

# POMPE DI CALORE

PROGETTAZIONE |  
OTTIMIZZAZIONE | ESERCIZIO |  
MANUTENZIONE



Con il sostegno di



**VSEI  
USIE**



**sia**

schweizerischer ingenieur- und architektenverein  
société suisse des ingénieurs et des architectes  
società svizzera degli ingegneri e degli architetti  
swiss society of engineers and architects

**DIE PLANER.**

RETE PER L'ENERGIA, L'AMBIENTE  
E LA TECNICA DELLA COSTRUZIONE



**brenet**

Building and Renewable Energies Network of Technology  
Nationales Kompetenznetzwerk Gebäudetechnik und  
Erneuerbare Energien  
Réseau national de compétence technique du bâtiment  
et des énergies renouvelables  
Rete nazionale di competenza tecnica per gli edifici e

## IMPRESSUM

**Editori:** Ufficio federale dell'energia,  
Settore formazione di base e continua

**Autori:** Ralf Dott (coordinazione), Andreas Genkinger,  
Rita Kobler, Prof. Dr. Zoran Alimpic, Peter Hubacher,  
Prof. Dr. Thomas Afjei

Basata sull'edizione 2008

**Lettorato:** Othmar Humm, Faktor Verlag

**Impaginazione:** Noemi Bösch, Faktor Verlag

I contenuti di questo scritto sono disponibili in versione completa  
sul sito Web di SvizzeraEnergia. [www.svizzera-energia.ch](http://www.svizzera-energia.ch).  
Stampa separata autorizzata dalla casa editrice Faktor Verlag della  
5. Edizione completamente rivista e completata/integrata  
Zurigo 2019



# INDICE

---

<b>1. BASI</b>	<b>5</b>	<b>8. PROGETTAZIONE</b>	<b>69</b>
1.1. CICLO	5	8.1. MARCHIO DI QUALITÀ APP/EHPA	69
1.2. LIMITI DEL SISTEMA E VALORI DI RIFERIMENTO	8	8.2. MODULO DI SISTEMA PER POMPE DI CALORE	69
1.3. NORME	10	8.3. WPesti	70
<b>2. COMPONENTI DELLA POMPA DI CALORE</b>	<b>13</b>	8.4. STRUMENTI DI PROGETTAZIONE	70
2.1. COMPRESSORE	13	8.5. FORNITURA DI ENERGIA ELETTRICA	70
2.2. SCAMBIATORE DI CALORE	15	8.6. CENTRALE TERMICA	71
2.3. VALVOLE DI LAMINAZIONE	17	8.7. ECONOMICITÀ	72
2.4. DISPOSITIVI DI SICUREZZA	17	8.8. CONTROLLO DELLE PRESTAZIONI	73
2.5. ULTERIORI COMPONENTI	18	<b>9. MESSA IN FUNZIONE</b>	<b>75</b>
2.6. DISPOSITIVI DI SBRINAMENTO	19	9.1. FASE PRIMA DELLA MESSA IN FUNZIONE	76
2.7. TIPOLOGIE COSTRUTTIVE DI POMPE DI CALORE	20	9.2. PREPARAZIONE DELLA MESSA IN FUNZIONE	76
2.8. PROCESSI ALTERNATIVI	20	9.3. FONTE DI CALORE ED EROGAZIONE DEL CALORE	77
<b>3. REFRIGERANTE</b>	<b>21</b>	9.4. MESSA IN FUNZIONE DELLA POMPA DI CALORE	77
3.1. PROPRIETÀ	21	9.5. PROTOCOLLO DI MESSA IN FUNZIONE	77
3.2. SCELTA DEL FLUIDO AGENTE	22	9.6. ISTRUZIONI PER L'USO	78
3.3. EFFETTO SERRA E INDICE TEWI	24	9.7. PROTOCOLLO DI COLLAUDO	78
3.4. QUADRO GIURIDICO E SVILUPPI	24	9.8. DOCUMENTAZIONE DELL'IMPIANTO	80
<b>4. FONTI DI CALORE</b>	<b>27</b>	<b>10. ESERCIZIO</b>	<b>81</b>
4.1. ARIA ESTERNA	27	10.1. ESERCIZIO E CONTROLLO DELLE PRESTAZIONI	81
4.2. CALORE DELLA TERRA	29	10.2. CONTROLLO DELL'ESERCIZIO	81
4.3. ACQUA DI FALDA	35	10.3. MANUTENZIONE	81
4.4. CALORE RESIDUO	39	10.4. ESERCIZIO OTTIMALE	82
4.5. RAFFREDDAMENTO DELL'EDIFICIO	40	10.5. GUASTI E RISOLUZIONE DEI PROBLEMI	85
<b>5. EROGAZIONE DEL CALORE</b>	<b>43</b>	<b>11. CASI ESEMPLARI</b>	<b>87</b>
5.1. RISCALDAMENTO AD ACQUA CALDA	44	11.1. IMPIANTI DI PICCOLE DIMENSIONI	87
5.2. IMPIANTI DI VENTILAZIONE MECCANICA	47	11.2. IMPIANTI PIÙ COMPLESSI	93
5.3. ACQUA CALDA SANITARIA	47	<b>12. ALLEGATO</b>	<b>101</b>
5.4. ALTRI SISTEMI	50	12.1. AUTORI	101
<b>6. POMPA DI CALORE AGLI IMPIANTI</b>	<b>53</b>		
6.1. PRINCIPIO	53		
6.2. ESERCIZIO	54		
6.3. IDRAULICA	56		
6.4. POMPE DI CIRCOLAZIONE	61		
<b>7. ACUSTICA E PROTEZIONE FONICA</b>	<b>63</b>		
7.1. VALORI LIMITI LEGALI	63		
7.2. PROVVEDIMENTI PER LA RIDUZIONE DELLE EMISSIONI FONICHE	64		



# UNA TECNOLOGIA CHIAVE

---

Negli ultimi anni, le pompe di calore per il riscaldamento e il raffreddamento delle case e per la produzione di acqua calda sanitaria hanno guadagnato un enorme consenso: i nuovi edifici sono dotati prevalentemente di questo sistema di riscaldamento rispettoso dell'ambiente e anche negli edifici esistenti si va nella stessa direzione. I grandi potenziali del calore residuo, del calore ambientale e della geotermia poco profonda offrono le condizioni ideali per l'utilizzo di pompe di calore.

La grande diffusione non garantisce però un impiego ottimale di questa tecnologia chiave; sono molto importanti una progettazione e un'installazione professionale delle pompe di calore, oltre a un esercizio basato sulle specifiche esigenze. In primo luogo, bisogna citare gli edifici che più si prestano all'utilizzo di questa tecnologia: quelli ben isolati con riscaldamento a pavimento sono particolarmente adatti all'impiego di pompe di calore; questo tipo di erogazione del calore permette di avere temperature di mandata più basse – un criterio importante per avere un'alta efficienza. Tuttavia, anche per gli edifici con radiatori le pompe di calore sono dei generatori di calore affidabili. Con un'attenta progettazione, oltre che all'integrazione tecnica della produzione di calore nell'edificio, è necessario tener conto del comportamento a carico parziale in inverno e in estate, definire le modalità di riscaldamento dell'acqua calda sanitaria e verificare l'efficienza delle pompe di calore.

Generalmente, le buone soluzioni si basano sulla collaborazione interdisciplinare tra le varie figure coinvolte nella progettazione e nell'esecuzione, in particolare architetti, ingegneri e installatori; per gli investitori, i proprietari di immobili e le amministrazioni immobiliari, questo lavoro di gruppo offre i migliori argomenti a favore di un riscaldamento rispettoso dell'ambiente. La modalità di riscaldamento delle pompe di calore, che consente già tutt'oggi di risparmiare risorse, può essere ulteriormente migliorata: infatti, grazie all'utilizzo di elettricità proveniente da fonti rinnovabili o di elettricità verde certificata, la pompa di calore soddisfa pienamente la domanda di un approvvigionamento energetico sostenibile.

Con il presente scritto, «Pompe di calore: progettazione, ottimizzazione, esercizio, manutenzione», rielaborato e notevolmente ampliato, l'opera di riferimento comprovata è a disposizione dell'industria nella versione aggiornata. In questo modo è possibile trasmettere a un vasto pubblico specialistico le funzionalità, le possibilità di impiego e le proprietà di questi generatori di calore rispettosi dell'ambiente.

L'Ufficio federale dell'energia, in qualità di editore, ringrazia tutte le persone coinvolte.

**Ufficio federale dell'energia, settore  
formazione di base e continua,  
Christoph Blaser**



# 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 frigorifero 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 frigorifero. 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 (p. es. elettricità per il compressore).

**Anergia:** L'anergia è quella parte di energia, che in un ambiente prestabilito non si lascia trasformare in qualsiasi forma di energia (p. 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.

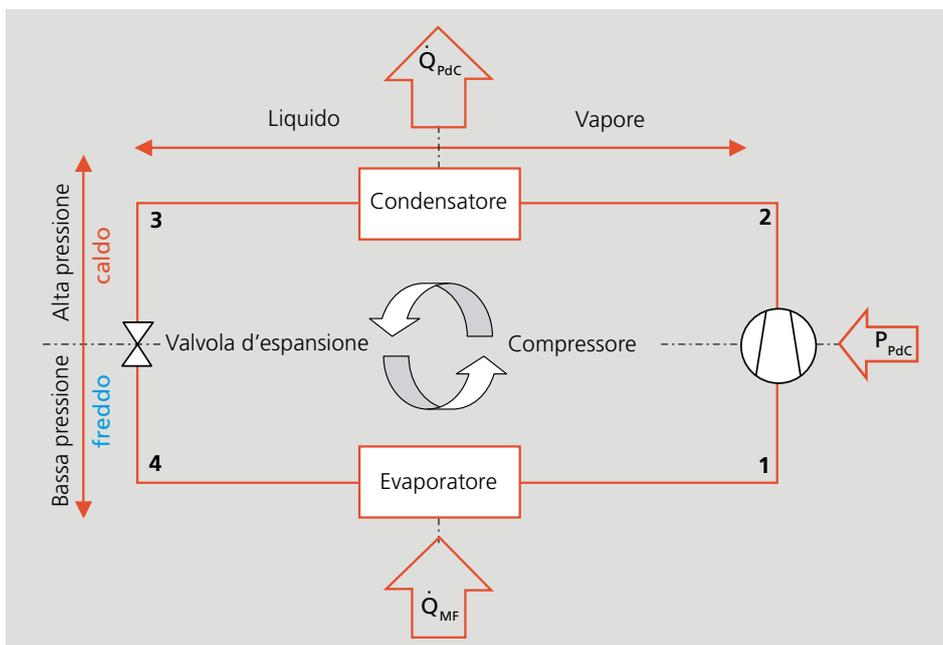


Figura 1.1: Principio del ciclo di compressione del vapore saturo.

## 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  $\epsilon_{C,PdC}$  per la modalità di riscaldamento (pompa di calore, impiego: calore) come segue:

$$\epsilon_{C,PdC} = \frac{\dot{Q}_{PdC}}{P} = \frac{T_C}{T_C - T_0}$$

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

$$\epsilon_{C,MF} = \frac{\dot{Q}_{MF}}{P} = \frac{T_0}{T_C - T_0} = \epsilon_{C,PdC} - 1$$

$\dot{Q}_{PdC}$  Potenza termica in kW  
 $\dot{Q}_{MF}$  Potenza frigorifera in kW  
 $P$  Potenza assorbita in kW  
 $T_0$  Temperatura di evaporazione in K  
 $T_C$  Temperatura di condensazione in K  
 $\epsilon_{C,PdC}$  ( $\epsilon_{C,MF}$ ) 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  $\eta_{cr}$  (exergetico).

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

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 frigorifero. Gli stati del fluido frigorifero possono ad esempio essere ricavati dalla tabella di vapore del fluido frigorifero 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. 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

$$\epsilon_{PdC} = \frac{\dot{Q}_{PdC}}{P} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

$\dot{Q}_{PdC}$  Potenza termica in kW  
 $P$  Potenza assorbita in kW  
 $h_1$  Entalpia del fluido frigorifero all'entrata del compressore in kJ/kg  
 $h_2$  Entalpia del fluido frigorifero all'uscita del compressore in kJ/kg  
 $h_3$  Entalpia del fluido frigorifero all'uscita del condensatore in kJ/kg

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 kWh/K/kg  
 h: entalpia specifica in kWh/kg  
 v: volume specifico in m<sup>3</sup>/kg  
 t: temperatura in °C  
 x: parte di vapore in %

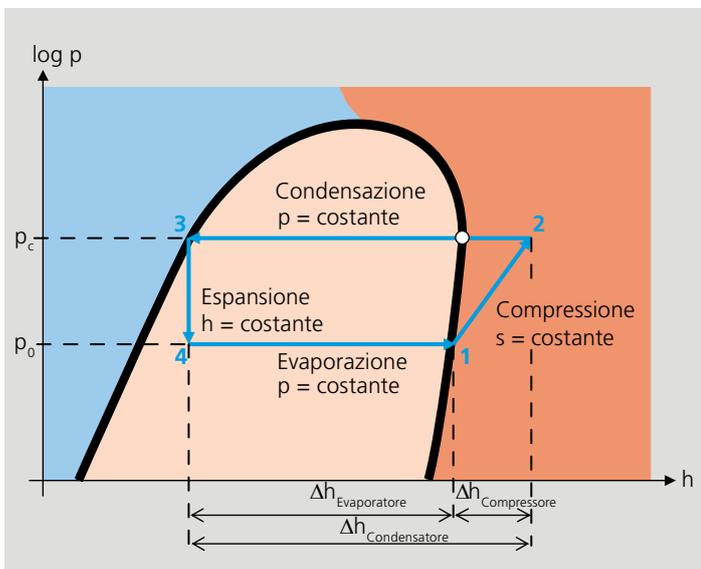
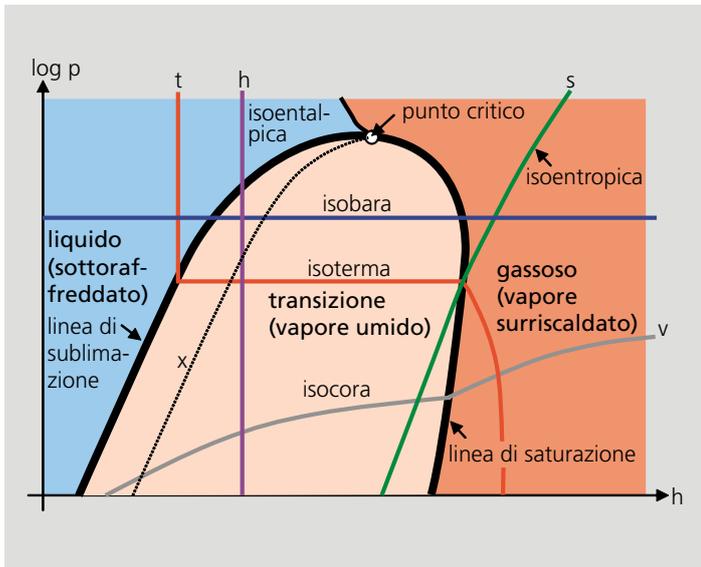


Figura 1.3: Il ciclo senza perdite nel diagramma Log p, h.

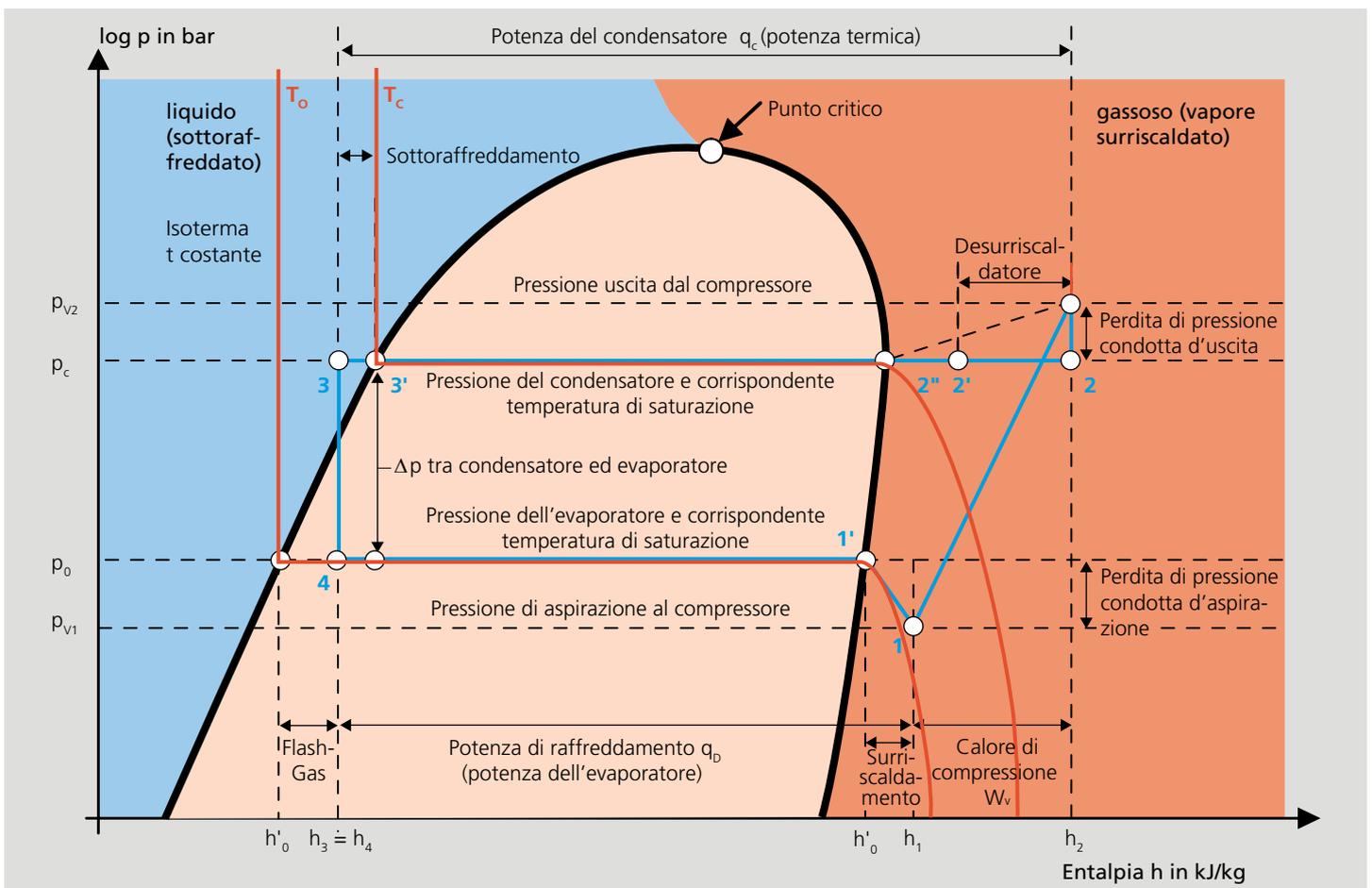
Nella Figura 1.4, concernente il processo reale, vi sono alcuni aspetti da tenere in considerazione:

- Per evitare che le gocce di fluido frigorifero 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 frigorifero 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. 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 frigorifero ( $T_c/T_o$ ). 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.

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



## 1.2. LIMITI DEL SISTEMA E VALORI DI RIFERIMENTO

Gli indicatori di efficienza più comuni per gli impianti a pompe di calore nell'uso quotidiano sono il coefficiente di prestazione (COP) e il coefficiente di lavoro annuo (CLA). Il COP è definito in maniera chiara secondo la norma EN 14511 come il rapporto tra la potenza erogata e la potenza assorbita in un determinato punto di esercizio. Il coefficiente di lavoro annuo (CLA) corrisponde invece al grado di utilizzo (ossia al rapporto tra l'energia fornita e il consumo energetico nell'arco di un anno); questo indicatore però nella pratica viene spesso utilizzato con limiti del sistema generalmente poco chiari. A seconda del sistema di riferimento considerato, i

valori variano notevolmente; i differenti termini sono stati esplicitati e dimostrati nella Figura 1.7. 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 STAGIONALE DEL SISTEMA ( $\eta_s$ )

Con l'introduzione dei requisiti di ecodesign e dell'etichetta energetica per gli apparecchi di riscaldamento, la definizione del cosiddetto «coefficiente di prestazione stagionale»

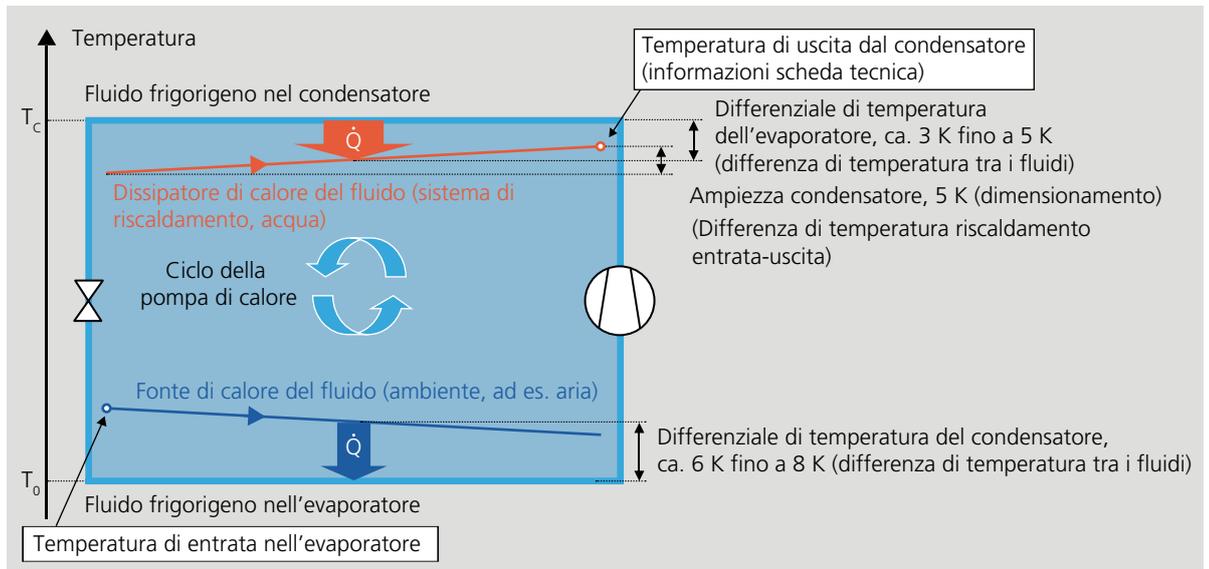


Figura 1.5: Temperature e flussi di energia in una pompa di calore (fonte: FHNW IEBau).

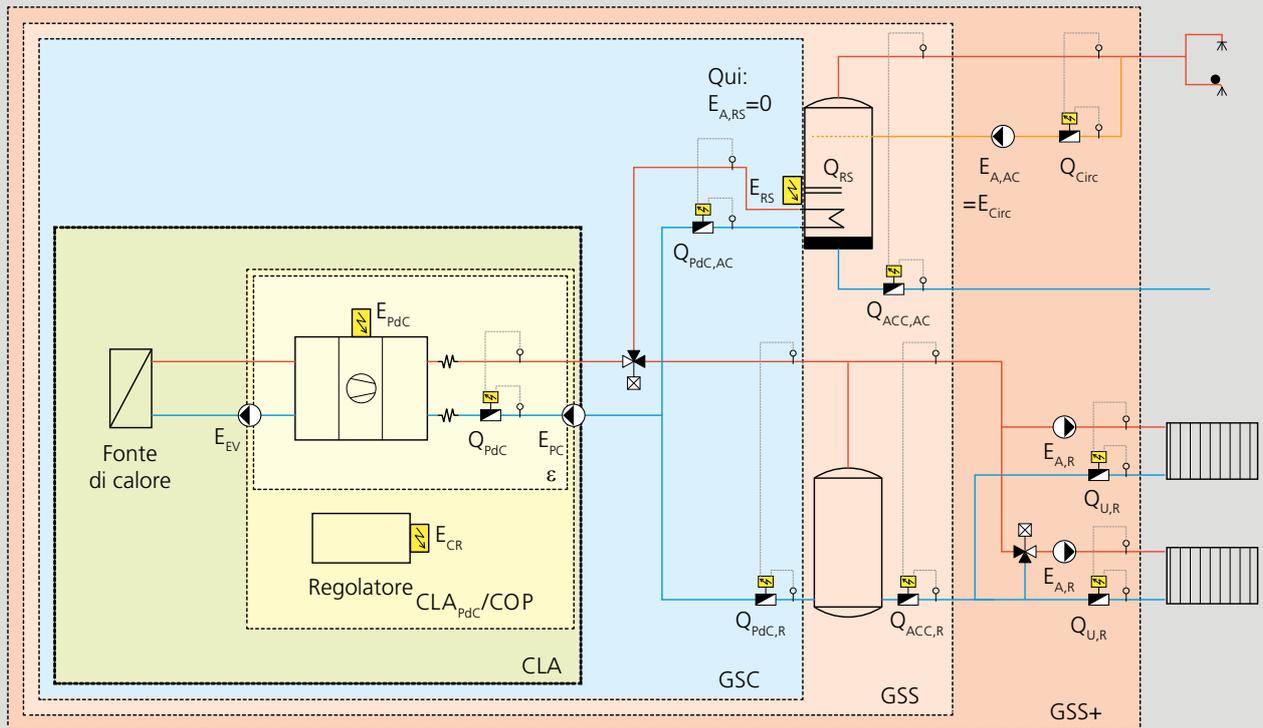
#### Potenze (valori istantanei o medi per un breve intervallo)

- $\dot{Q}_{PdC}$  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 a pagina 9.



<b>Riferito alla potenza</b>	Coefficiente di rendimento ( $\epsilon$ ) $\epsilon = \frac{\dot{Q}_{PdC}}{P_{PdC}}$	Coefficiente di prestazione (COP) $COP = \frac{\dot{Q}_{PdC}}{P_{PdC} + (P_E) + (P_C) + P_{CR} + P_S}$
	Coefficiente di lavoro annuo della pompa di calore ( $CLA_{PdC}$ ) $CLA_{PdC} = \frac{Q_{PdC}}{E_{PdC} + (E_{EV}) + (E_{PC}) + E_{CR} + E_S + E_C}$	
<b>Riferito all'energia</b>	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.

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  $\eta_s$ , 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  $\eta_s$ , 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.

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

Valore di riferimento	Descrizione	Descrizione	Norma
<b>Riscaldamento / acqua calda sanitaria</b>			
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
$\eta_s / \eta_{wh}$	Efficienza energetica primaria	Efficienza energetica primaria, basata sullo SCOP	EN 14825 / EN 16417
<b>Raffreddamento</b>			
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 382/1

### 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 Stoccaggio e manipolazione), CFSL 6516 (Attrezzature a pressione)
- Direttive ATEX riguardanti la protezione contro le esplosioni
- Bollettino SUVA 2153 «Prevenzione e protezione contro le esplosioni»

### 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

Norma	Descrizione	Impiego
<b>Norme di prova</b>		
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
<b>Norme di progettazione</b>		
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 382/1	Requisiti per macchine frigorifere	–
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 384/6	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.

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 (ORR-PChim)	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

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

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  $\eta_s$ . 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

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

	Temperatura di mandata di dimensionamento 55°C		Temperatura di mandata di dimensionamento 35°C	
	SCOP	$\eta_s$	SCOP	$\eta_s$
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 %

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. 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 effettivo 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+.

