e strumenti di misura è di regola molto onerosa (Capitolo 9.8). Il controllo in fase di montaggio offre l'ultima occasione per avviare eventuali correttivi senza eccessivi oneri supplementari. Prima del riempimento dell'impianto con il liquido termovettore vanno quindi verificati con attenzione tutti i dispositivi di misurazione e gli attuatori inseriti nel circuito idraulico. La corretta posizione (ad es. tratta di stabilizzazione prima o dopo i misuratori di portata) e il corretto montaggio (ad es. posizione di posa) dei dispositivi (vedere istruzioni del produttore) sono importanti per garantire un affidabile rilevamento dati.

10.2 Preparazione della messa in funzione

Prima della messa in funzione deve essere conclusa la fase d'installazione, incluse le installazioni elettriche e di regolazione (incluso il certificato di sicurezza in conformità con l'ordinanza sugli gli impianti elettrici a bassa tensione OIBT). Affinché la messa in funzione possa avvenire in maniera efficiente, sono da effettuare in precedenza i seguenti preparativi:
- Redigere un programma della messa in funzione, definire le scadenze con le persone coinvolte; assicurare la disponibilità dei fluidi e dei locali.
- I seguenti documenti sono da mettere a disposizione sull'impianto:
- Schema di principio dell'installazione
- Scheda tecnica con l'indicazione dei parametri d'impostazione, i valori di consegna e le curve di regolazione. Se definite, queste devono corrispondere ai valori secondo contratto.
- Schema dell'alimentazione di corrente, dei comandi elettrici e della regolazione (schema di regolazione)
- Ricapitolazione della potenza dei motori elettrici
- Descrizioni di funzionamento
- Lista dati per le portate, differenze di pressione, temperature della rete, ecc.
- Piani di montaggio
- Diagramma del punto di misurazione
- Per la messa in funzione deve essere a disposizione almeno una bozza delle istruzioni per l'uso di tutti gli impianti risp. componenti, in modo che sia possibile apportare eventuali modifiche o aggiunte durante la messa in funzione
- Se necessario, protocolli di verifica e collaudo

Tutti questi documenti sono raccolti in un classificatore dell'impianto e sono accessibili a tutte le parti coinvolte, ma in particolare sono disponibili presso l'impianto (Capitolo 10.8).

10.3 Fonte di calore ed erogazione del calore

Prima della messa in funzione della pompa di calore vanno verificate, e se necessario preparate, la fonte e i punti di erogazione del calore. Verificare la completezza dell'installazione:

- Per il dimensionamento delle sonde geotermiche e gli impianti per lo sfruttamento termico delle acque sotterranee: documenti sulla qualità di realizzazione (prova di collaudo norma SIA 384/6 rispettivamente norma SIA 384/7).
- Circuiti ad acqua, sciacquati, riempiti (osservare le direttive SWKI BT102-01) e spurgati a fondo (la prova in pressione è da effettuare durante l'installazione, prima dell'applicazione dell'isolante)
- Portate verificate, compensazione idraulica effettuata.
- Verificare la concentrazione del riempimento con antigelo (se presente).
- Effettuare il controllo del senso di rotazione dei motori delle pompe, dei ventilatori e di altri attuatori (ad eccezione del motore del compressore).
- Per le pompe di calore aria-acqua va verificato il sistema dalla parte della fonte di calore.
- Se necessario, aprire i dispositivi di spegnimento.
- I sensori di temperatura utilizzati dovrebbero essere alloggiati all'interno dei pozzetti sempre in maniera precisa e senza gioco (si raccomanda di procurarsi sensori e pozzetti insieme). È possibile utilizzare solo in casi eccezionali del materiale per migliorare il contatto termico («pasta termoconduttiva»).

10.4 Messa in funzione della pompa di calore

È necessario sincerarsi con anticipo che, prima della messa in funzione, tutte le corrispondenti parti dell'impianto come il circuito degli erogatori, il circuito di raffreddamento, ecc. siano pronte all'impiego; che l'alimentazione elettrica funzioni e che sia a disposizione sufficiente carico.
La messa in funzione generalmente viene diretta dal progettista dell'impianto. Egli conosce il funzionamento delle parti elettriche, idrauliche risp. della ventilazione dell'impianto. Il progettista verrà aiutato rispettivamente dallo specialista per la regolazione, dall'elettricista, così come dagli specialisti per la messa in funzione delle singole componenti. La procedura può svolgersi nel modo seguente:

- Controllo visivo, controllo installazione.
- Controllare i contatti elettrici di tutti gli apparecchi, verificare tutti i collegamenti elettrici in base allo schema elettrico.
- Verificare la corretta impostazione dei relais termici, secondo le targhette indicatrici dei motori, controllare le impostazioni dei dispositivi di protezione elettrici.
- Separare elettricamente il compressore dalla rete.
- Azionare l'interruttore principale.
- Accendere, se presente, il riscaldamento a gasolio (riscaldamento separatore d'olio risp. carter).
- Controllare e verificare quanto possibile le funzioni di sicurezza.
- Controllare la direzione di rotazione del compressore. Questa operazione può essere effettuata solo dallo specialista della ditta fornitrice.
- Eseguire un controllo della funzionalità dei comandi e della regolazione, verificare la correttezza dei valori memorizzati.
- Sottoporre ad un test di funzionamento tutti i collegamenti di comando e regolazione.
- Impostare tutti i parametri di regolazione (intervallo P, tempo d'azione integrale, tempo di reazione), curve di riscaldamento, valori di consegna, ecc. in funzione dei valori calcolati risp. consigliati.

10.5 Protocollo di messa in funzione

Al termine della messa in funzione sono da impostare diversi parametri come valori di consegna, curve di regolazione e sicurezze, secondo i valori definiti nel contratto (se fissati). Eventuali irregolarità o lacune sono da segnalare.
Tutti i parametri d'impostazione importanti vanno riportati nel protocollo di messa in funzione. Irregolarità risp. cambiamenti sono da riportare a mano nei documenti.

10.6 Istruzioni per l'uso

Le istruzioni per l'uso descrivono la funzione e la regolazione di singole parti dell'impianto. Queste devono essere strutturate in modo comprensibile e trasparente. Qui di seguito alcuni punti che sono da osservare nella redazione delle istruzioni per l'uso:

- Indirizzi e numeri di telefono dei centri di servizio tecnico competenti
- Utilizzare diciture uniformi, simboli in base alle norme attuali
- Corrispondenza con la dicitura sull'impianto
- Non impiegare documentazione in lingua straniera
- Schema elettrico valido con riportati i cambiamenti eseguiti nella fase di messa in funzione
- È da allegare il protocollo di messa in funzione con le indicazioni importanti come p. es.:
- Lettura dei dati dell'impianto durante l'esercizio di quest'ultimo
- Tutti i valori impostati che possono essere modificati dall'utente
- Eventuali valori limite
- Provvedimenti in caso di guasto
- Indice dei compiti che il servizio tecnico deve effettuare
- Protocollo vuoto con la lista dei dati di lettura
- Registro di manutenzione

Di regola durante la messa in funzione vengono apportate piccole modifiche e correzioni all'impianto. Soprattutto gli adattamenti allo schema elettrico devono essere riportati nella versione definitiva. La bozza delle istruzioni d'uso deve essere adattata di conseguenza.

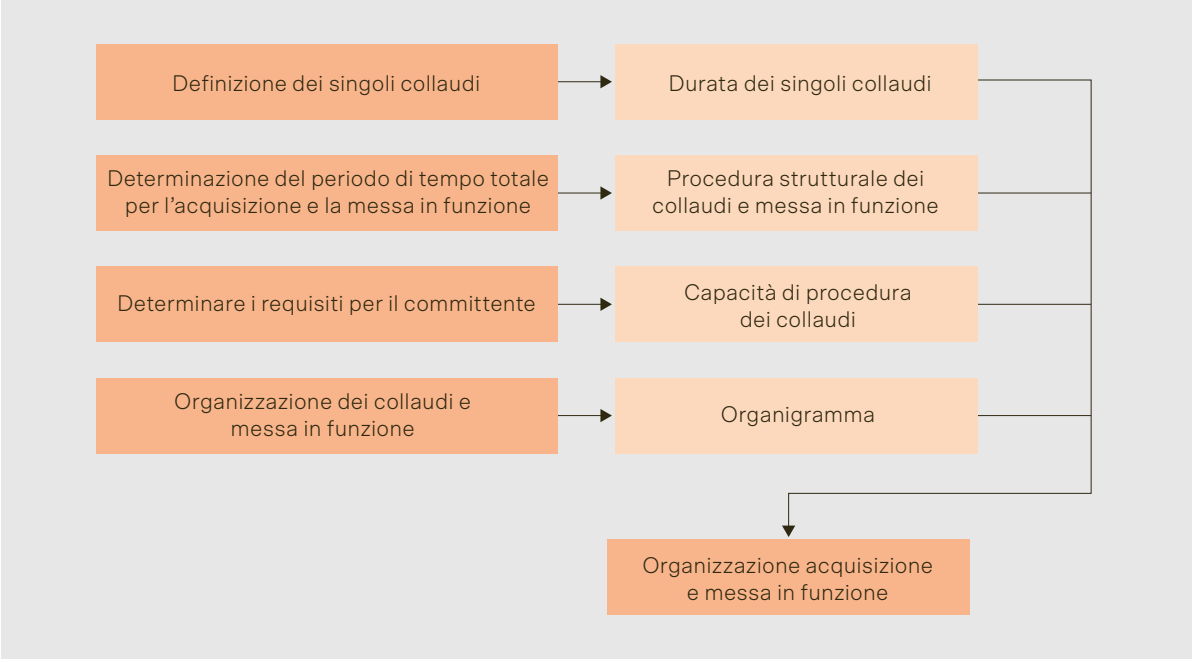


Figura 10.2 Organizzazione del collaudo, consegna e messa in funzione. (Fonte: Real Estate and Facility Management, Preuss, N. e Schöne L.B., 2010)

10.7 Protocollo di collaudo

Dopo la conclusione delle operazioni di messa in funzione, avviene un controllo dell'impianto con il coinvolgimento degli interessati. L'obiettivo di questo controllo è di avere un protocollo controfirmato dalle parti, che attesta il collaudo dell'impianto e riporta eventuali riserve. Durante il collaudo, il progettista deve compilare un protocollo di collaudo e farlo firmare dalle parti. Questo riporta:

- I dati fissati nel contratto
- Checklist riguardante l'estensione della fornitura e la qualità dell'esecuzione
- I dati effettivi dell'impianto
- Eventuali lacune

Con il collaudo la committenza si assume la responsabilità riguardo l'impianto e parte il termine di garanzia. Spesso, il periodo dal completamento dei lavori all'inizio dell'utilizzo dell'impianto viene sottostimato. Ciò concerne in particolar modo gli immobili occupati dai proprietari in cui, dopo il completamento da parte delle imprese di costruzione, gli impianti o le armature vengono introdotte successivamente dall'utente (miglioramenti dell'inquilino). Le attività più importanti sono riassunte nella Figura 10.2.

Fasi individuali

L'intero periodo di tempo dal completamento dei lavori all'inizio dell'utilizzo dell'impianto è diviso in diverse fasi. A questo proposito verrà definito come periodo per il collaudo quello del collaudo con la durata maggiore. Il collaudo degli impianti tecnici dell'edificio solitamente viene eseguito in parallelo. A seconda delle dimensioni del progetto, devono essere disponibili più specialisti con competenze tecniche di costruzione.

Esempi: elettrico; riscaldamento, ventilazione, climatizzazione, refrigerazione (RCVR); impianti sanitari; tecnologia per la misurazione, controllo e strumentazione (MCRC); automazione degli edifici; tecnologie dell'informazione e della comunicazione (EDV, ICT) e sistemi di allarme quali: sistema di allarme antincendio (IRI), impianti per evacuazione di fumo e calore (EFC), gas, acqua, acque reflue e tecnologia antincendio (IAG), ecc. Per i singoli processi, è necessario considerare, a seconda dell'edificio, che la messa in funzione interna all'azienda (test funzionale e collaudo) viene eseguita durante la preparazione del collaudo stesso.

Ciò vale anche per l'approvazione da parte delle autorità pubbliche come

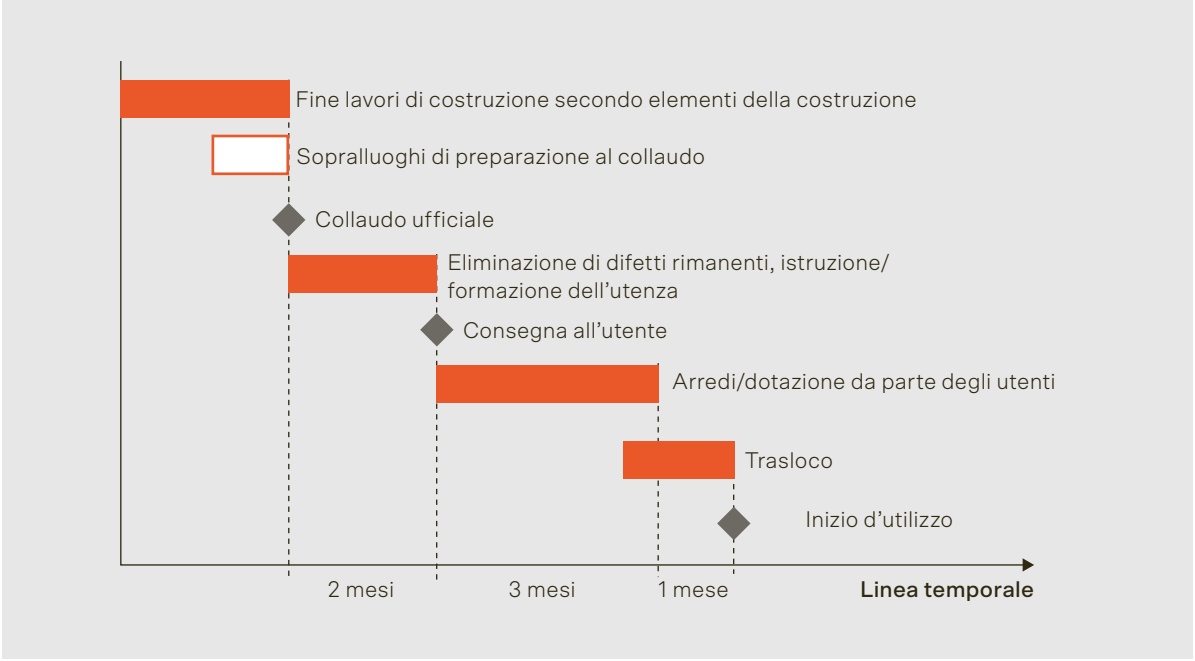


Figura 10.3 Procedura collaudo e messa in funzione. (Fonte: Real Estate und Facility Management, Preuss, N. und Schöne L.B., 2010)

ESTI (Ispettorato federale degli impianti a corrente forte), ASIT (Associazione svizzera ispezioni tecniche), ecc. La Figura 10.3 mostra un possibile programma.
Le tappe come collaudo, passaggio di consegne e messa in esercizio devono essere attentamente pianificate e rispettate da tutte le parti coinvolte. È importante definire da quando inizia legalmente la garanzia per il lavoro svolto. Normalmente avviene dopo il collaudo formale e deve essere registrato nel rapporto di accettazione.
Indicazione: si può cercare di estendere il periodo di garanzia del contratto. È però importante negoziare i contratti con i fornitori di servizi il prima possibile. I documenti di revisione corretti con tutti i dati rilevanti degli impianti sono solo l'inizio di un processo di gestione efficace ed efficiente. La direttiva per la manutenzione SWKI 95-2 funge da base per lo sviluppo di un manuale di istruzioni.
Le imprese specializzate dovrebbero sostenere la clientela per quanto riguarda la manutenzione regolare sulla base di queste linee guida. In tal caso sono da seguire i seguenti punti:
- Il concetto di manutenzione dovrebbe essere affrontato nella fase di pianificazione sotto forma di un preventivo.
- Il concetto dovrebbe essere elaborato al più tardi dopo l'installazione degli impianti tecnici nell'ambito dell'edilizia.
- Eventuali impianti tecnici dell'edificio esistenti devono essere integrati in questo nuovo concetto di manutenzione.

I proprietari o gli utenti possono fare eseguire interventi di manutenzione solamente da personale qualificato o da aziende specializzate.

