

# **QM**

## **Impianti di teleriscaldamento a biomassa**

### **Manuale di pianificazione**

Sviluppato dal gruppo di lavoro

*QM per impianti di teleriscaldamento a biomassa*



QM Holzheizwerke è un **sistema di gestione della qualità** per i sistemi di riscaldamento ad acqua calda a biomassa. La potenza di questi sistemi va da circa 100 kW in su e si rivolge alla fornitura di calore di singoli edifici o di reti locali e di teleriscaldamento. Questo sistema di gestione della qualità si concentra sulla progettazione, pianificazione ed esecuzione professionale di sistemi di generazione di calore e reti di teleriscaldamento. Criteri di qualità importanti sono l'alta affidabilità operativa, il controllo preciso, le basse emissioni e la sostenibilità economica dell'intero sistema.

Questo sistema di gestione della qualità è stato inizialmente sviluppato in Svizzera nel 1998. Nel 2004 è stato fondato il **gruppo di lavoro internazionale QM Holzheizwerke (Quality Management for Biomass District Heating Plants - QM per impianti di teleriscaldamento a biomassa)** per offrire insieme degli standard di qualità per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa.

Questo **manuale di pianificazione** descrive la procedura e mostra come gli obiettivi di qualità per un sistema di generazione di calore e una rete di riscaldamento possano essere raggiunti attraverso una pianificazione ed esecuzione professionale.

Il manuale di pianificazione fa parte della **serie di pubblicazioni QM Holzheizwerke**, di cui sono stati pubblicati finora i seguenti volumi:

Volume 1: Linee guida Q (con piano Q)  
ISBN 3-937441-91-3

Volume 2: Schemi idraulici standard - Parte I  
ISBN 3-937441-92-1

Volume 3: Esempio di gara d'appalto per caldaie a biomassa  
ISBN 3-937441-93-X

Volume 4: Manuale di pianificazione  
ISBN 3-937441-94-8

Volume 5: Schemi idraulici standard - Parte II  
ISBN 3-937441-95-6

La serie di pubblicazioni può essere scaricata direttamente dal sito web del gruppo di lavoro QM Holzheizwerke ([www.qmholzheizwerke.ch](http://www.qmholzheizwerke.ch)).

Sempre su questo sito web sono disponibili altri documenti, strumenti software e FAQ così come informazioni sugli attuali sviluppi della produzione di energia da biomassa. Alcuni volumi della serie sono stati tradotti in inglese, italiano e in altre lingue con il supporto del progetto EU-Interreg ENTRAIN (disponibile gratuitamente, vedi [www.qm-biomass-di-teleriscaldamento-plants.com](http://www.qm-biomass-di-teleriscaldamento-plants.com)).

Per la versione italiana vedi [qm.ape.fvg.it](http://qm.ape.fvg.it)

Serie di pubblicazioni QM Holzheizwerke Volume 4

Sviluppato dal gruppo di lavoro Gestione della qualità  
per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa

# Manuale di pianificazione

Sviluppato dal  
Gruppo di lavoro  
QM per impianti di teleriscaldamento a biomassa

3a edizione completamente rivista

C.A.R.M.E.N. e.V. Straubing 2021

tradotto con il supporto di

CE-INTERREG-Progetto ENTRAIN





## **Gruppo di lavoro QM per impianti di teleriscaldamento a biomassa**

Per la Svizzera:

Holzenergie Schweiz con il sostegno finanziario dell'Ufficio federale dell'energia

[www.qmholzheizwerke.ch](http://www.qmholzheizwerke.ch)

[www.holzenergie.ch](http://www.holzenergie.ch)

Per l'Austria:

AEE INTEC - Istituto per le tecnologie sostenibili [www.kli-maaktiv.at/qmheizwerke](http://www.kli-maaktiv.at/qmheizwerke)

Per la Germania:

Baden-Württemberg: HFR - Università di Scienze Forestali Applicate Rottenburg

Baviera: C.A.R.M.E.N. e.V.

[www.qmholzheizwerke.de](http://www.qmholzheizwerke.de)

Per l'Italia:

APE FVG - Agenzia per l'Energia del Friuli Venezia Giulia

[www.ape.fvg.it](http://www.ape.fvg.it)

[qm.ape.fvg.it](http://qm.ape.fvg.it)

Internazionale:

Gestione della qualità per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa

Questi siti web forniscono informazioni e pubblicazioni sul tema dell'utilizzo della biomassa per la fornitura di calore. Gli strumenti software possono anche essere scaricati da qui.

© Arbeitsgemeinschaft QM Holzheizwerke 2004 - 2021.  
(Gruppo di lavoro QM per impianti DI TELERISCALDAMENTO a biomassa)

Estratti possono essere ristampati a condizione che la fonte sia riconosciuta.

QM Holzheizwerke®  
è un marchio registrato.

## **Team del gruppo di lavoro**

Jürgen Good (Direzione), Verenum AG, CH  
Stefan Thalmann, Verenum AG, CH

Daniel Binggeli, Ufficio federale dell'energia, CH

Andres Jenni, ardens GmbH, CH

Andreas Keel, Holzenergie Schweiz, CH

Patrik Küttel, DM Energieberatung AG, CH

Harald Schrammel, AEE INTEC, AT

Sabrina Metz, AEE INTEC, AT

Christian Ramerstorfer, AEE INTEC, AT

Gilbert Krapf, C.A.R.M.E.N. e.V., DE

Niels Alter, C.A.R.M.E.N. e.V., DE

Christian Leuchtweis, C.A.R.M.E.N. e.V., DE

Harald Thorwarth, HFR, DE/Johanna

Eichermüller, HFR, DE

Matteo Mazzolini, APE FVG, IT



**Team di autori della terza edizione**

Jürgen Good (Direzione), Verenum AG  
 Stefan Thalmann, Verenum AG  
 Thomas Nussbaumer, Verenum AG  
 Andreas Keel, Holzenergie Schweiz  
 Andres Jenni, ardens GmbH  
 Patrik Küttel, DM Energieberatung AG  
 Harald Schrammel, AEE INTEC  
 Sabrina Metz, AEE INTEC  
 Christian Ramerstorfer, AEE INTEC  
 Jakob Binder, AEE INTEC  
 Gilbert Krapf, C.A.R.M.E.N. e.V.  
 Niels Alter, C.A.R.M.E.N. e.V.  
 Christian Letalik, C.A.R.M.E.N. e.V.  
 Harald Thorwarth, HFR  
 Johanna Eichermüller, HFR

**Ex squadra di autori (prima e seconda edizione)**

Jürgen Good (coordinamento), Verenum AG  
 Friedrich Biedermann, BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH  
 Ruedi Bühler, Umwelt und Energie  
 Helmut Bunk, Klimaschutz- und Energieagentur (KEA-BW)  
 Thomas Deines, Ministero per l'Ernährung e il Raum Ländlichen Baden Württemberg  
 Hans Rudolf Gabathuler, Gabathuler Beratung GmbH  
 Alfred Hammerschmid, BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH  
 Andres Jenni, ardens GmbH  
 Gilbert Krapf, C.A. R.M.E.N. e.V.  
 Thomas Nussbaumer, Verenum AG  
 Ingwald Obernberger, BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH  
 Bernhard Pex, C.A.R.M.E.N. e.V.  
 Christian Rakos, Energie Verwertungsagentur E.V.A.

ISBN 3-937441-90-5 Serie di pubblicazioni QM Holzheizwerke

ISBN 3-937441-94-8 Volume 4: Manuale di pianificazione

## Introduzione

Su incarico dell'Ufficio federale dell'energia e di diversi cantoni svizzeri, nel 1998 è stato sviluppato da esperti svizzeri un sistema di gestione della qualità (QM) per grandi impianti di riscaldamento a biomassa, successivamente ampliato e diventato QS-Holzheizung. Su questa base, nel 2004 i rappresentanti di Svizzera, Austria, Baden-Württemberg, Baviera, Renania-Palatinato (non più attivo) e dal 2020 anche dell'Italia si sono uniti per formare il **gruppo di lavoro QM Holzheizwerke** allo scopo di creare l'insieme degli standard di qualità per gli impianti di riscaldamento a biomassa e offrirli con il nome QM Holzheizwerke. L'attenzione si concentra sulla progettazione, pianificazione ed esecuzione professionale degli impianti di generazione di calore e delle reti di distribuzione. Criteri di qualità importanti sono un'elevata sicurezza operativa, un controllo preciso, buone proprietà igieniche dell'aria e una logistica economica del combustibile. L'obiettivo è un funzionamento tecnicamente, economicamente ed ecologicamente sostenibile.

QM Holzheizwerke (QM per impianti termici a legna) è progettato per impianti termici ad acqua calda che utilizzano come combustibile la biomassa legnosa (cippato, corteccia, trucioli, pellet, ecc.) nella **gamma di potenza del generatore di calore da circa 100 kW in su** per fornire calore a singoli edifici o ad un gruppo di edifici collegati da una rete di distribuzione. Gli impianti per la generazione di energia elettrica non sono presi in considerazione, ma si raccomanda comunque di considerare il QM, per quanto possibile, anche per tali impianti.

Questo **manuale di pianificazione fa parte della serie di pubblicazioni QM Holzheizwerke** e spiega il processo di progettazione mostrando come gli obiettivi di qualità per un impianto di generazione di calore e una rete di distribuzione del calore possano essere raggiunti attraverso una pianificazione, progettazione ed esecuzione professionale. Si rivolge in particolare a investitori, gestori di impianti e progettisti, ma fornisce anche importanti informazioni di base per la formazione e il perfezionamento, la ricerca e lo sviluppo, nonché per gli enti finanziatori e i responsabili politici e amministrativi. Il manuale di pianificazione è diviso in quattro parti e un'appendice supplementare. Nella **prima parte**, introduttiva, vengono spiegate le idee di base per un uso razionale dell'energia in un impianto di riscaldamento a biomassa secondo quanto previsto dal QM Impianti Termici a Legna. La **seconda parte** copre i fondamenti tecnici ed economici per la pianificazione, la progettazione, la costruzione e il funzionamento degli impianti termici a biomassa. La **terza parte** descrive passo dopo passo il processo di pianificazione fino alla messa in funzione ed il collaudo dell'impianto. Infine, la **quarta parte** fornisce il know-how sul funzionamento, la gestione, l'ottimizzazione e la modernizzazione degli impianti. Nell'appendice sono riassunte ulteriori informazioni, calcoli e aiuti. I termini tecnici più importanti sono spiegati in un apposito glossario.

Per tenere conto del continuo sviluppo della tecnologia e del know-how, la terza edizione del manuale di pianificazione è stata completamente rivista, aggiornata e completata dal team del gruppo di lavoro QM Holzheizwerke.

La base è lo stato attuale della tecnologia. Vengono trattati anche i "nuovi concetti di sistema" attualmente emergenti, come i sistemi a più caldaie con apparecchiature in serie, la condensazione dei fumi in combinazione con pompe di calore o l'interazione di impianti termici a biomassa con varie altre fonti di calore rinnovabili integrate a livello centrale o distribuito (solare termico, energia geotermica, calore residuo, pompe di calore, ecc).

Per aumentare la leggibilità e permettere un'applicazione più ampia, anche internazionale, sono state scelte formulazioni e terminologie generalmente valide e le informazioni specifiche del paese sono state ampiamente omesse. Per quanto possibile, il manuale di pianificazione fa riferimento a standard e linee guida validi a livello internazionale. Gli standard, le leggi e i regolamenti specifici del paese non sono esplicitamente citati. Questi sono parte dell'allegato (per Svizzera, Austria e Germania).

Per quanto riguarda i costi, le spiegazioni specifiche per le illustrazioni e le informazioni devono essere osservate e, se necessario, la gamma dei costi deve essere controllata e adattata secondo le condizioni nazionali.

I contenuti di questo manuale di pianificazione sono stati sviluppati al meglio delle nostre conoscenze e corretti con tutta la dovuta attenzione. Tuttavia, gli autori non possono assumere alcuna responsabilità o garanzia per la completezza, l'attualità, la correttezza e la qualità delle informazioni fornite. Il manuale di pianificazione non sostituisce la pianificazione dettagliata e specifica del progetto da parte di specialisti e l'esame e il rispetto delle norme e delle disposizioni di legge vigenti. Le rivendicazioni di responsabilità contro gli autori relative a danni materiali o immateriali derivanti dall'uso del manuale di pianificazione sono escluse.

**Il team di autori del gruppo di lavoro QM Holzheizwerke desidera ringraziare i primi autori del Manuale di pianificazione, sul cui prezioso e completo lavoro si basa l'attuale nuova edizione. Inoltre, vorremmo ringraziare i molti esperti del settore per il loro prezioso feedback e la loro attiva partecipazione nel processo di consultazione.**

**Un ringraziamento speciale va anche ai pionieri del gruppo di lavoro QM Holzheizwerke Ruedi Bühler, Hans Rudolf Gabathuler e Franz Promitzer per il loro impegno nello sviluppo e nella definizione di standard di qualità per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa.**

**La redazione e la nuova edizione del manuale di pianificazione della QM Holzheizwerke è stata resa possibile dal sostegno finanziario e personale delle seguenti istituzioni, alle quali desideriamo esprimere il nostro sincero ringraziamento!**

- Ufficio federale svizzero per l'energia
- Österreichisches Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie im Rahmen der Klimaschutzinitiative klimaaktiv
- C.A.R.M.E.N. e.V., Bayern
- Holzenergie-Fachverband Baden-Württemberg e.V.

Gruppo di lavoro QM Holzheizwerke, luglio 2021



# Indice generale

<b>PARTE 1 - USO RAZIONALE DELL'ENERGIA .....</b>	<b>13</b>
1 <b>LA BIOMASSA COME FONTE DI ENERGIA .ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>	
2 <b>QM PER IMPIANTI DI TELERISCALDAMENTO A BIOMASSA .....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
3 <b>SVILUPPO DEL PROGETTO.....</b>	<b>14</b>
<b>PARTE 2 - NOZIONI DI BASE .....</b>	<b>28</b>
4 <b>ENERGIA DA BIOMASSA .....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
5 <b>COMPONENTI DELL'IMPIANTO DI GENERAZIONE DI CALORE....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
6 <b>COMPONENTI DELL'IMPIANTO DI STOCCAGGIO DEL COMBUSTIBILE, TRASPORTO DEL COMBUSTIBILE E RIMOZIONE DELLE CENERI ..</b>	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
7 <b>IDRAULICA PER LA GENERAZIONE DI CALORE .....</b>	<b>82</b>
8 <b>COMPONENTI DELL'IMPIANTO DI DISTRIBUZIONE DEL CALORE.....</b>	<b>97</b>
9 <b>CENERE .....</b>	<b>102</b>
10 <b>EFFICIENZA ECONOMICA.....</b>	<b>108</b>
<b>PARTE 3 - PROCESSO DI PIANIFICAZIONE .....</b>	<b>121</b>
11 <b>VALUTAZIONE DELLA DOMANDA E SELEZIONE DEL SISTEMA APPROPRIATO.....</b>	<b>122</b>
12 <b>PROGETTAZIONE DELLA DISTRIBUZIONE DEL CALORE .....</b>	<b>133</b>
13 <b>SELEZIONE DEL SISTEMA DI GENERAZIONE DI CALORE .....</b>	<b>142</b>
14 <b>PROGETTAZIONE DELLO STOCCAGGIO DEL COMBUSTIBILE, DEL TRASPORTO DEL COMBUSTIBILE E DELLA RIMOZIONE DELLE CENERI.</b>	<b>192</b>
15 <b>ESECUZIONE E ACCETTAZIONE DEL SISTEMA DI CALDAIE A BIOMASSA .....</b>	<b>203</b>
<b>PARTE 4 - FUNZIONAMENTO E GESTIONE .....</b>	<b>209</b>
16 <b>OTTIMIZZAZIONE OPERATIVA DOPO LA MESSA IN SERVIZIO .....</b>	<b>210</b>
17 <b>FUNZIONAMENTO E MANUTENZIONE .....</b>	<b>217</b>
18 <b>OTTIMIZZAZIONE E RISTRUTTURAZIONE DEGLI IMPIANTI ESISTENTI .....</b>	<b>222</b>
<b>APPENDICE.....</b>	<b>231</b>
19 <b>REGOLAMENTO.....</b>	<b>232</b>
20 <b>CALCOLI E CONVERSIONI IMPORTANTI.....</b>	<b>242</b>
21 <b>GLOSSARIO.....</b>	<b>261</b>
22 <b>LETTERATURA.....</b>	<b>268</b>



# Indice dei contenuti

## Sommario

<b>PARTE 1 - USO RAZIONALE DELL'ENERGIA .....</b>	<b>13</b>
<b>1 LA BIOMASSA COME FONTE DI ENERGIA .....</b>	<b>14</b>
1.1 Introduzione .....	14
1.2 Importanza dell'energia da biomassa.....	14
1.2.1 Origine .....	14
1.2.2 Utilizzo .....	15
1.3 Il ruolo dell'energia da biomassa nel sistema energetico.....	16
1.3.1 Contesto internazionale.....	16
1.3.2 Potenziale nel futuro sistema energetico.....	17
1.4 Promozione di misure per l'energia da biomassa .....	18
<b>2 QM PER IMPIANTI TERMICI A BIOMASSA.....</b>	<b>19</b>
2.1 Origine e obiettivo .....	19
2.2 Perché QM per impianti termici a biomassa? .....	19
2.3 QMstandard® .....	20
2.3.1 I principali referenti del sistema QM .....	20
2.3.2 Compiti e responsabilità .....	20
2.3.3 Fasi principali del processo di pianificazione.....	21
2.3.4 Q-piano .....	21
2.3.5 Q-linee guida .....	21
2.3.6 Strumenti per i progettisti.....	22
2.4 QMmini.....	23
2.4.1 Ambito di applicazione.....	23
2.4.2 Procedura .....	23
2.4.3 Documenti e strumenti.....	23
<b>3 SVILUPPO DEL PROGETTO.....</b>	<b>24</b>
3.1 Dall'idea al kilowattora.....	24
3.2 Studio di fattibilità.....	24
3.2.1 Ubicazione dell'impianto di riscaldamento centrale e dello stoccaggio del combustibile.....	25
3.2.2 Requisiti per la pianificazione del territorio .....	25
3.2.3 Disponibilità di combustibile.....	25
3.2.4 Perimetro di connessione e interesse alla connessione .....	26
3.2.5 Idea progettuale di base .....	26
3.2.6 Costi di investimento e produzione di calore .....	26
3.3 Altri aspetti .....	26
3.3.1 Finanziamento .....	26
3.3.2 Società di gestione .....	26
3.3.3 Fattori di successo e "ostacoli" .....	27
<b>PARTE 2 - NOZIONI DI BASE .....</b>	<b>28</b>
<b>4 ENERGIA DA BIOMASSA .....</b>	<b>29</b>
4.1 Introduzione .....	29
4.2 Composizione primaria dei combustibili legnosi .....	29
4.3 Stati di riferimento .....	29
4.4 Parametri importanti.....	30

4.4.1	Contenuto d'acqua e umidità del legno .....	30
4.4.2	Contenuto di cenere .....	31
4.4.3	Potere calorifico netto e lordo .....	31
4.4.4	Specifiche del volume .....	32
<b>4.5</b>	<b>Fornitura di combustibile per sistemi automatici di combustione della legna.....</b>	<b>34</b>
4.5.1	Panoramica.....	34
4.5.2	Assortimenti di legno .....	35
4.5.3	Preparazione del combustibile .....	38
4.5.4	Parametri di qualità .....	39
4.5.5	Strategie di approvvigionamento .....	44
<b>4.6</b>	<b>Determinazione contenuto di acqua.....</b>	<b>44</b>
<b>4.7</b>	<b>Contratto di fornitura di combustibile e fatturazione .....</b>	<b>45</b>
4.7.1	Contratto di fornitura di combustibile .....	45
4.7.2	Fatturazione in base al volume.....	45
4.7.3	Fatturazione in base al peso .....	46
4.7.4	Fatturazione in base alla quantità di calore generato.....	46
<b>5</b>	<b>COMPONENTI DELL'IMPIANTO DI GENERAZIONE DI CALORE.....</b>	<b>48</b>
<b>5.1</b>	<b>Aree di applicazione .....</b>	<b>48</b>
<b>5.2</b>	<b>Fondamenti della combustione.....</b>	<b>49</b>
<b>5.3</b>	<b>Tecnologie di combustione.....</b>	<b>49</b>
5.3.1	Panoramica.....	49
5.3.2	Sistemi di cottura a letto fisso .....	50
5.3.3	Combustione a letto fluido .....	52
5.3.4	Combustione della polvere di segatura .....	53
<b>5.4</b>	<b>Trasferimento di calore nella sezione della caldaia.....</b>	<b>53</b>
<b>5.5</b>	<b>Pulizia automatica del tubo della caldaia .....</b>	<b>54</b>
<b>5.6</b>	<b>Emissioni.....</b>	<b>55</b>
<b>5.7</b>	<b>Misure primarie per la riduzione delle emissioni.....</b>	<b>56</b>
<b>5.8</b>	<b>Misure secondarie per la riduzione delle emissioni .....</b>	<b>57</b>
5.8.1	Dedusting.....	57
5.8.2	Denitrificazione .....	60
<b>5.9</b>	<b>Recupero di calore con economizzatore e condensazione dei fumi.....</b>	<b>61</b>
<b>5.10</b>	<b>Tecnologia di controllo del processo.....</b>	<b>62</b>
5.10.1	Nozioni di base .....	62
5.10.2	Requisiti per l'attrezzatura di misurazione e l'acquisizione dei dati.....	65
5.10.3	Pianificazione ed esecuzione .....	66
<b>6</b>	<b>COMPONENTI DELL'IMPIANTO DI STOCCAGGIO DEL COMBUSTIBILE, TRASPORTO DEL COMBUSTIBILE E RIMOZIONE DELLE CENERI .....</b>	<b>68</b>
<b>6.1</b>	<b>Osservazione preliminare.....</b>	<b>68</b>
<b>6.2</b>	<b>Deposito di combustibile.....</b>	<b>68</b>
<b>6.3</b>	<b>Riempimento di silos e magazzini .....</b>	<b>69</b>
6.3.1	Riempimento di silos di cippato .....	69
6.3.2	Riempimento e gestione dei magazzini .....	71
6.3.3	Riempimento di silos di trucioli .....	73
6.3.4	Riempimento di magazzini di pellet .....	74
<b>6.4</b>	<b>Scarico.....</b>	<b>74</b>
6.4.1	Sistemi di scarico per tutti i combustibili .....	74
6.4.2	Sistemi di scarico speciali.....	76
<b>6.5</b>	<b>Sistemi di trasporto .....</b>	<b>77</b>
<b>6.6</b>	<b>Alimentazione della fornace.....</b>	<b>79</b>

<b>6.7</b>	<b>Protezione contro il ritorno di fiamma nel sistema di trasporto del combustibile</b>	<b>80</b>
<b>6.8</b>	<b>Rimozione della cenere</b>	<b>81</b>
<b>7</b>	<b>IDRAULICA PER LA GENERAZIONE DI CALORE</b>	<b>82</b>
<b>7.1</b>	<b>Nozioni di base di idraulica</b>	<b>82</b>
<b>7.2</b>	<b>Controllo del circuito della caldaia</b>	<b>82</b>
7.2.1	Valvola di controllo circuito della caldaia	83
7.2.2	Bypass nel circuito della caldaia	84
<b>7.3</b>	<b>Pompe</b>	<b>85</b>
7.3.1	Tipi di pompa	85
7.3.2	Design della pompa	85
7.3.3	Pompa della caldaia a velocità controllata	86
7.3.4	Affidabilità operativa e ridondanza della pompa della caldaia	87
<b>7.4</b>	<b>Contatore di calore</b>	<b>87</b>
7.4.1	Caratteristiche del contatore di calore	88
7.4.2	Requisiti dei singoli metodi di misurazione del flusso	89
7.4.3	Installazione di contatori di calore	89
7.4.4	Influenzare l'autorità della valvola	90
<b>7.5</b>	<b>Accumulo di calore</b>	<b>90</b>
7.5.1	Accumulo di calore nel sistema di riscaldamento	90
7.5.2	Integrazione idraulica dell'accumulatore di calore	93
<b>7.6</b>	<b>Domande sull'idraulica per la generazione di calore</b>	<b>96</b>
7.6.1	Qualità dell'acqua	96
7.6.2	Prevenire la cattiva circolazione	96
<b>8</b>	<b>COMPONENTI DELL'IMPIANTO DI DISTRIBUZIONE DEL CALORE</b>	<b>97</b>
<b>8.1</b>	<b>Panoramica</b>	<b>97</b>
<b>8.2</b>	<b>Sistemi di tubature</b>	<b>97</b>
<b>8.3</b>	<b>Raccordi</b>	<b>97</b>
<b>8.4</b>	<b>Monitoraggio delle perdite</b>	<b>98</b>
<b>8.5</b>	<b>Trasmissione e comunicazione dei dati</b>	<b>99</b>
<b>8.6</b>	<b>Struttura della rete</b>	<b>99</b>
<b>8.7</b>	<b>Metodi e situazioni di installazione</b>	<b>99</b>
<b>8.8</b>	<b>Qualità dell'acqua nella rete di riscaldamento</b>	<b>100</b>
<b>8.9</b>	<b>Trasferimento di calore</b>	<b>100</b>
8.9.1	Connessione con il cliente	100
8.9.2	Requisiti per il trasferimento di calore	100
<b>9</b>	<b>CENERE</b>	<b>102</b>
<b>9.1</b>	<b>Accumulo di cenere</b>	<b>102</b>
<b>9.2</b>	<b>Frazioni di cenere</b>	<b>102</b>
<b>9.3</b>	<b>Composizione della cenere</b>	<b>103</b>
<b>9.4</b>	<b>Smaltimento e riciclaggio</b>	<b>104</b>
9.4.1	Situazione in Svizzera	105
9.4.2	Situazione in Germania	106
9.4.3	Situazione in Austria	107
<b>10</b>	<b>EFFICIENZA ECONOMICA</b>	<b>108</b>
<b>10.1</b>	<b>Problemi di efficienza economica per gli impianti DI TELERISCALDAMENTO a biomassa</b>	<b>108</b>
<b>10.2</b>	<b>Responsabilità</b>	<b>108</b>
<b>10.3</b>	<b>Struttura dei costi degli impianti DI TELERISCALDAMENTO a biomassa</b>	<b>108</b>
<b>10.4</b>	<b>Calcolo dell'efficienza economica</b>	<b>110</b>

10.4.1	Introduzione .....	110
10.4.2	Calcolo dei costi di produzione del calore con il metodo della rendita .....	111
10.4.3	Metodo del valore attuale netto (NPV) e tasso interno di rendimento (IRR) .....	112
10.4.4	Confronto delle varianti .....	112
10.4.5	Analisi di sensibilità .....	113
<b>10.5</b>	<b>Struttura tariffaria vendite di calore .....</b>	<b>113</b>
<b>10.6</b>	<b>Piano d'affari .....</b>	<b>115</b>
10.6.1	Struttura e contenuto .....	115
10.6.2	Bilancio preventivo e conto economico preventivo .....	115
<b>10.7</b>	<b>Strumento di calcolo della redditività .....</b>	<b>116</b>
<b>10.8</b>	<b>Stima dei costi di investimento .....</b>	<b>118</b>
10.8.1	Valori guida per i costi di investimento specifici per la generazione di calore .....	119
10.8.2	Valori guida per i costi di investimento specifici per la distribuzione del calore .....	120
<b>PARTE 3 - PROCESSO DI PIANIFICAZIONE .....</b>		<b>121</b>
<b>11</b>	<b>VALUTAZIONE DELLA DOMANDA E SELEZIONE APPROPRIATA DEL SISTEMA .....</b>	<b>122</b>
<b>11.1</b>	<b>Introduzione .....</b>	<b>122</b>
<b>11.2</b>	<b>Analisi della domanda di calore .....</b>	<b>123</b>
11.2.1	Nuovi edifici .....	123
11.2.2	Edifici esistenti .....	123
11.2.3	Area dell'edificio .....	124
<b>11.3</b>	<b>Richiesta di calore dell'intero sistema .....</b>	<b>126</b>
11.3.1	Determinazione della capacità termica richiesta .....	126
11.3.2	Domanda di potenza termica indicata come caratteristica di carico .....	127
<b>11.4</b>	<b>Analisi delle fonti di calore .....</b>	<b>129</b>
<b>11.5</b>	<b>Integrazione nel processo del progetto QM per impianti DI TELERISCALDAMENTO a biomassa .....</b>	<b>130</b>
<b>12</b>	<b>DESIGN DELLA DISTRIBUZIONE DEL CALORE .....</b>	<b>133</b>
<b>12.1</b>	<b>Introduzione .....</b>	<b>133</b>
<b>12.2</b>	<b>Cifre e termini chiave .....</b>	<b>133</b>
12.2.1	Area di approvvigionamento potenziale .....	133
12.2.2	Densità della domanda di calore .....	134
12.2.3	Clienti chiave .....	134
12.2.4	Grado di sviluppo .....	135
12.2.5	Fattore di concorrenza .....	135
12.2.6	Densità di connessione .....	135
12.2.7	Costi di investimento specifici .....	136
12.2.8	Perdite nella distribuzione del calore .....	136
12.2.9	Deviazione dai criteri di efficienza .....	136
<b>12.3</b>	<b>Procedura del progetto .....</b>	<b>137</b>
<b>12.4</b>	<b>Dimensionamento dei diametri dei tubi .....</b>	<b>138</b>
12.4.1	Raccomandazioni per il dimensionamento .....	138
12.4.2	Procedura di dimensionamento .....	139
12.4.3	Metodi di calcolo .....	139
<b>12.5</b>	<b>Sviluppi nella tecnologia delle reti di calore .....</b>	<b>139</b>
<b>13</b>	<b>SELEZIONE DEL SISTEMA DI GENERAZIONE DI CALORE .....</b>	<b>142</b>
<b>13.1</b>	<b>Introduzione .....</b>	<b>142</b>
<b>13.2</b>	<b>Confronto ecologico con altre fonti di calore .....</b>	<b>142</b>

13.2.1	Panoramica.....	142
13.2.2	Esempi.....	143
<b>13.3</b>	<b>Requisiti generali e definizione di termini importanti.....</b>	<b>147</b>
<b>13.4</b>	<b>Qualità del combustibile e sistema di accensione .....</b>	<b>149</b>
<b>13.5</b>	<b>Selezione e progettazione del sistema di generazione del calore.....</b>	<b>150</b>
13.5.1	Varianti di base dei sistemi di generazione di calore con sistema di combustione di biomassa	151
13.5.2	Descrizione delle varianti di base .....	157
13.5.3	Procedura per la progettazione di un sistema bivalente .....	162
13.5.4	Selezione del sistema di combustione .....	163
13.5.5	Dimensionamento dell'accumulatore di calore .....	163
13.5.6	Domanda di combustibile .....	164
<b>13.6</b>	<b>Ulteriori varianti del sistema di generazione di calore.....</b>	<b>165</b>
13.6.1	Sistemi a più caldaie con equipaggiamento di serie .....	165
13.6.2	Caldaia a biomassa supplementare con alta qualità di combustibile per il funzionamento estivo .....	166
13.6.3	Calore ed energia combinati.....	168
<b>13.7</b>	<b>Fonti di calore complementari e sistemi di generazione di calore .....</b>	<b>170</b>
13.7.1	Osservazioni generali .....	170
13.7.2	Recupero di calore dal gas di scarico.....	171
13.7.3	Pompe di calore.....	174
13.7.4	Energia solare.....	178
13.7.5	Utilizzo del calore residuo.....	180
<b>13.8</b>	<b>Fornitura di calore di processo.....</b>	<b>182</b>
<b>13.9</b>	<b>Progettazione dei componenti del sistema.....</b>	<b>183</b>
13.9.1	Selezione della tecnologia di precipitazione della polvere .....	183
13.9.2	Selezione della tecnologia di riduzione degli ossidi di azoto.....	185
13.9.3	Selezione di componenti aggiuntivi .....	187
<b>13.10</b>	<b>Progettazione dell'impianto di riscaldamento centrale .....</b>	<b>187</b>
13.10.1	Impianto di riscaldamento centrale.....	187
13.10.2	Contenitore di riscaldamento e impianti di riscaldamento come elemento prefabbricato .....	188
13.10.3	Domanda di energia ausiliaria .....	189
13.10.4	Camino, camino.....	189
13.10.5	Protezione dal rumore .....	190
<b>14</b>	<b>PROGETTAZIONE DELLO STOCCAGGIO DEL COMBUSTIBILE, DEL TRASPORTO DEL COMBUSTIBILE E DELLA RIMOZIONE DELLE CENERI.192</b>	
<b>14.1</b>	<b>Note generali .....</b>	<b>192</b>
<b>14.2</b>	<b>Selezione e dimensionamento dello stoccaggio del combustibile .....</b>	<b>192</b>
14.2.1	Tipi di stoccaggio del combustibile .....	192
14.2.2	Dimensionamento.....	192
14.2.3	Design del silo del combustibile .....	193
14.2.4	Ventilazione del silo .....	195
14.2.5	Design del magazzino .....	196
14.2.6	Magazzino esterno .....	197
14.2.7	Combustione spontanea e perdita di sostanza .....	197
14.2.8	Design del silo di cippato.....	198
14.2.9	Design dello stoccaggio del pellet .....	198
<b>14.3</b>	<b>Selezione e dimensionamento dello scarico del combustibile.....</b>	<b>198</b>
14.3.1	Osservazioni generali .....	198
14.3.2	Trasporto di combustibile.....	199
14.3.3	Scarico.....	199
14.3.4	Sistemi di trasporto del combustibile.....	200

14.3.5	Alimentazione della fornace.....	200
<b>14.4</b>	<b>Selezione e dimensionamento della rimozione delle ceneri .....</b>	<b>200</b>
<b>15</b>	<b>ESECUZIONE E ACCETTAZIONE DEL SISTEMA DELLA CALDAIA A BIOMASSA.....</b>	<b>203</b>
15.1	Requisiti generali e definizione dei termini più importanti .....	203
15.2	Supervisione della costruzione.....	203
15.3	Punti critici durante la fase di costruzione .....	204
15.4	Messa in funzione e avvio .....	204
15.4.1	Preparativi per la messa in servizio, messa in servizio a freddo.....	204
15.4.2	Messa in funzione a caldo dell'impianto .....	205
15.5	Accettazione.....	206
	<b>PARTE 4 - FUNZIONAMENTO E GESTIONE .....</b>	<b>209</b>
<b>16</b>	<b>OTTIMIZZAZIONE OPERATIVA DOPO LA MESSA IN FUNZIONE .....</b>	<b>210</b>
16.1	Ragioni e obiettivi .....	210
16.2	Requisiti e responsabilità.....	211
16.3	Elaborazione e valutazione dei dati .....	211
16.4	Implementazione.....	215
<b>17</b>	<b>FUNZIONAMENTO E MANUTENZIONE .....</b>	<b>217</b>
17.1	Organizzazione aziendale.....	217
17.2	Funzionamento tecnico .....	217
17.3	Manutenzione .....	217
17.3.1	Generale .....	217
17.3.2	Manutenzione e ispezione .....	218
17.3.3	Riparazione e miglioramento .....	220
17.4	Sicurezza sul lavoro.....	220
17.5	Assicurazione.....	220
<b>18</b>	<b>OTTIMIZZAZIONE E RISTRUTTURAZIONE DI IMPIANTI ESISTENTI.....</b>	<b>222</b>
18.1	Spiegazioni.....	222
18.2	Ottimizzazione degli impianti esistenti.....	222
18.2.1	Procedura .....	222
18.2.2	Analisi dello status quo della tecnologia e dell'economia.....	222
18.2.3	Valutazione dell'analisi dello status quo .....	223
18.2.4	Misure per l'ottimizzazione degli impianti esistenti .....	226
18.3	Ristrutturazione di impianti esistenti.....	228
18.3.1	Introduzione .....	228
18.3.2	Procedura per la ristrutturazione .....	228
18.3.3	Ristrutturazione non possibile .....	230
	<b>APPENDICE.....</b>	<b>231</b>
<b>19</b>	<b>REGOLAMENTO.....</b>	<b>232</b>
<b>20</b>	<b>CALCOLI E CONVERSIONI IMPORTANTI.....</b>	<b>242</b>
20.1	Rapporto di eccesso d'aria Lambda .....	242
20.2	Conversione da ppm a mg/m <sup>3</sup> .....	243
20.3	Valore di riferimento dell'ossigeno.....	244
20.4	Conversione da mg/m <sup>3</sup> a mg/MJ .....	246
20.5	Conversione da gas di scarico umido a secco .....	247
20.6	Determinazione della potenza termica nominale.....	248

20.7	Determinazione del flusso di massa del combustibile .....	249
20.8	Determinazione del volume d'aria di combustione.....	250
20.9	Determinazione del flusso volumetrico dei gas di scarico .....	252
20.10	Determinazione del flusso di massa di NO <sub>x</sub> .....	253
20.11	Determinazione dell'efficienza della combustione .....	255
20.12	Determinazione dell'efficienza annuale .....	257
20.13	Unità comuni e conversioni .....	260
21	GLOSSARIO.....	261
22	LETTERATURA.....	268

# **Parte 1 - Uso razionale dell'energia**

# 1 La biomassa come fonte di energia

## 1.1 Introduzione

Le foreste sono ecosistemi preziosi - habitat e spazi di lavoro che offrono utilizzo, protezione e ricreazione. Inoltre, le foreste riducono le emissioni di CO<sub>2</sub> e l'uso del legno come materia prima dà un importante contributo alla riduzione dei gas serra. La silvicoltura e l'industria del legno sono settori economici importanti nell'Europa centrale. La situazione in Italia vede da un lato l'industria del legno come un importante settore economico mentre dall'altro la silvicoltura lo è molto meno tanto che attualmente l'Italia risulta essere uno dei maggiori importatori di legname su scala mondiale e la risorsa boschiva italiana risulta scarsamente utilizzata. È essenziale quindi che la silvicoltura si sviluppi e lo faccia in modo sostenibile e in armonia con la natura. Solo così possiamo beneficiare dei suoi benefici ecologici, economici e sociali a lungo termine.

Il legno è una delle più importanti materie prime rinnovabili. Le proprietà del legno lo rendono ideale per una vasta gamma di usi: edifici, carta, oggetti di uso quotidiano - il legno gioca un ruolo importante anche nell'ingegneria e nel design.

### Perché l'energia dalla biomassa?

#### Economicamente sensato

- Diversificazione dell'approvvigionamento energetico
- Indipendenza energetica in tempi di crisi
- Maggiore garanzia di fornitura
- Entrate per la silvicoltura e la gestione del legname
- Valore aggiunto locale e creazione di posti di lavoro

#### Compatibile con l'ambiente

- Rinnovabile e a ridottissime emissioni di CO<sub>2</sub>
- Alta efficienza e basse emissioni
- Vie di trasporto brevi e a basso rischio
- Facile preparazione e conservazione
- Immagazzinabile e disponibile in qualsiasi momento
- Combinabile con altre fonti di calore rinnovabili locali

#### Comfort attraverso il teleriscaldamento a biomassa

- Tecnologia comprovata con fornitura garantita
- Nessuna manutenzione e poco spazio richiesto agli utenti finali

Il legno in tronchi è stato usato per migliaia di anni per il riscaldamento, la cottura, l'artigianato, la produzione di vapore, ecc. Negli ultimi decenni, il legno ha acquisito grande importanza anche come fonte di energia sotto forma di cippato e pellet per sistemi di riscaldamento individuali o con più utenti collegati mediante una rete di distribuzione del calore. Tenendo conto della conservazione delle risorse e degli scarti di lavorazioni, per la produzione di cippato e pellet vengono utilizzati i sottoprodotti della lavorazione del legno, che altrimenti verrebbero scartati e la parte residua dell'utilizzazione forestale secondo l'uso a cascata del legno. Quando il legno viene bruciato nelle immediate vicinanze del luogo di origine, non si ha un aumento significativo di CO<sub>2</sub> nell'ambiente poiché viene rilasciata in atmosfera la CO<sub>2</sub> immagazzinata durante il suo processo di crescita. Risulta quindi fondamentale l'uso di biomassa locale al fine di ridurre l'aumento di CO<sub>2</sub> in atmosfera.

## 1.2 Importanza dell'energia da biomassa

### 1.2.1 Origine

La domanda di legno dell'UE e dei suoi paesi membri è coperta principalmente dalle nostre foreste e in misura minore dai rifiuti di legno riciclati e dalle importazioni di legno. La lavorazione industriale del legno coinvolge principalmente le segherie, l'industria del cartone e della carta e le operazioni a valle (carpenteria, falegnameria, produzione di mobili, ecc.) L'uso di legno in questi processi industriali è prioritario rispetto all'uso energetico. La biomassa viene infatti ottenuta dal legno con la più bassa qualità come quello danneggiato (per esempio da danni causati da tempeste o infestazioni di bostrico), legno di scarto, ma anche legname proveniente da piantagioni a rotazione breve o da piccole foreste (private) e

comunque rispettando sempre il principio di uso a cascata del legno. La restante quota di legno per l'uso energetico è costituita da scarti di legno non adatti all'industria (corteccia, legno tagliato trasversalmente, segatura, trucioli, anche rifiuti di liscivia dalla produzione di cellulosa). Complessivamente, la quota di uso energetico dell'offerta totale di legno nell'UE è di circa il 60%. La Figura 1.1 fornisce una panoramica del flusso di legname nell'UE nel 2015. Per garantire sostenibilità, è importante che il legno sia di origine locale e che la distanza percorsa per il suo trasporto sia la più breve possibile. Di conseguenza, i combustibili disponibili e la loro origine dipendono dalle condizioni quadro locali e dalle filiere di approvvigionamento presenti sul territorio.

## 1.2.2 Utilizzo

Il calore rappresenta più del 50% della domanda di energia nell'UE. Per quanto riguarda il fabbisogno di energia per usi termici, il settore residenziale e l'industria rappresentano ciascuna circa il 40%, mentre il resto è diviso tra il settore dei servizi, l'agricoltura e altri [1].

L'energia da biomassa gioca un ruolo chiave nella transizione energetica - specialmente nella generazione di calore. Ma anche l'interesse per l'uso del legno e di altre biomasse solide per generare elettricità, combustibili o prodotti chimici è in aumento. Circa il 17% della domanda energetica dell'UE è coperta da energia rinnovabile (Figura 1.2). Qui, la quota di bioenergia, compresa l'energia da legno, colture energetiche e rifiuti biogenici, è di circa il 60%. La maggior parte della bioenergia è usata per fornire calore (74,6%). Il resto è usato per la produzione di elettricità e combustibili.

Per la **produzione di calore** nelle case unifamiliari e nei condomini, di solito si usano sistemi di combustione alimentati manualmente (ciocchi, bricchetti di legno, ecc.) o sistemi automatici di riscaldamento a pellet o cippato. Le più recenti e collaudate tecnologie di combustione e di caldaie ad alta efficienza e basse emissioni sono disponibili da un gran numero di produttori. I sistemi di riscaldamento a biomassa composti da una centrale termica, una rete di distribuzione del calore e una stazione di trasferimento del calore possono fornire calore (riscaldamento, acqua calda, calore di processo) a gruppi di utenze che vanno da pochi edifici a intere aree urbane. Il calore viene fornito dalla combustione di cippato, corteccia, ecc. in sistemi di riscaldamento e caldaie completamente automatizzati e adattati al rispettivo combustibile utilizzato. Le singole caldaie a biomassa vengono utilizzate anche in impianti di grandi dimensioni per produzione di calore di processo di vapore nell'industria o in impianti di cogenerazione (CHP), anche per la produzione di elettricità. I sottoprodotti dell'industria della lavorazione del legno (per esempio i sottoprodotti delle segherie, le liscive) sono spesso utilizzati direttamente sul posto. Le eccedenze dalla produzione di elettricità e di calore possono a loro volta essere immesse nelle reti esistenti.

L'**elettricità** può essere generata dalla biomassa tramite combustione (turbine a vapore, ORC) o gassificazione (motori a gas) in un processo a letto fisso o a letto fluido. Mentre la generazione di elettricità era originariamente progettata principalmente per impianti più grandi (impianti da 400 kW in su), ora sono disponibili sul mercato anche impianti di gassificazione di piccola e micro taglia. Il funzionamento di impianti di cogenerazione porta vantaggi ecologici ed economici solo se il tasso di utilizzo termico ed elettrico annuale è elevato e se il calore generato durante la produzione di elettricità viene recuperato per usi energetici.

Il gas prodotto dalla gassificazione della biomassa può essere usato non solo per la produzione combinata di elettricità e calore, ma anche per la produzione di carburanti e altri prodotti chimici o immesso nelle reti di gas naturale in forma trattata. A seconda del concetto di impianto e della modalità di funzionamento, oltre al gas da biomassa, possono essere prodotti anche carbone di legna o olio di pirolisi come sottoprodotti utilizzabili o biochar come mezzo per la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> in atmosfera.

Qualunque sia la gamma di prodotti e la configurazione degli impianti di utilizzo della biomassa attuali e futuri, il calore sarà sempre un sottoprodotto che deve essere sfruttato per garantire che gli impianti funzionino in modo efficiente e con risparmio di risorse.

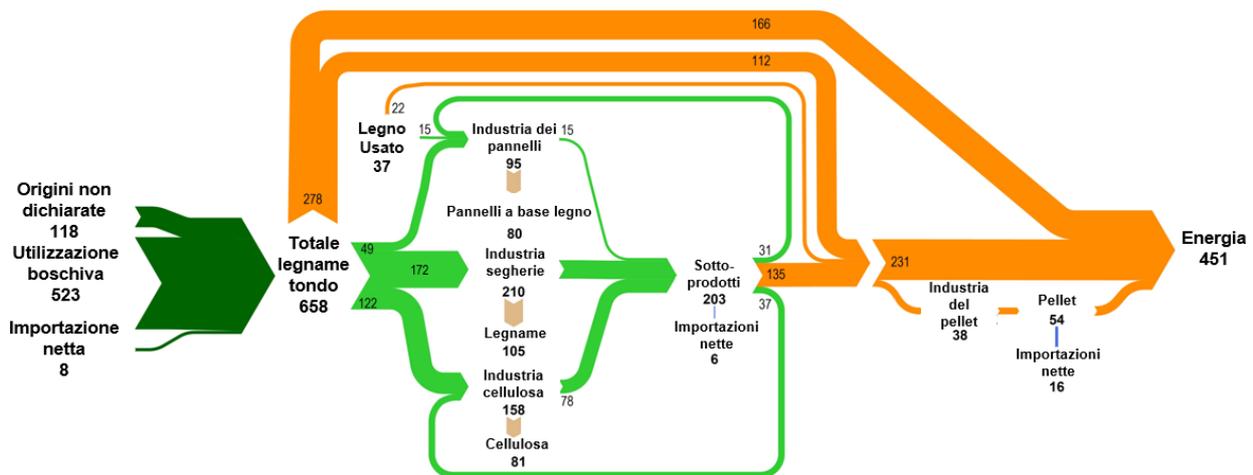


Figura 1.1 Diagramma di flusso del legname per il settore forestale dei paesi dell'UE-28 in milioni di metri cubi solidi raccolti (2015); dati di base per la figura tratti da ([2], [3]).

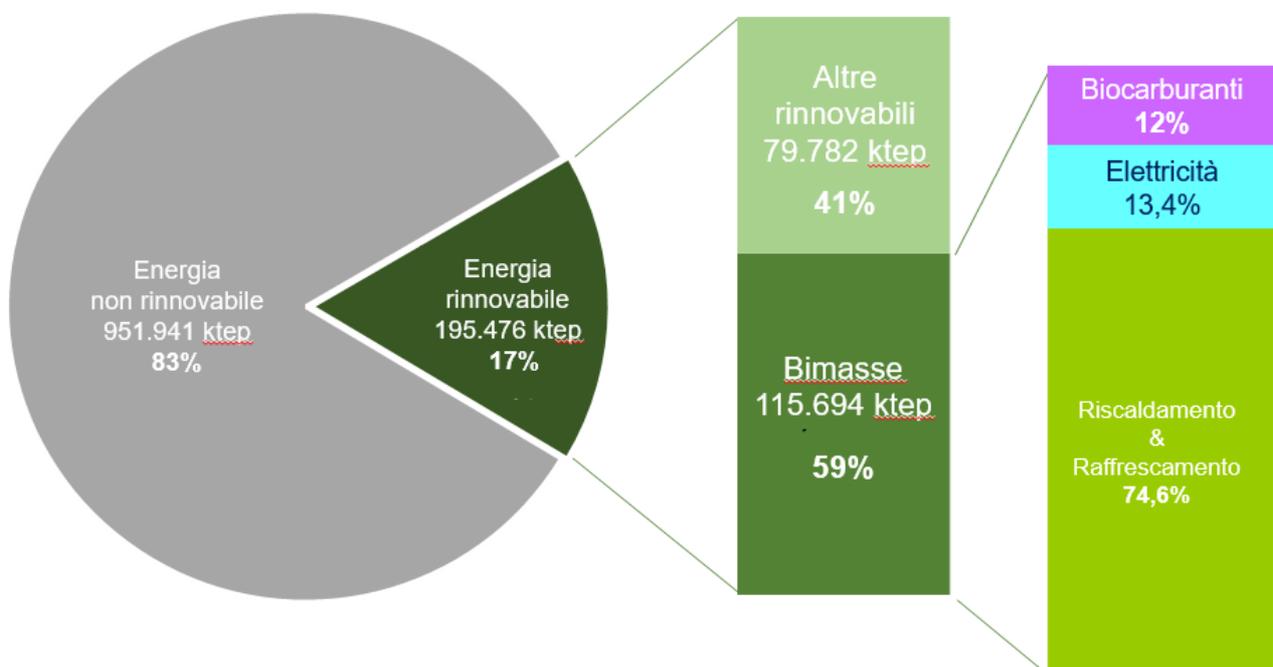


Figura 1.2 Quota delle energie rinnovabili nella domanda lorda di energia dell'UE in chilotonnellate di petrolio equivalente (ktep) e in percentuale, nonché la ripartizione del contributo della bioenergia (2016); dati di base per la figura tratti da [4].

## 1.3 Il ruolo dell'energia da biomassa nel sistema energetico

### 1.3.1 Contesto internazionale

Nel 2017, il consumo medio globale di energia primaria è stato di circa 60 kWh al giorno per persona; all'interno dei paesi dell'UE, questo valore è stato significativamente più alto nel 2018 con 100 kWh ([1], [5]- [7]). Anche

se la quota di energia rinnovabile è aumentata costantemente negli ultimi anni, circa l'83% dell'approvvigionamento energetico totale dell'UE è ancora coperto da risorse non rinnovabili (Tabella 1.1). Nella maggior parte dei paesi, l'energia da biomassa come parte della bioenergia rappresenta la quota maggiore delle rinnovabili (biomassa primaria solida). Essa gioca un ruolo importante nella trasformazione verso una fornitura di energia rinnovabile, specialmente nel settore del calore, poiché le sue proprietà sono molto simili a quelle dei combustibili fossili (alta densità di calore, immagazzinabilità, flessibilità). All'interno dell'UE, Finlandia, Svezia, Lettonia,

Estonia e Austria hanno le maggiori quote di bioenergia in relazione al numero di abitanti [4].

Tabella 1.1 Composizione delle fonti di energia per l'approvvigionamento energetico totale nel mondo [5], nell'UE e in paesi selezionati (2018) [1]; dati per la Svizzera da [8].

\* Valore di somma per l'energia eolica, l'energia solare e altre

Fornitura totale di energia 2018	Mondo	UE-28	IT	A	CH	IT
<b>Totale [TWh]</b>	<b>166,098</b>	<b>18,742</b>	<b>3,543</b>	<b>386</b>	<b>304</b>	<b>1,781</b>
<b>Fonti di energia non rinnovabili</b>	<b>86.2 %</b>	<b>85.0 %</b>	<b>85.9 %</b>	<b>69.9 %</b>	<b>78.8 %</b>	<b>80.9 %</b>
<b>Fonti di energia rinnovabile</b>	<b>13.8 %</b>	<b>15.0 %</b>	<b>14.1 %</b>	<b>30.1 %</b>	<b>21.2 %</b>	<b>19.1 %</b>
Bioenergia	9.3 %	9.0 %	8.5 %	16.7 %	7.4 %	8.7 %
<i>Solida (incl. legno)</i>	-	6.2 %	4.0 %	13.9 %	3.8 %	5.6 %
Energia idroelettrica	2.5 %	1.9 %	0.5 %	9.8 %	12.3 %	2.7 %
Energia eolica		2.0 %	3.1 %	1.6 %	0.04 %	1.0 %
Energia solare	2.0 %*	0.9 %	1.5 %	0.9 %	0.9 %	1.4 %
Altro		1.2 %	0.5 %	1.1 %	0.6 %	5.2 %

Ma l'energia da biomassa occupa una posizione speciale non solo tecnicamente, ma anche economicamente. Mentre le altre tecnologie rinnovabili possono contare in gran parte su fonti di energia diretta e gratuita (vento, sole, acqua, calore ambientale o geotermico), la fornitura di combustibili legnosi richiede attività aggiuntive come la coltivazione, la raccolta, la lavorazione e il trasporto. La catena di approvvigionamento più lunga crea posti di lavoro regionali permanenti nel settore della fornitura di combustibile. In un confronto globale dell'effetto delle fonti energetiche rinnovabili sui posti di lavoro, la produzione di energia da biomassa solida è al sesto posto con 787.000 posti di lavoro generati nel 2018 [9]. Nell'UE, la produzione di energia da biomassa solida è al primo posto nel 2018. Con 360.600 posti di lavoro nel settore della biomassa solida (su un totale di 1,5 milioni di posti di lavoro nel settore delle energie rinnovabili), è stato generato un fatturato di 31,8 miliardi di euro [10].