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

Classe	$\eta_s$ per classe	(B1) $\leq 10/30$ kW*	Bruciatore $\leq 70$ kW		Cogenerazione	Elettrico	PdC 55°C	PdC 35°C	$\eta_s$ per classe	Classe
			$\leq 70$ kW	70–400 kW						
A+++	$\geq 150$ %								$\geq 175$ %	A+++
A++	$\geq 125$ %								$\geq 150$ %	A++
A+	$\geq 98$ %								$\geq 123$ %	A+
A	$\geq 90$ %								$\geq 115$ %	A
B	$\geq 82$ %								$\geq 107$ %	B
C	$\geq 75$ %								$\geq 100$ %	C
D	$\geq 36$ %								$\geq 61$ %	D
E	$\geq 34$ %								$\geq 59$ %	E
F	$\geq 30$ %								$\geq 55$ %	F
G	$< 30$ %								$< 55$ %	G

\*Tipo B1 bollitore  $\leq 10$  kW / Tipo B11 bollitore combinato  $\leq 30$  kW

## 2. COMPONENTI DELLA POMPA DI CALORE

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 frigorifero. 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.

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 <sup>3</sup> /h	fino a 500 m <sup>3</sup> /h	100 fino a 10 000 m <sup>3</sup> /h	250 fino a 50 000 m <sup>3</sup> /h
Potenza di riscald. (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 regolaz. (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 indu-  
striale) (immagine:  
Grasso).



Figura 2.2:  
Compressore a stan-  
tuffo semiermetico  
(immagine: Bitzer).

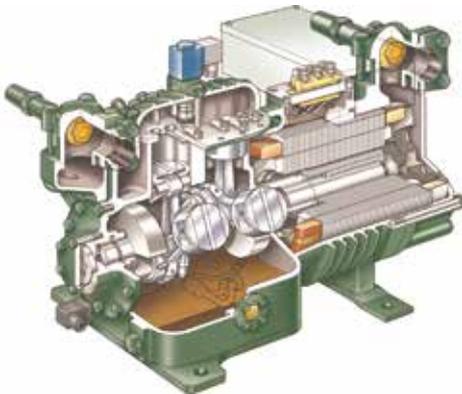


Figura 2.3:  
Compressore a vite  
semiermetico (im-  
magine: Bitzer).

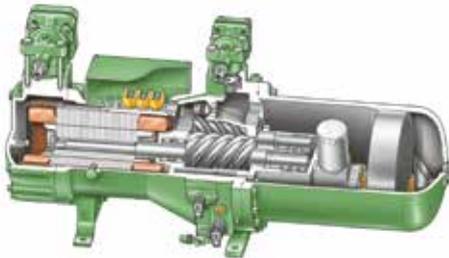


Figura 2.4:  
Compressore a  
spirale ermetico  
(scroll) (immagine:  
Copeland).



**Compressori ermetici:** Il motore e il compressore rappresentano un'unica unità. A differenza di quello semiermetico, i compressori ermetici sono montati 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 frigorifero 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 frigorifero produce schiuma; per evitare ciò, il serbatoio dell'olio può essere riscaldato, in modo che il fluido frigorifero 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).



Figura 2.5:  
Compressore turbo  
semiermetico (senza  
olio) (immagine:  
Turboacor).

## 2.2. SCAMBIATORE DI CALORE

### EVAPORATORE

Nell'evaporatore viene sottratto calore all'ambiente (aria, acqua, salamoia, ecc.). Il fluido frigorifero 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 frigorifero viene condotto all'evaporatore attraverso una valvola d'espansione. La quantità di fluido frigorifero 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 frigorifero 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 frigorifero 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'evaporazione a secco che sommersa. Per pompe di calore fino a circa 200 kW viene principalmente utilizzato questo tipo di costruzione.

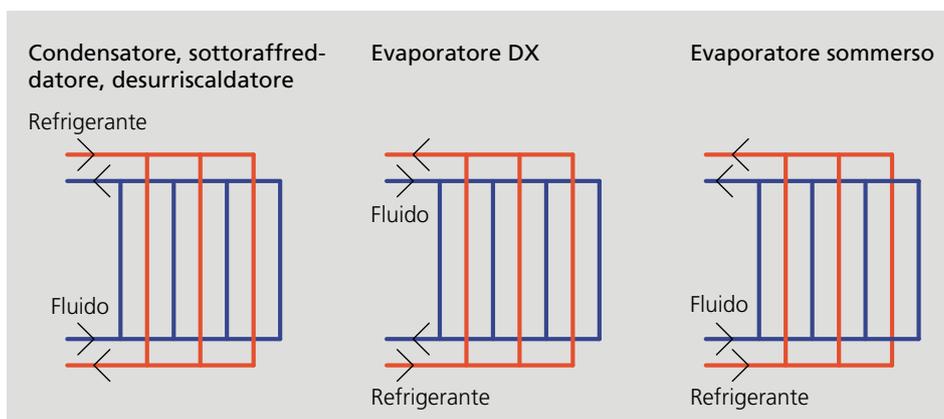


Figura 2.6:  
Schema scambiatore  
di calore a piastre.

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 frigorifero 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 lamina- ti** sono composti principalmente da singoli o più tubi paralleli con applicate delle lamelle. Sono ideali per lo scambio di calore di fluidi gassosi (p. 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  
(immagine: BMS).



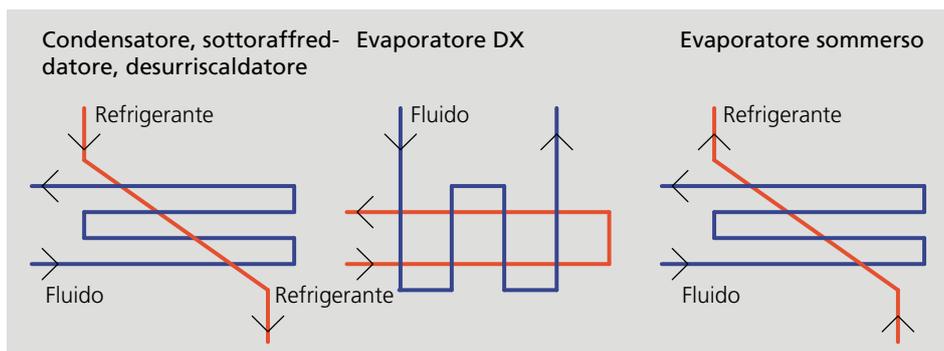
Figura 2.8:  
Scambiatore di ca-  
lore a fascio tubiero  
(immagine: Bitzer).



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



Figura 2.10:  
Schema scambiatore  
a fascio tubiero.



### 2.3. VALVOLE DI LAMINAZIONE

La valvola di laminazione espande il fluido frigorifero 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 frigorifero 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 frigorifero 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 frigorifero viene regolato in funzione del livello del liquido nell'evaporatore. Sono disponibili anche versioni elettroniche dei comandi a galleggiante.

### 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 frigorifero 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



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

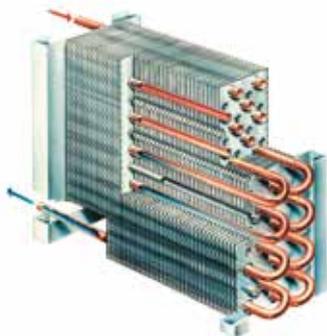


Figura 2.12:  
Scambiatore di calore a tubi laminati (batteria senza ventilatore, involucro, ecc.) (immagine: Günter).



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

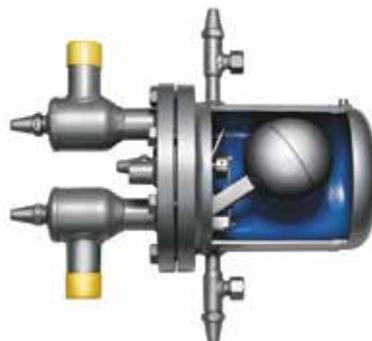


Figura 2.14:  
Regolatore di alta pressione a galleggiante (immagine: TH-Witt).

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, p.es. in caso d'incendio.

**Controllo dei livelli, controllo del fluido frigorifero,** ecc. per il controllo del contenuto di refrigerante (sovraccarico, perdite, depositi, ecc.).

## 2.5. ULTERIORI COMPONENTI

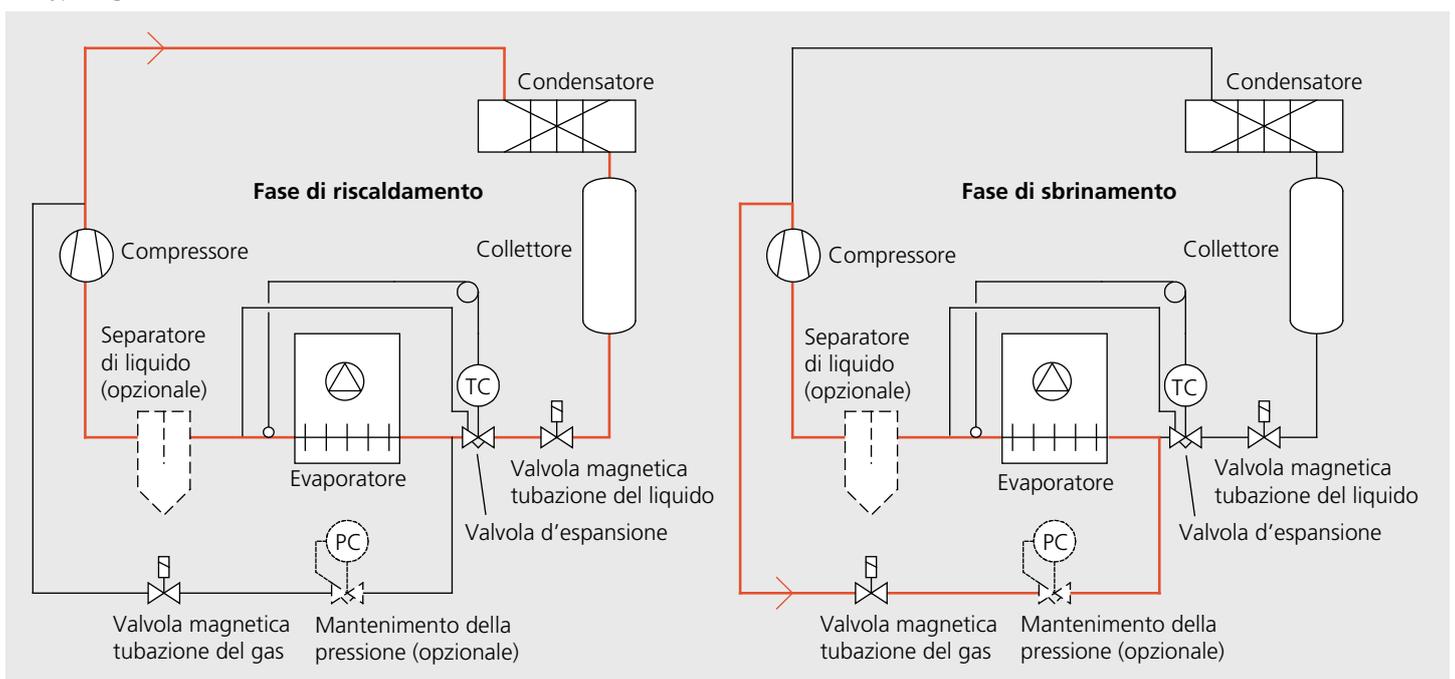
Quale funzione per l'impianto o perlomeno installazione vantaggiosa, tra le tante esistono i seguenti componenti e apparecchi:

**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 frigorifero, filtro-essicatore sporco, ecc.

**Filtro di depressione** per la protezione meccanica del compressore.

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



**Valvola magnetica** per l'automatico spegnimento, commutazione rispetto 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, p. es. il compressore.

**Silenziatore gas in pressione** (silenziatore muffler) per l'assorbimento delle pulsazioni di gas dei compressori a stantuffo.

**Collettore fluido frigorifero** 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 frigorifero 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.

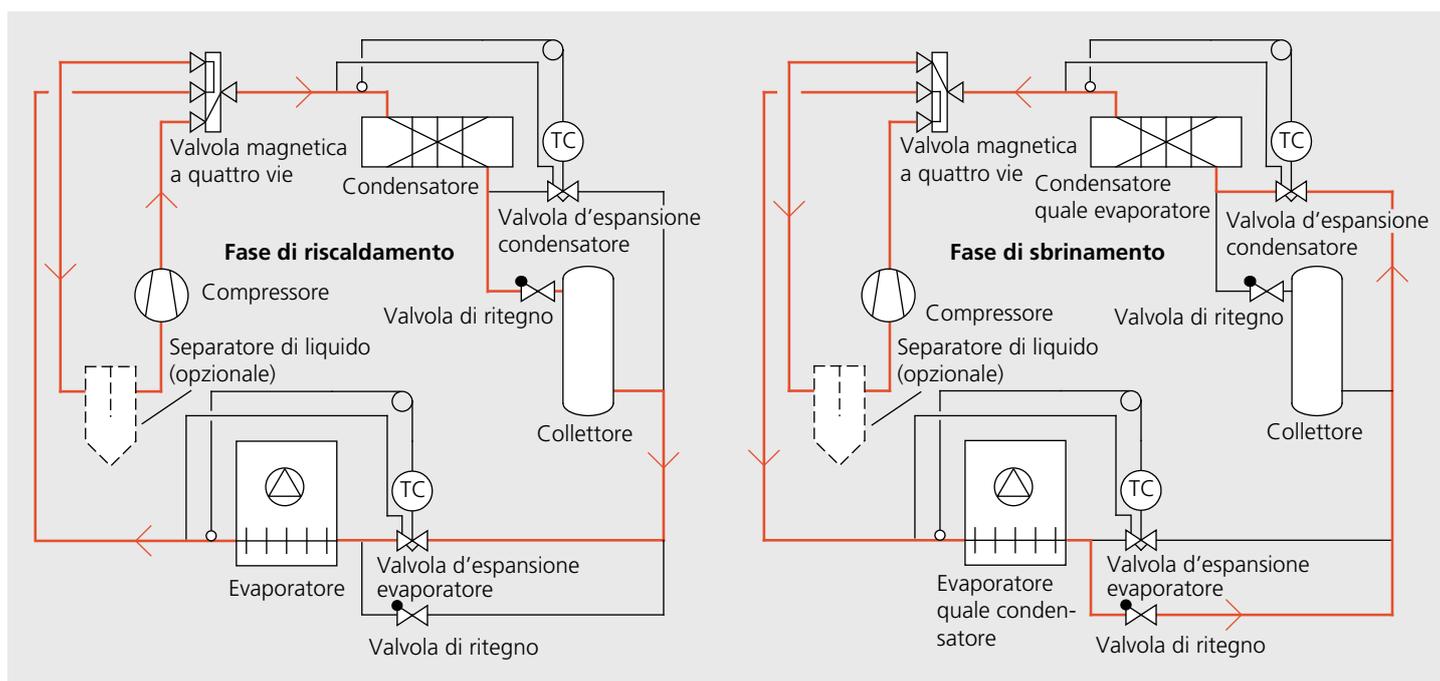
### BYPASS GAS CALDO (FIGURA 2.15)

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 sbrina-

Figura 2.16:  
Schema di principio  
inversione di ciclo.



mento 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.

### **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.

### **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.

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.

# 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 ad esempio le pompe di calore.

- Ogni fluido frigorifero 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 di indurimento sufficientemente bassa)
- basse perdite di carico durante la circolazione
- chimicamente e termicamente stabile
- non tossico
- non infiammabile, non esplosivo
- buon miscelamento con lubrificanti
- nessun potenziale di distruzione dell'ozono (ozone depletion potential ODP = 0)
- nessun o debole potenziale sull'effetto serra (global warming potential GWP = 0)
- economico

Viene fatta una distinzione tra cinque gruppi di refrigeranti (Figura 3.2). Le proprietà dei refrigeranti sintetici sono rappresentate in modo esplicativo nella Figura 3.3 per i derivati di metano/etano:

- I CFC (clorofluorocarburi completamente alogenati) sono fortemente dannosi per la distruzione dell'ozono e incidono molto sul clima.
- Gli HCFC (clorofluorocarburi parzialmente alogenati) sono dannosi per la distruzione dell'ozono e incidono sul clima.
- Gli HFC (idrofluorocarburi parzialmente alogenati) sono privi di cloro e quindi innocui per l'ozono, ma incidono sul clima.
- HFO (idrofluoroolefine). HFC insaturi, cioè con almeno un doppio legame tra due atomi di carbonio (C = C); tali sostanze sono note anche come olefine. Gli HFO sono stati sviluppati come alternativa alle sostanze stabili e quindi influenti sul clima: infatti il doppio legame rende instabile la molecola, che si

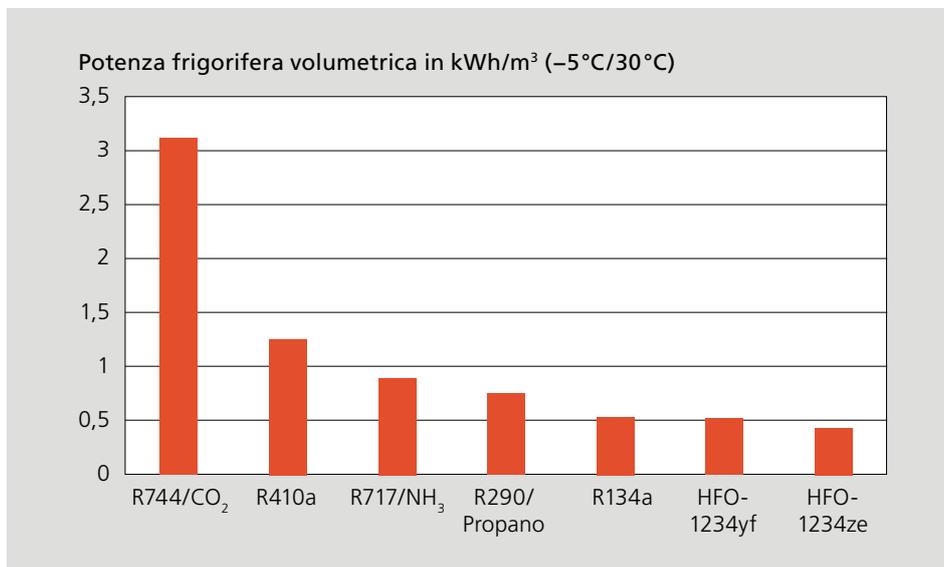
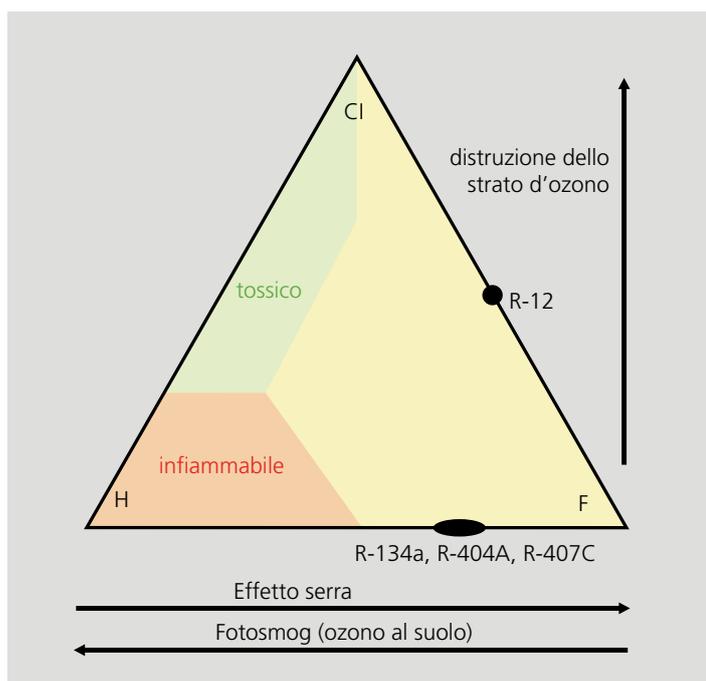


Figura 3.1: Potenza frigorifera volumetrica kWh/m³.

decompone relativamente velocemente nell'atmosfera. Grazie al suo debole potenziale sull'effetto serra, è conosciuto anche come refrigerante con un basso potenziale di riscaldamento globale (GWP). L'ampia distribuzione di questo gruppo di refrigeranti rimane ancora aperta, in parte a causa della mancanza di conoscenza degli effetti a lungo termine.

- 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<sub>2</sub>). 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 3.2: Proprietà dei refrigeranti sintetici (derivati alogeni del metano e etano).

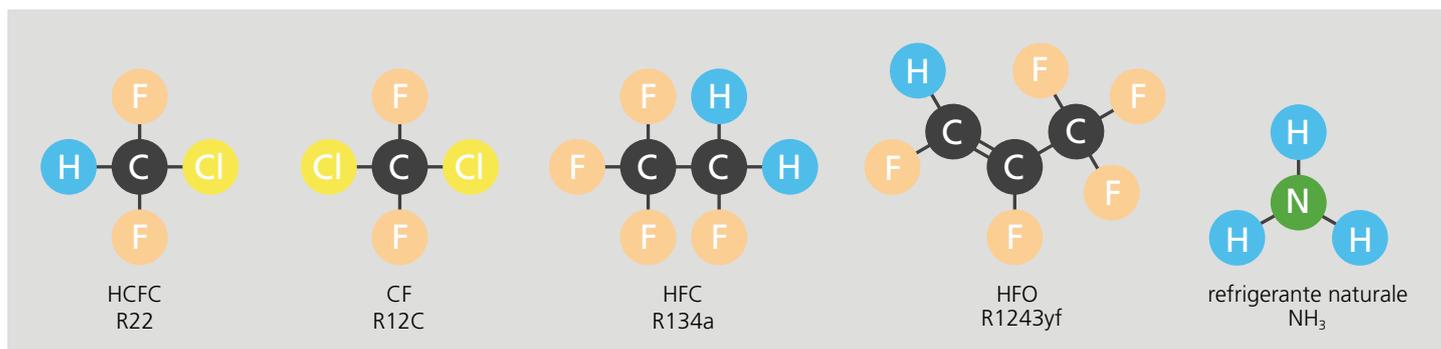


La Tabella 3.1 fornisce una panoramica dei refrigeranti. La designazione inizia sempre con una «R» per «Refrigerant».

### 3.2. 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'impiego dei refrigeranti consentiti è regolamentato dall'Ordinanza sulla riduzione dei rischi inerenti ai prodotti chimici (ORR-PChim); la sua attuazione è finalizzata a favorire l'uso di refrigeranti naturali con un 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](http://www.bafu.admin.ch/prodotti-chimici).

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



Statuto giuridico dei refrigeranti secondo l'Allegato 2.10 ChemRRV	Categoria		Prodotti refrigerante	GWP	Osservazioni
Prodotti refrigeranti vietati che impoveriscono lo strato di ozono	CFC (contenenti cloro, peralogenati)		R11	4750	Vietati per nuovi impianti, rivendita, ampliamento e modifiche. Gli impianti preesistenti possono restare in funzione ma senza essere più ricaricati. Per gli impianti preesistenti con più di 3 kg di refrigerante: obbligo di notifica ( <a href="http://www.smkw.ch">www.smkw.ch</a> ), libretto di manutenzione e controllo di ermeticità.
			R12	10900	
	HCFC (contenenti cloro, parzialmente alogenati)	Prodotti refrigeranti a una sostanza	R502 (miscela)	4657	
			R13B1	7140	
			R22	1810	
Miscele (Blends), prevalentemente a contenuto di R22		R401A (MP39)	1182		
		R402A (HP80)	2788		
R402B (HP81)	2416				
R408A (FX-10)	3152				
R409A (FX-56)	1585				
Prodotti refrigeranti stabili nell'aria per applicazioni limitate in nuovi impianti e apparecchi	HFC (privi di cloro)	Prodotti refrigeranti a una sostanza	R23	14800	Dal 1 dicembre 2013 sono vietate le nuove installazioni, gli ampliamenti e le modifiche agli impianti con refrigeranti stabili nell'aria con capacità frigorigena superiore a una determinata soglia. Presupposto per l'ottenimento di una deroga: i requisiti di sicurezza delle norme SN EN 378-1, -2 e -3, tenuto conto dello stato della tecnica, non sono raggiungibili senza l'uso di refrigeranti stabili nell'aria. Negli impianti con più di 3 kg di refrigeranti: obbligo di notifica ( <a href="http://www.smkw.ch">www.smkw.ch</a> ), libretto di manutenzione e controllo di ermeticità.
			R32	675	
			R134a	1430	
			R125	3500	
			R143a	4470	
		Miscele (Blends)	R404A	3920	
			R407C	1770	
			R407F	1825	
			R410A	2090	
			R413A	2050	
			R417A	2350	
			R422A	3140	
			R422D	2730	
Miscele con HFO (Blends)	R437A	1685			
	R507A	3980			
		R448A	1386		
		R449A	1397		
		R450A	601		
		R513A	631		
Refrigeranti ammessi su riserva di conformità ai requisiti di sicurezza	HFO (fluoroolefine parzialmente alogenate)	Prodotti refrigeranti a una sostanza	R1234yf	4	Refrigeranti ammessi. Negli impianti con più di 3 kg di refrigeranti: libretto di manutenzione richiesto.
			R1234ze	7	
	Refrigeranti naturali	Prodotti refrigeranti a una sostanza	R170 (etano)	6	È auspicabile l'uso di refrigeranti naturali per nuovi impianti, ampliamenti e trasformazioni. Negli impianti con più di 3 kg di refrigeranti: Libretto di manutenzione richiesto.
			R290 (propano)	3	
			R717 (NH <sub>3</sub> )	0	
			R718 (H <sub>2</sub> O)	0	
			R744 (CO <sub>2</sub> )	1	
			R600a (isobutano)	3	
			R1270 (propene)	2	
			Miscele (Blends)		
R290/R170	3				
R723 (DME/NH <sub>3</sub> )	8				

Tabella 3.1: Panoramica dei principali refrigeranti (elenco non esaustivo), al 20 giugno 2017. L'uso consentito è regolamentato dall'Ordinanza sulla riduzione dei rischi inerenti ai prodotti chimici (ORRPChim) (Fonte: UFAM).

### 3.3. EFFETTO SERRA E INDICE TEWI

TEWI (Total Equivalent Warming Impact) è un procedimento per stimare il surriscaldamento globale mediante la raccolta sia dell'apporto diretto delle emissioni refrigeranti nell'atmosfera, che dell'apporto indiretto delle emissioni di diossido di carbonio, causate dalla produzione di energia per l'esercizio dell'impianto frigorifero durante la sua durata di vita. 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<sub>2</sub>, che viene liberato durante la produzione dell'energia necessaria all'esercizio dell'impianto.

Gli aspetti più importanti dell'indice TEWI:

- È possibile trovare, mediante l'utilizzo dell'indice TEWI, il provvedimento più efficace per la riduzione dell'effettiva incidenza sull'effetto serra di un impianto refrigerante.
- Il fattore TEWI può essere determinato mediante la formula rappresentata nel riquadro sottostante.
- L'efficienza energetica ha una grande influenza sul TEWI (riducendo il consumo energetico/l'assorbimento di energia).

- L'indice TEWI potrebbe essere fortemente ridotto se la pompa di calore fosse azionata con corrente ecologica, prodotta completamente con energie rinnovabili.
- L'indice TEWI incide sui costi d'esercizio.