10.8 Documentazione dell'impianto

Affinché informazioni e dati importanti siano disponibili presso l'impianto, in genere dovrebbe essere creato un classificatore dell'impianto con il seguente materiale informativo per ciascun sistema.
- Indirizzi dell'impresa e del punto di assistenza, rispettivamente anche per le indicazioni di malfunzionamento
- Basi di calcolo del sistema a pompa di calore, dati di base e calcolo del rendimento del generatore di calore
- Dati tecnici della pompa di calore, pompe di circolazione, ecc.
- Per gli impianti con sonde geotermiche: rapporto di dimensionamento

Procedure di gestione della garanzia	
Procedura-Obiettivo	I difetti, coperti dalla garanzia, vengono riparati dal produttore rispettivamente dai fornitori
Unità di misura Procedura a monte	Numero di casi di garanzia mancati Collaudo
Procedura successiva	Nessuna
Prestazioni	– Seguire i termini di prescrizione – Verificare i diritti ai difetti e rivendicarli – Perseguire l'eliminazione dei difetti – Eseguire le misure di garanzia
Breve descrizione	Nella procedura «gestione della garanzia» i termini di garanzia vengono registrati e monitorati. Se si verifica un difetto durante il periodo di garanzia, questo viene segnalato immediatamente dopo l'individuazione e definito un termine per la riparazione. L'esecuzione della riparazione viene monitorata e la risoluzione del difetto viene verificata. Se malgrado il sollecito non viene riparato il difetto, il gestore può far riparare il difetto e addebitare i costi sostenuti al produttore oppure far valere un'eventuale garanzia bancaria esistente. Prima della scadenza del periodo di garanzia per i lavori più grandi, si consiglia di effettuare l'accettazione della garanzia.

Tabella 10.1: Definizione del processo di «gestione della garanzia». (Fonte: ProLeMo – Prozess-Leistungsmodell im Facility Management von CRB)

delle sonde geotermiche secondo SIA 384/6, profilo di perforazione dell'azienda di trivellazione e piano con la disposizione delle sonde
- Negli impianti con pompe di calore aria/acqua: disposizione (installazione) e verifiche acustiche
- Protocollo di messa in funzione del fornitore PdC
- Protocollo di messa in funzione della ditta di installazione, incluso protocollo di bilanciamento dei flussi di massa e calcoli delle perdite di pressione
- Istruzioni per l'uso di tutti i componenti importanti
- Schema di principio e schema elettrico
- Licenza edilizia, autorizzazioni dell'azienda elettrica e per la posa delle sonde geotermiche
- Diversi

Capitolo 11

Esercizio

11.1 Esercizio e controllo delle prestazioni

Gli strumenti di misura installati sull'impianto dovrebbero rendere possibile il controllo dei parametri d'esercizio. La messa in funzione viene eseguita normalmente a determinate condizioni quadro. Per questo motivo, nel caso di condizioni differenti, è importante controllare l'impianto in base alla funzionalità e all'efficienza energetica. Ciò non vale unicamente per la fase dopo la messa in funzione – eventuali modifiche all'impianto non devono passare inosservate.

11.2 Controllo dell'esercizio

Il personale deve svolgere dei controlli regolari dell'esercizio. Le letture dei dati dell'impianto, svolte a intervalli regolari, sono da riportare nel protocollo d'esercizio. Questa operazione è utile quale strumento per la verifica dell'efficienza (COP) e come riferimento per l'esecuzione di lavori di manutenzione. Il criterio di valutazione più importante per il controllo dell'esercizio di un impianto a PdC è rappresentato dal CLA e dal grado d'utilizzazione annuo dell'impianto di produzione di calore (GSC/GSS), per la PdC e il riscaldamento ausiliario. Tuttavia, questi possono essere determinati solo se sono disponibili i corrispondenti dati di misurazione del consumo energetico della pompa di calore, comprese le unità ausiliarie e l'energia termica fornita. Interessanti indicazioni sul funzionamento dell'esercizio delle pompe di calore vengono fornite anche dal numero di avvii del compressore, che possono essere registrati e letti nella maggior parte delle pompe di calore prodotte sul mercato. Per piccoli e grandi impianti devono essere monitorati anche i tempi d'esercizio di eventuali resistenze elettriche. Per le pompe di calore salamoia-acqua è consigliabile controllare regolarmente la temperatura minima nel circuito della salamoia.

11.3 Manutenzione

In generale
Per garantire un esercizio sicuro e senza interruzioni dell'impianto a pompa di calore, è da garantire una manutenzione periodica. Questo può avvenire mediante:
- contratti di manutenzione o
- prolungamento di garanzia (con le corrispondenti prestazioni di servizio tecnico)

Si consideri che per la manutenzione delle parti dell'impianto, per le quali si entra in contatto con il liquido frigorifero, il personale necessita di una «autorizzazione speciale per la manipolazione di refrigeranti».

Quaderno di manutenzione
Per tutti gli apparecchi e gli impianti con più di 3 kg di refrigerante, indipendentemente dal tipo di fluido, deve essere compilato un registro di manutenzione.

Controllo della tenuta stagna
Va svolto regolarmente un controllo della tenuta stagna per tutti gli apparecchi e gli impianti con più di 3 kg di refrigerante, che distrugge lo strato d'ozono o che rimane stabile nell'aria (vedi anche le «Istruzioni relative a impianti stazionari e apparecchi che contengono prodotti refrigeranti. Registro di manutenzione, controllo della tenuta stagna, obbligo di notifica»).
Per impianti compatti, chiusi in modo permanente, (definizione secondo SN EN 378, per es. collegamenti saldati nel circuito di raffreddamento) valgono scadenze più lunghe.

11.4 Esercizio ottimale

Un impianto che viene gestito in modo ottimale, di regola non presenta anomalie d'esercizio, e necessita di conseguenza ancora meno energia, riducendo così i costi d'esercizio ed eventualmente portando a un clima più confortevole. Nella messa in funzione spesso vengono fissate delle condizioni di esercizio e alcune impostazioni (ad es. la curva di riscaldamento) in funzione di valori d'esperienza. Solo durante l'esercizio è possibile ottimizzare le impostazioni dell'impianto, ovvero adattarlo alle reali necessità. L'ottimizzazione delle impostazioni è quindi un'operazione da ripetere ciclicamente, poiché le condizioni d'uso cambiano spesso nel corso del tempo. Gli obiettivi di ottimizzazione dell'impianto sono fondamentalmente: impostazione ottimale dell'impianto tecnico, fornitura di energia al livello di temperatura necessaria, erogazione di energia nel momento effettivamente necessario, raggiungimento della massima efficienza possibile nella produzione e nella distribuzione del calore. Allo stesso tempo, devono sempre essere rispettate le norme di sicurezza e igiene.
Indicazione: l'ottimizzazione dell'esercizio è un servizio aggiuntivo che deve essere richiesto dal committente in conformità con il modello di prestazioni SIA 112.

Concetto di ottimizzazione dell'esercizio

Nell'ottimizzazione energetica dell'esercizio (OEe), si distinguono tre livelli di intervento (fonte: SvizzeraEnergia):

- **Esercizio normale:** ottimizzazione dell'esercizio tramite verifiche, registrazioni e miglioramento delle impostazioni degli impianti (regime). Non è richiesto alcun investimento se non per la regolare manutenzione. Inoltre non è necessario nessun know-how

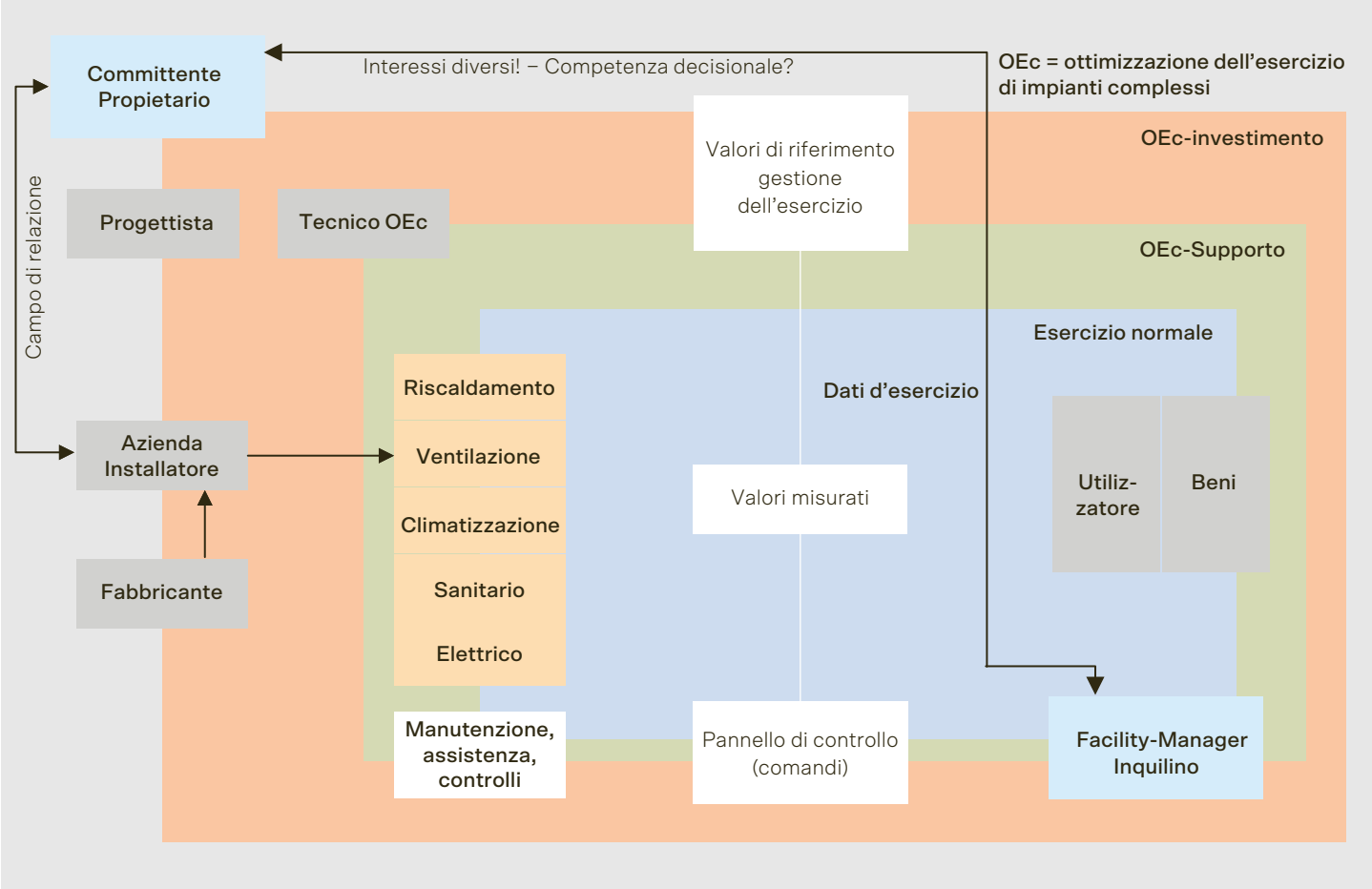


Figura 11.1: Il modello OEc a tre livelli mostra le figure coinvolte collegate e i circuiti rilevanti per il concetto (OEc). (Fonte: Principi di base per l'ottimizzazione energetica dell'esercizio delle installazioni complesse (OEc), UFE 2002

nell'ottimizzazione dell'esercizio o un tecnico esterno specializzato.
- **Supporto (OEe):** ottimizzazione dell'esercizio mirato, basato su valutazioni e misurazioni specifiche; misure immediate con un investimento minimo (circa 3000 franchi); deve essere consultato un tecnico OEe.
- **Investimento (OEe):** ottimizzazione dell'esercizio attraverso investimenti mirati. Un'attenta analisi degli impianti, scegliendo delle misure con il maggiore potenziale di risparmio o il miglior rapporto costi-benefici, costituisce la base per ulteriori interventi (incluso il bilancio). Gli investimenti di ottimizzazione dell'esercizio si realizzano al meglio quando è imminente la ristruttura-
  zione o la sostituzione di singoli componenti. È però importante coinvolgere tutte le parti interessate per l'implementazione del piano di intervento.

Molti attori sono implicati nell'ottimizzazione dell'esercizio e tutti dovrebbero essere coinvolti per un'efficace implementazione.

Il quaderno tecnico SIA 2048:2015 è un valido aiuto per le ottimizzazioni energetiche d'esercizio (OEe) di impianti tecnici di edifici.
A questo proposito possono essere rappresentate sotto forma di processo, come illustrato nella Figura 10.2.
Il quaderno tecnico SIA 2048:2015 distingue tra l'ottimizzazione energetica d'esercizio dopo la consegna e l'operazione costante e ripetuta nel tempo. La differenza sostanziale è che non sono disponibili dati operativi misurati all'inizio dell'ottimizzazione dell'esercizio.
- L'obiettivo dell'ottimizzazione energetica d'esercizio subito dopo la consegna dipende dai seguenti fattori: controllare la stabilità dei vari circuiti di controllo in funzionamento dinamico; controllare le sequenze di controllo (ad es. riscaldamento, recupero di calore, raffreddamento) in funzionamento dinamico; analizzare e testare durante il funzionamento effettivo (ad es. mediante un'analisi delle tendenze) le regole di comportamento di impianti controllati su richiesta (ad es. convertitori di frequenza, commutatori di prese, circuiti a cascata); controllare la

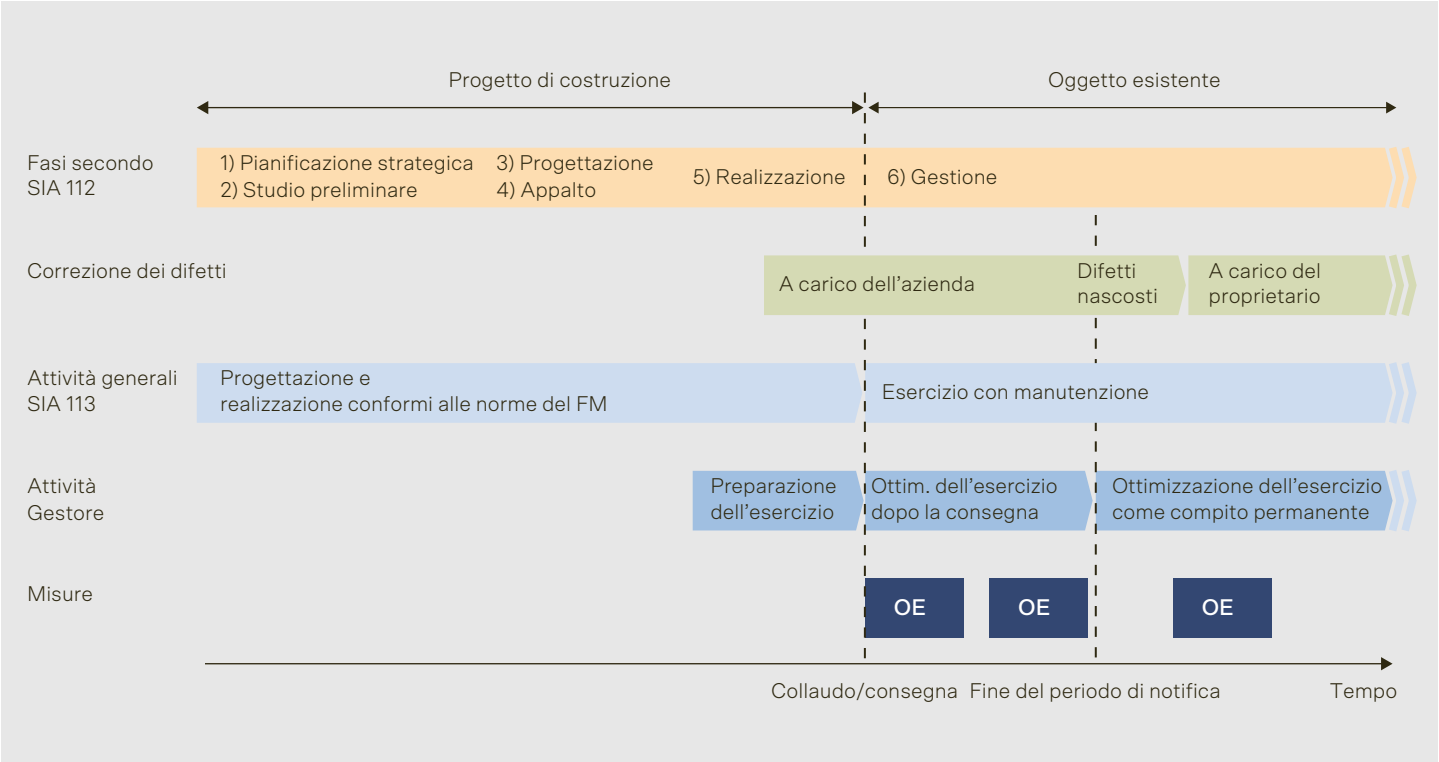


Figura 11.2: Processo di ottimizzazione energetica dell'esercizio. (Fonte: Andreas Genkinger, dal quaderno tecnico SIA 2048)

funzione e gli indicatori di efficienza energetica degli impianti energeticamente rilevanti (ad es. refrigeratori, recupero di calore, pompe di calore, sfruttamento del calore residuo, impianti solari); migliorare le curve di riscaldamento e di raffreddamento; ottimizzare il bilanciamento idraulico.