### 1.3.2 Potenziale nel futuro sistema energetico

In numerosi studi e strategie energetiche, alla bioenergia (solida, liquida e gassosa) viene assegnato un ruolo chiave come sostituto delle fonti energetiche fossili. Ciò è dovuto principalmente al contenuto energetico, alla capacità di stoccaggio e alla disponibilità flessibile, nonché all'applicazione generalmente locale della biomassa. Dal punto di vista attuale, sembra improbabile che la biomassa sia in grado di coprire completamente il fabbisogno energetico mondiale senza entrare in conflitto con altre priorità come la biodiversità, la sostenibilità, la domanda di terra, acqua e cibo. Tuttavia, la biomassa sarà un pilastro del nostro futuro approvvigionamento energetico. Attualmente, la quota globale di bioenergia è di circa 15.447 TWh/a (corrisponde al 9,3% dell'offerta totale di energia, vedi Tabella 1.1). Secondo uno studio comparativo della letteratura di Faaij et al [11], il potenziale globale di bioenergia per il 2050 è stimato ad un massimo

di 139.000 TWh/a, per cui la domanda di energia aumenterà anche nella gamma da 222.000 a 417.000 TWh/a per allora. Il potenziale europeo per il 2050, invece, è stimato ad un massimo di 8.300 TWh/a. Queste cifre devono essere considerate come indicative e possono variare a seconda della disponibilità regionale.

Anche se in futuro il legno verrà utilizzato maggiormente per la produzione di combustibile, gas di legno o materie prime chimiche (parola chiave "bioeconomia"), la biomassa rimane una componente essenziale dell'approvvigionamento di elettricità e calore rinnovabili. Tuttavia, poiché il potenziale della biomassa non sarà sufficiente per un completo approvvigionamento di energia rinnovabile, si deve dare grande importanza a impianti efficienti di teleriscaldamento a biomassa e a un uso sostenibile e rispettoso delle risorse del legno come fonte di energia. Nel caso di impianti di cogenerazione per la produzione di elettricità e calore, è indispensabile un utilizzo completo del calore e quindi un funzionamento ottimizzato della potenza termica.

Per ottenere un approvvigionamento di calore completamente rinnovabile, sarà anche essenziale utilizzare altre fonti di calore regionali e rinnovabili (solare termico, geotermico, calore residuo e calore ambientale con/senza pompe di calore). Gli impianti di termici a biomassa e le reti locali di riscaldamento sono un punto di partenza ideale per integrare queste fonti di calore e renderle utilizzabili. Dato che questo porta in ogni caso a configurazioni d'impianto più complesse e a interazioni tra le diverse fonti di calore, è ancora più importante prestare grande attenzione a una pianificazione completa e dettagliata con particolare considerazione dei requisiti dei singoli generatori di calore e della loro interazione efficiente e a basse emissioni.

## 1.4 Promozione di misure per l'energia da biomassa

Al fine di promuovere un rapido passaggio a una fornitura di energia completamente rinnovabile e per compensare le condizioni quadro sfavorevoli (ad esempio la mancanza o i prezzi troppo bassi della CO<sub>2</sub>), gli impianti di produzione di energia basati sulla biomassa sono promossi in molti paesi. Le misure di sostegno più comuni all'interno dell'UE sono [12]:

- Sussidi agli investimenti (sovvenzioni a fondo perduto, prestiti agevolati)
- Tariffe di alimentazione (prezzi fissi)
- Premi per l'alimentazione (maggiorazioni sui prezzi di mercato, sussidi per i costi operativi)
- Esenzioni o sgravi fiscali
- Rimborso delle tasse
- Regolamenti legali (per es. scambio di emissioni di CO<sub>2</sub>, obiettivi per la quota rinnovabile, prezzi della CO<sub>2</sub>)

Nel settore dell'elettricità, si applicano principalmente tariffe di alimentazione e premi di alimentazione, ma sempre più spesso anche pagamenti *à la tantum*, mentre i sussidi agli investimenti dominano nel settore del riscaldamento. Al contrario, gli incentivi fiscali sono utilizzati piuttosto meno frequentemente. Dopo l'accordo sul clima di Parigi del 2015, sono stati adottati sempre più requisiti legali per la promozione delle energie rinnovabili. Questi includono l'eliminazione graduale del gasolio da riscaldamento, del gas naturale e del carbone o i requisiti per una quota di energia rinnovabile nell'edilizia residenziale. In totale, il settore delle bioenergie ha ricevuto circa 14 miliardi di euro di sostegno dall'UE e dai suoi Stati membri nel 2018 (73 miliardi di euro in totale per le fonti di energia rinnovabile) [13]. Circa l'8% del finanziamento energetico totale dell'UE è speso per la biomassa, mentre ancora più del 30% (o 50 miliardi di euro) dei finanziamenti va ai combustibili fossili.

A seconda del paese, i finanziamenti sono forniti per la costruzione, l'espansione e l'ottimizzazione o la ristrutturazione di impianti termici a biomassa e le relative reti di teleriscaldamento locali e distrettuali, nonché per singoli impianti a biomassa commerciali e privati. I tassi di finanziamento per le sovvenzioni agli investimenti sono spesso nell'ordine del 20-40%. I requisiti comuni di finanziamento con un focus sul settore del riscaldamento sono:

- Quota minima di fonti energetiche rinnovabili nel sistema complessivo
- Efficienza della caldaia, della rete di teleriscaldamento e dell'intero sistema (ad esempio, parametri di riferimento per l'efficienza della caldaia, perdite nella distribuzione del calore)
- Densità di calore lineare sufficiente della rete di distribuzione (kWh venduti in un anno diviso i metri di rete che collegano i vari edifici)
- Temperatura massima ammissibile di ritorno
- Risparmio minimo di CO<sub>2</sub>

- Requisiti di emissione più rigorosi di quelli previsti dalla legge
- Cambio di fonte energetica da fossile a rinnovabile
- Combinazione con ristrutturazione termica dell'edificio
- Gestione della qualità per impianti termici a biomassa ([www.qm.ape.fvg.it](http://www.qm.ape.fvg.it))
- Altri requisiti di garanzia della qualità

Informazioni aggiornate e dettagliate sulle opportunità di finanziamento e sulle procedure di finanziamento dovrebbero essere ottenute dalle relative agenzie di finanziamento nazionali e regionali.

L'introduzione di prezzi nazionali/internazionali della CO<sub>2</sub>, come già attuato in singoli paesi, è un complemento e un'alternativa efficace ai sussidi per spingere il passaggio a una fornitura di calore rinnovabile sostenibile basata sulla biomassa e su altre fonti di energia rinnovabile.

## 2 QM per impianti termici a biomassa

### 2.1 Origine e obiettivo

Svizzera, Baden-Württemberg, Baviera e Austria hanno creato insieme degli standard di qualità per gli impianti TERMICI a biomassa e li propongono dal 2004 con il nome "QM Holzheizwerke". L'accento è posto sulla pianificazione, progettazione, ed esecuzione professionale dell'impianto di produzione di calore e della rete di teleriscaldamento. Criteri di qualità importanti sono un'elevata sicurezza di funzionamento, un controllo preciso, buone qualità dell'aria e una logistica del combustibile economica. L'obiettivo è un funzionamento efficiente dal punto di vista energetico, ecologico ed economico dell'intero impianto.

QM per impianti termici a legna è un sistema di gestione della qualità legato al progetto. Assicura che la qualità sia definita e controllata in un progetto limitato nel tempo in cui sono coinvolte diverse aziende.

### 2.2 Perché QM per impianti termici a biomassa?

I sistemi termici a legna, specialmente quelli con reti di distribuzione del calore, sono progetti a lungo termine con alti costi di investimento e lunghi periodi di ammortamento. I rischi sono corrispondentemente alti. È spesso difficile prevedere lo sviluppo della domanda perché l'attività di costruzione - sia negli edifici nuovi che nel settore delle ristrutturazioni - è soggetta a forti fluttuazioni. Le previsioni sulla situazione energetica futura, che attualmente sta subendo un cambiamento verso una generazione di calore rinnovabile e senza fossili, sono altrettanto complicate.

Una gestione professionale del progetto è quindi un pre-requisito indispensabile per realizzare e gestire con successo una grande centrale termica a legna con una rete di distribuzione. Parte integrante della gestione del progetto sono la gestione della qualità, definita in un documento in cui sono indicate i requisiti di qualità e le responsabilità (Q-piano), e la valutazione della redditività

economica, per esempio con un business plan, prima della realizzazione dell'impianto. In questo modo si garantisce la costruzione di impianti che raggiungono un'alta efficienza annuale a bassi costi d'investimento, che possono essere gestiti con poca manutenzione ed emissioni, e che offrono un alto livello di sicurezza dell'approvvigionamento.

Di conseguenza, il rispetto dei requisiti previsti nello standard di qualità QM Impianti termici a legna rappresenta un possibile vincolo per accedere agli incentivi. Solo un collegamento mirato delle sovvenzioni con i requisiti di qualità assicura un uso corretto e sostenibile a lungo termine delle sovvenzioni. In Austria, per esempio, l'applicazione del QM per gli impianti termici a biomassa è obbligatoria per ricevere i sussidi agli investimenti. Collegare la concessione dei sussidi al QM è stata descritta dalla Corte dei conti europea come una "procedura particolarmente raccomandabile" [14].

QM Impianti termici a legna per fornisce diverse procedure di garanzia della qualità (Figura 2.1) che possono essere utilizzate per la costruzione di un nuovo impianto, una rete di distribuzione, la sostituzione di caldaie in un impianto di riscaldamento o l'estensione di una rete di distribuzione, a seconda delle dimensioni e della complessità:

- **QMstandard®**  
La procedura standard copre l'intero processo di pianificazione e implementazione con cinque pietre miliari (da MS1 a MS5).
- **Versione semplificata di QMstandard®**  
In determinate condizioni, la versione semplificata include solo tre delle cinque pietre miliari all'interno della pianificazione e della realizzazione. Quando si sostituisce una caldaia a biomassa o si amplia una rete di distribuzione, i requisiti semplificati possono essere applicati anche all'interno delle singole pietre miliari.
- **QMmini® (qm:kompakt - qm compact)**  
Questa procedura molto semplificata si svolge in due fasi e può essere utilizzata solo per impianti senza una caldaia a combustibili fossile aggiuntiva nel campo di potenza specificato secondo la Figura 2.1.

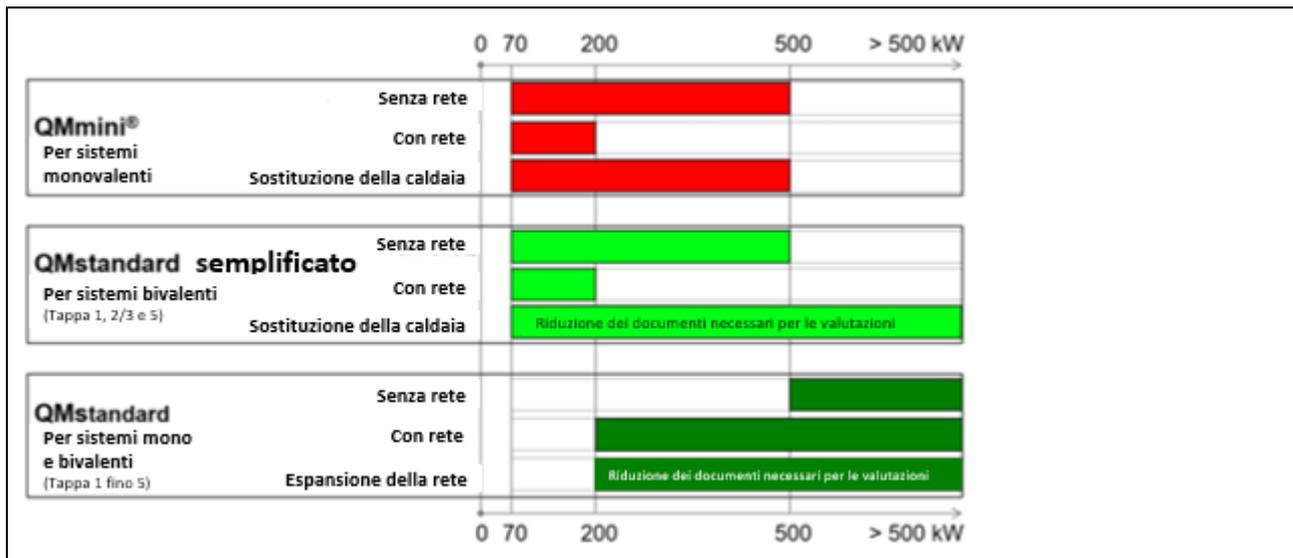


Figura 2.1 Campo di applicazione di QMstandard® e QMmini® in Svizzera.

Sulla base di valori empirici, il QM ha definito dei requisiti di qualità (**Q-requisiti**). I più importanti sono legati alla valutazione della domanda e alla selezione appropriata del sistema, alla progettazione della generazione di calore e della rete distribuzione, all'assortimento del combustibile e all'ottimizzazione operativa.

L'implementazione di un'**ottimizzazione operativa** sistematica dopo la messa in funzione dell'impianto è una parte integrante e obbligatoria del Sistema QM. Nel primo anno di funzionamento, i dati operativi più importanti devono essere registrati e valutati per diversi stati di funzionamento. Essi costituiscono la base per dimostrare se l'impianto soddisfa i requisiti di qualità concordati (Q-requisiti) ad avvio progetto. (vedi capitolo 16).

## 2.3 QMstandard®

### 2.3.1 I principali referenti del sistema QM

Gli attori principali coinvolti nel processo di gestione della qualità con la procedura QM sono:

- Il **cliente** o un rappresentante autorizzato che determina lo standard di qualità ed è responsabile della fattibilità economica del progetto.
- Il Quality manager (**Q-responsabile**) assicura che il sistema di gestione della qualità sia definito, implementato e mantenuto. Con questo obiettivo, il Q-responsabile supporta il proprietario dell'impianto e il progettista principale. Le attività comprendono la pianificazione della qualità, il controllo della qualità e la verifica della qualità.
- Il **progettista principale** è responsabile, nei confronti del cliente, della qualità dell'intero sistema (centrale termica a biomassa e rete di distribuzione) nell'ambito dei servizi specificati nel contratto per la progettazione. Per la pianificazione del progetto deve essere designato un progettista principale in conformità con il QM.

### 2.3.2 Compiti e responsabilità

Nello sviluppo di un progetto, solitamente sono eseguiti dal **cliente** o dal rappresentante del cliente i seguenti compiti:

- Nomina del Q-responsabile e incarico al progettista principale. Istituzione del QM il più presto possibile.
- Organizzazione del progetto con strutture chiare, responsabilità e competenze definite con precisione in tutte le aree di competenza.
- Regolamentazione dell'organizzazione e della forma giuridica società di gestione dell'impianto.
- Valutazione della fattibilità economica, per esempio con l'aiuto di un business plan.
- Assicurare il finanziamento.
- Approvazione dei documenti presentati dai partecipanti al progetto.
- Ottenere i necessari permessi ufficiali e i diritti di transito.

I compiti del **Q-responsabile**:

- Tutti le pratiche amministrative legati al QM: impostazione del sistema QM in collaborazione con il cliente e il progettista principale, organizzazione delle riunioni necessarie, preparazione dei documenti richiesti dal QM.
- Pianificazione della qualità: definizione univoca dei requisiti di qualità nel piano di qualità (Q-piano) in collaborazione con il cliente e il progettista principale; assicurare che i requisiti di qualità elencati nel Q-piano siano conformi allo stato dell'arte della tecnologia.
- Controllo della qualità: Controllare, ad ogni passaggio della procedura, se tutti i documenti e i dati sono disponibili e se i requisiti di qualità concordati nel Q-piano rientrano nella tolleranza concordata.
- Controllo della qualità: Assicurarsi che le deviazioni dai criteri di qualità siano identificate e corrette in tempo utile; se vengono identificate deviazioni di

qualità, il Q-responsabile deve lavorare con il cliente e il progettista principale per trovare soluzioni.

Il Q-responsabile non si assume alcuna responsabilità legale per il sistema realizzato. La responsabilità è del progettista principale e dei produttori nell'ambito dei loro rispettivi incarichi e commesse nei confronti del proprietario dell'edificio.

Il **progettista principale** è responsabile nei confronti del cliente della qualità dell'impianto nell'ambito dei servizi di progettazione specificati nell'incarico. La qualità richiesta è specificata nel Q-piano in sei aree distinte:

- Valutazione della domanda di calore e selezione appropriata del sistema
- Rete di distribuzione
- Generazione di calore
- Documentazione dell'impianto
- Collaudo
- Ottimizzazione operativa

### 2.3.3 Fasi principali del processo di pianificazione

La Figura 2.2 fornisce una panoramica del processo di QM per gli impianti termici a biomassa e le fasi di pianificazione. La procedura e le fasi di pianificazione sono descritte in dettaglio nelle linee guida sulla qualità (Q-linee guida) (vedi capitolo 2.3.4e [15]).

Il Q-responsabile è nominato dal cliente e si assume la responsabilità dell'implementazione del QM. Anche il progettista principale è nominato dal cliente ed è responsabile della pianificazione generale dell'impianto. Insieme registrano i requisiti di qualità nel documento principale del Q-piano (milestone MS1). Il processo di pianificazione è diviso in cinque fasi del progetto. La gestione della qualità viene stabilita già nella fase di studio preliminare con la fase 1, in modo che la pianificazione della qualità (Q-piano) possa iniziare il prima possibile. Le Milestone 2, 3 e 4 vengono poi utilizzate per le verifiche (Q-verifiche) e controllirulli (Q-controlli) della qualità nel corso del progetto. Questo assicura che gli scostamenti rispetto ai requisiti della qualità siano rilevati e corretti in tempo. La Milestone 5 rappresenta la conclusione del processo di gestione qualità QM dopo almeno un anno di ottimizzazione operativa.

In dettaglio, la procedura e l'applicazione del QM può essere adattata alle condizioni quadro nei singoli paesi, in modo da garantire la conformità con le procedure abituali di pianificazione e finanziamento. Questo può significare, per esempio, adattare i campi di applicazione e le denominazioni di QMstandard, la sua versione semplificata, QMmini o adattare o integrare singoli documenti o criteri di qualità. Gli adattamenti specifici non sono discussi qui in dettaglio. I rispettivi punti di contatto nazionali di QM possono fornire informazioni più dettagliate ([Link](#)).

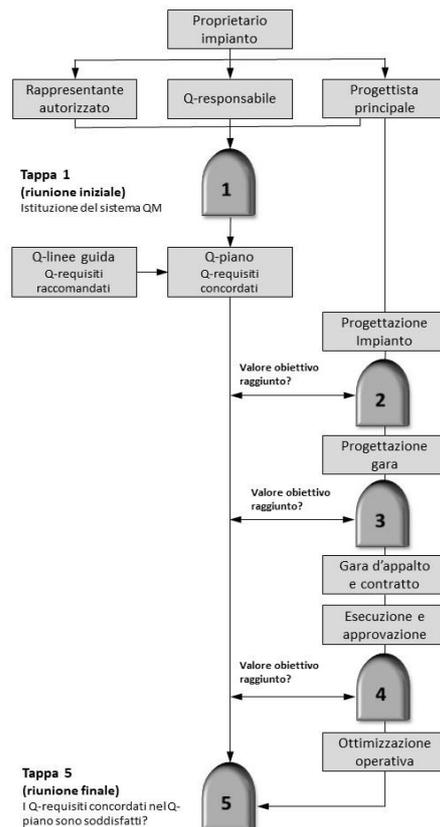


Figura 2.2 Processo di QM per impianti termici a biomassa.

### 2.3.4 Q-piano

Il QM Impianti termici a legna dovrebbe richiedere il minor numero possibile di documenti e di sforzi amministrativi. Il documento principale è il Q-piano, composto da due parti:

- il documento principale che viene creato durante l'istituzione del QM nell fase 1. Qui i requisiti di qualità e le responsabilità sono concordati e definiti sulla base del Progetto specifico prima della realizzazione dell'impianto.
- il documento supplementare con una tabella EXCEL, che viene creato dal QM quando viene raggiunta ogni ulteriore fase. Il documento aggiuntivo viene utilizzato per l'ispezione e il controllo della qualità nel corso del progetto.

### 2.3.5 Q-linee guida

Una parte integrante del Q-piano sono le Q-linee guida [15] che descrivono il processo QM. Inoltre, descrive in dettaglio i requisiti di qualità che devono essere soddisfatti nella progettazione e costruzione di un impianto termico a legna con una rete di distribuzione. Le Q-linee guida e il Q-piano (documento principale) hanno la stessa struttura e possono essere usati in parallelo in modo molto semplice e pratico:

- Partecipanti al progetto
- Attivazione del QM
- Programma del progetto con pietre miliari

- D. Servizi forniti dal cliente
- E. Servizi e requisiti del progettista principale
- F. Definizione del combustibile

Nell'allegato, le Q-linee guida contengono le seguenti ulteriori informazioni:

- Regolamenti speciali per l'Austria
- Velocità massime di flusso per i tubi capillari
- Grafica:
  - Perdite di distribuzione del calore in funzione della densità di connessione
  - Costi specifici della generazione di calore
  - Costi specifici della distribuzione del calore
- Q-requisiti per la generazione di calore (panoramica tabellare)
- Potenza minima giornaliera di riscaldamento per il funzionamento a basso carico
- Liste di controllo per le pietre miliari da MS1 a MS5 secondo QMstandard. Ulteriori liste di controllo per la sostituzione della caldaia e per l'espansione della rete: [Link](#)
- Documento principale e aggiuntivo Q-piano (campione)

### 2.3.6 Strumenti per i progettisti

QM fornisce ulteriori strumenti per i progettisti. I più importanti sono:

- **Schemi idraulici standard:** Raccolta di esempi di soluzioni collaudate per diverse tipologie di generazione di calore. Contengono documenti dettagliati come gli schemi di principio con la designazione e le posizioni dei punti di misurazione, la progettazione idraulica dei circuiti della caldaia, una descrizione funzionale dei vari circuiti di controllo con schema di controllo, una lista dei punti di misurazione per ottimizzare il funzionamento e le specifiche per la registrazione dei dati. Contengono anche informazioni sulla progettazione della rete di distribuzione e sul controllo delle pompe di rete.  
Per i singoli schemi idraulici standard sono a disposizione del progettista documenti Word che vengono compilati e adattati in base al progetto.
- **Esempio di offerta per sistemi con una o due caldaie a biomassa:** Il progettista può utilizzare un documento Word come modello di offerta, che contiene gli elementi essenziali di un'offerta e che può essere completato e adattato in base al progetto.
- **Manuale di pianificazione** Il presente manuale fornisce una descrizione dettagliata del processo della progettazione. Inoltre, descrive i requisiti per il funzionamento ottimale e fornisce le conoscenze di base per tutti gli aspetti importanti della pianificazione e per i componenti più importanti dell'impianto.
- **Liste di controllo** per le pietre miliari da MS1 a MS5 secondo QMstandard: descrivono i documenti da presentare per la rispettiva pietra miliare. Liste di controllo per le nuove installazioni, per la sostituzione della caldaia e per l'espansione della rete: [Link](#)

- **Strumento Excel per la valutazione della domanda e la selezione del sistema appropriato:** Nello strumento, i dati di base del cliente (domanda annuale di calore, domanda di potenza, dati climatici dell'area in cui verrà costruito l'impianto) sono controllati per verificarne la plausibilità. Vengono specificate le condizioni climatiche dell'ubicazione dell'impianto così come la lunghezza e le perdite di calore della condotta principale. Su questa base, lo strumento permette una prima progettazione della generazione e della distribuzione del calore all'inizio del progetto e verifica il rispetto dei Q-requisiti più importanti. Man mano che la progettazione procede, i dati vengono aggiornati nelle tappe successive (vedi capitolo 11).
- **Strumento Excel "Erneuerung Holzenergieanlagen" (ristrutturazione di impianti di riscaldamento a biomassa):** Lo strumento di consultazione "Erneuerung Holzenergieanlagen" è un file Excel. I dati specifici dell'impianto più importanti per la valutazione possono essere inseriti qui. Dopo l'inserimento, l'utente riceve un'analisi approssimativa attraverso una valutazione automatica dei dati con parametri di riferimento. Con lo strumento è possibile dare raccomandazioni e fare riferimento a ulteriori strumenti e informazioni. È liberamente disponibile per progettisti, consulenti e gestori di impianti ([Link](#)).
- **Strumento Excel Calcolo della redditività economica:** Questo strumento è usato per creare un bilancio preventivo e un conto economico preventivo su un periodo di funzionamento dell'impianto di 25 anni. Lo strumento può essere usato per determinare i modelli tariffari e lo sviluppo dei costi durante la durata del progetto, i colli di bottiglia economici e il successo del progetto in una fase iniziale (vedi capitolo 10).
- **FAQ:** Il gruppo di lavoro QM fornisce ulteriori informazioni specifiche sulle domande tecniche frequenti (FAQs) sul suo sito web ([Link](#)).

L'assicurazione della qualità con QM richiede lo scambio e l'aggiornamento costante di informazioni e documenti nel corso del progetto. Nel caso più semplice, questo può essere fatto tramite e-mail e in formato cartaceo. Un'alternativa utile può essere una semplice soluzione cloud con una struttura di cartelle standardizzata e diritti di accesso specifici dove vengono salvati i documenti rilevanti per la gestione della qualità di un progetto secondo lo standard.

#### Database come strumento per lo sviluppo del progetto

In Austria, a causa del gran numero di progetti QM, è stato sviluppato un database con un'interfaccia web per gestire l'intero processo QM. Questo assicura che tutti i partecipanti al progetto e le agenzie di finanziamento federali e provinciali abbiano accesso alle stesse informazioni e documenti:

- Punto di accesso centrale per tutti i partecipanti al progetto (cliente, società di pianificazione, Q-responsabile, agenzie di finanziamento, gestione QM di livello superiore)
- Diritti di accesso specifici per progetto

- Assegnazione di ruoli e autorizzazioni specifiche secondo le Q-linee guida per il cliente, il progettista principale e il Q-responsabile.
- Mappatura completa e documentazione del processo QM inclusa la formattazione di sola lettura al completamento della pietra miliare
- Funzione di upload e download per tutti i documenti
- Notifiche automatiche per il completamento delle pietre miliari
- Caricamento e valutazione automatica dei rapporti operativi annuali
- Valutazione di dettaglio del progresso qualitativo degli impianti DI RISCALDAMENTO a biomassa registrati
- Collegamento diretto all'elaborazione dei finanziamenti
- Importante base di dati per le agenzie di finanziamento, le autorità politiche e amministrative

## 2.4 QMmini

### 2.4.1 Ambito di applicazione

QMmini è stato sviluppato come supplemento a QMstandard per sistemi nella gamma di potenza compresa tra circa 100 kW e 500 kW ed è proposto dal 2011. Per poter raggiungere più facilmente gli stessi obiettivi di qualità, il campo di applicazione non è solo ristretto in termini di potenza, ma anche limitato a sistemi semplici con impianti monovalenti, cioè impianti con una o più caldaie a biomassa. QMmini può essere applicato anche a sistemi esistenti, ad esempio quando si sostituisce una caldaia a biomassa esistente o quando si espande la rete di riscaldamento esistente.

La Figura 2.1 mostra il campo di applicazione e la demarcazione tra QMmini e QMstandard.

### 2.4.2 Procedura

QMmini funziona in due fasi. Nella fase 1, il progetto dell'impianto viene rivisto nel modulo di progetto QMmini. Nella fase 2, analoga alla pietra miliare MS5, vari documenti e informazioni sul comportamento operativo dell'impianto vengono analizzati e registrati nel messaggio finale QMmini.

### 2.4.3 Documenti e strumenti

QMmini mette a disposizione dei progettisti e degli installatori in Svizzera i seguenti strumenti da scaricare ([Link](#)):

- Procedura di progetto per il supporto della qualità QMmini
- Linee guida per il supporto della qualità QMmini
- Modulo di progetto QMmini con esempio (basato su Excel).

In Austria, una procedura simile per "sistemi di riscaldamento locale" sotto i 400 kW è offerta sotto il termine qm:kompakt ([Link](#)).

### 3 Sviluppo del progetto

#### 3.1 Dall'idea al kilowattora

Ogni progetto di riscaldamento a biomassa inizia con un'idea. Diversi possono essere i fattori scatenanti:

- Buoni esempi
- Obiettivi della politica climatica
- Prossima sostituzione dei sistemi di riscaldamento fossili (per esempio negli edifici pubblici)
- Problemi di vendita per i combustibili da biomassa di bassa qualità
- Mandato politico
- Requisiti di pianificazione territoriale (per esempio, piano energetico)
- Associazioni di categoria, agenzie per l'energia, settori di pianificazione.

L'esperienza mostra che il percorso "dall'idea al chilowattora di calore o elettricità" è lungo, e spesso solo poche idee sfociano direttamente nella costruzione di un impianto. A volte un'idea ha bisogno di diversi tentativi fino a quando i tempi sono maturi per la realizzazione del progetto. La sfida è quella di avere un concetto semplice in una fase iniziale, che permetta di prendere una decisione tra l'ulteriore sviluppo e l'abbandono del progetto.

Se la decisione viene presa a favore di un ulteriore sviluppo del progetto, inizia la complessa fase di pianificazione. La sfida qui è di completare con successo il percorso senza abbandonare il progetto. Una panoramica del processo di sviluppo del progetto secondo il QM può essere trovata nelle Q-linee guida [15].

Tra l'idea e la messa in funzione dell'impianto, l'attenzione si concentra sulla discussione e sulla risposta alle domande **tecniche ed economiche**. Soprattutto nella fase iniziale del progetto, tuttavia, si tratta sempre anche di aspetti **non tecnici**. Ogni grande progetto di riscaldamento a biomassa innesca processi interpersonali, che si tratti della costituzione di una società operativa o dell'acquisizione di clienti di calore. Questi processi possono essere talvolta altrettanto impegnativi e decisivi per il successo del progetto quanto la scelta della giusta tecnologia dell'impianto.

La fase iniziale del progetto è cruciale per l'istituzione del QM. Prima gli standard e le raccomandazioni del QM vengono incorporati nel progetto, più facile sarà la loro attuazione in seguito.

Diverse persone e attori sono coinvolti nello sviluppo di un progetto di riscaldamento a biomassa (vedi **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**). Non solo hanno interessi diversi, ma anche prospettive e aspettative diverse. È fondamentale riunirli in modo costruttivo.

Elementi del progetto e punti di vista / parti interessate

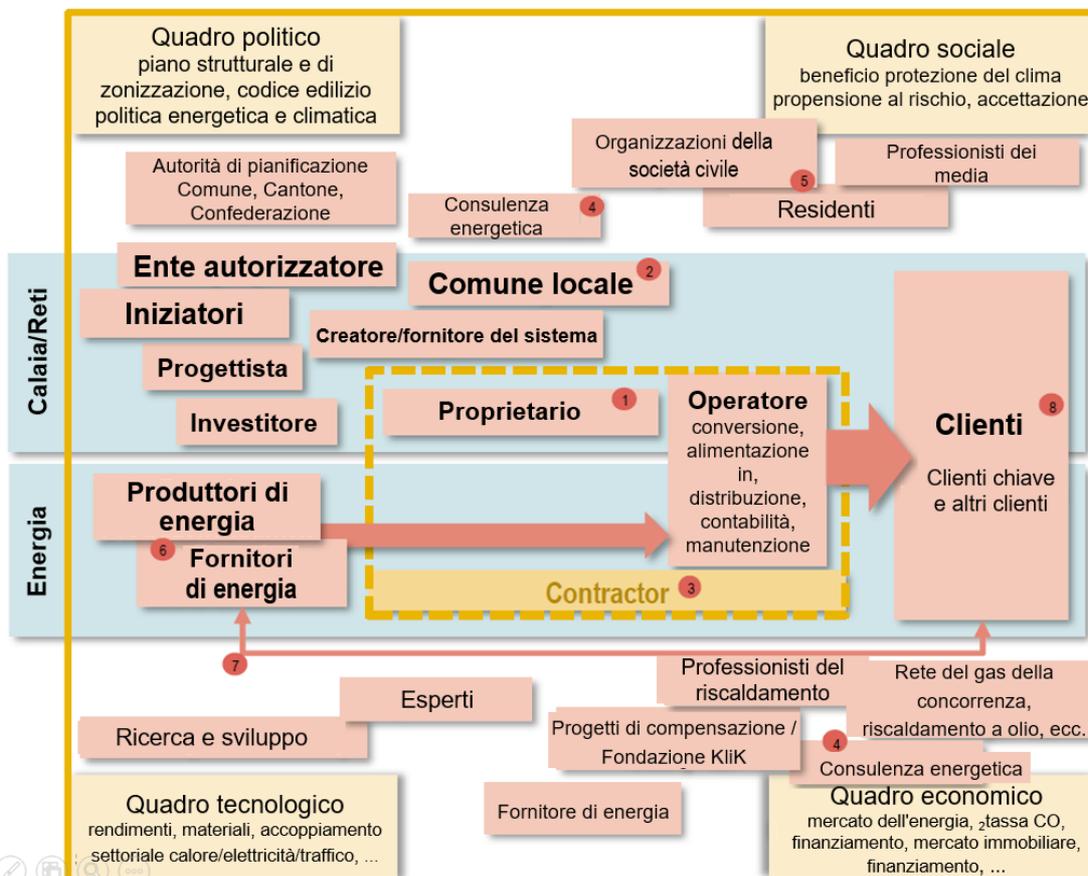




Figura 3.2 Integrazione dello studio di fattibilità nello sviluppo del progetto.

Lo studio di fattibilità è di solito realizzato ancora senza una società promotrice (sponsorizzazione) e senza garanzia di progetto. Pertanto, il suo finanziamento è spesso una sfida. Se i comuni o le società di fornitura energetica sono coinvolti nell'idea del progetto, a volte si fanno carico del finanziamento. C'è anche la possibilità di utilizzare consulenti a basso costo da associazioni professionali, agenzie per l'energia, ecc. per sostenere la fase iniziale di sviluppo del progetto. A volte gli uffici di pianificazione sono i promotori di un'idea di progetto e fanno pagamenti anticipati. A seconda delle condizioni quadro specifiche del paese, è possibile anche la partecipazione o il finanziamento da parte del governo federale, degli stati federali/cantoni o di altre agenzie.

La Figura 3.2 mostra quali questioni devono essere chiarite in uno studio di fattibilità per rendere possibile una decisione. Tuttavia, queste devono sempre essere definite caso per caso. Lo sviluppo del progetto e il successivo processo di progettazione possono essere supportati da un'analisi dei potenziali in una fase iniziale.

### 3.2.1 Ubicazione dell'impianto di riscaldamento centrale e dello stoccaggio del combustibile

A causa dell'intensa attività edilizia e dell'espansione delle aree residenziali, sta diventando sempre più difficile trovare luoghi adatti per le centrali di riscaldamento e gli impianti di stoccaggio del combustibile. I contesti ideali sono aree commerciali e industriali, centri esistenti in espansione o la l'accorpamento/aggregazione di due o più impianti di riscaldamento esistenti. Per favorire l'ulteriore sviluppo del progetto, è opportuno valutare diverse possibili ubicazioni come parte dello studio di fattibilità. La valutazione delle possibili ubicazioni per l'impianto di riscaldamento e lo stoccaggio del combustibile è quindi uno dei primi e più importanti compiti nel contesto dello sviluppo del progetto e dovrebbe essere affrontato il prima possibile. È importante tenere presente che al giorno d'oggi sempre più utenti finali si avvalgono del diritto di impugnare una decisione, quindi quanto più grande dovrà essere l'impianto, tanto più importante sarà considerare questo aspetto. Se non si trova un sito, le risposte ad altre domande possono risultare inutili. I criteri più importanti per la valutazione del sito sono:

- Condizioni dell'area e infrastrutture esistenti (elettricità, acqua, fognature, telecomunicazioni, ecc.)
- Accesso adeguato per la fornitura/rifornimento del combustibile (ad esempio, evitando l'accesso attraverso aree residenziali, cortili di scuole, ecc.)
- Sicurezza dell'approvvigionamento di combustibile e di pezzi di ricambio
- Topografia (ad esempio, sfavorevole ai piedi dei pendii abitati)
- Direzione del vento
- Proprietà
- Prossimità alla zona di approvvigionamento (evitare tubazioni troppo lunghe)

### 3.2.2 Requisiti per la pianificazione del territorio

Come parte della valutazione del sito, deve essere esaminata anche la conformità con le condizioni quadro nazionali e locali della pianificazione territoriale. I siti che si trovano in una zona agricola o in una foresta richiedono procedure di approvazione e di riclassificazione specifiche. Il tempo necessario per queste procedure deve essere preso in considerazione per lo sviluppo del progetto.

### 3.2.3 Disponibilità di combustibile

La disponibilità locale del combustibile è un argomento importante per lo sviluppo di progetti di riscaldamento a biomassa. Pertanto, la disponibilità locale del combustibile e la sicurezza delle forniture devono essere chiarite già nella fase iniziale. Questo include in particolare la qualità e i costi. Spesso è consigliabile firmare contratti preliminari con i potenziali fornitori di combustibile. Nel caso di grandi impianti è consigliabile verificare la fornitura di combustibile (vedi capitolo 4).

### 3.2.4 Perimetro di connessione e interesse alla connessione

In base alla densità della domanda di calore lineare (vedi capitolo 12), può essere facilmente individuata la possibile area di estensione della futura rete. Idealmente, essa si estende intorno a grandi consumatori interessati all'allacciamento (clienti chiave), che costituiscono l'ossatura della rete di riscaldamento. L'interesse dei clienti chiave viene determinato tramite un sondaggio, se non è già noto. Le informazioni più importanti sono:

- Interesse di base nella connessione
- Tempo previsto per la connessione
- Domanda media di energia finale ante-operam
- Età del sistema di riscaldamento esistente
- Estensioni o ristrutturazioni dei servizi dell'edificio già eventualmente pianificate.

La domanda sull'interesse di base per la connessione viene posta inizialmente senza specificare i costi riscaldamento vincolanti, poiché questi possono essere determinati in dettaglio solo quando il progetto ha raggiunto una certa fase di sviluppo. Le risposte sono quindi non vincolanti e poco affidabili. La decisione di allacciarsi dipende principalmente dai costi di produzione del calore. Questi sono determinati dal numero di immobili da collegare, nonché dal carico termico collegato e dalla data di collegamento. Pertanto, i clienti chiave sono estremamente importanti. La procedura dettagliata è elencata anche nel Manuale sulla progettazione delle reti di riscaldamento [17].

I risultati dell'indagine possono essere utilizzati per determinare i valori di riferimento iniziali per la potenza termica da collegare, per il fabbisogno energetico e per fare una valutazione preliminare della domanda di calore (vedi capitolo 11).

### 3.2.5 Idea progettuale di base

In una prima fase è consigliabile mettere a punto un'idea progettuale di base per l'impianto. Questo assicura che, da un lato gli standard e i requisiti del QM e, dall'altro, le norme di legge (ad esempio il controllo dell'inquinamento dell'aria, lo smaltimento delle ceneri) siano presi in considerazione fin dall'inizio.

### 3.2.6 Costi di investimento e produzione di calore

I costi d'investimento e di produzione del calore sono stimati sulla base di preventivi, esperienze e valori di riferimento. Essi potranno essere sottoposti ai potenziali clienti già intercettati con il primo sondaggio per verificare nuovamente l'interesse all'allacciamento alla rete.

Un incontro informativo con i potenziali clienti può risultare una buona idea. Le persone che hanno partecipato al sondaggio, si aspettano infatti in genere ulteriori informazioni sui possibili risultati e benefici. Allo stesso tempo, tali eventi possono servire ad acquisire nuovi potenziali clienti.

I costi del calore dovrebbero già essere dati in funzione dell'appartenenza ad una delle tre diverse tipologie di cliente a cui viene assegnata una specifica tariffa (vedi capitolo 10.5) e confrontati con i costi di altri tipi di riscaldamento.

## 3.3 Altri aspetti

### 3.3.1 Finanziamento

Gli investimenti sono spesso finanziati con tasse di connessione una tantum, da fondi propri, da sovvenzioni e da prestiti. Idealmente circa il 25% dei costi d'investimento sono coperti dalle tasse di connessione una tantum. In caso di sostegno finanziario da parte del settore pubblico, le condizioni dei prestiti bancari diventano significativamente più favorevoli. Possono essere interessanti anche i finanziamenti attraverso fondazioni previdenziali (per esempio, fondi pensione), forme di investimento "verdi" o sostenibili (fondi, obbligazioni, ecc.) o modelli partecipativi che coinvolgono gli utenti finali.

### 3.3.2 Società di gestione

In linea di principio, le seguenti forme societarie sono adatte:

- Azienda privata
  - Impresa individuale
  - Partenariati (ad esempio, partnership di diritto civile)
  - Corporazioni (ad esempio, società per azioni, società a responsabilità limitata)
  - Cooperative
- Impresa pubblica
  - Forma non regolata dal diritto privato (es. in-house)
  - Forma di diritto privato (per esempio una società al 100% partecipazione pubblica)

La forma di società più adatta dipende da vari fattori (finanziamento, tipologia dei clienti, ruolo del settore pubblico, ecc.) e deve sempre essere chiarita caso per caso. Se non è possibile formare una società operativa separata, l'appalto può essere un'ulteriore alternativa.

### 3.3.3 Fattori di successo e "ostacoli"

I **fattori di successo** più importanti durante la fase iniziale dello sviluppo del progetto sono, secondo il rapporto "Sozioökonomische Aspekte thermischer Netze" [16]

- Sviluppo dello studio di fattibilità e progetto da parte di professionisti
- Valutazione degli aspetti socio-economici
- Identificazione e classificazione delle parti interessate per quanto riguarda la motivazione, il ruolo e i meccanismi decisionali
- Individuazione delle responsabilità nelle primissime fasi del progetto
- Comunicazione chiara fin dall'inizio dei parametri di riferimento (per esempio valori target per la densità lineare, costi di produzione del calore, progressi di connessione richiesti, ecc.)
- Clienti chiave
- Visite ad esempi simili esistenti da parte di autorità, potenziali utenti e altre parti interessate
- Responsabile di progetto
- Espansione graduale della rete di teleriscaldamento
- Sostegno delle autorità pubbliche
- Promozione dei benefici per l'ambiente e la gestione forestale (sostenitori)
- Informazione tempestiva e trasparente
- Promozione dei benefici legati all'uso della biomassa: rinnovabile, neutra rispetto alle emissioni di CO<sub>2</sub> e al clima, valorizzazione risorse locali, ecc.

Gli **ostacoli** più rilevanti durante la fase iniziale dello sviluppo del progetto sono, secondo il rapporto "Risiken bei thermischen Netzen" [18]:

- Informazioni insufficienti o non tempestive
- Sovrastima del potenziale di connessione
- Obiezioni e reclami
- Tempi ristretti (lavori stradali, clienti chiave, ecc.)
- Considerazione di un solo aspetto in termini di possibili impatti o benefici attesi (per esempio le emissioni di polveri sottili)
- Paura della dipendenza
- Pubblicizzazione di cattivi esempi
- Stampa negativa
- Stampa negativa

## Parte 2 - Nozioni di base

## 4 Energia da biomassa

### 4.1 Introduzione

La qualità del combustibile è un aspetto molto importante da considerare negli impianti di riscaldamento a biomassa. Non solo i costi del combustibile, ma anche la qualità del legno utilizzato ha un impatto sui costi operativi e di manutenzione, così come l'efficienza di combustione e la generazione di inquinanti atmosferici. I parametri di qualità sono quindi punti sempre più importanti che la società di gestione dell'impianto deve considerare nei contratti di fornitura del combustibile.

Oltre alle influenze antropogeniche (ad esempio la contaminazione con materiale minerale come la ghiaia o il terreno dei siti di stoccaggio), sono soprattutto i parametri naturali ad essere decisivi per la qualità della biomassa. La composizione del combustibile determinata naturalmente influenza tre aspetti essenziali nel funzionamento degli impianti. Il potere calorifico inferiore [MJ/kg] è in gran parte determinato dai componenti combustibili del legno: carbonio e idrogeno. Esso diminuisce con l'aumento del contenuto di acqua e di cenere. Il contenuto e la composizione delle ceneri possono determinare incrostazioni e la produzione di scorie, nonché la corrosione e quindi possono avere un impatto significativo sui costi di manutenzione.

Le emissioni di ossido di azoto e di polveri sono direttamente legate alla qualità del combustibile. Altri componenti dei gas di scarico (ad esempio CO<sub>2</sub> o CO) non dipendono direttamente dal combustibile utilizzato [19]. Il seguente capitolo ha lo scopo di permettere agli operatori degli impianti di valutare la qualità del combustibile.

### 4.2 Composizione primaria dei combustibili legnosi

Il legno come combustibile è composto per la gran parte dai seguenti elementi principali: carbonio, idrogeno e ossigeno (Tabella 4.1). A seconda del tipo di combustibile, anche l'azoto e lo zolfo possono essere presenti in concentrazioni > 1 %. Il potere calorifico è determinato essenzialmente dal contenuto di carbonio e idrogeno. L'ossigeno legato nel combustibile sostiene il processo di ossidazione. Lo zolfo contribuisce al potere calorifico di un combustibile e viene ossidato a SO<sub>2</sub> o SO<sub>3</sub>. Dopo la combustione, può reagire ulteriormente per formare altri composti. Gli ossidi di zolfo (SO<sub>x</sub>) sono componenti di emissione indesiderati perché inquinano l'aria. L'azoto legato nel combustibile è il fattore essenziale nella formazione di emissioni indesiderate di ossido di azoto (NO<sub>x</sub>) per i sistemi di combustione a legna. Gli elementi secondari sono i principali responsabili della formazione di ceneri. Il contenuto di ceneri di un combustibile influenza il potere calorifico e, insieme alla tecnologia dell'impianto, ha un impatto sulle emissioni di polveri. Inoltre, il contenuto di ceneri e la composizione delle ceneri sono variabili significative che influenzano le incro-

stazioni e la produzione di scorie nell'impianto. Va prestata particolare attenzione agli elementi potassio, sodio, cloro e zolfo. I due elementi potassio e sodio contribuiscono ad abbassare il punto di rammolimento delle ceneri. Influenzano i processi di corrosione, (per esempio sui tubi dello scambiatore di calore) e la scorificazione dovuta alla formazione di cloruri alcalini. Composti indesiderati come cloruro di idrogeno (HCl) e diossine e furani (PCDD/F) possono essere formati dal cloro legato nel combustibile. I composti di cloro e zolfo hanno un effetto corrosivo.

Gli oligoelementi si trovano nei combustibili legnosi principalmente sotto forma di metalli pesanti che vengono assorbiti dall'ambiente durante la crescita degli alberi. Questi possono essere presenti nei combustibili in concentrazioni molto diverse e avere un effetto tossico. Dopo la combustione, i metalli pesanti (che sono vaporizzati nei gas di scarico) si condensano o si mescolano alla cenere, con poche eccezioni. Sono quindi legati nella cenere e possono essere rimossi dal ciclo naturale (ad esempio, mediante interrimento o lavorazione). Nel caso dei combustibili legnosi, i metalli pesanti influenzano la qualità delle ceneri, soprattutto per quanto riguarda la loro riciclabilità (vedi capitolo 9).

### 4.3 Stati di riferimento

I combustibili solidi biogenici sono composti da sostanze combustibili e non combustibili. I componenti non combustibili comprendono l'acqua e le ceneri, mentre la componente organica rilascia energia nei processi di ossidazione. Mentre la materia organica e il contenuto di minerali e ceneri di solito si trovano entro una certa gamma di valori a seconda delle condizioni del sito e delle specie di legno, il contenuto di acqua può variare notevolmente. Al fine di essere in grado di confrontare le analisi dei combustibili, vengono definiti degli stati di riferimento (Figura 4.1).

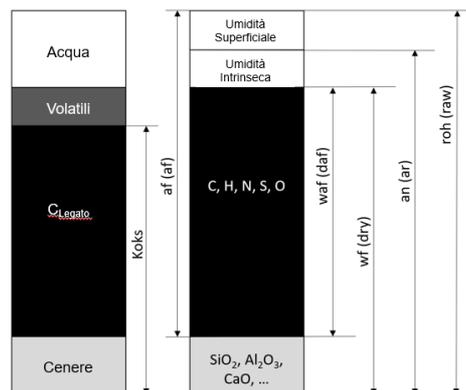


Figura 4.1 Stati di riferimento dei combustibili solidi.

- raw: stato grezzo
- an (ar): analisi umida
- wf (dry): senza acqua
- af (af): senza ceneri
- waf (daf): senza acqua e cenere

Tabella 4.1 Composizione elementare del legno energetico.

Categoria	Elementi principali	Elementi secondari	Elementi in tracce
Elementi:	Carbonio C Ossigeno O Idrogeno H Azoto N	Fosforo P Potassio K Sodio Na Zolfo S Calcio Ca Silicio Si Magnesio Mg Cloro Cl	Boro B Rame Cu Ferro Fe Manganese Mn Zinco Zn Piombo Pb Cromo Cr Arsenico As Cadmio Cd Altri elementi
Scala:	> 1 % o > 10.000 mg/kg	0,01 - 1 % resp. 100 - 10.000 mg/kg	< 0,01% resp. < 100 mg/kg
Influenza su:	Contenuto energetico	Quantità/comportamento delle ceneri, emissioni, corrosione	Utilizzo della cenere, emissioni

Per esempio, il potere calorifico netto per un campione di combustibile allo stato anidro è  $NCV_{wf} = 19$  MJ/kg. Quando viene consegnato all'impianto di riscaldamento, lo stesso campione allo stato grezzo avrebbe un potere calorifico netto di  $NCV_{raw} = 8,2$  MJ/kg con un contenuto di acqua del 50% e un contenuto di ceneri dello 0,5%. Per la specificazione precisa dei risultati di analisi per i combustibili solidi biogenici e per il loro confronto si distinguono cinque stati di riferimento [20]:

- Stato grezzo - grezzo (raw)
- Analisi umidità - au (come ricevuto): campione allo stato secco all'aria
- Anidro - wf (secco, s): la specifica si riferisce al combustibile secco
- Senza ceneri (af): la specifica si riferisce al combustibile senza ceneri.
- Senza acqua e cenere - daf (dry, ash free): la specifica si riferisce al combustibile senza acqua e cenere.

Una **conversione dei risultati dell'analisi** relativi ai diversi stati del combustibile è possibile con le seguenti tre formule.

$$X_{wf} = \frac{x_i}{1 - Y_{H_2O,1}}$$

$$X_{af} = \frac{x_i}{1 - Y_{A,1}}$$

$$X_{daf} = \frac{x_i}{1 - Y_{A,1} - Y_{H_2O,1}}$$

- $X_i$  Parametro nello stato di riferimento  $i$   
 $Y_{xi}$  Frazione di massa del parametro  $X$  del combustibile nello stato di riferimento  $i$  [kg/kg] (A ... Ash)

Il **potere calorifico netto** tiene conto dell'entalpia di vaporizzazione dell'acqua contenuta nel combustibile (2,441 MJ/kg H<sub>2</sub>O).

$$NCV_{daf} = \frac{NCV + 2.441 * Y_{H_2O}}{1 - Y_A - Y_{H_2O}} \left[ \frac{MJ}{kg} \right]$$

## 4.4 Parametri importanti

### 4.4.1 Contenuto d'acqua e umidità del legno

I combustibili legnosi contengono sempre una certa quantità di acqua, che varia ampiamente a seconda del tipo di legno, del tempo di raccolta, del luogo e del tempo di stoccaggio e ha una notevole influenza sulla qualità della combustione. Il contenuto d'acqua è composto dall'umidità superficiale del legno (causata, tra l'altro, da fattori esterni come le precipitazioni) e dall'umidità intrinseca (acqua immagazzinata nelle pareti cellulari, nelle cavità cellulari e negli interstizi delle cellule).