Il TEWI è un indice per stimare il surriscaldamento globale. Alcune misure efficaci per ridurre il TEWI sono:

- Utilizzo di refrigeranti naturali o refrigeranti a basso GWP
- Progettazione o selezione ottimali dell'impianto di refrigerazione e del refrigerante
- Ottimizzazione dell'impianto con valori di COP/EER o gradi di sfruttamento massimi
- Manutenzione corretta, senza perdite di refrigerante
- Recupero o riciclaggio dei refrigeranti usati

### 3.4. QUADRO GIURIDICO E SVILUPPI

Mentre in passato l'attenzione in merito ai refrigeranti in relazione alla protezione dell'ambiente era incentrata sulla riduzione della distruzione dell'ozono, ora si è spostata sull'effetto serra. In Europa, l'uso di refrigeranti con un GWP elevato sarà in futuro severamente limitato dal nuovo Regolamento F-Gas (Regolamento sui gas fluorurati a

#### Procedimento di calcolo per il valore 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

$(GWP \cdot m \cdot [1 - \alpha_{recupero}])$

quantità di perdite per il recupero

$(n \cdot E_{anno} \cdot \beta)$

quantità di perdite per il fabbisogno di energia

Dove

TEWI

totale contributo equivalente di riscaldamento in kg CO<sub>2</sub>

GWP

potenziale di riscaldamento globale, basato sulla CO<sub>2</sub>

L

quantità di perdite annue in kg per anno

n

tempo di esercizio dell'impianto in anni

m

massa di riempimento dell'impianto con refrigerante in kg

$\alpha_{recupero}$

fattore di recupero, rispettivamente riciclaggio (da 0 a 1)

$E_{anno}$

fabbisogno di energia annuo in kWh per anno

$\beta$

Emissioni CO<sub>2</sub> in kg per kWh

effetto serra). La summenzionata Ordinanza svizzera sulla riduzione dei rischi inerenti ai prodotti chimici (ORRPChim) va nella stessa direzione. In Svizzera i refrigeranti che hanno un effetto dannoso per la distruzione dell'ozono sono completamente vietati da diversi anni, anche per l'eventuale riempimento in caso di perdite.

Per gli impianti con una quantità di refrigerante pari o superiore ai 3 kg deve sempre essere compilato un registro di manutenzione. Tutti gli interventi e la manutenzione (ad es. rifornimento di refrigerante) devono essere inseriti su questo registro dal tecnico specializzato che esegue il lavoro. Se si utilizzano refrigeranti che distruggono lo strato di ozono o sono stabili nell'aria, l'impianto deve essere notificato presso le autorità competenti e controllato regolarmente per individuare eventuali perdite (Tabella 3.1). Con la notifica, l'impianto ottiene una vignetta grazie alla quale può essere identificato (da applicare sull'impianto). Come punto di contatto per ulteriori informazioni e modelli per un registro di manutenzione, si prega di consultare l'«Ufficio svizzero di notifica per installazioni di impianti frigoriferi e pompe di calore» ([www.smkw.ch](http://www.smkw.ch)).

L'uso di refrigeranti con conseguenze negative sull'effetto serra è ancora possibile solo in misura limitata; ad esempio le pompe di calore nell'ambito del comfort con il già ampiamente utilizzato R134a (un HFC) e un evaporatore di potenza superiore a 600 kW non possono più essere immesse sul mercato. Attualmente (stato del 2018) è dunque in corso una transizione verso l'utilizzo di sostanze con un basso GWP. Sulla base dei sistemi di condizionamento dell'aria per autoveicoli, sono state studiate in dettaglio varie alternative, da cui sono stati ricavati il refrigerante HFO R1234yf e le miscele da esso derivate. La minore stabilità dell'R1234yf, tuttavia, ha portato a opinioni controverse circa la sua utilizzabilità, e non si conoscono inoltre gli effetti a lungo termine di queste sostanze. Un'interessante alternativa sono i refrigeranti naturali: ammoniac, diossido di carbonio e propano. Questi sono noti da molto tempo e il loro utilizzo si è consolidato

in alcuni settori di applicazione; tuttavia, le proprietà specifiche delle sostanze e le norme di sicurezza ne hanno finora ostacolato un'applicazione generale. Rimane aperto il tema su quali refrigeranti si affermeranno a medio e lungo termine.



## 4. FONTI DI CALORE

Le seguenti fonti di calore possono essere utilizzate mediante pompa 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 7).

*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.*

### Sistemi

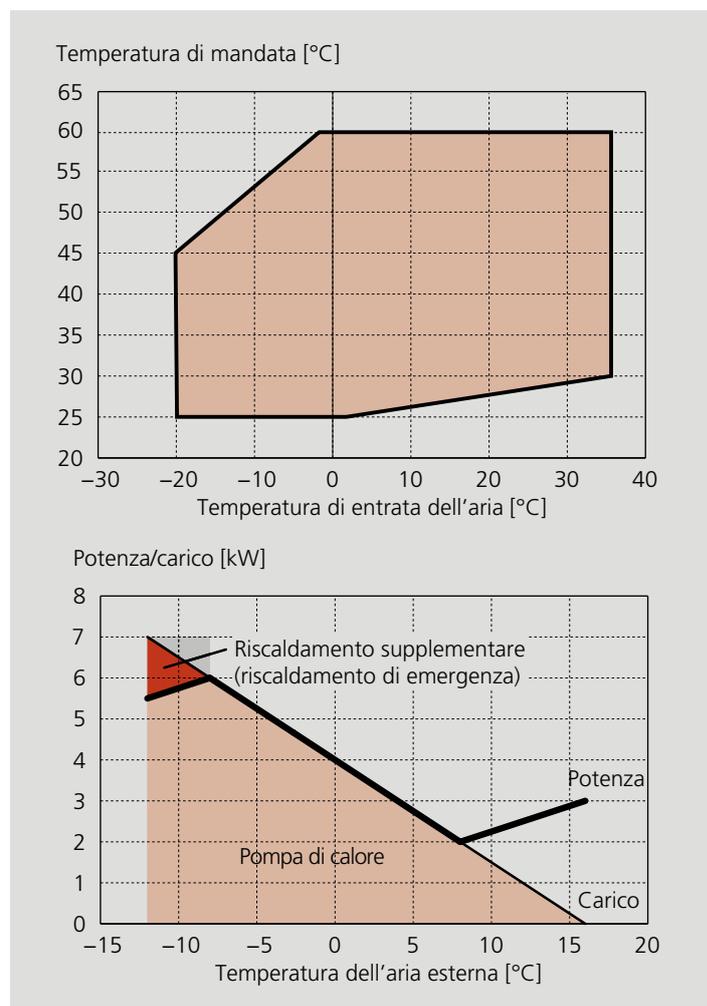
Si differenziano le seguenti tipologie costruttive:

- **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.

#### Indicazioni di 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 procedu-

re 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 7).

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



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



Figura 4.4:  
Sonda geotermica  
(immagine:  
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 profondità 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».



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



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

## SONDE GEOTERMICHE

Per l'estrazione di calore dal terreno, così come per il raffreddamento 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.

### 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



Figura 4.7: Gabbia di rinforzo del palo con sonde fissate (fonte: HakaGerdur).

- Geologia del sottosuolo: temperatura, conducibilità termica, densità, capacità termica, risorse idriche sotterranee, ecc.
- 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 di 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 8.2).
- 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 free-cooling), 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 scarsa (riserva per la sostituzione di una pompa di calore con una migliore efficienza).

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 3/4" fino a 7 5/8"), 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.

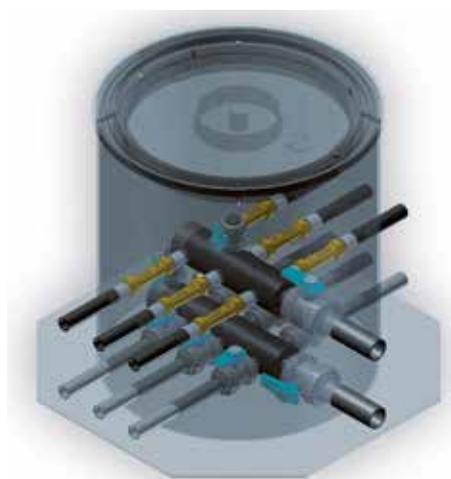


Figura 4.8: Distributore carrabile esterno all'edificio (fonte: Jansen AG).

## SONDE GEOTERMICHE CON LA TECNICA DEL DIOSSIDO DI CARBONIO

Quale alternativa alle sonde geotermiche nelle quali circola acqua o acqua glicolata, la sonda può funzionare con un riempimento di CO<sub>2</sub>. La sonda con la CO<sub>2</sub> funziona secondo il principio del tubo termovettore (heat pipe). Della CO<sub>2</sub> non velenosa (diossido di carbonio) circola nella sonda geotermica. La CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> circola senza

Figura 4.9: Nuova installazione di collettori orizzontali; questi vengono poi nuovamente ricoperti di terra (fonte: HakaGerodur).



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.

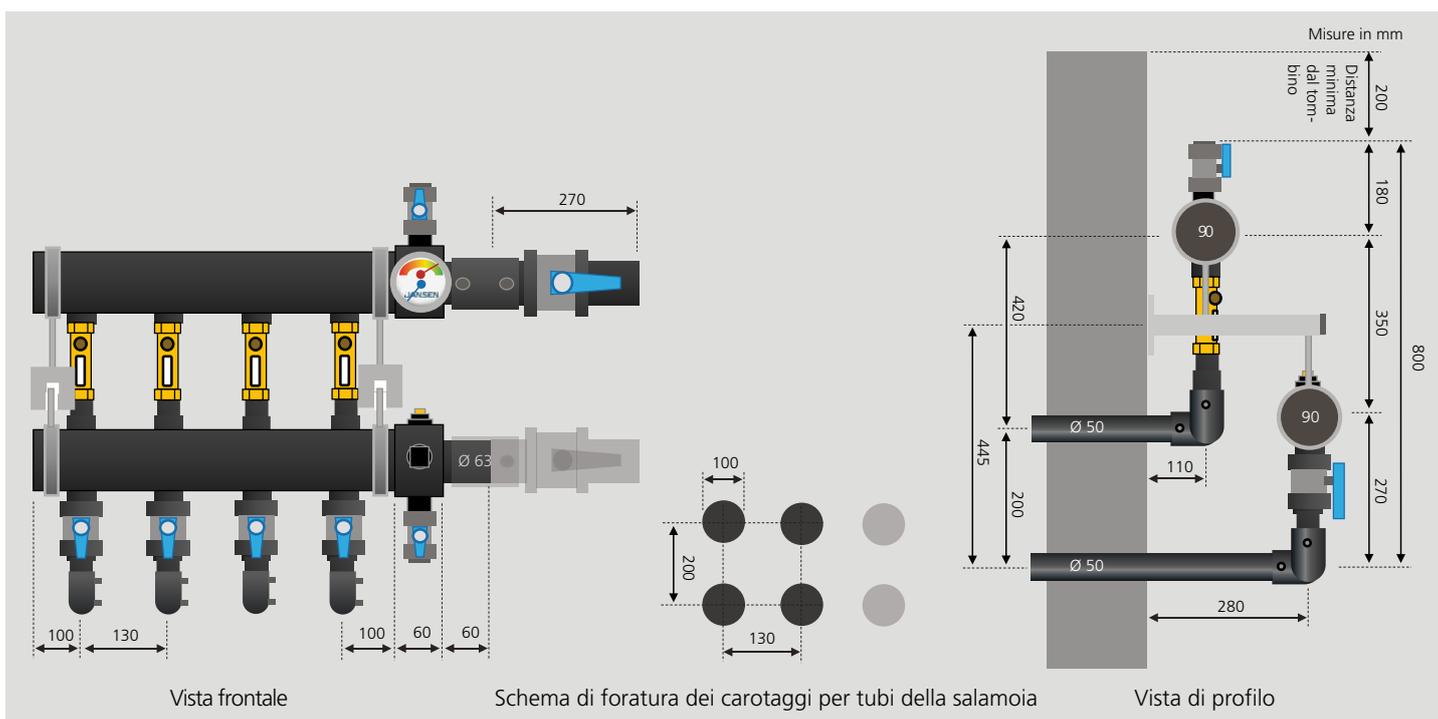
## SCAMBIATORE GEOTERMICO (SERPENTINE NEL TERRENO)

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.

### 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.

Figura 4.10: Esempio di collettore (fonte: Jansen AG).





**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).*

### Indicazioni di progettazione

- Gli scambiatori geotermici possono essere soggetti ad autorizzazione (organi responsabili: Cantoni).
- La potenza assorbita massima (potenza frigorifera) al m<sup>2</sup> di superficie è di ca. 25 W fino a 30 W o ca. 60 kWh durante il periodo di riscaldamento. In caso di terreno poco idoneo (asciutto) i valori si situano tra 10 W/m<sup>2</sup> e 15 W/m<sup>2</sup>.
- 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 pre-confezionati, 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 di 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.

Figura 4.12:  
Canestri geotermici  
(immagine:  
Calmothem).



## 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.

## 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 (p. 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 con-

siderevole. 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 (p. 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.

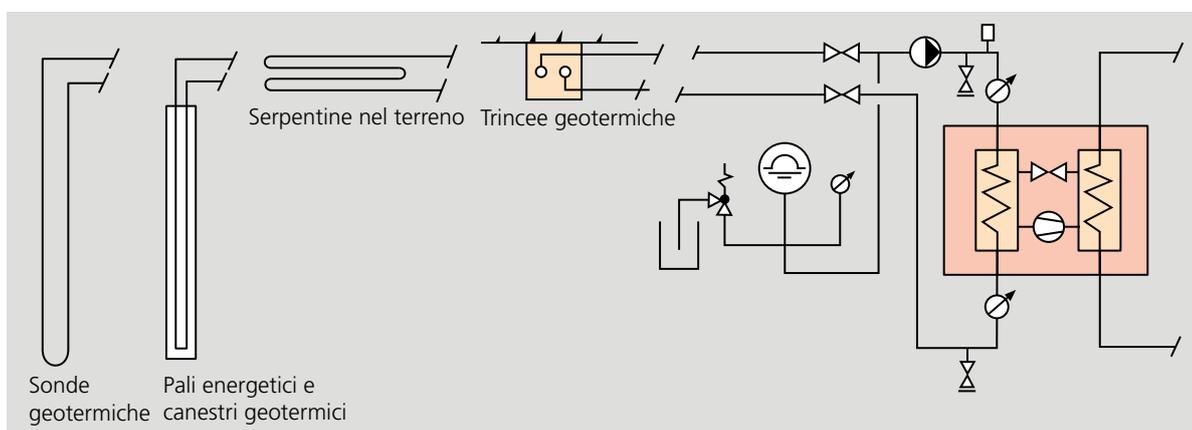


Figura 4.13:  
Collegamento al  
sistema di sfrutta-  
mento del calore  
della terra.

## 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.

## 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 rego-

la 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:  $\geq 7$
- Ferro (sciolto):  $\leq 0,15$  mg/l
- Manganese (sciolto):  $\leq 0,1$  mg/l

Figura 4.14:  
Temperature  
dell'acqua di falda.

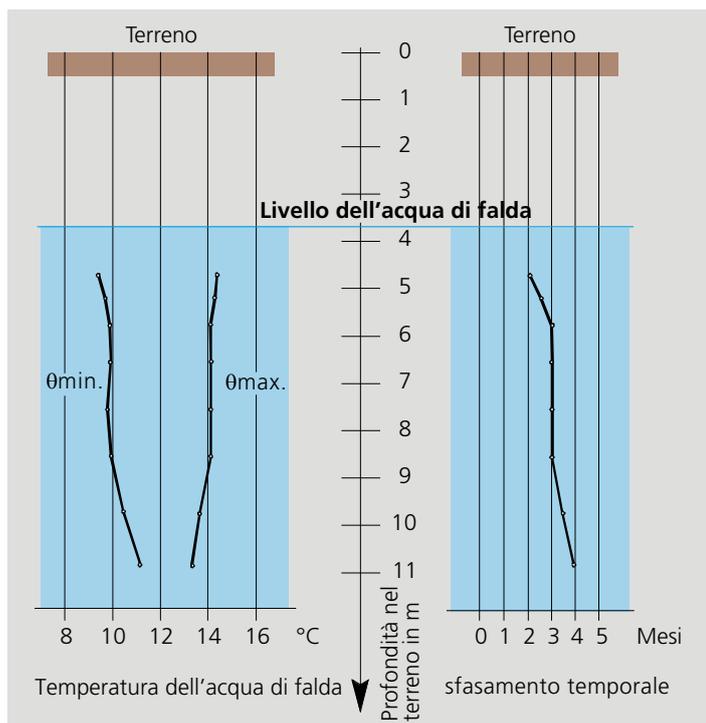
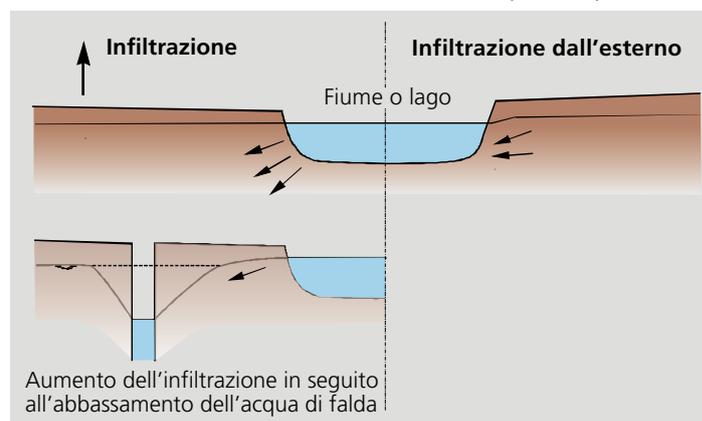


Figura 4.15:  
Infiltrazione dell'acqua di superficie.



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

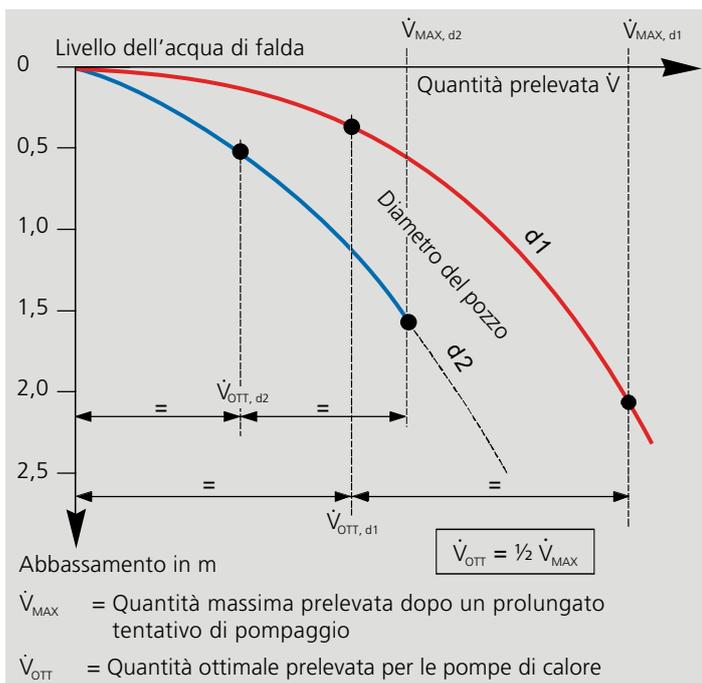
Il dimensionamento dei pozzi di captazione e restituzione (Figura 4.16) si basa principalmente sulle proprietà delle rocce acquifere

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 (immagine: BKW AG).



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



### Indicazioni di progettazione e 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 temperatura 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

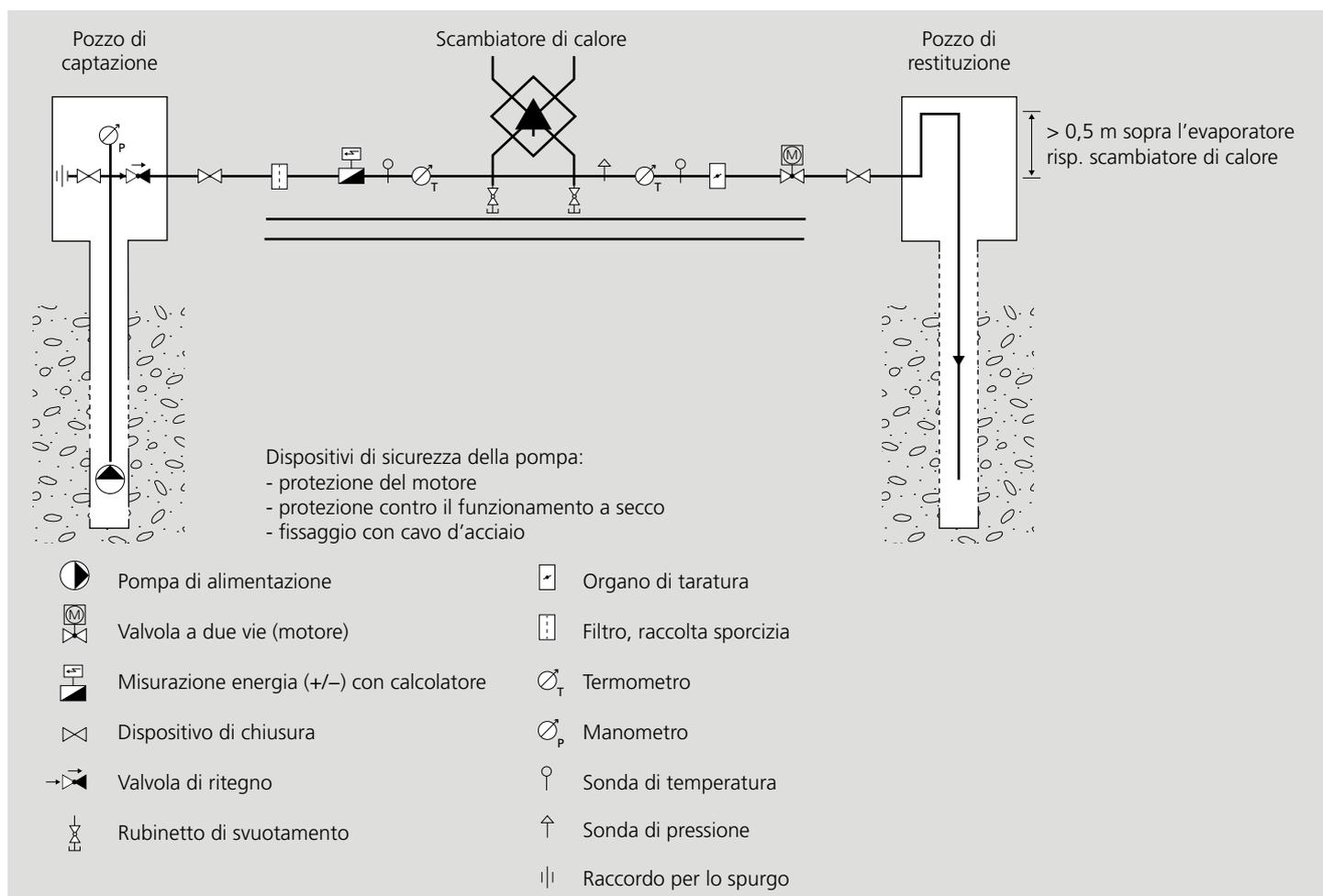
spurgo, tubazioni e scambiatore di calore) per convogliare l'acqua di falda dal pozzo di captazione fino alla restituzione

- 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 neces-

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



sario quindi un'autorizzazione 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 fon-

te 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.

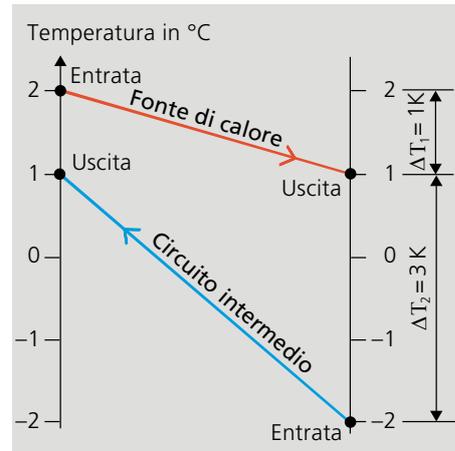
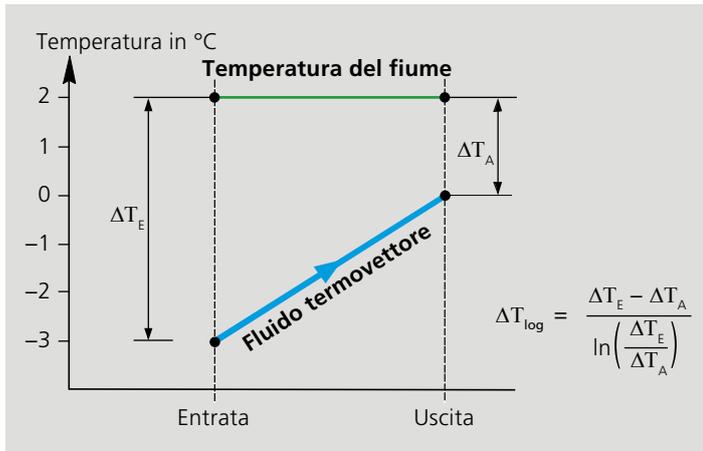
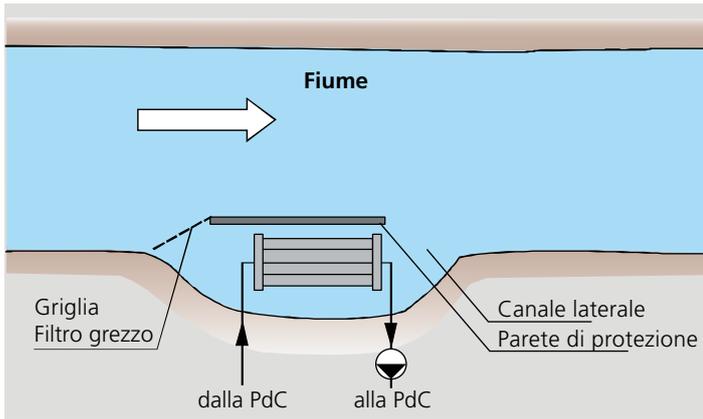


Figura 4.21: Temperature della fonte di calore e il circuito intermedio.

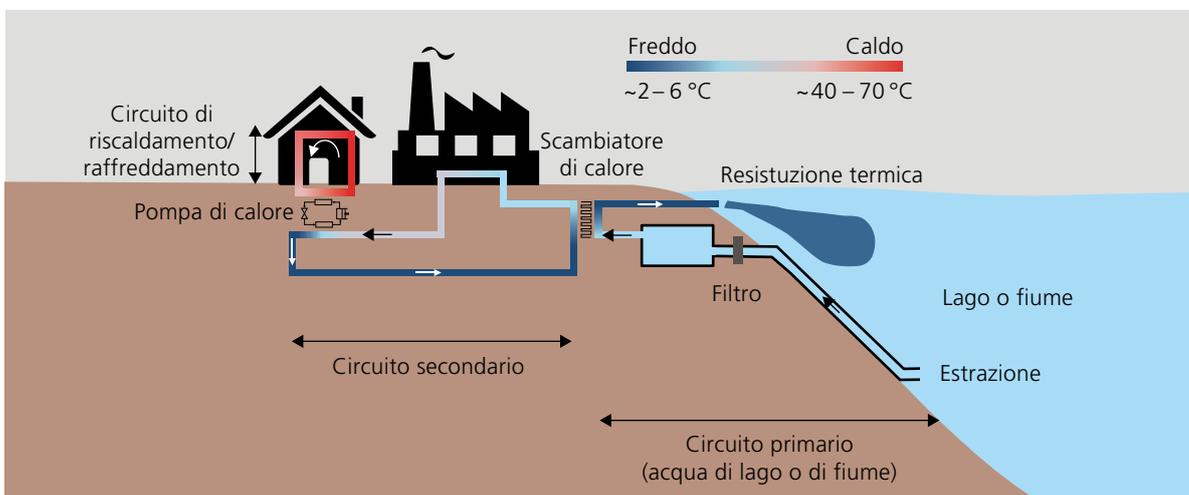


Figura 4.22: Pozzi filtranti in caso di utilizzo dell'acqua di lago. Nell'esempio il circuito secondario viene utilizzato per raffreddare (processo industriale) e per riscaldare (edifici), l'acqua di restituzione è più fredda dell'acqua di estrazione. (Fonte: EAWAG 2018).