Indicazione: prestare attenzione anche alla messa in esercizio e al mantenimento della registrazione dei valori misurati. In particolare, deve essere verificata la plausibilità dei valori misurati. Si è dimostrato utile redigere e controllare i bilanci energetici. Come compito permanente sono previste almeno le seguenti attività:

- Valutazione dei dati energetici rilevanti e confronto con i valori di riferimento; controlli periodici sull'esercizio e sugli indicatori di efficienza energetica dei relativi sistemi di recupero di calore (ad es. uso del calore di condensazione nella combustione dei gas di scarico) nonché sull'utilizzo di impianti di energia rinnovabile (ad es. impianti solari, pompe di calore); misure per aumentare l'efficienza energetica e il suo impatto; identificazione dei provvedimenti durante le ristrutturazioni (incluso il controllo delle prestazioni); analisi delle tendenze e misurazioni temporanee.

Il quaderno tecnico SIA contiene anche una lista di controllo di quali dati, se presenti, devono essere raccolti. I punti più importanti sono qui parzialmente menzionati:

- Anno di costruzione dell'impianto (ed eventuali ristrutturazioni)
- Dati del contatore dei gestori di rete e rispettivamente delle utenze (elettrici – se possibile separatamente per le pompe di calore –, gas, petrolio, teleriscaldamento, acqua): idealmente gli ultimi tre anni con valori settimanali (oppure come minimo valori mensili o annuali). Nel caso di grandi acquirenti, il gestore di rete (società del gas o dell'energia elettrica) fornisce i valori ogni quarto d'ora in modo elettronico sotto forma di tabella.
- Dati del contatore privato
- Letture aggiornate del contatore
- Dati di esercizio (ad es. ore di funzionamento per stadi del bruciatore, sistemi di ventilazione, pompa di calore, ecc.).
- Generatore di calore (supplementare)

Per la valutazione e l'analisi delle pompe di calore e delle macchine del freddo, vengono inoltre controllati i seguenti punti:

- Refrigerante utilizzato
- Raffreddamento utilizzato rispettivamente temperature dell'acqua fredda, necessità di regolazione di quest'ultime
- Temperature in memoria
- Simultaneità della refrigerazione, distribuzione del freddo, accumulo del freddo (considerare i tempi di avviamento)
- Concentrazione di antigelo nelle condotte di ritorno del raffreddamento
- Compressore con inverter
- Avviatore statico
- Sistemi di raffreddamento, recupero del calore
- Temperature di condensazione ed evaporazione
- Tempi di esercizio (per stadio del compressore)
- Riduzione o spegnimento esercizio (notte, fine settimana, festività, vacanze), regolazione preliminare
- Punto di esercizio, carico parziale di rendimento e pieno carico
- Freecooling (senza refrigerazione), esercizio misto
- Controllo in sequenza in diversi impianti di refrigerazione
- Pulizia dei componenti

Catalogo delle misure: vedere «Principi base per l'esercizio ottimale delle installazioni complesse» (in tedesco e francese).

Misure per settore specialistico. Qui vengono indicate le possibili misure di ottimizzazione e il loro potenziale di risparmio.

11.5 Guasti e risoluzione dei problemi

Ogni pompa di calore deve essere salvaguardata da situazioni indesiderate. Le principali cause di inconvenienti sono mostrate nella Figura 11.3.

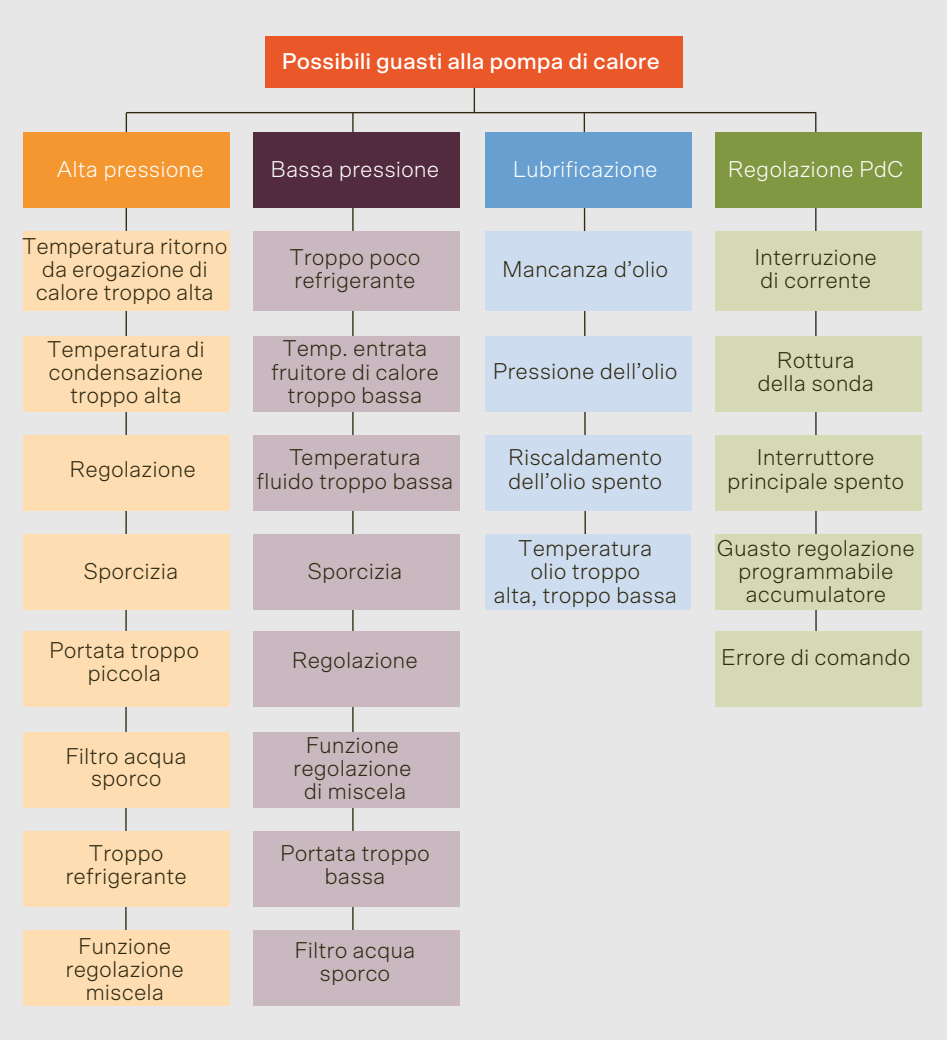


Figura 11.3: Possibili guasti e cause di guasto in impianti con pompe di calore.

Capitolo 12

Impianti per potenze più elevate

12.1 Informazioni generali

Gli impianti a pompa di calore con potenze termiche superiore a 20 kW coprono diverse applicazioni. Si differenziano a seconda dell'uso, dello scopo di impiego, dal livello di temperatura, dalla capacità di funzionamento a carico parziale e dalle funzionalità richieste. Vengono spesso utilizzati per il riscaldamento e il raffreddamento degli edifici, per la produzione di acqua calda sanitaria, ma sempre più spesso anche per generare calore di processo nell'industria.

Gli edifici di dimensioni maggiori possono richiedere da 20 a 350 kW di potenza termica e eventualmente anche di più. Nelle applicazioni industriali e di processo, come la produzione di vapore, vengono impiegati impianti speciali fino all'ordine dei MW. In questi casi spesso ha luogo un'integrazione di processo, in cui la pompa di calore è inserita nell'intero concetto operativo. Valori di potenza simili si riscontrano anche negli impianti di teleriscaldamento e di riscaldamento di prossimità, un'altra applicazione importante.

La Figura 12.1 mostra la distribuzione delle potenze termiche installate, nei rispettivi intervalli di potenza per caldaie a olio e a gas, nonché per le pompe di calore, vendute nel 2024. Se ne evince che le applicazioni con potenze inferiori a 20 kW sono state in gran parte realizzate con pompe di calore. Per potenze più elevate, il fabbisogno è stato spesso coperto con caldaie a olio e a gas. In futuro questa quota potrebbe essere ridotta grazie alla maggiore produzione, offerta e utilizzo di pompe di calore di maggiore potenza.

12.2 Integrazione

Negli impianti con potenza maggiore e con un elevato numero di ore di funzionamento, la corretta integrazione nel sistema di riscaldamento è ancora più importante, poiché viene richiesta una potenza elettrica elevata per lunghi periodi. Ciò comporta consumi energetici elevati, che possono generare costi di esercizio significativi. Pertanto, in questi impianti è particolarmente importante garantire la massima efficienza operativa. Le pompe di calore mal integrate non sono in grado di compensare le carenze di un sistema di approvvigionamento

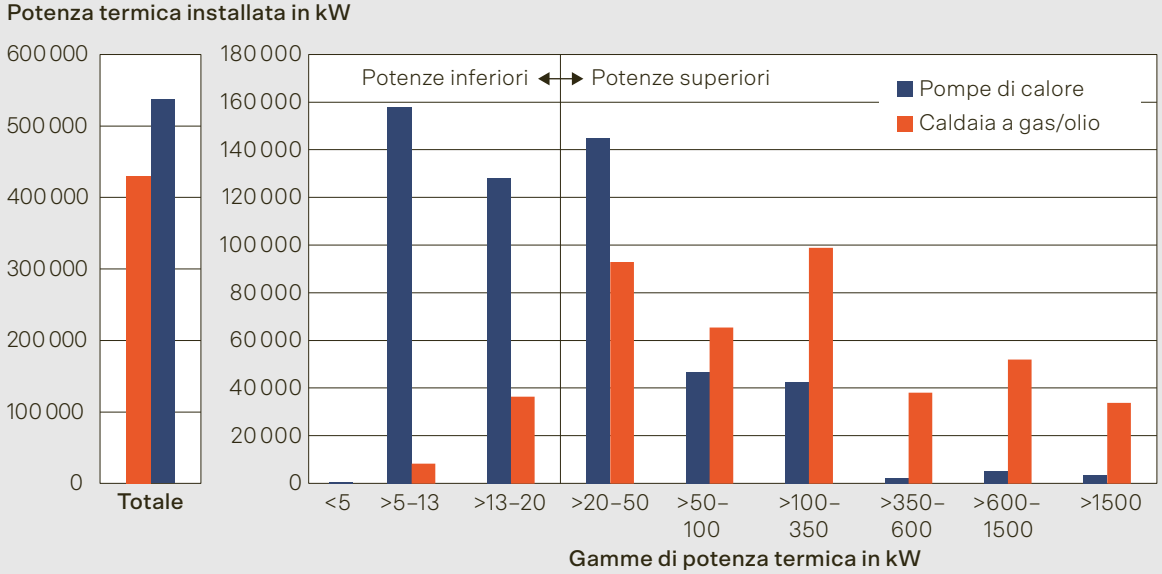


Figura 12.1: Confronto tra le potenze termiche installate delle caldaie a olio e a gas e quelle delle pompe di calore nell'anno fiscale 2024, ordinato per gruppi di potenza. *Sono state assunte potenze termiche medie paria a 4, 10, 17, 40, 80, 260, 500, 1200, 1800 kW e moltiplicate per il numero di apparecchi venduti. (Fonte: FHNW/INEB)

termico. La buona capacità di adattamento della pompa di calore alle condizioni operative (temperatura della sorgente e di scarico, nonché portate) rappresenta un vantaggio dal punto di vista operativo. Uno svantaggio di questa caratteristica è invece che i guasti dell'impianto vengono «attenuati» dalla pompa di calore. La macchina riscalda e funziona senza guasti, ma consuma più energia elettrica del necessario e ha una durata di vita inferiore. Spesso questo viene individuato tardi o non viene individuato affatto. Per questo motivo sono importanti confronti regolari con i dati di progetto e ottimizzazioni dell'esercizio.
Le pompe di calore devono quindi essere assolutamente integrate correttamente nell'impiantisitca dell'edificio. Per gli impianti più piccoli, che rappresentano la quota di mercato maggiore, sono disponibili componenti standard coordinati, raccomandazioni e linee guida. Questo aiuta a configurare, dimensionare, installare e mettere in funzione gli impianti in modo ottimale, garantendone un funzionamento efficiente e durevole. Vi rientrano: procedure di garanzia della qualità, strumenti di dimensionamento, schemi e circuiti idraulici standard predefiniti, documentazione e checklist, e altro ancora, come specificato per il PdC MS per potenze termiche fino a 15 kW. Queste specifiche sono riconosciute dai progettisti e ben applicate dagli installatori.
Per gli impianti con pompa di calore di dimensioni maggiori si applicano raccomandazioni e linee guida molto simili. In linea di principio, i requisiti tecnici del PdC MS sono quindi applicabili agli impianti semplici fino a 100 kW.
Mentre con il PdC MS è stato possibile introdurre soprattutto standard per gli schemi idraulici, specifiche per gli accumulatori, criteri di dimensionamento e checklist ecc., le pompe di calore di dimensioni maggiori sono spesso soggette a requisiti più complessi e specifici. Per questo motivo vengono spesso realizzate come soluzioni personalizzate. L'integrazione di una macchina in un processo industriale è particolarmente complessa quando è necessario operare con carichi parziali e temperature diverse. Per tutte le applicazioni vale il presupposto secondo cui il progetto dell'impianto deve integrare un concetto di sicurezza.
Le pompe di calore di dimensioni maggiori vengono spesso utilizzate in:
- edifici singoli
- sistemi di approvvigionamento termico per complessi edilizi
- sistemi di teleriscaldamento e reti di prossimità
- applicazioni industriali (calore, freddo)

12.3 Edifici singoli

Le applicazioni per gli edifici singoli comprendono l'erogazione di calore per il riscaldamento e l'acqua calda sanitaria, e di freddo per il raffreddamento e la climatizzazione degli edifici. Negli edifici residenziali, si tratta principalmente di coprire il fabbisogno termico. Negli edifici commerciali, amministrativi, industriali e negli stabilimenti produttivi, è richiesta anche la fornitura di freddo. È tuttavia prevedibile e presumibile che, a causa del riscaldamento climatico, le applicazioni di raffreddamento aumenteranno anche negli edifici residenziali. L'utilizzo contemporaneo della potenza dell'evaporatore e del condensatore rappresenta l'applicazione più efficiente della pompa di calore.
Il comportamento termico di un edificio dipende da vari fattori, quali la struttura e la costruzione dell'edificio, tipologia di facciata, le condizioni meteorologiche e gli impianti tecnici.
Prima di poter affrontare interventi di ottimizzazione energetica, è indispensabile avere una buona conoscenza del comportamento termico dell'edificio. Questo consente da un lato di fornire consulenza agli inquilini sul comportamento energetico e di migliorare il comfort, e dall'altro di ridurre i costi energetici e, idealmente in primo luogo, di ridurre il fabbisogno termico migliorando l'involucro dell'edificio. In tale contesto è necessa-

rio ricercare sempre un compromesso nella scelta della soluzione a pompa di calore più adeguata o del concetto di rinnovo dell'impianto di riscaldamento.

Importanti e in parte decisivi sono anche fattori quali:
- lo spazio disponibile nell'edificio,
- la disponibilità e l'integrazione di fonti, rispettivamente di dissipatori di calore,
- il comportamento dell'edificio in termini di carico termico,
- le possibilità di posa delle condotte,
- i requisiti in materia di isolamento acustico e
- i requisiti in materia di efficienza.

Le soluzioni sono più o meno facili da realizzare a seconda che si tratti di ristrutturazioni o di nuove costruzioni. Le condizioni locali sono spesso determinanti, soprattutto in caso di ristrutturazioni, e lo spazio disponibile è spesso limitato.
Nelle nuove costruzioni, le applicazioni di riscaldamento con sistemi di emissione a basse temperature (massimo 35 °C), sono molto efficienti. In caso di ristrutturazioni e sostituzione di impianti di riscaldamento, sono spesso necessarie temperature di mandata più elevate, riducendo così l'efficienza.
Le potenze nominali delle pompe di calore per edifici plurifamiliari di medie dimensioni sono comprese tra 30 e 100 kW per gli edifici esistenti e tra 15 e 50 kW per le nuove costruzioni ben isolate. Negli edifici commerciali e industriali i valori sono generalmente più elevati.
Nella produzione e distribuzione di acqua calda sanitaria è difficile ottenere un'efficienza elevata, a causa delle alte temperature richieste nei punti di prelievo. Si verificano perdite di calore durante la distribuzione e perdite di efficienza nella stratificazione del serbatoio di accumulo dovute alla circolazione. Pertanto, l'impianto deve essere ben progettato e il funzionamento ottimizzato in termini di efficienza.