Il contenuto d'acqua è indicato anche come contenuto di umidità del legno (anche umidità del legno). Queste specifiche differiscono nei loro diversi valori di riferimento. In conformità con la norma DIN EN ISO 17225, sono dati in massa percentuale (wt-%) [21]. Il **contenuto di acqua M** è il parametro di qualità più importante per i combustibili legnosi. Esso descrive l'acqua  $m_w$  nel combustibile umido in relazione alla sua massa totale, che è composta dalla massa del combustibile anidro  $m_B$  e dall'acqua  $m_w$  in esso contenuta.

$$Y_{H_2O} = \frac{m_w}{m_B + m_w}$$

$$M = \frac{m_w}{m_B + m_w} * 100$$

- $Y_{H_2O}$  Frazione di massa di acqua nel combustibile [kg/kg].  
 $M$  Contenuto d'acqua [wt-%]  
 $u$  Umidità del legno [wt-%]  
 $m_w$  Massa di acqua nel combustibile [kg]  
 $m_B$  Massa di combustibile anidro (biomassa) [kg]

Al contrario, l'**umidità del legno u** descrive la quantità di acqua  $m_w$  legata nel combustibile, in relazione alla quantità anidra di combustibile  $m_B$ . Valori > 100% sono quindi possibili per u.

$$u = \frac{m_w}{m_B} * 100$$

Nel campo dell'uso dell'energia, l'indicazione del contenuto d'acqua è diventata ampiamente accettata. L'indicazione del contenuto di umidità del legno è piuttosto rara al di fuori della silvicoltura tradizionale. L'umidità del legno può essere calcolata dal contenuto d'acqua dichiarato e viceversa (Tabella 4.2).

Tabella 4.2 Conversione del contenuto d'acqua M - umidità del legno u.

Contenuto d'acqua M [%]	Contenuto di umidità del legno u [%]
0	0
20	25
25	33
40	67
50	100
60	150

#### 4.4.2 Contenuto di cenere

Il contenuto di cenere è la quantità di cenere che rimane quando il combustibile è completamente bruciato. La cenere contenuta in un combustibile consiste nella sua parte inorganica, principalmente gli elementi minori elencati nel capitolo 4.2 come silicio, potassio o sodio. La cenere contiene anche una gran parte degli elementi in traccia o dei metalli pesanti che si depositano sulla cenere dopo la combustione. Per esempio, se la concentrazione di ferro in un combustibile è di 50 mg/kg (wf), un contenuto di cenere del combustibile dello 0,5% (wf) (cioè 5 g di cenere per 1 kg di combustibile anidro) aumenta la concentrazione di ferro nella cenere (assumendo che il ferro sia completamente presente nella cenere come  $Fe_2O_3$ ) a 10.000 mg/kg (capitolo 9).

Il contenuto di ceneri A è calcolato dalla massa delle ceneri  $m_A$  nel combustibile in relazione alla massa del combustibile utilizzato  $m_{B,i}$  (specificando lo stato di riferimento i).

$$Y_{Ash} = \frac{m_A}{m_{B,i}}$$

$$A = \frac{m_A}{m_{B,i}} * 100$$

$Y_{Ash}$  Frazione di massa di cenere nel combustibile [kg/kg].

A Contenuto di cenere [wt-%]

$m_A$  Massa di cenere nel combustibile [kg]

$m_{B,i}$  Massa del combustibile nello stato di riferimento [kg].

#### 4.4.3 Potere calorifico netto e lordo

Il calore rilasciato durante la combustione (completa) dei combustibili legnosi è dato come potere calorifico netto

(NCV) o potere calorifico lordo (GCV). Il potere calorifico lordo (anche "potere calorifico superiore") descrive la quantità assoluta di energia rilasciata durante la combustione di una determinata quantità di combustibile [MJ/kg]. Oltre al calore sensibile rilasciato, questo valore include anche l'energia che si trova sotto forma di vapore acqueo nei gas di scarico (calore latente) e che può essere resa utilizzabile attraverso la condensazione ("tecnologia di condensazione"). Nei sistemi di combustione di biomassa, l'acqua di solito fuoriesce con il gas di scarico sotto forma di vapore. L'entalpia di vaporizzazione dell'acqua rilasciata durante la condensazione non può quindi essere utilizzata. Il contenuto energetico del legno è quindi di solito dato come potere calorifico netto (anche "potere calorifico inferiore"). Questo valore indica il contenuto energetico di un combustibile [MJ/kg] meno la quantità di energia contenuta nei gas di scarico sotto forma di vapore acqueo. Dipende linearmente dal contenuto di acqua del combustibile (Figura 4.2 Potere calorifico netto). La Tabella 4.3 illustra l'influenza del contenuto di acqua sul potere calorifico.

Il potere calorifico è determinato calorimetricamente in laboratorio secondo la norma EN ISO 18125:2017-08 [22]. Durante la combustione del legno, il vapore acqueo viene prodotto da un lato dall'acqua contenuta nel combustibile e dall'altro dalla reazione dell'idrogeno legato nel combustibile con l'ossigeno. Per calcolare il potere calorifico netto (NCV) dal potere calorifico lordo (GCV), la quantità di energia rilasciata durante la condensazione di questo vapore acqueo viene sottratta dal GCV.

$$NCV = GCV - h_v * Y_w \left[ \frac{MJ}{kg} \right]$$

$$Y_w = \frac{M_{H_2O}}{M_{H_2}} * Y_{H_2} + Y_{H_2O} \left[ \frac{kg}{kg} \right]$$

$$NCV = GCV - 2.441 * (8.937 * Y_{H_2} + Y_{H_2O}) \left[ \frac{MJ}{kg} \right]$$

$Y_w$  Contenuto specifico di acqua nei gas di scarico durante la combustione completa [kg/kg].

$h_v$  Entalpia di evaporazione dell'acqua  $h_v = 2,441$  MJ/kg

$M_i$  Massa molare del parametro combustibile i [kg/kmol].

$y_i$  Frazione di massa del parametro combustibile i [kg/kg]

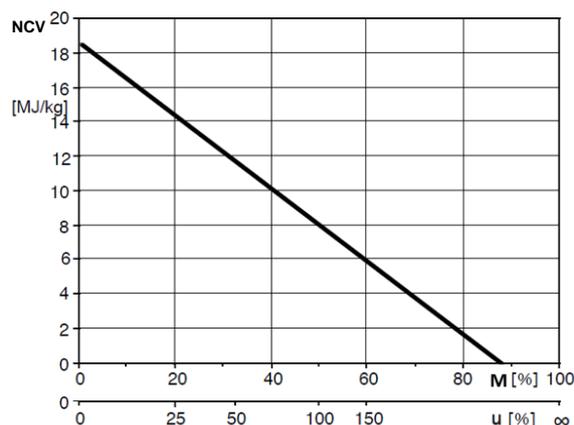


Figura 4.2Potere calorifico netto (NCV) del legno in funzione del contenuto d'acqua M e dell'umidità del legno u.

Tabella 4.3 Potere calorifico del legno in funzione del contenuto d'acqua M per diverse specie di alberi e unità di misura. Ipotesi per il potere calorifico in kWh/kg (base di riferimento anidra): 5,2 per il legno dolce e 5,0 per il legno duro [23].

Contenuto d'acqua M in [wt-%]		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Tipo/densità dell'albero <sup>1)</sup>	Unità di misura	Potere calorifico netto in funzione del contenuto d'acqua M												
Abete rosso 379 kg wt/fm	kWh/kg	5.20	4.91	4.61	4.32	4.02	3.73	3.44	3.14	2.85	2.55	2.26	1.97	1.67
	kWh/fm	1,971	1,957	1,942	1,925	1,906	1,885	1,860	1,832	1,799	1,760	1,713	1,656	1,584
	kWh/rm	1,380	1,370	1,360	1,348	1,334	1,319	1,302	1,282	1,259	1,232	1,199	1,159	1,109
	kWh/LCM	788	783	777	770	763	754	744	733	720	704	685	662	634
Pino 431 kg wt/fm	kWh/kg	5.20	4.91	4.61	4.32	4.02	3.73	3.44	3.14	2.85	2.55	2.26	1.97	1.67
	kWh/fm	2,241	2,226	2,209	2,189	2,168	2,144	2,116	2,083	2,046	2,001	1,948	1,883	1,802
	kWh/rm	1,569	1,558	1,546	1,533	1,518	1,500	1,481	1,458	1,432	1,401	1,364	1,318	1,261
	kWh/LCM	896	890	883	876	867	857	846	833	818	801	779	753	721
Faggio 558 kg wt/fm	kWh/kg	5.00	4.72	4.43	4.15	3.86	3.58	3.30	3.01	2.73	2.44	2.16	1.88	1.59
	kWh/fm	2,790	2,770	2,748	2,723	2,695	2,664	2,627	2,586	2,537	2,480	2,411	2,326	2,221
	kWh/rm	1,953	1,939	1,923	1,906	1,887	1,864	1,839	1,810	1,776	1,736	1,687	1,628	1,555
	kWh/LCM	1,116	1,108	1,099	1,089	1,078	1,065	1,051	1,034	1,015	992	964	930	888
Rovere 571 kg wt/fm	kWh/kg	5.00	4.72	4.43	4.15	3.86	3.58	3.30	3.01	2.73	2.44	2.16	1.88	1.59
	kWh/fm	2,855	2,835	2,812	2,786	2,758	2,726	2,689	2,646	2,596	2,537	2,467	2,380	2,273
	kWh/rm	1,999	1,984	1,968	1,951	1,931	1,908	1,882	1,852	1,817	1,776	1,727	1,666	1,591
	kWh/LCM	1,142	1,134	1,125	1,115	1,103	1,090	1,075	1,058	1,038	1,015	987	952	909
Pioppo 353 kg wt/fm	kWh/kg	5.00	4.72	4.43	4.15	3.86	3.58	3.30	3.01	2.73	2.44	2.16	1.88	1.59
	kWh/fm	1,765	1,752	1,738	1,723	1,705	1,685	1,662	1,636	1,605	1,569	1,525	1,472	1,405
	kWh/rm	1,236	1,227	1,217	1,206	1,193	1,179	1,163	1,145	1,123	1,098	1,067	1,030	983
	kWh/LCM	706	701	695	689	682	674	665	654	642	627	610	589	562

<sup>1)</sup> Valori per kg (wf) per fm senza ritiro all'essiccazione (densità) [24].

I valori di riscaldamento per il metro cubo (rm) sono stati calcolati come un tasso forfettario di 0,7 fm/rm e per i metri cubi sciolti (LCM) di cippato come 0,4 fm/LCM (per la classe di dimensione delle particelle P16S).

#### 4.4.4 Specifiche del volume

Come mostrato in 4.4.3, il potere calorifico è legato alla massa del combustibile e dipende fortemente dal contenuto di acqua. Tuttavia, pesare le quantità di combustibile consegnate spesso non è possibile per gli impianti più piccoli perché l'infrastruttura manca o è troppo costosa. Pertanto, è pratica comune, soprattutto per gli impianti più piccoli, stimare le quantità di combustibile sulla

base del volume e fatturarle in questo modo. Ci sono diverse specifiche di volume dall'industria forestale e del legno che sono comunemente utilizzate in relazione al legno (vedi Tabella 4.4 Dimensioni della stanza per il legno energetico [25]).

Tabella 4.4 Dimensioni della stanza per il legno energetico [25].

Specifica del volume	Definizione	Unità
Metri cubi solidi	Stock di legname in piedi, 1 m <sup>3</sup> corrisponde a 1 m <sup>3</sup> di massa di legno	fm, m <sup>3</sup>

	massiccio, nel caso di legno a strati senza spazi intermedi.	
Metro cubo	Legno stratificato; corrispondente a 1 m <sup>3</sup> compresi gli spazi intermedi (circa 0,8 fm)	rm
Metri cubi sciolti (metri cubi alla rinfusa)	Quantità di legno scaricata in modo sciolto; usata per tronchi, trucioli di legno, trucioli o simili (circa 0,4 fm)	LCM (tedesco: Srm)

Un parametro importante è la **densità apparente** di un combustibile [kg/LCM]. Questo è principalmente influenzato dalla densità fisica [kg/m<sup>3</sup>], che dipende fortemente dal tipo di legno e dal contenuto di acqua. La densità apparente prende anche in considerazione la grumosità del combustibile lavorato. Nel caso del cippato e del materiale sminuzzato, questo influenza in modo decisivo gli spazi in un riempimento di combustibile. La densità o la densità apparente insieme al potere calorifico determinano la densità energetica [MJ/m<sup>3</sup>] o [kWh/m<sup>3</sup>] di un combustibile (vedi Tabella 4.5). Questo è un parametro importante per stimare i costi di stoccaggio e trasporto. La massa del combustibile  $m$  può essere calcolata dalla densità del combustibile  $\rho$  e dal volume  $V$  ( $m = V \cdot \rho$ ).

Tuttavia, la densità apparente è considerata una quantità molto imprecisa, poiché dipende da molti fattori. È generalmente vero che le dimensioni non uniformi del combustibile riducono la densità apparente. L'omogeneità del cippato è influenzata sia dal processo di preparazione del combustibile che dalla materia prima. La lavorazione per mezzo di trituratori o cippatori a bassa velocità porta

a dimensioni allungate e disomogenee con molte schegge e fratture sfilacciate. La densità di massa di tale materiale è inferiore a quella del legno lavorato con cippatrici a tamburo ad alta velocità, i cui trucioli tendono ad avere bordi più lisci e una maggiore proporzione di fini. Mentre i trucioli di tronchi hanno dimensioni uniformi, il legno residuo di diradamento o il legno per la manutenzione del paesaggio contiene diversi gradi di nodi fini e grossolani, il che porta anche a dimensioni molto diverse. Inoltre, va notato che la compattazione del materiale sfuso, ad esempio utilizzando dimensioni uniformi delle particelle (meno vuoti d'aria) o facendo correre le particelle durante il trasporto, riduce il volume sfuso.

Per la conversione di metri cubi solidi (legno non tagliato) in metri cubi sfusi (cippato), si può usare un fattore di allentamento medio di 2,8. Una procedura per determinare la densità apparente è descritta nella norma EN ISO 17827 [26].

In sintesi, determinare il volume consegnato è molto semplice ed economico. Tuttavia, il volume non è adatto per indicare il contenuto di energia o i prezzi del combustibile. A causa delle densità fluttuanti, della densità di massa e del contenuto d'acqua del combustibile, tali informazioni sono molto imprecise. Un'indicazione precisa dei parametri rilevanti è possibile solo sulla base della massa del combustibile e a seconda del rispettivo stato di riferimento o del contenuto d'acqua. Mentre un calcolo per volume è adatto per progettare l'area di stoccaggio del combustibile e stimare le quantità di trasporto, si è dimostrato inadeguato per la fatturazione (Sezione 4.7).

Tabella 4.5 Densità apparente e contenuto energetico di vari combustibili.

Fonte di energia	Contenuto d'acqua [wt-%]	Densità di massa [kg/LCM]	Contenuto energetico [kWh/rm]	Volume per contenuto energetico [m <sup>3</sup> /MWh]
Cippato (HH) <sup>1)</sup>	30	250 - 330	900 - 1,100	1.10 - 0.90
Cippato (WH) <sup>1)</sup>	30	160 - 230	600 - 800	1.70 - 1.25
Corteccia (HH)	50	500	1,000	1.00
Corteccia (WH)	50	320	750	1.33
Segatura (HH)	40	230 - 270	650 - 750	1.50 - 1.33
Segatura (WH)	40	150 - 190	450 - 550	2.20 - 1.80
Segatura	15	170	717	1.39
Trucioli di legno	15	90	380	2.63
Bricchette	2	900 - 1,500	4,500 - 7,500	0.17
Pellets	2	670	3,000 - 3,500	0.30
Carbone duro	-	870	8,300	0.12
Olio per riscaldamento extra leggero <sup>2)</sup>	-	840	10,000	0.10

<sup>1)</sup> HH: legno duro, WH: legno dolce; <sup>2)</sup> LCM equivale a m<sup>3</sup>

## 4.5 Fornitura di combustibile per sistemi automatici di combustione della legna

### 4.5.1 Panoramica

Il legno utilizzato per l'approvvigionamento energetico (ad eccezione delle colture a rotazione breve) si accumula come residuo o co-prodotto della lavorazione del legno o anche durante la gestione delle foreste (ad esempio il diradamento degli alberi). Le varie fonti, la lavorazione e i percorsi di utilizzo sono mostrati nella Figura 4.3 Diagramma di flusso dei derivati dal legno DIN EN ISO 17225 [21] "Combustibili solidi biogenici - Specifiche e classi di combustibili" è stato successivamente ampliato dal 2014 e contiene classificazioni di vari combustibili legnosi:

- Parte 1: Requisiti generali
- Parte 2: Classificazione dei pellet di legno
- Parte 3: Classificazione delle bricchette di legno
- Parte 4: Classificazione dei trucioli di legno
- Parte 5: Classificazione del legno in pezzi
- Parte 6: Classificazione dei pellet non di legno
- Parte 7: Classificazione delle bricchette non di legno
- Parte 8: Classificazione dei combustibili da biomassa trattati termicamente e pressati (ritirata)
- Parte 9: Classificazione del legno grossolano tritato e dei trucioli di legno per uso industriale

Il flusso di materiale del legno utilizzato per la fornitura di energia può essere assegnato a tre fonti di materie prime: (1) la silvicoltura (2) la coltivazione del legno nelle piantagioni a rotazione breve (SRC), (3) l'accumulo come materiale residuo nella gestione del paesaggio (LMW). Mentre le conifere, in particolare, sono destinate all'uso materiale dopo la raccolta, varie categorie di legno per l'energia sono prodotte nella foresta e durante la lavorazione del legno. Diverse fasi di lavorazione producono prodotti intermedi che vengono utilizzati come combustibile all'interno dell'industria di lavorazione del legno per coprire il proprio fabbisogno energetico. Oltre a questo uso interno, il legno proveniente dalla silvicoltura viene trasformato in prodotti finali e fornito ai clienti finali sotto forma di tronchi, pellet e materiale cippato e sminuzzato. Il legno SRC è di solito tagliato direttamente dopo la raccolta e consegnato ai (grandi) consumatori sotto forma di cippato. Un percorso di recupero simile esiste per il legno da manutenzione del paesaggio, che di solito viene raccolto nei punti di raccolta dopo le misure di manutenzione e fornito come materiale sminuzzato per il recupero energetico. Dopo essere stato rimosso dal ciclo di utilizzo del materiale, il legno di scarto viene inviato a impianti adeguati per il recupero energetico (vedi Figura 4.3 Diagramma di flusso dei derivati dal legno).

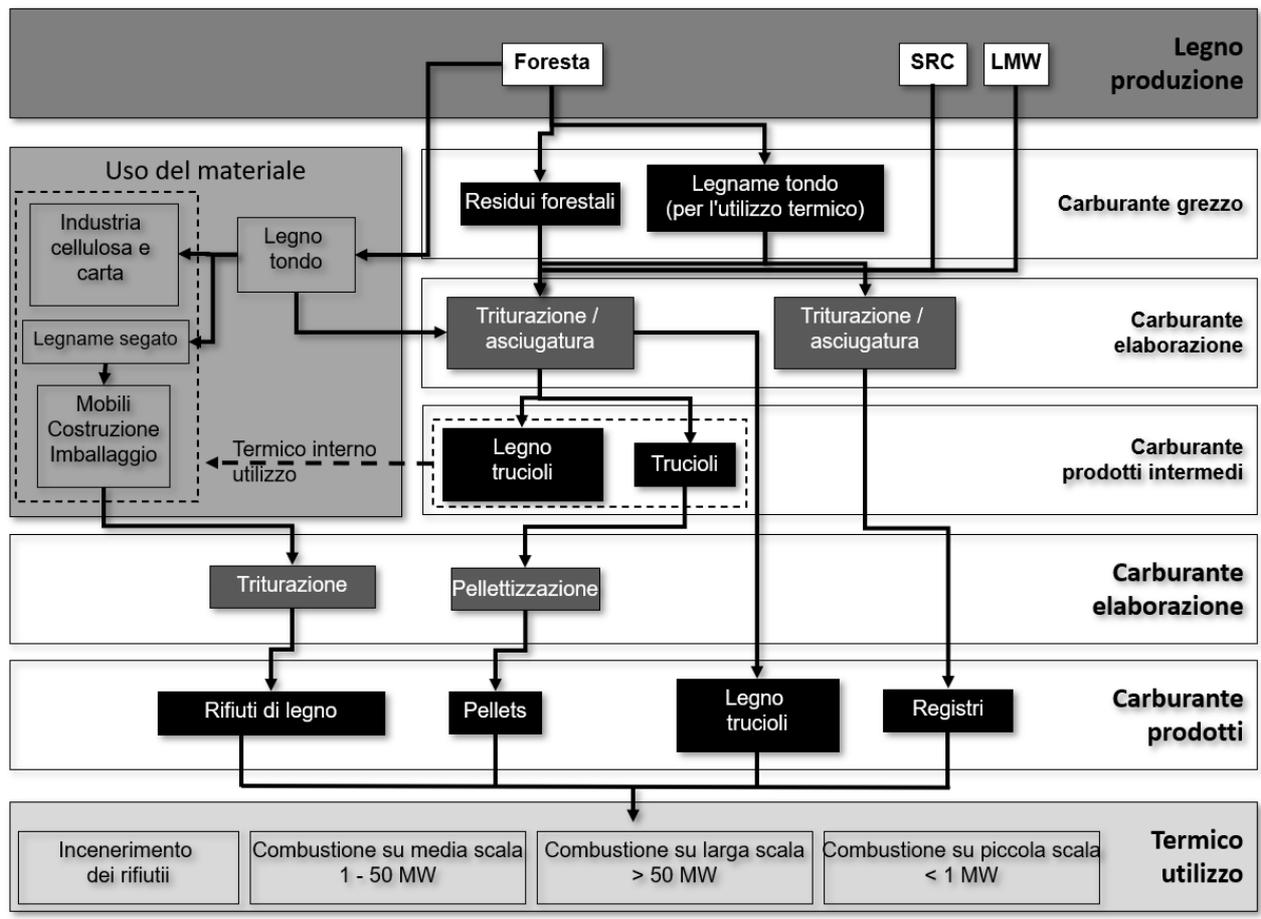


Figura 4.3 Diagramma di flusso dei derivati dal legno.

### 4.5.2 Assortimenti di legno

**Residui forestali e legname tondo:** L'uso e la manutenzione delle foreste producono i cosiddetti residui forestali, che vengono utilizzati per usi energetici. Si tratta di legno residuo dal diradamento e, in secondo luogo, di residui dall'estrazione del legno in tronchi utilizzato nelle segherie (cimali). A causa dei loro piccoli diametri, entrambi gli assortimenti hanno spesso un alto contenuto di corteccia e, specialmente nel caso delle foreste di conifere, un alto contenuto di aghi, e quindi possono porre maggiori problematiche dal punto di vista impiantistico. Anche il legname tondo proveniente dalla rimozione mirata dei tronchi con difetti può essere utilizzato per fini energetici. Nella maggior parte dei casi, i componenti degli alberi con un alto contenuto di cenere, come aghi, ramoscelli e rami, rimangono sul terreno, permettendo di ottenere un combustibile di alta qualità.

**Combustibile da ceduo a rotazione breve (SRC):** Nelle piantagioni cedue a rotazione breve, i boschi a crescita rapida come il pioppo o il salice sono di solito coltivati per usi energetici. La raccolta avviene principalmente in inverno, cioè quando gli alberi sono senza foglie. Il contenuto di acqua del cippato di SRC tende ad essere più alto di quello del cippato appena raccolto da residui forestali e legname tondo. Il legno SRC ha anche

una densità grezza relativamente bassa; questo e l'alto contenuto d'acqua dovrebbero essere presi in considerazione soprattutto nella contabilità a volume. Il contenuto di ceneri del cippato SRC è generalmente paragonabile a quello dei residui forestali a causa del maggior contenuto di corteccia e rami fini in entrambi gli assortimenti. Allo stesso modo, il potere calorifico (base di riferimento anidra) è paragonabile a quello dei residui forestali. La combustione di cippato SRC appena raccolto non è consigliata, soprattutto nei forni più piccoli, perché i produttori spesso specificano l'uso di combustibili con un contenuto d'acqua inferiore (max. 30-35%). Il contenuto d'acqua desiderato può essere raggiunto attraverso l'essiccazione (naturale) o mescolando il cippato SRC con combustibili più secchi [27].

**Legno da manutenzione del paesaggio (LMW):** Il legno da manutenzione del paesaggio proviene dalla manutenzione di siepi e argini lungo le aree di traffico (strade, ferrovie e corsi d'acqua), linee elettriche e spazi verdi nelle aree urbane. La composizione può essere molto diversa, per esempio, oltre al legno dolce (ad esempio ontano, pioppo e salice), si ottiene anche il legno duro (ad esempio acero, nocciolo, carpino). In ambito urbano, i rifiuti del giardino e del parco, così come i tagli degli arbusti, sono raccolti separatamente attraverso sistemi di raccolta o di consegna. Questi rifiuti

verdi contengono (specialmente in estate) un'alta proporzione di materiale erbaceo che è adatto al riciclaggio attraverso il compostaggio o la fermentazione. La parte legnosa, che si accumula di più in inverno, è importante per il riciclaggio termico [28]. La letteratura specializzata indica spesso un contenuto parzialmente aumentato di inquinanti come cenere, metalli pesanti o cloro nel legno per la manutenzione del paesaggio come combustibile, che può comportare maggiori requisiti per le procedure di approvazione e la tecnologia degli impianti [29]. Studi scientifici hanno dimostrato un'influenza dello spargimento di sale invernale sulle strade o della concimazione dei terreni agricoli adiacenti. Tuttavia, i contenuti di cloro misurati nel legno da giardino sono paragonabili a quelli del cippato. Oltre al luogo, il fattore decisivo è quindi quali parti di un albero vengono trasformate in cippato. L'aumento del contenuto di ceneri e cloro è stato riscontrato soprattutto nei rami più sottili che hanno un alto contenuto di corteccia rispetto al legno [30].

**Legno di scarto:** Il legno usato per scopi materiali diventa legno di scarto alla fine della sua vita utile. Questo legno di scarto proviene da diverse fonti e viene riciclato a tappe. A questo scopo, viene raccolto e lavorato in siti adatti. Qui, i flussi di materiale vengono suddivisi in base al loro ulteriore utilizzo: il legno di scarto non contaminato che è adatto all'utilizzo del materiale viene riutilizzato come materia prima secondaria. Le quantità in eccesso o il legno di scarto contaminato che non è più adatto per l'uso del materiale viene alimentato per il recupero energetico [31]. I materiali raccolti sotto il termine "legno di scarto" sono caratterizzati dalla loro disomogeneità, soprattutto per quanto riguarda il contenuto di sostanze estranee e le impurità. La classificazione del legno di scarto secondo la sua origine, composizione e contaminazione con sostanze pericolose permette di dividerlo in diverse categorie (Tabella 4.6).

Tabella 4.6 Catalogazione dei rifiuti di legno secondo l'elenco europeo dei rifiuti [32] e le liste sul trasporto dei rifiuti del Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni [33].

Categoria di rifiuti (capitolo della lista)	Codice rifiuti	Descrizione
rifiuti della lavorazione del legno e della produzione di pannelli e mobili, carta e cartone	03 01 01	rifiuti di corteccia e sughero
	03 01 04*	segatura, trucioli, ritagli, legno, pannelli di particelle e impiallacciature contenenti sostanze pericolose
	03 01 05	segatura, trucioli, ritagli, legno, pannelli di truciolato e impiallacciatura diversi da quelli di cui alla voce 03 01 04
	03 03 01	rifiuti di corteccia e legno
imballaggi (compresi i rifiuti di imballaggio urbani raccolti separatamente)	15 01 03	imballaggio in legno
	15 01 10*	imballaggi contenenti residui o contaminati da sostanze pericolose
rifiuti di costruzione e demolizione (compreso il terreno scavato da siti contaminati)	17 02 01	legno, invece di questo codice 17 02 97 o 17 02 98 è usato in Svizzera
	17 02 04*	vetro, plastica e legno contenenti o contaminati da sostanze pericolose
	17 02 97	CH: legno di scarto da cantieri, demolizioni, ristrutturazioni e conversioni
	17 02 98*	CH: legno di scarto problematico
rifiuti dal trattamento meccanico dei rifiuti	19 12 06*	legno contenente sostanze pericolose
	19 12 07	legno diverso da quello menzionato nel 19 12 06
rifiuti urbani (rifiuti domestici e simili rifiuti commerciali, industriali e istituzionali) comprese le frazioni raccolte separatamente	20 01 37*	legno contenente sostanze pericolose
	20 01 38	legno diverso da quello menzionato nel 20 01 37
	20 03 07	rifiuti ingombranti

\* rifiuti classificati come pericolosi secondo l'elenco europeo dei rifiuti [32]

Tabella 4.7 Classificazione dei rifiuti di legno in Germania e Svizzera.

Categoria	Germania	Descrizione generale	Svizzera	
	Descrizione secondo l'Altholzverordnung (AltholzV) - Ordinanza sui rifiuti di legno		Luftreinhalteverordnung (LRV) - Ordinanza sul controllo dell'inquinamento atmosferico	
A I	Naturbelassenes oder lediglich mechanisch bearbeitetes Altholz - Legno naturale o solo lavorato meccanicamente	Naturbelassenes Waldri- saldamentoolz - Legno della foresta naturale	Naturbelassenes Holz (stückig und nicht stückig) Bst. a+b	Holzbrennstoffe
		Restholz aus Sägereien - Legno di scarto delle seg- herie	Unbehandeltes Altholz Bst d 1	
A II	Verleimtes, gestrichenes, beschichtetes, lackiertes oder an- derweitig behandeltes Altholz ohne halogenorganische Ver- bindungen in der Beschichtung und ohne Holzschutzmittel. - Legno di scarto incollato, dipinto, rivestito, laccato o altri- menti trattato senza composti alogeno-organici nel rivesti- mento e senza conservanti del legno.	Restholz aus Zimmereien, Schreinereien - Legno di scarto da falegnamerie, carpenterie	Unbehandeltes Altholz Bst d 1	Anhang 5, Ziffer 31, Absatz 1
		Behandeltes Altholz ohne Holzschutzmittel, haloge- norganischer Beschichtung oder PCB - Legno di scarto trattato senza conservanti del legno, rivestimento si- curo alogeno o PCB	Restholz Bst c	
A III	Altholz mit halogenorganischen Verbindungen in der Be- schichtung ohne Holzschutzmittel. - Legno di scarto con composti alogeno-organici nel rivestimento senza conser- vanti per il legno	Behandeltes Altholz mit ha- logenorganischer Beschich- tung, ohne Holzschutzmittel - Legno di scarto trattato con rivestimento alogeno- organico, senza conser- vanti del legno		Übrige Brennstoffe aus Holz, gelten nicht als Holzbrenn- stoffe
A IV	Mit Holzschutzmitteln behandeltes Altholz [...] sowie sonsti- ges Altholz, das [...] nicht den Kategorien A I - A III zu- geordnet werden kann, ausgenommen PCB-Altholz. - Ri- futi di legno trattati con preservanti del legno [...] e altri ri- futi di legno che [...] non possono essere assegnati alle ca- tegorie A I - A III, ad eccezione dei rifiuti di legno contenenti PCB (che contengono bifenili policlorurati e sono discipli- nati dalla relativa ordinanza sui rifiuti).	Beh. Altholz mit Holzschut- zmittel - Legno di scarto trattato con conservante per legno	Holzabfälle problematische Bst b	
PCB-Al- tholz - PCB-legno di scarto	Altholz, das PCB im Sinne der PCB/PCT-Abfallverordnung ist und nach deren Vorschriften zu entsorgen ist, insbeson- dere Dämm- und Schallschutzplatten, die mit Mitteln be- handelt wurden, die polychlorierte Biphenyle enthalten. - Rifuti di legno che sono PCB ai sensi dell'ordinanza sui ri- futi PCB/PCT e devono essere smaltiti secondo le sue di- sposizioni, in particolare pannelli isolanti e insonorizzanti che sono stati trattati con agenti contenenti policlorobifenili.	Mit PCB behandelte Holza- bfälle - Rifuti di legno trat- tati con PCB		

In Germania, oltre alla catalogazione secondo i codici dei rifiuti, esistono classificazioni in categorie di rifiuti di legno (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

In Svizzera, il legno di scarto non è considerato combustibile di legno, ma rifiuti secondo l'Ordinanza sulla protezione dell'aria (LRV) [34]. Il legno di scarto A I e A II secondo la classificazione del legno di scarto in Germania corrisponde al legno di scarto consentito dalla LRV, che può essere bruciato in forni a legna (tabella 19.4). Per il recupero termico di assortimenti contaminati (ad es. residui di legno rivestito in PVC o impregnato a pressione) devono essere rispettate le norme specifiche del paese per quanto riguarda la tecnologia degli impianti e le misure di protezione delle emissioni. Il termine legno industriale o residuo di segheria si riferisce a un sottoprodotto

dell'industria di lavorazione del legno che è ammesso esclusivamente nella sua forma naturale come combustibile di legno. In Austria, anche il legno di scarto è classificato come rifiuto e non come combustibile, ma i sottoprodotti dell'industria di lavorazione del legno possono essere utilizzati come combustibile. L'utilizzo termico del legno di scarto avviene quasi esclusivamente in impianti speciali di incenerimento del legno di scarto o dei rifiuti, così come in impianti industriali per l'utilizzo di residui biogenici (ad esempio l'industria della carta e del cartone). Tuttavia, la co-combustione di legno di scarto non trattato in impianti di riscaldamento a biomassa è possibile con un appropriato permesso ufficiale.

### 4.5.3 Preparazione del combustibile

Triturazione meccanica: La triturazione meccanica può essere effettuata secondo due principi di base (vedi Figura 4.4).

- Processo di taglio con utensili affilati (cippatrice a tamburo o a disco) per la produzione di cippato; il cippato ha un buon comportamento di scorrimento e forma un combustibile omogeneo; utilizzato in particolare per la produzione di cippato, nelle segherie e negli impianti di lavorazione del legno. Il cippato secondo ISO 17225-4 deve essere prodotto con utensili da taglio.
- Processo di frantumazione con utensili smussati (cippatori lenti con denti ripper, mulini a martelli, cippatori a vite, ecc.) per la produzione di combustibile tritato. Il materiale sminuzzato si incunea facilmente, ha un cattivo comportamento di flusso ed è particolarmente disomogeneo. L'utensile è meno sensibile alle impurità e viene quindi utilizzato principalmente nel settore della manutenzione del paesaggio.

**Essiccazione e stoccaggio:** Lo stoccaggio dei combustibili è una parte importante della catena di approvvigionamento. In primo luogo, i processi di essiccazione naturale che avvengono durante lo stoccaggio possono migliorare la qualità grazie alla diminuzione del contenuto di acqua. Lo stoccaggio gioca anche un ruolo importante nel mantenere le forniture di combustibile in linea con la domanda. In linea di principio, ci sono varie possibilità: Stoccaggio prima o dopo la cippatura, essiccazione naturale o tecnica, stoccaggio all'aperto o in magazzini. Le possibili applicazioni così come i vantaggi e gli svantaggi dei rispettivi metodi sono descritti di seguito [35].



Figura 4.4 Differenziazione tra cippato (tagliato con strumenti affilati, a sinistra) e legno tritato (tagliato con strumenti smussati, a destra).

Dopo la raccolta, il legno da cippare può essere lasciato in forma di mucchi per diverse settimane o mesi in un'area di stoccaggio adatta. Questa pre-essiccazione permette al contenuto di acqua di scendere da  $< 50\%$  a  $< 30\%$ . Un luogo di stoccaggio ideale per la pre-essiccazione dovrebbe essere ben ventilato e soleggiato, vicino alla foresta, avere un sottosuolo asciutto e permeabile ed essere accessibile tutto l'anno.

L'essiccazione naturale dei mucchi di cippato avviene per convezione. L'autoriscaldamento nel mucchio crea una differenza di temperatura rispetto all'ambiente circostante. Di conseguenza, l'aria calda sale dal mucchio e trasporta via l'umidità, mentre l'aria più fredda e secca entra lateralmente. La dimensione e la forma del muc-

chio di cippato giocano un ruolo importante. La forma dovrebbe essere simile al profilo del tetto ("cono appuntito"). Questo favorisce la convezione (effetto camino) e l'acqua di precipitazione non può raccogliersi nelle cavità sulla superficie dell'andana. Inoltre, la copertura con un vello aperto alla diffusione offre protezione contro le precipitazioni, ma permette l'evaporazione dall'interno. L'altezza del cumulo non dovrebbe superare i quattro metri per evitare il rischio di incendio per combustione spontanea. L'essiccazione tecnica, d'altra parte, è molto più veloce, ma più costosa. Il calore di scarto delle centrali elettriche come i CHP a biogas o l'essiccazione solare con collettori d'aria [36] possono essere utilizzati per l'essiccazione.

Spesso, il cippato viene prodotto da materiale legnoso appena raccolto con un alto contenuto d'acqua  $> 50\%$  e conservato per un lungo periodo di tempo in un deposito temporaneo coperto o scoperto o nell'impianto di riscaldamento prima dell'uso. Diversi problemi possono verificarsi durante lo stoccaggio del cippato fresco con un alto contenuto d'acqua:

- I processi biologici riscaldano il mucchio di cippato, l'accensione è possibile.
- L'acqua si condensa sulla parte superiore del riempimento e si sviluppa la muffa che può essere dannosa per la salute.
- I processi di degradazione e i funghi decompositori del legno riducono la materia organica (diminuendo la densità e aumentando il contenuto di cenere); i parametri del combustibile possono deteriorarsi (ad esempio l'accumulo di azoto).

Questi pericoli possono essere ridotti asciugando rapidamente il materiale fino a un contenuto d'acqua  $< 30\%$  e immagazzinandolo in condizioni di stoccaggio adeguate. I trucioli di legno grossolani e a spigoli vivi con una bassa percentuale di fini sono ideali. Questo fornisce spazi sufficienti per la circolazione dell'aria e la rimozione dell'umidità. Il periodo di stoccaggio non dovrebbe essere troppo lungo, una linea guida è di tre mesi. Una sequenza appropriata dovrebbe essere seguita per lo stoccaggio e l'uso (principio "first in - first out").

Per lo stoccaggio all'aperto, assicuratevi che il terreno sia asciutto e che il luogo sia il più possibile soleggiato ed esposto al vento. Al contrario di una superficie non pavimentata, una superficie pavimentata può essere percorsa tutto l'anno da veicoli pesanti. Le piazzole pavimentate si sono dimostrate efficaci, perché non sigillano la superficie. Tuttavia, c'è la possibilità qui e in altri siti non pavimentati che il combustibile possa essere contaminato da accumuli di terra minerale o humus e pietre. Quando è conservato in edifici come bunker di cippato o magazzini, il combustibile è protetto dalle precipitazioni. Deve essere assicurata una buona circolazione dell'aria per contrastare la formazione di acqua di condensazione e la conseguente muffa.

**Pressatura/pelletatura:** I pellet di legno combustibile solido sono prodotti dalla pressatura di segatura naturale secca o trucioli di legno con o senza l'aggiunta di additivi. DIN EN ISO 17225-2 contiene i requisiti per la materia

prima e le proprietà dei pellet (diametro e lunghezza, contenuto d'acqua, contenuto di ceneri e comportamento alla fusione, resistenza meccanica, contenuto di particelle, additivi, potere calorifico, densità apparente, contenuto di elementi), classificati secondo l'uso in applicazioni commerciali e domestiche (A1, A2, B) e industriali (I1, I2, I3).

Anche se i pellet sono un combustibile molto secco, durante lo stoccaggio si verificano processi che portano al cosiddetto degassamento e all'auto-riscaldamento del combustibile. Le sostanze estrattive contenute nel legno (resine, grassi e acidi grassi liberi) raggiungono la superficie del combustibile a causa delle alte temperature durante l'essiccazione o per effetto della pressione durante la pellettizzazione e quindi entrano in contatto con l'ossigeno atmosferico. Questo innesca reazioni di ossidazione che portano al rilascio di idrocarburi organici volatili (VOC), monossido di carbonio (CO) e anidride carbonica (CO<sub>2</sub>). I composti organici risultanti, come l'acido butirrico e le aldeidi, possono causare fastidiosi odori. I gas inodori CO e CO<sub>2</sub> possono portare a una carenza di ossigeno in magazzini non sufficientemente ventilati, e c'è il rischio di soffocamento e avvelenamento per il personale. In combinazione con l'auto-riscaldamento del combustibile (sia per reazioni esotermiche di ossidazione che per il calore di assorbimento, che si verifica quando i pellet assorbono l'umidità dall'aria), la presenza di gas infiammabili come il CO può portare alla combustione spontanea, soprattutto in magazzini molto grandi. I depositi di pellet dovrebbero quindi essere sempre sufficientemente ventilati (vedi capitolo 14.2.9e 19). Il degassamento diminuisce con l'aumentare dell'età del combustibile e del tempo di stoccaggio. Altre variabili influenti sono il carico meccanico durante il riempimento (percorsi più brevi possibili per evitare l'abrasione del materiale fine) e la temperatura durante lo stoccaggio (più è freddo, minore è l'attività) [37].

#### 4.5.4 Parametri di qualità

I combustibili a legna mostrano grandi differenze di qualità a causa delle diverse materie prime e delle differenze

nel processo di produzione. Un funzionamento a basse emissioni, senza problemi ed efficiente dal punto di vista energetico dei sistemi a legna è possibile solo con l'uso di un combustibile adatto al sistema (capitoli 513). Per esempio, i sistemi di combustione su piccola scala (dispositivi di serie standard) in particolare richiedono qualità costantemente omogenee con un basso contenuto di acqua, ceneri e sostanze fini. Una valutazione accurata della qualità del combustibile è anche essenziale per quanto riguarda la fatturazione. La Tabella 4.8 fornisce una panoramica dei parametri di qualità essenziali che possono essere utilizzati per valutare i combustibili "a prima vista".

Tabella 4.8 Caratteristiche tipiche per valutare la qualità del combustibile.

Parametri di qualità	"Qualità "buona	"Qualità "scarsa
Contenuto d'acqua	basso	alto
Contenuto di cenere	basso	alto
Valore calorifico	alto	basso
Forma delle particelle	a spigoli vivi	ruvido
Frazione fine	basso	alto
Lunghezze in eccesso	basso	alto
Contenuto di impurità	basso	alto

La Tabella 4.9 contiene gli intervalli di valori tipici di importanti parametri del combustibile per il legno e la corteccia di latifoglie e conifere, nonché per il legno di scarto. Le specie arboree salice e pioppo sono esemplari per il legno da brevi rotazioni o per il legno da manutenzione del paesaggio (SRC e LMW). Va notato che i valori elencati coprono ampi intervalli di fluttuazione. Il valore tipico è un punto di riferimento statisticamente determinato. La composizione effettiva del combustibile può discostarsene e dipende, per esempio, dalla rispettiva località. I progettisti, i fornitori e le società che gestiscono gli impianti devono quindi determinare valori individuali per un progetto. Anche dati online come Phyllis2 [38] o FRED dell'Ufficio statale bavarese per l'ambiente [39] contengono ulteriori dati su vari combustibili.

Tabella 4.9 Parametri tipici del combustibile di legno e corteccia - Parte I elementi principali [21], [31], [40].

Parametro	Unità (Stato di riferimento: wf)		Legno (senza corteccia, foglie, aghi)		Corteccia		SRC e LMW		Rifiuti di legno
			Legno dolce	Legno duro	Legno dolce	Legno duro	Pascolo	Pioppo	
Cenere - contenuto	wt-%	Gamma di va- lori	0.1 - 1.0	0.2 - 1.0	< 1 - 5	0.8 - 3.0	1.1 - 4.0	1.5 - 3.4	0 - 2
		Valore tipico	0.3	0.3	1.5	1.5	2.0	2.0	
Valore cal- orifico	MJ/kg	Gamma di va- lori	18.5 - 19.8	18.4 - 19.2	17.5 - 20.5	17.1 - 21.3	17.7 - 19.0	18.1 - 18.8	18 - 20.2
		Valore tipico	19.1	18.9	19.2	19	18.4	18.4	
Carbonio C	wt-%	Gamma di va- lori	47 - 54	48 - 52	48 - 55	47 - 55	46 - 49	46 - 50	n.d.
		Valore tipico	51	49	52	52	48	48	
Idrogeno H	wt-%	Gamma di va- lori	5.6 - 7.0	5.9 - 6.5	5.5 - 6.4	5.3 - 6.4	5.7 - 6.4	5.7 - 6.5	n.d.
		Valore tipico	6.3	6.2	5.9	5.8	6.1	6.2	
Ossigeno O	wt-%	Gamma di va- lori	40 - 44	41 - 45	34 - 42	32 - 42	40 - 44	39 - 45	n.d.
		Valore tipico	42	44	38	38	43	43	
Azoto N	wt-%	Gamma di va- lori	< 0.1 - 0.5	< 0.1 - 0.5	0.3 - 0.9	0.1 - 0.8	0.2 - 0.8	0.2 - 0.6	n.d.
		Valore tipico	0.1 <sup>1)</sup>	0.2 <sup>1)</sup>	0.5	0.3	0.5	0.4	
Zolfo S	wt-%	Gamma di va- lori	< 0.01 - 0.02	< 0.01 - 0.05	< 0.02 - 0.05	< 0.02 - 0.20	0.02 - 0.10	0.02 - 0.10	n.d.
		Valore tipico	< 0.02	0.02	0.03	0.03	0.05	0.03	
Cloro Cl	wt-%	Gamma di va- lori	< 0.01 - 0.03	< 0.01 - 0.03	< 0.01 - 0.05	< 0.01 - 0.05	0.01 - 0.05	< 0.01 - 0.05	0.02 - 0.20
		Valore tipico	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	< 0.01	
Fluoro F	wt-%	Gamma di va- lori	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005 - 0.002	n.d.	0 - 0.01	n.d.	n.d.
		Valore tipico	< 0.0005	< 0.0005	0.001		0.003		
Alluminio Al	mg/kg	Gamma di va- lori	30 - 400	< 10 - 50	400 - 1,200	30 - 100	3 - 100	n.d.	n.d.
		Valore tipico	100	20	800	50	50	10	
Calcio Ca	mg/kg	Gamma di va- lori	500 - 1,000	800 - 20,000	1,000 - 15,000	10,000 - 20,000	2,000 - 9,000	4,000 - 6,000	n.d.
		Valore tipico	900	1,200	5,000	15,000	5,000	5,000	
Ferro Fe	mg/kg	Gamma di va- lori	10 - 100	10 - 100	100 - 800	50 - 200	30 - 600	n.d.	n.d.
		Valore tipico	25	25	500	100	100	30	
Potassio K	mg/kg	Gamma di va- lori	200 - 500	500 - 1,500	1,000 - 3,000	1,000 - 3,200	1,700 - 4,000	2,000 - 4,000	n.d.
		Valore tipico	400	800	2,000	2,000	2,500	2,500	
Magnesio Mg	mg/kg	Gamma di va- lori	100 - 200	100 - 400	400 - 1,500	400 - 1,000	200 - 800	200 - 800	n.d.
		Valore tipico	150	200	1,000	500	500	500	
Manga- nese Mn	mg/kg	Gamma di va- lori	40 - 200	n.d.	9 - 840	n.d.	79 - 160	n.d.	n.d.
		Valore tipico	100		500	190	97	20	
Sodio Na	mg/kg	Gamma di va- lori	10 - 50	10 - 200	70 - 2,000	20 - 1,000	10 - 450	10 - 60	n.d.
		Valore tipico	20	50	300	100	n.d.	25	
Fosforo P	mg/kg	Gamma di va- lori	50 - 100	50 - 200	20 - 600	300 - 700	500 - 1,300	800 - 1,100	n.d.
		Valore tipico	60	100	400	400	800	1,000	
Silicio Si	mg/kg	Gamma di va- lori	100 - 200	100 - 200	500 - 5,000	2,000 - 20,000	2 - 2,000	n.d.	n.d.
		Valore tipico	150	150	2,000	2,500	500		
Arsenico Come	mg/kg	Gamma di va- lori	< 0.1 - 1.0	< 0.1 - 1.0	0.1 - 4.0	0.1 - 4	< 0.1	< 0.1 - 0.2	0.39 - 15.4
		Valore tipico	< 0.1	< 0.1	1.0	0.4	< 0.1	< 0.1	
Cadmio Cd	mg/kg	Gamma di va- lori	< 0.05 - 0.50	< 0.05 - 0.50	0.2 - 1.0	0.2 - 1.2	0.2 - 5	0.2 - 1	n.d.
		Valore tipico	0.1	0.10	0.5	0.5	2	0.5	

QM per impianti di teleriscaldamento a biomassa - Manuale di pianificazione

Cromo Cr	mg/kg	Gamma di valori	0.2 - 10.0	0.2 - 10.0	1 - 10	1 - 30	0.3 - 5	0.3 - 2	0.1 - 5.3
		Valore tipico	1.0	1.0	5	5	1	1	
Rame Cu	mg/kg	Gamma di valori	0.5 - 10.0	0.5 - 10.0	3 - 30	2 - 20	2 - 4	2 - 4	3.4 - 668.4
		Valore tipico	2.0	2.0	5	5	3	3	
Mercurio Hg	mg/kg	Gamma di valori	< 0.02 - 0.05	< 0.02 - 0.05	0.01 - 0.1	n.d.	< 0.03	< 0.03	0.02 - 36.1
		Valore tipico	0.02	0.02	0.05	< 0.05	< 0.03	< 0.03	
Nichel Ni	mg/kg	Gamma di valori	< 0.1 - 10.0	< 0.1 - 10.0	2 - 20	2 - 10	0.2 - 2	0.2 - 1.0	n.d.
		Valore tipico	0.5	0.5	10	10	0.5	0.5	
Piombo Pb	mg/kg	Gamma di valori	< 0.5 - 10.0	< 0.5 - 10.0	1 - 30	2 - 30	0.1 - 0.2	0.1 - 0.3	9.3 - 3,314.3
		Valore tipico	2.0	2.0	4	15	0.1	0.1	
Vanadio V	mg/kg	Gamma di valori	< 2	< 2	0.7 - 2.0	1 - 4	0.2 - 0.6	n.d.	n.d.
		Valore tipico	< 2	< 2	1.0	2	0.3	n.d.	
Zinco Zn	mg/kg	Gamma di valori	5 - 50	5 - 100	70 - 200	7 - 200	40 - 100	30 - 100	n.d.
		Valore tipico	10	10	100	50	70	50	

<sup>1)</sup>Il contenuto tipico di azoto varia a seconda della specie legnosa: abete rosso 0,1, abete bianco 0,17, faggio 0,22 [41]. n.d. = non disponibile.

Il contenuto di **acqua** è il parametro più importante in termini di qualità del combustibile. Il contenuto d'acqua è un fattore essenziale per la conservabilità e la stabilità del combustibile finito e la necessità di essiccazione (contenuto d'acqua target < 30 - 35 %) o, nel migliore dei casi, di miscelazione. Influenza direttamente il potere calorifico, poiché l'acqua contenuta nel combustibile deve prima essere evaporata durante la combustione utilizzando energia termica. Senza una tecnologia di condensazione, questa energia termica non può essere recuperata condensando il vapore. Inoltre, il contenuto di acqua ha un'influenza sulle emissioni di CO e di polvere rilasciate durante la combustione, così come l'accumulo di cenere. La massa dell'acqua stessa e gli effetti di restringimento durante l'essiccazione influenzano la densità apparente del combustibile.

Il tipico contenuto d'acqua del legno tondo appena tagliato (durame e alborno) e del cippato fresco è del 45 - 55 %, con materiale proveniente da SRC spesso > 55 %. Attraverso l'essiccazione tecnica o naturale, si possono ottenere contenuti d'acqua significativamente più bassi del 15 - 35 %. Il cippato con un contenuto d'acqua < 15 % può essere prodotto di solito solo attraverso l'essiccazione tecnica. Un combustibile particolarmente secco, invece, sono i pellet di legno, che hanno un contenuto d'acqua standard < 10 %. A seconda della tecnologia di combustione utilizzata, determinati contenuti d'acqua nel combustibile non devono essere superati (capitolo 5). Per le caldaie di piccola e media potenza, i produttori e la legislazione pongono dei requisiti relativamente alti al combustibile e devono essere rispettati gli intervalli di contenuto d'acqua definiti in base alla prova di tipo (ad esempio, per i micro-apparecchi/stufe a pellet < 15-20 %, per gli apparecchi di serie < 35 %). Per gli impianti di riscaldamento (di potenza) più grandi, un funzionamento affidabile è possibile anche con un contenuto d'acqua > 35 % e persino con legna appena tagliata ([35], [42]).