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/(m<sup>2</sup>K) (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 autorizzazio-

ne 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; p.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 recuperare 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 di 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.  $1,5 \text{ kW/m}^2$  fino a  $2 \text{ kW/m}^2$ .
- 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  $10^\circ\text{C}$ .
- 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

Gli edifici amministrativi molto grandi e complessi, a causa dei maggiori carichi interni (secondo la norma SIA 2024:2015) e delle loro elevate esigenze a livello di comfort dell'utente, devono spesso essere raffreddati. È quindi consigliabile raffreddare gli edifici mediante l'impiego diretto di geotermia e di acque sotterranee o di superficie. In questo caso si parla di raffreddamento libero (free cooling). Il calore non utilizzabile viene ceduto al terreno, all'aria, all'acqua di falda, di superficie o di scarico. Così il campo delle sonde geotermiche può «rigenerarsi» durante i mesi estivi, con la conseguenza di un CLA della pompa di calore più elevato. Se il raffreddamento diretto non è possibile, il calore deve essere prelevato durante il funzionamento del compressore (raffreddamento attivo).

## Sistemi

Di base vengono distinti i seguenti sistemi:

- Impianti di refrigerazione (macchina frigorifera)
- Impianti di riscaldamento (PdC)

Questo significa che la grandezza di riferimento decide se si tratta di una macchina frigorifera o una pompa di calore, rispettivamente di un impianto combinato. Di base l'energia può essere presa o ceduta al consumatore attraverso lo stesso sistema di distribuzione. Durante la fase di raffreddamento, il sistema o deve venir protetto da temperature d'esercizio troppo basse (formazione di acqua di condensa), o conseguentemente isolato in funzione delle condizioni d'esercizio e protetto contro la corrosione. Sistemi di riscaldamento comuni, in caso di raffreddamento, funzionano a una temperatura del fluido minima di 17 °C fino a 20 °C, in modo che di norma non si possa formare dell'acqua di condensa.

**Esempi:** se per il raffreddamento di un edificio viene utilizzato un sistema di riscaldamento a pavimento a bassa temperatura (raffreddamento del pavimento «change-over») e se il calore viene portato direttamente alla sonda geotermica, ad esempio mediante scambiatori di calore (dissipazione), si tratta di un **raffreddamento diretto** (chiamato anche «natural cooling», «free-cooling» o «geocooling»).

Il raffreddamento dell'immissione avviene mediante l'impiego del compressore, o con una macchina frigorifera, o con una pompa di calore reversibile commutata sul raffreddamento. Il calore residuo viene utilizzato perlomeno parzialmente nell'edificio, mentre il calore rimanente viene ceduto all'aria esterna tramite un dissipatore. In questo caso si tratta di una **macchina frigorifera con sfruttamento del calore residuo**.

## Indicazioni di progettazione

- Tenere in considerazione le prescrizioni cantonali relative all'energia e all'edilizia.
- Il fabbisogno di calore o raffreddamento dell'edificio con le corrispondenti temperature del fluido sono da definire in anticipo.

- Nel caso di impianti con sonde geotermiche, per determinare la lunghezza della sonda è da considerare l'impiego primario.

- Nel caso di sfruttamento dell'acqua di falda, di superficie o di scarico, vanno assolutamente chiarite le temperature massime di restituzione con le autorità competenti.

- Il dimensionamento e la definizione dei limiti d'impiego, così come i punti d'intersezione a livello idraulico e di regolazione vanno necessariamente chiariti con il fabbricante o il fornitore dell'impianto di raffreddamento.

- L'isolamento termico (acqua di condensa) del sistema di raffreddamento deve essere preso in considerazione anche se l'impianto funziona in modalità raffreddamento diretto (tubazioni di raffreddamento fredde nella zona calda).

- Va prestata particolare attenzione alla corretta scelta del punto di connessione per la regolazione tra produzione di calore, distribuzione ed erogazione. Una separazione chiara e adeguata semplifica la progettazione e la realizzazione, oltre che l'esercizio, soprattutto negli impianti complessi.

- Per i sistemi di riscaldamento a pavimento deve essere prevista una limitazione della temperatura di mandata (minimo 18 °C), in modo da evitare la formazione di condensa sulla superficie del pavimento o nel massetto.

## IMPIANTI DI VENTILAZIONE E CLIMATIZZAZIONE

### Sistemi

L'impiego di pompe di calore è sensato anche negli impianti di ventilazione e climatizzazione. La pompa di calore rappresenta una componente ideale per il recupero del calore (RC). Grazie a essa è possibile recuperare sia il calore sensibile che latente da un flusso di aria d'aspirazione, e ritornare di nuovo questa energia al circuito, previo il necessario fabbisogno di energia.

Soluzioni standardizzate si possono trovare p.es. negli apparecchi di ventilazione per piscine o negli edifici con una ventilazione meccanica controllata.

In caso di piscine, in primo piano si pone la problematica della deumidificazione dell'aria interna. In questi apparecchi il flusso d'aria viene dapprima convogliato attraverso l'evaporatore (deumidificazione) e poi il condensatore (nuovo riscaldamento del volume d'aria). Il calore in esubero viene spesso impiegato per il riscaldamento dell'acqua delle vasche.

Un ulteriore impiego avviene negli impianti di ventilazione decentralizzati. In piccoli impianti con una distanza tra impianto d'immissione e espulsione inferiore ai 25 m, l'evaporatore viene inserito direttamente nell'espulsione – rispettivamente il condensatore nel monoblocco d'immissione. Negli impianti di grandi dimensioni o in caso di elevate distanze, è raccomandabile un circuito intermedio. In caso di calore in esubero, gli impianti possono essere utilizzati per il riscaldamento di edifici o, al di fuori del periodo di riscaldamento, per la preparazione dell'acqua calda sanitaria.

#### **Indicazioni di progettazione**

- Gli scambiatori di calore negli impianti di ventilazione devono essere accessibili per una regolare pulizia. Inoltre è da prevedere un isolamento termico idoneo (acqua di condensa).
- Entrambi i flussi di energia (sorgente e utilizzatore) dovrebbero essere se possibile disponibili in contemporanea, altrimenti è necessario un accumulo dell'energia, il quale però può velocemente comportare costi elevati.

## 5. EROGAZIONE DEL CALORE

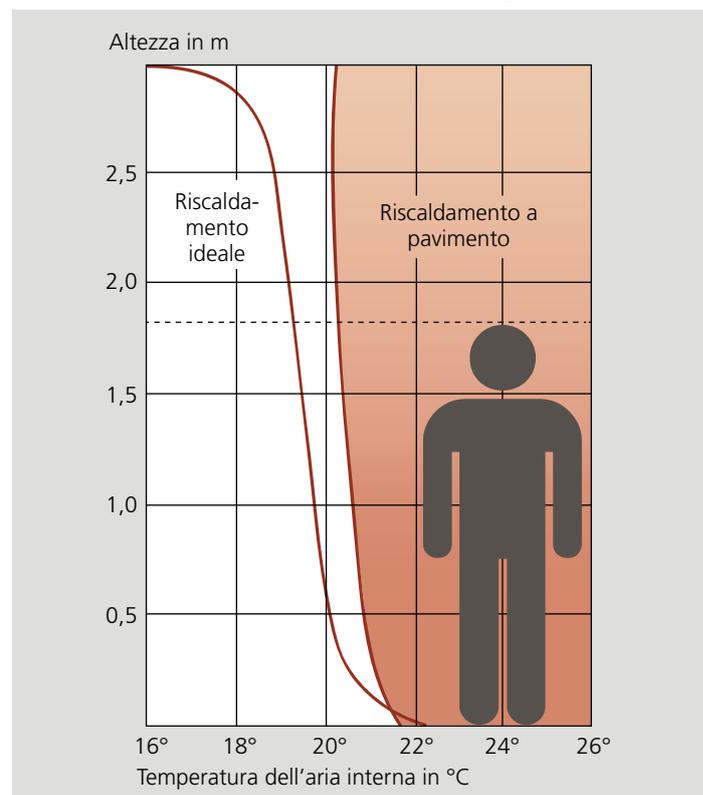
Con l'erogazione del calore viene definito il sistema con il quale il calore, rispettivamente il freddo, generato con la produzione e trasportato con la distribuzione di calore o freddo, viene ceduto agli ambienti interni. Di seguito viene trattato il funzionamento in modalità riscaldamento, poi si parlerà 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 pe-

sano 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 dei 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 del-

*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.*



la temperatura di mandata, o per la compensazione energetica di una riduzione notturna dell'impianto di riscaldamento.

## 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)!

#### Svantaggi

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

Figura 5.2: Coefficiente di rendimento in funzione della temperatura di mandata del riscaldamento ( $^{\circ}\text{C}$ ) di una pompa di calore con serpentine nel terreno ( $0^{\circ}\text{C}$ ) e riscaldamento a pavimento (inverno).

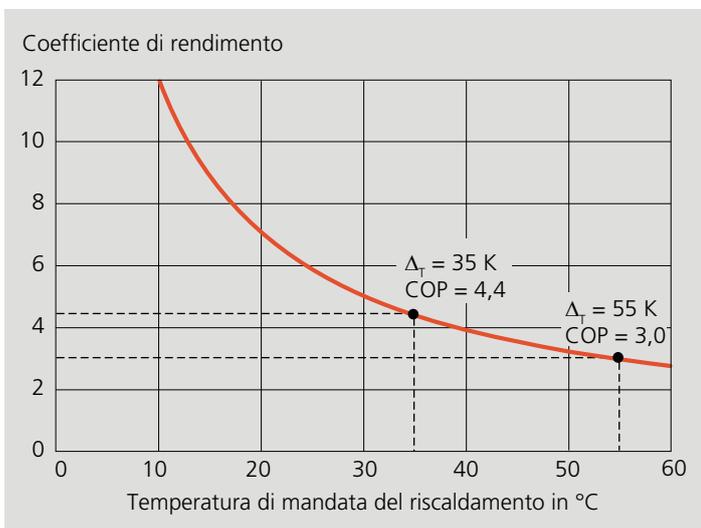
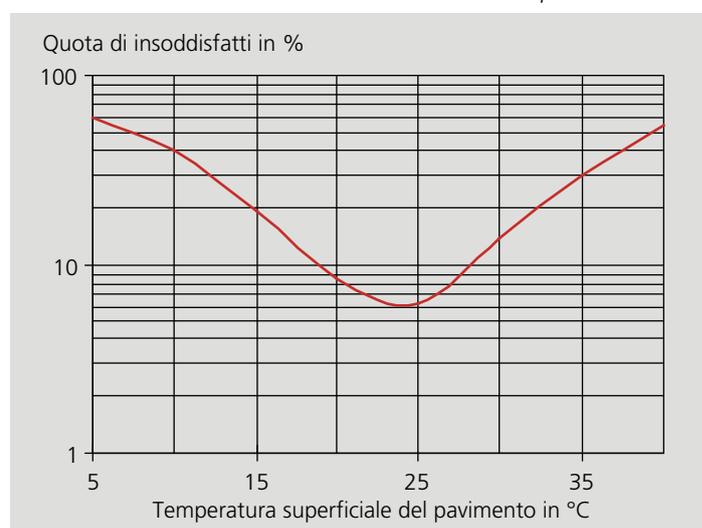


Figura 5.3: Percentuale di persone insoddisfatte, che indossano scarpe leggere, in funzione della temperatura superficiale del pavimento.



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'ar-

chitetto 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.

### 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

Figura 5.5:  
Dettaglio in sezione TABS.

Figura 5.6:  
Edificio amministrativo con 6000 m<sup>2</sup> di superficie di solette termoattive (immagine: Vescal).

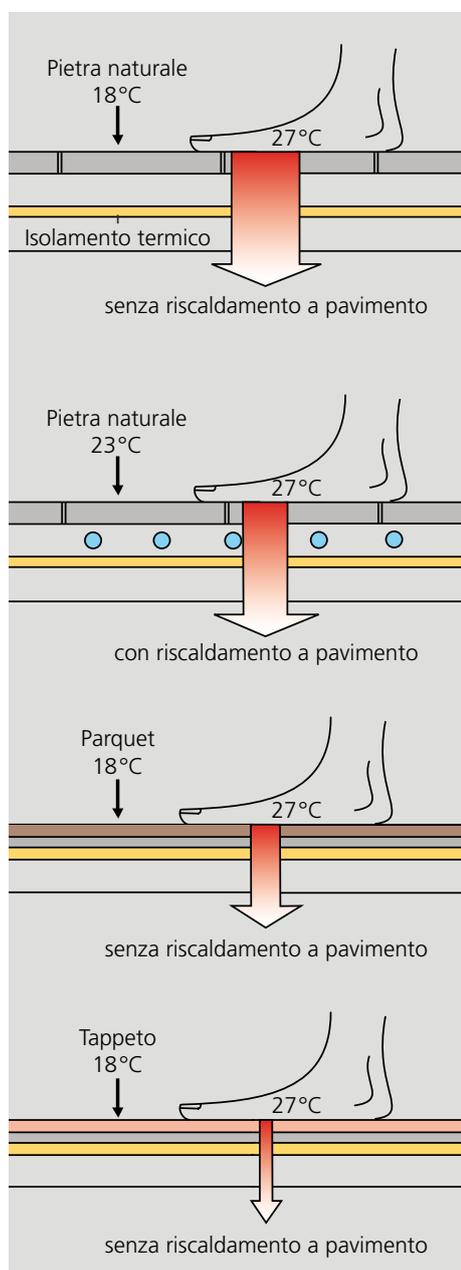
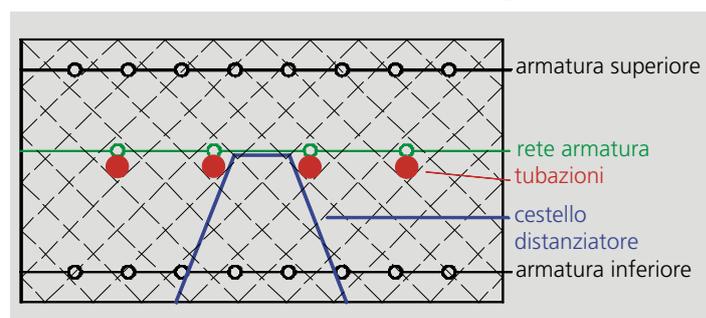


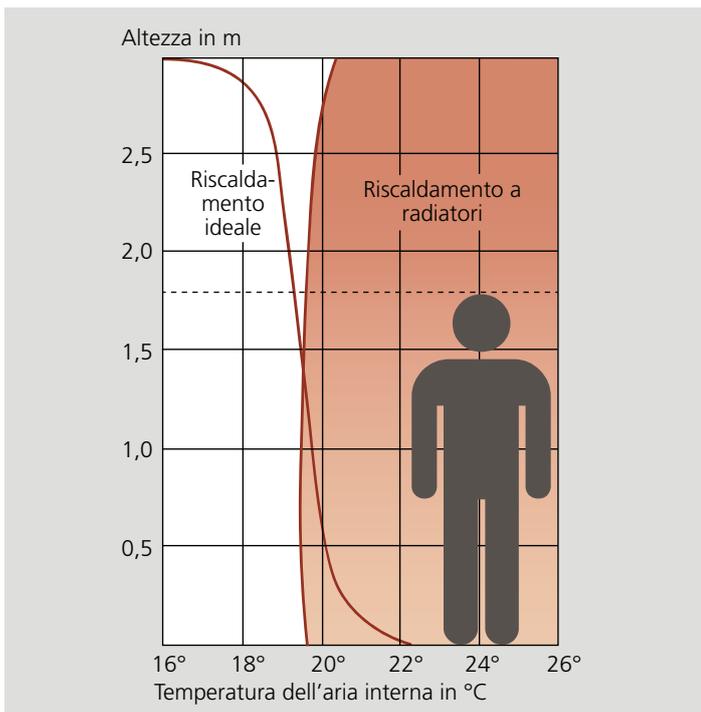
Figura 5.4:  
Disperdimento di calore dal piede con diversi rivestimenti del pavimento.



dell'energia, per esempio un raffreddamento attivo 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 ( $\alpha$ ) 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/(m<sup>2</sup>K) (per convezione ca. 2 fino a 3 W/(m<sup>2</sup>K), per irraggiamento ca. 5 W/(m<sup>2</sup>K)). Ne risulta una trasmissione di calore di circa 50 W/m<sup>2</sup> 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/m<sup>2</sup> condiziona l'elemento

Figura 5.7: Andamento della temperatura con riscaldamento a radiatori.



to per 24 ore a pieno carico, si ottiene una quantità di energia pari a 1,2 kWh/m<sup>2</sup>, che giornalmente viene ceduta al locale.

## RISCALDAMENTO CON CORPI RISCALDANTI

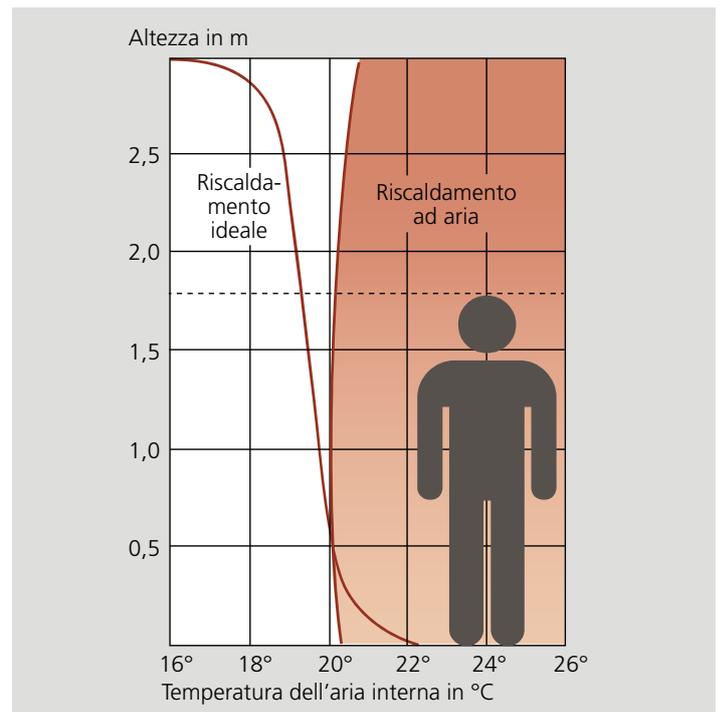
### Vantaggi

- 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 5.7).
- Pavimento freddo se in pietra.
- Necessità di superfici riscaldanti relativamente grandi.
- Questo sistema non può essere utilizzato per il raffreddamento.

Figura 5.8: 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 di 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 di 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. Tramite il «ciclo anti-legionella» si deve garantire che la temperatura dell'acqua possa essere riscaldata periodicamente oltre i 60°C. Questo deve avvenire sia nel serbatoio di accumulo che nei tubi di collegamento verso gli utilizzatori.

- **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).

## 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.
- 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

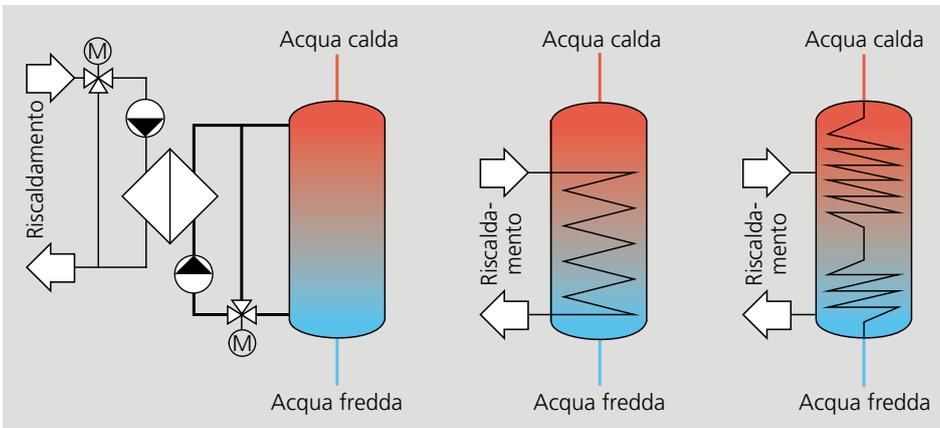


Figura 5.9:  
Sistemi indiretti  
di riscaldamento  
dell'acqua calda.

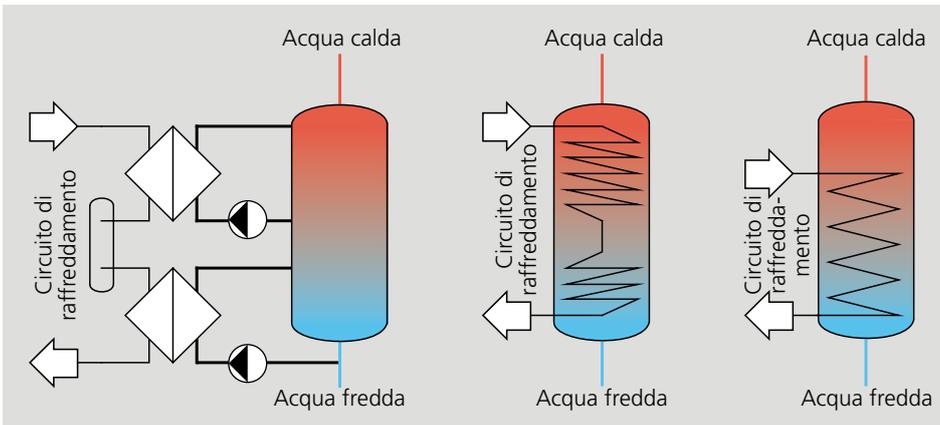


Figura 5.10:  
Sistemi diretti di  
riscaldamento  
dell'acqua calda.

### **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 di 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 (edizione 2011) richiede quindi temperature minime di 60°C nell'accumulatore di acqua calda sanitaria o sul lato caldo della pompa di calore. Le tubazioni mantenute calde devono essere mantenute ad almeno 55°C e la temperatura al rubinetto non deve essere inferiore a 50°C. Le tubazioni dell'acqua fredda devono essere installate in modo che non si riscaldino (ad es. a causa di presenza di tubazioni parallele di acqua calda sanitaria o di riscaldamento).

Le pompe di calore a bassa temperatura di mandata devono essere dotate di un «ciclo anti-legionella» con il quale la temperatura può essere portata periodicamente a 60°C. 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.

## 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 di 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 per l'intera rete dell'acqua potabile (cfr. Paragrafo 5.3, «Legionella»).
- Per emergenze è da prevedere una resistenza elettrica aggiuntiva (ammesso anche per l'eventuale circuito della legionella).
- 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.

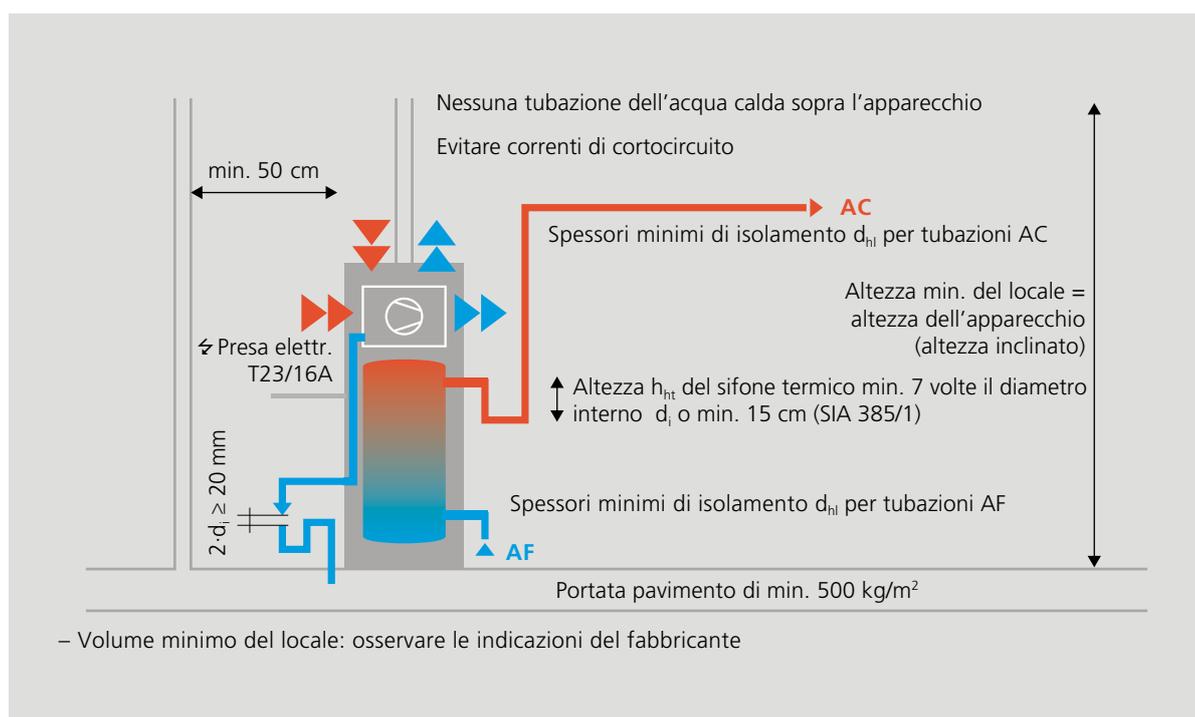


Figura 5.11: Installazione degli scaldacqua con pompa di calore (fonte: scheda tecnica ImmoClima «Pompe di calore ad acqua calda»).

### Indicazioni di 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).

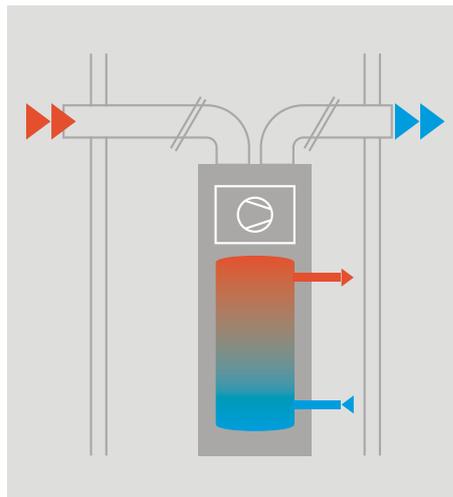


Figura 5.12: Scaldacqua con pompa di calore, con sistema canalizzato per l'utilizzo dell'aria esterna come fonte di calore (fonte: scheda tecnica ImmoClima «Pompe di calore ad acqua calda»).