Qui si pone la questione della produzione centralizzata o decentralizzata di acqua calda sanitaria. È opportuno valutare una separazione funzionale tra riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria a favore di una maggiore efficienza. Va tenuto presente che in Svizzera la produzione di acqua calda sanitaria comporta un consumo rilevante di energia elettrica, poiché molti edifici sono dotati di boiler elettrici. Sostituendoli con pompe di calore per acqua calda sanitaria, il consumo energetico potrebbe essere notevolmente ridotto. Ciò non solo risulta vantaggioso per i gestori degli impianti, ma è anche indispensabile per ottenere risparmi energetici importanti durante l'inverno.

Varianti esecutive negli edifici singoli

Pompe di calore aria-acqua installate all'esterno come apparecchi singoli: nelle classi di potenza superiore, gli apparecchi singoli sono disponibili come prodotti standard fino a ca. 100 kW. In alcuni casi vengono offerti anche dispositivi originariamente progettati per il raffreddamento. Gli apparecchi progettati specificamente per la generazione di calore sono in genere leggermente più efficienti. Richiedono particolare attenzione le emissioni sonore, poiché, a causa dell'elevato flusso d'aria, gli apparecchi risultano ben udibili. Per ottenere l'attestato di protezione fonica potrebbero essere necessarie misure di isolamento acustico. Sono possibili anche soluzioni con collegamento in cascata di apparecchi a potenza ridotta, che possono complessivamente risultare più silenziosi di un apparecchio di grandi dimensioni.
Per ulteriori informazioni vedere il Capitolo 8 «Acustica e protezione fonica».

Pompe di calore aria-acqua installate all'esterno, in cascata con più unità di piccola potenza: piccoli apparecchi standard configurati in cascata vengono collegati in parallelo. La potenza viene regolata accendendo e spegnendo gli

apparecchi e tramite eventuali inverter presenti. Il corretto controllo delle singole macchine è garantito da un sistema di controllo sovraordinato. In questo caso è importante prestare attenzione alla ripartizione del carico degli apparecchi, che devono tutti raggiungere approssimativamente lo stesso numero di ore di funzionamento.
Quando sono in funzione più pompe di calore contemporaneamente, le emissioni sonore si sommano. L'effetto può essere più o meno marcato a seconda del tipo di installazione, dell'orientamento e della distanza dei singoli apparecchi. Anche in questo caso, è possibile che l'attestato di protezione fonica si possa ottenere solo adottando speciali misure di isolamento acustico. A carico parziale, di norma non funzionano contemporaneamente tutti gli apparecchi.

Pompe di calore aria-acqua installate sul tetto come apparecchi singoli: sui tetti piatti vengono di norma utilizzati apparecchi di dimensioni maggiori. Oltre alle emissioni sonore, è necessario considerare il rumore strutturale. Per isolare acusticamente gli apparecchi, questi devono essere collocati su supporti morbidi in gomma o molle. Le linee di collegamento devono essere flessibili, in modo da non trasmettere il rumore; una prassi che si applica in generale a tutti gli impianti a pompa di calore.
Il collegamento idraulico all'eventuale impianto di riscaldamento esistente può rivelarsi complesso. In caso di sostituzione dell'impianto di riscaldamento, spesso è necessario un collegamento più lungo fino al locale caldaia. Nelle nuove costruzioni, si può prevedere un'installazione in posizione elevata delle pompe di calore già in fase di progettazione.

Pompe di calore aria-acqua installate sul tetto in cascata con più unità di dimensioni ridotte: valgono le medesime considerazioni degli apparecchi singoli installati a pavimento. Il collegamento idraulico avviene in parallelo; la separazione avviene tramite valvole di intercettazione o di ritegno. Il sistema di controllo sovraordinato deve garantire il comando master-slave delle singole macchine. In termini di rumore strutturale, valgono le medesime considerazione degli apparecchi singoli installati sul tetto.

Apparecchi aria-acqua installate internamente con allaccio ai condotti: in questo caso, il raccordo di ventilazione per l'aspirazione e lo scarico dell'aria deve avere dimensioni sufficienti a evi-



Figura 12.2: Sul tetto di un edificio storico nella zona industriale The Valley, viene installata una pompa aria-acqua reversibile. (Fonte: CTA AG/ EKZ)

tare velocità di flusso e rumori eccessivi. Le emissioni sonore dell'apparecchio e del ventilatore devono essere ridotte ai valori consentiti, se necessario utilizzando silenziatori per condotti dell'aria. In caso di rinnovo, devono essere previsti lo spazio e le aperture necessari per i condotti di ventilazione. L'implementazione risulta più semplice nelle nuove costruzioni, poiché le misure possono essere previste a monte in fase di progettazione.

Scambiatori di calore ad aria installati sul tetto, circuito intermedio a salamoia e pompa di calore salamoia-acqua nell'edificio: questa soluzione viene spesso scelta per edifici commerciali o industriali, poiché è facilmente scalabile e può essere realizzata in modo flessibile. La pompa di calore con i compressori quali principali sorgenti di rumore, si trova nell'edificio. La soluzione è quindi facilmente controllabile dal punto di vista acustico e delle vibrazioni. In questo caso occorre prestare particolare attenzione affinché il trasferimento supplementare di calore al fluido del circuito intermedio avvenga con un gradiente termico ridotto. Solo in questo modo è possibile limitare la riduzione di efficienza dovuta al salto di temperatura leggermente superiore della pompa di calore. Questa soluzione è particolarmente indicata in caso di fabbisogno simultaneo di calore e raffrescamento.
La soluzione con circuito intermedio offre numerose possibilità di integrazione idraulica, ad es. collettori solari fotovoltaici-termici (FVT), sonde geotermiche (SG) e sistemi di accumulo a di ghiaccio. Gli accumulatori di ghiaccio sono una soluzione interessante quando un'applicazione di raffrescamento in estate viene coperta tramite prelievo di energia invernale dell'accumulatore stesso. In questo caso l'accumulatore viene scongelato, ovvero ricaricato.

Pompa di calore salamoia-acqua con collegamento sonda geotermica (SG): si tratta di una delle soluzioni più efficienti , ma spesso anche più costose in termini di investimento per una determinata potenza. Nella definizione delle possibili soluzioni, dovrebbe comunque essere presa in considerazione anche questa ipotesi. Se il proprietario dell'impianto ne è anche l'utilizzatore, il calcolo dei costi totali evidenzia i vantaggi di questa soluzione. A seconda della zona edificabile o di protezione delle acque, le SG possono però non essere autorizzate.
I concetti più diffusi prevedono l'impiego di unità singole oppure configurazioni in cascata con più apparecchi di piccola potenza, al fine di gestire diversi livelli di carico o garantire la ridondanza operativa. La pompa di calore salamoia-acqua è impegnativa dal punto di vista acustico negli edifici con potenze più elevate, che richiedono la limitazione della trasmissione del rumore strutturale. La trasmissione del rumore aereo può essere limitata con un adeguato isolamento acustico della centrale termica.
A fronte dell'evoluzione dei refrigeranti, come il crescente utilizzo del propano R290, stanno comparendo sul mercato sempre più apparecchi per installazione esterna. Questo risulta vantaggioso in termini di protezione antincendio e antiesplosione. Si stanno però delineando delle soluzioni anche per gli apparecchi per installazione interna, non complessi in termini di requisiti di sicurezza. Vi rientrano i rilevatori di gas e la ventilazione forzata, oltre ad altri metodi che portano la concentrazione di gas propano nell'aria al di sotto del limite di infiammabilità.

Pompa di calore acqua-acqua con utilizzo di acqua di lago, acqua di falda, acque reflue o calore residuo: le pompe di calore acqua-acqua raggiungono la massima efficienza quando funzionano con temperature di sorgente più elevate: acqua di lago, acqua di falda, acque reflue o calore residuo. Pertanto, è sempre opportuno verificare se tali sorgenti siano disponibili nelle vicinanze e se possano essere integrate.

12.4 Progetti costruttivi

Sono disponibili diversi concetti di realizzazione. Si distingue principalmente in base al luogo di installazione delle pompe di calore per le diverse prestazioni e i livelli di temperatura richiesti e a seconda che una pompa di calore venga utilizzata per il riscaldamento e la produzione di acqua calda o se la funzione venga suddivisa su più sistemi.

Produzione di calore centralizzata: di norma si garantisce ad es. che l'edificio più lontano venga rifornito con una temperatura sufficiente. Negli impianti riscaldati a olio e a gas, la temperatura minima di mandata veniva impostata in base all'edificio che richiede le temperature più elevate o che si trova più lontano. Negli impianti a pompa di calore, i livelli di temperatura o il salto di temperatura sono determinanti per l'efficienza. Nella valutazione del sistema può essere necessario trovare una soluzione speciale per l'edificio più lontano, ad esempio sotto forma di pompa di calore booster.
Quando un impianto di riscaldamento esistente alimentato con combustibili fossili viene sostituito con una soluzione a pompa di calore, è necessario verificare come e dove devono essere svolte le nuove funzioni, come nell'esempio che segue: un complesso edilizio esistente viene riscaldato in modo centralizzato con una caldaia a olio collocata nel locale tecnico. L'acqua calda viene prodotta tramite boiler elettrici nei singoli edifici o appartamenti. Il nuovo progetto prevede una pompa di calore salamoia-acqua con SG come sorgente.
Se i sistemi di emissione del calore negli edifici sono adatti a basse temperature di mandata, anche la temperatura di mandata dalla centrale può essere mantenuta bassa. Se anche l'acqua calda viene preparata e accumulata a livello centralizzato, ad es. con la stessa macchina, bisogna prestare attenzione all'igiene della distribuzione. A tal fine può risultare necessaria una circolazione con sistemi di riscaldamento ausiliari, che garantiscano una temperatura sufficiente dell'acqua in circolazione. Tuttavia, ciò richiede solitamente una quantità considerevole di energia, che riduce notevolmente l'efficienza dell'intero sistema.

Produzione centralizzata di calore per il riscaldamento e produzione decentralizzata di acqua calda: in questo caso, viene utilizzata una pompa di calore centralizzata solo per la produzione di calore per il riscaldamento. La produzione e l'accumulo di acqua calda avvengono in modo decentralizzato nei singoli edifici. A tale scopo vengono utilizzate pompe di calore decentralizzate che prelevano energia dal circuito di riscaldamento, dall'aria esterna o dall'impianto a SG.

Produzione decentralizzata di calore: una variante consiste nella sostituzione di una pompa di calore centralizzata con più pompe di calore decentralizzate nei singoli edifici e collegate allo stesso impianto a SG. Queste pompe di calore possono anche produrre l'acqua calda per il relativo edificio. Si tratta di una soluzione con sorgente SG condivisa. Per scegliere il sistema, è necessario confrontare le varie opzioni in termini di efficienza, fattibilità, complessità, costi di investimento, produzione di calore, gestione e manutenzione.

Tabella 12.1: Categorie di reti di riscaldamento a distanza e di prossimità con i livelli di temperatura usuali per diversi scopi.

Categoria	Livello di temperatura del circuito caldo (t_{cc})
Rete ad alta temperatura	$t_{cc} \geq 60\,°C$
Rete a bassa temperatura	$60\,°C > t_{cc} \geq 0\,°C$
– Riscaldamento	$60\,°C > t_{cc} \geq 30\,°C$
– Preriscaldamento	$30\,°C > t_{cc} \geq 20\,°C$
– Raffreddamento, anergia	$20\,°C > t_{cc} \geq 0\,°C$

12.5 Sistemi di riscaldamento a distanza e di prossimità

Nei sistemi di riscaldamento a distanza e di prossimità, l'applicazione prevede la fornitura generale di calore per diversi scopi, a seconda degli edifici collegati e del loro utilizzo. Si distingue tra reti ad alta e bassa temperatura, mentre le reti a bassa temperatura si suddividono in reti per il riscaldamento, il preriscaldamento e il raffreddamento/reti anergetiche. Le temperature sono indicate in Tabella 12.1.
I sistemi di riscaldamento a distanza e di prossimità con pompe di calore sono particolarmente efficienti se è possibile utilizzare contemporaneamente anche il freddo. I valori di potenza sono elevati e, oltre ai compressori a pistoni e a vite, vengono utilizzati sempre più spesso anche turbocompressori senza olio con cuscinetti magnetici, che sono particolarmente adatti per salti termici ridotti. Le reti anergetiche sono soluzioni efficienti quando è possibile abbinare utilizzi diversi, come riscaldamento e raffreddamento, con accumulatori a SG stagionali.

12.6 Applicazioni industriali

Le applicazioni industriali costituiscono una categoria particolare. Spesso sono necessarie temperature di emissione più elevate, da 70 a oltre 150 °C. Alcune applicazioni richiedono temperature superiori a 200 °C. Queste applicazioni rappresentano circa il 20 % del fabbisogno energetico totale. Le applicazioni odierne sono spesso realizzate con caldaie alimentate a combustibili fossili, che dovranno essere sostituite nei prossimi anni.
In questo caso è necessario utilizzare pompe di calore ad alta temperatura, perlopiù dimensionate e prodotte su misura. L'efficienza di tali pompe di calore è inferiore a causa dell'elevato salto di temperatura. Se gli impianti sono integrati in modo intelligente nei processi, è comunque possibile ottenere buoni livelli di efficienza complessiva del sistema. La Figura 12.3 mostra i livelli di efficienza raggiungibili. I valori COP si basano su una temperatura sorgente ipotetica di 40 °C e sono indicati in funzione del salto di temperatura e dei gradi di qualità (Carnot 100 %, 60 %, 45 % e 30 %).

12.7 Progettazione e realizzazione

Il campo di applicazione di una pompa di calore determina i requisiti in termini di potenza e funzionalità in relazione ai settori industria, commercio, edilizia residenziale o teleriscaldamento. Per la progettazione è necessario conoscere in modo adeguato i cicli di carico del fabbisogno di riscaldamento e raffreddamento. Le curve di durata annuale derivate vengono poi utilizzate per la scelta del sistema relativamente alla copertura del carico di banda, parziale e di picco, tenendo conto di un eventuale punto di bivalenza. Si definisce così il numero di pompe di calore e le relative potenze più adatte all'applicazione, e la sorgente da utilizzare. Il campo di applicazione delle pompe di calore deve essere coordinato e devono eventualmente essere modificati per l'applicazione i circuiti di raffreddamento. L'analisi delle interfacce fornisce la base per l'integrazione dell'im-

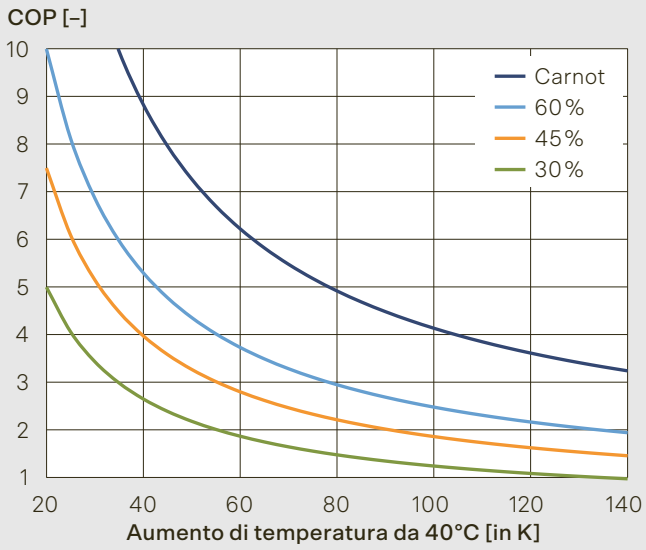


Figura 12.3: Valore COP ottenibile con pompe di calore ad alta temperatura in funzione del grado di qualità Carnot e del salto di temperatura. (Fonte: FHNW/INEB)

pianto nei sistemi di riscaldamento esistenti inclusi il collegamento agli accumuli e l'integrazione dei sistemi di controllo e regolazione.
La configurazione inizia con la scelta degli elementi seguenti

- sorgente di calore (aria, acqua di falda, acqua di lago, terreno, calore residuo, calore di processo, ecc.)
- compressore (potenza, salto di temperatura, campo di applicazione) e
- refrigerante (compatibilità ambientale, valore GWP, infiammabilità, campo di applicazione, ecc.)