Il **contenuto di ceneri** di un combustibile ha un'influenza sulle emissioni di particelle e sulla formazione di scorie

durante la combustione, nonché sui costi di smaltimento per la quantità totale di ceneri prodotte durante il funzionamento dell'impianto. Un alto contenuto di ceneri facilita l'usura e la corrosione dei componenti dell'impianto. A seconda della sua composizione chimica, la cenere viene riciclata, per esempio, come componente di fertilizzante o come aggregato nella produzione di cemento. Se nessun percorso di riciclaggio del materiale è possibile (ad esempio a causa di un'eccessiva contaminazione da metalli pesanti), la cenere deve essere smaltita in discariche adeguate [42].

Come mostrato nella Tabella 4.9, il contenuto di ceneri varia tra lo 0,1 e il 5 % a seconda del tipo di legno e del contenuto di corteccia. La norma DIN EN ISO 17225-4 definisce quattro classi per il cippato (da A1 a B2) con contenuti di ceneri ammessi da < 1 % a < 3 %. Contenuti di ceneri più alti sono di solito dovuti a proporzioni più alte di corteccia e aghi. Per esempio, più piccolo è il diametro di un albero o più alta è la proporzione di ramoscelli, più alto è il rapporto tra corteccia e legno. Un altro fattore di influenza è la contaminazione con materiali inorganici (per esempio terra o pietre).

I **valori calorifici** tipici per la corteccia o il legno (base di riferimento anidra) sono tra 17,1 e 21,3 MJ/kg (Tabella 4.9), con la corteccia che copre una gamma di variazione molto più ampia. Il potere calorifico delle conifere tende ad essere più alto di quello delle latifoglie a causa del contenuto di C leggermente più alto. Tuttavia, questo aspetto è di secondaria importanza rispetto ad altri parametri. A causa delle maggiori concentrazioni di elementi minori e in traccia che formano la cenere, il contenuto di cenere della corteccia è di solito significativamente più alto che nel legno associato. Ne consegue che il potere calorifico della corteccia può essere sia superiore che inferiore al potere calorifico del legno corrispondente [19]. Contenuti di ceneri molto alti, per esempio a causa di impurità minerali o della degradazione della lignina da parte di funghi speciali, riducono il potere calorifico [42].

La **dimensione delle particelle** influenza significativamente le proprietà di flusso e il comportamento di stoccaggio ed essiccazione del combustibile. La dimensione delle particelle è significativamente influenzata dalle fasi di produzione e preparazione, ma dipende anche dal tipo di legno e dall'assortimento selezionato. Le particelle piccole o un'alta percentuale di materiale fine possono limitare la ventilazione e portare a emissioni di polvere durante il riempimento del bunker. Inoltre, un'alta percentuale di materiale fine ha un'influenza negativa sulla qualità della combustione. L'alimentazione d'aria costante nel letto di combustibile è impedita, con la conseguente formazione di punti caldi. Questo porta a una maggiore usura nella zona della griglia e dell'argilla refrattaria, nonché a un aumento del contenuto di polvere a causa di tracce di sostanze nei gas di scarico, che non sono più incorporate nella cenere. Le particelle grandi, troppo lunghe o sfrangiate (= non a spigoli vivi) facilitano l'intasamento dei sistemi di trasporto come le coclee di trasporto e possono causare la formazione di ponti nella zona di stoccaggio. Il cippato di alta qualità è relativamente omogeneo, ha una bassa percentuale di particelle fini, una lunghezza massima ridotta e spigoli vivi [35].

Il contenuto estraneo è la percentuale di materiale estraneo nel combustibile. Oltre a parti metalliche, pietre e rifiuti (materiale estraneo grossolano), questa categoria

include in particolare humus aderente e terra minerale (materiale estraneo fine). Se il materiale estraneo grossolano viene involontariamente tritato insieme al combustibile, la cippatrice stessa, i componenti del sistema di trasporto o il sistema di riscaldamento possono essere danneggiati, a volte considerevolmente, dal materiale estraneo. Il terreno aderente porta a una maggiore usura delle lame della cippatrice e aumenta il contenuto di cenere. Durante la combustione nell'impianto di riscaldamento (potenza), un aumento del contenuto di cenere a causa di sostanze estranee, un alterato comportamento di fusione della cenere ed eventualmente un aumento del contenuto di metalli pesanti nel combustibile o nella cenere portano a maggiori costi di smaltimento, corrosione e scorificazione dei componenti dell'impianto [42].

Per poter prendere in considerazione nel miglior modo possibile le diverse composizioni dei combustibili e le proprietà di combustione che ne derivano nella scelta della tecnologia di combustione e dei fumi, QM Holzheizwerke per gli impianti termici a legna ha elaborato una classificazione dei combustibili (vedi Tabella 4.10 e Tabella 4.11).

Tabella 4.10 Parte I - Classificazione dei combustibili e delle dimensioni delle particelle di QM per impianti DI RISCALDAMENTO a biomassa basati sulle specifiche secondo EN ISO 17225-1, la classificazione delle dimensioni delle particelle è stata integrata con le classi S di EN ISO 17225-4.

Combustibili	Designazione breve	Dimensione delle particelle	Contenuto d'acqua	Contenuto di azoto	Contenuto di fibre <	Contenuto di cenere	Contenuto energetico	
		P	M	N1 <sup>1)</sup>	F	A		
Cippato di qualità da residui forestali (tondo) <sup>1) 9)</sup> e residui industriali (IS) <sup>1)</sup>	fine WS-P16S-M20 IS-P16S-M20	16S	15 - 20	0.1 - 0.5 (0.2)	F05	A1.0	Legno dolce (WH): Legno duro (HH):	700 - 900 1,000 - 1,200
	ruvido WS-P31S-M20 IS-P31S-M20	31S	15 - 20	0.1 - 0.5 (0.2)	F05	A1.0	WH: HH:	630 - 850 950 - 1,150
Cippato da residui forestali (WS) <sup>1)</sup> e residui industriali (IS) <sup>1) 2)</sup>	WS-P31S-M35 IS-P31S-M35	31S	20 - 35	0.1 - 0.5 (0.2)	F10	A3.0	WH: HH:	600 - 800 900 - 1,100
	WS-P31S-M50 IS-P31S-M50	31S	30 - 50	0.1 - 0.5 (0.2)	F10	A3.0	WH: HH:	550 - 750 850 - 1,050
	WS-P31S-M55+ IS-P31S-M55+	31S	30 - 60	0.1 - 0.5 (0.2)	F10	A3.0	WH: HH:	500 - 700 800 - 1,000
	WS-P45S-M35 IS-P45S-M35	45S	20 - 35	0.1 - 0.5 (0.2)	F10	A3.0	WH: HH:	550 - 750 850 - 1,050
	WS-P45S-M50 IS-P45S-M50	45S	30 - 50	0.1 - 0.5 (0.2)	F10	A3.0	WH: HH:	500 - 700 800 - 1,000
	WS-P45S-M55+ IS-P45S-M55+	45S	30 - 60	0.1 - 0.5 (0.2)	F10	A3.0	WH: HH:	450 - 650 750 - 950
	WS-P63-M50 IS-P63-M50	63	30 - 50	0.1 - 0.5 (0.2)	F10	A3.0	WH: HH:	450 - 650 750 - 950
	WS-P63-M55+ IS-P63-M55+	63	30 - 60	0.1 - 0.5 (0.2)	F10	A3.0	WH: HH:	400 - 600 700 - 900
Pioppo e salice della foresta e del paesaggio	PWW	31S			F10			450 - 700
		45S	30 - 60	0.2 - 0.8 (0.3)	F10	A5.0		400 - 650
		63			F10			350 - 600

Pioppo e salice da aree a rotazione breve	PWK	31	30 - 60	0.5 - 3.0 (0.5)	F25	A10.0		400 - 650
		45						350 - 575
		63						300 - 500
Legno da manutenzione del paesaggio	LH <sup>1)</sup>	31	30 - 60	0.4 - 1.0 (0.5)	F25	A10.0		400 - 800
		45						350 - 750
		63						300 - 700
Residui di diradamento da alberi di conifere e latifoglie Ø <80 mm e legno della corona	DI RISCALDAMENTO	31	30 - 60	0.4 - 1.0 (0.6)	F25	A10.0		WH: 400 - 650
		31						HH: 650 - 900
		45						WH: 350 - 600
		45						HH: 600 - 850
		63						WH: 300 - 550
63	HH: 550 - 800							
Segatura	SP	< 4	35 - 50	0.1 - 0.3 (0.1)	-	A3.0		WH: 450 - 550 HH: 650 - 750
Corteccia frantumata <sup>9)</sup> max. frazione grossolana 5	RZ	45	30 - 65+	0.3 - 0.9 (0.5)	F05	A10.0		WH: 700 - 850
		45			F05			HH: 950 - 1,150
		63			F05			WH: 650 - 800
		63			F05			HH: 900 - 1,100
Corteccia non frantumata <sup>8)</sup>	Ruz	n.V.	30 - 65+	0.3 - 0.9 (0.5)	F05	A10.0		-
Legno residuo della lavorazione del legno <sup>10)</sup>	RHH	n.V.	n.V.	n.V.	n.V.	n.V.		-
Rifiuti di legno <sup>4) 10)</sup>	AH	45	< 30	0.5 - 1.5 (0.8) <sup>12)</sup>	F10	A10.0		550 - 750
		63			F10			500 - 700
Pellets <sup>5)</sup>	PEL	n.V.	-	-	-	-		-

Tabella 4.11 Parte II - Classificazione dei combustibili e delle dimensioni delle particelle di QM per gli impianti termici a biomassa basati sulle specifiche secondo EN ISO 17225-1, la classificazione delle dimensioni delle particelle è stata integrata con le classi S di EN ISO 17225-4.

La classificazione è basata per quanto possibile sulla norma sui carburanti ISO 17225, le deviazioni sono menzionate.

- Non deve contenere pioppo e salice, a meno che non sia stato concordato contrattualmente; contenuto di corteccia aderente al cippato massimo il 20% anidro in peso.
- Secondo CEN/TS 14588. Cippato prodotto come sottoprodotto dell'industria di lavorazione del legno, con o senza corteccia. In Svizzera, solo il cippato non trattato da residui di segheria è considerato come cippato da residui industriali (IS).
- La classificazione del contenuto d'acqua non è conforme alla norma sui carburanti ISO 17225.
- DE: Rifiuti di legno categoria A I e A II; AT: Legno di scarto concetto di legno Q3 e Q4; CH: Il legno di scarto non è considerato come combustibile da legna (Ordinanza sulla lotta contro l'inquinamento atmosferico: Allegato 5, numero 3, paragrafo 2, lettera a)
- Rispettare gli standard dei pellet secondo ISO 17225-2
- La gamma di variazioni è determinata da diverse densità di massa:
  - Sminuzzare i tronchi da un mucchio porta a una densità di massa più alta che sminuzzare alberi interi con rami
  - La distribuzione delle dimensioni del cippato nella proporzione principale del 60% influenza la densità apparente (una maggiore proporzione di cippato fine aumenta la densità apparente)
  - Il processo di preparazione del combustibile, cippatura o sminuzzamento, ha una grande influenza sulla densità apparente (il combustibile sminuzzato ha una densità apparente più bassa del combustibile sminuzzato). Il combustibile sminuzzato ha una densità di massa inferiore a quella del combustibile sminuzzato).
- con aghi, foglie e rametti
- I valori numerici (classe P) della massa si riferiscono alle dimensioni delle particelle (frazione di massa di almeno il 95 %) che passano attraverso le dimensioni specificate dell'apertura del setaccio delle aperture rotonde (ISO 17827-1). Se un campione soddisfa i criteri di più di una classe, deve essere assegnato alla classe più bassa possibile. La frazione grossolana deve essere ≤ 5 % in peso alla consegna.
- Per il cippato di qualità (grossolano e fine), devono essere osservati anche i requisiti più severi delle norme specifiche del paese.
- Per il legno residuo della lavorazione del legno RHH e il legno di scarto AH, la composizione chimica deve essere determinata sulla base di analisi del combustibile secondo la norma EN ISO 17225-1 tabella 5b, pagina 24 e allegato B, tabella B.1, pagina 43. Per il legno di scarto, oltre al contenuto massimo di ceneri, deve essere determinato anche il contenuto estraneo massimo (m. % su base anidra) di sabbia, pietre e vetro.
- Per il contenuto di azoto, una gamma di valori e un valore tipico sono dati tra parentesi. Il valore tipico è importante per la progettazione della denitrificazione.
- Il contenuto di azoto del legno di scarto dipende dalla composizione (proporzione tra legno di scarto naturale e materiale di cartone [MDF, truciolato, compensato, ecc.]) Per il materiale di cartone puro, ci si può aspettare un contenuto massimo di azoto del 6 %.

n.V. : per accordo, da determinare caso per caso

WH: legno dolce (legno dolce: abete rosso, abete, pino, abete di Douglas, larice; legno dolce: acero, ciliegio, ontano)

HH: Hardwood (Legno duro: quercia, faggio, olmo, castagno, frassino, robinia, carpino (hail beech), nocciolo, betulla, noce, alberi da frutta [eccetto ciliegio]).

Il seguente vale per tutti i combustibili:  $H_{U} > 1,5 \text{ kWh/kgdamp}$

Classificazione delle dimensioni delle particelle dei truciolati di legno e del legno triturato grossolano					
Dimensione delle particelle	Quota principale* min. 60 %/95 % <sup>1)</sup>	Quota di materiale fine* < 3,15 mm	Frazione grossolana*	Lunghezza massima delle particelle	Sezione trasversale delle particelle sovradimensionate
P16S	3,15 mm - 16 mm	F15	> 31,5 mm, ≤ 6	≤ 45 mm	< 2 cm <sup>2</sup>
P31S	3,15 mm - 31,5 mm	F10	> 45 mm, ≤ 6 %	≤ 150 mm	< 4 cm <sup>2</sup>

P31	3,15 mm - 31,5 mm	F252 <sup>1)</sup>	> 45 mm, ≤ 6 %	≤ 200 mm	< 4 cm <sup>2</sup>
P45S	3,15 mm - 45 mm	F10	> 63 mm, ≤ 10 %	≤ 200 mm	< 6 cm <sup>2</sup>
P45	3,15 mm - 45 mm	F252 <sup>1)</sup>	> 63 mm, ≤ 10 %	≤ 350 mm	< 6 cm <sup>2</sup>
P63	3,15 mm - 63 mm	<sup>3)</sup>	> 100 mm, ≤ 10	≤ 350 mm	< 8 cm <sup>2</sup>
P100	3,15 mm - 100 mm	<sup>3)</sup>	> 150 mm, ≤ 10 %	≤ 350 mm	< 12 cm <sup>2</sup>

<sup>1)</sup> I valori numerici della massa si riferiscono alle dimensioni delle particelle (frazione di massa di almeno il 60 %) che passano attraverso il setaccio specificato con aperture rotonde (ISO 17827-1). Per la corteccia e la corteccia triturrata, la frazione principale, compresi i fini, deve avere una frazione di massa del 95 %. Per i trucioli di legno e il legno triturrato grossolano per l'uso in caminetti domestici e commerciali di piccole dimensioni, devono essere utilizzate le classi S. Deve essere indicata la classe di proprietà più bassa possibile.

<sup>2)</sup> con aghi, foglie e rametti

<sup>3)</sup> Il contenuto di fini varia a seconda del combustibile

<sup>4)</sup> Raccomandazione in deroga alla norma: Per il trasporto di combustibile e il sistema di alimentazione del combustibile con trasportatori a coclea

\* Dimensione delle particelle in massa % allo stato di consegna

#### 4.5.5 Strategie di approvvigionamento

Le singole fasi di lavorazione per la fornitura di combustibile legnoso comprendono la raccolta del legno (abbattimento, sramatura), la triturazione (cippatura), il trasporto al silo o allo stoccaggio intermedio e, se necessario, lo stoccaggio intermedio, la ricarica e il trasporto. Il costo dipende principalmente dal volume da lavorare e non dal peso. Pertanto, i prezzi per il contenuto energetico del legno di conifere sono di solito circa il 10-15% più alti di quelli del legno duro. La scelta della strategia di approvvigionamento dipende in particolare dalle rispettive condizioni quadro locali (ubicazione e accessibilità, mercato del combustibile e domanda, logistica esistente, società di fornitura di combustibile e infrastrutture, ecc.) e deve essere adattata alle rispettive esigenze.

Se il legno viene trasformato in cippato quando si trova ancora nella foresta (da cataste di legname rotondo o appena tagliato) e trasportato da lì al consumatore, si parla di una **catena di approvvigionamento diretto**. Il fatto che non ci sia uno stoccaggio intermedio rende questa l'opzione di approvvigionamento più conveniente. Tuttavia, richiede una logistica del combustibile pianificata con precisione e affidabile, e si deve prestare attenzione ad assicurare che la sicurezza della fornitura sia garantita anche in condizioni estreme come il tempo invernale e le condizioni delle strade. Inoltre, va notato che il cippato fresco dalla foresta può avere un contenuto di acqua fino al 60%.

In contrasto con la procedura descritta sopra, in una **catena di approvvigionamento indiretto** il legno da energia viene temporaneamente immagazzinato sotto forma di trucioli o legname rotondo in un magazzino o piazzale di stoccaggio direttamente presso l'impianto di riscaldamento o in luoghi esterni dopo che è stato rimosso dalla foresta. Lo stoccaggio temporaneo favorisce una fornitura ininterrotta, consente una maggiore flessibilità nella consegna e nell'acquisto del combustibile, e permette un coordinamento specifico del mix di combustibile utilizzato a seconda delle condizioni operative e della stagione. In particolare ad alta quota, con un accesso limitato alla foresta o all'impianto di riscaldamento in inverno, lo stoccaggio intermedio direttamente presso l'impianto di riscaldamento è necessario per garantire la sicurezza

della fornitura. Durante lo stoccaggio, il combustibile è pre-essiccato e l'alta flessibilità nell'acquisto del combustibile può portare a vantaggi di prezzo. Tuttavia, i costi di approvvigionamento aumentano a causa dei maggiori costi di investimento e di manipolazione. Alcuni combustibili secondo la Tabella 4.10, come il cippato di qualità o i combustibili essiccati e vagliati, di solito possono essere forniti solo attraverso una catena di approvvigionamento indiretto. Questo deve essere preso in considerazione quando si sceglie il combustibile o la caldaia e discusso con il fornitore del combustibile (vedi capitolo 13).

Con una combinazione delle due varianti (**catena di rifornimento mista**), gli impianti di stoccaggio del combustibile intermedio possono essere dimensionati più piccoli e quindi risparmiare sui costi. Allo stesso tempo, è garantita un'elevata sicurezza di approvvigionamento. Se la costruzione di un deposito intermedio è necessaria, si dovrebbe esaminare se, al fine di utilizzare le sinergie, il più grande deposito possibile può essere impostato per rifornire diversi impianti di cottura a legna. Oltre al cippato, anche il legname tondo può essere immagazzinato in una catasta e cippato secondo le necessità.

**Assortimenti misti:** Gli assortimenti con proprietà sfavorevoli possono anche essere usati mescolandoli con qualità superiori. Per esempio, le combinazioni di corteccia con un alto contenuto d'acqua e legno secco residuo o di legno per la manutenzione del paesaggio con una tendenza alla scorificazione e cippato a bassa cenere sono adatte. I combustibili misti sono generalmente convenienti e stanno diventando sempre più importanti. Per garantire un funzionamento senza problemi dell'impianto, le miscele di combustibile consentite devono essere determinate con il produttore della caldaia a seconda dell'utilizzo della caldaia. Il contenuto d'acqua della miscela di combustibile è un criterio particolarmente importante sia per la potenza nominale che per il funzionamento a basso carico (apporto di calore < potenza minima dell'impianto di combustione).

#### 4.6 Determinazione contenuto di acqua

Come metodo standard per la determinazione del **contenuto d'acqua**, viene solitamente utilizzata la misurazione gravimetrica dei combustibili mediante essiccazione a 105 °C secondo la norma DIN EN ISO 18134-1

[43]e DIN EN ISO 18134-2 [44](metodo semplificato). Il contenuto di acqua può essere calcolato attraverso la perdita di massa del combustibile durante l'essiccazione fino a quando il peso è costante. Questo metodo è riconosciuto e preciso, ma richiede anche tempo e lavoro. In pratica, sia le società di fornitura del combustibile che gli operatori degli impianti di riscaldamento hanno spesso bisogno di determinare il contenuto d'acqua il più rapidamente possibile, per esempio, per una fatturazione trasparente durante la compravendita o per valutare la qualità di una consegna. Una varietà di dispositivi di determinazione rapida sono disponibili sul mercato per questo scopo. I dispositivi determinano il contenuto d'acqua del combustibile in modi diversi - gravimetricamente, elettricamente o tramite radiazione infrarossa. Inoltre, il modo in cui la misurazione viene effettuata differisce, per esempio sotto forma di misurazione manuale su campioni estratti o misurazione automatica nel flusso di combustibile. I metodi di misurazione rapida non raggiungono la precisione di una determinazione in un forno di essiccazione. Non sono quindi adatti per scopi di fatturazione. Tuttavia, forniscono valori sufficientemente accurati per la valutazione qualitativa di un lotto di combustibile [45].

Il **contenuto di ceneri** delle biomasse è determinato secondo la norma DIN EN ISO 18122 [46]. In laboratorio, un campione viene riscaldato (bruciato) a 550 °C in un forno a muffola con un tasso di riscaldamento prescritto in un'atmosfera ossidante. Il residuo della combustione viene pesato e il contenuto di ceneri viene calcolato dal rapporto di massa delle ceneri e del combustibile.

Il **potere calorifico** è determinato in laboratorio secondo lo standard EN ISO 18125:2017-08 [22] in cui è previsto che una quantità pesata del campione di analisi di un combustibile venga bruciata in ossigeno ad alta pressione in condizioni specifiche.

## 4.7 Contratto di fornitura di combustibile e fatturazione

### 4.7.1 Contratto di fornitura di combustibile

Il contratto di fornitura del combustibile viene stipulato tra la società di gestione dell'impianto di riscaldamento e la società di fornitura del combustibile e ha lo scopo di garantire la fornitura ininterrotta di combustibili adatti all'impianto di riscaldamento. I punti fondamentali devono essere specificati nel contratto:

- Definizione degli assortimenti di combustibile
- Quantità di consegna e proporzioni degli assortimenti, modalità di consegna
- Prezzo del combustibile, adeguamento del prezzo (indicizzazione) e metodo di fatturazione
- Durata del contratto e condizioni di cancellazione, luogo di giurisdizione

Quando si compra e si vende il combustibile di legno, la quantità di energia scambiata è decisiva. Tuttavia, questo dipende da vari parametri del combustibile (densità,

densità apparente, contenuto di acqua, tipo di legno). A seconda della struttura della fornitura di combustibile (uno o più fornitori) e dell'infrastruttura esistente presso l'impianto di riscaldamento, entrano in gioco diversi metodi di fatturazione (per volume, peso o quantità di calore generato).

### 4.7.2 Fatturazione in base al volume

La fatturazione per volume è ampiamente utilizzata. Il prezzo per una consegna è determinato sulla base di valori guida per il contenuto di energia per metro cubo sfuso per diversi assortimenti di legno in funzione del contenuto di acqua. Tuttavia, questo è il metodo più impreciso, poiché i contenuti energetici dei combustibili consegnati possono variare notevolmente a causa delle fluttuazioni della densità (solida), della densità apparente e del contenuto d'acqua. Per esempio, un metro cubo di cippato di faggio contiene quasi il 50% di energia in più di un metro cubo di cippato di abete rosso. Un importante criterio di differenziazione quando si fattura in base al volume è quindi la diversa densità del legno duro e del legno dolce. Le conifere come l'abete rosso, l'abete, il pino, l'abete di Douglas, il larice (generalmente conifere) così come il ciliegio e l'ontano hanno un potere calorifico inferiore rispetto alle conifere (generalmente conifere: acero, quercia, faggio, olmo, castagno, frassino, robinia, carpino, nocciolo, betulla, noce, alberi da frutta - tranne il ciliegio).

Tuttavia, la densità apparente del combustibile ha un'influenza ancora maggiore della densità solida fluttuante quando si commercia con il cippato. Questa è determinata essenzialmente dalla dimensione delle particelle, dal contenuto di particelle fini e da influenze esterne come la compattazione dovuta alle vibrazioni durante il trasporto. La norma DIN EN ISO 17225-1 specifica densità di massa per il cippato tra 150 kg/LCM e 450 kg/LCM. Sulla base di questa gamma di variazione, la Figura 4.5 mostra la gamma in cui il contenuto di energia per unità di volume (a seconda del contenuto di acqua del combustibile) può trovarsi, così come le gamme di prezzo per la fatturazione a volume del cippato, sulla base di un prezzo medio esemplare di 30 €/MWh [47]. Una conoscenza insufficiente per quanto riguarda il contenuto d'acqua o la densità del combustibile può facilmente portare a significative deviazioni di prezzo. Pertanto, questo metodo di fatturazione non è raccomandato o è raccomandato solo se i parametri del combustibile sono noti con sufficiente precisione.

Vantaggio della fatturazione a volume:

- Semplice determinazione del volume

Svantaggio della fatturazione per volume:

- Grande incertezza sul contenuto energetico

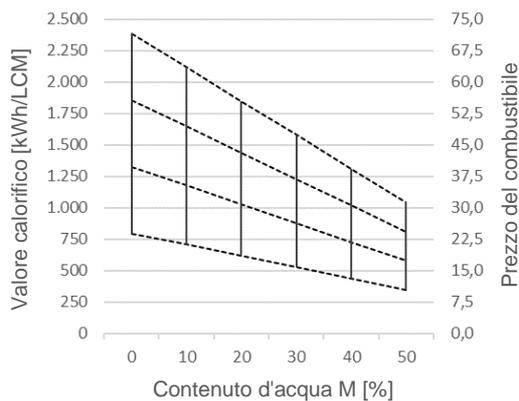


Figura 4.5 Potere calorifico legato al volume e valori guida per i prezzi del combustibile del cippato in funzione del contenuto d'acqua per densità di massa tra 150 kg/rm (in basso) e 450 kg/rm (in alto); base di calcolo 30 €/MWh.

- Necessaria la misurazione del peso e del contenuto d'acqua

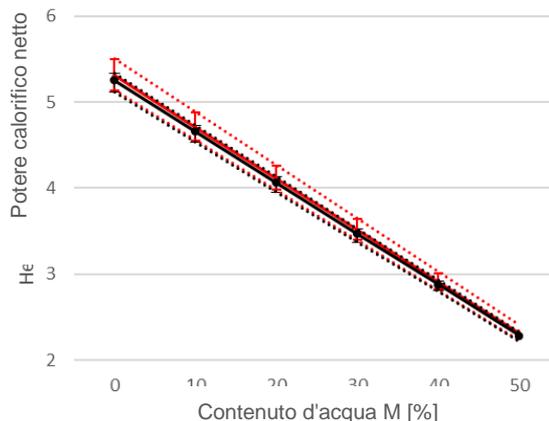


Figura 4.6 Potere calorifico netto legato alla massa del legno dolce (rosso) e del legno duro (nero) in funzione del contenuto di acqua.

### 4.7.3 Fatturazione in base al peso

Nel caso della fatturazione a peso, che è comune per gli impianti più grandi, viene preso in considerazione il contenuto di acqua del combustibile. Il prezzo per una consegna è determinato sulla base del contenuto energetico per tonnellata di combustibile senza acqua. Per esempio, il cippato fresco di bosco con un contenuto di acqua del 50% ha un potere calorifico di 2,3 kWh/kg (Figura 4.6 Potere calorifico netto legato alla massa). Per una consegna di 20 tonnellate, questo corrisponde a una quantità di energia di 46 MWh. Per un prezzo medio di 30 €/MWh, questo risulta in un prezzo di 1.380 € per un carico di 20 tonnellate.

Mentre il contenuto di acqua ha un'influenza considerevole sulla quantità di energia scambiata, i valori calorifici legati alla massa tra le conifere e i legni duri differiscono solo leggermente. A causa del maggior contenuto di resine e lignina, il potere calorifico delle conifere supera leggermente il potere calorifico delle latifoglie (in base alla massa). Come combustibile naturale, tuttavia, questi valori sono soggetti a fluttuazioni naturali (Tabella 4.9, Figura 4.6 Potere calorifico netto legato alla massa).

Il peso viene solitamente determinato pesando il carrello prima e dopo lo scarico. Quando si utilizzano sensori di peso integrati nel camion, il fornitore deve garantire una precisione sufficiente. Per una determinazione rappresentativa del contenuto di acqua di una consegna (capitolo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), dovrebbero essere analizzati diversi campioni o un campione composito rappresentativo.

Vantaggi della fatturazione a peso:

- Indipendente dal tipo di legno e dalla densità apparente
- Alta precisione per quanto riguarda il contenuto energetico

Svantaggio della tariffazione a peso:

### 4.7.4 Fatturazione in base alla quantità di calore generato

La fatturazione in base alla quantità di calore generato richiede un contatore di calore nel circuito primario della caldaia che possa registrare la quantità di calore rilasciato nel sistema. Questo deve essere installato a regola d'arte e secondo le direttive tecniche del contatore di calore e deve essere impeccabile (vedi anche capitolo 7.4.3). Tuttavia, c'è una differenza tra il contenuto energetico del combustibile e la quantità di energia misurata, che è causata dalle perdite del sistema. Di conseguenza, le parti contraenti devono specificare la procedura di fatturazione nel contratto di fornitura. Ad esempio, viene concordato un prezzo del combustibile in € per MWh di calore generato con una determinata efficienza dell'impianto (ad es. 85%). L'efficienza annuale viene determinata utilizzando una formula che tiene conto dell'efficienza della caldaia e delle perdite in standby (capitolo 20.12). Se l'efficienza annuale effettiva si discosta dal valore concordato, il prezzo del combustibile viene adeguato linearmente.

Questo tipo di fatturazione presuppone che il combustibile totale utilizzato (in un circuito di riscaldamento dotato di un contatore di calore) sia acquistato da un'unica società. Con un contratto di fornitura corrispondente, una lettura periodica della quantità di calore prodotta è sufficiente per la fatturazione. Tuttavia, possono essere applicati anche metodi diversi o modificati (ad esempio con criteri di qualità aggiuntivi o l'uso di diverse società di fornitura).

La fatturazione in base alla quantità di calore generato offre un basso rischio per la società di gestione degli impianti di riscaldamento, poiché le perdite dovute alle fluttuazioni del potere calorifico, per esempio a causa della degradazione della sostanza dovuta allo stoccaggio, sono responsabilità del fornitore di combustibile. L'a-

zienda fornitrice di combustibile dovrebbe quindi garantire condizioni di stoccaggio adeguate presso l'impianto o la fornitura just-in-time.

Vantaggi della fatturazione in base alla quantità di calore:

- Indipendente dal contenuto di acqua
- Indipendente dal tipo di legno e dalla densità apparente

Svantaggi della fatturazione secondo la quantità di calore:

- Dipende dal tasso di utilizzo annuale del sistema
- Stima del grado di utilizzo annuale necessario

## 5 Componenti dell'impianto di generazione di calore

### 5.1 Aree di applicazione

Le caldaie a legna automatiche sono offerte in una vasta gamma di prestazioni (Figura 5.1). Lo spettro va dal riscaldamento di una casa unifamiliare alle caldaie per centrali elettriche con più di 100 MW di potenza termica di combustione. Le applicazioni più comuni per gli impianti di riscaldamento a biomassa si trovano nella gamma di potenza media tra 200 kW e 2 MW, dove vengono utilizzati come combustibile sia il cippato proveniente dalla foresta che il legno residuo della lavorazione del legno. I principi di base, le aree di applicazione e i design più comuni dei più importanti tipi di combustione sono descritti di seguito. Il combustibile usato e la tecnologia di combustione sono reciprocamente dipendenti. Pertanto, per la scelta e il funzionamento dei forni a legna automatici, è decisiva la valutazione dell'assortimento del legno secondo i criteri tecnici dell'impianto. Questi includono la dimensione dei pezzi, la proporzione ammessa di sovralonghezze, corteccia e fini, e il contenuto di acqua (capitolo 4). La Tabella 5.1 fornisce una panoramica dei tipi più importanti di sistemi di combustione

del legno, i loro intervalli di potenza abituali e i combustibili. Il capitolo 13 approfondisce la scelta della tecnologia di combustione adatta a seconda del combustibile disponibile.

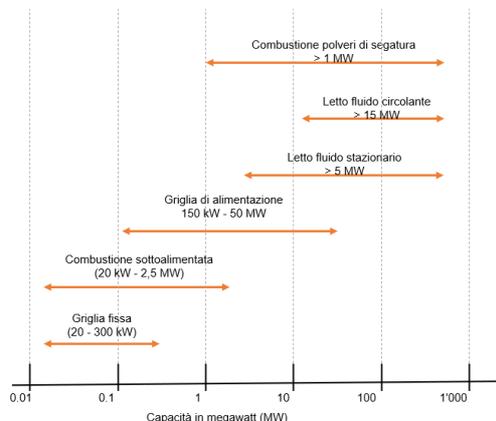


Figura 5.1 Aree di applicazione dei più importanti tipi di sistemi di combustione di biomassa.

Tabella 5.1 Aree di applicazione dei più importanti tipi di sistemi di combustione di biomassa.

Tipo	Gamma di potenza	Combustibili	Contenuto d'acqua [%]	Contenuto di cenere [% wf]
Griglia fissa	20 - 300 kW	Trucioli di legno	10 - 35	
Cottura sottoalimentata	20 kW - 2,5 MW	Trucioli di legno, segatura, pellet, contenuto massimo di polvere 50%.	5 - 50*	< 2
Griglia di alimentazione	150 kW - 50 MW	Pellet, cippato e la maggior parte delle biomasse, contenuto massimo di polvere 50%.	5 - 60	< 50
Letto fluido stazionario	da 5 MW da 20 MW	Biomasse diverse Diametro < 10 mm Diametro < 80 mm	5 - 60	< 10
Letto fluido circolante	15 MW - 100 MW	Biomasse diverse Diametro < 10 mm	5 - 60	< 10
Cottura della polvere	1 MW - 100 MW	Biomasse diverse Diametro < 5 mm	di solito < 20	< 2

\* Per lo più fino a M35, con una zona di burnout non raffreddata sufficientemente lunga fino a M50 possibile.

## 5.2 Fondamenti della combustione

Durante la combustione negli impianti energetici, l'energia legata al combustibile deve essere completamente rilasciata. Questo richiede una combustione completa. Gli impianti di combustione dovrebbero quindi essere progettati e disposti in modo tale che la combustione completa sia possibile anche con qualità di combustibile variabili. È poi compito dell'operatore dell'impianto far funzionare l'impianto in modo che la combustione completa sia realizzata in modo che i componenti organici del combustibile siano convertiti nel modo più efficiente possibile in  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ . Il processo di combustione dei combustibili solidi può essere suddiviso nei seguenti sottoprocessi (Figura 5.2):

- Riscaldamento e asciugatura
- Degassificazione e pirolisi
- Combustione dei componenti volatili del combustibile
- Combustione dei componenti solidi del combustibile

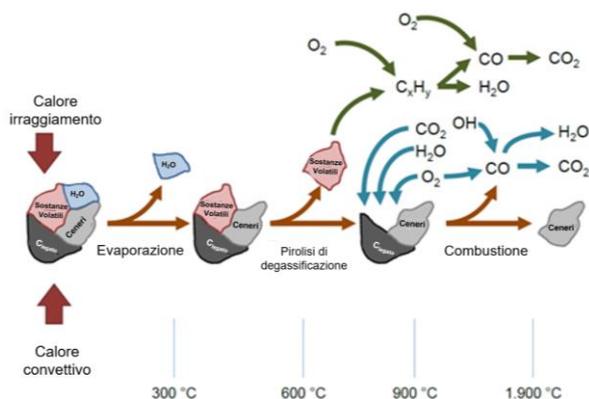


Figura 5.2 Diagramma semplificato del processo di combustione.

A seconda del tipo di combustione, i sottoprocessi mostrati non devono necessariamente avvenire uno dopo l'altro, ma possono anche sovrapporsi in una certa misura. All'inizio del processo di combustione, l'acqua contenuta nel combustibile viene evaporata, cioè il combustibile viene riscaldato e asciugato nel processo. Durante l'ulteriore riscaldamento del combustibile, inizia la pirolisi, per cui i componenti altamente volatili del combustibile escono e passano alla fase gassosa. Questo produce una miscela di gas combustibile, in modo che la combustione inizia quando si raggiunge la temperatura di accensione appropriata. Nel corso successivo, i restanti componenti solidi del combustibile reagiscono anche con l'ossigeno disponibile dall'aria di combustione. In questa trasformazione chimica dei componenti del combustibile organico, si distingue tra reazioni omogenee (entrambi i partner di reazione gassosi) ed eterogenee (reazione tra fase solida e gassosa). La combustione eterogenea dei combustibili solidi è molto più complessa e impegnativa della combustione omogenea dei combustibili gassosi, come il gas naturale.

## 5.3 Tecnologie di combustione

### 5.3.1 Panoramica

Di seguito, vengono spiegate le tecnologie di combustione più comuni negli impianti di riscaldamento (potenza) a biomassa, che possono essere fondamentalmente suddivise in sistemi di combustione a letto fisso, a letto fluido e a polvere (Figura 5.3).

Il calore richiesto per l'essiccazione e la degassificazione viene fornito in modi diversi durante il funzionamento del riscaldamento, a seconda del tipo di combustione. Nella combustione a polvere, le particelle di combustibile in entrata vengono messe in contatto con i gas di scarico caldi. Nei forni a letto fluido, il calore viene trasferito dalle particelle solide nel letto fluido. In questi casi, il trasferimento di calore è convettivo. Nei sistemi di cottura a griglia, il calore è fornito principalmente dalla radiazione emessa dalle pareti circostanti della camera di combustione. All'avvio del forno, per l'accensione del combustibile vengono utilizzati soffiatori elettrici ad aria calda (combustibili con basso contenuto d'acqua < 35 %, impianti nella gamma di potenza inferiore fino a 900 kW) o bruciatori pilota a gas (gamma di potenza superiore > 900 kW, umidità massima del combustibile circa 55 %).

Una distinzione fondamentale deve essere fatta tra le unità di serie standard e le caldaie industriali adattate individualmente. Con il crescente deterioramento della qualità del combustibile, cioè materiale più umido, pezzi più irregolari e più grossolani, intasamento con aghi, corteccia e foglie, così come eventualmente un più alto contenuto di sostanze estranee, si deve usare una tecnologia più robusta e più complessa. Questa tecnologia complessa è tecnicamente fattibile per gli impianti più piccoli in misura limitata. Inoltre, la tecnologia necessaria porta a maggiori costi di investimento specifici (€/kW di capacità installata).

Mentre i costi di investimento specifici per le unità di serie sono relativamente bassi, questi impianti richiedono un'alta qualità del combustibile. Le unità di serie standard sono adatte a combustibili secchi, per esempio cippato con contenuto d'acqua < 35%, e sono solitamente disponibili fino a una capacità di 500 kW, raramente fino a 1.500 kW. Il combustibile secco, a flusso libero, può essere trasportato alla caldaia con sistemi di scarico da silo a basso costo. Tali dispositivi non sono adatti per il cippato fresco di bosco. L'esperienza ha dimostrato che c'è il rischio di incendi al camino, il superamento dei limiti di emissione, l'aumento della sporcizia e dell'usura dell'impianto, il disturbo da odore e i problemi di scarico del cippato dal silo se il combustibile è troppo umido. I sistemi di combustione per cippato fresco di bosco si sono sviluppati ulteriormente anche nella gamma di potenza bassa > 150 kW. Anche se i costi di investimento specifici per la caldaia sono più alti qui (fino al 50% per la stessa potenza della caldaia), queste caldaie industriali hanno una flessibilità di combustibile significativamente maggiore. I costi di capitale più alti possono es-

sere compensati da costi di combustibile più bassi, specialmente in combinazione con lunghi tempi di funzionamento.

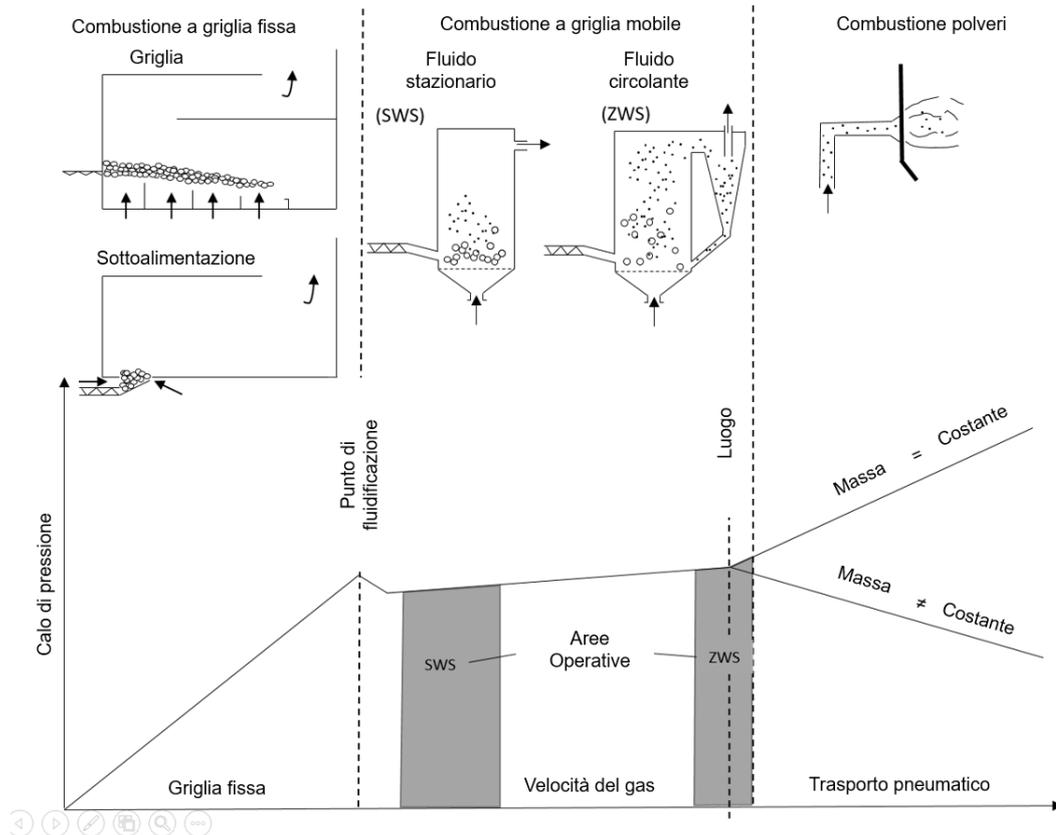


Figura 5.3 Panoramica delle tecnologie di combustione. Classificazione secondo la portata del gas combustibile attraverso l'impianto e il tipo di trasporto del combustibile.

### 5.3.2 Sistemi di cottura a letto fisso

Nella **cottura sottoalimentata** (Figura 5.4), il combustibile è alimentato dal basso in un trogolo di fuoco (storta) per mezzo di una coclea. Lì, il combustibile viene asciugato e degassato e il carbone brucia. Per assicurare la completa ossidazione dei gas combustibili, l'aria secondaria viene aggiunta e mescolata con i gas di combustione caldi prima che questi entrino nella camera calda del postbruciatore. Nello scambiatore di calore a valle, il calore viene rilasciato dai gas di combustione caldi e il gas di combustione viene pulito. La cenere della griglia di solito deve essere rimossa manualmente, ma ci sono anche forni sul mercato con sistemi di rimozione automatica che hanno una griglia di postcombustione mobile e una vite di rimozione. La potenza nominale della caldaia dei sistemi di combustione sottoalimentati è limitata fino a circa  $2,5 \text{ MW}_{th}$ . Sono particolarmente adatti per combustibili legnosi a grana fine come segatura, pellet o cippato (granulometria massima 50 mm) con un contenuto di acqua del 5 - 50%. La struttura della camera di combustione e del postcombustore deve essere adattata al contenuto d'acqua. Con combustibili ricchi di cenere, sorgono problemi per quanto riguarda lo scarico della cenere dalla camera di combustione calda. Inoltre, gli strati

di cenere sinterizzata o fusa sulla superficie del combustibile possono bloccare il rilascio dei gas di combustione dal letto di braci per un breve periodo, causando condizioni di combustione instabili ad ogni passaggio dei gas di combustione. I costi di investimento dei forni sottoalimentati sono inferiori a quelli dei forni a griglia. L'apporto continuo di combustibile e un letto di combustibile stabile e silenzioso permettono un controllo semplice e buono della produzione e un funzionamento a basso carico di emissioni. Tuttavia, questo tipo di costruzione viene utilizzato meno frequentemente.

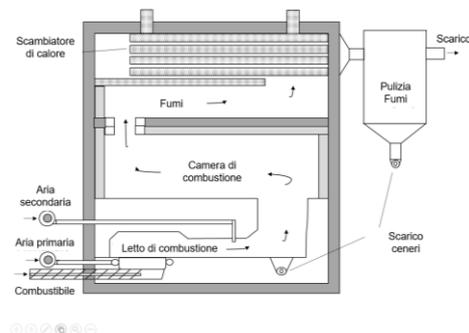


Figura 5.4 Principio di funzionamento di un sistema di cottura sottoalimentato.

Negli impianti di cottura del legno completamente automatici, vengono spesso utilizzati sistemi di cottura a griglia con **griglie inclinabili** (Figura 5.5). Questi possono essere composti da uno a tre elementi rotanti. Non c'è un movimento attivo del combustibile sulla griglia. Il combustibile viene spinto sulla griglia in stato chiuso (1), che forma la base per un letto di braci silenzioso. Dopo un certo periodo di funzionamento (ad esempio 8 ore), l'alimentazione del combustibile viene interrotta. Poi l'intera griglia o un elemento di essa viene inclinata di lato e aperta (2). La cenere cade verso il basso. Una zona di incandescenza residua rimane sull'area della griglia che non è stata inclinata. Questo risparmia energia per la riaccensione dopo la chiusura della griglia. Una griglia inclinabile con due elementi è chiamata anche griglia a gradini. L'apertura di entrambi gli elementi permette una pulizia completa della camera di combustione.

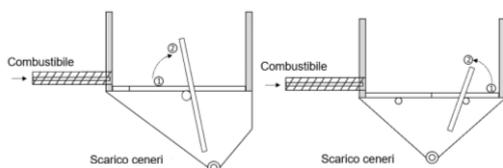


Figura 5.5 Principio di funzionamento del caricamento del combustibile e della rimozione della cenere per la griglia inclinata (sinistra) o la griglia del frantoio a gradini (destra); (1) posizione chiusa, (2) posizione aperta.

In un **sistema di combustione a griglia di alimentazione** (Figura 5.6), il combustibile viene spinto orizzontalmente sulla griglia (trasportatore a coclea o inserto idraulico) e trasportato ulteriormente attraverso la camera di combustione dal movimento degli elementi della griglia. La rimozione della cenere avviene alla fine della griglia. Una parte dell'aria di combustione viene fornita come aria primaria attraverso la griglia, che può essere divisa in diverse zone. Nella prima zona avviene l'essiccazione del combustibile, seguita dalla degassificazione nella zona centrale (questa è la zona di combustione principale) e dalla combustione del carbone nell'ultima zona. Un'alimentazione d'aria primaria controllata a zone attraverso la griglia permette la regolazione del comportamento di combustione del combustibile, il funzionamento continuo a carico parziale e l'impostazione di un'atmosfera di riduzione nella zona di combustione primaria. L'aria secondaria viene miscelata sopra la griglia o, più vantaggiosamente per la riduzione di  $\text{NO}_x$ , con separazione spaziale nella zona di combustione secondaria con i gas combustibili per la combustione nella camera di combustione successiva.

La griglia svolge le funzioni di trasporto del combustibile e di accensione e circolazione per omogeneizzare il letto di combustibile e migliorare il passaggio dell'aria. Per assicurare un'alimentazione uniforme di aria primaria alle varie zone della griglia, è necessario avere una distribuzione del combustibile il più omogenea possibile sulla griglia. Pertanto, una corretta regolazione della velocità di alimentazione dei singoli elementi della griglia è fondamentale per un funzionamento efficiente, al fine di garantire un movimento uniforme e lento della griglia.

Un'occupazione disomogenea può portare alla formazione di scorie, al vortice di particelle incombuste e a un alto contenuto di ceneri volanti. Questo richiede un surplus d'aria maggiore per ottenere una combustione completa (striature). Frequenze di movimento eccessive degli elementi della griglia portano a carbonio incombusto nella cenere o a un'occupazione insufficiente della griglia da parte del combustibile. Le barriere di luce infrarossa distribuite sulle varie zone della griglia sono utilizzate per controllare l'altezza delle braci e regolare la velocità di alimentazione.

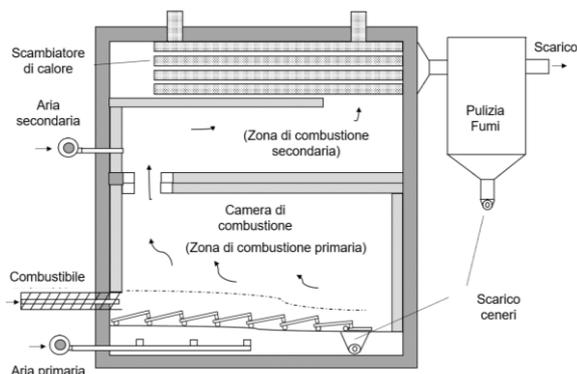


Figura 5.6 Principio di funzionamento di un sistema a griglia di alimentazione.

I sistemi di cottura a griglia sono adatti a combustibili con un alto contenuto di ceneri, una grumosità variabile e un alto contenuto di acqua. Parte dell'energia rilasciata durante la combustione è necessaria per far evaporare l'acqua contenuta nel combustibile. Una copertura di radiazione sopra il combustibile assicura un'alta temperatura di degassificazione. Per l'utilizzo di combustibili con un contenuto d'acqua > 50 %, il forno deve avere una canna fumaria non raffreddata. I forni a griglia sono realizzati principalmente secondo il principio del controcorrente. Questo permette un ricircolo mirato dei fumi. Nel caso di combustibili con un alto contenuto d'acqua, i gas di combustione caldi vengono anche reintrodotti sulla griglia coperta da combustibile fresco, in modo che la pre-essiccazione del combustibile avvenga nella prima zona della griglia. In questo modo si possono usare combustibili con un contenuto d'acqua fino al 60 %. Inoltre, si distinguono altri due tipi di geometrie di camere di combustione sulla base della direzione del movimento del combustibile e dei gas: co-corrente e media-corrente (Figura 5.7).

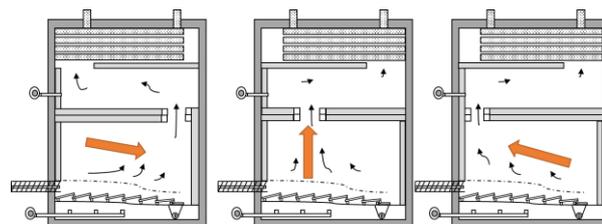


Figura 5.7 Principi di costruzione dei forni a griglia; corrente continua (sinistra), corrente media (centro) e controcorrente (destra).

Con l'aiuto di ventilatori, l'aria di combustione primaria viene fornita dal basso attraverso la griglia e il letto di combustibile e l'aria secondaria nella zona di post-combustione. L'alimentazione d'aria nei vari punti è supportata da un ventilatore di gas di scarico, che assicura una pressione negativa nell'intero sistema. Una grumosità omogenea del cippato con una bassa percentuale di fini è importante per un'alimentazione d'aria uniforme e una combustione a basse emissioni. Negli impianti termici a biomassa, le griglie mobili inclinate e orizzontali sono le più comuni. La griglia è composta da elementi alternati di griglia fissa e mobile. Il combustibile viene trasportato muovendo periodicamente gli elementi mobili della griglia avanti e indietro. Questo mescola le particelle di combustibile incombusto e bruciato, rinnova la superficie del letto di combustibile e ottiene una copertura omogenea della griglia. La griglia mobile orizzontale ha elementi di griglia inclinati. Il loro movimento porta ad una copertura molto omogenea della griglia e previene ampiamente la formazione di scorie a causa del surriscaldamento locale. Un vantaggio rispetto alla griglia mobile inclinata è il design più compatto.