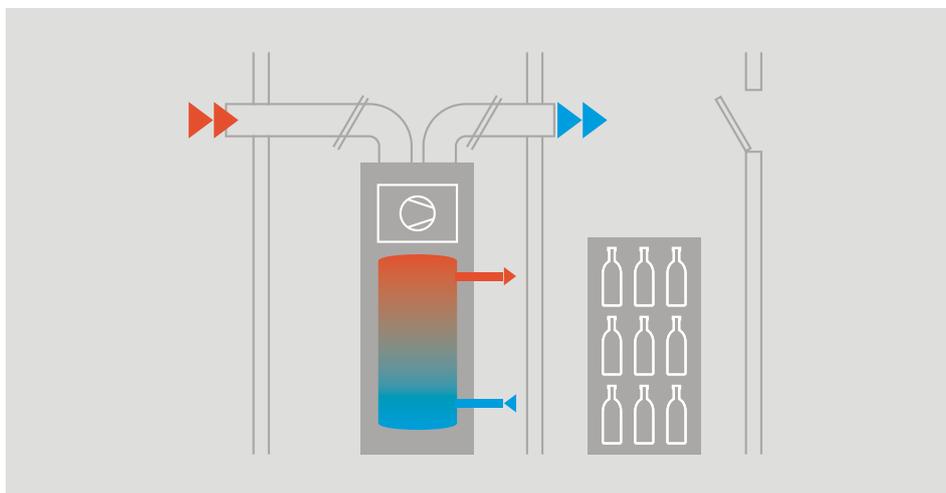


Figura 5.13: Posa di bollitori a pompa di calore per il raffreddamento di locali.



Figura 5.14: Posa di bollitori a pompa di calore per la deumidificazione di locali.



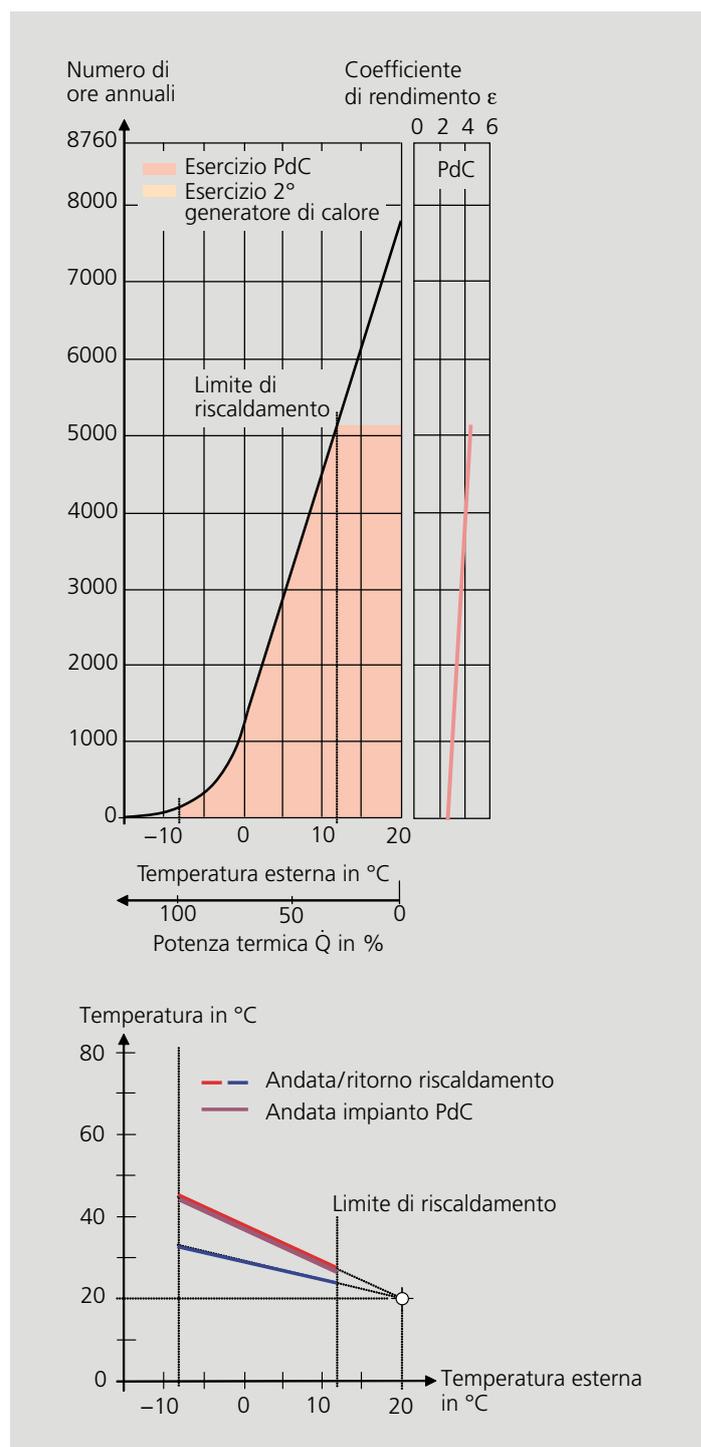
# 6. POMPA DI CALORE AGLI IMPIANTI

## 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)

Figura 6.1:  
Funzionamento  
monovalente.



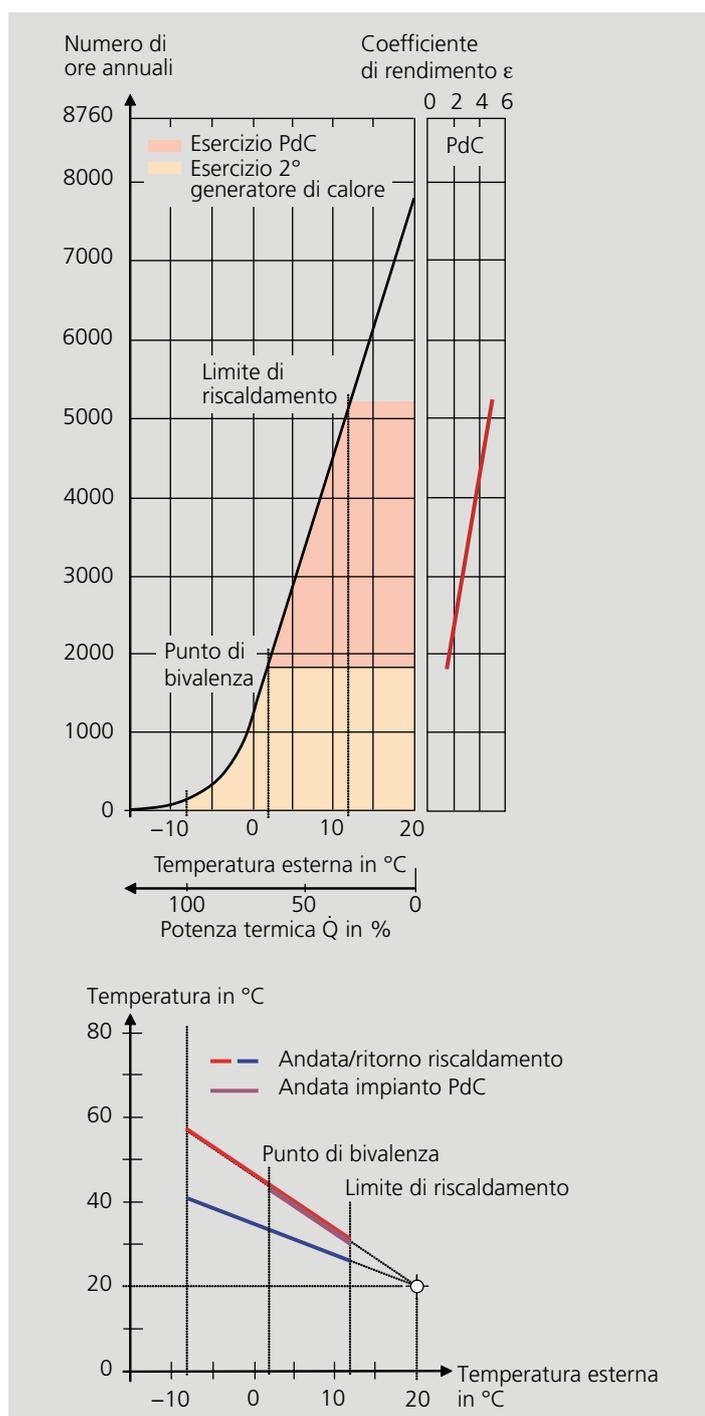
- Per ottimizzazioni dell'esercizio consultare il quaderno tecnico SIA 2048 (liste di controllo)

## 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 re-

Figura 6.2:  
Funzionamento  
bivalente-  
alternativo.



gimi di funzionamento. Di conseguenza la pompa di calore deve 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. 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

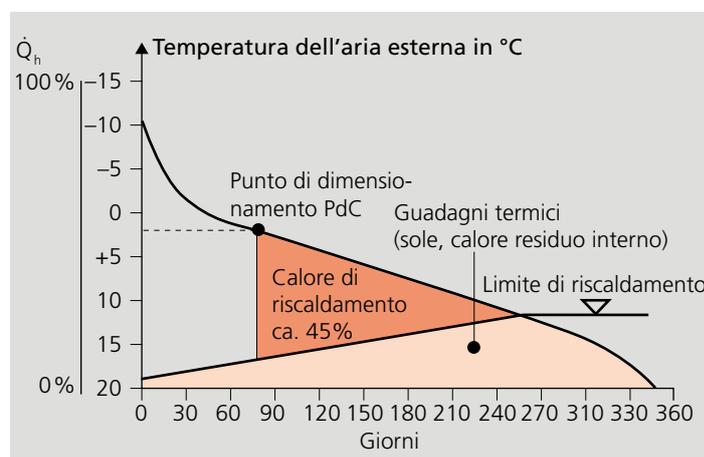
Inoltre, in caso di impianti di grandi dimensioni:

- Economicità
- Ridondanza

#### Indicazioni

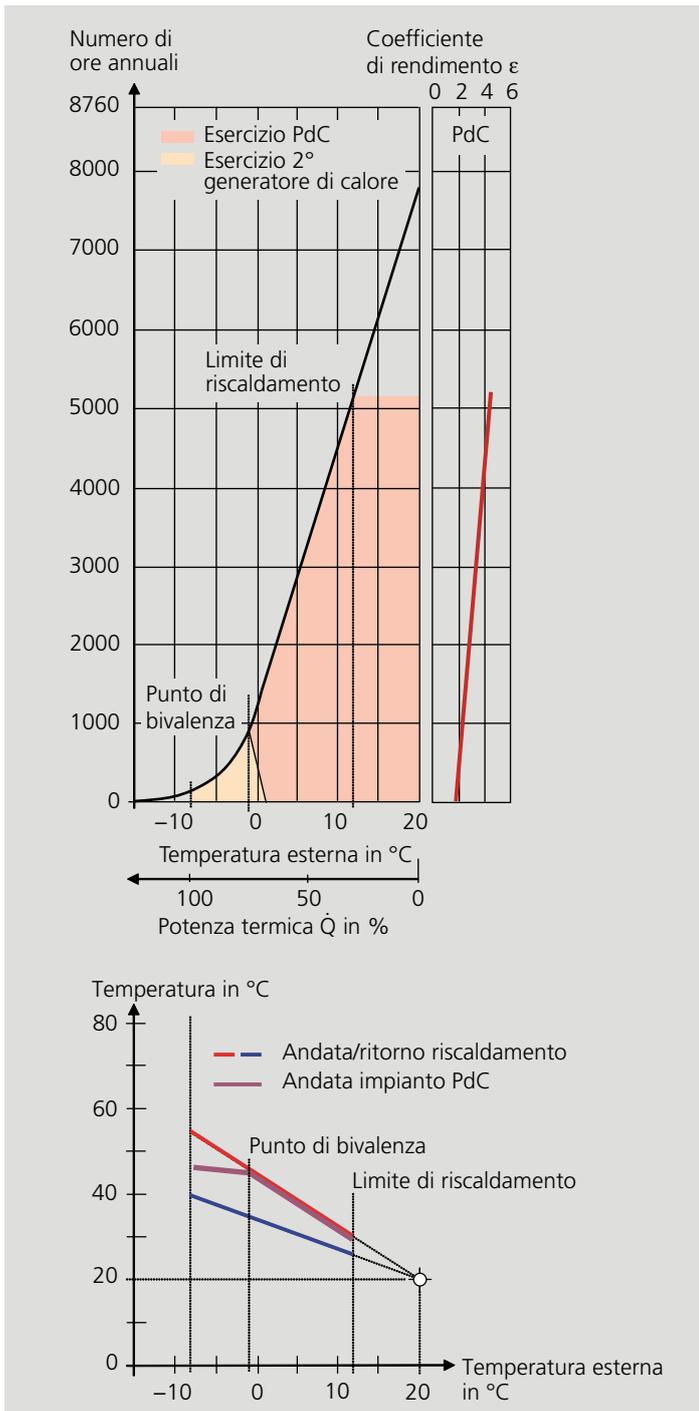
- È necessario più spazio per il serbatoio dell'olio o per il locale di stoccaggio della legna, per la caldaia, l'accumulatore di stoccaggio e la canna fumaria di un sistema di riscaldamento supplementare.
- I sistemi di generazione di calore bivalenti andrebbero evitati negli impianti di piccole dimensioni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

Figura 6.3:  
Funzionamento bi-  
valente-  
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». Esistono due tipi diversi di esercizio.

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



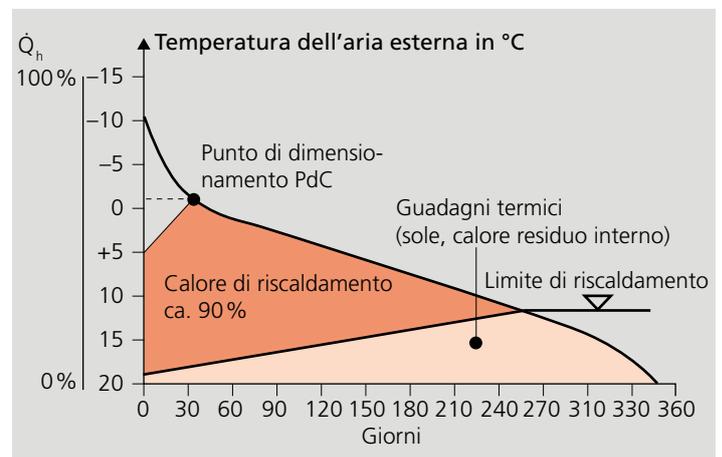
### ESERCIZIO BIVALENTE – ALTERNATIVO

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 – PARZ. 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 6.5: 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, p.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 disposizione 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 di 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 contenitore 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).

### 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 6.10). 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.

#### 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
- Tener conto della calcificazione
- Indicazioni di progettazione
- Necessaria una progettazione attenta alle reali esigenze
- Protezione contro la legionella (termica, irraggiamento UV) per tubazioni mantenute calde

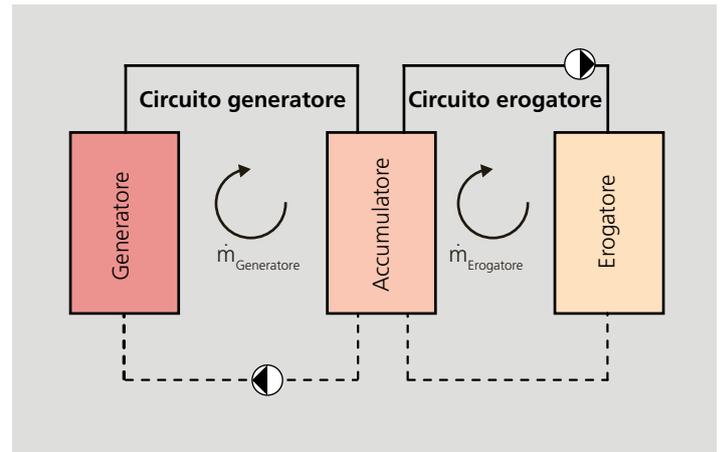


Figura 6.6: La portata attraverso il circuito del generatore è da determinare affinché sia maggiore di quella attraverso gli erogatori:  $m_{\text{Generatore}} > m_{\text{Erogatore}}$ .

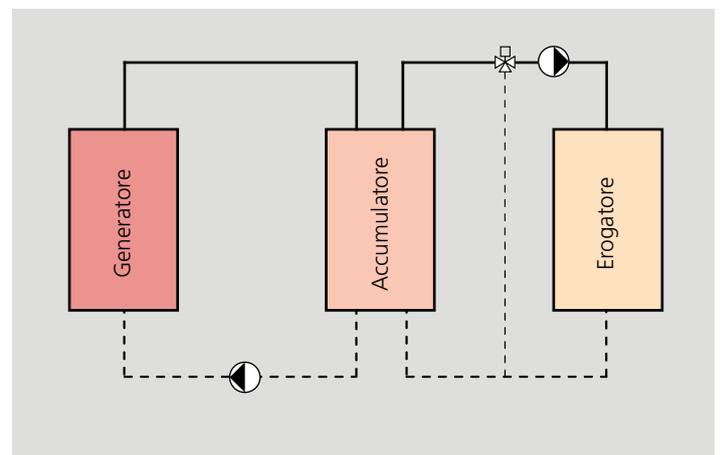


Figura 6.7: Circuito idraulico per carica graduale.

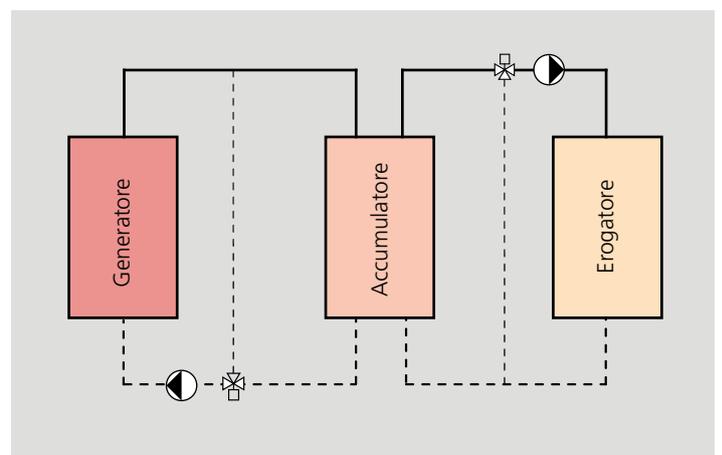
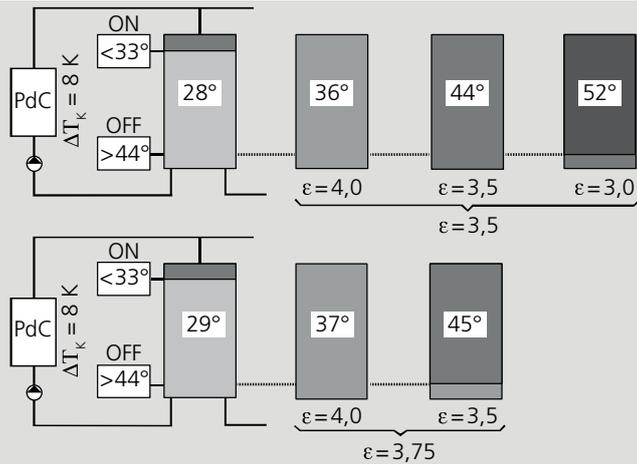
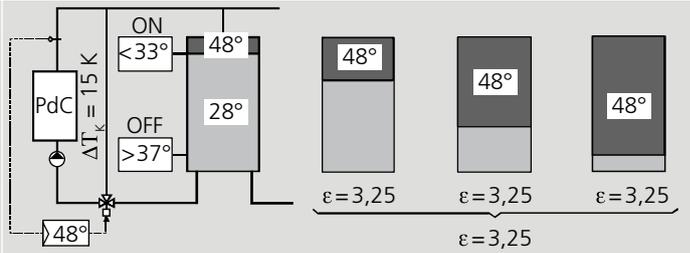


Figura 6.8: Circuito idraulico per carica stratificata.

### Carica graduale



### Carica stratificata



$\epsilon$  = 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 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.  $\Phi_k$**   
 $\dot{V}_k \text{ [m}^3/\text{h]} = 0,86 \cdot \Phi_k \text{ [kW]} / \Delta T_k \text{ [K]}$

È necessario trovare un compromesso:

- Portata massima possibile, affinché la temperatura 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 $\Delta T_k$

Fonte di calore quasi costante

- monovalente  $\Delta T_k = 0,5 \cdot \Delta T_{\text{dimensionamento}}$
- bivalente-parallela  $\Delta T_k = 0,7 \cdot \Delta T_{\text{bivalenza}}$
- bivalente-alternativa  $\Delta T_k = 0,7 \cdot \Delta T_{\text{bivalenza}}$

Fonte di calore fortemente variabile

- monovalente  $\Delta T_k = 0,5 \cdot \Delta T_{\text{dimensionamento}}$
- bivalente-parallela  $\Delta T_k = 0,5 \cdot \Delta T_{\text{bivalenza}}$
- bivalente-alternativa  $\Delta T_k = 0,5 \cdot \Delta T_{\text{bivalenza}}$

#### 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 temperatura 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 temperatura 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  $\Delta T_k$  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.

#### 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.  $\Phi_k$**   
 $\dot{V}_k \text{ [m}^3/\text{h]} = 0,86 \cdot \Phi_k \text{ [kW]} / \Delta T_k \text{ [K]}$

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 $\Delta T_k$

Fonte di calore quasi costante

- monovalente  $\Delta T_k = \Delta T_{\text{dimensionamento}}$
- bivalente-parallela  $\Delta T_k = \Delta T_{\text{bivalenza}}$
- bivalente-alternativa  $\Delta T_k = \Delta T_{\text{bivalenza}}$

Fonte di calore fortemente variabile

- monovalente  $\Delta T_k = 0,5 \cdot \Delta T_{\text{dimensionamento}}$
- bivalente-parallela  $\Delta T_k = 0,7 \cdot \Delta T_{\text{bivalenza}}$
- bivalente-alternativa  $\Delta T_k = 0,7 \cdot \Delta T_{\text{bivalenza}}$

#### Temperatura di carica $T_{carica}$

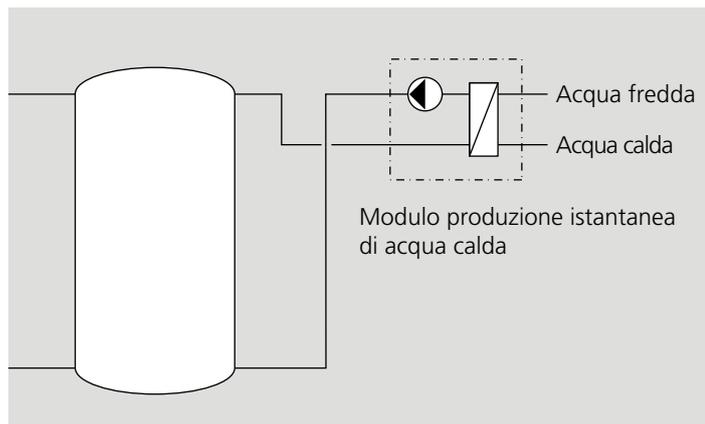
Affinché funzioni lo spegnimento, vale:  $T_{carica} > T_{OFF}$

Figura 6.9 (pagina a sinistra): Confronto tra carica graduale e carica stratificata (Fonte: Ravel im Wärmesektor; Wärmepumpen, Heft 3, 1993).

### Indicazioni di progettazione

- 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
- Sono disponibili da poco delle soluzioni collaudate (accumulatori testati, moduli di sistema per pompe di calore) che garantiscono una buona efficienza degli impianti

Figura 6.10: Modulo produzione istantanea di acqua calda con collegamento all'accumulatore. La struttura interna del modulo è rappresentata in maniera semplificata.



ad accumulazione combinata anche nell'accoppiamento con pompe di calore.

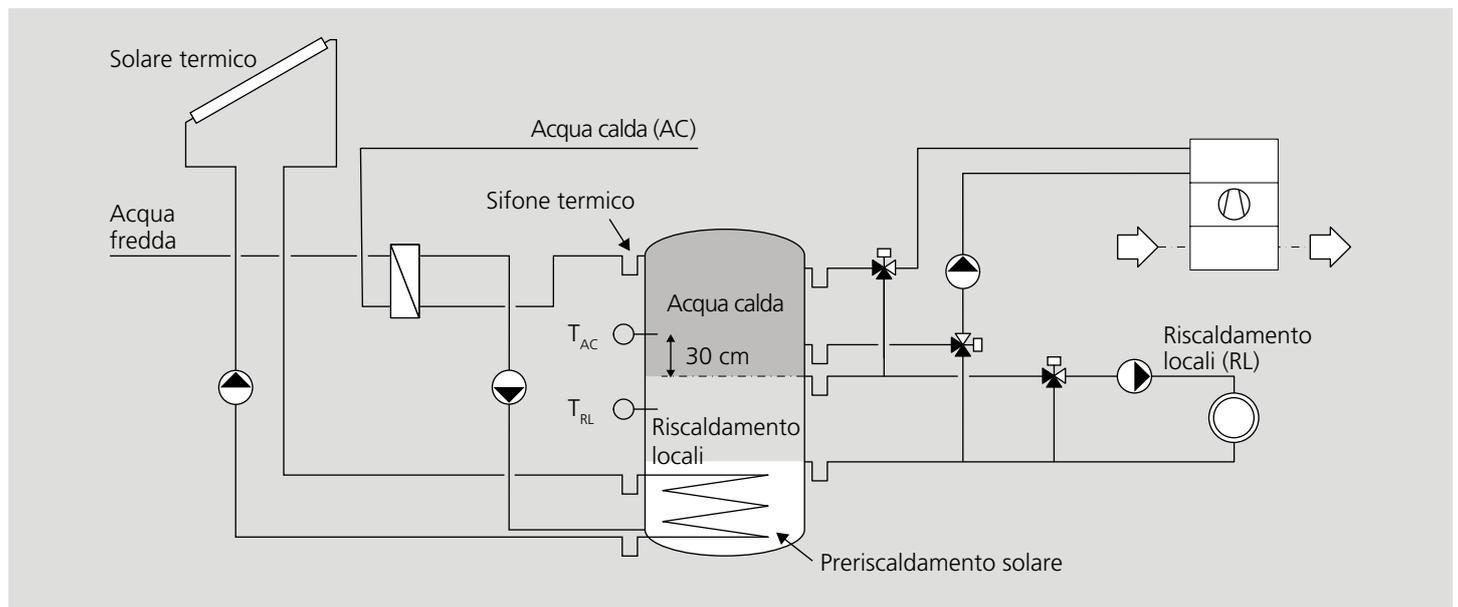
### ACCUMULATORE COMBINATO (KOMBI)

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 temperatura 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

Figura 6.11: 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).



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 6.12, 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).

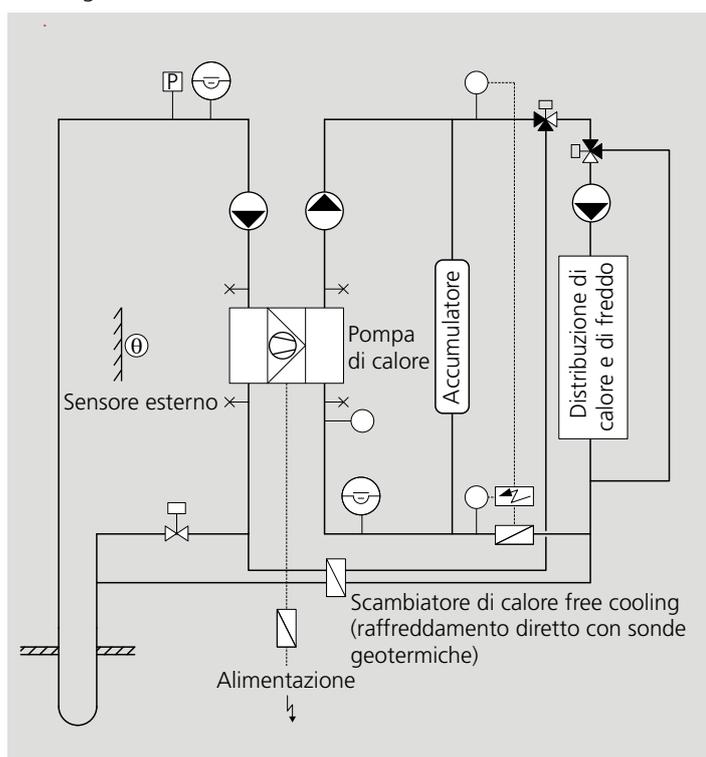
#### Vantaggi

- 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

Figura 6.12:  
Raffreddamento diretto con sonde geotermiche.