A seconda del concetto, è possibile integrare sorgenti diverse. Ciò può avvenire ad es. in base alla stagionalità, all'efficienza o alla disponibilità.
Segue il dimensionamento della potenza dal calcolo del carico termico con le temperature di mandata e di ritorno richieste. L'eventuale richiesta simultanea di caldo e freddo aumenta il grado di rendimento del sistema. Il comportamento a carico parziale necessario deve essere definito e verificato. I principali criteri di valutazione sono l'efficienza e l'adempimento delle funzioni.
È necessario elaborare un concetto idraulico con accumulatori tampone, valvole miscelatrici, di commutazione e di non ritorno, pompe, strumenti quali contatori termici e punti di misurazione della temperatura. A tal fine vengono definite le dimensioni degli accumulatori, le portate e le perdite di pressione per il dimensionamento delle pompe, e vengono selezionati i relativi componenti.
La tecnica di accumulo svolge un ruolo centrale per l'efficienza e la regolabilità dei sistemi a pompa di calore. Gli accumulatori tampone servono a disaccoppiare la produzione e il prelievo di calore, e riducono il funzionamento a intermittenza della pompa di calore. Gli accumulatori a strati consentono una stratificazione efficiente della temperatura, vantaggiosa per i sistemi con temperatura della sorgente variabile, ad es. nella combinazione con pompa di calore e solare termico.
Le pompe ad alta efficienza (IIE <0,23) con regolazione a pressione differenziale o a velocità variabile riducono il consumo energetico della circolazione.
Deve essere tuttavia garantita la portata minima della pompa di calore secondo le indicazioni del produttore. I sistemi di mantenimento della pressione, come i vasi di espansione a membrana o le pompe di mantenimento della pressione, stabilizzano la pressione di esercizio e garantiscono così un funzionamento efficiente.



Figura 12.4: Questa pompa di calore ad acqua di falda della centrale energetica Badus alimenta una rete di teleriscaldamento a Coira. (Fonte: CTA AG/ IBC Energie Wasser Chur)

Nell'analisi di redditività vengono raccolti ed elaborati i costi del ciclo di vita (costi di investimento e di esercizio), il tempo di ammortamento, tenendo conto di eventuali incentivi e altri fattori per la valutazione dell'impianto. Per ottenere le autorizzazioni è necessario soddisfare i requisiti ambientali, le norme edilizie e le condizioni di allacciamento alla rete. Per ulteriori informazioni, vedere i capitoli da 6 a 8 (allacciamento, acustica, progettazione).

Progettazione, installazione, concetto di sicurezza, autorizzazioni
La scelta del luogo di installazione deve essere valutata in base alla collocazione (all'interno dell'edificio o all'aperto), allo spazio necessario e all'accessibilità per la manutenzione. L'installazione dei componenti deve essere progettata con cura.
Il refrigerante previsto riveste un ruolo importante nella progettazione dell'impianto. Il concetto di sicurezza definisce le misure necessarie da attuare durante l'esecuzione. In ogni caso, è necessario ottenere le autorizzazioni per l'uso del refrigerante.

Progettazione dell'alimentazione elettrica, monitoraggio e comunicazione
Per quanto riguarda l'infrastruttura elettrica, è necessario sviluppare il collegamento alla rete, i concetti relativi ai trasformatori e alle protezioni, nonché definire i sistemi di controllo e regolazione. È necessario monitorare i dati principali, quali la potenza termica, la potenza elettrica assorbita, il COP, le temperature di sorgente e di scarico. La raccolta dei dati di misurazione, la registrazione dei dati e la comunicazione devono essere pianificate con cura e in primo luogo concordate con il gestore. Vi rientrano la metodologia di misura, la sicurezza dei dati, la visualizzazione, l'automazione, il controllo remoto, la manutenzione remota, i tipi di bus di campo e molto altro.
Contestualmente alla progettazione dell'alimentazione elettrica, vengono stabiliti anche i punti di installazione dei contatori elettrici. Per determinare in modo affidabile indicatori quali COP, CLA o il rendimento globale del sistema, i punti di installazione devono essere scelti in base alla Figura 1.7.
Lo stesso vale per i contatori di calore ed eventualmente di freddo, che consentono di misurare anche le prestazioni di riscaldamento e raffreddamento. Vedere anche il Capitolo 9.8, «Strumenti di misura», che vengono presi in considerazione nella progettazione idraulica.

Installazione e montaggio
La pompa di calore deve poter essere imessa, ovvero devono essere presenti le aperture necessarie nell'edificio e i dispositivi di sollevamento. In caso di ristrutturazioni e sostituzione dell'impianto di riscaldamento, ciò può comportare interventi significativi sulla struttura dell'edificio. Il luogo di installazione viene preparato secondo le specifiche del produttore della pompa di calore. In questo caso, i punti essenziali sono ad es. le fondamenta, lo scarico della condensa e la possibilità di drenaggio dell'acqua di condensa.
Per quanto riguarda l'impianto idraulico e le tubazioni, viene realizzato il circuito previsto, viene presa in considerazione la scelta dei materiali e vengono eseguiti l'isolamento/la coibentazione e la protezione anticorrosione. L'isolamento acustico viene realizzato secondo la progettazione.

Messa in funzione
Le pompe di calore di grandi dimensioni vengono sempre messe in funzione in più fasi. Prima di mettere in funzione il compressore, vengono sfiatati e attivati i circuiti di sorgente e di scarico, e vengono controllate le funzioni delle valvole e delle pompe. Solo successivamente viene avviato il compressore. La relativa potenza assorbita e le temperature di sorgente e di scarico vengono registrate secondo la checklist.
Un'operazione importante è rappresentata dal bilanciamento idraulico dell'impianto. L'obiettivo è quello di garantire

valori ottimali di portata e differenza di temperatura. Senza questa misura, l'impianto funzionerebbe con temperature troppo elevate per garantire un apporto sufficiente di calore (o di freddo) anche alle utenze critiche, come i locali angolari o quelli più lontani.
Seguono poi i test elettrici: vengono verificati i dispositivi di sicurezza, la regolazione e la comunicazione con il sistema di automazione dell'edificio. Contemporaneamente viene controllata l'efficienza e vengono adeguati i parametri nell'ottica di una prima ottimizzazione del funzionamento. Per ulteriori informazioni, vedere il Capitolo 10 «Messa in funzione»; le spiegazioni ivi contenute si riferiscono alle pompe di calore di piccole e medie dimensioni, ma alcune possono essere applicate in modo analogo anche a quelle di dimensioni maggiori.

Ottimizzazione del funzionamento e manutenzione

Un'ottimizzazione efficace del funzionamento richiede il monitoraggio con acquisizione e analisi dei dati a lungo termine. L'efficienza può essere aumentata modificando la temperatura di mandata, la portata volumetrica, la strategia di accumulo e la gestione del carico.
Le possibilità di manutenzione remota consentono di individuare e risolvere eventuali malfunzionamenti. Una manutenzione regolare, comprendente interventi quali la pulizia dei filtri e degli scambiatori di calore, il controllo dei refrigeranti e l'ispezione di pompe e valvole, garantiscono il funzionamento efficiente.
Adattamenti a lungo termine del sistema devono essere sempre verificati. Tra questi rientrano l'ottimizzazione dei tempi di funzionamento e l'integrazione dei sistemi, ad es. con un impianto fotovoltaico. Per ulteriori informazioni, vedere il Capitolo 11 «Esercizio».

Capitolo 13

Casi esemplari

13.1 Impianti di piccole dimensioni

Per impianti di piccole dimensioni (fino a circa 15 kW) nell'edilizia residenziale, i seguenti schemi di funzionamento si sono dimostrati affidabili ed efficienti dal punto di vista energetico. Questi sono i circuiti di base, come richiesto dal modulo di sistema per pompe di calore. Vengono presentate le seguenti varianti idrauliche:

Esempio	Pagina
Senza accumulatore per il riscaldamento, senza produzione di acqua calda sanitaria	134
Senza accumulatore per il riscaldamento, con produzione di acqua calda sanitaria	134
Accumulatore per il riscaldamento in serie, senza produzione di acqua calda sanitaria	135
Accumulatore per il riscaldamento in serie, con produzione di acqua calda sanitaria	135
Accumulatore per il riscaldamento in parallelo, senza produzione di acqua calda sanitaria	136
Accumulatore per il riscaldamento in parallelo, con produzione di acqua calda sanitaria	137
Accumulatore per il riscaldamento in parallelo, con supporto solare per produzione di acqua calda sanitaria	137

Senza accumulatore per il riscaldamento, senza produzione di acqua calda sanitaria

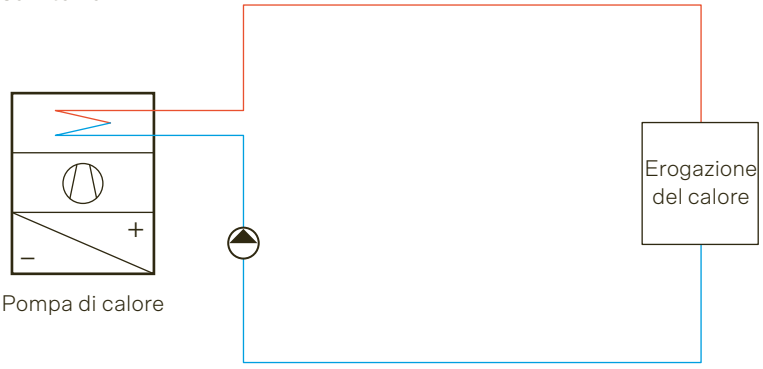


Figura 13.1: Lo schema idraulico più semplice.

Nel caso dei sistemi di riscaldamento a pavimento, il pavimento può essere utilizzato come massa di accumulo termico: non è (assolutamente) necessario un impianto di stoccaggio tecnico per colmare l'eventuale periodo di sospensione dell'azienda elettrica. L'impianto idraulico è impostato con temperature di mandata alle condizioni di progetto inferiori a 30 °C, che vengono gestite senza la regolazione individuale del locale (uso dell'effetto autoregolante). Con temperature di mandata maggiori, per Legge è richiesta la regolazione in ogni singolo locale. In questo caso deve essere mantenuta la portata minima richiesta della pompa di calore, ad esempio tramite una valvola differenziale di pressione collegata in parallelo all'erogazione del calore.

Senza accumulatore per il riscaldamento, con produzione di acqua calda sanitaria

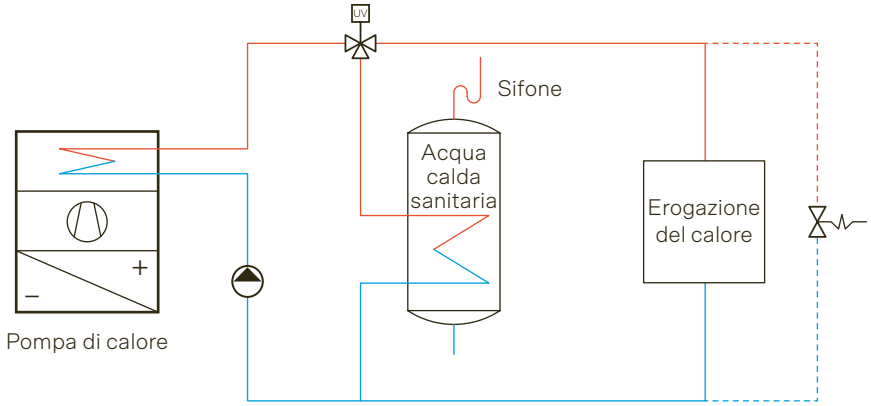


Figura 13.2: Una configurazione frequente (produzione di acqua calda sanitaria in parallelo al riscaldamento dei locali).

Quando possibile, una pompa di calore dovrebbe provvedere sia al riscaldamento dei locali che a quello dell'acqua calda sanitaria. La commutazione non è un problema con una valvola a tre vie. Da tener presente che per le pompe di calore non modulanti (ovvero, non in grado di modulare la potenza), la potenza di riscaldamento nel funzionamento estivo (produzione di acqua calda) è quasi il doppio di quella invernale. Ciò richiede una superficie di scambio termico sufficientemente grande per lo scambiatore di calore nell'accumulatore dell'acqua calda sanitaria. Idealmente, questo dovrebbe essere di 0,4 m^2/kW, in base alla potenza massima della pompa di calore. La valvola differenziale di pressione garantisce inoltre il mantenimento di una portata minima della pompa di calore negli impianti di distribuzione del calore con valvole termostatiche (regolazione individuale dei locali).

Accumulatore per il riscaldamento in serie, senza produzione di acqua calda sanitaria

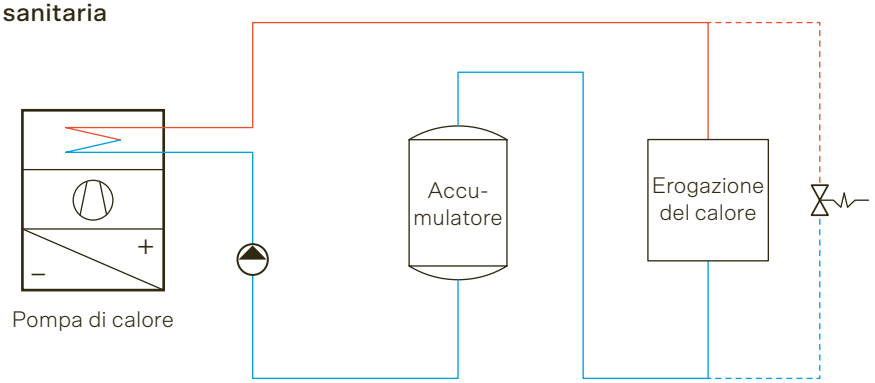


Figura 13.3: Accumulatore per il riscaldamento in serie per piccoli edifici.

Una bassa quantità d'acqua nell'impianto di riscaldamento (riscaldamento con corpi riscaldanti, piccoli oggetti con riscaldamento a pavimento) porta a frequenti cicli di accensione e spegnimento della pompa di calore. Questo può essere evitato con un accumulatore in serie. L'accumulatore dovrebbe essere scelto in base alle indicazioni del produttore e il più piccolo possibile. Se lo sbrinamento della pompa di calore aria-acqua avviene tramite inversione di ciclo, è necessaria una capacità maggiore, poiché il calore viene estratto dal sistema di riscaldamento durante la modalità sbrinamento. Se la quantità d'acqua sul lato riscaldamento è troppo bassa, nel peggiore dei casi il condensatore può congelare e quindi scoppiare.

Accumulatore per il riscaldamento in serie, con produzione di acqua calda sanitaria

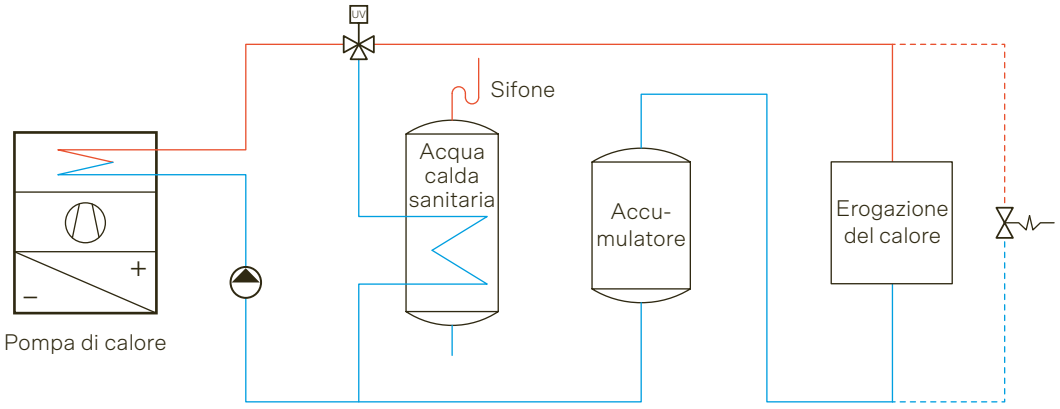


Figura 13.4: Accumulatore per il riscaldamento in serie con produzione di acqua calda sanitaria a monte.

Lo schema corrisponde al sistema «accumulatore per il riscaldamento in serie, senza produzione di acqua calda sanitaria», ma con in aggiunta il riscaldamento dell'ACS. Dal lato delle pompe di calore, l'integrazione dell'accumulatore di acqua calda sanitaria dovrebbe avvenire prima dell'accumulatore in serie per il riscaldamento. In caso contrario, durante la carica dell'acqua calda sanitaria, anche l'acqua nell'accumulatore in serie verrebbe riscaldata, fino ad un livello di temperatura troppo alto.