Per i combustibili con un basso punto di fusione delle ceneri e per i combustibili molto secchi, il raffreddamento della griglia (con acqua o aria) è spesso necessario. Un altro mezzo per controllare la temperatura della camera di combustione o la temperatura del letto di combustibile sulla griglia è il ricircolo dei gas di scarico. Per evitare la formazione di scorie nel letto di combustibile, si dovrebbe considerare l'uso del ricircolo primario dei gas di scarico. In questo caso, una parte del flusso di gas di scarico ricco di CO e povero di ossigeno viene alimentato nel letto di combustibile insieme all'aria di combustione. Il rapporto di miscelazione è determinato dal rapporto di aria di combustione sub-stoichiometrico desiderato (carenza d'aria). Il surriscaldamento nella camera di combustione, che causa la formazione di scorie e un'elevata usura del rivestimento della camera di combustione, può essere impedito dal ricircolo secondario dei fumi. In questo processo, una parte del flusso di gas di scarico ricco di CO e povero di ossigeno viene alimentato nella camera di combustione separatamente o insieme all'aria secondaria. La temperatura del letto di combustibile o della zona di combustione può così essere abbassata fino a 200 K, riducendo la manutenzione e l'assistenza.

### 5.3.3 Combustione a letto fluido

In un sistema di combustione a letto fluido, non c'è un letto di combustibile fisso. Il combustibile, insieme al materiale del letto caldo, un materiale inerte granulare, di solito sabbia e cenere, viene fluidificato dall'aria primaria in rapido afflusso (di solito con una componente di gas di ricircolo). Le particelle sono quindi in uno stato fluidizzato. Il materiale del letto svolge la funzione di trasferimento di calore. Assorbe il calore di combustione rilasciato e lo rilascia nuovamente in tutto il letto fluidizzato. La buona miscelazione e la distribuzione molto omogenea della temperatura creano buone condizioni per la conversione termica del combustibile. A causa delle alte

velocità dell'aria, c'è una maggiore caduta di pressione nel letto fluido, che richiede una maggiore potenza delle soffianti utilizzate (circa 100 mbar in più rispetto alla cottura a griglia). Durante l'avvio della fornace, il materiale del letto deve essere prima riscaldato a circa 600 °C di solito con l'aiuto di un bruciatore a gas o a olio prima che il combustibile possa essere aggiunto alla camera di combustione.

I forni a letto fluido sono adatti a combustibili con diversi contenuti di acqua e ceneri. La temperatura di combustione deve essere mantenuta al di sotto della temperatura di rammollimento delle ceneri dipendente dal combustibile, poiché la tendenza alla scorificazione, alla corrosione e all'agglomerazione del materiale del letto aumenta con l'aumento della temperatura. Per separare lo zolfo e il cloro, è adatto introdurre additivi (per esempio il calcare) direttamente nella camera di combustione. In questo modo, il rilascio di inquinanti come SO<sub>x</sub> composti alogeni può essere evitato senza grandi spese per le attrezzature. A causa delle temperature di combustione relativamente basse, praticamente non si forma NO termico. La formazione di NO<sub>x</sub> dall'azoto contenuto nel combustibile può essere controllata da un basso eccesso di aria (air staging) [48]. I sistemi di combustione a letto fluido sono quindi adatti per l'utilizzo energetico dei residui biogenici.

Si fa una distinzione tra forni a letto fluido stazionari e circolanti. A velocità di gas da 1 a 2 m/s, il materiale del letto forma un **letto fluido stazionario**. Sopra questo strato, il combustibile viene alimentato nella camera di combustione, cade sul letto fluido e vi degassa. L'ossidazione completa dei gas combustibili rilasciati nel processo avviene nello spazio libero sopra con l'aggiunta di aria secondaria. Non è richiesta una preparazione speciale del combustibile; sono sufficienti granulometrie < 10 mm. A causa delle dimensioni del letto, questa tecnologia è adatta per impianti fino a 80 MW. A velocità di gas più elevate (da 5 a 10 m/s), il materiale del letto si scarica sempre più dal letto fluido. Dopo essere uscito dalla camera di combustione, viene nuovamente separato e ricircolato (**letto fluido circolante**, Figura 5.8). Rispetto al letto fluido stazionario, questa tecnologia offre il vantaggio che i solidi sono mescolati più intensamente quando si aggiungono additivi, il che riduce il consumo di additivi.

Per ragioni economiche, il letto fluido circolante in particolare viene utilizzato solo a partire da una dimensione dell'impianto di 30 MW.

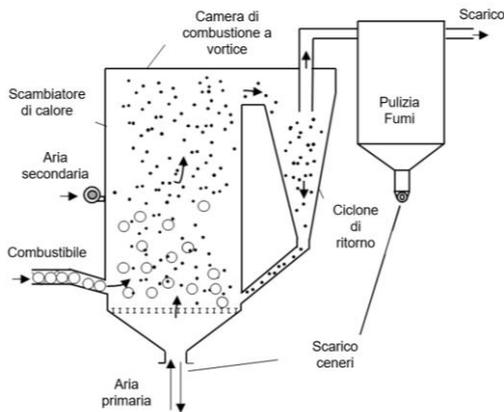


Figura 5.8 Principio di funzionamento di un sistema di combustione a letto fluido circolante.

### 5.3.4 Combustione della polvere di segatura

I combustibili con un contenuto di polvere > 50 %, come tipicamente prodotto nell'industria di lavorazione del legno, non sono più adatti per l'uso in un sistema di riscaldamento a sottoalimentazione o a griglia. Questo richiederebbe una lavorazione tramite bricchettatura o pelletizzazione (capitolo 4.5). Il combustibile può anche essere usato direttamente in un sistema di cottura a polvere. Questa tecnologia di combustione può essere combinata con altre (ad esempio un sistema di cottura a griglia o a letto fluido) e consente la messa in scena del combustibile (capitolo 5.6).

Nei sistemi di combustione a iniezione o a polvere, il combustibile polveroso (dimensione massima delle particelle da 10 a 20 mm, contenuto d'acqua < 20 %) viene introdotto pneumaticamente nella camera di combustione. In questo processo, l'aria di trasporto agisce come aria primaria. Le particelle di combustibile iniziano a degassare immediatamente dopo l'ingresso nel forno. La combustione dei componenti volatili avviene con l'aggiunta di aria secondaria e terziaria.

Un sistema di combustione a polvere è spesso progettato nella forma di un bruciatore a vortice (Figura 5.9). Qui, i getti d'aria primaria, secondaria e terziaria sono soffiati concentricamente attraverso ugelli anulari nella camera di combustione. Il flusso d'aria primaria e l'ugello del combustibile si trovano al centro della fiamma; qui si forma una zona di combustione primaria. Verso l'esterno, l'aria è ottenuta da flussi d'aria secondaria e terziaria più veloci, che aspirano i gas di scarico e li ossidano mentre procedono (Figura 5.10).

Grazie alla miscelazione favorevole del combustibile e dell'aria e alla piccola dimensione dei grani del combustibile, si ottiene un'alta qualità di combustione con basse emissioni di CO (combustione completa). L'alimentazione di combustibile è regolabile in continuo fino a un carico parziale di circa il 25 % del carico nominale senza alcuna influenza significativa sulle caratteristiche

della combustione. Un altro vantaggio di questa tecnologia è rappresentato dai bassi valori di NO<sub>x</sub> grazie all'aria di stazionamento e al basso eccesso d'aria richiesto. A causa dell'alta temperatura di combustione e quindi dell'alta densità di energia sulle pareti della camera di combustione, dovrebbe essere prevista la possibilità di raffreddamento tramite acqua o ricircolo dei fumi. L'alto carico termico e l'erosione possono portare a una rapida usura dell'argilla refrattaria ([49], [50]).

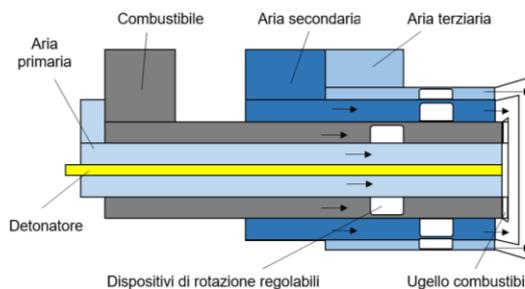


Figura 5.9 Sezione attraverso un bruciatore a vortice.

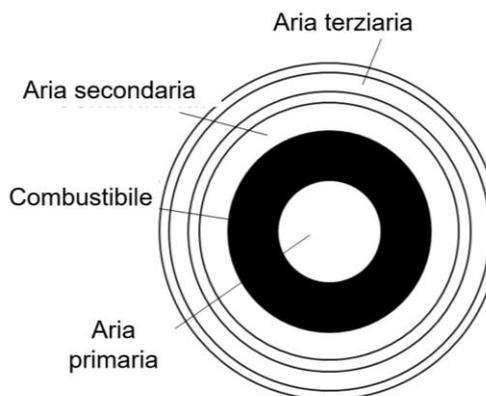


Figura 5.10 Principio della messa in scena dell'aria all'interno della fiamma di un bruciatore a vortice (vista frontale degli ugelli dell'aria e del combustibile).

## 5.4 Trasferimento di calore nella sezione della caldaia

Il calore rilasciato nella camera di combustione viene trasferito tramite uno scambiatore di calore dai gas di scarico caldi a un mezzo di trasferimento del calore circolante, di solito acqua liquida o vapore, negli impianti di cogenerazione o per il calore di processo anche olio termico. Un alto trasferimento di calore è cruciale per un'alta efficienza della caldaia (capitolo 20.11). Per garantire questo, i depositi operativi sulle superfici dello scambiatore di calore devono essere rimossi ad intervalli regolari (vedi capitolo 5.5).

A seconda dei rispettivi requisiti, vengono utilizzati diversi tipi di costruzione, principi di funzionamento (co-corrente, contro-corrente o corrente trasversale) e sovrastrutture (orizzontale o verticale). Nelle caldaie a biomassa, la caldaia a tubi di fuoco (flusso di gas di scarico

all'interno del tubo) e la caldaia a tubi d'acqua (flusso di gas di scarico all'esterno del tubo) sono ampiamente utilizzate. Se il mezzo di trasferimento del calore è all'interno del tubo dello scambiatore di calore, che è in contatto con i fumi caldi all'esterno, si parla di caldaia a tubi d'acqua. La caldaia a tubi d'acqua è il design predominante per la generazione di vapore. In una caldaia a tubi di fumo, il gas di scarico caldo viene fatto passare attraverso dei tubi attorno ai quali scorre il mezzo di trasferimento del calore. Con l'acqua come mezzo di trasferimento del calore, questo tipo di costruzione è noto anche come caldaia a guscio e viene utilizzato principalmente per la produzione di acqua calda. I tubi del fuoco di solito contengono i cosiddetti turbolatori. Questi componenti a forma di spirale fanno roteare i gas di scarico (aumentano la turbolenza del flusso), migliorando così il trasferimento di calore al tubo dello scambiatore di calore. I turbolatori servono anche come dispositivi di pulizia (capitolo 5.5).

Un calo di temperatura al di sotto del punto di rugiada del gas di scarico provoca la condensazione di componenti del gas potenzialmente corrosivi. Sia il contenuto d'acqua che il contenuto di zolfo e cloro nel combustibile sono importanti in questo caso. Indipendentemente dal contenuto di zolfo o cloro, la pressione parziale del vapore acqueo e quindi il punto di rugiada nel gas di scarico aumenta con l'aumento del contenuto d'acqua del combustibile. Il punto di rugiada acido nel gas di scarico aumenta sia con l'aumento del contenuto di zolfo e cloro sia con l'aumento del contenuto di vapore acqueo, a seconda del contenuto di acqua nel combustibile e dell'aria in eccesso. Per i combustibili con un maggiore contenuto di zolfo o cloro (ad esempio, legno di scarto, legno proveniente dalla manutenzione del paesaggio, in particolare dai terrapieni stradali, legno residuo dalla lavorazione del legno), il punto di rugiada acido aumenta significativamente sopra quello del vapore acqueo a  $> 100\text{ °C}$  fino a  $200\text{ °C}$  [51].

Se i gas di scarico vengono raffreddati al di sotto dei rispettivi punti di rugiada acidi, si forma acido solforico o cloridrico, che è responsabile dei danni da corrosione (corrosione superficiale, corrosione pitting). Tuttavia, il fattore decisivo per evitare problemi di corrosione non è solo la temperatura dei gas di scarico, ma anche la temperatura delle superfici con cui i gas di scarico vengono a contatto. Per minimizzare i problemi di corrosione sulle superfici dello scambiatore di calore nella caldaia, i produttori di caldaie prescrivono una temperatura minima di ingresso dell'acqua nella caldaia. Più alto è il contenuto d'acqua, più alta dovrebbe essere la temperatura minima d'ingresso. La temperatura minima di ritorno della caldaia viene garantita da un'adeguata miscelazione della mandata al ritorno (protezione della temperatura di ritorno della caldaia) tramite un circuito idraulico di miscelazione nel circuito della caldaia (valvola a 3 vie controllata) (vedi capitolo 7.2). Allo stesso tempo devono essere rispettate le portate minime e massime indicate dal produttore della caldaia per garantire un flusso completo e uniforme e per evitare un surriscaldamento locale.

Negli impianti che utilizzano assortimenti di combustibile con contenuti critici di zolfo e cloro, può essere necessario aumentare la temperatura di ingresso della caldaia a  $> 80\text{ °C} - 110\text{ °C}$ , a seconda del contenuto di zolfo, cloro e acqua nel combustibile, in modo che i gas di scarico nella sezione della caldaia non vengano raffreddati localmente al di sotto del punto di rugiada acido e si possano così evitare danni da corrosione. Nei componenti del sistema le cui temperature superficiali sono al di sotto del punto di rugiada acido dei gas di scarico (per es. economizzatore), le superfici esposte ai gas di scarico devono essere realizzate in materiale resistente alla corrosione (acciaio inossidabile). Anche le superfici raffreddate degli elettrodi del separatore (piastre o tubi interni) dei separatori di elettroparticelle sono suscettibili di corrosione durante il funzionamento a basso carico della caldaia a biomassa.

I sistemi di generazione di calore e le caldaie sono soggetti ai principi generali di salute e sicurezza, ai codici di pratica e alle norme di progettazione, installazione e funzionamento e richiedono permessi ufficiali, omologazioni corrispondenti, certificazioni e certificati di prova di accettazione e devono essere dotati dei corrispondenti dispositivi di sicurezza (ad es. limitatore di temperatura di sicurezza, limitatore di pressione di sicurezza, dispositivo di sicurezza di scarico termico, valvola di sicurezza, dispositivi per il funzionamento senza sorveglianza costante, alimentazione di emergenza, ecc. ). Si deve garantire che un aumento inammissibile della temperatura o della pressione nella caldaia o nel sistema idraulico della generazione di calore sia impedito in qualsiasi stato di funzionamento e anche in caso di blackout. Per questo, si fa esplicito riferimento alle disposizioni di legge nazionali applicabili (vedi anche capitolo 19).

Per l'installazione della caldaia, bisogna assicurarsi che i dispositivi di comando siano accessibili e che sia disponibile lo spazio necessario per il funzionamento e soprattutto per la manutenzione (pulizia).

## 5.5 Pulizia automatica del tubo della caldaia

Durante il funzionamento, il fouling si verifica sui tubi della caldaia che entrano in contatto con i gas di scarico caldi. Con l'aumento della sporcizia sullo scambiatore di calore, il trasferimento di calore diminuisce e la temperatura dei gas di scarico aumenta, il che ha un effetto negativo sull'efficienza del sistema. Questo si previene con una regolare pulizia dei tubi della caldaia. I sistemi di pulizia automatica rimuovono i depositi, per esempio, per mezzo di impulsi di aria compressa pneumatica o processi meccanici o pulizia a getto con onde di pressione. Tuttavia, la pulizia a getto viene utilizzata solo per esigenze specifiche dell'impianto nel campo delle grandi potenze.

Nei sistemi di combustione più piccoli, i tubi di scarico possono essere puliti manualmente con spazzole attraverso porte aperte della camera girevole, se il design è adatto. Un'altra possibilità per rimuovere i depositi dalle pareti interne dei tubi della caldaia è quella di muovere

le spirali di acciaio (turbolatori) su e giù nei tubi della caldaia (manualmente o elettricamente).

Per impianti di combustione > 200 kW con un alto numero di ore di funzionamento a pieno carico, viene utilizzato un sistema di pulizia pneumatico a pressione (vedi Figura 5.11). A intervalli regolari, i depositi sullo scambiatore di calore vengono rimossi con impulsi di aria compressa. Questo può aumentare l'efficienza annuale dell'impianto di combustione del 3 - 4 % e facilita la pulizia. La pulizia manuale è di nuovo necessaria solo dopo > 2.500 ore di funzionamento a pieno carico (intervallo di manutenzione).



Figura 5.11 Pulizia automatica del tubo della caldaia (fonte: Schmid energy solutions).

## 5.6 Emissioni

Per garantire una combustione con le minori emissioni possibili, la progettazione e il controllo del sistema di accensione sono di importanza decisiva. L'obiettivo è quello di ottenere la **combustione più completa** possibile del combustibile utilizzato. Nel processo, il carbonio contenuto nel combustibile viene ossidato con l'ossigeno dell'aria fornita. I principali prodotti di questa reazione sono l'anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ) e il vapore acqueo ( $\text{H}_2\text{O}$ ) (Tabella 5.2).

Un sottoprodotto della combustione completa sono gli ossidi di azoto ( $\text{NO}_x$ , nei processi tecnici di combustione principalmente  $\text{NO}$  e  $\text{NO}_2$ ). Questi hanno un effetto irritante sulle vie respiratorie. Favoriscono anche l'acidificazione dell'ecosistema e la formazione di ozono a livello del suolo e di particolato secondario. Fondamentalmente, si può fare una distinzione tra tre percorsi di formazione di  $\text{NO}_x$ . L' $\text{NO}_x$  si forma a temperature > 1.300 °C attraverso la reazione dell'ossigeno atmosferico con l'azoto atmosferico. L' $\text{NO}_x$  rapido si forma in quantità relativamente piccole principalmente durante la combustione di combustibili fossili a causa della presenza di radicali idrocarburi. La formazione aumenta con la temperatura. L'intervallo di temperatura usuale per la combustione della biomassa è tra 800 °C e 1.200 °C. A causa di queste basse temperature,  $\text{NO}_x$  si forma durante la combustione del legno quasi esclusivamente dai composti azotati contenuti nel combustibile. La formazione di  $\text{NO}_x$  può

essere significativamente ridotta ottimizzando la geometria e il controllo della camera di combustione (stazionamento del combustibile o dell'aria; vedi capitolo 5.3).

Tabella 5.2 Prodotti della combustione di biomassa.

Meccanismo di formazione / fonte	Prodotto
combustione completa	$\text{CO}_2$ , $\text{H}_2\text{O}$
combustione incompleta	$\text{CO}$ , fuliggine, incombusti $\text{C}_x\text{H}_y$
Sottoprodotti della combustione completa	$\text{NO}_x$
Impurità del combustibile	$\text{SO}_2$ , $\text{SO}_3$ , $\text{H}_2\text{S}$ , $\text{NO}_x$ , ceneri e oligoelementi

In caso di **combustione incompleta**, si verificano emissioni di monossido di carbonio ( $\text{CO}$ ), idrocarburi incombusti ( $\text{C}_x\text{H}_y$ ), idrocarburi policiclici aromatici (PAH), catrame, fuliggine, ammoniaca ( $\text{NH}_3$ ) e protossido di azoto ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Le emissioni di polvere sono divise in due frazioni in base alle diverse dimensioni delle particelle: Le ceneri volanti grossolane (> 1,0  $\mu\text{m}$ ) si riferiscono alle particelle che sono trascinate dal letto di combustibile. Le particelle fini (da 0,01 a 1,0  $\mu\text{m}$ ) sono prodotte principalmente da componenti inorganici nel combustibile che evaporano durante la combustione. Quando il gas di scarico si raffredda, si condensano di nuovo e formano sali. Questo produce particelle nella gamma di dimensioni di 0,1  $\mu\text{m}$ . Nel caso di legno non trattato con un basso contenuto di corteccia, si formano principalmente composti di potassio (ad esempio solfato di potassio  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ). Se i componenti inorganici del combustibile entrano nel flusso di gas di scarico direttamente come componenti solidi, essi agiscono come nuclei di cristallizzazione durante il raffreddamento e possono crescere. Particelle nella gamma di dimensioni intorno a 1  $\mu\text{m}$  si formano nel processo. Questi sono anche sali, ma principalmente composti di calcio (per esempio ossido di calcio  $\text{CaO}$ ). Questo percorso di formazione è particolarmente importante per i combustibili con un alto contenuto di corteccia (maggiore contenuto di Ca). La formazione di emissioni di polvere da particelle di carbonio è di solito di secondaria importanza se la temperatura di combustione supera i 600 °C e si ottiene una combustione completa.

Altre emissioni rilevanti riguardano i composti dello zolfo (anidride solforosa  $\text{SO}_2$ , triossido di zolfo  $\text{SO}_3$ , solfuro di idrogeno  $\text{H}_2\text{S}$ ), acido cloridrico ( $\text{HCl}$ ) e diossine e furani (PCDD/F). A causa del basso contenuto di zolfo e cloro del legno non trattato e del tasso di incorporazione relativamente alto di cloro e zolfo nella cenere, le emissioni di  $\text{SO}_2$  e  $\text{HCl}$  sono solitamente basse. Le diossine e i furani si formano in un intervallo di temperatura compreso tra 200 °C e 500 °C sulla superficie delle particelle di cenere volante non bruciate (sintesi de novo). Le emissioni di PCDD/F non sono normalmente un problema quando il legno naturale viene bruciato in impianti all'avanguardia. Esse possono essere notevolmente ridotte grazie a una combustione completa, alla riduzione del vortice delle particelle del letto di braci e a un'efficiente separazione delle polveri. Un lungo tempo di permanenza

nell'intervallo di temperatura della sintesi de novo dovrebbe comunque essere evitato.

Durante la combustione, i componenti inorganici e quindi anche gli elementi in tracce (ad esempio i metalli pesanti) vengono rilasciati dalla matrice del combustibile. Sia durante la combustione che durante il percorso verso il camino, gli elementi si comportano in modo diverso, i singoli elementi in traccia mostrano una volatilità diversa. Le loro temperature di evaporazione individuali li fanno evaporare e condensare di nuovo in punti diversi del processo. Gli elementi con un alto punto di ebollizione (Al, Cr, Fe, Mn, Si) sono meno volatili e quindi rimangono per la maggior parte nella cenere di fondo. Se il punto di ebollizione è un po' più basso (As, Pb, Cd, Zn), gli elementi evaporano nel corso della combustione e condensano, assorbono o adsorbono sulle ceneri volanti grossolane o fini quando i gas di scarico si raffreddano e vengono così separati dai gas di scarico. Gli elementi che reagiscono con l'ossigeno o che hanno un punto di ebollizione molto basso passano prima nel gas di scarico (N, S, Hg). Essi vengono trattati separatamente nel sistema di pulizia dei gas di scarico (denitrificazione mirata, desolfurazione) (Figura 5.12).

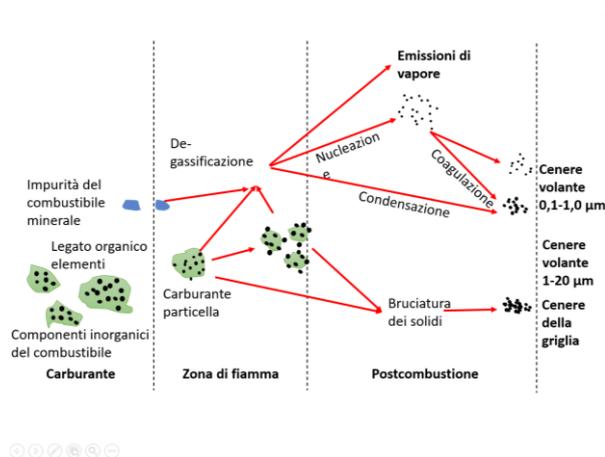


Figura 5.12 Comportamento degli oligoelementi nel combustibile durante e dopo la combustione.

## 5.7 Misure primarie per la riduzione delle emissioni

Le misure primarie per ridurre le emissioni dai forni comportano sia misure di progettazione che un adeguato controllo dei parametri operativi. Ottimizzando le fasi del processo di combustione elencate sopra, le emissioni da combustione incompleta possono essere ridotte. Decisivo in questo contesto è un letto di combustibile stabile e alto in cui il combustibile e l'aria sono ben miscelati con i gas di combustione in intervalli di temperatura elevati (> 850 °C). In questo contesto, il rapporto tra l'aria fornita e l'aria richiesta (numero d'aria in eccesso  $\lambda$ ) gioca un ruolo essenziale. Teoricamente, un eccesso d'aria  $\lambda = 1$  sarebbe ottimale per ottenere (stechiometricamente) una combustione completa. In pratica, un numero totale di eccesso d'aria da 1,3 a 1,8 è usato per i grandi sistemi e da 1,5 a 2,0 per i sistemi piccoli e medi, poiché questo

permette una miscelazione ottimale di combustibile, gas di scarico e aria fornita. Un numero d'aria in eccesso  $\lambda < 1$  porta ad una combustione incompleta, e solo una parte dell'energia immagazzinata nel combustibile viene rilasciata come energia termica. Se viene fornita troppa aria al processo di combustione ( $\lambda \gg 1$ ), si verifica un raffreddamento, che porta ad una combustione incompleta. L'ottimizzazione del numero di aria in eccesso può essere realizzata separando geometricamente la combustione in una zona di combustione primaria e una secondaria. Nella zona di combustione primaria, l'essiccazione e la pirolisi/degassazione del combustibile avvengono in condizioni sub-stoichiometriche ( $\lambda < 1$ ) così come l'ossidazione del carbone. Nella zona di combustione secondaria, l'ossidazione completa dei gas combustibili avviene fornendo aria secondaria ( $\lambda > 1$ ) [52]. Nei forni moderni con sistemi di controllo ben progettati, la concentrazione dei componenti incombusti dei gas di scarico può essere efficacemente ridotta. Il ricircolo primario e secondario dei gas di combustione (vedi capitolo 5.3.2) sono anche utilizzati per ottimizzare le condizioni di combustione e come misure primarie per ridurre le emissioni.

Un'alimentazione d'aria adatta all'installazione è anche di grande importanza per ridurre le emissioni di polvere dai forni a letto fisso. Il letto di combustibile dovrebbe essere il più silenzioso e stabile possibile, con l'aria primaria che scorre attraverso di esso in modo uniforme in modo che le particelle non vengano rimescolate e trascinate. Tuttavia, questo porta a una bassa miscelazione di gas combustibili e aria nella zona di combustione primaria. Perciò, l'attenzione nella zona di combustione secondaria si concentra sulla miscelazione ottimale per mantenere basso l'eccesso d'aria totale necessario e per aumentare l'efficienza dell'impianto. Questo può essere ottenuto con sezioni di condotti stretti in cui il gas combustibile raggiunge un'alta velocità. Anche l'aria secondaria viene introdotta ad alta velocità tramite ugelli sfalsati. Altre possibilità includono un vortice o una camera di combustione secondaria simile a un ciclone. Nel complesso, l'eccesso d'aria totale dovrebbe essere ridotto al minimo, ma sufficientemente alto per permettere una combustione completa.

Come misure primarie per la riduzione degli ossidi di azoto, sono disponibili i processi di stazionamento dell'aria e del combustibile ([53], [[54], [55], [56]) (Figura 5.13). In entrambi i processi, viene creata una zona di riduzione in cui i composti di azoto formati durante la decomposizione del combustibile reagiscono tra loro in carenza di ossigeno per formare azoto molecolare stabile e innocuo, come nella seguente reazione:



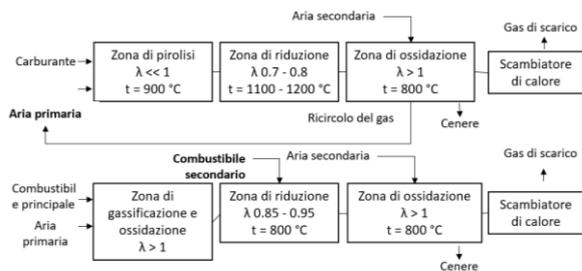


Figura 5.13 Principio di stazionamento dell'aria (in alto) e del combustibile (in basso) per la riduzione di NO<sub>x</sub>

Nessuno dei due metodi può essere adattato. L'air staging è usato per i nuovi impianti > 200 kW, e il fuel staging è usato a partire da circa 5000 kW. I processi hanno un potenziale di riduzione di NO<sub>x</sub> di circa il 30-50% per i combustibili con un basso contenuto di azoto e del 50-70% per i combustibili con un contenuto di azoto più alto ([53], [54]). Il potenziale di riduzione di fuel staging è un po' più alto con una gamma operativa un po' più ampia di potenza di combustione [55].

La riduzione efficace dei composti dell'azoto a N<sub>2</sub> tramite la stadiazione dell'aria avviene quando i gas di combustione rimangono abbastanza a lungo nella zona di riduzione (min. 0,3 s, λ = 0,7 - 0,8) a temperature elevate (1.100 °C - 1.200 °C) ([53], [55]). Per ottenere questo, la tecnologia dell'impianto deve essere progettata per la combustione a stadi, e tutti i parametri operativi devono essere controllati con precisione. Per prevenire il rimescolamento dell'aria secondaria nella zona di combustione primaria, è necessaria una separazione costruttiva delle zone di combustione primaria e secondaria. L'uso di combustibili che sono ricchi di ceneri o che formano scorie è critico a causa delle alte temperature. In paragone, la messa in scena del combustibile richiede un'aderenza meno precisa alle condizioni di reazione. Qui, un combustibile secondario viene aggiunto in una seconda camera di combustione, che si mescola rapidamente e bene con i gas di combustione caldi (circa 800 °C). La polvere di legno, per esempio, è adatta. Partendo da una bassa carenza di aria primaria (λ = da 0,85 a 0,95), il combustibile aggiuntivo fornisce condizioni di riduzione. In entrambi i casi, la combustione completa avviene in una zona di ossidazione a valle con aria in eccesso.

## 5.8 Misure secondarie per la riduzione delle emissioni

### 5.8.1 Dedusting

I **cycloni** sono utilizzati per la separazione della polvere grossolana. Un **multiciclone** è usato per flussi di grande volume. Un multiciclone è una connessione parallela di diversi cycloni individuali che sono combinati in un alloggiamento. Un ciclone è un separatore centrifugo. Il gas carico di particelle scorre tangenzialmente (Figura 5.14) assialmente (Figura 5.15) nella camera cilindrica del ci-

clone, dove è impostato in un flusso rotante. Nel processo, le particelle di cenere vengono gettate fuori dal flusso sulla parete del guscio del ciclone e da lì separate verso il basso nella direzione dello scarico della polvere. Il gas pulito lascia il ciclone attraverso un tubo di immersione.

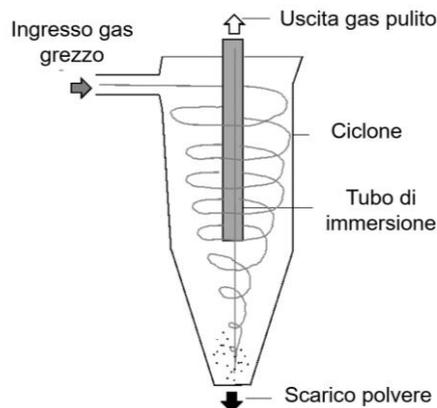


Figura 5.14 Sezione attraverso un singolo ciclone (separatore tangenziale).

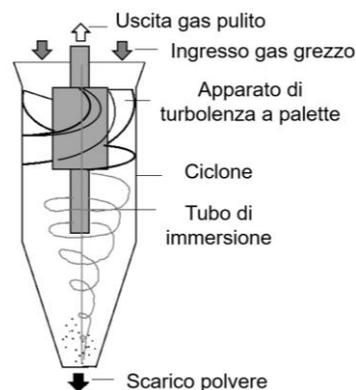


Figura 5.15 Sezione attraverso un singolo ciclone (separatore assiale).

L'effetto di separazione dei cycloni negli impianti di combustione del legno è limitato alle particelle di cenere grossolane > 10 μm. Di regola, si raggiungono valori di gas pulito di 120 - 200 mg/m<sup>3</sup> (all'11 vol.% O<sub>2</sub>) [57]. L'efficienza di separazione dipende dalla velocità circonferenziale del flusso rotatorio e dal disegno geometrico del ciclone. Più alta è la velocità circonferenziale, più piccole sono le particelle che possono essere separate. Con l'aumento della velocità, tuttavia, aumenta anche la perdita di pressione. A velocità di combustione ridotte, invece, l'efficienza di separazione diminuisce a causa della ridotta velocità dei gas di scarico. Inoltre, le particelle > 10 μm non possono sempre essere separate in modo affidabile se hanno una densità molto bassa e la forza centrifuga è quindi troppo bassa.

A causa del suo ingombro relativamente ridotto e dei bassi costi di investimento e di funzionamento, il ciclone è il metodo di raccolta delle polveri più frequentemente usato nei sistemi di riscaldamento a legna. Tuttavia, il

suo uso da solo di solito non è sufficiente per rispettare il valore limite delle polveri. Pertanto, i cicloni vengono utilizzati per la pre-separazione della polvere grossolana per i processi di separazione della polvere a valle. Questo riduce il carico di polvere nelle unità di filtraggio a valle, che possono così lavorare in modo più efficiente. Nei processi di separazione a umido, le spese per la gestione dei fanghi e i costi di smaltimento possono essere ridotti.

In un **filtro a tessuto**, il gas grezzo carico di polvere viene aspirato dall'esterno attraverso un mezzo filtrante, che di solito è applicato a un tessuto di supporto cilindrico. Un panetto si forma sul mezzo filtrante, che viene periodicamente pulito da brevi getti di aria compressa in controcorrente rispetto al flusso dei gas di scarico (Figura 5.16, Figura 5.17).

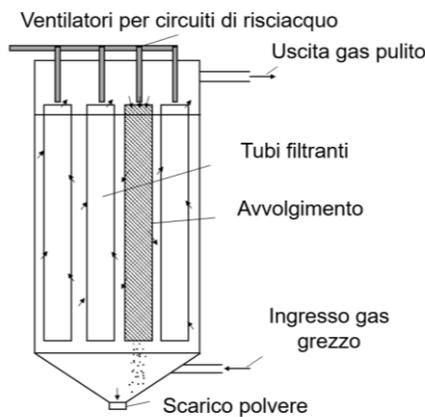


Figura 5.16 Schema di un filtro in tessuto: Disposizione parallela degli elementi del sacco filtrante. Tre elementi sono in posizione di lavoro, il quarto elemento viene pulito in controcorrente (pulizia con aria compressa).

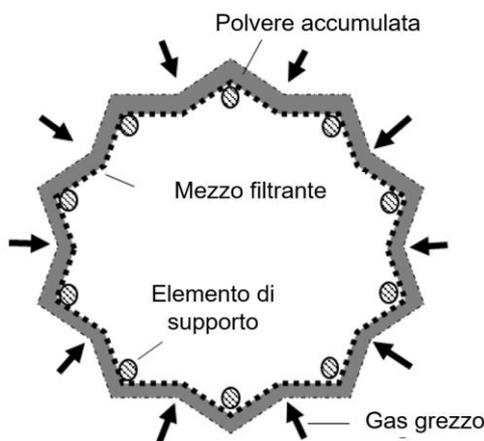


Figura 5.17 Sezione attraverso un sacco filtrante.

I mezzi filtranti comuni sono feltri ad ago che sono trattati in superficie a seconda della composizione chimica e della temperatura del gas di scarico (per esempio Teflon, laminato PTFE). Un fattore importante nel funziona-

mento è la temperatura del gas di scarico, poiché la condensazione del gas di scarico può portare all'intasamento del filtro e alla sostituzione prematura del media filtrante. Il campo di funzionamento va da 180 a 220 °C (temperatura massima dei gas di scarico di 250 °C, temperatura minima dei gas di scarico con combustibile secco > 140 °C). Un alto contenuto di vapore acqueo nel gas di scarico è critico (ad es. con combustibile umido o nel funzionamento a carico parziale/basso). Inoltre, è necessaria la separazione delle scintille e delle particelle di fumo. I filtri in tessuto con un investimento medio ma costi operativi relativamente alti sono usati nella gamma di potenza > 100 kW. Le unità di filtraggio compatte hanno un basso fabbisogno di spazio. I filtri in tessuto hanno un'alta efficienza di separazione. Si possono raggiungere valori di gas pulito da 1 a 5 mg/m<sup>3</sup> (con 11 vol.% O<sub>2</sub>) [57]. Perdite come crepe capillari o buchi nel tessuto riducono drasticamente l'efficienza di separazione. Aggiungendo assorbenti (additivi), c'è la possibilità di un'ulteriore separazione di HCl, SO<sub>x</sub> e diossine (PCDD/F).

In un **precipitatore elettrostatico**, la separazione delle particelle avviene utilizzando un campo elettrico. Il termine "precipitatore elettrostatico" è anche usato colloquialmente, ma poiché la separazione non avviene per filtrazione, il termine precipitatore elettrostatico è usato nel seguito (Figura 5.18). Un precipitatore elettrostatico consiste in un elettrodo di spruzzo collegato a una fonte di tensione e un elettrodo di raccolta messo a terra. Le molecole di gas sono ionizzate da una corrente di elettroni e aderiscono alle particelle nel gas grezzo. Le particelle caricate in questo modo si attaccano all'elettrodo di raccolta e vi si depositano (Figura 5.19). I precipitatori elettrostatici possono essere usati anche a basse capacità. L'efficienza di separazione è alta, con contenuti di gas pulito da 5 a 50 mg/m<sup>3</sup> (con 11 vol.% O<sub>2</sub>), tuttavia, con elevate esigenze di spazio e alti costi di investimento, nonché costi operativi medi.

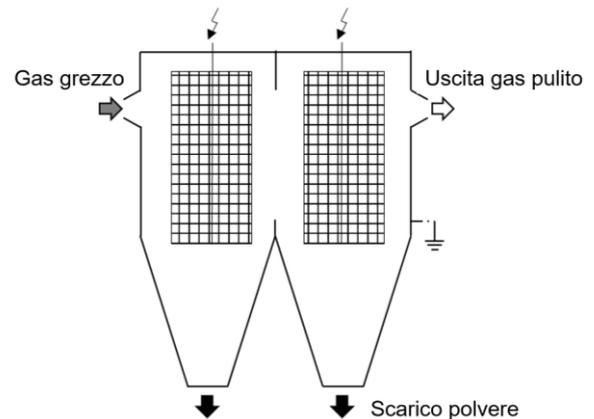


Figura 5.18 Schema di un precipitatore elettrostatico.

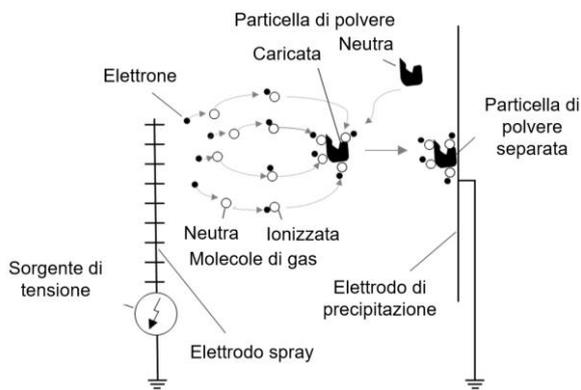


Figura 5.19 Principio fisico di funzionamento di un precipitatore elettrostatico.

I precipitatori elettrostatici a secco sono i più usati. Il design è di solito un precipitatore elettrostatico a piastra o a tubo. I precipitatori elettrostatici a piastre, che sono puliti periodicamente con dispositivi di rapping, sono disponibili oggi come tecnologia consolidata per > 200 kW. L'esigenza di spazio è alta, l'altezza corrisponde approssimativamente alla caldaia a monte. Le cadute di temperatura sotto il punto di rugiada nei gas di scarico devono essere evitate per tutto il tempo in cui l'alta tensione è inserita. Per ridurre il rischio di cortocircuiti, gli isolatori sono ulteriormente arretrati rispetto al flusso di gas e spesso sono ulteriormente riscaldati. Nonostante queste misure, l'alta tensione può essere inserita solo quando la temperatura dei gas di scarico ha raggiunto 80 °C per la legna naturale, per esempio, e 130 °C per la legna di scarto. Al di sotto di questo valore limite specificato dal produttore, il separatore elettrico è inefficace. Pertanto, durante l'avviamento e il funzionamento a carico minimo, è necessario garantire il funzionamento a regime il più rapidamente possibile. A questo scopo, un bypass della caldaia sul lato di scarico può essere utilizzato per aumentare rapidamente la temperatura dei fumi nel separatore elettrico. Nelle unità di serie, il separatore elettrico può essere integrato direttamente nella caldaia. I precipitatori elettrostatici tubolari sono offerti per sistemi di riscaldamento a legna fino a 5.000 kW. In essi sono disposti diversi tubi filtranti con elettrodi spray interni. La pulizia delle pareti interne del tubo (= elettrodo di precipitazione) avviene tramite pulizia meccanica con spazzole. Rispetto al precipitatore elettrostatico a piastre, il fabbisogno di spazio è ridotto, ma si applicano gli stessi requisiti per quanto riguarda la caduta sotto il punto di rugiada.

Ci sono anche **precipitatori elettrostatici a umido** che sono usati in combinazione con la condensazione dei fumi (vedi capitolo 13.7.2.3). Affinché il vapore acqueo nel gas di scarico possa condensare, è richiesta una temperatura massima di ritorno < 45 °C (ancora più bassa con combustibile secco). Durante la condensazione del vapore acqueo, le particelle di polvere cariche vengono utilizzate come nuclei di condensazione e, incorporate nelle goccioline d'acqua, vengono separate come fango di condensazione. Il grado di separazione è aumentato dal contenuto di acqua di condensazione e il

fabbisogno di acqua esterna è mantenuto al minimo. Il trattamento dei fanghi e dell'acqua deve ancora essere preso in considerazione.

Nell'ambito del QM per gli impianti termici a biomassa, una **disponibilità annuale minima** del depolveratore dovrebbe essere definita e controllata nel corso dell'ottimizzazione operativa (Milestone 5), poiché un precipitatore elettrostatico dovrebbe essere attivo in tutte le fasi con emissioni di polvere rilevanti (Figura 5.20).

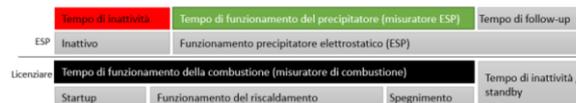


Figura 5.20 Ciclo operativo tipico di un forno e di un precipitatore elettrostatico (vedi FAQ 38, [Link](#)).

L'avvio, il riscaldamento e lo spegnimento sono combinati come un'unica fase operativa e corrispondono al tempo di funzionamento del forno. Il tempo di funzionamento del separatore può essere contato solo se il separatore elettrico è in funzione contemporaneamente alla cottura (verde). Se il separatore elettrico ha un ritardo di accensione o un malfunzionamento, si verifica un tempo di inattività (rosso). Se il separatore elettrico viene fatto funzionare più a lungo del sistema di cottura, si tratta di un tempo di funzionamento che non deve essere conteggiato come tempo di esercizio. Durante l'arresto/standby dell'impianto di combustione, le emissioni di polvere sono notevolmente inferiori rispetto al funzionamento dell'impianto di combustione. Con il tempo di follow-up del precipitatore elettrostatico, le emissioni di polvere possono comunque essere ulteriormente ridotte. L'uso di un precipitatore elettrostatico viene solitamente determinata su un anno e viene definita come il rapporto tra il tempo di funzionamento accumulato del precipitatore (verde) e il tempo di funzionamento accumulato del forno (nero).

$$Uso\ precipitatore\ [\%] = \frac{100 * Tempo\ funzionamento\ precipitatore}{Tempo\ funzionamento\ caldaia}$$

Sia per i precipitatori elettrostatici che per i filtri a tessuto, la temperatura minima specificata dal produttore, che dipende dal combustibile, deve essere raggiunta il più rapidamente possibile durante l'avviamento e si deve evitare una caduta di temperatura durante il funzionamento a carico minimo. Anche la temperatura massima consentita all'ingresso del separatore/filtro deve essere rispettata. La configurazione e il modo di funzionamento del sistema hanno una grande influenza su questo. Mentre, per esempio, gli impianti di lavorazione del legno e gli impianti di incenerimento del legno di scarto funzionano spesso in modalità a carico di banda, gli impianti di riscaldamento a biomassa mono o bivalenti con una percentuale crescente di funzionamento a basso carico si trovano nel settore della fornitura di calore per gli edifici residenziali.

**Note sull'integrazione e l'ottimizzazione operativa** (vedere anche il capitolo 16)

- Negli impianti con due caldaie a biomassa, la soluzione con un solo separatore di particelle e una sola canna fumaria non è consigliata. Dotare ogni caldaia di un proprio separatore di particelle e di una propria canna fumaria è più costoso, ma comporta dei vantaggi grazie alle linee chiare della caldaia (nessuna influenza incrociata sul lato dei fumi, sezione ottimale della canna fumaria, meno problemi nel funzionamento a carico parziale, ecc.)
- In caso di temperature dei fumi > 120 °C, si deve verificare se lo scambiatore di calore dei fumi (economizzatore) deve essere installato prima o dopo il precipitatore elettrostatico o il filtro a tessuto. A temperature dei fumi più basse, lo scambiatore di calore dovrebbe essere sempre installato dopo il precipitatore elettrostatico per evitare la condensazione dei componenti dei fumi nel precipitatore elettrostatico.
- È importante che le superfici di scambio termico in uno scambiatore di calore per gas di scarico a condensazione siano sempre bagnate dal lato dei gas di scarico. Questo è l'unico modo per evitare depositi indesiderati che possono accumularsi nelle zone che si alternano tra bagnato e asciutto.
- Nel concetto di ottimizzazione del funzionamento deve essere sempre specificato in modo inequivocabile che il "separatoro di particelle in funzione" (cioè alta tensione inserita o bypass chiuso o iniezione di acqua di lavaggio inserita) viene registrato durante la registrazione automatica dei dati e non solo un segnale di rilascio.

**5.8.2 Denitrificazione**

Per i combustibili ricchi di azoto come il legno di scarto, i residui di truciolato, il legno duro non trattato o il legno dolce con un alto contenuto di corteccia, devono essere utilizzate misure secondarie per ridurre NO<sub>x</sub> al fine di rispettare i limiti di emissione definiti. Il campo di applicazione è spiegato più dettagliatamente nel capitolo 13.9.2. Le misure di denitrificazione sono difficili o addirittura impossibili da adattare. Il loro uso deve quindi essere considerato e, se necessario, pianificato fin dall'inizio quando si determina la tecnologia di combustione e la gamma di combustibili.

Nel **processo SNCR (riduzione selettiva non catalitica)**, un agente riducente viene iniettato in una zona di riduzione direttamente nella camera di combustione. L'agente riducente utilizzato è una soluzione di ammoniaca (NH<sub>3</sub>) o di urea (NH<sub>2</sub>CONH<sub>2</sub>), che non è corrosiva e quindi più facile da gestire. Ad alte temperature, si formano radicali NH che si riducono con NO all'azoto elementare (N<sub>2</sub>). Nella zona di reazione è necessaria una miscelazione ottimale. Si deve puntare a un tempo di permanenza di circa 0,5 secondi in un intervallo di temperatura da 850 a 950 °C. La misurazione di NO<sub>x</sub> nel gas di scarico è necessaria per il dosaggio dell'agente riducente (rapporto molare n = NH<sub>3</sub>/NO<sub>x</sub> [mol/mol] = circa 2). Il grado medio di denitrificazione nel processo SNCR è del 50-75 %; in condizioni di reazione ottimali, è possibile raggiungere il 95 % [55]. Il processo è di solito usato

in nuovi impianti, ma può anche essere adattato a seconda della disponibilità di spazio individuale. C'è anche la possibilità di costruire nuovi impianti "SNCR-ready". In questo caso, il forno è già dotato dei componenti necessari per il processo SNCR (zona di riduzione, aperture per l'iniezione, riserve di spazio per il serbatoio dell'agente riducente, ecc.) Se dopo la messa in funzione si nota che la denitrificazione è necessaria, il retrofit può essere effettuato rapidamente.

Il processo SNCR richiede un controllo preciso delle condizioni di reazione. È adatto per il funzionamento a carico del nastro e in combinazione con uno scrubber a umido. L'iniezione dell'agente riducente al di fuori della finestra di temperatura menzionata favorisce la formazione di sottoprodotti azotati come l'ammoniaca, il protossido di azoto (N<sub>2</sub>O), l'acido cianidrico (HCN) e l'acido isocianico (HNCO).

Se l'agente riducente è usato insieme a un convertitore **catalitico**, questo è chiamato **SCR (riduzione catalitica selettiva)**. L'SCR permette un grado di denitrificazione superiore al 95% con un basso scorrimento dell'ammoniaca. Un catalizzatore di ossidazione integrato è raccomandato per ridurre eventuali diossine. La misurazione di NO<sub>x</sub> e il controllo preciso del rapporto mole (n = NH<sub>3</sub>/NO<sub>x</sub> [mol/mol] = circa 1) sono necessari. Per la modalità di funzionamento, viene fatta una distinzione tra polvere alta con separazione delle polveri a valle e polvere bassa con separazione delle polveri a monte (Figura 5.21 Processo di riduzione catalitica selettiva ()). L'intervallo di temperatura per il processo a bassa polvere è tra 200 e 250 °C, per il processo ad alta polvere tra 250 e 450 °C. Qui, si raccomanda un economizzatore a valle per ridurre la temperatura dei gas di scarico. Con il processo a polvere alta, è possibile l'intasamento del catalizzatore da parte dei depositi di polvere, ed è solo a volte adatto per il legno residuo e di scarto. Inoltre, in entrambi i casi c'è la possibilità che i veleni del catalizzatore come arsenico, fosforo o metalli alcalini disattivino il materiale catalitico [49]. Se i veleni del catalizzatore vengono separati, per esempio con la polvere, prima che i gas di scarico entrino nel convertitore catalitico, la tendenza all'avvelenamento si riduce e quindi la vita utile degli elementi del convertitore catalitico. Il processo ad alto contenuto di polvere non è quindi raccomandato da QM per gli impianti DI RISCALDAMENTO a biomassa a causa dei problemi di avvelenamento e intasamento.

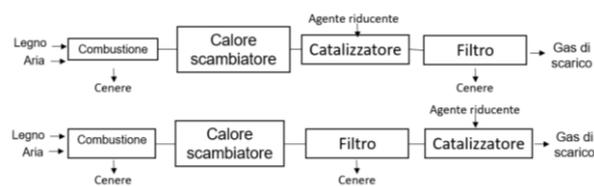


Figura 5.21 Processo di riduzione catalitica selettiva (SCR) a polvere alta (in alto) e a polvere bassa (in basso).

## 5.9 Recupero di calore con economizzatore e condensazione dei fumi

L'efficienza della generazione di calore può essere aumentata considerevolmente se i gas di scarico sono raffreddati ulteriormente in scambiatori di calore aggiuntivi dopo aver lasciato la caldaia (capitolo 13.7.2).

Un **economizzatore** è uno scambiatore di calore supplementare per preriscaldare il ritorno del sistema. Lì, i gas di scarico sono raffreddati a circa 75-80 °C (appena sopra il punto di rugiada). Quando il sistema di riscaldamento si avvia o quando la temperatura nella canna fumaria scende al di sotto della temperatura nominale, una parte del flusso di gas di scarico caldo viene alimentato direttamente nella canna fumaria attraverso una seranda fino a quando la temperatura nominale viene raggiunta di nuovo. A causa del grande potenziale di aumento dell'efficienza, l'uso di economizzatori dovrebbe sempre essere considerato quando si progetta un impianto di riscaldamento a legna. Per esempio, con un numero di eccesso d'aria  $\lambda = 2$ , un ulteriore raffreddamento dei gas di scarico di 10 K porta a un aumento dell'efficienza di combustione di circa l'1% [58]. A seconda del numero d'aria in eccesso e del contenuto d'acqua, si può ottenere un aumento dell'efficienza dal 5 al 7 %. Per mantenere basso l'eccesso d'aria necessario ( $\lambda < 1,8$ ), è necessario un buon controllo della combustione.

Un **sistema di condensazione dei fumi** di solito consiste di tre stadi. I gas di scarico che lasciano la caldaia passano prima attraverso un economizzatore, poi un condensatore (con quench a monte) e, se necessario, un preriscaldatore d'aria a valle (Figura 5.22). Il campo di applicazione è di solito per impianti  $> 1$  MW. In caso di alti costi di combustibile e lunghi tempi di funzionamento dell'impianto (funzionamento a carico di banda), sono possibili anche impianti più piccoli a partire da circa 500 kW. La temperatura media di ritorno dalle utenze dovrebbe essere bassa e almeno 10 °C al di sotto del punto di rugiada dei gas di scarico. Un ritorno separato a bassa temperatura per il condensatore dovrebbe essere considerato.