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/m<sup>2</sup>
- Per riscaldamenti a pavimento ca. 25 W/m<sup>2</sup>
- Per riscaldamenti a soffitto (TABS) ca. 30 fino a 40 W/m<sup>2</sup>

#### 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 di 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<sup>3</sup>/s

$\Phi$  = Potenza termica in W (J/s)

$\rho$  = Densità del fluido in kg/m<sup>3</sup>

$c$  = Capacità termica specifica del fluido in J/(kg K)

$\theta$  = Temperatura del fluido in °C

Per l'acqua vale ca.  $c = 4200$  J/(kg K) e  $\rho = 1000$  kg/m<sup>3</sup>.

#### 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

$\Delta p$  = Perdita di carico in Pa

$\rho$  = Densità del fluido in kg/m<sup>3</sup>

$g$  = Accelerazione di gravità in m/s<sup>2</sup>

### 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  $(\frac{1}{2})^2 = \frac{1}{4}$  perdita di carico  $\rightarrow (\frac{1}{2})^3 = \frac{1}{8}$  potenza.

# 7. ACUSTICA E PROTEZIONE FONICA

## 7.1. 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 7.1). 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 7.1), 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 7.2). In particolar modo nella posa

Tabella 7.1: 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.

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

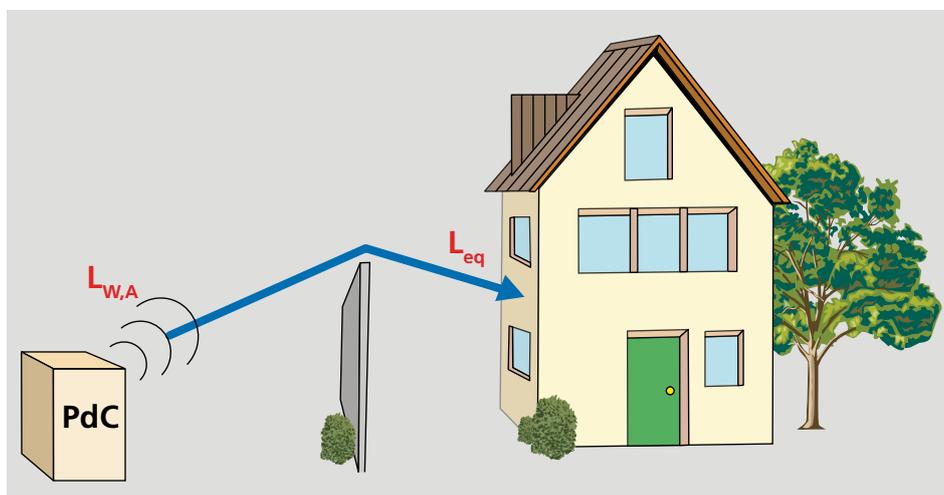


Figura 7.1:  $L_{w,A}$  è il livello di potenza sonora della fonte di rumore.  $L_{eq}$  è il livello di pressione sonora, misurato al centro della finestra aperta.  $L_r$  è il livello di valutazione ( $L_{eq}$  considerando le correzioni del livello).

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 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

Tabella 7.2: 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
<b>Sensibilità al rumore</b>	<b>Valori dei requisiti <math>L_r</math></b>		
<b>bassa</b>	38 dB(A)	43 dB(A)	33 dB(A)
<b>media</b>	33 dB(A)	38 dB(A)	28 dB(A)
<b>alta</b>	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 3 dB(A); inoltre, il valore min. è 25 dB(A).

di progettazione (Tabella 7.1). 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 7.2). Per questo motivo si dovrebbe tener conto fin dall'inizio del luogo di installazione ottimale.

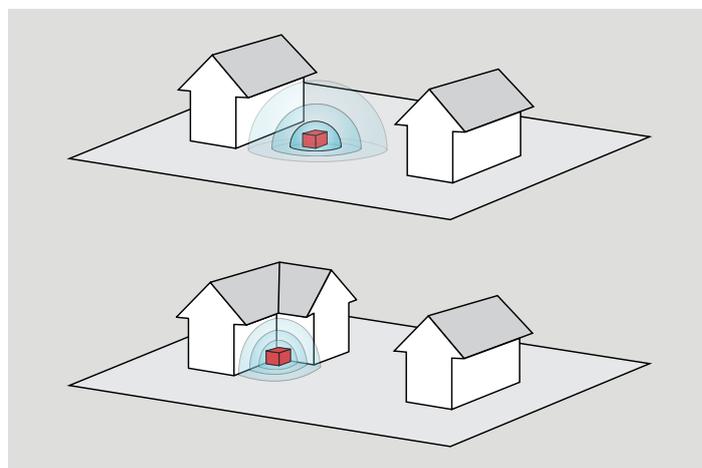
## 7.2. PROVVEDIMENTI PER LA RIDUZIONE DELLE EMISSIONI FONICHE

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.

### 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

Figura 7.2: Il valore di  $L_{eq}$  dipende, tra l'altro, dal luogo in cui è installata la pompa di calore, la direttività aumenta il livello di +3 dB(A) nella situazione precedente e di +9 dB(A) nella situazione d'angolo sottostante (Fonte: Cercle Bruit).



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.

### 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).

Figura 7.3: 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.

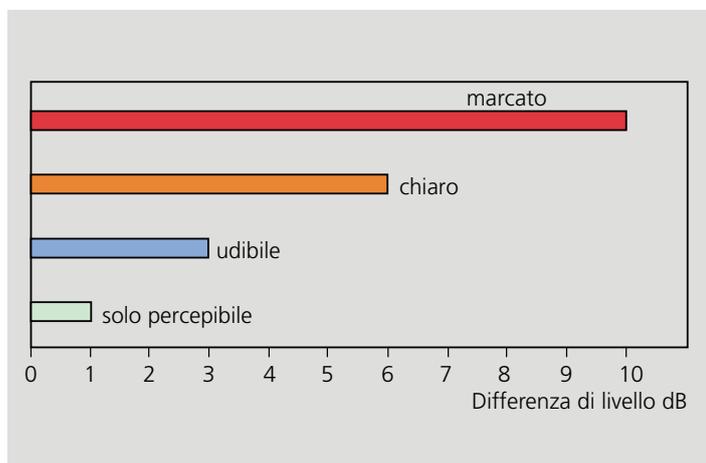


Tabelle 7.3: Valori tipici per la pressione sonora, che l'udito può percepire in un intervallo straordinariamente grande.

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		
100 dB	2 000 000 μPa (2 Pa)	Martello pneumatico
90 dB		Discoteca
80 dB	200 000 μPa (200 mPa)	Catena di montaggio
70 dB		Traffico stradale
60 dB	20 000 μPa (20 mPa)	Conversazione
50 dB		Ufficio
40 dB	2 000 μPa (2 mPa)	Soggiorno
30 dB		Locale lettura
20 dB	200 μPa	Camera da letto
10 dB		Studio radio
0 dB	20 μPa	Soglia di udibilità

## PROVVEDIMENTI PER LA RIDUZIONE DEL RUMORE

Tutti i provvedimenti per la riduzione del rumore riportati nella Figura 7.4 sono da considerare sia nella progettazione che nell'esecuzione. Come mostrato nella Figura 7.5, 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 7.4). La Figura 7.6 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.

Figura 7.4: Provvedimenti per la riduzione del rumore (fonte: «Protezione fonica della posa di pompe di calore» (in tedesco e francese), distribuzione APP).

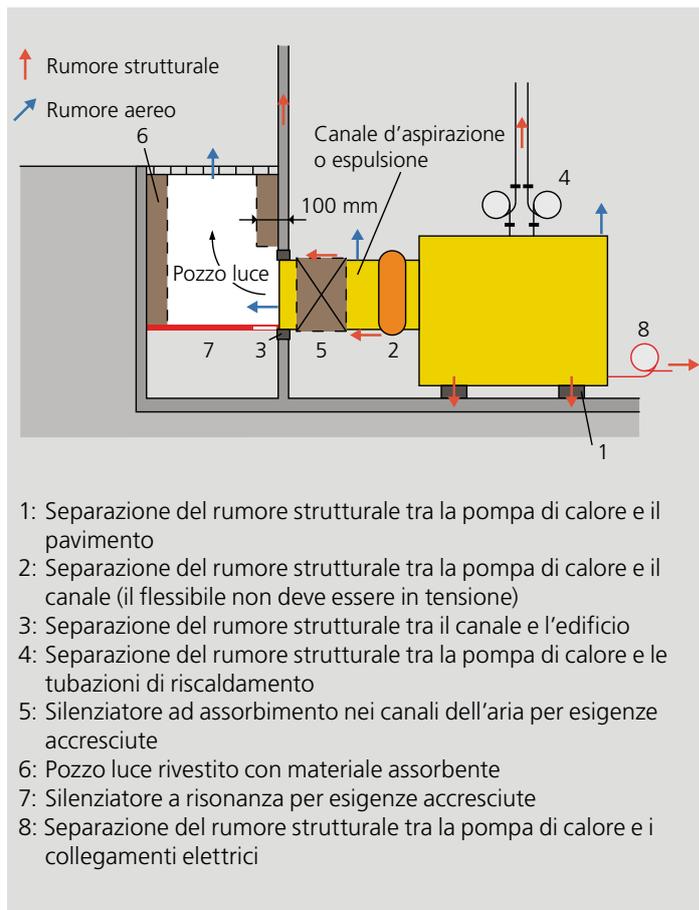
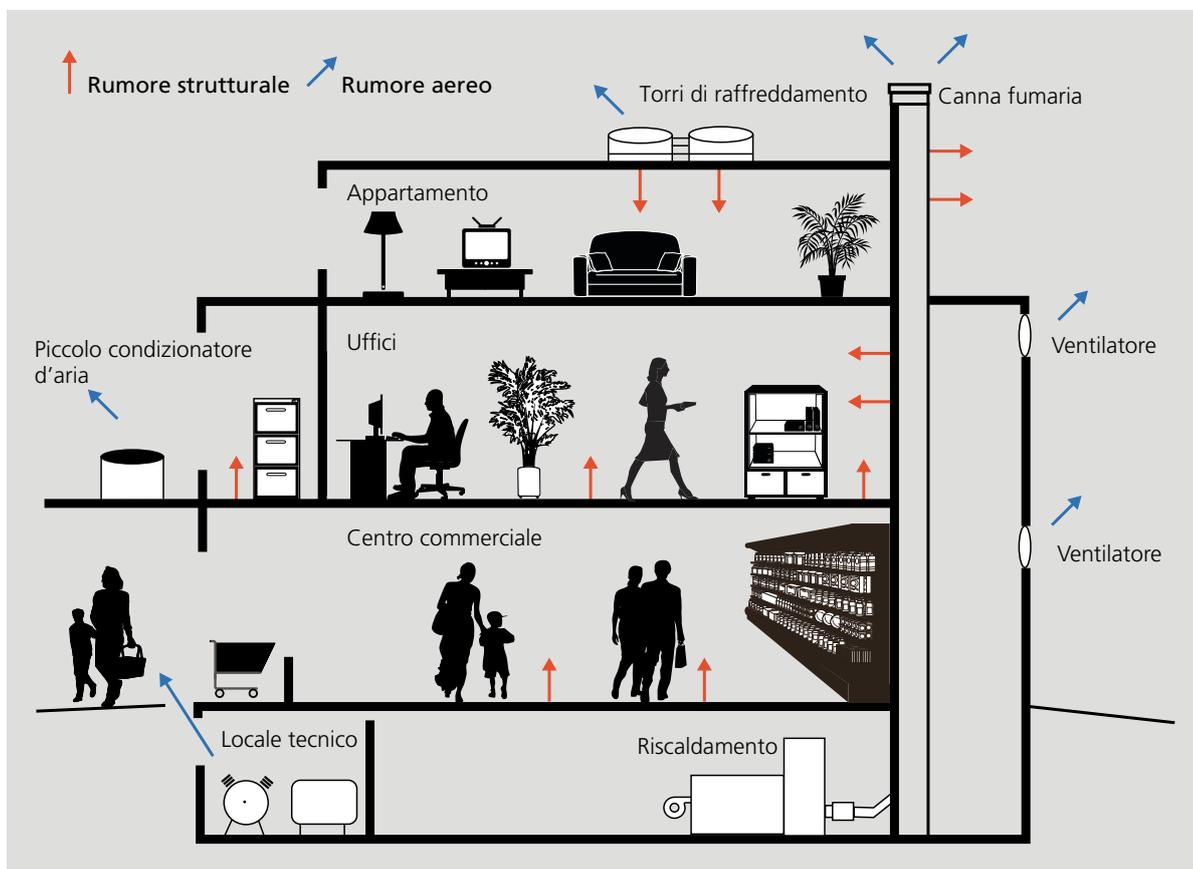


Figura 7.5: Un esempio di suoni trasmessi per via solida e per via aerea in un edificio residenziale e commerciale con impianti domestici (Fonte: Opuscolo sulla limitazione del rumore negli impianti domestici «Lärmbegrenzung bei Haustechnik-anlagen», Cantoni Basilea Campagna e Basilea Città).



Origine	Vie di trasmissione	Possibili soluzioni
<b>Pompe di calore macchine refrigeranti</b> (posate all'interno / unità interne divise per apparecchio)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rumore per via solida prodotto dai compressori: attraverso le fondamenta, le tubazioni di riscaldamento e i cavi elettrici</li> <li>Rumore aereo dei ventilatori: attraverso le aperture di aspirazione e di espulsione dell'aria</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Scegliere apparecchi silenziosi</li> <li>Ottimizzare la posizione</li> <li>Utilizzare un silenziatore</li> <li>Isolamento acustico dei canali dell'aria</li> <li>Distribuzione dei canali (deviazione)</li> <li>Posa, rivestimento, disposizione nei locali</li> <li>Base, collegamenti elastici</li> </ul>
<b>Pompe di calore macchine refrigeranti</b> (posate all'esterno)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rumore aereo prodotto da compressori e ventilatori: attraverso le aperture di aspirazione e di espulsione dell'aria o gli alloggiamenti.</li> <li>Rumore per via solida dei compressori: tramite le tubazioni di riscaldamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Scegliere apparecchi silenziosi</li> <li>Ottimizzare la posizione</li> <li>Utilizzo di elementi elastici di disaccoppiamento sotto la pompa di calore</li> <li>Separazione tra basamento e fondamenta dell'edificio</li> </ul>
<b>Condensatori/ Evaporatori raffreddati ad aria</b> (posati all'esterno / unità separate)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rumore aereo prodotto dai ventilatori</li> <li>Rumore per via solida prodotto dai compressori: attraverso le tubazioni del fluido frigorifero</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Montaggio e gestione delle tubazioni di riscaldamento e del fluido frigorifero</li> <li>Incapsulamento parziale o totale</li> <li>Blocco del numero di giri più elevato («modalità silenziosa»)</li> </ul>

Tabella 7.4:  
Il rumore e la sua riduzione in impianti a pompa di calore – Origine e soluzioni.

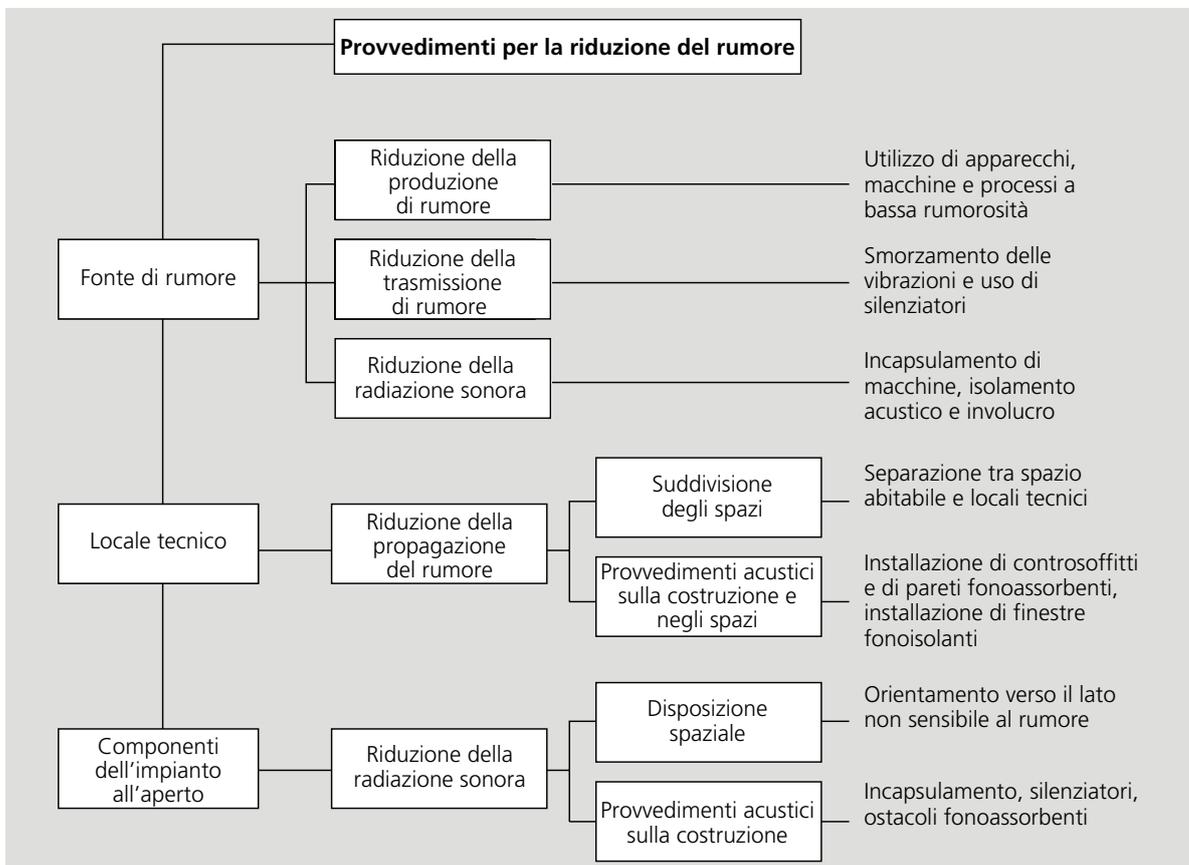


Figura 7.6: Provvedimenti per la riduzione del rumore (Fonte: Opuscolo sulla limitazione del rumore negli impianti domestici «Lärmbegrenzung bei Haustechnikanlagen», Cantoni Basilea Campagna e Basilea Città).



## 8. PROGETTAZIONE

### 8.1. MARCHIO DI QUALITÀ APP/EHPA

Da anni, il marchio di qualità per le pompe di calore della European Heat Pump Association (EHPA) e dell'Associazione professionale svizzera delle pompe di calore (APP) si è affermato come etichetta di qualità per il riscaldamento a pompa di calore. Si distingue per macchine particolarmente valide a livello energetico, di produttori che soddisfano i requisiti qualitativi per la documentazione di progettazione e le prestazioni di servizio. Energeticamente, il marchio di qualità si basa su valori COP e, più recentemente, anche su valori SCOP della macchina. Il marchio di qualità si applica alle pompe di calore alimentate elettricamente, prodotte in serie, fino a una potenza termica di 400 kW.

### 8.2. 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 swissetec e la Società svizzera degli ingegneri nella tecnica impiantistica (Die Planer) 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 energe-

tica che la sicurezza nella fase d'esercizio dell'intero sistema; ma un obiettivo è anche una chiara regolamentazione delle responsabilità. Per la valutazione energetica della macchina, il PdC MS si basa sul marchio di qualità APP/EHPA, ma richiede anche valori di COP particolarmente buoni per la produzione di acqua calda. 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 ai 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).

*Tabella 8.1:  
Requisiti minimi del COP per il modulo di sistema per pompe di calore. A partire da gennaio 2018. A: Temperatura dell'aria esterna; B: Temperatura della salamoia; W: Temperatura dell'acqua.*

Tipo di pompa di calore	Aria-acqua	Salamoia-acqua	Acqua-acqua
Valori COP minimi, corrispondenti al marchio di qualità per PdC	3,1 con A2/W35	4,3 con B0/W35	5,1 con W10/W35
	1,7 con A-7/W55	2,5 con B0/W55	3,3 con W10/W55
	2,6 con A7/W55		
Temperature di mandata minime raggiungibili	55°C con A-7°C	60°C con B0	60°C con W10

- 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.
- Efficienza energetica della pompa di calore secondo la Tabella 8.1
- 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](http://www.pdc-modulo-sistema.ch)

### 8.3. 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 indicato nel database WPesti, il progettista può utilizzare i valori del WPZ (Centro di prova e collaudo delle pompe di calore) oppure del produttore o fornitore dell'impianto. Molto importanti per il calcolo del CLA (coefficiente di lavoro annuo) sono le temperature d'esercizio, in particolare modo le temperature di mandata e di ri-

torno. 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 su WPesti: [www.endk.ch](http://www.endk.ch) → Esperti → Strumenti ausiliari.

### 8.4. 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. Queste 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 ([www.fws.ch/it/i-nostri-servizi/attestato-di-protezione-fonica](http://www.fws.ch/it/i-nostri-servizi/attestato-di-protezione-fonica)), nonché le indicazioni e le guide all'esecuzione della Confederazione (UFE/UFAM), i Cantoni e il Cercle Bruit.

### 8.5. 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 sottostan-

no 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  $\cos-\varphi$  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.

### **8.6. 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 chiari-

re 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, è regolato nelle corrispondenti prescrizioni e direttive (esempi: SN EN 378, EKAS, SUVA, VFK, Capitolo 1.3 e 1.4). 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 7).
- 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.

## 8.7. 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 (p.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 necessarie 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 tra offerte per pompe di calore:** nel confronto tra offerte per pompe di calore vanno considerati i seguenti criteri.

#### 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 3.3)

## 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

## Indicazioni

- 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.

## 8.8. CONTROLLO DELLE PRESTAZIONI

Le pompe di calore sono particolarmente sensibili ai cambiamenti delle condizioni quadro durante il loro funzionamento. Il monitoraggio è uno strumento importante per l'implementazione di un efficiente riscaldamento e raffreddamento energetico senza

interruzioni. Generalmente, per impianti che funzionano bene, è possibile ottenere risparmi energetici dal 10 % al 15 % attraverso un'attuazione coerente. Per poter eseguire un controllo con successo, è necessario definire un concetto di misurazione già durante la progettazione del sistema a PdC. Un criterio importante è la scelta dei limiti di sistema (Capitolo 1.2). Solamente chi è inizialmente a conoscenza della corretta procedura e della strumentazione necessaria può successivamente eseguire un controllo impeccabile. Una progettazione lungimirante considera anche la possibilità di ulteriori installazioni successive, ad esempio mediante manicotti di raccordo e rubinetti.

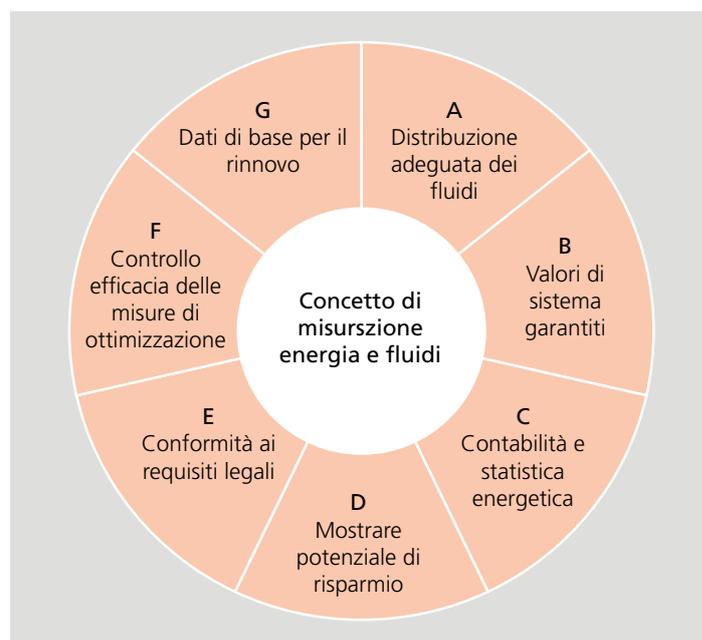
## CONCETTO DI MISURAZIONE

La base per la gestione energetica e l'ottimizzazione dell'esercizio è l'implementazione di un concetto di misurazione efficace e chiaramente definito. Questo include i componenti SITC 98-1 come mostrato nella Figura 8.1.

Ciò è necessario quale presupposto per il raggiungimento dei seguenti obiettivi:

**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

Figura 8.1: Concetto di misurazione di energia e fluidi, secondo SITC 98-1.



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.

## FUNZIONI

Con un concetto di misurazione chiaramente definito e con l'analisi delle misurazioni dell'energia e dei fluidi, è possibile soddisfare le seguenti funzioni principali:

- Dimostrare significativi indicatori di prestazione energetica per verificare i dati di progetto e controllare i valori garantiti.
- Fornire i dati per l'ottimizzazione energetica dell'esercizio. In questo caso vengono localizzati i potenziali energetici, quali così le basi per le misure di ottimizzazione.
- Favorire una diagnosi precoce di malfunzionamenti.
- Fornire le basi per le previsioni di consumo e di bilancio termico.
- Garantire la conformità con le normative legali, come la fatturazione delle spese di riscaldamento basata sul consumo.

## DISPOSITIVI DI MISURA

Il concetto di misurazione dovrebbe includere i seguenti strumenti e punti di misurazione:

- Contatore elettrico compressori
- Ore esercizio e contatore impulsi compressori
- Contatore di calore per generatore
- Presa di misurazione (se possibile nipple Twinlock; ev. valvola a sfera con sensore di avvio) per rilevare le temperature in entrata e uscita nel circuito evaporatore e condensatore e per misurare le perdite di pressione.

Inoltre per impianti più grandi e complessi:

- Temperature a ogni entrata e uscita dello scambiatore di calore
- Temperatura dell'aria ambiente
- Temperatura dell'aria esterna
- Prestazioni del compressore
- Contatore ore di esercizio (ev. contatore elettrico) per pompe, ventilatori, risc. ausiliari (ad es. risc. elettrico di emergenza) ecc.
- Contatore di calore della fonte di calore
- Impostazioni delle valvole

## RACCOLTA DATI

La raccolta dati può avvenire in modo automatico o manuale. In quella manuale – preferibilmente per impianti piccoli e semplici – va redatto un protocollo di rilievo corrispondente. Durante il periodo dei rilievi, i dati andrebbero raccolti sempre nello stesso momento. A dipendenza delle fasi d'esercizio e carico, i dati vanno raccolti da più volte al giorno a una volta al mese. Nel caso di impianti più grandi e complessi, la raccolta dati è sensata solo con l'aiuto di una misurazione mediante intervalli molto densi, così che sia possibile registrare i collegamenti dinamici e le funzioni. In presenza di un sistema gestionale per l'edificio, è possibile con esso registrare i dati. Altrimenti i dati vanno registrati mediante un dispositivo portatile (p. es. un datalogger). Le possibilità tecniche sono quasi illimitate, ma vanno valutati benefici e facilità d'uso: i dati vanno raccolti, elaborati e interpretati regolarmente. A tal fine bisogna pensare a tutti gli attori coinvolti nel processo. I dati non valutati non saranno di alcuna utilità, se non generare costi di registrazione).