Accumulatore per il riscaldamento in parallelo, senza produzione di acqua calda sanitaria

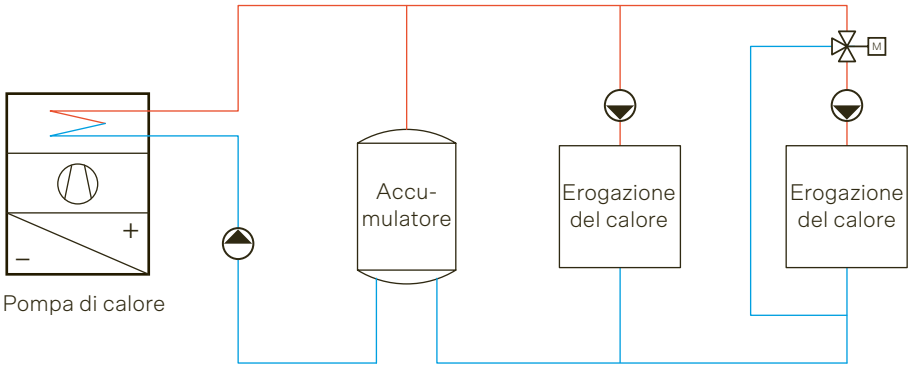


Figura 13.5: Accumulatore che consente il disaccoppiamento idraulico.

Il circuito idraulico comporta, oltre all'accumulo di energia, un disaccoppiamento idraulico tra il circuito primario di carico e il circuito secondario (pompa di calore e sistema di distribuzione del calore) attraverso l'accumulatore di acqua per il riscaldamento integrato in parallelo. La pompa di calore può quindi funzionare indipendentemente dall'erogazione del calore. A differenza delle soluzioni con accumulatori in serie a pagina 89 , sono necessarie diverse pompe di circolazione, una nel circuito primario e una per ogni circuito secondario (gruppi di riscaldamento). L'accumulatore assicura il mantenimento della portata minima della pompa di calore e assume così il ruolo delle valvole differenziali di pressione integrate nelle soluzioni precedenti. Per potersi adattare al fabbisogno termico (ad es. regolazione singola per locale dell'erogazione del calore), le pompe di circolazione dei gruppi di riscaldamento devono essere tuttavia regolate in base alla pressione (pompe di circolazione a velocità controllata).
Se più gruppi di riscaldamento con requisiti di temperatura diversi (ad es. corpi riscaldanti e riscaldamento a pavimento) sono collegati sul lato utenza (come mostrato in figura), il gruppo con i requisiti di temperatura più bassi richiede una regolazione separata (come mostrato nello schema: circuito di miscelazione). Il gruppo con le temperature di mandata più elevate viene «gestito» direttamente dalla centralina della pompa di calore. La portata primaria (uscita della pompa di calore) viene convogliata direttamente ai gruppi di riscaldamento e collegata all'accumulatore tramite un tubo di derivazione, ma non viene convogliata attraverso l'accumulatore. Questo permette di evitare che la mandata della pompa di calore si mescoli se la temperatura dell'accumulatore è più bassa. La perdita di carico della linea di diramazione deve essere mantenuta la più bassa possibile. La portata nel circuito primario (di carica) deve essere maggiore di quella dei circuiti secondari.

Accumulatore per il riscaldamento in parallelo, con produzione di acqua calda sanitaria

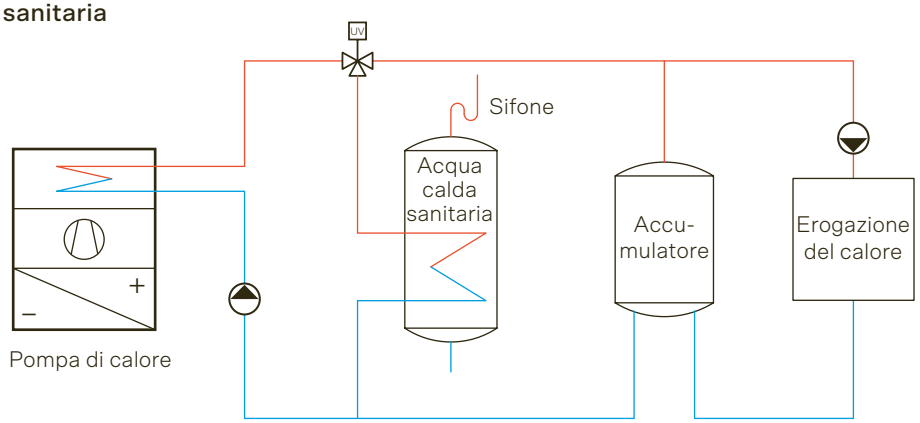


Figura 13.6: Scaldacqua, accumulatore ed erogazione del calore in ordine di precedenza.

Come per la soluzione con accumulatore per il riscaldamento in serie, è necessario integrare il riscaldamento supplementare dell'acqua calda sanitaria davanti al serbatoio di accumulo dell'acqua di riscaldamento. In caso contrario, il tampone di riscaldamento verrebbe caricato con temperature inutilmente alte ad ogni processo di caricamento di acqua calda. Per le pompe di calore con pompe di circolazione incorporate, le portate e le prevalenze devono corrispondere alle condizioni dell'impianto. Una portata errata può aumentare l'oscillazione della temperatura nella PdC e quindi ridurne l'efficienza: ad esempio, un aumento di temperatura di 2 K comporta una riduzione dell'efficienza del 3 %.

Accumulatore per il riscaldamento in parallelo, con supporto solare per produzione di acqua calda sanitaria

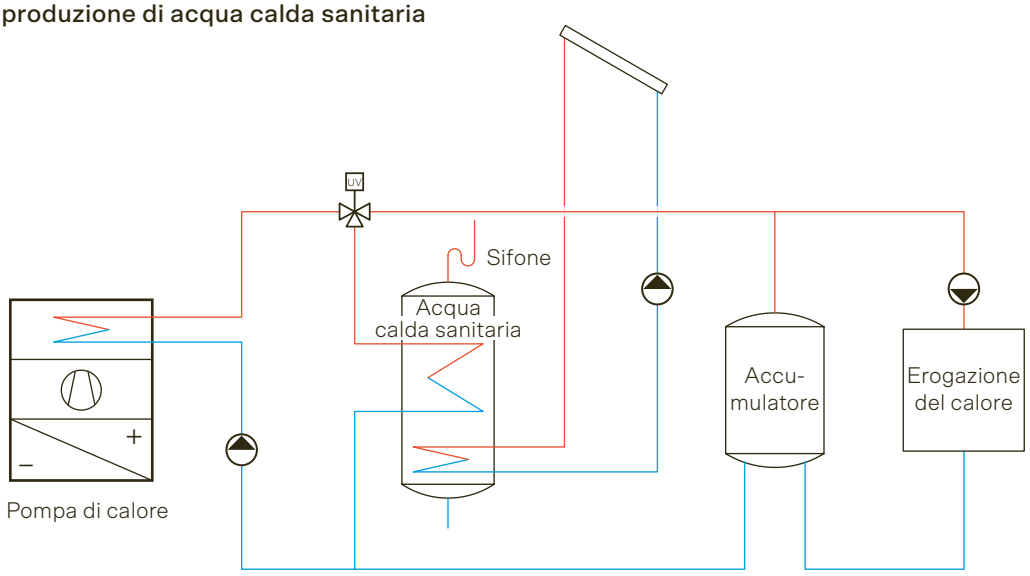


Figura 13.7: L'integrazione del solare termico deve essere fatta con accuratezza.

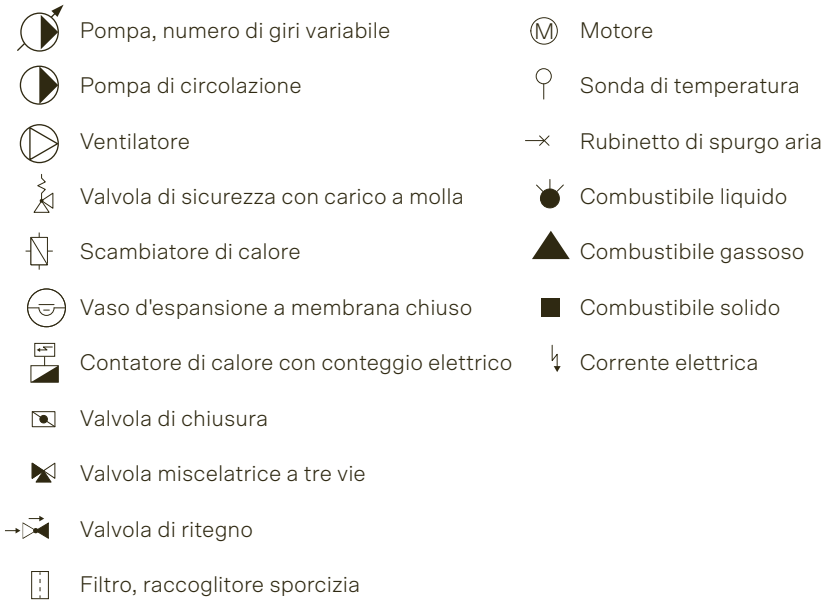
Il funzionamento di una PdC per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria, con in aggiunta il supporto del solare termico, è una soluzione sofisticata che deve essere adeguatamente progettata. Deve essere innanzitutto garantito il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria con energia solare. Pertanto, lo scambiatore di calore del circuito solare nell'accumulatore dell'acqua calda deve essere in una posizione inferiore (più in basso) rispetto allo scambiatore del riscaldamento della PdC. La superficie di quest'ultimo deve essere adatta alla PdC, cioè sufficientemente grande. Anche il controllo di entrambe le fonti di calore deve essere ben gestito (priorità all'impianto solare).

13.2 Impianti più complessi

Questo paragrafo presenta alcuni esempi di impianti per lo più grandi e complessi. Va considerato che gli impianti complessi devono essere progettati con molta attenzione. Tali impianti non vanno inoltre sottovalutati dal punto di vista della regolazione e – anche per ragioni di costo – sono adatti solo per oggetti con fabbisogno elevato di riscaldamento rispettivamente raffreddamento.

Esempio	Pagina
Impianto a pompa di calore geotermica	139
Impianto a pompa di calore ad acqua di falda con caldaia a gasolio	140
Recupero di calore dalle acque reflue per il riscaldamento di acqua potabile	141
Impianto a pompa di calore aria-acqua con caldaia a legna	142
Combinazione di pompa di calore geotermica, macchina del freddo e caldaia	143
Produzione di ACS o ACP tramite stazioni di acqua fresca	145

Simboli



Impianto a pompa di calore geotermica

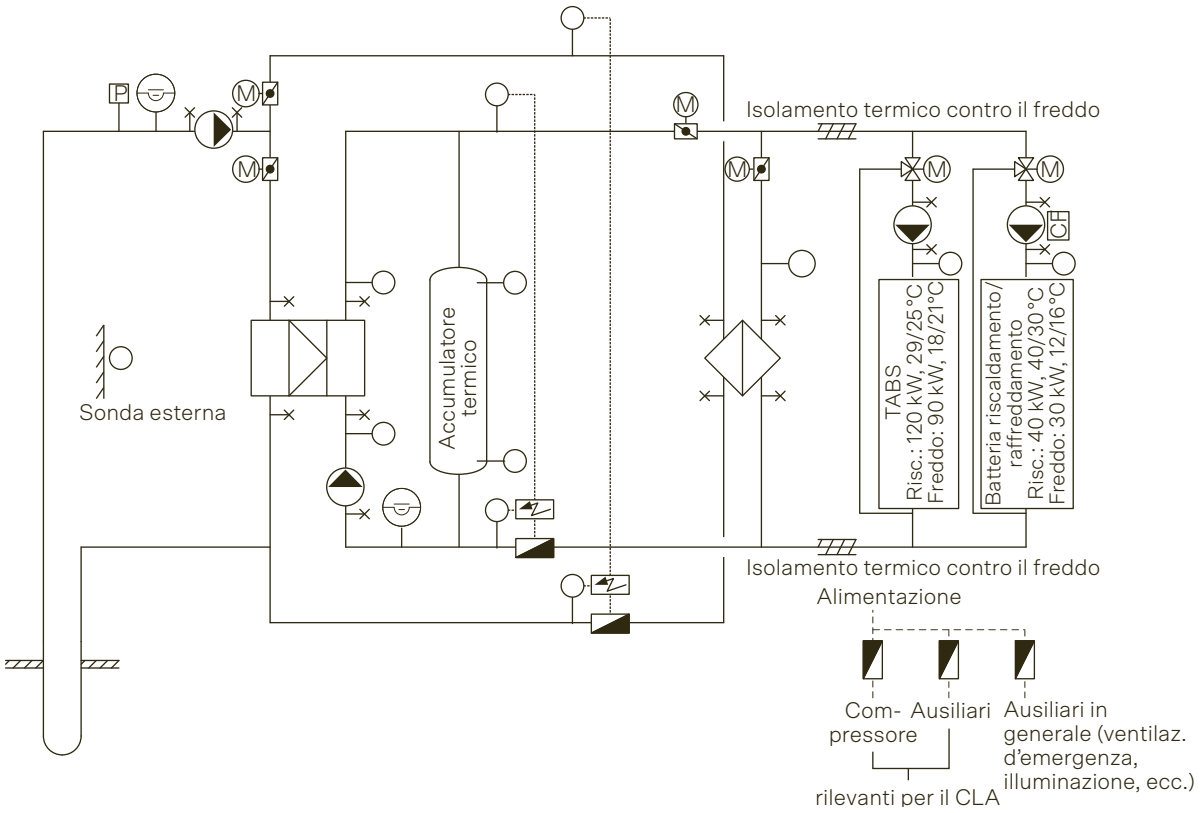


Figura 13.8: Sonde geotermiche, pompa di calore e TABS per il riscaldamento degli stabili, senza pompa di calore per il raffreddamento.

Oggetto: edificio amministrativo

Scelta del sistema: il fabbisogno di energia per il riscaldamento viene coperto mediante un impianto a pompa di calore geotermica. L'erogazione del calore avviene con un sistema ad attivazione della massa (TABS). Lo stesso sistema permette il raffreddamento dell'edificio amministrativo. Il raffreddamento viene eseguito mediante esercizio in freecooling con le sonde geotermiche (geocooling).

Da osservare in particolare

- I consumi di energia per il riscaldamento e il raffreddamento sono da considerare separatamente.
- Il dimensionamento delle batterie di riscaldamento e di raffreddamento.
- La rete frigorigena è da isolare contro la diffusione del vapore per evitare la condensa.
- L'accessibilità al luogo di perforazione e la posizione di quest'ultimo.
- Le sonde geotermiche sono da dimensionare considerando sia l'esercizio in riscaldamento che in raffreddamento commutabili.
- Per l'esercizio in riscaldamento e in raffreddamento sono da impiegare valvole termostatiche commutabili.

Impianto a pompa di calore ad acqua di falda con caldaia a gasolio

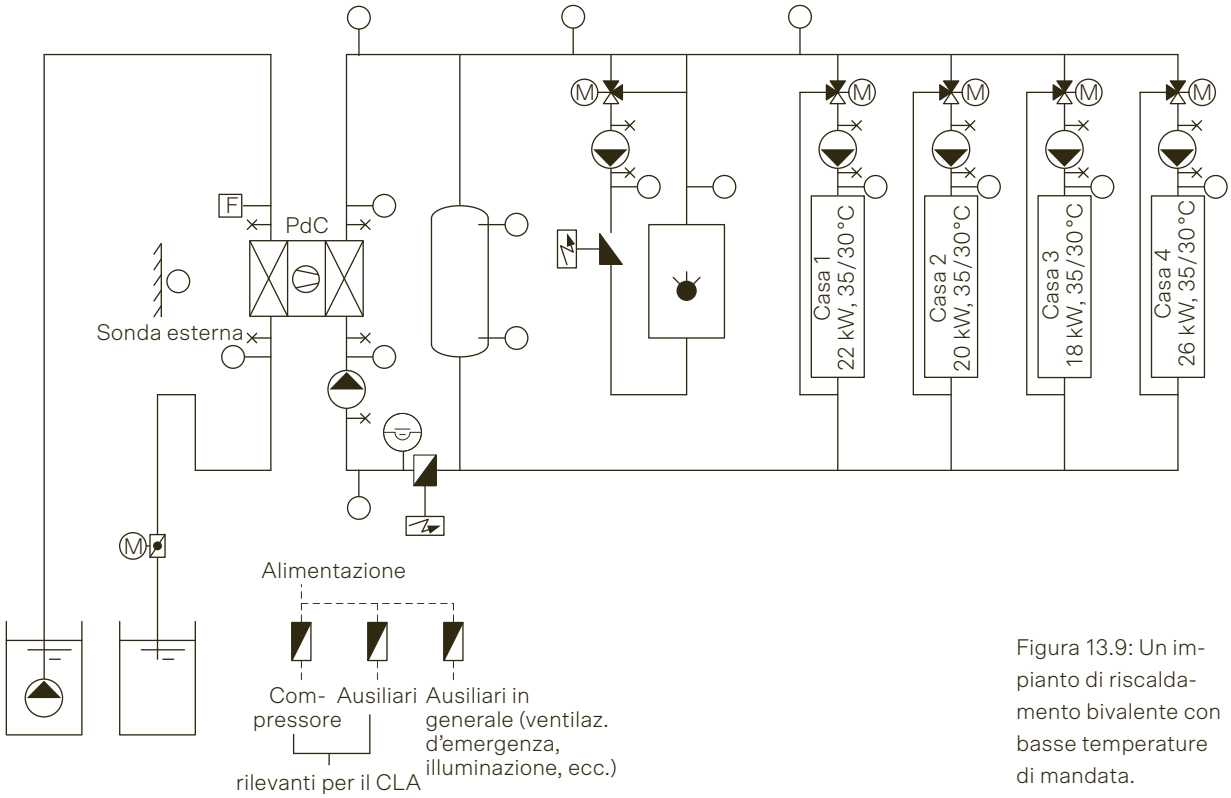


Figura 13.9: Un impianto di riscaldamento bivalente con basse temperature di mandata.