Nel condensatore, i gas di scarico sono raffreddati ulteriormente al di sotto del punto di rugiada. Questo fa condensare una parte del vapore acqueo contenuto nei gas di scarico. Nel processo, vengono rilasciate grandi quantità di energia sotto forma di calore sensibile, ma soprattutto latente. Il contenuto d'acqua del combustibile gioca un ruolo importante; più acqua entra nel processo con il combustibile, più vapore può condensare di nuovo. Più bassa è la temperatura a cui il gas di scarico può essere raffreddato, più efficacemente funziona il sistema di condensazione dei gas di scarico. Con un basso numero di eccesso d'aria totale nella combustione, un alto contenuto d'acqua nel combustibile e una bassa temperatura di ritorno del circuito di riscaldamento ( $< 40$  °C), il rendimento del sistema di combustione può essere aumentato fino al 20%. Nella zona di ingresso del condensatore,

ci possono essere punti sul lato dei fumi che sono alternativamente bagnati o asciutti, a seconda delle condizioni di funzionamento. Tali aree sono a rischio di depositi e corrosione. Per evitare questi problemi, viene spesso installato un quench a monte, che inumidisce il gas di scarico e lo raffredda fino al punto di rugiada. Quando il gas di scarico umidificato raggiunge il condensatore, avviene un ulteriore raffreddamento e la temperatura scende sotto il punto di rugiada (la condensa precipita). Questo previene la formazione di punti secchi nel condensatore.

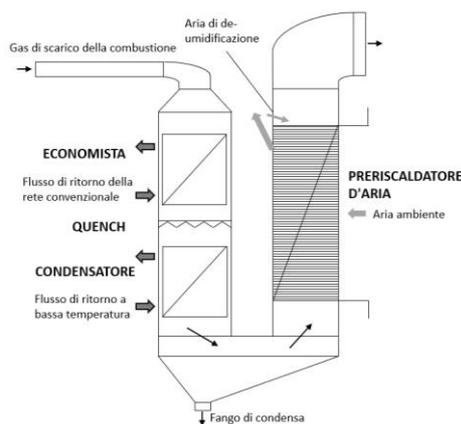


Figura 5.22 Schema di un sistema di condensazione dei fumi.

Il fango di condensazione prodotto deve essere separato dalla fase liquida, il condensato, a causa dei metalli pesanti che contiene, per esempio in una vasca di sedimentazione, e poi messo in discarica o trattato industrialmente. Questa separazione dovrebbe avvenire ad un pH  $> 7,5$  per evitare l'eluizione dei metalli pesanti nella fase liquida. Se la qualità della combustione è alta ( $\text{CO} < 250$  mg/m<sup>3</sup> a 11 vol.% O<sub>2</sub>) e dopo l'uso di una fase di neutralizzazione (controllo del pH), la condensa in eccesso può essere scaricata nella rete fognaria dopo la separazione dei fanghi, nel rispetto delle normative locali.

Di regola, i sistemi hanno almeno un **preriscaldatore d'aria** in cui il gas di scarico trasferisce ulteriore calore all'aria di alimentazione. Una parte di quest'aria preriscaldata viene usata come aria di combustione; l'altra viene mescolata con il gas di scarico raffreddato per prevenire un'ulteriore condensazione nelle tubazioni a valle e nel camino, così come per ridurre la formazione di pennacchi di vapore acqueo sul camino. La completa de-vaporizzazione non è assolutamente necessaria in quanto non ha un ulteriore vantaggio tecnico, ma solo un effetto visivo. Questo può essere particolarmente importante per gli impianti termici a biomassa nelle zone turistiche e nelle aree vicine ai centri abitati.

Quando si integrano scambiatori di calore per gas di scarico, si deve prestare attenzione alla corretta disposizione con i componenti di pulizia dei gas di scarico. Un sistema di condensazione dei fumi in combinazione con un precipitatore elettrostatico a umido raggiunge un'efficienza di raccolta delle polveri comprese le particelle fini di circa il 95%. Se un precipitatore elettrostatico a secco

o un filtro a tessuto viene installato a monte dell'economizzatore o del sistema di condensazione dei gas di scarico, la contaminazione di questi componenti può essere notevolmente ridotta e si può evitare il costoso smaltimento del fango di condensazione.

## **5.10 Tecnologia di controllo del processo**

### **5.10.1 Nozioni di base**

Il termine tecnologia di controllo del processo è usato in diverse aree di applicazione. Essenzialmente, la tecnologia di controllo del processo comprende l'intera tecnologia di misurazione e controllo (tecnologia I&C) e i flussi di dati associati di un impianto (per ulteriori definizioni dei termini, vedere [59]). I&C serve ad automatizzare il funzionamento dell'impianto e include tutti i compiti di controllo, regolazione e monitoraggio necessari. L'integrazione di adeguati sistemi I&C e concetti di controllo sono il prerequisito per un funzionamento efficiente, a basse emissioni e sicuro dell'impianto e sono quindi componenti importanti della pianificazione e dell'esecuzione di impianti termici a biomassa. Di conseguenza, l'importanza nell'ambito del QM per gli impianti termici a biomassa è alta. Questo argomento è trattato in dettaglio negli schemi idraulici standard ([60]). Le basi della tecnologia di misurazione e controllo non sono trattate qui (vedi per esempio [61]), tranne che per alcuni argomenti specifici rilevanti per la pianificazione, la costruzione e l'esercizio degli impianti termici a biomassa.

La tecnologia di controllo del processo si è sviluppata significativamente da quando sono stati costruiti i primi impianti termici a biomassa. L'attrezzatura I&C completa che permette il funzionamento completamente automatico dell'impianto è lo stato dell'arte. Oggi, anche le piccole caldaie di serie sono dotate di un sistema di controllo completamente automatico e di un'interfaccia utente digitale.

### Termini

Il **controllo** è un processo in cui una variabile da regolare (variabile controllata) viene continuamente misurata e confrontata con una variabile di riferimento (setpoint). Il risultato del confronto influenza la variabile controllata in modo tale che la variabile controllata sia portata in linea con la variabile di riferimento. La sequenza di effetti che ne risulta avviene in un anello di controllo chiuso. Al contrario, la **regolazione** rappresenta una catena d'azione aperta (catena di controllo) in cui la variabile da regolare viene influenzata (controllata) in funzione della variabile d'influenza più importante (variabile di disturbo) senza misurare la variabile da regolare. Il valore reale della variabile da regolare non viene quindi controllato e non ha alcuna influenza sulla catena di controllo (vedi [61]).

Il compito essenziale della **tecnologia di misurazione** è quello di registrare quantitativamente i processi tecnici con dispositivi di misurazione appropriati (sensori) e di fornire la base per il controllo e la regolazione dei processi con le variabili misurate (per ulteriore letteratura vedi [62]).

Secondo la EN 61131 - Parte 1 [63] un **controllore logico programmabile (PLC)** è un sistema elettronico a funzionamento digitale per l'uso in ambienti industriali con una memoria programmabile per la memorizzazione interna di istruzioni di controllo orientate all'utente per implementare funzioni specifiche, come controllo logico, controllo di sequenza, temporizzazione, conteggio e funzioni aritmetiche, per controllare vari tipi di macchine e processi attraverso segnali di ingresso e uscita digitali o analogici.

La tecnologia di controllo del processo di un impianto di riscaldamento a biomassa deve soddisfare i seguenti compiti fondamentali:

- Controllo e regolazione completamente automatici dell'intero sistema senza la necessità di regolari interventi manuali e, se possibile, senza la presenza costante di personale operativo
- Garantire il funzionamento sicuro dell'impianto in ogni stato operativo (protezione personale e dell'impianto)
- Garantire la fornitura di calore ai clienti
- Consentendo un funzionamento ottimale del sistema in qualsiasi condizione operativa.
- Funzionamento e monitoraggio dell'impianto (visualizzazione/visualizzazione dello stato di funzionamento attuale del sistema, impostazione dei setpoint e dei parametri di controllo, accensione/spegnimento dei componenti del sistema, ecc. ).
- Accesso remoto e messaggi di errore
- Acquisizione, elaborazione e memorizzazione permanente di tutti i dati operativi rilevanti (dati di misurazione), preparazione e visualizzazione delle tendenze (storiche) dei dati di misurazione.
- Registrazione e memorizzazione permanente di tutti i dati rilevanti per la fatturazione (consumo dei clienti!)

- Consentire il funzionamento manuale e il funzionamento di emergenza del sistema, se necessario.

Il funzionamento dell'impianto durante i processi di avvio e di arresto, così come le condizioni di funzionamento speciali o impreviste (manutenzione, pulizia e piccole riparazioni durante il funzionamento, guasto di singoli componenti, corse di prova, funzionamento di emergenza, condizioni di carico estreme) viene solitamente eseguito manualmente dal personale operativo (funzionamento manuale) o in funzionamento semiautomatico.

Per i sistemi di generazione di calore con pressione e temperature moderate (ad esempio sistemi ad acqua calda < 110°C), una presenza permanente di personale operativo non è solitamente richiesta. Per i sistemi ad acqua calda e vapore, può essere richiesta una presenza permanente, oppure è necessario un equipaggiamento di sicurezza aggiuntivo per il funzionamento senza intervento umano ([64]) o per il funzionamento senza supervisione permanente ("Betrieb ohne ständige Beaufsichtigung" BOSB). Per il funzionamento senza supervisione permanente, si devono verificare e rispettare in ogni caso le rispettive norme e direttive nazionali (vedi capitolo 19).

Il sistema di controllo del processo è composto da diversi livelli che svolgono diversi compiti (Figura 5.23).

### Suddivisione funzionale e progettazione tecnica

Il sistema di controllo del processo può essere suddiviso in un **livello utente**, un **sistema I&C subordinato** (ad es. per il controllo di singoli componenti) e un **sistema I&C master** (compiti relativi all'intero impianto) a seconda dei compiti da svolgere. Questa suddivisione in base alle funzioni aiuta a definire il concetto di controllo e i singoli compiti di controllo, nonché a sviluppare una descrizione funzionale.

Tuttavia, questi tre livelli non rappresentano automaticamente i limiti fisici dei singoli componenti tecnici (unità di controllo) o i limiti di consegna. La **progettazione tecnica del sistema di controllo del processo** dipende da vari fattori e non deve essere strutturata analogamente ai tre livelli funzionali. Ad esempio, il livello operativo così come il sistema I&C subordinato e master possono essere realizzati di volta in volta con un unico PLC o possono anche essere costituiti da tre unità separate di produttori diversi (collegate tra loro tramite interfacce).

La designazione legata alla funzione come sistema I&C master e subordinato non è sempre comune tra i tecnici I&C, che sono più orientati verso i componenti fisici o i limiti di consegna, quindi forse vengono usate altre designazioni (per esempio sistema master).

Il **livello utente** è realizzato tramite un computer master (computer della centrale termica) o un pannello di controllo (display) sull'armadio di comando. Il livello operativo dispone di interfacce per il master e i sistemi I&C di livello inferiore e consente il funzionamento completo dell'impianto. Qui è possibile monitorare il funzionamento attuale dell'impianto e i dati di esercizio attuali e

regolare i setpoint, i programmi temporali e simili, per lo più con l'aiuto di una visualizzazione dell'impianto. Con livelli di autorizzazione più alti (ad es. tecnici dell'assistenza, produttori), possono essere effettuate anche impostazioni di controllo dettagliate. La selezione del funzionamento del sistema (ad es. funzionamento automatico, semiautomatico, manuale, ecc.) avviene tramite il computer principale o direttamente nell'armadio di comando. Tutti i componenti essenziali del sistema possono essere controllati anche manualmente attraverso il livello di comando. Il funzionamento manuale di emergenza dell'impianto può essere eseguito anche indipendentemente dal computer principale tramite elementi di comando sull'armadio di comando.

Il **sistema I&C principale** è responsabile di tutte le funzioni di controllo e regolazione di livello superiore, come il coordinamento e la gestione del carico dei singoli generatori di calore (segnale di potenza per le caldaie) e la gestione dello stoccaggio, e spesso anche del controllo dell'idraulica della casa di riscaldamento (pompe, rubinetterie nella casa di riscaldamento) e delle pompe di rete della rete di riscaldamento (vedi anche capitolo 8). Il sistema I&C principale ha delle interfacce per i sistemi I&C subordinati dei singoli componenti dell'impianto e li collega tra loro. Spesso anche la registrazione dei dati viene realizzata tramite il sistema I&C principale (vedi capitolo 5.10.2).

I **sistemi I&C subordinati** sono utilizzati per il controllo e la regolazione specifici dei singoli gruppi funzionali dell'impianto. Un gruppo funzionale è, per esempio, una caldaia a biomassa con tutti gli azionamenti associati, aggregati, raccordi o, analogamente, il gruppo funzionale caldaia a olio/gas, separatore di particelle, sistemi di condensazione dei fumi, trattamento delle acque e altri. Questi sistemi di I&C subordinati sono di solito forniti dai

produttori dei rispettivi componenti e, a seconda del componente, variano da semplici controllori autonomi (ad esempio per un impianto di trattamento delle acque) fino a un complesso PLC per una caldaia a biomassa. Questi sistemi I&C assumono il funzionamento sicuro e i compiti dettagliati di controllo e regolazione dei singoli componenti. Per la caldaia a biomassa, questi sono, per esempio, la fornitura di combustibile al forno e l'altezza del letto di combustibile alla griglia, le velocità della griglia, le velocità dell'aria di combustione e dei ventilatori dei gas di scarico (controllo della pressione negativa), il ricircolo dei gas di scarico e la temperatura della camera di combustione, il controllo della rimozione della cenere, la potenza del forno, la temperatura di mandata della caldaia, i compiti di controllo e regolazione rilevanti per la sicurezza e molto altro. I sistemi I&C dei componenti principali devono avere un'interfaccia e un'opzione di comunicazione con il sistema I&C master e il livello operativo (computer master) per poter elaborare, ad esempio, output di livello superiore e altre specifiche di setpoint e per garantire una visualizzazione del sistema e una registrazione dei dati senza interruzioni. Si raccomanda che, se possibile, anche tutti i sistemi ausiliari siano integrati nel sistema I&C master con almeno un segnale di funzionamento e di guasto e, eventualmente, i parametri di funzionamento più importanti. Anche i regolatori delle singole stazioni di trasferimento domestico di una rete di riscaldamento devono essere considerati come sistemi C&I subordinati che funzionano fondamentalmente in modo autonomo, ma che hanno anche un collegamento allo stato dell'arte con un sistema C&I master centrale, una possibilità di accesso remoto e una registrazione centrale dei dati (vedi capitolo 8.5).

Figura 5.23 Suddivisione funzionale di un sistema di controllo del processo in livello operativo, sistema C&I principale e sistemi C&I subordinati (esempio per un impianto di riscaldamento a legna con rete di riscaldamento).

### Esecuzione tecnica

Il sistema di controllo del processo e i suddetti livelli possono essere implementati in vari modi (vedi anche la tabella 6 negli schemi idraulici standard di QM Holzheizwerke - parte 1 [60]). Nei piccoli impianti, tutti e tre i livelli possono spesso essere assunti dal sistema C&I della caldaia a biomassa, poiché di solito non ci sono altri sistemi C&I subordinati. Le moderne caldaie a biomassa, anche come equipaggiamento standard, hanno già la possibilità di controllare i circuiti di riscaldamento, i circuiti di carica dell'accumulo o, per esempio, un sistema solare termico. In questo caso, il funzionamento avviene direttamente tramite il pannello di controllo della caldaia a biomassa e senza un computer principale. Per la registrazione dei dati può essere necessaria un'attrezzatura aggiuntiva.

Nelle proprietà più grandi con un sistema di gestione dell'edificio, le caldaie a biomassa sono integrate come sistemi I&C subordinati nel sistema di gestione dell'edificio (sistema I&C master) e il livello operativo vi è integrato, che è anche responsabile dell'acquisizione dei dati. Negli impianti DI RISCALDAMENTO a biomassa più grandi, a seconda del progetto, o il PLC della/e caldaia/e a biomassa può assumere il compito del sistema di controllo principale (ad esempio con una programmazione estesa e l'integrazione di altri componenti dell'impianto), o c'è un sistema di controllo principale separato basato su PLC. In alternativa, i compiti di controllo di livello superiore possono essere divisi tra diversi controllori o produttori (ad esempio, il controllo del serbatoio di stoccaggio e l'idraulica della casa di riscaldamento da parte del PLC della caldaia a biomassa e il controllo della rete con la propria unità dal produttore della stazione di trasferimento del calore).

La struttura del sistema di controllo del processo e, se necessario, la distribuzione delle funzioni di controllo a diversi controllori/PLC deve essere definita in dettaglio nel corso della pianificazione e presa in considerazione di conseguenza nel successivo appalto e nella costruzione dell'impianto.

La struttura del sistema I&C e il concetto di controllo sono importanti componenti integrali del QM per gli impianti DI RISCALDAMENTO a biomassa e sono spiegati in dettaglio negli schemi idraulici standard di QM Holzheizwerke [60]e nel capitolo 7 "Idraulica per la generazione di calore".

## 5.10.2 Requisiti per l'attrezzatura di misurazione e l'acquisizione dei dati

I moderni impianti DI RISCALDAMENTO a biomassa sono dotati di una completa attrezzatura di misurazione dell'impianto di riscaldamento e della rete di riscaldamento e di un'adeguata tecnologia di controllo per la trasmissione, la memorizzazione e la visualizzazione dei dati operativi misurati. Si tratta di una base importante per una gestione operativa cosciente e per un'ottimizzazione operativa completa (vedi capitolo 16). Una raccolta di dati completa e a lungo termine rappresenta un'importante risorsa che, oltre alla gestione e all'ottimizzazione operativa continua, è anche di grande valore per la pianificazione di future espansioni dell'impianto e per l'ammodernamento e la ristrutturazione degli impianti (vedi capitolo 18). Per aiutare la pianificazione e l'esecuzione della raccolta dati, QM per gli impianti DI RISCALDAMENTO a biomassa fornisce una lista completa di punti di misurazione in combinazione con gli schemi idraulici standard (vedi [60]), nonché raccomandazioni per la presentazione e la valutazione dei dati operativi (vedi FAQ 8; [Link](#)).

Il sistema di acquisizione dati e la visualizzazione (sul PC nella sala di controllo - vedi Figura 5.24) devono soddisfare i seguenti requisiti minimi, tra gli altri:

- Registrazione automatica e memorizzazione di tutti i valori misurati in alta risoluzione temporale (raccomandazione QM per impianti DI RISCALDAMENTO a biomassa [60]: intervallo di misurazione di 10 s e un intervallo di registrazione dei valori medi di 5 minuti raccomandato)
- Visualizzazione del sistema con diagrammi grafici di sistema contenenti i parametri operativi più importanti e gli stati operativi dei singoli componenti (valori istantanei)
- Rappresentazione grafica delle progressioni temporali (tendenze) sotto forma di diagrammi e parametri configurabili
- Opzione di esportazione facile da usare per tutti i dati operativi misurati, calcolati e salvati in un formato di dati generalmente leggibile (ad esempio file di testo in formato .csv)
- Backup regolare di tutti i dati operativi su un sistema indipendente

Tramite la comunicazione dei dati nella rete di riscaldamento, i dati di funzionamento delle stazioni di trasferimento del teleriscaldamento devono essere integrati nella tecnologia di controllo e nella registrazione dei dati (vedi capitolo 8.5). Per quanto riguarda la lettura a distanza dei dati dei clienti, devono essere rispettate le direttive vigenti sulla protezione dei dati. Si raccomanda di includere l'argomento dell'accesso remoto e della lettura dei dati a distanza nel contratto di fornitura del calore o di fare un accordo successivo con i clienti esistenti.

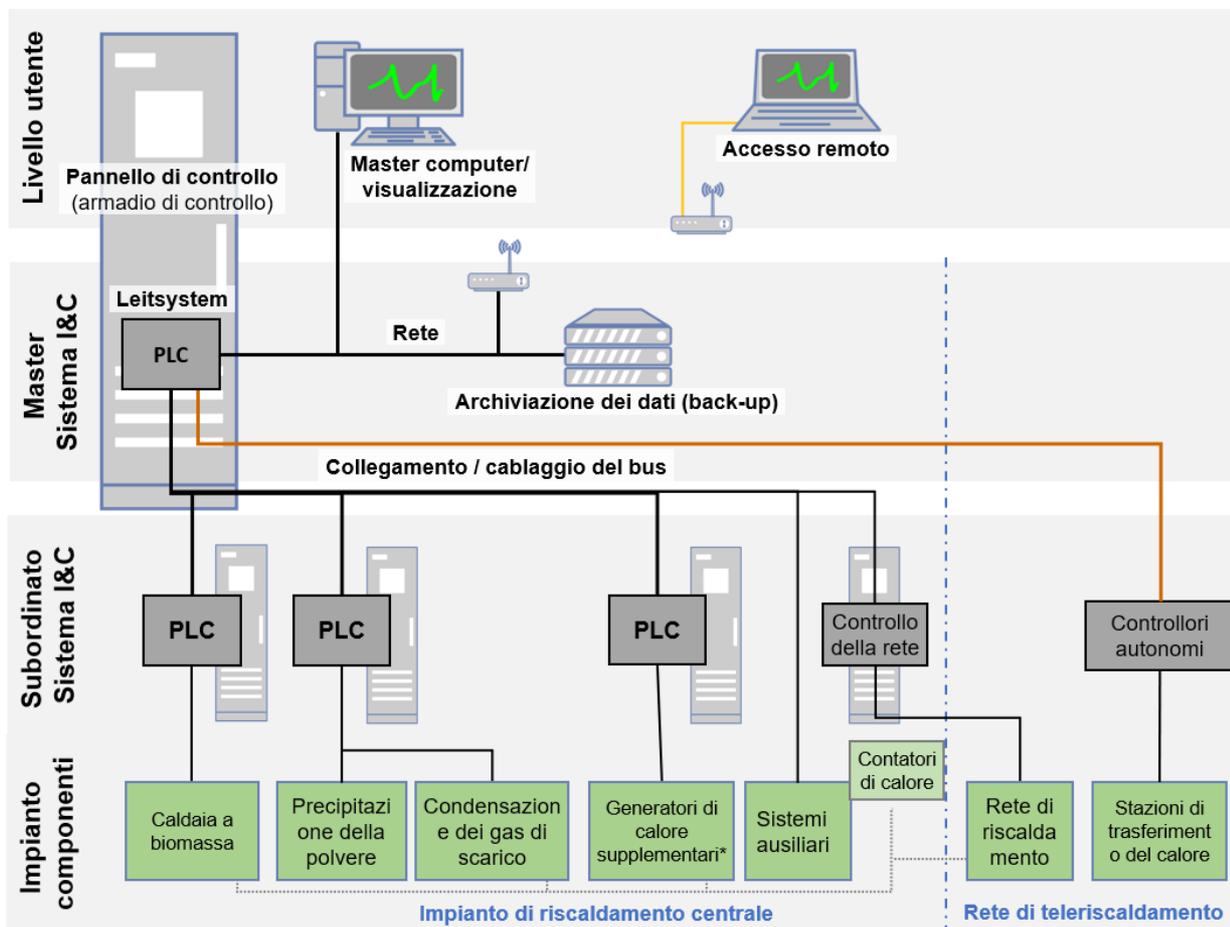
Per facilitare la gestione operativa e il monitoraggio del sistema, i moderni impianti DI RISCALDAMENTO a biomassa hanno anche un'opzione di accesso remoto al sistema di visualizzazione e controllo per il personale operativo. Questa possibilità dovrebbe essere prevista per i progettisti e i produttori selezionati per consentire un rapido accesso ai dati attuali

dell'impianto, se necessario. Se più persone/società hanno un accesso remoto corrispondente, le responsabilità e le competenze devono essere definite con precisione (se necessario con autorizzazioni limitate) e ogni modifica (ad esempio la regolazione dei setpoint o dei parametri di controllo) deve essere documentata e comunicata.

### 5.10.3 Pianificazione ed esecuzione

La pianificazione del sistema I&C deve essere presa in considerazione nel processo di pianificazione generale. In particolare, il pianificatore principale deve definire la struttura del sistema I&C (vedi capitolo 5.10.1) e le responsabilità che ne derivano in una fase iniziale e successivamente tenerne conto nelle specifiche delle offerte e dei contratti.

Nel corso della pianificazione, deve essere creata una descrizione funzionale completa. Questo è, tra l'altro, la base per la pianificazione e l'esecuzione dettagliata (specialmente il cablaggio e il controllo idraulico), ma anche un prerequisito fondamentale per un'ottimizzazione operativa di successo.



\* Caldaia a olio/gas, caldaie bivalenti, pompa di calore, ...

Figura 5.24 Sala di controllo di un impianto di cogenerazione a biomassa (fonte: AEE INTEC).

Le descrizioni funzionali definiscono i principi di base del rispettivo concetto di regolazione con particolare attenzione alla regolazione principale (gestione del carico, gestione dello stoccaggio, sistema di riscaldamento idraulico, rete di riscaldamento). La programmazione dettagliata e l'implementazione del concetto di regolazione è compito dei tecnici C&I dei produttori o dei fornitori. Per esempio, la progettazione del sistema C&I subordinato

per le caldaie a biomassa è solitamente inclusa nella fornitura della caldaia. Il progettista principale è responsabile della verifica della conformità ai requisiti di base dei sistemi I&C e dell'acquisizione dei dati secondo la descrizione funzionale e le specifiche.

La descrizione funzionale include i seguenti componenti essenziali:

- Descrizione dettagliata della funzionalità del sistema per tutti gli stati operativi rilevanti (inclusa la descrizione del controllo).
- Panoramica dei parametri di controllo più importanti che possono essere regolati durante il funzionamento
- Elenco completo dei punti di misura secondo lo schema idraulico. La posizione di misurazione, il campo di misurazione, la risoluzione temporale e la precisione di misurazione devono essere specificati per ogni punto di misurazione (vedi capitolo 16).
- Descrizione della registrazione automatica dei dati (principio di base e struttura dei dati o dei file, luogo e durata della memorizzazione dei dati, ecc. ).

Quando si progetta la tecnologia di controllo, si deve prestare particolare attenzione ai seguenti punti (vedi anche "Muster-Ausschreibung Holzessel" - esempio di offerta per caldaie a biomassa di QM Holzheizwerke; [Link](#)):

- Luogo di installazione protetto dalla polvere e garantire che la temperatura massima di funzionamento dei componenti elettronici non venga superata. In caso di elevati carichi termici interni (ad esempio a causa dei convertitori di frequenza), è necessario prevedere una ventilazione/condizionamento dell'aria.
- Prevedere una riserva di spazio di circa il 20% negli armadi di comando o per armadi di comando supplementari (espansione del sistema).
- La migliore standardizzazione possibile dei componenti utilizzati (ad esempio, armadi di controllo standard, sensori uniformi, ecc.)
- Assicurare la compatibilità dei componenti e dei sistemi utilizzati e la comunicazione tra tutti i livelli e le parti del sistema.
- Assicurare la disponibilità a lungo termine dei pezzi di ricambio.
- Definizione delle responsabilità e confini di consegna e interfacce non ambigui.
- Conformità con tutti i regolamenti, gli standard e le linee guida pertinenti.
- Documentazione tecnica completa che include schemi di circuiti, schede tecniche ed elenchi di punti di dati (da integrare nel capitolato d'appalto).
- Etichettatura chiara e professionale dei dispositivi di campo e del cablaggio.
- Inoltro di tutti i messaggi di errore dei singoli componenti al PLC master tramite contatti a potenziale zero.
- Livello di commutazione manuale etichettato con testo in chiaro per il controllo manuale dei componenti di sistema più importanti (rilevanti per la sicurezza). Il livello di commutazione manuale deve essere dotato di un interblocco.
- Opzione di accesso remoto e inoltro dei messaggi di errore.
- Possibilità di assegnare permessi di accesso e utenti specifici.
- Istruzioni e descrizioni facili da usare per il personale operativo.

## 6 Componenti dell'impianto di stoccaggio del combustibile, trasporto del combustibile e rimozione delle ceneri

### 6.1 Osservazione preliminare

Questo capitolo descrive i componenti dello stoccaggio del combustibile, del trasporto e della rimozione delle ceneri. La selezione e il dimensionamento appropriati di questi componenti sono descritti nel capitolo 14

Il capitolo 19 elenca i requisiti specifici del paese per l'equipaggiamento di sicurezza dei componenti corrispondenti per quanto riguarda la prevenzione degli incendi e degli incidenti, la prevenzione delle esplosioni (ATEX, BGI Informationen 739-2) (barriere luminose, blocco di spegnimento, protezione dell'accesso, ringhiere, parapetti, aspirazione dei gas di fermentazione, ecc. ).

### 6.2 Deposito di combustibile

#### Silos di combustibile con sistema di scarico del combustibile

I silos per il combustibile sono adatti per cippato e bricchette da secchi a molto umidi con un'aggiunta limitata di trucioli e polvere. Sono facili da riempire, rovesciando il combustibile dal camion. Poiché sono di solito progettati come silos sotto il pavimento (Figura 6.1

Silo sotto il pavimento), il volume di stoccaggio è costoso (opere di terra e cemento armato). I silos di combustibile hanno un sistema di scarico automatico (vedi capitolo 14.3), che convoglia il combustibile immagazzinato fuori dal silo.

Figura 6.1 Silo sotto il pavimento (fonte: Andres Jenni).

#### Sistema di contenitori mobili con scarico

Il sistema di contenitori mobili (Figura 6.2) viene riempito di cippato nella foresta o dal fornitore di combustibile sul posto.

Il contenitore riempito (volume di riempimento di circa 30 m<sup>3</sup>) viene consegnato con un camion. Il sistema di scarico installato nel container è accoppiato con il dispositivo di caricamento fisso del forno. Il sistema di cottura controlla lo scarico del combustibile del contenitore. Un secondo contenitore pieno è pronto come riserva, in modo che possa essere commutato immediatamente in caso di necessità e l'alimentazione continua di combustibile non venga interrotta. A seconda della potenza nominale dell'impianto di riscaldamento, sono necessari diversi contenitori. La consegna continua di cippato in container è un requisito. I container possono anche essere affittati.

I contenitori mobili per cippato con scarico sono adatti per cippato, corteccia triturrata e segatura. La tecnologia di scarico non è generalmente influenzata da particelle di combustibile sovradimensionate e pietre. Può servire come sostituzione o alternativa per i silos di combustibile stazionari (immobili).

I vantaggi sono che non ci sono costi di investimento per un silo stazionario e che i tempi di scarico per la consegna del cippato sono brevi.

Lo svantaggio è la dipendenza dal fornitore di combustibile. Inoltre, è necessario uno spazio di stoccaggio fuori dal sistema di riscaldamento. Specialmente in inverno, una semplice protezione visiva dei container si rivela vantaggiosa (frangivento). A causa dei costi di noleggio dei container, i costi operativi sono relativamente alti. In inverno, c'è a volte un rischio di congelamento.

Figura 6.2 Contenitori mobili di cippato con scarico in sostituzione dei silos (fonte: Holzenergie Schweiz).

#### Silos rotondi fuori terra

I silos rotondi fuori terra (Figura 6.3) sono adatti per combustibili con una grumosità fino a P63, una lunghezza massima delle particelle di 200 mm e un contenuto di acqua da secca a > 55%. Il campo di applicazione è costituito da grandi impianti DI RISCALDAMENTO a biomassa con brevi tempi di rotazione del combustibile nel silo. Questo impedisce la formazione di ponti.

Il riempimento avviene di solito tramite trasportatori a catena raschiante e un sistema di distribuzione sopra il silo rotondo.

Lo scarico avviene per mezzo di una vite di fresatura (vedi capitolo 6.4.1).

Figura 6.3 Silo rotondo (fonte: Gottwald GmbH).

#### Silos di trucioli

I silos per trucioli (Figura 6.4) sono adatti per trucioli di legno, segatura e polvere di levigatura da impianti di lavorazione del legno, ma anche per trucioli di legno secchi e bricchette. Il riempimento è solitamente pneumatico. I requisiti per i dispositivi di sicurezza relativi alla prevenzione delle esplosioni (ATEX) devono essere particolarmente rispettati (vedi capitolo 19, Norme per i silos per trucioli).

Figura 6.4 Silo di cippato (Fonte: Wooden Energy Switzerland).

#### Stoccaggio di pellet

I pellet di legno sono immagazzinati in magazzini o contenitori chiusi e asciutti. Sono disponibili serbatoi in acciaio, plastica o tessuto. Il riempimento avviene di solito pneumaticamente, nel caso di silos più grandi sotto il pavimento a volte anche per ribaltamento. Lo scarico dai pic-

coli serbatoi di stoccaggio avviene per mezzo di trasportatori a coclea o pneumaticamente; nel caso di serbatoi di stoccaggio più grandi, viene spesso installato un sistema di scarico a braccio articolato. Al fine di ridurre al minimo la quantità di particelle, i pellet devono essere alimentati nell'area di stoccaggio e scaricati delicatamente e per la via più breve possibile. I dispositivi di alimentazione aggiuntivi utilizzati nello stoccaggio del cippato (ad esempio i distributori di silo) non dovrebbero essere previsti. La penetrazione dell'acqua nel deposito (ad es. attraverso le pareti o i dispositivi di riempimento) e la formazione di condensa nel deposito (ad es. sulle tubature dell'acqua fredda, sulle pareti/supporti freddi del deposito non isolati termicamente o attraverso l'aria di trasporto umida nel deposito freddo dei pellet) devono essere evitate a tutti i costi. Ulteriori informazioni si trovano nell'**opuscolo Lagerung von Holzpellets** dell'associazione tedesca *Deutscher Energieholz- und Pellet-Verband (DEPV)* [65](vedi anche capitolo 14.2.9).

### Magazzino

Per i grandi impianti DI RISCALDAMENTO a biomassa con una capacità della caldaia a biomassa di più di 1 MW, i magazzini di stoccaggio (Figura 6.5) con un silo giornaliero dovrebbero essere considerati invece dei costosi silos sotto il pavimento. I magazzini di stoccaggio sono adatti a tutti i combustibili. Il riempimento è costoso, poiché i combustibili di solito devono essere portati da un trogolo di scarico fino a sotto l'altezza del colmo con un sistema di trasporto e poi distribuiti nel magazzino di stoccaggio o gestiti con una pala gommata. Il magazzino di stoccaggio stesso, d'altra parte, è poco costoso. I magazzini di stoccaggio sono usati anche come strutture di stoccaggio provvisorio.

Figura 6.5 Magazzino (fonte: Franz Promitzer).

### Magazzino esterno

Il cippato o la corteccia possono essere temporaneamente immagazzinati all'aperto su cumuli (Figura 6.6) o su cataste di tronchi (Figura 6.7Pila di ). Il deposito all'aperto può essere situato direttamente presso l'impianto di riscaldamento, in un luogo centrale che sia accessibile ai camion tutto l'anno, o nella foresta.

Figura 6.6 Stoccaggio provvisorio all'aperto del cippato (Fonte: AEE INTEC).

Figura 6.7Pila di tronchi alla centrale termica (fonte: AEE INTEC).

Figura 6.10Coperchio pieghevole non accessibile (sinistra chiuso, centro aperto, destra riempimento. Fonte: Patrik Kützel).

## 6.3 Riempimento di silos e magazzini

### 6.3.1 Riempimento di silos di cippato

Il riempimento dei silos sotto il pavimento viene fatto per lo più rovesciando il combustibile dal camion attraverso un'apertura di riempimento. Un alto grado di riempimento si ottiene disponendo in modo ottimale le aperture di riempimento o utilizzando i distributori di silo.

#### Coperchio del silo

La costruzione del coperchio del silo è molto importante per i silos a livello del suolo che vengono riempiti direttamente con i camion. Se il coperchio del silo non è progettato per essere calpestato, dovrebbe essere posto su un bordo di cemento alto almeno 20 cm (Figura 6.8e Figura 6.10Coperchio pieghevole ). Questo impedisce all'acqua piovana di entrare nel silo. Se è necessaria una copertura carrabile (Figura 6.9 Coperchio del silo), bisogna assicurarsi che possa essere chiusa dopo il riempimento senza pulire il canale di scarico e la zona delle cerniere. A causa dei costi elevati e della possibile penetrazione dell'acqua, i coperchi dei silos carrabili dovrebbero essere evitati.

I coperchi dei silos possono anche essere prodotti in un design diviso. Questo migliora la resistenza e riduce il peso delle singole parti del coperchio rendendolo più facile da usare. Inoltre, con questa disposizione, meno cippato cade vicino all'apertura di riempimento e non c'è pericolo che il coperchio del silo venga danneggiato se un blocco di cippato compattato scivola fuori dal camion.

L'apertura di riempimento deve essere coperta con una griglia o griglia di protezione in conformità con le norme locali di prevenzione degli infortuni (vedere anche il capitolo 19). Dato che i trucioli di legno tendono a fare ponte, possono rimanere bloccati sulla griglia di protezione durante il riempimento, il che rallenta il flusso del materiale e aumenta il tempo di scarico.

Per uno scarico senza problemi, deve essere possibile aprire il coperchio del silo di più di 90°, cioè oltre il punto morto. Questo garantisce uno spazio sufficiente per il veicolo di ribaltamento e allo stesso tempo impedisce che il coperchio del silo si chiuda.

Figura 6.8 Coperchio del silo non accessibile quando è aperto (fonte: Schmid energy solutions).

Figura 6.9 Coperchio del silo non accessibile sullo sfondo e accessibile in primo piano. Entrambi in condizione di chiusura. (Fonte: Schmid energy solutions).

### Viti di riempimento

Nel caso di sili nei seminterrati degli edifici, le viti di riempimento (Figura 6.11) effettuano il trasporto del combustibile dal pozzo di riempimento (trogolo di scarico) nel silo e aumentano ulteriormente il suo livello di riempimento. Le coclee di riempimento orizzontali trasportano il combustibile sotto il soffitto del silo per l'intera lunghezza del silo fino al deflettore. Grazie all'elevata capacità di trasporto delle coclee di riempimento (> 200 LCM/h), sono possibili tempi di scarico di < 10 minuti anche durante l'ultimo processo di scarico. Le coclee di riempimento sono adatte a tutti i tipi di cippato, corteccia triturrata e segatura. Inoltre, non sono influenzate da particelle di combustibile sovradimensionate e da pietre.

Vantaggi:

- Alto livello di riempimento dei silos, la maggior parte dei quali si trova sotto un edificio.
- Migliore utilizzo dello spazio per il sistema di riscaldamento.

Svantaggi:

- Costi di investimento aggiuntivi
- Tempi di scarico leggermente più lunghi per il fornitore di combustibile

Figura 6.11 Viti di riempimento (fonte: Holzenergie Schweiz).

### Distributore di silo

Il distributore del silo (Figura 6.12) trasporta il cippato orizzontalmente in modo che il silo sia riempito uniformemente indipendentemente dalla sua forma. Il distributore del silo funziona come una coclea di riempimento, ma lavora in due direzioni opposte dall'apertura di riempimento. Le coclee disposte orizzontalmente trasportano il combustibile sotto il soffitto del silo per tutta la lunghezza del silo. Grazie all'elevata capacità di trasporto delle coclee di riempimento (> 250 LCM/h), sono possibili tempi di scarico di < 10 minuti anche per l'ultima operazione di scarico. Se le condizioni strutturali lo permettono, è preferibile l'installazione di tre coperchi di silo invece di un coperchio di silo con distributore di silo. I distributori silo sono adatti a tutti i tipi di cippato, corteccia triturrata e segatura. Inoltre, non sono influenzati da parti di combustibile sovradimensionate e da pietre.

I vantaggi dei distributori di silo sono:

- Basso consumo di energia
- Indipendente dalla forma del combustibile e dal contenuto d'acqua
- Non influenzato da impurità più grandi
- Possibilità di silos lunghi
- Coperchi di silo aggiuntivi non necessari

I principali svantaggi sono:

- Costi di investimento aggiuntivi

Figura 6.12 Distributore di silo (fonte: Schmid energy solutions).

### Coclea verticale per silos e magazzini fuori terra

Nel caso di sili e magazzini di stoccaggio fuori terra, il sistema di trasporto a coclea verticale (Figura 6.13) esegue il trasporto del combustibile dal trogolo di scarico nel silo o nel magazzino. Una coclea di trasporto disposta orizzontalmente trasporta il combustibile dal trogolo di scarico al sistema di trasporto a coclea verticale. Questa lo trasporta verticalmente verso l'alto (altezza massima di trasporto circa 18 m) e poi lo trasferisce alle coclee di distribuzione disposte orizzontalmente. La capacità di trasporto raggiunge circa 60 LCM/h, rispettivamente 120 LCM/h con un sistema a doppia coclea, a condizione che il volume dello scivolo di scarico sia maggiore del volume di trasporto del veicolo di consegna. Il sistema di trasporto a coclea verticale è adatto a tutti i tipi di cippato, alla corteccia e alla segatura. La dimensione massima del cippato è P100.

I vantaggi del sistema sono:

- Alto livello di riempimento
- Bassi costi di costruzione del silo

I principali svantaggi includono:

- Costi di investimento aggiuntivi
- Fino a un'ora tra le singole consegne

Figura 6.13 Sistema di coclea verticale (fonte: Schmid energy solutions).



Figura 6.14 Contenitore della pompa (fonte: Amstutz Holzenergie AG).

### Contenitore pompa/carro pompa

Un contenitore/pompa camion (Figura 6.14) permette di riempire i sili quando non è possibile l'accesso diretto con veicoli di consegna per il ribaltamento. Il cippato viene pompato direttamente dal contenitore/camion di consegna (volume di riempimento circa 30 m<sup>3</sup>) con il sistema di scarico interno tramite tubi flessibili nel silo sotterraneo o fuori terra. Per lo svuotamento completo, il contenitore viene

ribaltato. I contenitori/carri a pompa sono mobili e versatili e sono particolarmente adatti al cippato secco di qualità proveniente da scarti forestali e industriali con una bassa percentuale di fini. Il sistema è sensibile alle particelle di combustibile sovradimensionate e alle pietre.

I suoi principali vantaggi sono:

- Nessun insudiciamento del luogo di scarico a causa della caduta di trucioli di legno
- Minori costi di investimento per i soliti sistemi di alimentazione e distribuzione
- Massimo livello di riempimento del silo (fino al 90%)

Gli svantaggi sono:

- Dipendenza dal fornitore di combustibile
- Tempi di scarico più lunghi (circa 30 minuti rispetto ai veicoli ribaltabili con circa 5 minuti)
- Formazione di polvere con trucioli di legno secchi, inadatta alla polvere di levigatura e ai trucioli di legno
- Costi di consegna più alti
- Rumore dovuto al sistema di pompaggio

### 6.3.2 Riempimento e gestione dei magazzini

#### Sistema di gru completamente automatico

Il sistema di gru completamente automatico è usato per il carico e lo scarico dei magazzini di stoccaggio (Figura 6.15). Una gru a benna automatica o controllata manualmente preleva il combustibile da un deposito o da un bunker di scarico, lo distribuisce nel magazzino di stoccaggio e alimenta un silo giornaliero o la zona del piano di spinta. Se necessario, è possibile miscelare diverse qualità di combustibile. Il sistema è indipendente dall'altezza e dall'area all'interno delle corsie della gru. Se il volume di scarico è maggiore del volume di trasporto del veicolo di consegna, si possono raggiungere capacità fino a 150 m<sup>3</sup>/h. Il sistema a gru completamente automatico è adatto a tutti i combustibili legnosi, tranne i trucioli di legno e la polvere, e non è influenzato da particelle di combustibile sovradimensionate e pietre.

I principali vantaggi sono:

- Adattabile al tipo di combustibile
- Gestione automatica possibile
- Miscelazione di diverse qualità di combustibile possibile
- Uso ottimale dello spazio di archiviazione

Gli svantaggi includono:

- Limitato ai magazzini più grandi
- Funzionamento costoso (usura delle funi d'acciaio e del paranco, manutenzione legale necessaria). Il sistema della gru richiede uno standard di costruzione industriale.



Figura 6.15 Sistema di gru completamente automatico con vasca di scarico e silo giornaliero (fonte: Schmid energy solutions).

**Sistema di carico e scarico con trasportatore a catena raschiante mobile orizzontalmente e verticalmente**

I trasportatori a catena raschiante con trasportatori trasversali sono montati in un telaio che può essere spostato sia verticalmente che orizzontalmente (Figura 6.16). In questo modo il sistema di carico e scarico si adatta automaticamente al rispettivo livello di riempimento del magazzino. Durante il caricamento, il sistema funge da distributore; durante lo scaricamento, convoglia il cippato al sistema di trasporto del combustibile del forno. La lunghezza dell'inserto è fino a 28 m. Ad eccezione della polvere, il sistema è adatto a tutti i combustibili legnosi e non è influenzato da particelle di combustibile sovradiimensionate e pietre.

I principali vantaggi sono:

- Uso ottimale del volume del magazzino
- Adattabile al tipo di combustibile
- Stoccaggio di diversi assortimenti di combustibile in diverse corsie in modo controllato
- Scarico mirato

I principali svantaggi sono:

- Limitato ai grandi magazzini
- Costruzione elaborata



Figura 6.16 Sistema di carico e scarico con trasportatore a catena raschiante orizzontale e verticale [65].

**Pala gommata**

La pala gommata (o il caricatore telescopico) trasporta il combustibile consegnato o il legno appena tagliato sul posto nel magazzino di stoccaggio o lo scarica sul cumulo (Figura 6.17). Da lì, viene riempito un pre-silo, se necessario. Il sistema richiede molto lavoro e tempo. La pala gommata non può essere automatizzata, ma è molto flessibile e può essere usata per un'ampia varietà

di compiti. È adatta a tutti gli assortimenti di combustibile, ad eccezione dei trucioli di legno e della polvere.

I principali vantaggi della pala gommata sono:

- Flessibilità di posizione, possibilità di uso multiplo
- Adattamento ottimale al combustibile
- Separazione di diversi tipi di combustibile possibile

Gli svantaggi sono:

- Personale intensivo
- Alto consumo di energia
- Rumore



Figura 6.17 Pala gommata (Fonte: AEE INTEC).

#### Caricatore superiore

Un caricatore dall'alto (Figura 6.18) è un sistema di carico e scarico che non richiede un vassoio di raccolta. Esso immagazzina il combustibile scaricato dal veicolo di consegna nel deposito. Se necessario, il caricatore superiore convoglia il combustibile dal deposito impilato nel canale dello scarico trasversale, che si trova dietro la parete posteriore del magazzino di stoccaggio. Il sistema è adatto a tutti i combustibili eccetto i trucioli di legno e la polvere e non è influenzato da particelle di combustibile sovradimensionate e pietre.

Il caricatore superiore ha diversi vantaggi:

- Possibilità di uso multiplo del magazzino
- Facile scarico a terra
- Bassi costi di costruzione per lo spazio di stoccaggio dalla soletta, bassi requisiti statici
- Facilità di manutenzione grazie al facile accesso
- Basso consumo energetico
- Gestione automatica compresa la misurazione del livello

Gli svantaggi includono:

- Nessun deposito intermedio del combustibile, il combustibile depositato per ultimo viene rimosso per primo (last in, first out)
- Fabbisogno di spazio relativamente grande (area di parcheggio per il caricatore superiore)



Figura 6.18 Caricatore superiore (fonte: Vecoplan AG).

### 6.3.3 Riempimento di silos di trucioli

Polvere, trucioli e cippato secco con un contenuto d'acqua < 20 % sono immagazzinati in silos di trucioli (Figura 6.19). Il riempimento di un silo di trucioli è sempre combinato con il sistema di estrazione dei trucioli usato nell'impianto. Una cippatrice può anche essere collegata al sistema di estrazione. Il silo di trucioli viene riempito con il combustibile secco e fine per mezzo di un flusso d'aria generato da un ventilatore a pressione. A causa dell'aumento della sezione trasversale nel silo, la portata diminuisce e il combustibile cade nel silo. Un sistema di filtri a pulizia automatica separa le particelle fini dall'aria di scarico. Nei sistemi di estrazione centrale, un filtro a ciclone separa l'aria di trasporto dal combustibile. A seconda della frazione fine, è necessario un sistema di filtraggio aggiuntivo per l'aria di scarico. Nei sistemi di aspirazione individuali, l'aria di trasporto viene ricircolata e riutilizzata.

Il sistema di riempimento dei silos di trucioli non è influenzato dalla differenza di altezza e dalle dimensioni del silo. Deve essere progettato esattamente per il rispettivo assortimento di legno ed è sensibile alle pietre e alle parti di combustibile sovradimensionate. A seconda dell'isolamento acustico e della grumosità del combustibile, può essere rumoroso.

I vantaggi di questo sistema sono:

- Uso ottimale della struttura dell'edificio
- Senza polvere
- Grandi distanze orizzontali e verticali superate senza problemi

Gli svantaggi sono:

- Limitatamente al combustibile secco con piccoli grumi
- Rumoroso
- Necessità di strutture aggiuntive per il silo
- Pericolo di esplosione a causa del contenuto di polvere
- Alto consumo di energia

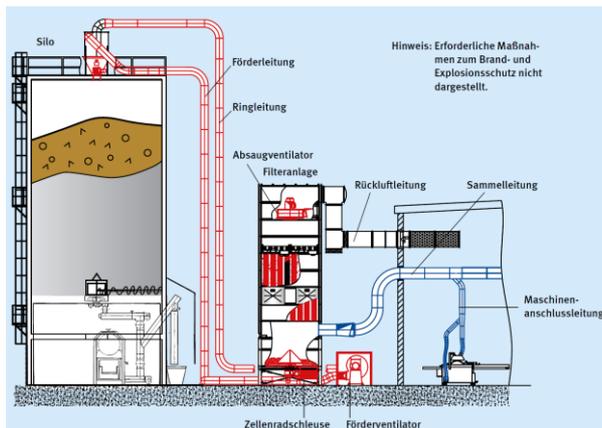


Figura 6.19 Riempimento del silo con sistema di estrazione dei trucioli (fonte: BGI 739-2) [65].

### 6.3.4 Riempimento di magazzini di pellet

I pellet di legno sono solitamente consegnati al cliente da un'autocisterna di pellet. Il deposito di pellet viene poi riempito attraverso un tubo flessibile che il conducente accoppia a un ugello di riempimento attraverso il quale i pellet vengono soffiati dal veicolo nel deposito. Quando i pellet vengono soffiati dentro, la pressione deve essere equalizzata. A questo scopo, le camere stagne hanno un secondo collegamento al quale viene collegata una soffiante di aspirazione con un sacco di polvere durante il riempimento (Figura 6.20 Consegna dei pellet con soffiante di aspirazione e sacco di polvere). Solo nel caso di un silo di tessuto si può fare a meno di un tale collegamento di aspirazione, poiché in questo sistema l'aria soffiata con i pellet può uscire dalla stanza attraverso il tessuto del silo. L'aria compressa è usata per costruire la pressione per riempire la stanza.



Figura 6.20 Consegna dei pellet con soffiante di aspirazione e sacco di polvere (fonte: Holzenergie Schweiz)

Se il deposito di pellet è un silo sotto il pavimento, il riempimento può essere fatto anche per ribaltamento. Grandi quantità di pellet possono anche essere consegnate da un veicolo dotato di un piano di spinta che spinge i pellet nell'area di stoccaggio. Il ribaltamento o la spinta possono essere più delicati sui pellet rispetto al soffiaggio, ma hanno alcuni svantaggi. Per esempio, un'ulteriore costruzione sotterranea, che può essere accessibile ai vei-

coli, deve essere fornita come silo fuori dall'edificio, e l'apertura di riempimento è associata al rischio di umidità che entra nell'area di stoccaggio.

## 6.4 Scarico

### 6.4.1 Sistemi di scarico per tutti i combustibili

#### Spingere il pavimento

Il piano di spinta (Figura 6.21) permette lo scarico continuo del combustibile in silos di grandi dimensioni. Una o più aste di spinta sono mosse orizzontalmente avanti e indietro da cilindri idraulici. Il combustibile viene spinto nel canale di scarico dai trascinatori a forma di cuneo. Nei sistemi moderni, il movimento in avanti delle singole aste di spinta avviene insieme, il movimento all'indietro individualmente. Questo permette di ridurre le forze di spinta delle singole aste di spinta. Le forze dei cilindri idraulici devono essere assorbite dall'edificio. Il peso sopra il sistema di spinta determina le forze di spinta necessarie, e l'intera struttura deve essere adattata al silo. Il piano di spinta è adatto a tutti i combustibili. Quando si usa corteccia e legno da giardino tagliato grossolanamente, si raccomanda l'installazione di un rullo dosatore aggiuntivo. Il piano di spinta non è influenzato da parti di combustibile sovradimensionate e da pietre. È adatto a silos sotto il pavimento, capannoni di stoccaggio, silos di cippato, depositi di pellet e contenitori mobili di cippato.