# 9. 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 (si veda anche il Capitolo 9.8).

## BREVE DESCRIZIONE SECONDO LA SIA 113

La raccomandazione SIA 113 «Progettazione e realizzazione secondo le regole del FM» (Figura 9.1) 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

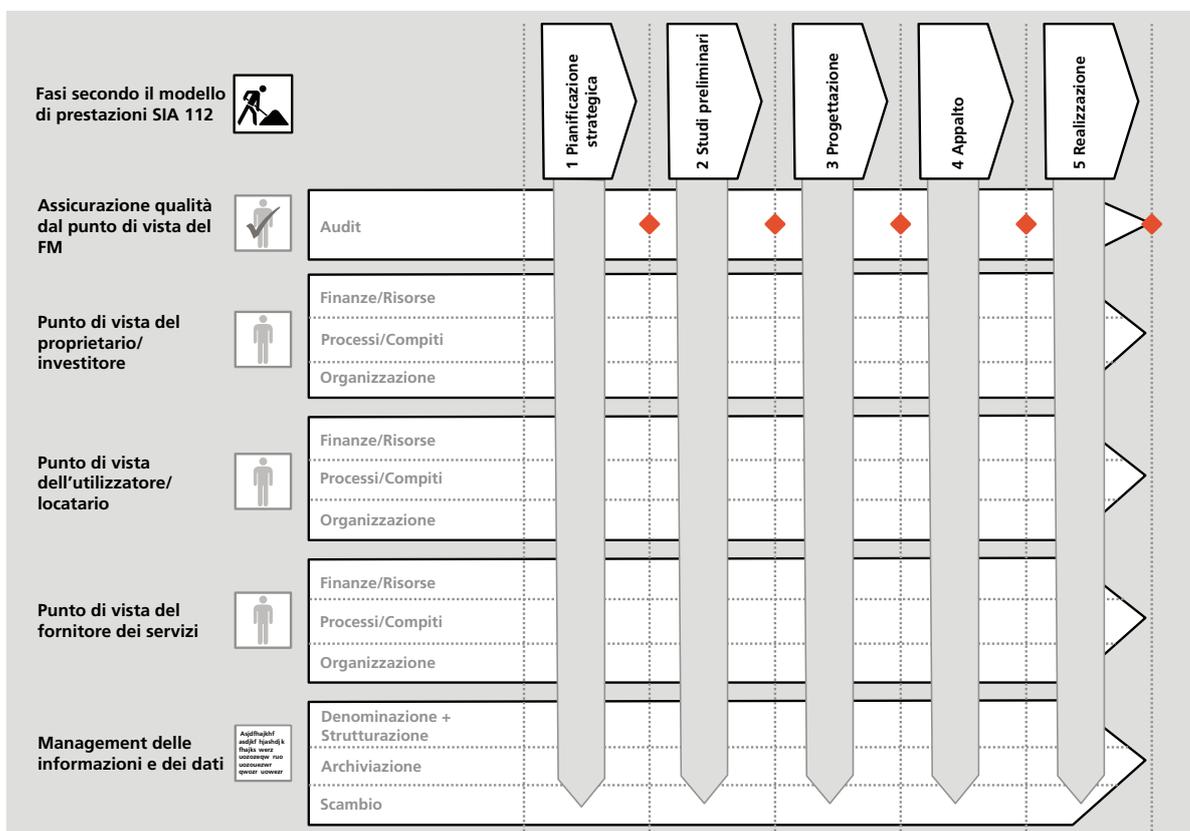


Figura 9.1: Punti di vista nel FM secondo la norma SIA 113 (Fonte: Planungs- und baubegleitendes Facility Management pbFM, Praxisleitfaden für die Empfehlung SIA 113, CRB).

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

## 9.1. 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 8.8). 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 (p. es. tratta di stabilizzazione prima o dopo i misuratori di portata) e il corretto montaggio (p. es. posizione di posa) dei dispositivi (vedere istruzioni del produttore) sono importanti per garantire un affidabile rilevamento dati.

## 9.2. 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 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 (Capitolo 9.3)

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 9.8).

### 9.3. 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 SITC 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»).

### 9.4. 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 co-

nosce 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.

### 9.5. 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 (→ classificatore dell'impianto, vedi anche Capitolo 9.2). Irregolarità risp. cambiamenti sono da riportare a mano nei documenti.

## 9.6. 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 (vedi 10.2)

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 (vedi anche Capitolo 9.2) deve essere adattata di conseguenza.

## 9.7. 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

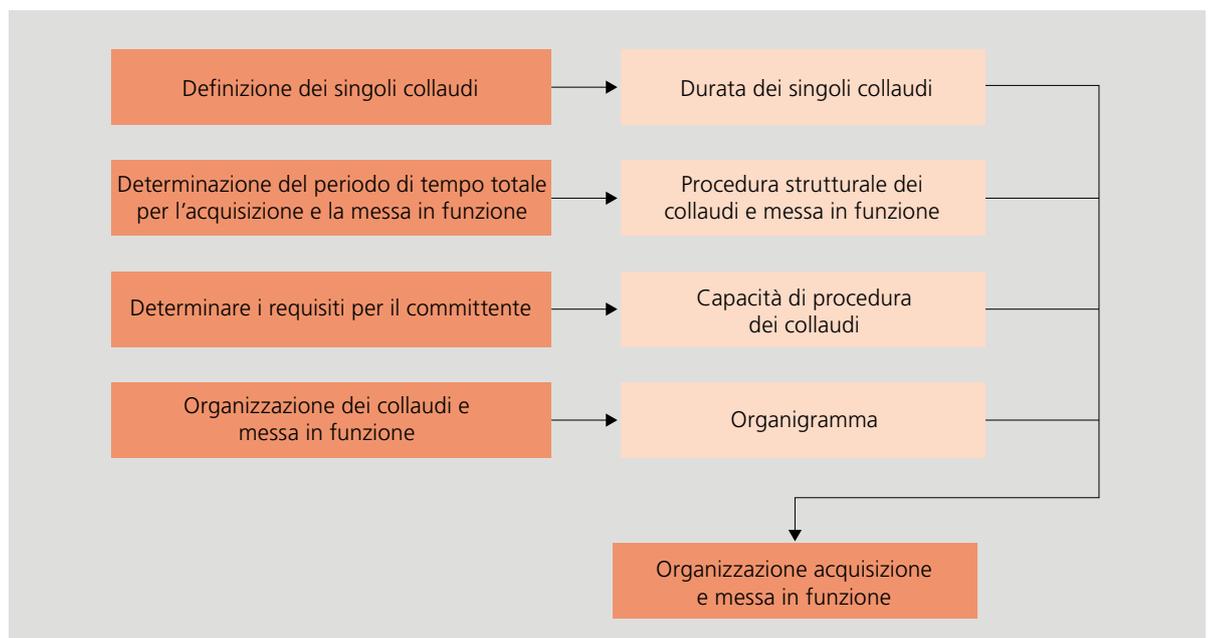


Figura 9.2 Organizzazione del collaudo, consegna e messa in funzione (Fonte: Real Estate and Facility Management, Preuss, N. e Schöne L.B., 2010).

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 9.2.

### 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 ESTI (Ispettorato federale degli impianti a corrente forte), ASIT (Associazione svizzera ispezioni tecniche), ecc.. La Figura 9.3 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 SITC 95-2 funge da base per lo sviluppo di un manuale di istruzioni.

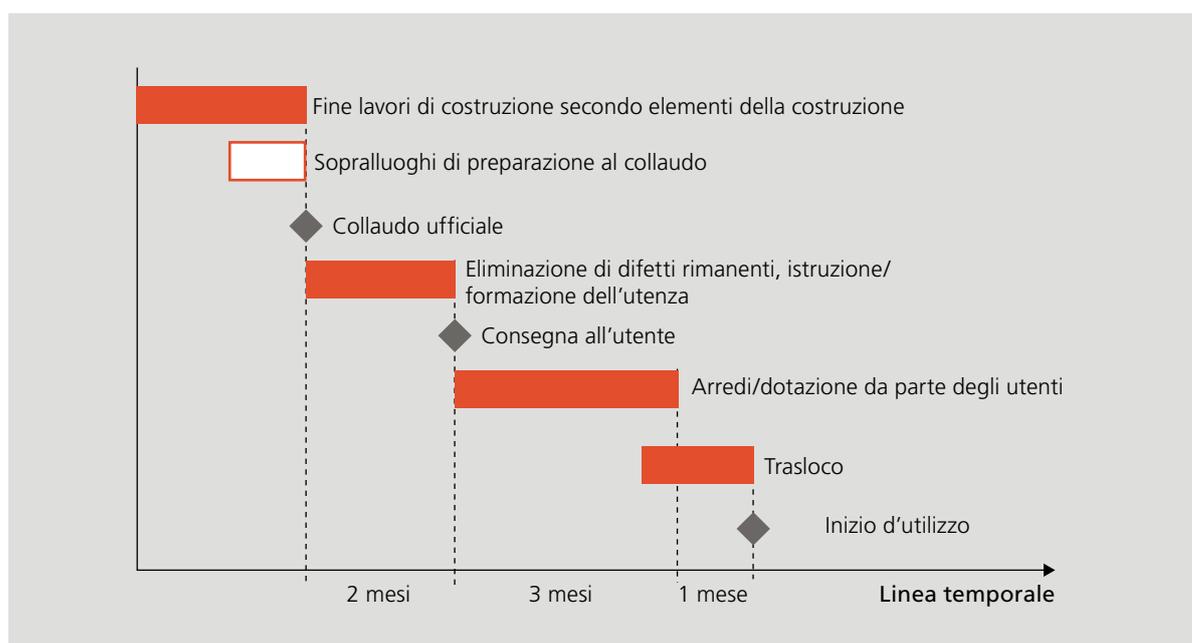


Figura 9.3 Procedura collaudo e messa in funzione (Fonte: Real Estate und Facility Management, Preuss, N. und Schöne L.B., 2010).

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.

## 9.8. 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 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

Tabella 9.1: Definizione del processo di «gestione della garanzia» (Fonte: ProLeMo – Prozess-Leistungsmodell im Facility Management von CRB).

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	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seguire i termini di prescrizione</li> <li>• Verificare i diritti ai difetti e rivendicarli</li> <li>• Perseguire l'eliminazione dei difetti</li> <li>• Eseguire le misure di garanzia</li> </ul>
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.

# 10. ESERCIZIO

---

## 10.1. 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.

## 10.2. 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 con 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 avvisi 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.

## 10.3. MANUTENZIONE

### IN GENERALE

Per garantire un esercizio sicuro e senza interruzioni dell'impianto con 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.

## 10.4. 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 (p. 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.

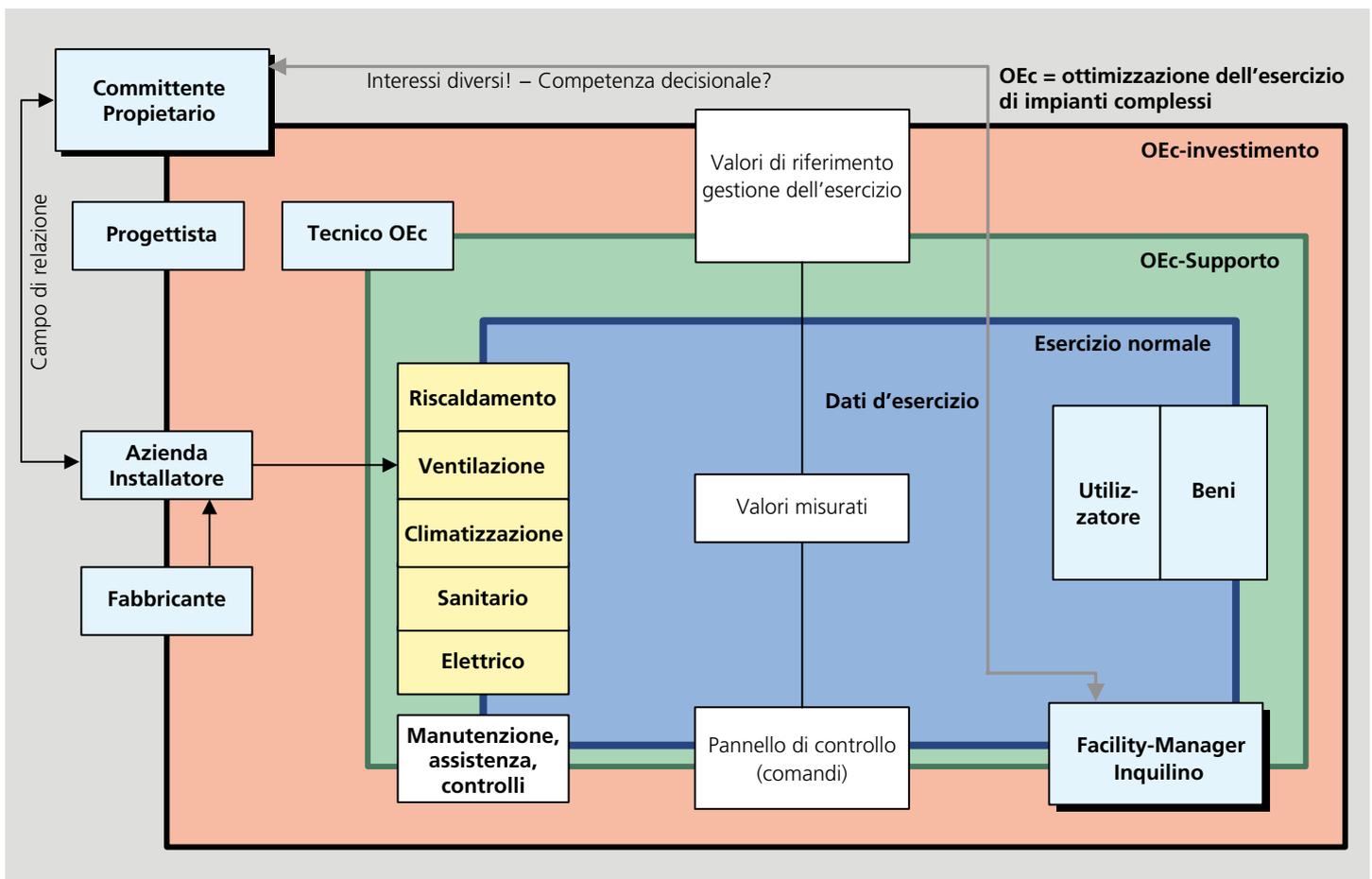
### CONCETTO DI OTTIMIZZAZIONE DELL'ESERCIZIO

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 nell'ottimizzazione dell'esercizio o un tecnico esterno specializzato.

- **Supporto (OEe):** ottimizzazione dell'esercizio mirato, basato su valutazioni e misu-

*Figura 10.1: Il modello OEe a tre livelli mostra le figure coinvolte collegate e i circuiti rilevanti per il concetto (OEe) (Fonte: Principi di base per l'ottimizzazione energetica dell'esercizio delle installazioni complesse (OEe), UFE 2002).*



razioni 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 ristrutturazione 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.

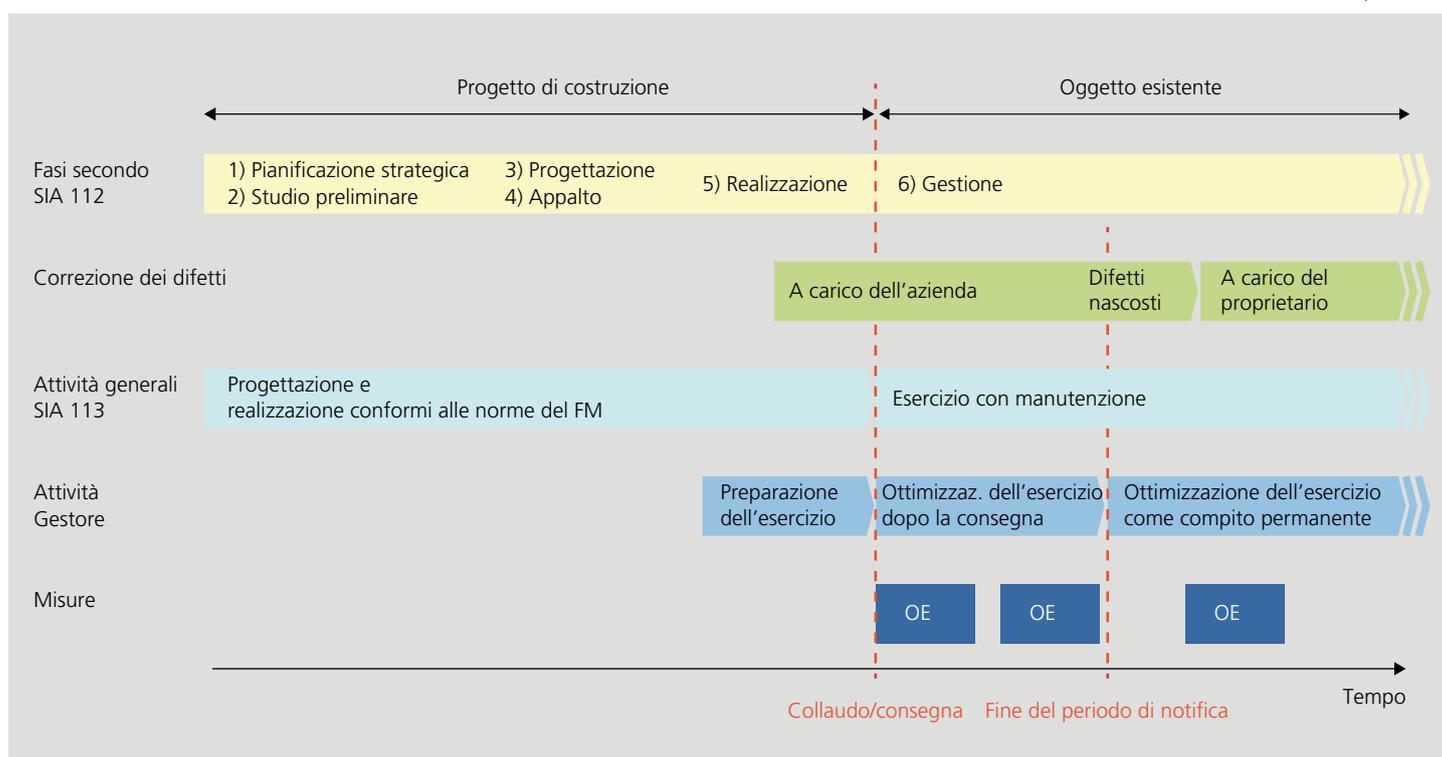
Il quaderno tecnico SIA 2048:2015 distingue tra l'ottimizzazione energetica d'esercizio

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 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 partico-

Figura 10.2: Processo di ottimizzazione energetica dell'esercizio (Fonte: Andreas Genkinger, dal quaderno tecnico SIA 2048).



lare, 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, de-

vono 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)

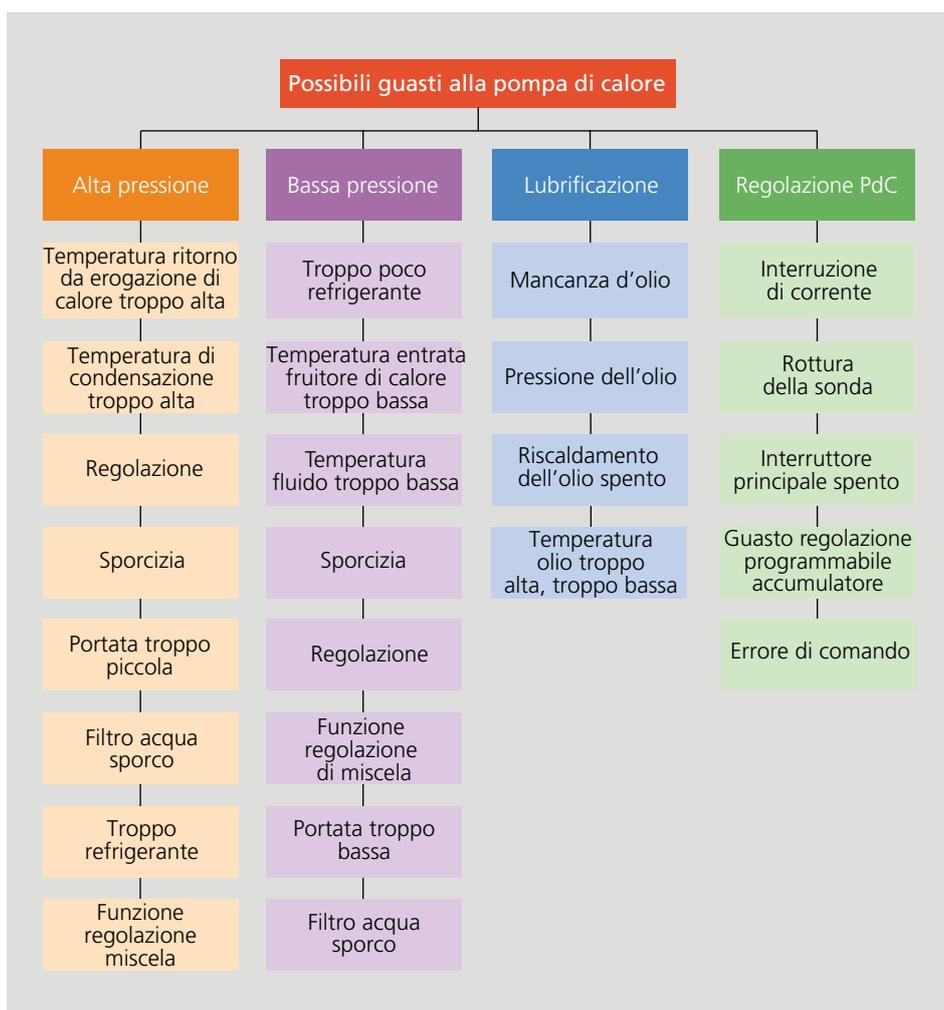


Figura 10.3:  
Possibili guasti e  
cause di guasto in  
impianti con pompe  
di calore.

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.

## **10.5. GUASTI E RISOLUZIONE DEI PROBLEMI**

Ogni pompa di calore deve essere salvaguardata da situazioni indesiderate. Le principali cause di inconvenienti sono mostrate nella Figura 10.3.



# 11. CASI ESEMPLARI

---

## 11.1. 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:

<b>Esempio</b>	<b>Pagina</b>
Senza accumulatore per il riscaldamento, senza produzione di acqua calda sanitaria	88
Senza accumulatore per il riscaldamento, con produzione di acqua calda sanitaria	88
Accumulatore per il riscaldamento in serie, senza produzione di acqua calda sanitaria	89
Accumulatore per il riscaldamento in serie, con produzione di acqua calda sanitaria	89
Accumulatore per il riscaldamento in parallelo, senza produzione di acqua calda sanitaria	90
Accumulatore per il riscaldamento in parallelo, con produzione di acqua calda sanitaria	91
Accumulatore per il riscaldamento in parallelo, con supporto solare per produzione di acqua calda sanitaria	91

### SENZA ACCUMULATORE PER IL RISCALDAMENTO, SENZA PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA

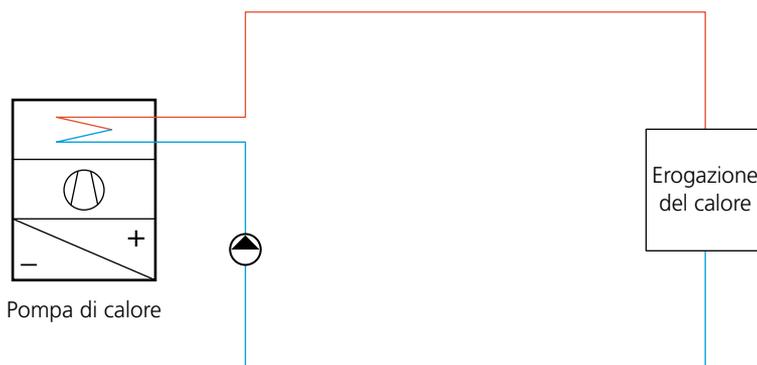


Figura 11.1:  
Lo schema idraulico più semplice.

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 ge-

stite 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

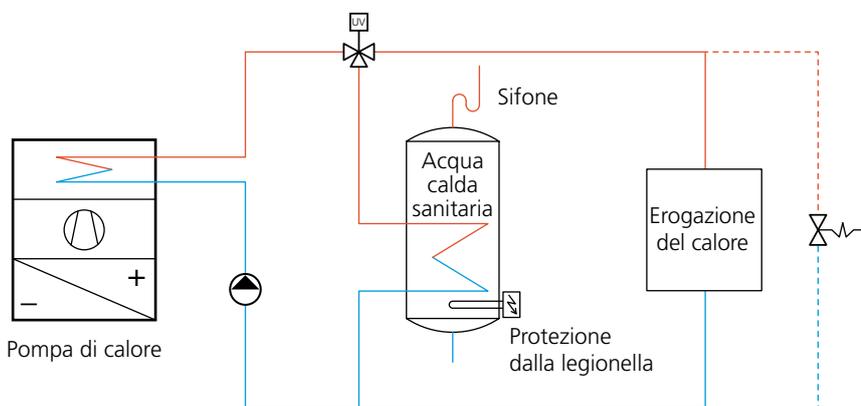


Figura 11.2:  
Una configurazione frequente (produzione di acqua calda sanitaria in parallelo al riscaldamento dei locali).

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<sup>2</sup>/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

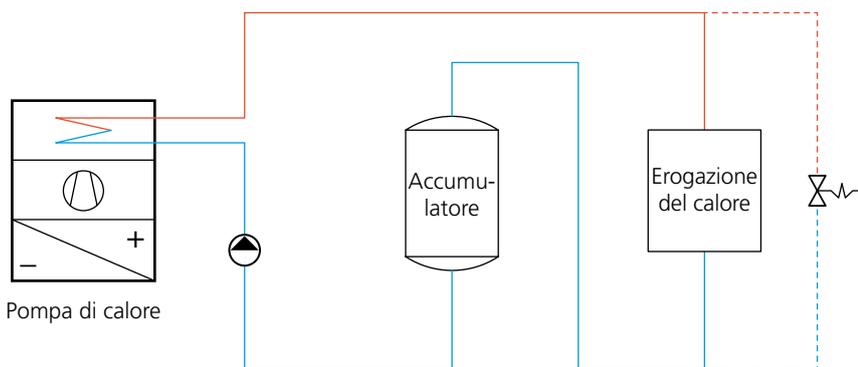


Figura 11.3: Accumulatore per il riscaldamento in serie per piccoli edifici.