Oggetto: quartiere residenziale

Scelta del sistema: i quartiere residenziale è formato da 4 case plurifamiliari da 6 appartamenti ciascuna. Siccome il terreno si trova in una zona di acqua di falda, la produzione di calore sarà garantita da una pompa di calore acqua-acqua. Per la copertura dei picchi di carico (esercizio bivalente – parallelo), viene impiegata una caldaia a gasolio. L'erogazione di calore avviene mediante riscaldamento a pavimento.

Da osservare in particolare

- Il tempo necessario per la procedura di autorizzazione.
- La qualità dell'acqua di falda riguardo ai parametri fisici e chimici, oltre che alle sostanze presenti, ecc.
- Il dimensionamento della pompa di circolazione dell'acqua di falda.

Recupero di calore dalle acque reflue per il riscaldamento di acqua potabile

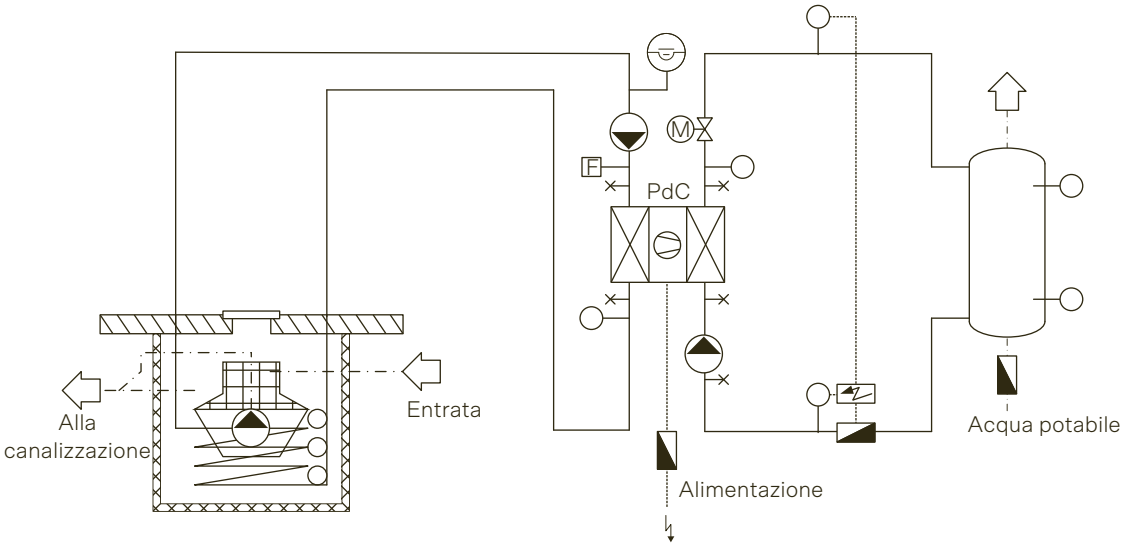


Figura 13.10: Calore dalle acque reflue quale fonte per la pompa di calore.

Oggetto: casa per anziani

Scelta del sistema: il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria avviene principalmente con un impianto a pompa di calore che recupera calore dalle acque reflue. Il pozzo di stoccaggio con lo scambiatore di calore e le pompe di circolazione sono interrate e all'esterno dell'edificio.

Da osservare in particolare

- La quantità di acqua reflua e la sua qualità.
- L'erogazione nel tempo della quantità di acque reflue e il fabbisogno di acqua calda sanitaria.
- La sicurezza contro il gelo di tutte le parti dell'impianto, situate all'esterno dell'involucro dell'edificio.
- L'accessibilità per i lavori di pulizia e manutenzione.

Impianto a pompa di calore aria-acqua con caldaia a legna

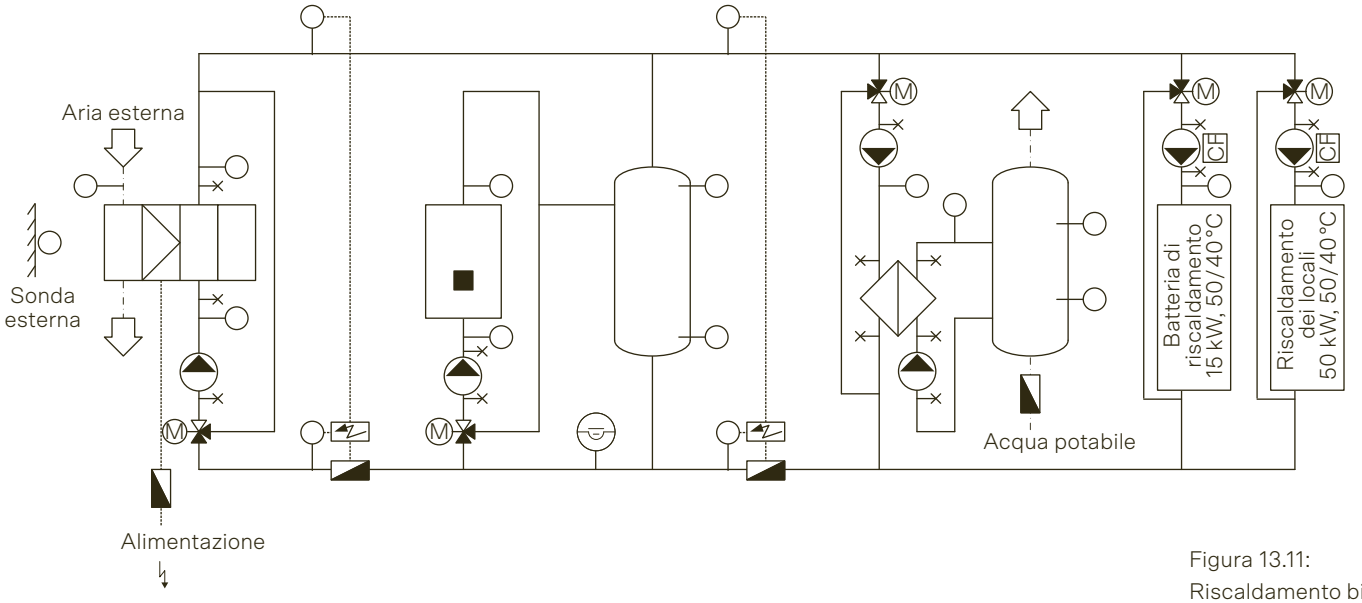


Figura 13.11:
Riscaldamento bivalente con energie rinnovabili.

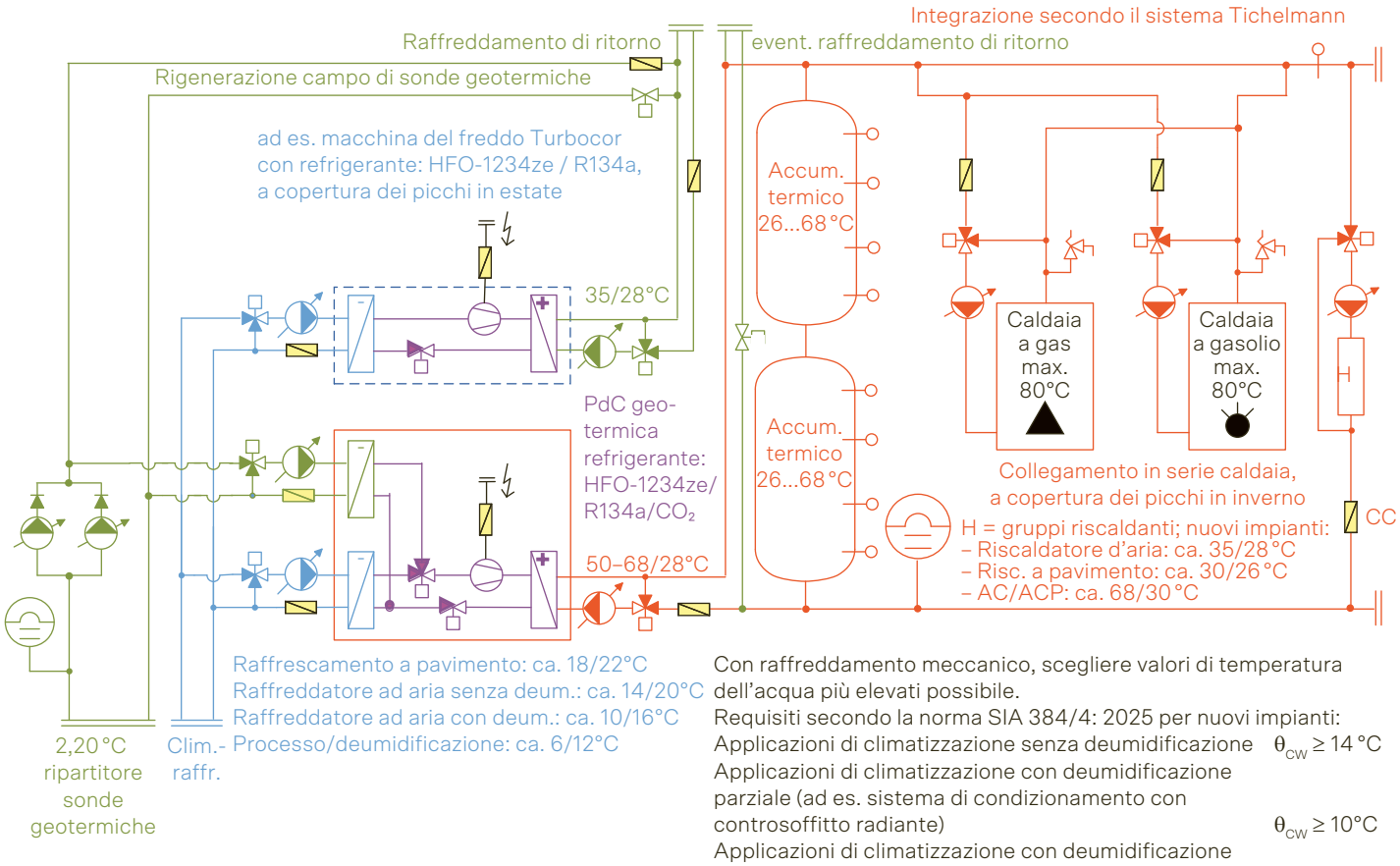
Oggetto: scuola agraria

Scelta del sistema: la scuola agraria vuole essere riscaldata con energie rinnovabili. Siccome la scuola ha a disposizione una propria zona boschiva, il fabbisogno per il riscaldamento verrà coperto mediante un riscaldamento con pezzi di legna. Per la mezza stagione è prevista in aggiunta una pompa di calore aria-acqua, per un esercizio bivalente – alternativo.

Da osservare in particolare

- La separazione idraulica del produttore di calore e l'impianto d'accumulo.
- Le emissioni foniche e non.

Combinazione di pompa di calore geotermica, macchina del freddo e caldaia



Con raffreddamento meccanico, scegliere valori di temperatura dell'acqua più elevati possibile.
Requisiti secondo la norma SIA 384/4: 2025 per nuovi impianti:

Applicazioni di climatizzazione senza deumidificazione	$\theta_{cw} \geq 14$ °C
Applicazioni di climatizzazione con deumidificazione parziale (ad es. sistema di condizionamento con controsoffitto radiante)	$\theta_{cw} \geq 10$°C
Applicazioni di climatizzazione con deumidificazione controllata (climatizzazione di processo)	$\theta_{cw} \geq 6$°C

Oggetti tipici: case di cura e case di riposo, alberghi, cliniche o ospedali

Modalità di riscaldamento durante il semestre invernale: la pompa di calore a sonde geotermiche è dimensionata per il 40 % circa del fabbisogno massimo di energia termica e produce il calore di base per l'edificio. Dal 60 % all'80 % circa del fabbisogno energetico annuo è coperto da questa PdC, compresa acqua calda sanitaria (ACS) o acqua calda potabile (ACP). Le due caldaie si accendono solo quando l'aria esterna raggiunge temperature più basse (sotto – 0 °C).

Modalità di raffreddamento nel semestre estivo: tramite la PdC geotermica, viene prodotta insieme al calore anche il freddo per la climatizzazione. Inoltre, nel periodo di transizione, il fabbisogno di freddo può essere coperto direttamente dalle sonde geotermiche, quindi senza l'utilizzo dei compressori. Solo in caso di temperature esterne più elevate (superiori a 28 °C) e accumulatori di calore pieni, entra in funzione la macchina del freddo per picchi di carico. Produce freddo in modo efficiente dal punto di vista energetico, utilizzando il calore residuo per rigenerare il campo delle sonde geotermiche, invece di disperderlo tramite il raffreddamento di ritorno.

Punti chiave

Pompa di calore a sonda geotermica per la produzione simultanea di caldo e freddo. La rete di raffreddamento funge da prima sorgente di calore, le sonde geotermiche (o l'acqua di falda) come seconde.

Figura 13.12: Impianto combinato con pompa di calore a sonda geotermica, macchina del freddo e caldaia. La pompa di calore fornisce il 40 % della potenza termica massima [kW] e copre ca. l'80 % del fabbisogno termico [kWh] di un edificio di grandi dimensioni.

Refrigerante:
- R744 (CO_2) consigliato in caso di salto di temperatura elevato, come nel riscaldamento dell'acqua da 10 a 65 °C.
- R717 (NH_3) in genere consigliato, ma con investimenti elevati, requisiti di sicurezza e costi di manutenzione
- HFO-1234ze consigliato anche come refrigerante in sostituzione dell'R134a, per compressori Turbocor ad alto COP, specialmente in condizioni di carico parziale.

Raffreddamento di base (o raffreddamento diretto) per mezzo di sonde geotermiche tramite il riscaldamento a pavimento (raffrescamento a pavimento con changeover), tramite raffreddatori a ricircolo d'aria dei server e ICT e raffreddamento di ritorno del freddo industriale.

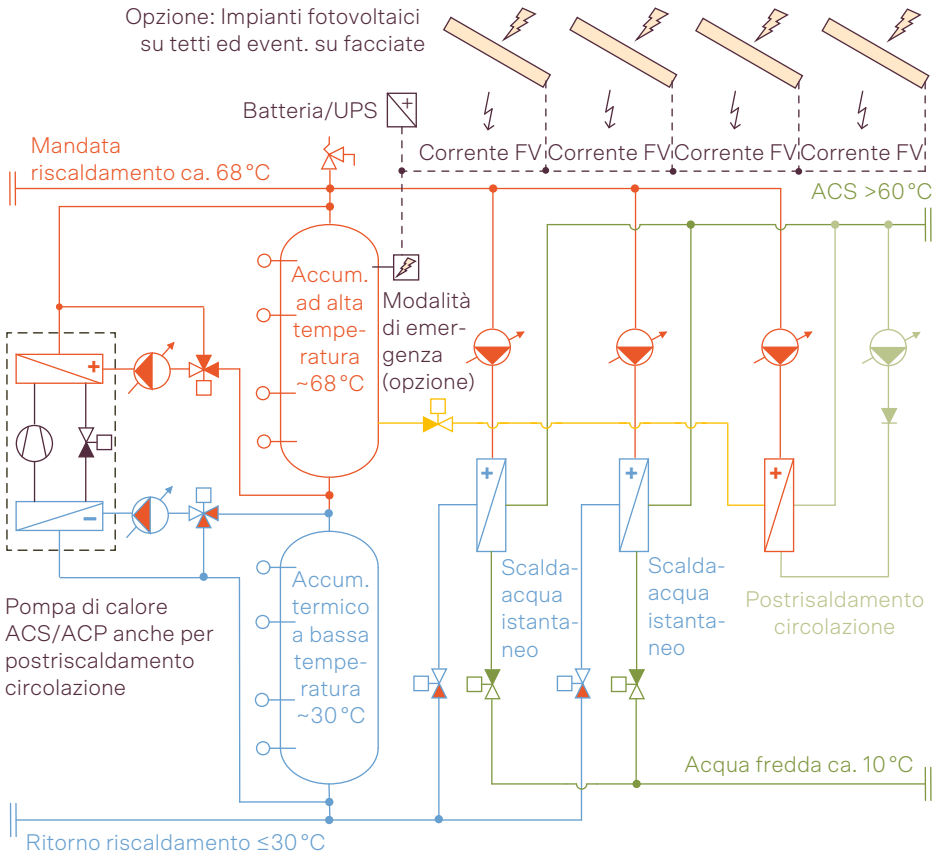
Macchina del freddo Turbocor per la copertura della fabbisogno massimo di raffreddamento nei mesi estivi, con coefficienti di prestazione parziale elevati (COP >10). Con valori di potenza di raffreddamento fino a ca. 400 kW, può essere utilizzato il refrigerante R134a. Con valori di potenza più elevati, devono essere utilizzati refrigeranti naturali o HFO-1234ze. La «ventilazione forzata» deve essere progettata attentamente, con estrazione diretta vicino al pavimento.