I principali vantaggi del pavimento a spinta sono:

- Funzionamento affidabile e indipendente dal contenuto d'acqua del combustibile
- Nessuna parte del sistema di azionamento nel silo
- Qualsiasi forma e dimensione di combustibile possibile

Gli svantaggi del pavimento a spinta sono:

- Forze di taglio elevate sugli edifici
- Usura del rivestimento del pavimento con un'alta rotazione annuale del combustibile
- Lunghezza e quantità di trasporto limitate
- Possibile solo un uso lineare
- Emissioni di rumore possibili



Figura 6.21 Scarico del silo per piano di spinta (fonte: Schmid energy solutions).

### Raschietto trasportatore a pavimento

Il trasportatore a piano raschiante è usato per i silos di piccole dimensioni (pre-silo, silo giornaliero) (Figura 6.22). Funziona in modo simile a un nastro trasportatore. I profili trasversali attaccati alle catene di trasporto trasportano il combustibile. L'attrezzatura è adattata alla rispettiva situazione del silo. La larghezza e l'altezza del silo determinano il numero di catene di trasporto. Il trasportatore a piano raschiante è posto sopra il combustibile e raggiunge così un'elevata capacità di trasporto. Il sistema è adatto a tutti i combustibili tranne la polvere e non è influenzato da parti di combustibile sovradimensionate e pietre.

I principali vantaggi del trasportatore a piani raschianti sono:

- Adattabile alla situazione del combustibile e del silo

Gli svantaggi sono:

- Parti del sistema di azionamento nella stanza del silo
- Alti costi di investimento
- Spese elevate per la manutenzione e la riparazione
- Costruzione complessa

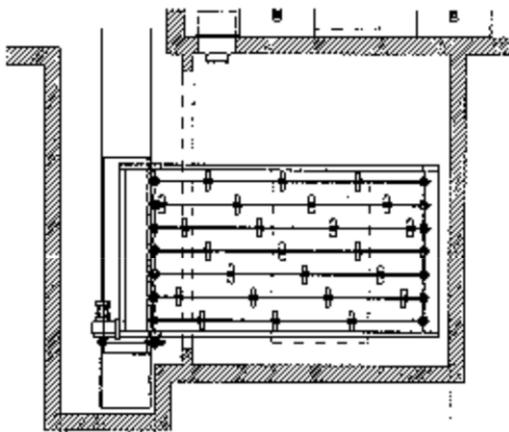


Figura 6.22 Scarico del silo tramite piano raschiante [66].

### Vite centrale

La coclea centrale può essere usata per scaricare silos quadrati e rotondi. La coclea centrale ruota in cerchio intorno al centro sul fondo del silo e convoglia il combustibile orizzontalmente nel centro del silo. Il diametro effettivo è  $> 4$  m. Il sistema è adatto sia per il cippato secco che per trucioli, polvere e pellet. È sensibile alle particelle di combustibile sovradimensionate e alle pietre.

I vantaggi della vite centrale sono:

- Costruzione semplice
- Bassa tendenza al bridge
- Possibili grandi altezze del silo (sono necessarie aperture di manutenzione adeguate per il pungolo)

Gli svantaggi sono:

- Sensibile alle particelle di combustibile sovradimensionate e alle pietre (è necessaria una selezione)
- Parti del sistema di azionamento nella stanza del silo

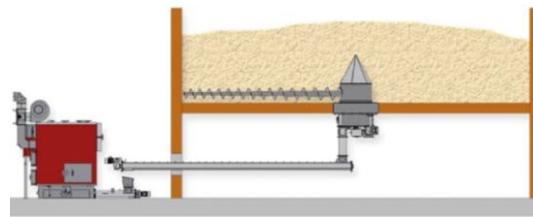


Figura 6.23 Sistema di scarico con vite centrale (fonte: Binder Energietechnik GmbH).

### Vite conica

La vite conica (Figura 6.24 Sistema di ) è usata per lo scarico continuo di silos alti con una base circolare, ottagonale o rotonda. La vite conica trasporta il combustibile al dispositivo di scarico al centro del silo. Il suo design è simile a quello della vite centrale, ma è inclinato invece che orizzontale. Il suo diametro effettivo è compreso tra 1,5 m e 5,0 m. La coclea conica è adatta per silos alti e per combustibili secchi, cippato e polvere.

I principali vantaggi della vite conica sono:

- Costruzione semplice
- Bassa tendenza al bridge
- È possibile una grande altezza del silo (sono necessarie aperture di manutenzione adeguate per il pungolo)

Gli svantaggi includono:

- Non è possibile utilizzare completamente il volume di stoccaggio, un volume residuo rimane nel silo
- Area accessibile limitata
- Parti del sistema di azionamento nella stanza del silo



Figura 6.24 Sistema di scarico con vite conica (fonte: Schmid AG energy solutions).

### Vite a pendolo

La vite a pendolo (Figura 6.25 Sistema di ) può essere usata per scaricare continuamente il combustibile dai silos quadrati e rettangolari. La vite a pendolo è attaccata al bordo del silo. Oscilla orizzontalmente avanti e indietro in un semicerchio all'interno di un settore limitato sul fondo del silo e trasporta il combustibile al dispositivo di scarico. La coclea a pendolo è adatta a tutti i combustibili eccetto la corteccia non sminuzzata e il legno da manutenzione paesaggistica grossolanamente sminuzzato,

ma è sensibile alle particelle di combustibile sovradimensionate e alle pietre.

I vantaggi della vite a pendolo sono:

- Costruzione semplice
- Bassa tendenza al bridge
- È possibile una grande altezza del silo (sono necessarie aperture di manutenzione adeguate per il puntolo)
- Nessuna parte del sistema di azionamento nella stanza del silo

Gli svantaggi sono:

- Non è possibile utilizzare completamente la superficie di base, un volume residuo rimane nel silo
- Sensibile alle particelle di combustibile sovradimensionate e alle pietre (è necessaria una selezione)

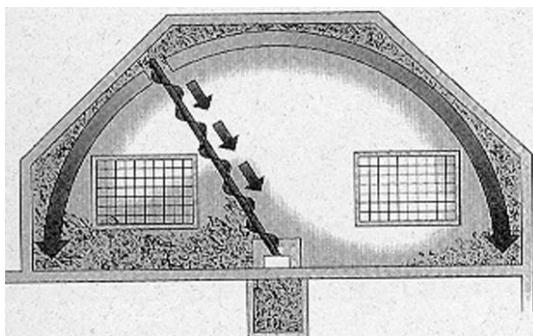


Figura 6.25 Sistema di scarico con vite a pendolo [66].

#### Vite di fresatura

La coclea di fresatura (Figura 6.26) è usata principalmente per scaricare silos rotondi e alti in superficie. La coclea di fresatura descrive un cerchio intorno al centro sul fondo del silo e convoglia il combustibile con un diametro effettivo da 2 m a 20 m nel centro del silo. È adatta a tutti i combustibili legnosi con una grumosità massima di 200 mm.

I vantaggi della vite di fresatura sono:

- Costruzione semplice e robusta
- Possibili grandi altezze di silo

Gli svantaggi della vite di fresatura sono:

- Possibilità di ponti a seconda della fluidità del combustibile
- Parti del sistema di azionamento nella stanza del silo
- Sensibile alle particelle di combustibile sovradimensionate e alle pietre (è necessaria una selezione)



Figura 6.26 Vite di fresatura (fonte: JPA Fördertechnik).

## 6.4.2 Sistemi di scarico speciali

I seguenti sistemi di scarico speciali possono essere utilizzati per cippato e pellet di qualità.

#### Scarico del braccio articolato

Con lo scarico a bracci articolati (Figura 6.27 Sistema di ), i silos quadrati e rotondi per cippato di qualità e per pellet possono essere svuotati continuamente. Due bracci articolati girano intorno al centro sul fondo del silo e trasportano il combustibile orizzontalmente nel centro della stanza. Il raggio aumenta nel corso dello scarico in modo che anche il combustibile in posizione periferica possa essere raccolto e scaricato. Lo scarico a braccio articolato ha un diametro di circa 6 m, può gestire un'altezza di ribaltamento di 6 m e può essere progettato orizzontalmente o ad angolo. È adatto allo scarico di cippato e pellet di qualità.

I vantaggi dello scarico a braccio articolato sono:

- Costruzione semplice
- Grande altezza di stoccaggio possibile

Gli svantaggi dello scarico del braccio di buckling sono:

- Area accessibile limitata
- Parti del sistema di azionamento nel magazzino



Figura 6.27 Sistema di scarico con braccio articolato per cippato e pellet di qualità (fonte: Holzenergie Schweiz).

#### Scarico del nucleo della molla

Lo scarico con nucleo a molla (scarico con agitatore a balestra, Figura 6.28 Scarico del nucleo della molla (fonte:)) è usato per lo scarico continuo di cippato e pellet di qualità da silos quadrati e rotondi. Due o tre bracci di molla a balestra con i driver trasportano il combustibile

al canale aperto della coclea di scarico con l'aiuto del movimento rotatorio dell'agitatore. Il raggio descritto dai bracci a balestra aumenta nel corso dello scarico, in modo che anche il combustibile in posizione periferica possa essere raccolto e scaricato. Il combustibile viene scaricato orizzontalmente o diagonalmente verso l'alto. Il diametro massimo effettivo è di 6 m, l'altezza massima di scarico è di 4 m (pellet) o 6 m (cippato di qualità).

I vantaggi dello scarico del nucleo della molla sono:

- Costruzione semplice
- Ponte basso

Gli svantaggi sono:

- Area accessibile limitata
- Parti del sistema di azionamento nel magazzino



Figura 6.28 Scarico del nucleo della molla (fonte: Herz).

#### Vite centrale con pavimento inclinato

La coclea centrale con pavimento inclinato (Figura 6.29) è usata per lo scarico continuo di pellet da magazzini rettangolari. I pellet vengono scaricati da una coclea che è posata al centro del pavimento del magazzino in un trogolo e la cui lunghezza si estende su tutto il magazzino. Un pavimento inclinato con una superficie liscia assicura che tutti i pellet vengano alimentati alla coclea. Il pavimento inclinato evita che i pellet rimangano indietro e impedisce che l'abrasione e i frammenti si concentrino nel magazzino. Per mantenere al minimo la perdita di spazio di stoccaggio dovuta al pavimento inclinato, questo sistema di scarico viene utilizzato solo in magazzini di pellet stretti e alti. Il pavimento inclinato deve avere un'inclinazione di  $> 40^\circ$  ed essere molto stabile. Per evitare che i pellet vengano danneggiati troppo durante il trasporto, la distanza di trasporto dal deposito alla caldaia deve essere il più breve possibile e senza deviazioni. I cambiamenti di direzione possono causare interruzioni.

I vantaggi di questo sistema sono:

- Nessuna parte del sistema di azionamento nel magazzino
- Basso consumo di energia ausiliaria
- Costo-efficace

Gli svantaggi sono:

- Nessun utilizzo completo del volume del magazzino (volume utilizzabile  $\approx 2/3$  del volume del magazzino)
- Il volume di stoccaggio è limitato dalla lunghezza massima della vite e dalla massima altezza di ribaltamento consentita.

- Costruzione elaborata del pavimento inclinato
- Possibilità di trasporto solo in linea retta, nessuna curva
- Angolo d'inclinazione di trasporto limitato

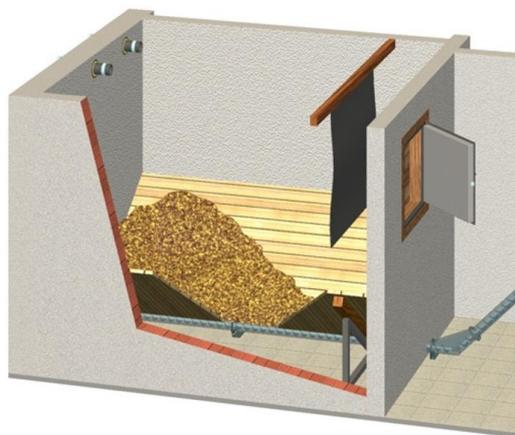


Figura 6.29 Sistema di scarico dei pellet con pavimento inclinato[66].

#### Sistemi di aspirazione per magazzini di pellet

I sistemi di aspirazione dei pellet con sonde di aspirazione disposte uniformemente sul pavimento del deposito dei pellet e il sistema di estrazione "talpa" (Figura 6.30) trasportano i pellet pneumaticamente dal deposito dei pellet alla caldaia. I sistemi di aspirazione per i pellet vengono utilizzati nei sistemi di caldaie a pellet con una potenza nominale inferiore a 50 kW.



Figura 6.30 Mole di pellet (fonte: Schellinger KG).

## 6.5 Sistemi di trasporto

#### Trasportatore a coclea

Con il trasportatore a coclea (Figura 6.31), il combustibile può essere trasportato da orizzontale a verticale. Una spirale a coclea in versione singola o doppia trasporta il combustibile in una coclea aperta o chiusa. Al di fuori del deposito, solo i sistemi di trasporto chiusi devono essere usati per ragioni di sicurezza sul lavoro e protezione della salute. È azionato da un motore elettrico

che può essere regolato. Il trasportatore a coclea è progettato come una coclea a lama piena o a filo (non come una coclea a lama senza albero).

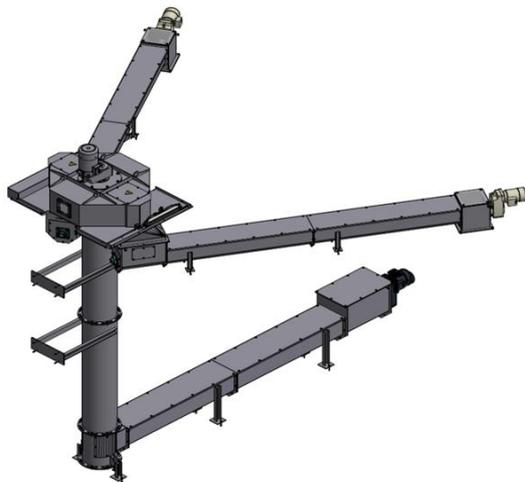


Figura 6.31 Coclea che trasporta da orizzontale a verticale (fonte: Schmid energy solutions).

La dimensione del diametro del nucleo e la larghezza nominale della coclea sono co-determinanti per la grumosità trasportabile del combustibile. Il sistema funziona indipendentemente dal contenuto d'acqua del combustibile e, grazie al suo design semplice, permette una gestione senza complicazioni. È adatto a tutti i tipi di combustibile, compresi i pellet, ad eccezione della corteccia non sminuzzata e del legno forestale sminuzzato grossolanamente, e non è influenzato da particelle di combustibile sovradimensionate e pietre.

I vantaggi del trasportatore a coclea sono:

- Alta efficienza
- Piccola massa dell'edificio
- Costruzione economica e semplice
- Facile da usare
- Basso consumo di energia elettrica

Gli svantaggi includono:

- Limitata grumosità del combustibile
- Possibile solo il trasporto lineare, nessuna curva

### Sistema di spinta

Con il sistema di spinta (Figura 6.32), il combustibile può essere trasportato orizzontalmente. Uno o più cilindri idraulici muovono una o più aste di spinta con barre trasversali avanti e indietro. Grazie ai trascinatori a forma di cuneo, il combustibile viene spinto nella direzione desiderata. I driver possono essere adattati alla situazione locale. Il peso del combustibile sopra il sistema di spinta determina le forze di spinta che devono essere assorbite dall'edificio. Il sistema di spinta è adatto a tutti i combustibili tranne i trucioli di legno e la polvere e non è influenzato da parti di combustibile sovradimensionate e da pietre.

I suoi vantaggi sono:

- Funzionamento sicuro
- Il combustibile può essere di qualsiasi forma, dimensione e contenuto d'acqua
- Nessuna parte del sistema di azionamento nel silo

I suoi svantaggi sono:

- Forze di taglio elevate sugli edifici
- Lunghezza di consegna e portata limitate
- Possibile solo un uso lineare
- Manutenzione e mantenimento richiesti

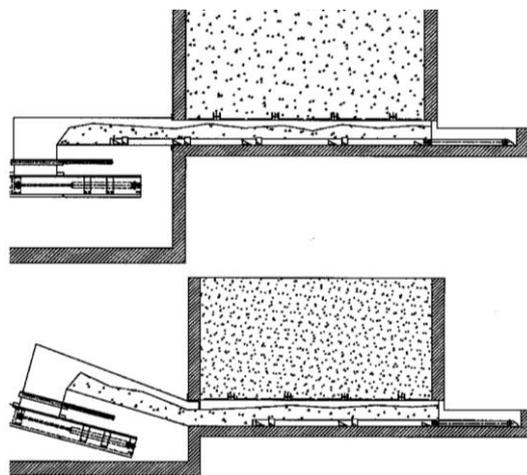


Figura 6.32 Trasporto orizzontale del sistema di spinta (in alto) e trasporto ascendente (in basso) [66].

### Trasportatore a catena raschiante

Il trasportatore a catena raschiante (Figura 6.33

Trasportatore a catena raschiante) può essere usato per trasportare un'ampia gamma di legno energetico in orizzontale o in verticale. Il trasportatore a catena raschiante funziona in modo simile a un nastro trasportatore. Due catene corrono parallelamente in una costruzione a scatola chiusa. Tra di esse sono montati dei trasportatori che spingono il legno verso la sua destinazione. Con opportune modifiche (diverse aperture di scarico), si possono riempire anche grandi silos e magazzini. Il trasportatore a catena raschiante è insensibile alle parti di combustibile sovradimensionate e alle pietre ed è adatto a tutti i combustibili eccetto i trucioli, la polvere e i pellet.

I suoi vantaggi sono:

- Alto tasso di consegna
- Ampia gamma di applicazioni

I suoi svantaggi sono:

- Costruzione elaborata
- Alti costi di investimento
- Manutenzione e riparazione necessarie
- Rumore



Figura 6.33 Trasportatore a catena raschiante [66].

### Trasporto pneumatico

Con il trasporto pneumatico (Figura 6.34), il combustibile viene soffiato nel silo per mezzo di un flusso d'aria. Nel processo, un sistema di filtri a pulizia automatica separa le particelle fini dall'aria di scarico. Nei sistemi di estrazione centrale, un filtro a ciclone separa l'aria di trasporto dal combustibile e una parte di essa viene riciclata e riutilizzata. Il trasporto pneumatico può anche essere usato per superare grandi distanze orizzontali e verticali. Tuttavia, richiede una progettazione esatta in funzione dell'assortimento specifico di combustibile. Il sistema è adatto per cippato secco, trucioli, polvere e pellet ed è sensibile alle particelle di combustibile sovradimensionate e alle pietre.

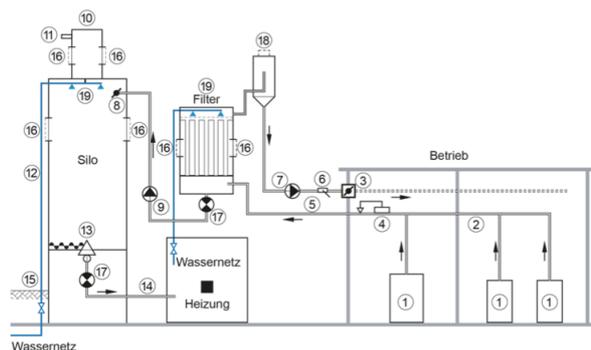
I vantaggi del trasporto pneumatico sono:

- Facilmente adattabile all'edificio
- Ambiente privo di polvere
- Si possono coprire grandi distanze orizzontali e verticali

I principali svantaggi sono:

- Limitato al combustibile secco e fine
- Rumoroso
- Necessità di strutture aggiuntive per il silo
- Pericolo di esplosione a causa del contenuto di polvere

- Alto consumo di energia



- Legende:
- 1 Holzbearbeitungsmaschinen
  - 2 Absaugleitung
  - 3 Brandschutzklappe
  - 4 Funkenerkennung mit Löschanlage sofern erforderlich
  - 5 Abluft ins Freie (Sommerbetrieb)
  - 6 Umschaltklappe (Rückluft-Abluft)
  - 7 Ventilator
  - 8 Rückschlagklappe
  - 9 Förderventilator
  - 10 Filter Endabscheidung
  - 11 Reinluft ins Freie (Abluft)
  - 12 Lösleitung
  - 13 Späneaustragung
  - 14 Transportanlage zur Feuerung
  - 15 Anschluss an das Wassernetz
  - 16 Druckentlastung
  - 17 Zelleradschleuse
  - 18 Explosionsschlot mit Berstscheibe
  - 19 Löscheinrichtung

Figura 6.34 Trasporto pneumatico (fonte: VKF 104-15 Spänefeuerungen [67]).

## 6.6 Alimentazione della fornace

Il combustibile viene alimentato nel forno attraverso i dispositivi di alimentazione. Nei sistemi a più caldaie, ogni sistema ha il proprio alimentatore. Di norma, il combustibile viene alimentato da trasportatori a coclea o da alimentatori idraulici.

### Trasportatore a coclea

I trasportatori a coclea o le coclee (Figura 6.35) permettono un'alimentazione continua senza compressione del combustibile. Questo risulta in un carico uniforme della griglia del forno, ma limitato ad un lato. Usando trasportatori a doppia coclea, il carico uniforme della griglia può essere esteso all'intera larghezza della griglia.



Figura 6.35 Alimentazione con coclea (fonte: Schmid energy solutions).

### Spintore idraulico

Gli spintori idraulici (Figura 6.36) alimentano in modo discontinuo il forno con il combustibile. Pertanto, è leggermente compresso. Una quantità predeterminata di combustibile viene portata attraverso una saracinesca davanti allo spintore e poi spinta lentamente e continuamente nel forno secondo la velocità di cottura richiesta. Nel caso di combustibili con un'alta percentuale di sostanze estranee (legno di scarto), può verificarsi una maggiore usura dello spintore e del condotto di inserimento.

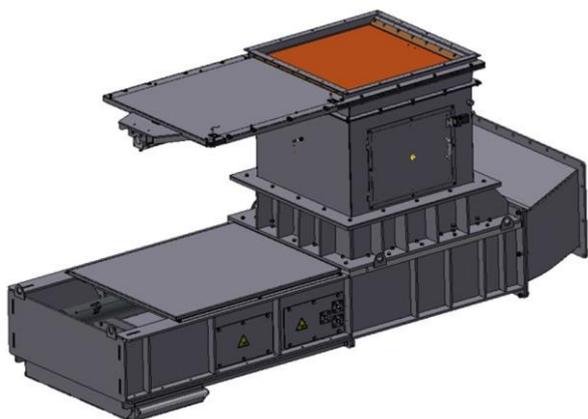


Figura 6.36 Alimentazione con spintore idraulico (fonte: Schmid energy solutions)

### Inserimento diretto (sistemi con trasmettitore a spinta)

Nel caso di alimentatori diretti (sistemi a spinta, Figura 6.37), avviene una forte compressione del combustibile. Per garantire che il combustibile compattato possa bruciare in modo ottimale su una griglia mobile, deve essere allentato di nuovo prima con misure aggiuntive. La compressione può anche essere ridotta disponendo una zona di scarico nel condotto di inserimento. Per evitare fluttuazioni di potenza, il combustibile viene alimentato continuamente nel forno in base alla velocità di combustione richiesta.

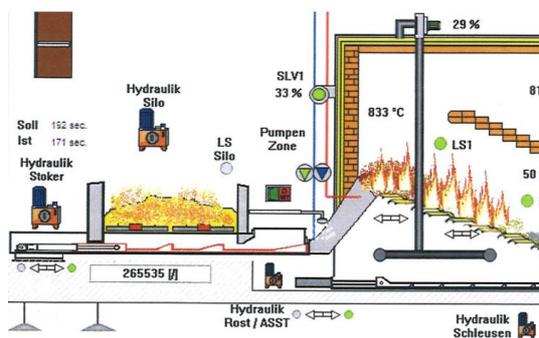


Figura 6.37 Alimentazione con alimentatore diretto (fonte: Agro Forst & Energietechnik GmbH).

## 6.7 Protezione contro il ritorno di fiamma nel sistema di trasporto del combustibile

Per evitare un ritorno di fiamma dalla camera di combustione nell'alimentazione del combustibile e nella zona di stoccaggio del combustibile, gli impianti di combustione a legna alimentati automaticamente devono essere dotati di dispositivi di protezione contro il ritorno di fiamma. Le norme corrispondenti sono specifiche del paese.

**CH e AT:** Sono necessari almeno due dispositivi indipendenti: un dispositivo di spegnimento nell'alimentazione del combustibile con innesco termico indipendente dalla corrente e almeno un ulteriore dispositivo indipendente dall'acqua, come un gradino di caduta, una valvola a scorrimento, una valvola a farfalla di ritorno, una valvola rotativa o simili (Figura 6.38).

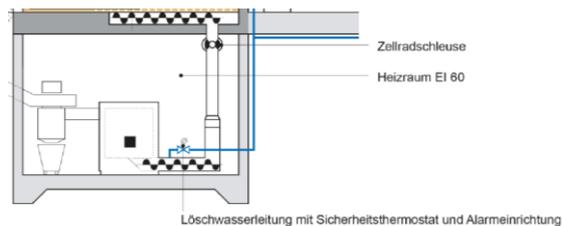


Figura 6.38 Protezione dal ritorno di fiamma, albero di caduta, alimentatore rotante (fonte: VKF 104-15 Spänefeuerungen [67]).

**DE:** Nel caso di sistemi di combustione di biomassa alimentati meccanicamente, deve essere previsto un dispositivo di sicurezza per prevenire il ritorno di fiamma e le scintille volanti nell'attrezzatura di trasporto o misurazione e nel locale caldaia (vedi capitolo 19).

### Dispositivo di spegnimento

Con il dispositivo di spegnimento, l'acqua del rubinetto viene iniettata nel canale del combustibile da un innesco termico indipendente dalla corrente, per evitare un ritorno di fiamma in caso di rilascio. La valvola dell'acqua di spegnimento e l'innesco termico sono compresi nella fornitura della caldaia a biomassa. Il progettista è responsabile dell'allacciamento delle tubazioni; si deve rispettare l'installazione di un filtro antisporcio.

### Passo a goccia

Un gradino di caduta (albero di caduta) nell'alimentazione del combustibile crea un'interruzione locale nel sistema di trasporto e previene così un ritorno di fiamma.

### Scivoli e alette di retromarcia

Le valvole a scorrimento e gli smorzatori di ritorno sono installati nell'albero di caduta dell'alimentazione di combustibile. Se un limite di temperatura regolabile viene superato, un termostato innesca il processo di chiusura e interrompe l'alimentazione di combustibile.

### Valvola rotativa

La valvola rotativa è costituita da una ruota di sfogo a più lame installata in un alloggiamento metallico ed è collocata nell'albero di caduta. È azionata da un motore elettrico accoppiato ai motori del trasportatore. Quando è ferma, le lame della ruota bloccano il passaggio del combustibile e impediscono così un ritorno di fiamma.

Nel silo pressurizzato dei trucioli, la valvola rotativa separa il silo dal sistema di trasporto non pressurizzato.

## 6.8 Rimozione della cenere

I trasportatori meccanici di rimozione della cenere includono trasportatori a coclea, trasportatori ad asta di spinta, trasportatori a catena a raschietto, trasportatori a catena a canale, trasportatori a secchiello e trasportatori a catena a raschietto per la rimozione delle ceneri umide (da Figura 6.39a Figura 6.41). Questi trasportano la cenere dalla camera di combustione nei bidoni di cenere o nelle tramogge della cenere e, a parte i trasportatori a coclea, sono anche in grado di coprire distanze maggiori.

I vantaggi sono:

- Bassa suscettibilità alle interferenze
- Insensibile alle parti estranee, alle parti di scoria e alle particelle di brace
- Basso fabbisogno di energia ausiliaria
- Basso rumore.

I principali svantaggi sono:

- Elevato fabbisogno di spazio (inadatto agli spazi confinati)
- Alta usura con cenere ricca di scorie o altri contenuti estranei



Figura 6.39 Coclea per cenere di fuoco (fonte: Schmid AG energy solutions).



Figura 6.40 Rimozione delle ceneri pesanti, scarico tramite pavimento mobile (fonte: Schmid AG soluzioni energetiche).



Figura 6.41 Trasportatore meccanico di rimozione della cenere: con trasportatore a catena raschiante (fonte: AEE INTEC).

## 7 Idraulica per la generazione di calore

### 7.1 Nozioni di base di idraulica

Questo capitolo tratta i requisiti per l'idraulica relativa alla generazione di calore. L'idraulica per la distribuzione del calore non è trattata ulteriormente in questo manuale di pianificazione degli impianti DI TELERISCALDAMENTO a biomassa QM, si prega di fare riferimento al manuale sulla pianificazione delle reti di teleriscaldamento [17].

I requisiti dettagliati per la progettazione delle soluzioni idrauliche e di controllo per quanto riguarda la generazione di calore sono elencati nel volume 2 e nel volume 5 della serie di pubblicazioni di QM Holzheizwerke (schemi idraulici standard parte I [60] e parte II [68]).

Negli schemi idraulici standard Parte I e Parte II, la soluzione di ingegneria idraulica e di controllo è descritta in dettaglio per ciascuna delle otto varianti di base di un sistema di riscaldamento a biomassa come un documento globale separato nelle seguenti sezioni:

- Breve descrizione e responsabilità
- Schema principale e design
- Descrizione funzionale
- Registrazione dei dati per l'ottimizzazione operativa
- Allegato al protocollo di approvazione

Si raccomanda di scegliere uno degli **schemi idraulici standard collaudati**, quando possibile, al fine di soddisfare i requisiti di qualità di base per l'idraulica e il controllo.

Per quanto riguarda l'idraulica della generazione di calore, ciò significa che vengono rispettati principi come l'espandibilità della generazione di calore tramite un'ulteriore caldaia a biomassa, il disaccoppiamento rigoroso dei circuiti idraulici con bassa differenza di pressione (bypass/separatore idraulico) e il rispetto delle autorità minime delle valvole.

#### Calcolo semplificato della portata (flusso volumetrico), della differenza di pressione (prevalenza) e della capacità della pompa

Nell'idraulica della generazione di calore, si pongono spesso le seguenti tre domande per la progettazione dei circuiti della caldaia:

- Quanto deve essere grande il flusso?
- Qual è la differenza di pressione attraverso la valvola di controllo a questa portata?
- Qual è la potenza richiesta dalla pompa per gestire questo flusso?

Le seguenti tre formule semplificate di solito rispondono a queste domande con sufficiente precisione.

Flusso:

$$\dot{V} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] = 0,86 \frac{\dot{Q} [\text{kW}]}{\Delta T [\text{K}]}$$

Differenza di pressione:

$$\Delta p [\text{kPa}] = 100 \left( \frac{\dot{V} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]}{k_v \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]} \right)^2$$

Capacità della pompa:

$$P_{\text{Pump}} [\text{kW}] = 0,86 \frac{\Delta p [\text{kPa}] \dot{V} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]}{3600 \eta_{\text{Pump}} [-]}$$

$\dot{V}$	Portata in m <sup>3</sup> /h
$\dot{Q}$	Potenza termica in kW
$\Delta T$	Differenza di temperatura in K
$\Delta p$	Differenza di pressione in kPa
$k_v$	Fattore di flusso in m <sup>3</sup> /h
$P_{\text{Pump}}$	Potenza assorbita dalla pompa in kW
$\eta_{\text{Pump}}$	Efficienza della pompa

#### Nota importante:

Queste formule si applicano approssimativamente all'acqua da 5...95 °C. Sono equazioni a valore numerico in cui le quantità devono essere utilizzate nelle unità prescritte. Il fattore 0,86 corrisponde al prodotto della densità [kg/m<sup>3</sup>] e della capacità termica [kWh/(kg\*K)].

## 7.2 Controllo del circuito della caldaia

Per mantenere bassa la corrosione della caldaia sulle pareti dei tubi dei fumi, i produttori di caldaie prescrivono una temperatura minima di ingresso d'acqua nella caldaia (vedi capitolo 5.4). Questa temperatura minima d'ingresso della caldaia viene garantita da un'appropriata miscelazione della mandata al ritorno attraverso un circuito di miscelazione idraulica nel circuito della caldaia tramite una valvola a tre vie. Per assicurare una temperatura costante all'uscita della caldaia, questa viene controllata indirettamente tramite la valvola a tre vie, aumentando o abbassando la temperatura d'ingresso della caldaia. I principi di base per la progettazione della valvola di controllo nel circuito di miscelazione sono mostrati di seguito.

### 7.2.1 Valvola di controllo circuito della caldaia

Le valvole a tre vie con due ingressi e un'uscita, le cosiddette valvole miscelatrici, sono solitamente utilizzate nel

circuito della caldaia (vedi Figura 7.1 Circuito della caldaia con).

Il comportamento idraulico delle valvole di regolazione è descritto dalla cosiddetta curva caratteristica di base. Questa rappresenta la corsa in funzione della portata. Le valvole a tre vie vengono solitamente offerte con due diverse curve caratteristiche di base:

- **Curva caratteristica lineare:** variazioni uguali della corsa si traducono in variazioni uguali della portata (applicazione: anello di controllo senza scambiatore di calore).
- **Curva caratteristica a percentuale uguale:** variazioni uguali della corsa comportano una variazione percentuale uguale della portata attuale (applicazione: circuito di controllo con scambiatore di calore).

Ulteriori informazioni sulle valvole di controllo possono essere trovate nel Manuale sulla pianificazione delle reti di teleriscaldamento ([17], capitolo 8.4.4).

I produttori specificano un fattore di flusso (vsvalore **k**) per ogni valvola di controllo. Questo permette di calcolare la caduta di pressione attraverso la valvola di controllo completamente aperta al 100% del flusso utilizzando la seguente formula della differenza di pressione:

$$\Delta p_{V,100} \text{ [kPa]} = 100 \left( \frac{\dot{V}_{100} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]}{k_{VS} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]} \right)^2$$

- $\Delta p_{V,100}$  Caduta di pressione attraverso la valvola al 100% della portata
- $\Delta p_{V,0}$  Caduta di pressione attraverso la valvola allo 0% del flusso quando inizia ad aprirsi
- $\Delta p_{var,100}$  Caduta di pressione sulla sezione contrassegnata in verde con flusso variabile (Figura 7.1 Circuito della caldaia con)

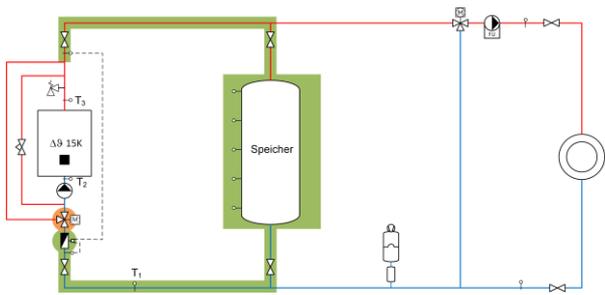


Figura 7.1 Circuito della caldaia con flusso costante e la sezione con flusso variabile in verde.

La sezione a portata variabile è decisiva per la progettazione della valvola di controllo della protezione della temperatura di ritorno della caldaia (vedere la sezione contrassegnata in verde nella Figura 7.1 Circuito della caldaia con). La differenza di pressione della sezione a portata variabile dovrebbe essere la più piccola possibile. La pompa nel circuito della caldaia funziona con un flusso costante, il che rende possibile il controllo della temperatura. Ciò significa che la temperatura d'ingresso della caldaia è regolata con la valvola di controllo in

modo che una temperatura d'uscita della caldaia costante possa essere eseguita a flusso costante nella caldaia. Le seguenti formule possono essere usate per determinare la portata della valvola e della pompa e l'autorità della valvola (VA) nel circuito della caldaia.

Flusso della valvola:

$$\dot{V}_V \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] = 0.86 \frac{\dot{Q} \text{ [kW]}}{T_3 - T_1 \text{ [K]}}$$

Flusso della pompa:

$$\dot{V}_P \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] = 0.86 \frac{\dot{Q} \text{ [kW]}}{T_3 - T_2 \text{ [K]}}$$

Autorità della valvola:

$$VA = \frac{\Delta p_{V,100}}{\Delta p_{V,100} + \Delta p_{var,100}}$$

- $\dot{V}_P$  Portata in m³/h
- $\dot{V}_V$  Portata in m³/h
- VA Autorità della valvola
- $\dot{Q}$  Potenza termica in kW
- $T_{1..3}$  Temperatura nel punto di misurazione da 1 a 3 in °C secondo la Figura 7.1 Circuito della caldaia con
- $\Delta p_{V,100}$  Caduta di pressione attraverso la valvola al 100% della portata
- $\Delta p_{var,100}$  Caduta di pressione sulla sezione segnata in grassetto con flusso variabile (Figura 7.1 Circuito della caldaia con)

**Nota importante:**

Queste formule si applicano approssimativamente all'acqua da 5..95 °C. Sono equazioni a valore numerico in cui le quantità devono essere utilizzate nelle unità prescritte. Il fattore 0,86 corrisponde al prodotto della densità [kg/m³] e della capacità termica [kWh/(kg\*K)].

**Autorità della valvola**

Quando una valvola viene installata in un circuito idraulico, non si comporta più secondo la curva caratteristica di base perché la differenza di pressione attraverso la valvola diventa una parte variabile della perdita di carico totale del sistema. Di conseguenza, la curva caratteristica di base è più o meno deformata. Con l'aumentare della deformazione, la precisione e la velocità del controllo sono sempre più compromesse, e in casi estremi il circuito di controllo diventa instabile e comincia ad oscillare.

L'autorità della valvola è usata come misura della deformazione della curva caratteristica di base.

La formula per calcolare l'autorità della valvola (VA) è data sopra. La caduta di pressione - attraverso quella parte del circuito idraulico il cui flusso variabile è influenzato dalla valvola - gioca un ruolo importante (vedi Figura 7.1 Circuito della caldaia con, sezione contrassegnata in verde).

Nei circuiti idraulici con valvole a tre vie, non ci sono problemi di stabilità se si osserva la seguente regola:

$$VA = \frac{\Delta p_{V,100}}{\Delta p_{V,100} + \Delta p_{var,100}} \geq 0.5 \quad (\text{valore target, valore limite in casi eccezionali } VA \geq 0,3)$$

Questo si traduce in:  $\Delta p_{V,100} \geq \Delta p_{var,100}$

Al 100% del flusso, la caduta di pressione attraverso la valvola a tre vie aperta ( $\Delta p_{V,100}$ ) deve essere uguale o superiore alla caduta di pressione attraverso la sezione a portata variabile ( $\Delta p_{var,100}$ ).

**Diversi circuiti di caldaie** sono spesso collegati in un **circuito di miscelazione** con bassa differenza di pressione (ad es. ad un accumulatore di calore). Ogni pompa della caldaia riceve l'acqua attraverso la sua valvola e la sezione a portata variabile (vedi Figura 7.2). Questo solleva un'altra domanda: "Qual è la massima differenza di pressione consentita sulla linea di flusso variabile?" Se questa differenza di pressione diventa troppo grande, i singoli circuiti della caldaia si influenzano a vicenda. Questo può portare a una riduzione della portata di una pompa della caldaia con una portata troppo bassa, e la potenza nominale della caldaia associata non può più essere erogata. Per evitare ciò, oltre alla regola dell'autorità della valvola, si deve osservare la seguente regola.

**Diversi circuiti di caldaie in un circuito di miscelazione**

Se più circuiti di caldaia sono collegati con una bassa differenza di pressione in un circuito di miscelazione (ad es. presso un accumulatore di calore), la differenza di pressione massima sul tratto con portata variabile non deve essere superiore al 20% della prevalenza della pompa di caldaia più piccola nel punto di progetto (vedi Figura 7.2).

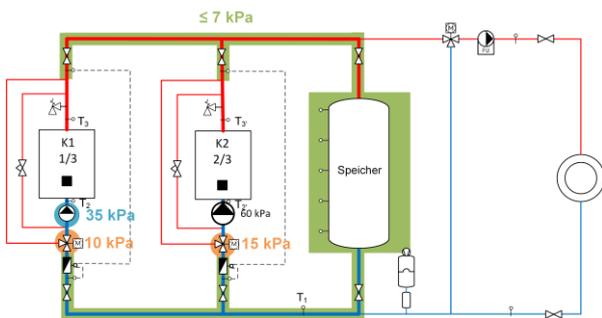


Figura 7.2 Circuiti della caldaia con flusso costante nei sistemi a più caldaie. La caldaia 1 è influenzata o significativamente ridotta quando le due caldaie funzionano in parallelo alla potenza nominale della caldaia.

**7.2.2 Bypass nel circuito della caldaia**

Con un circuito idraulico correttamente progettato, la valvola di controllo funziona in modo ragionevolmente lineare. Il 50% del flusso corrisponde al 50% della corsa, il 100% del flusso corrisponde al 100% della corsa.

Se il campo di regolazione della valvola di regolazione senza bypass nel circuito della caldaia è fortemente limitato dai diversi livelli di temperatura tra il ritorno principale e la temperatura di ingresso della caldaia, questo può portare a una regolazione imprecisa o addirittura a un'oscillazione del circuito di regolazione.

Con un bypass nel circuito della caldaia, il campo di regolazione della valvola di controllo può essere notevolmente esteso nonostante i diversi livelli di temperatura tra il ritorno principale e la temperatura d'ingresso della caldaia (vedi Figura 7.3).

I bypass sono di solito utili,

- se la differenza di temperatura tra la temperatura di uscita della caldaia e la temperatura di ingresso della caldaia ( $T_{12} - T_{11}$  nella Figura 7.3) è inferiore di oltre 10K alla differenza di temperatura tra la temperatura di uscita della caldaia e la temperatura massima ammissibile del ritorno principale ( $T_{12} - T_{43}$  nella Figura 7.3). La valvola di regolazione può quindi essere progettata più piccola e il suo campo di regolazione può essere pienamente utilizzato;
- se è garantito che la temperatura di ritorno principale  $T_{43}$  non possa salire oltre il valore di progetto in ogni caso di funzionamento. Solo allora è garantito che la caldaia possa fornire la sua potenza nominale in ogni caso.

La portata in volume del bypass è progettata come segue: alla potenza nominale e alla massima temperatura di ritorno principale, la portata volumetrica attraverso il bypass della valvola miscelatrice dovrebbe essere circa zero. La posizione della valvola è impostata su 100% di passaggio.

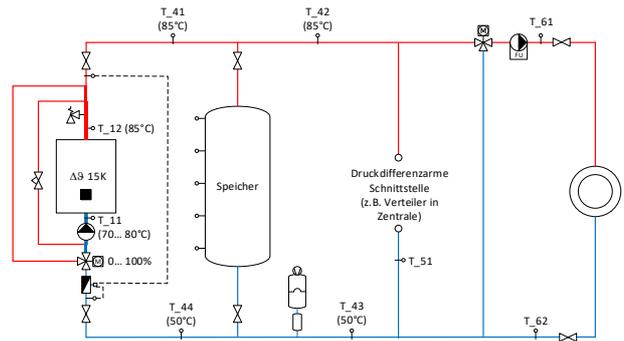
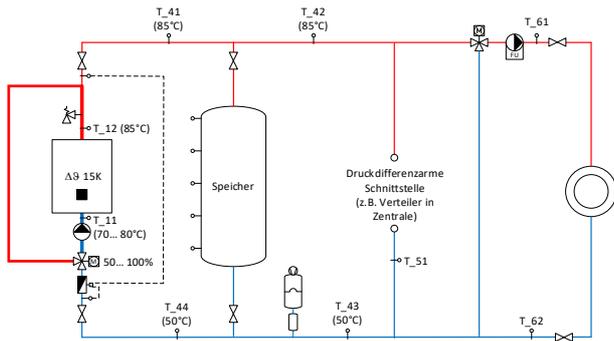


Figura 7.3 Integrazione idraulica del circuito della caldaia senza e con bypass.

## 7.3 Pompe

### 7.3.1 Tipi di pompa

Si fa una distinzione di base tra:

- **Pompa a secco (con premistoppa):** La pompa è collegata a un motore standard tramite albero e giunto.
  - Con la pompa su piedistallo, il motore e la pompa standard sono montati su un piedistallo.
  - Con la pompa in linea, il motore standard è montato su una pompa a tubo incorporata.
- **Pompa con funzionamento a umido (senza premistoppa):** La pompa a carter e il cosiddetto motore a scatola formano un'unica unità. Il mezzo pompato lubrifica i cuscinetti e raffredda il motore. La pompa è azionata da un motore sincrono DC a velocità continua con un rotore a magnete permanente. Il campo di applicazione è attualmente una portata massima di 80 m<sup>3</sup>/h.

Figura 7.4 Tipologia di pompe per prevalenza e portata [69].

Le **pompe per caldaie a velocità** variabile sono disponibili nelle seguenti versioni:

- Pompa a rotore bagnato con motore sincrono DC a velocità infinitamente variabile
- Pompa a motore ventilato con motore standard (pompa in linea o piedistallo) e convertitore di frequenza esterno
- Pompa a bocchettoni con motore standard (pompa in linea o piedistallo) e convertitore di frequenza montato

### 7.3.2 Design della pompa

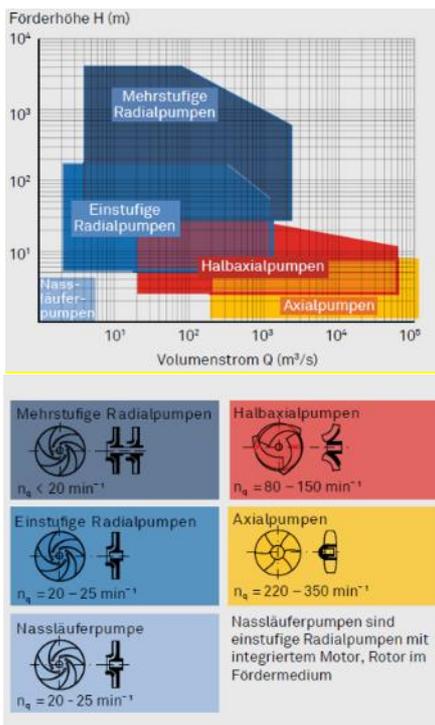
L'uso dei programmi di dimensionamento delle pompe dei produttori permette di confrontare diverse pompe per il campo di applicazione specificato (portata, prevalenza) per quanto riguarda l'efficienza energetica e i costi di durata.

I dati specifici del prodotto del programma di progettazione (curva caratteristica della pompa, efficienza globale [efficienza pompa più motore], efficienza pompa) del produttore permettono una selezione ottimale.

Per poter controllare o confrontare i dati specifici del prodotto del programma di progettazione, si devono osservare le seguenti basi della tecnologia delle pompe:

#### Caratteristica della pompa

La curva della pompa mostra la prevalenza (differenza di pressione) in funzione del flusso volumetrico (portata). Si distingue tra le curve caratteristiche piatte delle pompe a bassa velocità e le curve caratteristiche ripide delle pompe ad alta velocità (vedi Figura 7.5). Le pompe per caldaie hanno curve caratteristiche piatte, le pompe capillari hanno curve caratteristiche ripide.



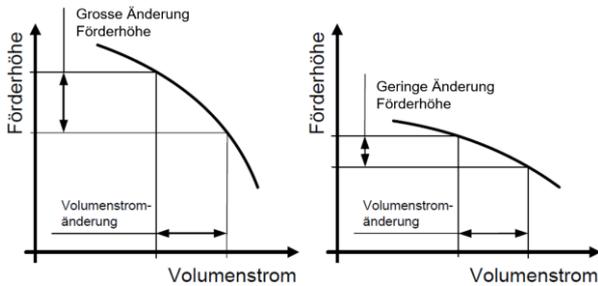


Figura 7.5 Curva della pompa ripida (sinistra) e piatta (destra).

**Curva caratteristica del sistema**

La perdita di pressione della rete di riscaldamento aumenta quadraticamente con la portata in volume. Questa dipendenza tra la prevalenza di mandata e la portata volumetrica è mostrata nella curva caratteristica del sistema. Poiché anche la curva della pompa mostra la stessa dipendenza tra la prevalenza di mandata e la portata in volume, entrambe le curve possono essere inserite nello stesso sistema di coordinate (Figura 7.6

Curva caratteristica della pompa e del sistema). Hanno un punto di intersezione comune: questo è il punto di funzionamento della pompa in cui la prevalenza della pompa corrisponde alla perdita di pressione del sistema.

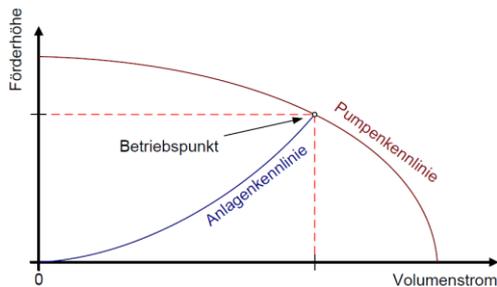


Figura 7.6 Curva caratteristica della pompa e del sistema [17].

**Leggi di proporzionalità**

Quando si cambia la velocità di una pompa di circolazione, la prevalenza, la portata volumetrica e la potenza idraulica si comportano secondo le seguenti tre leggi di proporzionalità.

La portata è proporzionale alla velocità della pompa:

$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

La prevalenza (differenza di pressione) cambia con il quadrato della velocità:

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2$$

La capacità della pompa idraulica cambia per la potenza di tre della velocità:

$$\frac{P_{hydr1}}{P_{hydr2}} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

Così, a metà velocità, la portata volumetrica scende alla metà, la prevalenza, cioè la caduta di pressione, scende a un quarto e la richiesta di potenza della pompa scende a un ottavo.

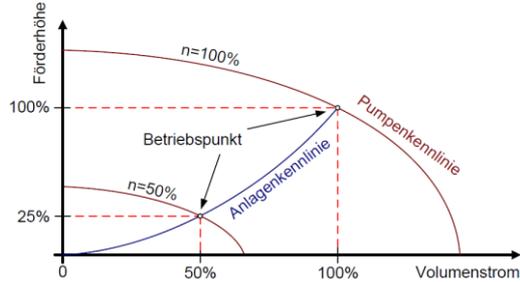


Figura 7.7 Curva caratteristica della pompa e del sistema per due diverse velocità [17].

**Consumo energetico della pompa, efficienza della pompa, efficienza energetica**

La scelta di una pompa di circolazione è una questione di progettazione idraulica. Anche il consumo energetico della pompa deve essere preso in considerazione fin dall'inizio. A tal fine, occorre rispettare la classe di efficienza energetica richiesta per il motore elettrico delle pompe a motore ventilato e i limiti dell'indice di efficienza energetica (EEI) per le pompe a rotore bagnato (vedi anche il Manuale sulla pianificazione delle reti di teleriscaldamento ([17], capitolo 3.3.2).

**Cosa bisogna considerare?**

- Evitare flussi di volume inutilmente elevati
- Curva caratteristica della rete più piatta possibile
- La posizione del punto di funzionamento nel diagramma della pompa ha un'influenza decisiva sull'efficienza. L'efficienza ottimale si trova di solito nel terzo medio della curva caratteristica per lo stadio di velocità più alto; tuttavia, ci sono delle eccezioni.
- Utilizzare le pompe a velocità variabile solo in circuiti di caldaie con portata molto variabile (vedi capitolo 7.3.3). Allo stesso tempo, assicurarsi che il punto di funzionamento non sia troppo lontano dal terzo medio della curva caratteristica dello stadio di velocità massima.
- Per le pompe a velocità controllata, dovrebbero essere utilizzate, se possibile, pompe senza premistoppa con motori sincroni DC con rotore a magnete permanente.

**7.3.3 Pompa della caldaia a velocità controllata**

Di regola, il circuito interno delle caldaie a biomassa viene fatto funzionare con un flusso di volume costante secondo le specifiche degli schemi idraulici standard. Questo facilita la controllabilità del sistema, poiché solo la valvola a tre vie è controllata e non è necessaria una pompa della caldaia a velocità controllata. Una pompa caldaia monostadio, dimensionata in modo ottimale, soddisfa i requisiti di un funzionamento della pompa efficiente dal punto di vista energetico. Le pompe a rotore bagnato con motore sincrono, a corrente continua e a

velocità variabile in modo continuo devono essere fatte funzionare a un punto di funzionamento fisso in termini di portata e prevalenza, cioè a velocità costante.

La motivazione per l'utilizzo di una pompa per caldaie a velocità controllata è quella di ridurre l'elettricità richiesta per il funzionamento della pompa. Una pompa per caldaie a velocità controllata viene utilizzata nelle seguenti applicazioni:

- **Approccio di controllo per la regolazione indiretta delle uscite tramite la temperatura imposta della caldaia (uscita) (circuito della caldaia con valvola a tre vie per la protezione della temperatura di ritorno della caldaia con temperatura di ingresso della caldaia costante):**

Si tratta di una specificazione indiretta dell'uscita alla caldaia a biomassa tramite la velocità nominale della pompa a temperatura d'ingresso della caldaia costante. Il valore di riferimento dell'uscita della caldaia è specificato indirettamente dal regolatore attraverso la temperatura dell'acqua della caldaia, controllando ad una temperatura costante della caldaia (uscita).