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 sbrinamen-

to 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

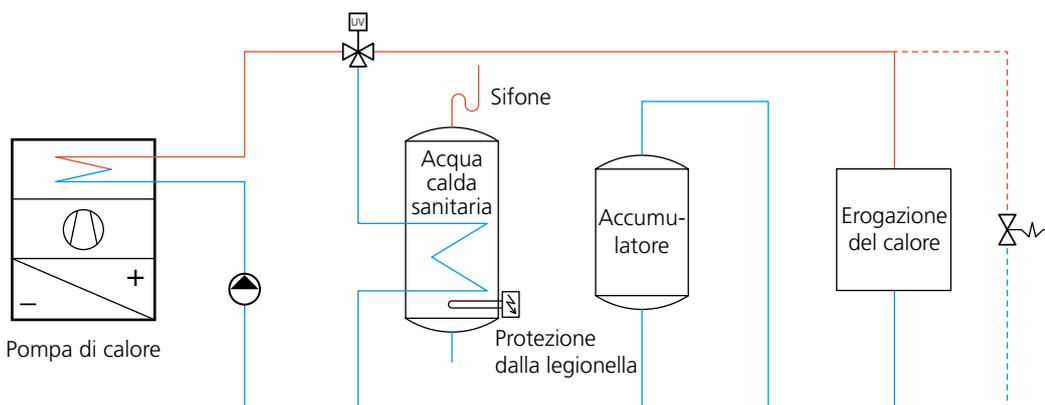


Figura 11.4: Accumulatore per il riscaldamento in serie con produzione di acqua calda sanitaria a monte.

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

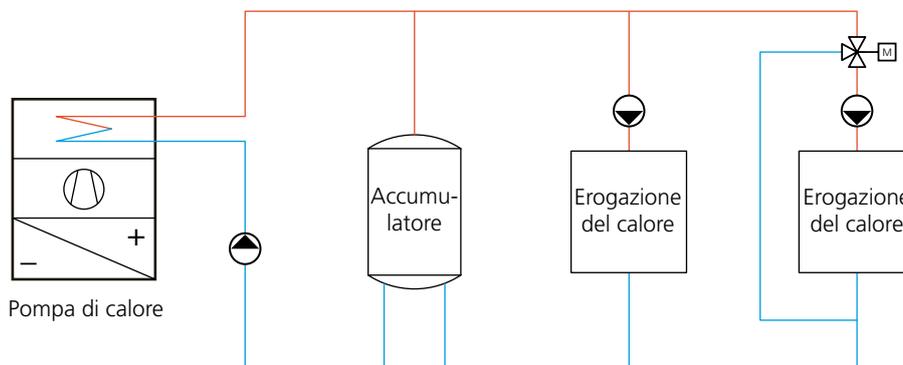


Figura 11.5:  
Accumulatore  
che consente il  
disaccoppiamento  
idraulico.

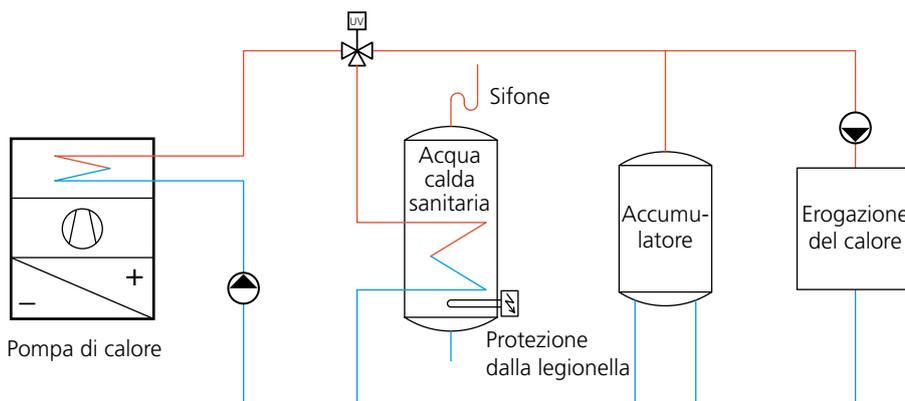
Il circuito idraulico comporta, oltre all'accumulo di energia, un disaccoppiamento idraulico tra il circuito primario di carico e il circuito secondario (pompa di calore e sistema di distribuzione del calore) attraverso l'accumulatore di acqua per il riscaldamento integrato in parallelo. La pompa di 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 ca-

lore. 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 11.6:  
Scaldacqua,  
accumulatore ed  
erogazione del  
calore in ordine di  
precedenza.

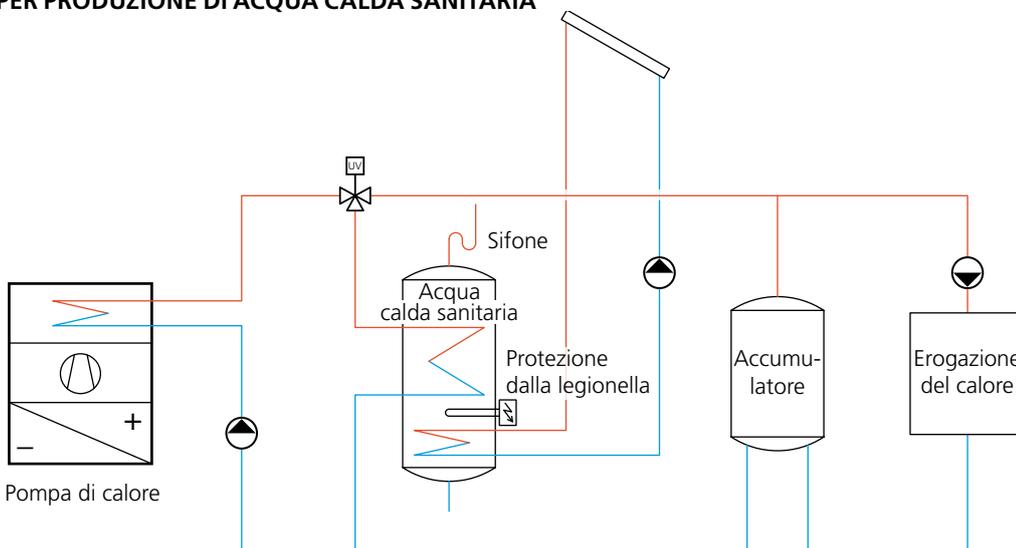


Come per la soluzione con accumulatore per il riscaldamento in serie, è necessario integrare il riscaldamento supplementare dell'acqua calda sanitaria davanti al serbatoio di accumulo dell'acqua di riscaldamento. In caso contrario, il tampone di riscaldamento verrebbe caricato con temperature inutilmente 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 ridurre 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 11.7:  
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 circuit

to 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).



## 11.2. 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.

### Esempi

	Pagina
Impianto con pompa di calore geotermica	94
Impianto con pompa di calore ad acqua di falda con caldaia a gasolio	95
Recupero di calore dalle acque reflue per il riscaldamento di acqua potabile	96
Impianto con pompa di calore aria-acqua con caldaia a legna	97
Combinazione di pompa di calore geotermica, macchina del freddo e caldaia	98

### Simboli

 Pompa, numero di giri variabile	 Motore
 Pompa di circolazione	 Sonda di temperatura
 Ventilatore	 Rubinetto di spurgo aria
 Valvola di sicurezza con carico a molla	 Combustibile liquido
 Scambiatore di calore	 Combustibile gassoso
 Vaso d'espansione a membrana chiuso	 Combustibile solido
 Contatore di calore con conteggio elettrico	 Corrente elettrica
 Valvola di chiusura	
 Valvola miscelatrice a tre vie	
 Valvola di ritegno	
 Filtro, raccogliore sporczia	

## IMPIANTO CON POMPA DI CALORE GEOTERMICA

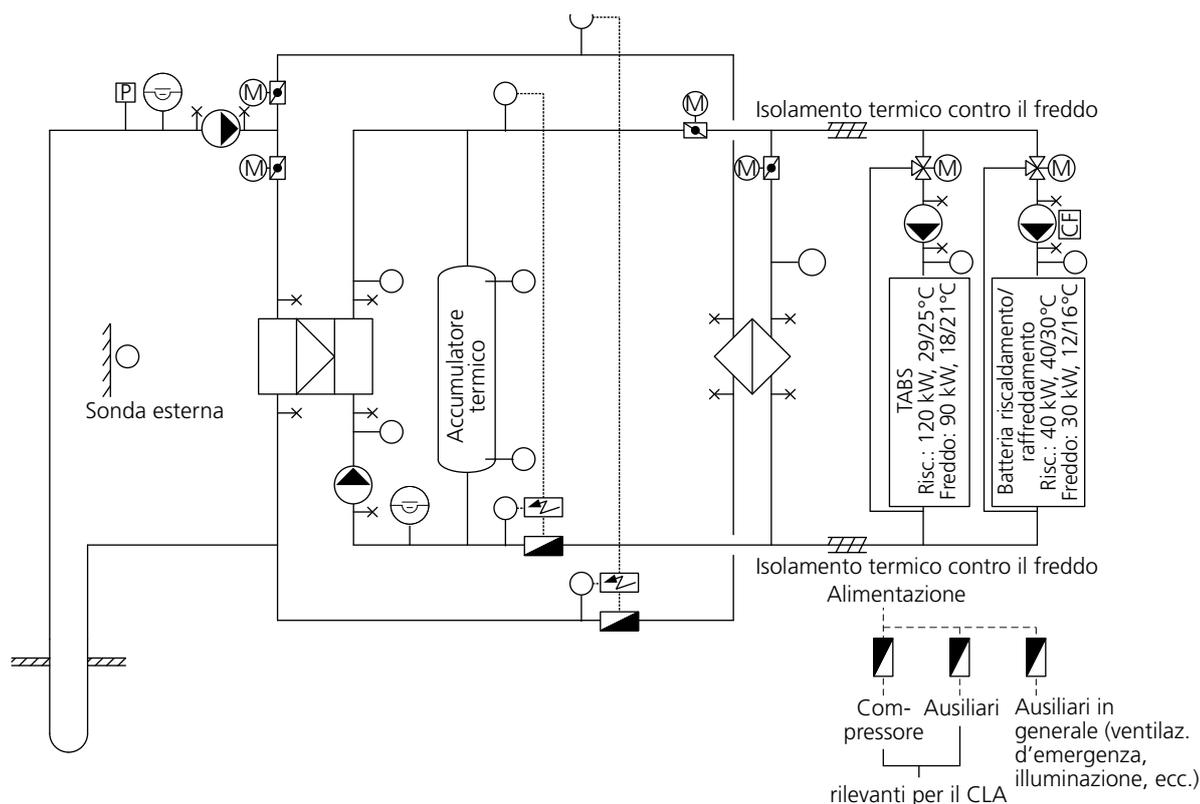


Figura 11.8: Sonde geotermiche, pompa di calore e TABS per il riscaldamento degli stabili, senza pompa di calore per il raffreddamento.

**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 frigorifera 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 CON POMPA DI CALORE AD ACQUA DI FALDA CON CALDAIA A GASOLIO

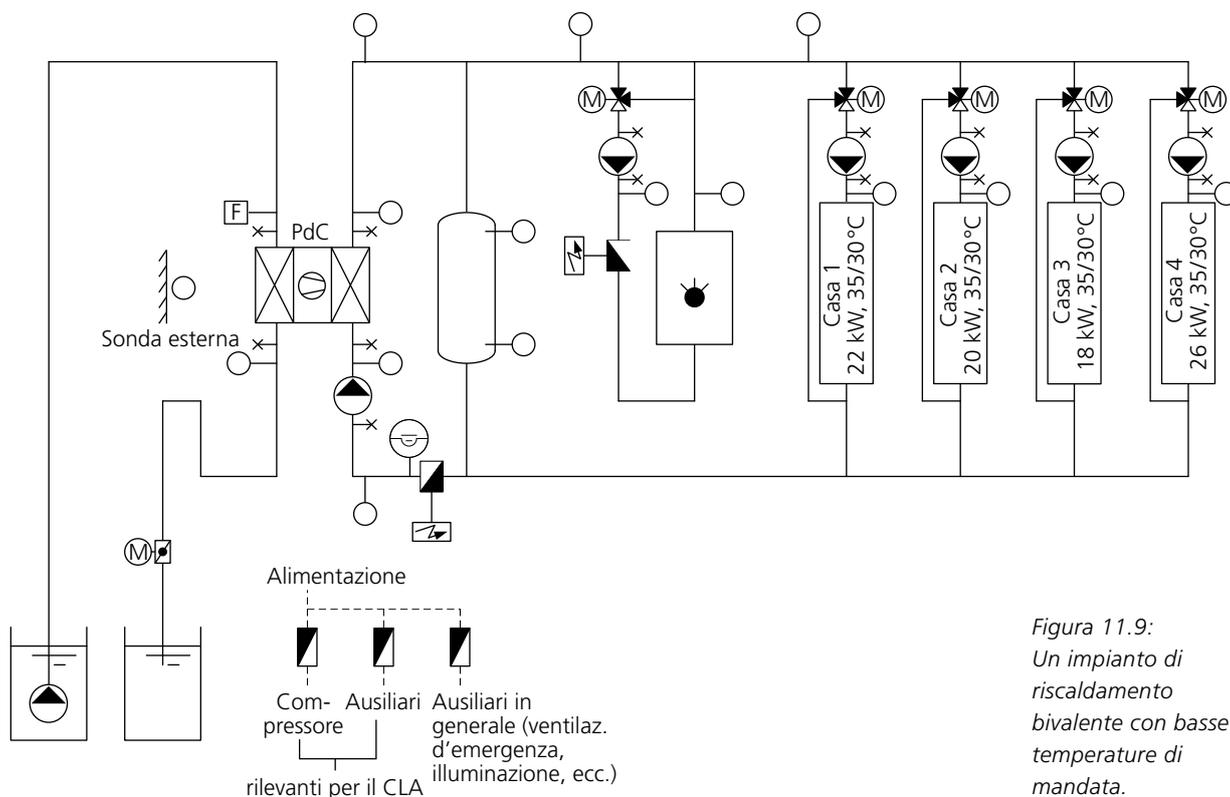


Figura 11.9:  
Un impianto di riscaldamento bivalente con basse temperature di mandata.

**Oggetto:** quartiere residenziale

**Scelta del sistema:** Il 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

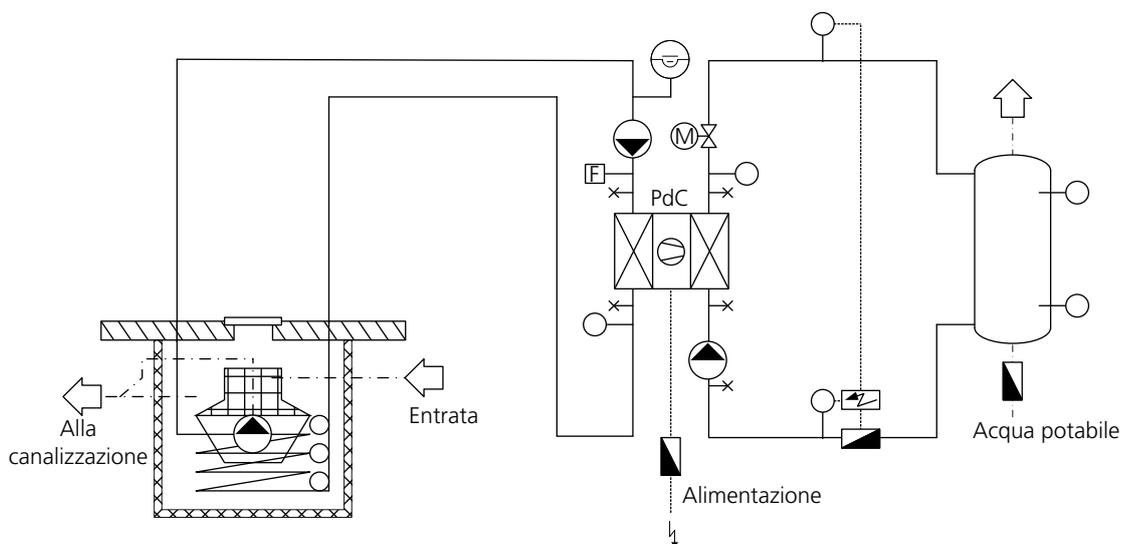


Figura 11.10:  
Calore dalle acque reflue quale fonte per la pompa di calore.

**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 interrati 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.
- L'impianto deve disporre di una protezione affidabile contro la legionella, ad esempio un periodico riscaldamento ad almeno 60°C del serbatoio dell'acqua potabile. Raccomandazione SSIGA: riscaldare 1 volta al giorno per un'ora.

## IMPIANTO CON POMPA DI CALORE ARIA-ACQUA CON CALDAIA A LEGNA

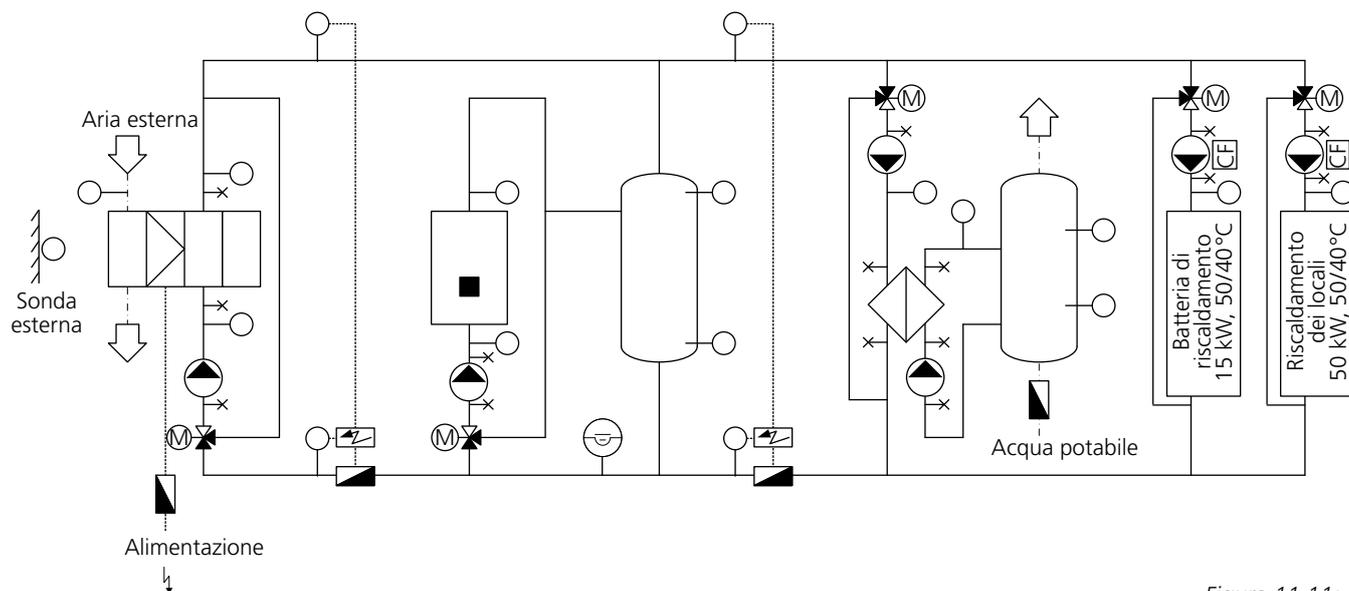


Figura 11.11:  
Riscaldamento bi-  
valente con energie  
rinnovabili.

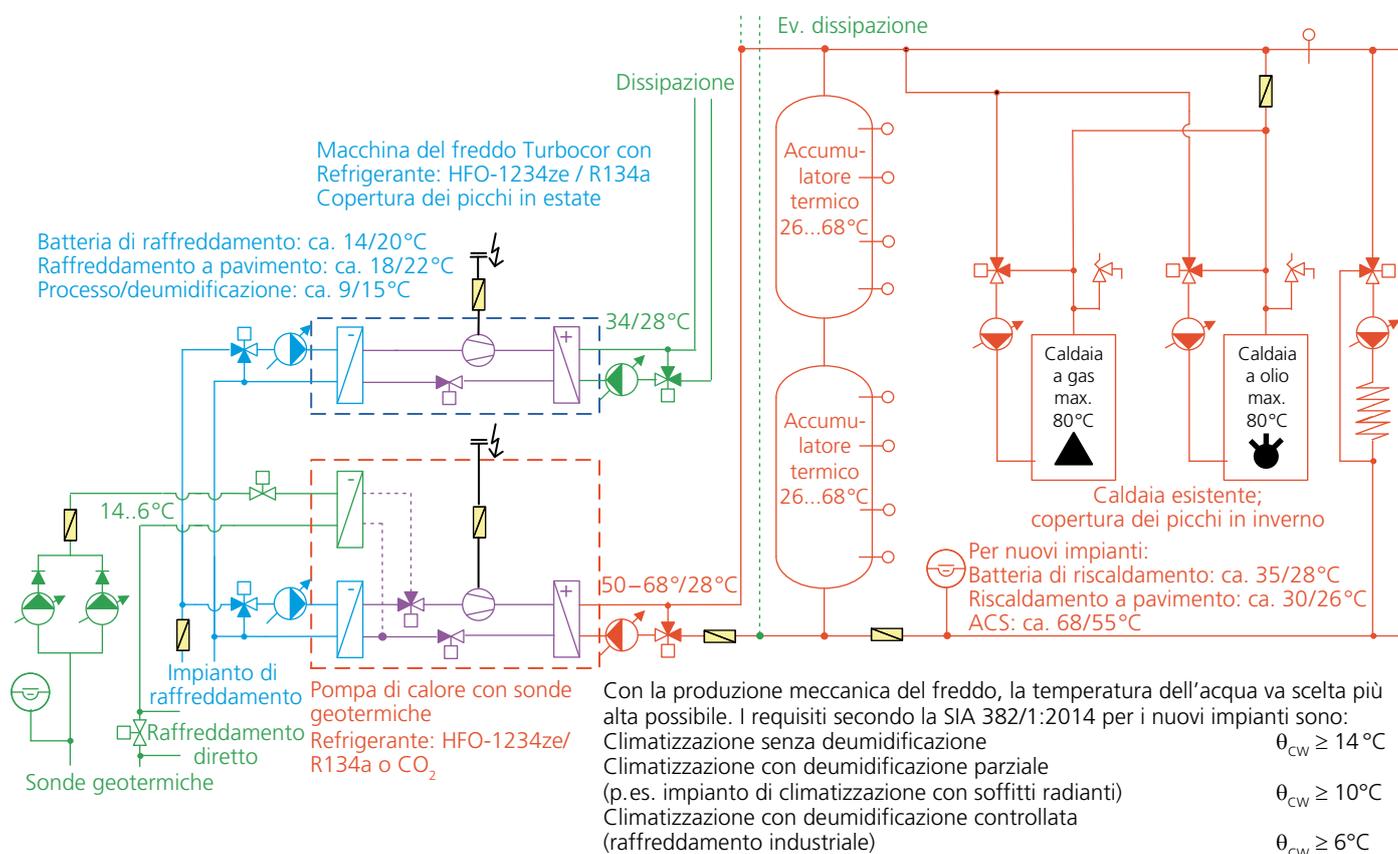
**Oggetto:** scuola agraria

**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



**Oggetto:** ospedale, clinica, casa anziani o albergo

**Esercizio in riscaldamento durante il periodo invernale:** La nuova pompa di calore (PdC) geotermica produce il calore di banda per l'edificio. Circa il 60 % fino all'80 % del fabbisogno di energia è coperto dalla PdC. Le due caldaie esistenti vengono accese solo quando l'aria esterna raggiunge basse temperature (sotto  $-2^\circ\text{C}$ ). Inoltre, la richiesta di raffreddamento può essere coperta direttamente attraverso le sonde geotermiche.

**Funzionamento di raffreddamento nel periodo estivo:** Con la pompa di calore geotermica il raffreddamento viene prodotto in modo continuo, mentre tutti i gruppi di riscaldamento vengono alimentati con il calore. La macchina del freddo per i picchi si accende solo a temperature dell'aria esterna più elevate (oltre  $28^\circ\text{C}$ ). In questo modo,

il raffreddamento viene generato nel modo più efficiente possibile.

### Punti chiave

- Pompa di calore geotermica per la generazione simultanea di calore e freddo. 1. fonte di calore = rete di raffreddamento; 2. fonte di calore = sonde geotermiche (o acqua di falda). Uso di R744 (CO<sub>2</sub>) consigliato per le elevate variazioni di temperatura come ad esempio per il riscaldamento dell'acqua da  $10^\circ\text{C}$  a  $65^\circ\text{C}$ . L'uso di R717 (NH<sub>3</sub>) è generalmente raccomandato, ma con elevati investimenti, requisiti di sicurezza e costi di servizio. HFO-1234ze consigliato in sostituzione del refrigerante R134a, anche come refrigerante per compressori Turbocor ad alto COP, specialmente in condizioni di carico parziale.
- Raffreddamento di base (o raffreddamento diretto) per mezzo di sonde geotermiche

*Figura 11.12:  
La pompa di calore copre due terzi del fabbisogno di un grande edificio.*

tramite serpentine a pavimento (Change-over), tramite raffreddatori per l'aria di ricircolo di sale server e ICT e raffreddamento per attività industriali/commerciali.

- Macchina del freddo Turbocor per i picchi di copertura frigorifera nei mesi estivi, con elevate efficienze parziali (COP superiori a 10). Per potenze frigorifere fino a 600 kW può essere utilizzato il refrigerante R134a, per potenze superiori HFO-1234ze. L'HFO-1234ze è stato classificato dalla metà del 2016 e preso in considerazione nella legislazione. La «ventilazione d'emergenza» deve essere attentamente progettata, con estrazione diretta vicino al pavimento.
- Procedura per impianti a pompa di calore con potenza superiore ai 600 kW: Determinazione di (1.) gruppo di sicurezza del refrigerante; (2.) area di installazione; (3.) categoria dell'impianto; (4.) installazione dell'impianto. Variante di una «soluzione incapsulata» con involucro ventilato meccanicamente e riducendo le norme di sicurezza nel locale tecnico.
- Caldaie esistenti o nuove (olio da riscaldamento, gas, legna) integrati in serie alla pompa di calore. La portata di ritorno principale di tutti i gruppi di riscaldamento viene sempre preriscaldata prima dalla pompa di calore e poi, a temperature esterne più basse, riscaldata dalle caldaie.
- **Punti importanti:** Integrazione della refrigerazione commerciale per mezzo dei condensatori (o meglio, sfruttamento della dissipazione) con il raffreddamento geotermico diretto; massimizzazione dell'efficienza energetica attraverso il massimo sfruttamento del calore residuo; attenta selezione di refrigeranti e compressori; analisi e ottimizzazione delle operazioni a carico parziale sia in inverno che in estate; considerazione delle temperature massime e minime per il riscaldamento e il raffreddamento secondo la norma SIA 382/1:2014 «Impianti di ventilazione e di climatizzazione – Basi generali ed esigenze».



# 12. ALLEGATO

---

## 12.1. AUTORI

### **AUTORI DELL'INTERA REVISIONE 2018**

**Ralf Dott**, Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut für Energie am Bau, Muttenz (coordinamento generale)

**Andreas Genkinger**, Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut für Energie am Bau, Muttenz

**Rita Kobler**, Ufficio federale dell'energia, Sezione energie rinnovabili

**Prof. Dr. Zoran Alimpic**, Hochschule Luzern – Technik und Architektur, Horw

**Peter Hubacher**, Hubacher Engineering, Engelburg

**Prof. Dr. Thomas Afjei**, Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut für Energie am Bau, Muttenz

### **AUTORI PRIMA EDIZIONE 2008**

**Peter Kunz**, Kunz-Beratungen, Dietlikon (coordinamento generale)

**Prof. Dr. Thomas Afjei**, Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut für Energie am Bau, Muttenz

**Prof. Werner Betschart**, Hochschule Luzern – Technik und Architektur, Horw

**Peter Hubacher**, Hubacher Engineering, Engelburg

**Rolf Löhner**, Scheco AG, Winterthur

**Andreas Müller**, Andreas Müller GmbH, Seuzach

**Vladimir Prochaska**, Hochschule Luzern – Technik und Architektur, Horw