Procedura per impianti a pompa di calore con potenza superiore a 400 kW:
definizione di
1. Gruppo di sicurezza del refrigerante
2. Area di installazione nell'edificio
3. Categoria dell'impianto
4. Installazione dell'impianto: deve essere installato in modo aperto o «incapsulato» con un alloggiamento ventilato meccanicamente? In questo caso, sarebbe possibile ridurre le misure di sicurezza nel locale tecnico. La Guida ai refrigeranti tecnici di EnergieSchweiz fornisce informazioni importanti.

Impianti a caldaie esistenti o nuovi (petrolio, gas, legna) collegati in serie alla pompa di calore, idealmente con sistema Tichelmann. Il ritorno principale di tutti i gruppi di riscaldamento viene sempre preriscaldato dalla pompa di calore e, in caso di temperature esterne più basse, riscaldato successivamente dalle caldaie.

Da osservare in particolare
- Integrazione del freddo commerciale con il raffreddamento diretto tramite sonde geotermiche (o raffreddamento del circuito di ritorno) dei condensatori
- Massimizzazione dell'efficienza energetica mediante il massimo recupero del calore residuo
- Scelta accurata di refrigeranti e condensatori
- Analisi e ottimizzazione del funzionamento a carico parziale in inverno e in estate
- Rispetto delle temperature minima e massima per riscaldamento e raffreddamento ai sensi della norma SIA 382/1:2025 «Ventilazione meccanica negli edifici – Basi generali ed esigenze».

Produzione di ACS o ACP tramite stazioni di acqua fresca



Oggetti tipici: tutti gli utilizzi che richiedono acqua calda sanitaria (ACS) o acqua calda potabile (ACP).

Produzione di ACS nel semestre invernale: l'ACS viene prodotta principalmente da un generatore di calore centralizzato, ad es. una pompa di calore con sonda geotermica. Per il postriscaldamento di circolazione e per garantire una bassa temperatura di ritorno (≤30 °C) vengono installate pompe di calore decentralizzate, che raffrescano il primo accumulatore di calore a circa 30 °C, mentre il secondo accumulatore viene riscaldato a circa 62–70 °C. Ne risulta un elevato salto di temperatura tra mandata e ritorno, con conseguente efficienza energetica elevata.

Produzione di ACS nel semestre estivo: grazie alla pompa di calore, rispettivamente un boiler a pompa di calore o a una pompa di calore a exergia, è possibile produrre ACS in modo decentralizzato, coprendo anche le perdite di circolazione. Fungono da fonte di calore ad es.: aria esterna, calore residuo degli impianti di condizionamento nell'accumulatore di calore a bassa temperatura. Così le perdite di circolazione rimangono basse, poiché le linee di collegamento tra centrale termica e produzione di ACS decentralizzata non devono essere riscaldate.

Punti chiave

Sicurezza: la pompa di calore decentralizzata aggiuntiva aumenta la sicurezza operativa della produzione di ACS.

Igiene: installazione di accumulatori di calore per la conservazione dell'energia, che rende superfluo l'utilizzo di accumulatori sul lato sanitario. Viene prodot-

ta ACS solo quando serve (scaldacqua istantaneo). Per quanto riguarda la decalcificazione e la formazione di legionella, si devono controllare e pulire le stazioni di acqua calda sanitaria istantanee; possibile senza interrompere la produzione di ACS. Si tratta di una soluzione che richiede almeno due scambiatori di calore, con scambiatore aggiuntivo per il postriscaldamento di circolazione.

Fotovoltaico: in caso di guasto totale della produzione di calore, l'ACS può essere prodotta direttamente nell'accumulatore ad alta temperatura, dove può essere previsto un elemento riscaldante elettrico.

Efficienza energetica: il sistema ottimizza l'efficienza energetica. Si distingue per:
- elevato salto di temperatura tra mandata e ritorno del riscaldamento con perdite minime della pompa,
- temperatura di ritorno minima con elevato rendimento del generatore di calore,
- perdite di circolazione minime nel semestre estivo grazie alla produzione decentralizzata di ACS.

Allegato

14.1 Autori

Autori dell'intera revisione 2025

- Andreas Genkinger, Scuola universitaria professionale della Svizzera nordoccidentale, Institut für Energie am Bau, Muttenz (coordinamento generale)
- Prof. Dr. Zoran Alimpic, Scuola universitaria professionale di Lucerna, Ingegneria e architettura, Horw
- Christoph Messmer, Scuola universitaria professionale della Svizzera nordoccidentale, Institut für Energie am Bau, Muttenz
- Lorenzo Zgraggen, Scuola universitaria professionale della Svizzera nordoccidentale, Institut für Energie am Bau, Muttenz
- David Zogg, Scuola universitaria professionale della Svizzera nordoccidentale, Institut für Energie am Bau, Muttenz

Autori dell'edizione 2018

- Ralf Dott, Scuola universitaria professionale della Svizzera nordoccidentale, Institut für Energie am Bau, Muttenz (coordinamento generale)
- Prof. Dr. Thomas Afjei, Scuola universitaria professionale della Svizzera nordoccidentale, Institut für Energie am Bau, Muttenz
- Prof. Dr. Zoran Alimpic, Scuola universitaria professionale di Lucerna, Ingegneria e architettura, Horw
- Andreas Genkinger, Scuola universitaria professionale della Svizzera nordoccidentale, Institut für Energie am Bau, Muttenz
- Peter Hubacher, Hubacher Engineering, Engelburg
- Rita Kobler, Ufficio federale dell'energia, Sezione energie rinnovabili

14.2 Abbreviazioni

AAE	Azienda di approvvigionamento energetico
ACS	Acqua calda sanitaria
AE	Automazione dell'edificio
APP	Associazione professionale svizzera delle pompe di calore
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
ASIT	Associazione svizzera ispezioni tecniche
ATF	Associazione Ticinese Frigoristi
BWP	Associazione federale tedesca delle pompe di calore
Boiler PdC	Scaldacqua basato su una pompa di calore
CF	Convertitore di frequenza
CFC	Categoria refrigeranti: clorofluorocarburi completamente alogenati
CFSL	Commissione federale di coordinamento per la sicurezza sul lavoro
CLA	Coefficiente di lavoro annuo, per pompe di calore
CMF	Casa multifamiliare
Collettore FVT	Collettore solare fotovoltaico-termico
COP	Coefficient of Performance, coefficiente di prestazione,
CUF	Casa unifamiliare
DPI	Dispositivi di protezione individuale
EER	Energy Efficiency Ratio, indicatore per l'efficienza di una pompa di calore in modalità raffrescamento
EHPA	European Heat Pump Association, associazione europea delle pompe di calore
EID	External Interface Descriptions
EMS	Energy Managemet System, sistema di gestione dell'energia
Epa	Environmental Protection Agency, autorità ambientale statunitense
EPDP	Energy Performance of Buildings Directive dell'UE, Direttiva UE sull'efficienza energetica complessiva degli edifici
ES	Grado di sensibilità nell'isolamento acustico
ESEER	European Seasonal Energy Efficiency Ratio, rapporto di efficienza energetica stagionale europeo
ESPR UE	Ecodesign for Sustainable Products Regulation, regolamento sulla progettazione ecocompatibile dei prodotti sostenibili
ESTI	Ispettorato federale degli impianti a corrente forte
ETS2	Emissions Trading System, sistema di scambio di quote di emissione dell'UE
FM	Facility Management
FV	Fotovoltaico
GWA	Impiantistica idrotermosanitaria e antincendio
GWP	Global Warming Potential, potenziale di riscaldamento globale
HCFC	Categoria refrigeranti: clorofluorocarburi parzialmente alogenati
HCFO	Categoria refrigeranti: idro(cloro)fluoroolefine, idrocarburi insaturi parzialmente alogenati
HFC	→ H-HFC
HFO	Categoria refrigeranti: idrofluoroolefine
H-HFC	Categoria refrigeranti: idrofluorocarburi parzialmente alogenati

ICS	ImoClima Svizzera: associazione svizzera di produttori e fornitori di sistemi di riscaldamento, ventilazione e climatizzazione
IEE	Indice di efficienza energetica
KEPZ	Supplemento calcolato al prezzo dell'energia
LAN	Local Area Network, rete dati locale
LCCP	Life Cycle Climate Performance, rendimento climatico del ciclo di vita
MoPEC	Modello di prescrizioni energetiche dei Cantoni
MSRL	Tecnologia di misurazione, controllo e regolazione
ODP	Ozone Depletion Potential, potenziale di riduzione dell'ozono
OEe	Ottimizzazione energetica d'esercizio
OEEne	Ordinanza sui requisiti di efficienza energetica
OIBT	Ordinanza sugli impianti a bassa tensione
OIF	Ordinanza contro l'inquinamento fonico
OO	Ottimizzazione operativa
OOc	Ottimizzazione operativa di impianti complessi
ORRPChim	Ordinanza sulla riduzione dei rischi inerenti ai prodotti chimici
pbFM	Facility Management durante la progettazione e la costruzione
PdC MS	Modulo di sistema per pompe di calore
PFAS	Sostanze per- e polifluoroalchiliche
RC	Recupero di calore
RCVS	Riscaldamento, ventilazione, climatizzazione, raffrescamento
SCOP	Seasonal Coefficient of Performance, → COP, ponderato in base alla stagione
SEER	Seasonal Energy Efficiency Ratio, → EER, ponderato in base alla stagione
SEFC	Sistema di evacuazione di fumo e calore
SG	Sonda geotermica
SNG	Rendimento del sistema
SRE	Superficie di riferimento energetico
SSA	Sistema di segnalazione antincendio
SUVA	Istituto nazionale svizzero di assicurazione contro gli infortuni
SWKI	Società svizzera degli ingegneri di impiantistica dell'edificio, ex: Società svizzera degli ingegneri termici e climatici
t_{cc}	Livello di temperatura del circuito caldo, nelle reti termiche
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol, protocollo per la trasmissione di dati in Internet
TEWI	Total Equivalent Warming Impact, impatto totale equivalente di riscaldamento
TFA	Acido trifluoroacetico
UCR	Utilizzo del calore residuo
UFAM	Ufficio federale dell'ambiente
UFE	Ufficio federale dell'energia
VKF	Associazione degli istituti cantonali di assicurazione antincendio
WNG	Rendimento del generatore di calore
WPZ	Centro di test per pompe di calore

14.3 Indice

A
Accumulatore combinato (kombi) 77
Acqua calda sanitaria 66
Acqua di falda 47
Acustica 91
Anergia 5
Applicazioni industriali 129

B
Basi giuridiche 12
Bypass gas caldo 23

C
Calore della terra 40
  Canestri 45
  Pareti colate 45
  Scambiatore 43
  Trincee 45
Calore residuo 51
Cambiamento climatico 55
Capacità termica edificio, accumulatore 82
Captazione dell'acqua di falda e restituzione 48
Carica graduale 76
Carica stratificata 76
Casi esemplari 133
  Impianti di piccole dimensioni 133
  Impianti più complessi 138
Ciclo di Carnot 6
Coefficienti di prestazione stagionale, valori indicativi 103
Componenti 17
Compressore 17
Concetto di misurazione 104
Controllo della tenuta stagna 117
Controllo delle prestazioni 102, 117
Controllo dell'esercizio 117
COP 8

D
Definizioni
  Energia 8
  Potenze 8
Diagramma log p, h 6
Disaccoppiamento termico in funzione della temperatura 67
Dispositivi di sbrinamento 23
Dispositivi di sicurezza 22
Documentazione dell'impianto 114

E
Ecodesign 12
Economicità 100
EER 57
EER (Indice di efficienza energetica) 11
Efficienza del materiale e delle risorse 15
Efficienza energetica primaria 11
Energia interna 5
Energy Efficency Ratio 57
Entalpia 5
Entropia 5
Erogazione del calore 61
ESEER (Indice di efficienza energetica stagionale europeo) 11
Esercizio 117
Esercizio bivalente 72
Esercizio bivalente alternativo 73
Esercizio bivalente parallelo o bivalente parzialmente parallelo 73
Esercizio monovalente 71
Esercizio ottimale 118
Etichetta energia 12
Exergia 5

F
Fonti di calore 39
Fornitura di energia elettrica 99
Fotovoltaico
  Grado di copertura solare 81
  Integrazione pompa di calore 84
  Interfacce 87
  Modalità di funzionamento pompa di calore 85
Free cooling 56
Funzionamento transcritico 32

G
Guasti e risoluzione dei problemi 121

I
Idraulica 74
  durante il raffreddamento attivo 79
  durante il raffreddamento passivo 78
Immissione sul mercato 36
Impianti di ventilazione e climatizzazione 60
Impianto a pompa di calore ad acqua di falda 140
Impianto a pompa di calore aria-acqua 142

Impianto a pompa di calore geotermica 139
Integrazione nel sistema fotovoltaico 81
Istruzioni per l'uso 112

L
LCCP 34
Legionella 68
Limitazione della potenza di navviamento 99

M
Manutenzione 117
Marchio di qualità APP/EHPA 97
Messa in funzione 109
  Controllo dei dispositivi di misurazione e regolazione 110
  Fase prima 110
  Fonte di calore ed erogazione del calore 111
  Pompa di calore 111
  Preparazione 110
  Protocollo 112
Moduli di produzione istantanea di acqua calda 75
Modulo di sistema per pompe di calore 97

N
Norme 10

P
Pali energetici 45
Parametri di riferimento 103
PFAS 35
Pompa di calore per l'acqua delle piscine 70
Pompe di calore
  Esercizio 71
  Per potenza più elevata 123
  Per sovrastrutture 128
Pompe di calore ad alta temperatura 129
Pompe di circolazione 80
Posa e accessibilità 100
Potenza 5
Pozzi filtranti 50
Produzione di acqua calda 145
Progettazione 97
Protezione fonica 91
Provvedimenti per la riduzione delle emissioni foniche 92

Q
Quaderno di manutenzione 117

R
Raffronto delle offerte di pompe di calore 101
Recupero di calore dalle acque reflue per il riscaldamento di acqua potabile 141
Refrigerante 25
  Capacità massima 32
  Categorie 28
  Concetti di sicurezza 29
  Denominazione secondo l'ente ASHRAE 27
  Effetto serra 33
  Naturale 27
  Potenza volumetrica di raffrescamento 25
  Quadro giuridico 35
  Scelta 27
  TEWI 33
Riscaldamento ad acqua calda 62
Riscaldamento ad aria 65
Riscaldamento a pavimento 61, 62
Riscaldamento con corpi riscaldanti 64

S
Sbrinamento naturale 23
Scaldacqua con pompa di calore 69
Scambiatore di calore 19
SCOP 10, 97
SEER (Indice di efficienza energetica stagionale) 11
SEER (Seasonal Energy Efficency Ratio) 57
Sicurezza 100
Simboli 138
Sistemi ad attivazione termica della massa 63
Sistemi di raffreddamento 56
sistemi di riscaldamento a distanza e di prossimità 129
SmartGridready 89
Sonde geotermiche 41
  con tecnologia CO_2 43
  Pompa di calore 138, 143
  Rigenerazione 57
Strategie di carica per l'accumulatore 74
Strumenti di misura 105
Strumenti di progettazione 98

T
TEWI 33
TFA 35
Tipologie costruttive 24

V
Valori di riferimento pompa di calore 8
Valvole di laminazione 21

W
WPesti 98