A causa dell'inerzia dell'input di potenza indiretto, questo approccio di controllo non è conveniente quando si usa un accumulatore di calore con l'input diretto del valore nominale del tasso di combustione da parte del controllo secondo lo stato di carica dell'accumulatore.

- **Approccio di controllo per una differenza di temperatura costante sul circuito della caldaia (temperatura di uscita della caldaia meno la temperatura di ingresso della caldaia) (circuito della caldaia con valvola a tre vie per la protezione della temperatura di ritorno della caldaia con temperatura di ingresso della caldaia costante):**

La velocità della pompa della caldaia è controllata in base alla potenza della caldaia in modo che sia la temperatura di uscita della caldaia che la temperatura di entrata della caldaia o la loro differenza rimangano costanti.

Problematiche sono le fasi operative di avvio della caldaia, burnout e standby, in cui è difficile mantenere costante la temperatura di uscita della caldaia. Inoltre, il comportamento del controllo può essere influenzato negativamente dalla stratificazione dell'acqua della caldaia a bassa portata o a carico parziale.

Approccio di controllo semplificato: la velocità della pompa della caldaia è specificata direttamente in funzione del setpoint di uscita della caldaia. Il campo di velocità richiesto deve essere determinato o regolato durante la messa in funzione. Tuttavia, la temperatura di uscita della caldaia può mostrare deviazioni maggiori e indesiderate se la potenza della caldaia non corrisponde più a quella specificata a causa del cambiamento della qualità del combustibile.

- **Approccio di controllo per il circuito della caldaia senza protezione della temperatura di ritorno della caldaia (circuito della caldaia senza valvola a tre vie):**

Le caldaie a biomassa a bassa potenza possono avere un design della caldaia che non richiede una temperatura minima di ingresso della caldaia né una protezione della temperatura di ritorno della caldaia.

La velocità della pompa della caldaia è controllata in modo che la temperatura di uscita della caldaia sia

mantenuta costante per l'intero intervallo di potenza (ad esempio 50... 100%) indipendentemente dalla potenza della caldaia specificata. Di conseguenza, un volume variabile fluisce attraverso la caldaia ad una temperatura d'ingresso della caldaia variabile.

Anche qui, la precisione di controllo della temperatura di uscita della caldaia è limitata da una stratificazione indesiderata dell'acqua della caldaia a bassa portata o a carico parziale.

Come mostrano le spiegazioni di cui sopra, l'uso di pompe a velocità controllata nel circuito di una caldaia a biomassa è impegnativo. Le deviazioni della temperatura di uscita della caldaia disturbano la stratificazione della temperatura nell'accumulo di calore e possono quindi portare a un comportamento di controllo sfavorevole del sistema. Per questo motivo, questi approcci di controllo non sono elencati negli schemi idraulici standard.

Possono essere necessari i seguenti requisiti di controllo aggiuntivi:

- Le fasi operative start, burnout e standby richiedono ulteriori funzioni di regolazione o controllo, specialmente per le caldaie a biomassa con rivestimenti pesanti della camera di combustione e alta inerzia.
- Nel funzionamento di una caldaia a biomassa con una qualità di combustibile variabile, una temperatura costante in uscita dalla caldaia può essere raggiunta solo con sistemi di controllo aggiuntivi (ad esempio includendo la potenza termica media istantanea al contatore di calore, tenendo conto del tempo morto del volume d'acqua della caldaia).

### 7.3.4 Affidabilità operativa e ridondanza della pompa della caldaia

Nei sistemi ad acqua calda con un livello massimo di temperatura dell'acqua di riscaldamento < 110°C, si può fare a meno di una pompa di sostituzione della caldaia collegata idraulicamente in parallelo, se la pompa della caldaia può essere sostituita rapidamente in caso di necessità. Se una pompa sostitutiva non è disponibile in tempi brevi, si dovrebbe considerare la possibilità di tenere in magazzino una pompa sostitutiva. **Nota:** con tempi di stoccaggio più lunghi, la pompa potrebbe non essere più allo stato dell'arte.

Nei sistemi di acqua calda con un livello massimo di temperatura > 110°C, le specifiche di sicurezza (norme, disposizioni legali, vedi capitolo 19) determinano se è necessaria o meno una pompa sostitutiva della caldaia collegata idraulicamente in parallelo.

## 7.4 Contatore di calore

I contatori di calore sono installati per registrare la quantità di calore prodotto o prelevato. Inoltre, essi permettono la necessaria registrazione dei dati operativi della potenza termica attuale per il monitoraggio operativo e l'ottimizzazione, come richiesto negli schemi idraulici

standard. L'installazione dei contatori di calore è richiesta per il monitoraggio della qualità in conformità con il QM per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa.

L'installazione di contatori di calore in un impianto di riscaldamento deve essere prevista nei seguenti punti:

- Nel circuito del generatore di calore di ogni singolo generatore di calore (caldaia a biomassa, economizzatore, condensazione dei fumi, pompa di calore, ecc.);
- In ogni singolo gruppo di condutture di teleriscaldamento per registrare la quantità di calore immessa nella rete e le sue perdite di distribuzione del calore e per registrare i picchi di carico o le riduzioni di carico nel corso della giornata;
- Si raccomanda l'installazione di un contatore di calore nel circuito delle caldaie a gas e a gasolio. In caso contrario, le caldaie devono avere un contatore di ore di funzionamento e un contatore di olio/gas (nel caso di un bruciatore modulante, il contatore di olio/gas deve registrare continuamente la portata volumetrica attuale).

L'uso di contatori di calore calibrati è necessario per la fatturazione delle consegne di combustibile o del calore acquistato da un cliente. La misurazione del calore richiede la misura del flusso e la misura della differenza di temperatura tra il flusso e il ritorno.

### 7.4.1 Caratteristiche del contatore di calore

La **classe di precisione** di un contatore di calore è determinata dalla precisione di misurazione del flusso e della differenza di temperatura.

Il **campo di misura della portata** è dato dall'intervallo operativo tra la portata nominale  $q_p$  e la portata minima  $q_i$ . Il rapporto tra la portata nominale e la portata minima è una misura della larghezza di banda del campo di portata entro la quale è garantita una certa precisione della misurazione della portata volumetrica. La Figura 7.8

Curva di errore di un misuratore a girante e la Figura 7.9 mostra la curva di errore nel metodo di misurazione della portata a getto oscillante.

La **caduta di pressione al flusso nominale  $q_p$**  è spesso molto alta (da 20 a 25 kPa per i contatori a girante). Sebbene un'alta caduta di pressione aumenti il campo di lavoro e la precisione di misura, essa deteriora anche l'autorità della valvola di controllo (vedi capitolo 7.2.1), che spesso si trova nello stesso percorso di flusso (flusso a volume variabile del circuito della caldaia).

La **qualità dell'acqua** ha una grande influenza sulla precisione di misurazione nell'uso a lungo termine.

Tabella 7.1 Panoramica dei più importanti metodi di misurazione del flusso.

Caratteristica	EFM <sup>1)</sup>	Ultrasuoni	Raggio oscillante	Meccanica
Rapporto $q_p/q_i$	100 - 150	100 - 150	25 - 100	25 - 100
Perdita di carico al flusso nominale $q_p$ in kPa	7 - 15	7 - 20	9 - 25	10 - 15
Precisione della misurazione	alto	alto	alto	medio

Per la misurazione del flusso vengono utilizzati i seguenti metodi di misurazione:

- Misura di flusso elettromagnetica (EFM)
- Misurazione del flusso con gli ultrasuoni
- Misura della portata secondo il principio del getto oscillante
- Misura meccanica del flusso con girante o ruota a turbina

La Tabella 7.1 mostra una panoramica dei diversi metodi di misurazione del flusso.

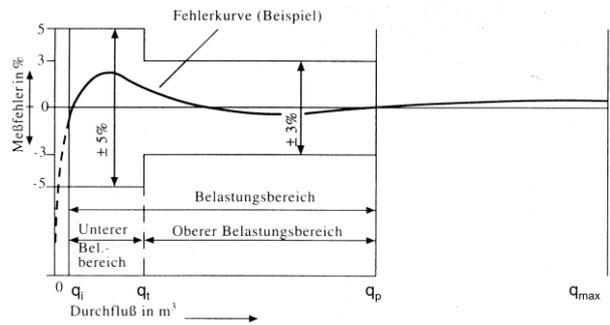


Figura 7.8 Curva di errore – metodo di misurazione del flusso meccanico con girante.

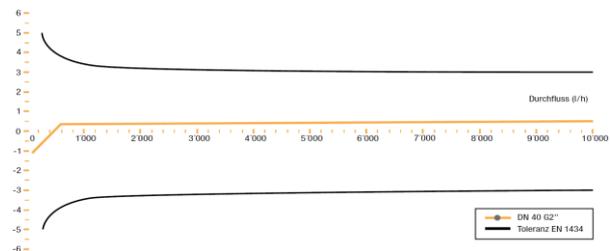


Figura 7.9 Curva di errore - metodo di misurazione del flusso a fascio oscillante (fonte: NeoVac Superstatic 440).

I metodi di misurazione del flusso EMF, ultrasuoni e getto oscillante hanno una maggiore precisione di misurazione rispetto ai metodi di misurazione del flusso meccanici (girante o ruota a turbina) (vedi Tabella 7.1).

Sensibilità della precisione di misurazione alla qualità dell'acqua	alto	da piccolo a medio <sup>2)</sup>	piccolo	piccolo
Usura e costi di servizio	basso	basso	basso	alto
Sensibilità della precisione di misurazione ai campi di interferenza elettrica	alto	basso	basso	da basso a moderato <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Misuratore di flusso elettromagnetico

<sup>2)</sup>Contaminazione degli specchi deflettori con piccoli diametri nominali

<sup>3)</sup>con generatore di impulsi induttivi

## 7.4.2 Requisiti dei singoli metodi di misurazione del flusso

In linea di principio, le istruzioni di installazione del fornitore del contatore di calore devono essere rispettate e la qualità dell'acqua richiesta deve essere mantenuta.

### Flussimetri elettromagnetici

- L'acqua non deve contenere magnetite, perché questa si deposita sulle sonde di misurazione e quindi influenza notevolmente la misurazione (riduzione del valore misurato del flusso). La magnetite si forma durante l'ossidazione dell'ossigeno legato nell'acqua con le molecole di ferro delle pareti del tubo.
- Negli impianti esistenti, la qualità dell'acqua richiesta (acqua limpida) può essere raggiunta con un separatore di fanghi umidi in combinazione con un dispositivo di degassificazione.
- Per gli impianti nuovi, l'acqua dell'impianto di riscaldamento deve essere sufficientemente degassata fin dall'inizio in modo che il contenuto di ossigeno sia ridotto a zero.
- Se si verificano grandi errori di misurazione, si raccomanda di pulire le pareti interne dei flussimetri. Tuttavia, questo non elimina la causa del problema (acqua sporca).
- Per garantire la portata ottimale, il contatore di calore deve essere progettato correttamente nel campo di regolazione della portata minima e massima (funzionamento a carico parziale e a pieno carico).
- Poiché una tensione molto bassa è applicata attraverso le sonde di misura (pochi millivolt), il metodo di misura è sensibile ai campi di interferenza elettrica. Questo è specialmente il caso dei dispositivi split, dove il sensore e il trasmettitore sono collegati da linee sensibili alle interferenze. Questo può essere mitigato utilizzando trasmettitori di flusso compatti.
- Si raccomanda di usare solo cavi schermati e intrecciati e di evitare la vicinanza di forti campi magnetici di motori elettrici o convertitori di frequenza.

### Flussimetri a ultrasuoni

- La contaminazione degli specchi deflettori con piccoli diametri nominali e le inclusioni di gas nell'acqua possono causare imprecisioni di misurazione.
- Evitare queste interferenze richiede un'alta qualità dell'acqua e una sufficiente degassificazione dell'acqua, che evita i depositi sugli specchi di deflessione.

### Misuratori di portata a fascio oscillante

- I flussimetri a getto oscillante sono fondamentalmente insensibili alla contaminazione, poiché è necessario per la misurazione solo un flusso parziale con velocità di flusso aumentata.
- Per l'installazione orizzontale, la testa di misura deve essere montata lateralmente (non in basso o in alto). Per l'installazione verticale, non sono necessarie misure speciali.

### Flussometri meccanici

- L'installazione di un filtro antispurgo a monte dell'ingresso dell'acqua del misuratore di portata aiuta ad evitare danni o intasamenti della girante o della ruota della turbina.
- Un'ispezione regolare assicura che l'usura meccanica sia esclusa come fonte di errore.
- Un'attenta progettazione deve garantire che la portata d'esercizio non scenda (salva casi eccezionali) sotto la portata minima  $q_i$ .

## 7.4.3 Installazione di contatori di calore

Per ottenere la precisione di misurazione richiesta per la fatturazione del calore, è necessario osservare le seguenti istruzioni:

- Rispetto delle istruzioni di installazione del fornitore del contatore di calore (sezione di ingresso, sezione di uscita, disposizione orizzontale/verticale dell'installazione, installazione della sonda, ecc.);
- Le distanze rettilinee di ingresso e di uscita variano a seconda della dimensione nominale e della tecnologia. Nel foglio di lavoro AGFW FW 218 [70], si raccomanda una sezione di ingresso di 5 x DN e una sezione di uscita di 3 x DN. Queste sezioni di calma (sezioni di ingresso/uscita) non devono contenere parti incorporate come sensori, manicotti di immersione, valvole, filtri, curve di tubi, cambiamenti di sezione o simili (vedi Figura 7.10);
- Il sensore di temperatura per il ritorno deve essere disposto nella direzione del flusso dopo la parte di misurazione del volume;
- Se possibile, la parte di misurazione del volume dovrebbe essere collocata tra due dispositivi di chiusura. Questo facilita i lavori di manutenzione e la sostituzione del contatore secondo il ciclo di calibrazione;
- Progettazione per una differenza di temperatura > 20K. Differenza di temperatura in funzione almeno 3K, cioè non è consentita l'installazione di un contatore di calore nel circuito costante della caldaia;

- Distribuzione uniforme della temperatura sulla sezione del tubo davanti ai sensori di temperatura (se necessario, installazione aggiuntiva di un miscelatore statico);
- Anelli di controllo stabili; i controllori oscillanti (piccola/grande differenza di temperatura o anche differenza di temperatura positiva/negativa) possono causare notevoli errori di misurazione;
- Prevenzione della circolazione difettosa (compresa la circolazione monotubo), che può influenzare la misurazione del calore;
- Se la misura della differenza di temperatura è fatta sullo stesso livello della misura del flusso, i disturbi dovuti alla cattiva circolazione indesiderata possono essere minimizzati (la cattiva circolazione è almeno misurata correttamente);
- Funzionamento del contatore di calore solo nel campo di portata ammissibile da  $q_p$  a  $q_i$ ;
- I contatori di calore compatti sono vantaggiosi perché le influenze delle interferenze sulla breve trasmissione del segnale dal sensore al trasmettitore e al calcolatore sono praticamente escluse;
- Messa in funzione tecnicamente corretta dei contatori di calore e, se necessario, ricerca sistematica di fonti di interferenza da parte di specialisti;
- Non è permesso allungare i cavi del sensore. I contatori di calore, compreso il sensore, sono calibrati e misurati;
- Devono essere rispettate le rispettive norme per il mantenimento della stabilità della misurazione (ricalibrazione, taratura, ecc.).

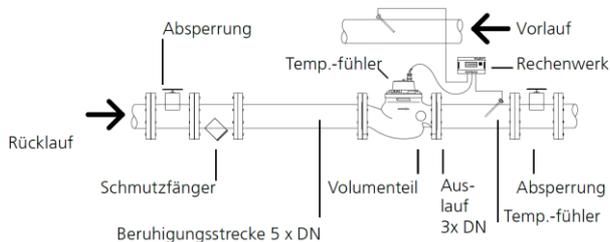


Figura 7.10 Contatore di calore dell'impianto (fonte: WDV-Molliné GmbH).

#### 7.4.4 Influenzare l'autorità della valvola

I produttori di contatori di calore specificano la cosiddetta portata nominale per ogni contatore di calore. Tuttavia, se i contatori di calore sono effettivamente progettati per questa portata nominale, ne risultano cadute di pressione da 20 a 25 kPa.

Queste grandi cadute di pressione con la denominazione fuorviante di "portata nominale" portano sempre a interpretazioni errate: il misuratore di portata viene spesso installato in una sezione a portata variabile in modo che la differenza di temperatura corrispondente sia la più grande possibile (migliore precisione di misurazione). Tuttavia, questo ha la conseguenza – lo si dimentica spesso – che l'autorità della valvola di controllo in questo modo è influenzata! Questo porta a un conflitto di obiet-

tivi: da un lato, la caduta di pressione attraverso il contatore dovrebbe essere la più piccola possibile per una corretta autorità della valvola, dall'altro, una piccola caduta di pressione significa anche una minore precisione nel campo di portata inferiore. Si può dare il seguente consiglio:

- Se i contatori di calore più piccoli sono progettati in modo che il flusso effettivo di progetto corrisponda a circa il 50% del flusso nominale secondo le specifiche del produttore, si otterranno cadute di pressione ragionevoli di circa 5 kPa con una precisione accettabile.
- Con i diversi tipi di costruzione offerti oggi, si possono sempre trovare soluzioni adeguate. Con i trasmettitori di flusso magnetico-induttivo e la misurazione del flusso per mezzo di ultrasuoni (eventualmente la misurazione del flusso secondo il principio del getto oscillante), si possono realizzare contatori di calore più grandi con basse perdite di carico.

## 7.5 Accumulo di calore

### 7.5.1 Accumulo di calore nel sistema di riscaldamento

I sistemi di combustione a legna non possono aumentare o diminuire la potenza della loro caldaia a qualsiasi velocità; il processo di combustione della legna e la massa termica dei sistemi di combustione lo limitano. Di regola, le variazioni di potenza possono avvenire al massimo nell'intervallo tra lo 0,5% e l'1% al minuto. Il compito dell'accumulatore di calore nel sistema di riscaldamento è quello di compensare le variazioni brevi e rapide della domanda di potenza (picchi di carico, riduzioni di carico) dei consumatori di calore, in modo che il sistema di riscaldamento a biomassa possa seguire lentamente la domanda media di potenza (profilo di carico). Questo è l'unico modo per garantire bassi livelli di emissioni, bassa usura del sistema e conseguenti bassi costi di manutenzione, nonché una lunga durata del sistema. Affinché il sistema di accumulo di calore possa svolgere questo compito, devono essere soddisfatti i seguenti requisiti:

- Volume di accumulo del calore sufficiente
- Sensori di temperatura per determinare lo stato di carica del serbatoio di stoccaggio
- Stratificazione ottimale della temperatura nel serbatoio di stoccaggio
- Gestione della ricarica con accumulo di calore

#### Volume di archiviazione

Per i sistemi che sono usati principalmente per la produzione di riscaldamento degli ambienti, l'accumulatore di calore dovrebbe essere almeno in grado di assorbire il calore rilasciato durante un'ora alla potenza nominale del sistema di combustione della legna. La differenza di temperatura utilizzabile tra il livello di temperatura nella parte superiore e inferiore dell'accumulatore di calore viene presa in considerazione (vedi Figura 7.11). Il livello di temperatura in alto corrisponde alla temperatura di uscita della caldaia, il livello di temperatura in basso corrisponde alla temperatura massima di ritorno delle

utenze di calore nello stato di progetto con tempo freddo. Nel caso di due o più caldaie a legna, si sceglie come valore di riferimento almeno i due terzi della somma delle potenze nominali. Tuttavia, si raccomanda di utilizzare come valore di riferimento anche la somma delle potenze nominali nel caso di più caldaie. Se si verificano variazioni di carico molto grandi e/o rapide, ad esempio a causa di calore di processo, picchi di acqua calda sanitaria in impianti sportivi, utilizzo di stazioni di acqua fresca, impianti di ventilazione, serre, ecc, il volume di accumulo dovrebbe essere notevolmente aumentato. Ulteriori informazioni si trovano anche nel capitolo 13.5.5.

Se il volume di stoccaggio richiesto non può essere realizzato in un singolo serbatoio di stoccaggio a causa di restrizioni di spazio e altezza della stanza, dovrebbe essere distribuito su due o più serbatoi di stoccaggio. Di regola, il funzionamento in serie idraulica dei serbatoi di stoccaggio è raccomandato, a condizione che la velocità massima del flusso nei serbatoi di stoccaggio non superi 6 m/h a 10 m/h. Il funzionamento idraulicamente parallelo dei serbatoi di stoccaggio richiede una tubazione molto attenta secondo il principio di Tichelmann, in modo che tutte le tubazioni verso i serbatoi di stoccaggio abbiano esattamente la stessa caduta di pressione. In pratica, questo è raramente implementato correttamente. La Figura 7.12 mostra una disposizione in serie di due serbatoi di stoccaggio con le posizioni raccomandate dei sensori di temperatura. Il Manuale sulla pianificazione delle reti di teleriscaldamento [17] più in dettaglio nel capitolo 2.10.4 Tipi di costruzione e modalità di funzionamento degli accumulatori di calore.

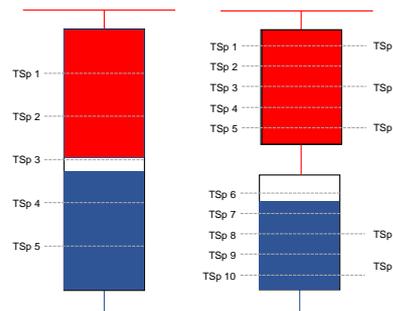


Figura 7.12 Disposizione raccomandata di cinque sensori di temperatura (TSp) per un serbatoio di stoccaggio (sinistra) e dieci o cinque sensori di temperatura per due serbatoi di stoccaggio in serie (destra).

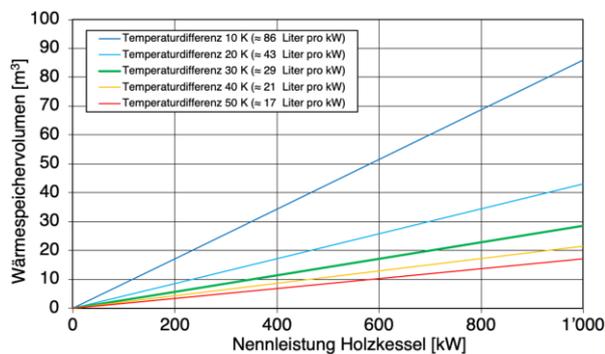


Figura 7.11 Volume dell'accumulo di calore in funzione della potenza nominale della caldaia e della differenza di temperatura.

### Sensori di temperatura

Almeno cinque sensori di temperatura dovrebbero essere distribuiti uniformemente sull'accumulatore di calore. Se possibile, si dovrebbero usare 10 sensori di temperatura per accumulatori alti. Con il loro aiuto si determina lo stato di carica dell'accumulatore di calore. Se le sonde di temperatura sono distribuite su più accumulatori, si dovrebbero usare almeno cinque sonde di temperatura per ogni accumulatore, se possibile, e interpretarle dal sistema di controllo per calcolare lo stato di carica.

**Stratificazione della temperatura**

L'accumulatore di calore deve avere una distinta stratificazione della temperatura. Questo richiede un bilanciamento idraulico dei flussi volumetrici dei generatori di calore e della rimozione di calore in condizioni di freddo. Le velocità di flusso nell'accumulatore di calore devono essere le più basse possibili. L'afflusso e il deflusso dell'acqua non dovrebbero innescare processi di miscelazione nell'accumulatore di calore, il che può essere ottenuto, per esempio, utilizzando piastre perforate nella zona di afflusso/deflusso. La Figura 7.13 mostra la stratificazione della temperatura in un accumulatore di calore durante il caricamento e lo scaricamento. Una caratteristica della stratificazione ottimale della temperatura è che i sensori di temperatura non cambiano tutti allo stesso tempo, ma uno dopo l'altro. Quando si scarica, la temperatura del sensore più basso scende per prima. Durante la carica, la temperatura del sensore più basso è l'ultima a salire.

**Importante**

Per mantenere la stratificazione della temperatura nell'accumulatore, la temperatura di uscita della caldaia deve essere mantenuta costante, indipendentemente dalla potenza attuale della caldaia e anche quando la caldaia è spenta e accesa. Ciò richiede la regolazione della temperatura di uscita della caldaia ad un valore costante. Questo viene fatto preimpostando opportunamente la temperatura d'ingresso della caldaia in base alla potenza della caldaia desiderata. Alzando la temperatura di entrata della caldaia dopo lo spegnimento appena sotto la temperatura di uscita, questa può essere mantenuta costante durante il funzionamento in standby.

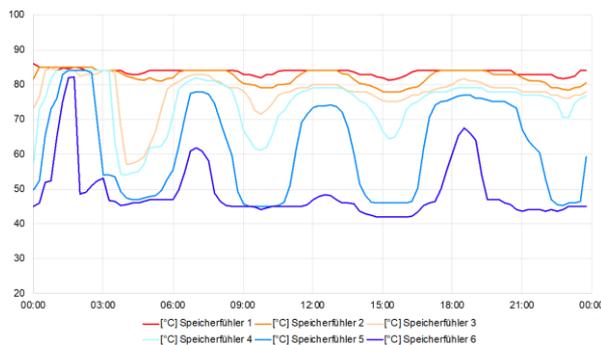


Figura 7.13 Andamento delle temperature nell'accumulatore termico durante la carica e la scarica.

**Gestione delle spese di stoccaggio**

L'accumulatore di calore è un indicatore dei cambiamenti nella domanda di potenza. Se la richiesta di potenza

nella rete di calore aumenta rispetto alla potenza attuale della caldaia a biomassa, lo strato freddo nell'accumulatore si sposta lentamente verso l'alto, facendo diminuire lo stato di carica dell'accumulatore. Affinché l'accumulatore di calore possa compensare l'aumento o la diminuzione a breve termine della domanda di carico, deve essere caldo nella metà superiore e freddo nella metà inferiore. Dovrebbe quindi avere uno stato di carica di circa il 50%. Un regolatore PI confronta il valore reale e il valore nominale dello stato di carica dell'accumulatore. Lo stato di carica viene controllato aumentando o diminuendo lentamente la potenza del bruciatore a legna (vedi Figura 7.14). Quando viene raggiunto lo stato di carica nominale, la potenza della caldaia viene ridotta al carico minimo (ad es. 30%). Se due bruciatori a legna sono in funzione contemporaneamente, entrambe le caldaie ricevono la stessa specifica di potenza dalla gestione della carica dell'accumulatore.

Per un'ottimale specificazione dell'uscita alle caldaie a biomassa da parte del regolatore PI, è necessario un accurato rilevamento dello stato di carica del serbatoio di stoccaggio.

Ulteriori informazioni si trovano negli schemi idraulici standard parte I e parte II (varianti di controllo dello stato di carica del serbatoio di stoccaggio da 1 a 4).

Nel corso della pianificazione deve essere preparata una descrizione funzionale completa del sistema, che contiene in particolare anche una strategia di controllo per la gestione della ricarica dello stoccaggio (vedi capitolo 5.10.3). Già nelle offerte e nei contratti con i progettisti e i produttori deve essere chiaramente definito chi è responsabile per la definizione e l'implementazione della gestione della ricarica dello stoccaggio.

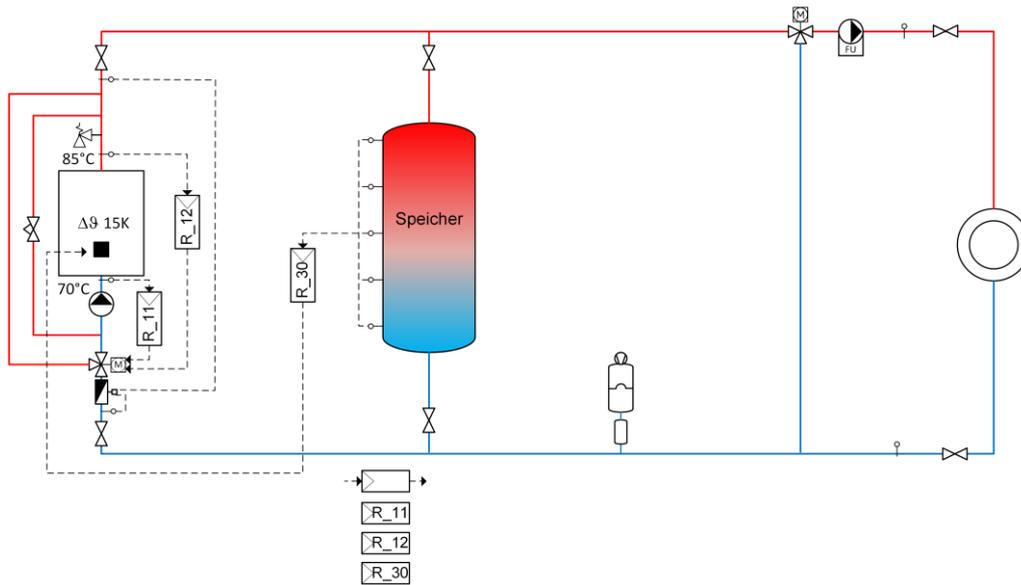


Figura 7.14 Controllo dello stato di carica del serbatoio di stoccaggio con la variabile di controllo del tasso di accensione della caldaia a biomassa.

## 7.5.2 Integrazione idraulica dell'accumulatore di calore

Per un'integrazione idraulica senza problemi del generatore di calore, dell'accumulatore di calore e dei raccordi differenziali a bassa pressione, questi dovrebbero essere disposti uno vicino all'altro in un ordine specifico (circuito A secondo la Figura 7.15). Le deviazioni problematiche dal suddetto requisito di base sono descritte nei circuiti B, E con note di soluzione (vedi Figura 7.16- Figura 7.20).

Le questioni di base che si presentano quando un generatore di calore (caldaia a biomassa, pompa di calore, ecc.), un serbatoio di stoccaggio e un collegamento di differenza a bassa pressione (distributore, rete DI tele di precontrollo, ecc.) sono collegati sono mostrati dalla Figura 7.15 alla Figura 7.20

### Circuito A

Questo circuito è senza problemi perché la caduta di pressione attraverso il serbatoio di stoccaggio è bassa. Produttore e consumatore sono perfettamente disaccoppiati idraulicamente (Figura 7.15).

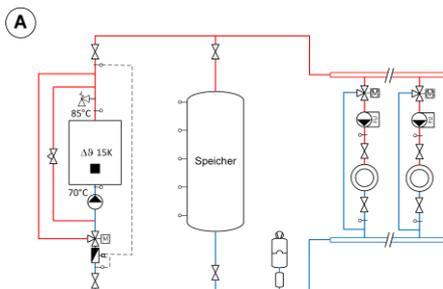


Figura 7.15 Integrazione idraulica dell'accumulatore di calore - circuito A.

### Circuito B

L'accumulatore è installato lontano dal generatore di calore e dal distributore (Figura 7.16). La caduta di pressione  $\Delta p$  attraverso il capillare e l'accumulatore causa una fluttuazione inaccettabilmente alta della differenza di pressione di collegamento del distributore a bassa pressione di  $+\Delta p$  durante la carica e  $-\Delta p$  durante lo scarico se il tubo di collegamento dell'accumulatore è troppo lungo. Con un'attenta progettazione delle valvole di controllo, l'esperienza mostra che una fluttuazione massima della differenza di pressione di circa 3 kPa può essere tollerata.

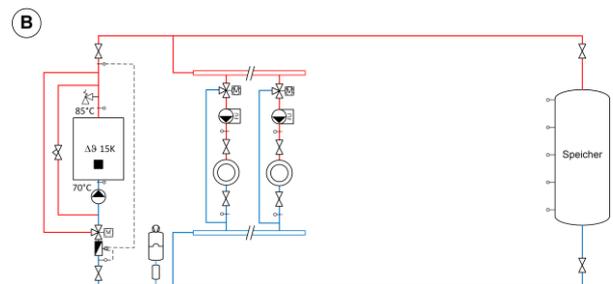


Figura 7.16 Integrazione idraulica dell'accumulatore di calore - circuito B.

### Circuito C

Un distributore situato lontano presenta delle difficoltà perché qui il distributore a bassa differenza di pressione è pressurizzato secondo la caduta di pressione attraverso i lunghi tubi di collegamento e il serbatoio di stoccaggio (Figura 7.17). Almeno qui, a differenza del circuito B, la fluttuazione della differenza di pressione di collegamento avviene solo in una direzione. La massima differenza di pressione di collegamento che può essere tollerata può essere risposta come segue:

- La caduta di pressione attraverso ogni valvola di controllo del distributore deve essere maggiore della differenza di pressione di connessione (autorità della valvola  $\geq 0,5$ ); nei distributori esistenti, l'esperienza mostra che la caduta di pressione attraverso le valvole di controllo è raramente maggiore di 3 a 5 kPa, quindi anche la differenza di pressione di connessione non deve essere maggiore.
- Inoltre, la caduta di pressione sui lunghi tubi di collegamento non deve essere superiore al 20% della prevalenza della pompa del gruppo più piccolo (prevenzione delle interferenze tra i gruppi al distributore).

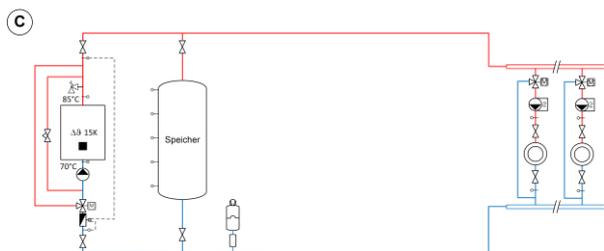


Figura 7.17 Integrazione idraulica dell'accumulatore di calore - circuito C.

#### Circuito D

Una pompa capillare e un bypass nel distributore non sono purtroppo una soluzione, perché questo causa un aumento inammissibile della temperatura di ritorno a causa della miscelazione (Figura 7.18).

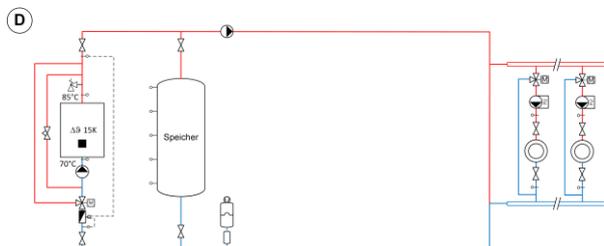


Figura 7.18 Integrazione idraulica dell'accumulatore di calore - circuito D.

#### Circuito E

In alternativa, l'accumulatore può essere installato il più vicino possibile al distributore; allora la differenza di pressione di collegamento del distributore è sufficientemente piccola (Figura 7.19). Tuttavia, bisogna fare attenzione che la valvola di regolazione del circuito del generatore di calore sia installata il più vicino possibile al generatore di calore (piccolo tempo morto) e che la caduta di pressione attraverso la valvola di regolazione sia almeno grande quanto la caduta di pressione attraverso il capillare e l'accumulatore (autorità della valvola  $\geq 0,5$ ).

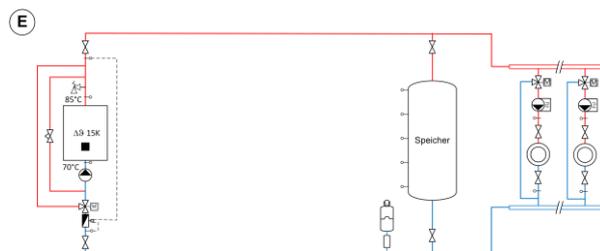


Figura 7.19 Integrazione idraulica dell'accumulatore di calore - circuito E.

**Circuito F**

Una soluzione che funziona sempre è un distributore di iniezione con valvole passanti, collegato a una pompa capillare a velocità controllata (Figura 7.20). Dal punto di vista del controllo, è più favorevole se la differenza di pressione è misurata il più vicino possibile al distributore, perché questo setpoint determina l'autorità delle valvole di controllo. Si sconsiglia espressamente di tentare di regolare un distributore a bassa differenza di pressione a  $\Delta p = 0$ . Inoltre, un controllo a  $\Delta p < 10\text{kPa}$  non è adatto, poiché una differenza di pressione in questo intervallo è già troppo alta per un distributore a bassa differenza di pressione.

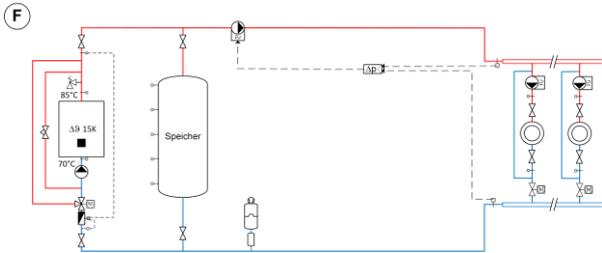


Figura 7.20 Integrazione idraulica dell'accumulatore di calore - circuito F.

**Variante aggiuntiva integrazione idraulica dell'accumulatore con generazione di calore di separazione della rete / rete di riscaldamento a distanza**

Una separazione di rete tra la generazione di calore e la rete di calore è necessaria se le alte pressioni nella rete di teleriscaldamento, causate da grandi dislivelli geodetici, non possono essere trasferite all'integrazione idraulica della generazione di calore con lo stoccaggio (Figura 7.21). È importante notare che il gradiente (differenza di temperatura) attraverso lo scambiatore di calore tra la

temperatura di ritorno primaria della generazione di calore e la temperatura di ritorno secondaria della rete di teleriscaldamento è un massimo di  $< 5\text{K}$  in ogni punto operativo. L'obiettivo è quello di mantenere un gradiente  $< 3\text{K}$  in modo che la capacità di stoccaggio non sia ridotta da un aumento della temperatura di ritorno primaria per la generazione di calore.

Se il flusso volumetrico attraverso lo scambiatore di calore è troppo basso, il gradiente aumenta bruscamente a causa di un comportamento di trasferimento del calore fortemente ridotto a causa del funzionamento nel campo del flusso laminare. L'assegnazione della potenza ai singoli scambiatori di calore deve quindi essere effettuata in modo tale da garantire un flusso turbolento attraverso gli scambiatori di calore attualmente in funzione in ogni punto di funzionamento.

Inoltre, si deve garantire, in termini di tecnologia di regolazione, che non si verifichino picchi di carico a breve termine o riduzioni di carico quando si collegano e si scollegano gli scambiatori di calore sul lato primario (generazione di calore). Questo viene fatto, per esempio, aumentando uno scambiatore di calore aggiuntivo fino alla capacità di trasmissione nominale, mentre lo scambiatore di calore già in funzione continua a funzionare in parallelo alla capacità di trasmissione nominale. Se in seguito la capacità di trasmissione totale è troppo alta, la capacità di trasmissione di entrambi gli scambiatori di calore insieme viene diminuita. I picchi di carico o le riduzioni di carico che si verificano devono essere compensati anche dall'accumulatore. Il trasferimento di calore tra la rete di teleriscaldamento e la produzione di calore deve avvenire in modo tale che la curva di carico sul lato primario (produzione di calore) sia identica alla curva di carico sul lato secondario (rete di calore).

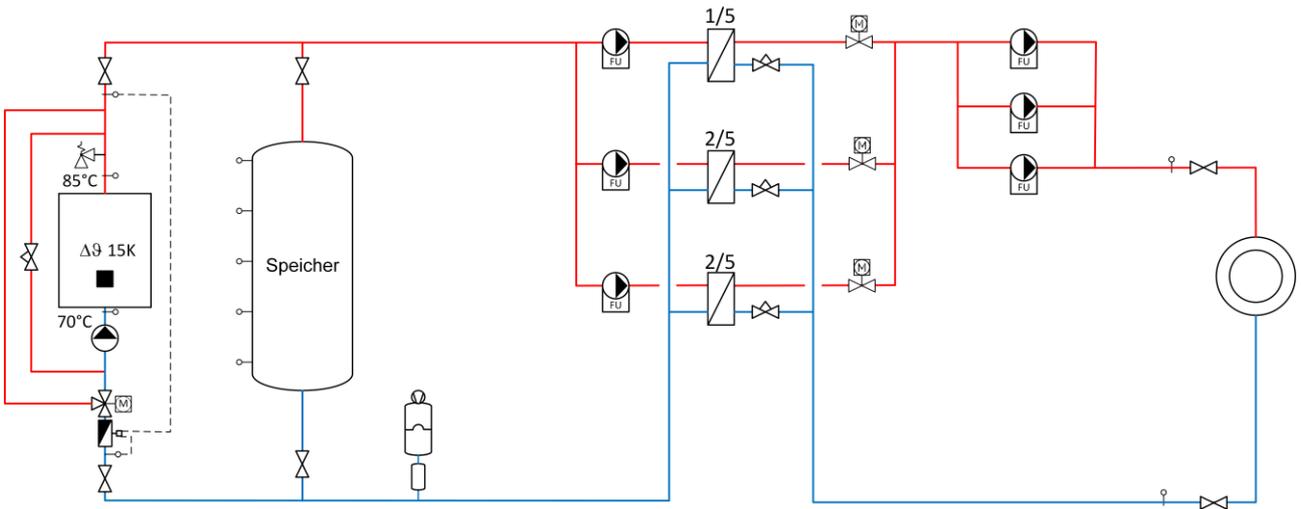


Figura 7.21 Rete di generazione di calore/riscaldamento a separazione di rete con tre scambiatori di calore.

## 7.6 Domande sull'idraulica per la generazione di calore

### 7.6.1 Qualità dell'acqua

Bisogna prestare attenzione alla qualità dell'acqua come mezzo di trasferimento del calore nel sistema idraulico dell'impianto di riscaldamento e nella rete di riscaldamento per i seguenti motivi:

- Prevenzione della corrosione: il contenuto di ossigeno non deve superare il valore limite specificato nelle direttive e nelle norme. **Degasando sistematicamente l'acqua di riscaldamento durante il funzionamento con un disaeratore**, il contenuto di ossigeno può essere generalmente ridotto sotto il valore limite senza additivi chimici. Se il contenuto di ossigeno è troppo alto, anche il valore pH scende sotto il valore limite e la comparsa di particelle nere di magnetite indica processi di corrosione.
- Prevenzione del calcare: se la durezza totale o il contenuto di carbonato di calcio è superiore al valore limite, il calcare si forma sulle superfici dello scambiatore di calore (superfici della caldaia) dei generatori di calore. In caso di forte formazione di calcare, questo può causare un surriscaldamento localizzato (punti caldi), poiché il calcare impedisce il trasferimento di calore o il flusso dell'acqua di riscaldamento. In caso di forte formazione di calcare, questo può danneggiare la costruzione dello scambiatore di calore (costruzione della caldaia).
- **Il riempimento iniziale e il rifornimento del sistema idraulico dell'impianto di riscaldamento e della rete di riscaldamento devono essere effettuati con acqua trattata** secondo le linee guida e le norme nazionali e le specifiche del produttore della caldaia.
- Un **controllo annuale della qualità dell'acqua di riscaldamento**, in cui tutti i valori limite sono controllati secondo le direttive e le norme mediante analisi dell'acqua, è necessario per garantire una qualità dell'acqua costantemente elevata.

I requisiti per l'acqua del circuito sono fondamentalmente diversi a seconda della temperatura di funzionamento. Si distingue tra *acqua calda* < 110°C e *acqua calda* > 110°C. Per l'*acqua calda* si distingue anche tra funzionamento a basso e alto contenuto di sale. Si deve anche tener conto delle dimensioni dell'impianto, del volume d'acqua e dei valori indicativi e dei requisiti dei produttori di componenti (raccordi, valvole di regolazione, scambiatori di calore, ecc.).

Informazioni più dettagliate sulla qualità dell'acqua e sui requisiti si possono trovare nel Manuale sulla pianificazione delle reti di teleriscaldamento (vedi [17] pagina 93 e seguenti). Una descrizione completa è fornita anche dal regolamento AGFW FW 510 [71] o dalla linea guida SWKI BT102-01 [72]. Fondamentalmente, devono essere rispettate le rispettive norme e linee guida nazionali relative alla qualità dell'acqua negli impianti di riscaldamento e nelle reti di teleriscaldamento, così come le specifiche del produttore.

### 7.6.2 Prevenire la cattiva circolazione

I generatori di calore che sono spenti (caldaie a biomassa, caldaie a olio/gas, ecc.) devono essere separati idraulicamente dalla generazione di calore complessiva in modo da evitare una circolazione difettosa, che mantiene il generatore di calore corrispondente alla temperatura d'esercizio evitando perdite di calore indesiderate.

Le seguenti misure devono essere attuate:

- Chiusura controllata della valvola a tre vie nel circuito del generatore di calore.
- Installazione di valvole di intercettazione automatica nella sezione con flusso a volume variabile del circuito del generatore di calore.
- Prevenzione della circolazione monotubo per mezzo di serrande di non ritorno.

## 8 Componenti dell'impianto di distribuzione del calore

### 8.1 Panoramica

Il capitolo 8 dà un'idea delle basi della distribuzione del calore e del trasferimento di calore ai clienti per le reti termiche. Vengono trattati i seguenti argomenti:

- Sistemi di tubature
- Raccordi
- Monitoraggio delle perdite
- Trasmissione e comunicazione dei dati
- Struttura della rete
- Metodi e situazioni di installazione
- Qualità dell'acqua
- Trasferimento di calore

Gli argomenti elencati sopra, tuttavia, non sono trattati in modo approfondito. Per considerazioni più dettagliate, si fa riferimento a Handbook on Planning of District Heating Networks [17] e a Guide to Planning District Heating Transfer Stations [73]. Come ulteriore letteratura, per esempio, il libro di testo District Heating and Cooling [74] o i documenti delle associazioni nazionali pertinenti (come AGFW o VFS) possono essere raccomandati. Devono essere osservati anche i requisiti specifici dell'azienda e del paese.

### 8.2 Sistemi di tubature

Nella costruzione di reti locali e di teleriscaldamento, si usano quasi esclusivamente tubi preisolati posati nel terreno. I tubi preisolati sono composti da un tubo portante in cui viene condotto il mezzo di trasferimento del calore, da materiale isolante che riduce la perdita di calore nell'ambiente e da un tubo di rivestimento che protegge dai danni meccanici. Nell'isolamento del tubo sono di solito integrati elementi aggiuntivi come cavi dati o sistemi di segnalazione delle perdite. La scelta del sistema di tubi e della tecnica di installazione adatta dipende dalla temperatura e dalla pressione della rete, nonché dai requisiti che sono in gran parte determinati dalle condizioni del sito. Queste sono:

- Linee di servizio
- Dintorni
- Edifici e/o costruzioni
- Strade
- Binari ferroviari
- Sottopassi
- Acque sotterranee
- Composizione del suolo
- Presenza di alberi

I tubi rigidi in acciaio preisolati con un tubo di servizio in acciaio sono il sistema di tubi più comunemente installato, poiché sono standardizzati, robusti e poco costosi. I sistemi di tubi flessibili come i tubi di plastica preisolati e i tubi d'acciaio flessibili preisolati sono usati principalmente

nell'area di sotto-distribuzione e nei collegamenti domestici. Altri possibili sistemi di tubi sono i tubi in acciaio e in plastica rinforzata con fibra di vetro (GRP) (vedi [17] pagina 68 e seguenti).

Per la maggior parte dei sistemi di tubi, sono disponibili anche **versioni a doppio tubo**, i cosiddetti tubi duo, nella gamma di diametro nominale inferiore. Per applicazioni speciali, il tubo di rivestimento in acciaio o il tubo in vetroresina possono essere progettati anche in versioni a tubo doppio o multiplo. I sistemi a doppio tubo e a tubi multipli hanno i seguenti vantaggi rispetto ai sistemi a tubo singolo:

- Bassi costi di posa (minore larghezza della trincea)
- Minori perdite di calore specifico
- Dimezzato il numero di giunti di presa
- Dimezzato il numero di carotaggi e guarnizioni per l'ingresso della casa
- Numero ridotto di gambe per lo stretching.

I tubi doppi con tubi flessibili in acciaio o in plastica sono particolarmente adatti per la posa da una casa all'altra, poiché non è necessario collocare rami nel terreno. Quando si usano tubi doppi con tubi rigidi in acciaio, devono essere disponibili informazioni esatte sui rami, in modo da poter utilizzare i raccordi necessari. L'installazione successiva di una diramazione è di grande impegno. Il percorso del tubo deve essere scavato con precisione, poiché i doppi tubi rigidi in acciaio sono molto rigidi. I doppi tubi rigidi in acciaio sono ideali per le condotte di trasporto rettilinee senza diramazioni e l'inclinazione costante del percorso della condotta. Nel caso in cui si debba passare nel sottosuolo (soprattutto su lunghe distanze), si può posare un doppio tubo di diametro ridotto.

Una panoramica dei singoli sistemi di tubi e del loro campo di applicazione si trova nella Tabella 8.1.

### 8.3 Raccordi

I raccordi sono installati come intercettazioni. In questo modo, l'interruzione del funzionamento della rete può essere limitata in caso di successive estensioni della rete ed eventuali riparazioni. Inoltre, le valvole sono utilizzate per lo scarico e lo sfiato dei tubi. Le valvole hanno i seguenti requisiti:

- Bassa perdita di pressione
- Chiusura stretta in entrambe le direzioni
- Tenuta dei passanti dell'alloggiamento
- Bassa manutenzione
- Basso fabbisogno di spazio
- Basso rumore di flusso
- Intercambiabilità
- Isolante (termico)
- Materiale dell'alloggiamento robusto
- Funzionalità anche con un uso poco frequente.

I requisiti individuali si influenzano a vicenda, quindi i criteri più importanti devono essere determinati in base alle necessità. Va notato che le valvole di intercettazione non

sono adatte per scopi di controllo. Nelle reti locali e di teleriscaldamento, vengono utilizzati i quattro tipi base di valvole a saracinesca, a globo, a rubinetto e a farfalla, a seconda delle dimensioni nominali, della temperatura e delle condizioni di pressione. Le valvole sono installate

nella tubazione mediante saldatura o mediante connessioni flangiate.

Handbook on Planning of District Heating Networks tratta i raccordi in modo più dettagliato (vedi [17] pagina 75 e seguenti).

Tabella 8.1 Panoramica dei sistemi di tubi[17].

Sistema di tubi	Ambito di applicazione				Lunghezze disponibili		Design a doppio tubo fino a DN	Caratteristica speciale
	Temperatura massima di funzionamento ammissibile	Temperatura d'esercizio continua	Pressione nominale PN	Diametro nominale DN	Bar	Rulli		
	°C	°C	bar	--	m	m	--	--
<b>KMR</b>	< 160	< 140	< 25	20 - 1,000	6/12/16*	--	DN 150	Il sistema di tubi più utilizzato grazie alla sua standardizzazione e robustezza
<b>MMR</b>	< 180	< 160	< 25	20 - 150	12*	< 1,000	DN 50	Relativamente costoso; utilizzare quando le condizioni di installazione lo rendono necessario
<b>PMR</b>	< 95	< 80	< 6	20 - 150	12*	< 780	DN 65	Relativamente favorevole; resistenza limitata alla pressione e alla temperatura (in alcuni casi massiccia limitazione della durata di vita se si supera la temperatura massima di funzionamento ammessa). Al di sotto dei 70°C di temperatura d'esercizio continua, tuttavia, aspettativa di vita fino a 100 anni.
<b>GRP</b>	< 160	< 160	< 16	25 - 1,000	6*	--	--	Relativamente costoso; solo per speciali requisiti di resistenza alla corrosione
<b>SMR</b>	< 400	< 400	< 64	25 - 1,200	16*	--	**	Relativamente costoso; solo se le condizioni di pressione, temperatura o installazione lo rendono necessario.

KMR = tubo rigido in acciaio (preisolato con guaina in plastica e tubo portante in acciaio)  
 MMR = tubo flessibile con rivestimento in plastica e tubo portante in acciaio (corrugato o liscio)  
 PMR = tubo flessibile con guaina in plastica e tubo portante in plastica (es. PEX)  
 GRP = tubo di rivestimento in plastica rigida con un tubo portante in plastica rinforzata con fibra di vetro  
 SMR = tubo rigido in acciaio con rivestimento in acciaio e tubo portante in acciaio  
 \* Lunghezza standard, altre lunghezze disponibili su richiesta.  
 \*\* Versioni speciali possibili su richiesta (ad esempio, versione a tubi multipli)

### 8.4 Monitoraggio delle perdite

Le reti di teleriscaldamento possono essere progettate con o senza apparecchiature di monitoraggio delle perdite, a seconda della tecnologia di installazione e del sistema di tubazioni. L'esperienza operativa ha dimostrato che il monitoraggio continuo con il rilevamento centrale delle perdite aumenta l'affidabilità della fornitura di una rete e può quindi ridurre al minimo il tempo e l'impatto economico dei danni. Per questo motivo, un sistema di monitoraggio delle perdite è generalmente raccomandato. La rete di teleriscaldamento dovrebbe essere monitorata continuamente in punti di misurazione designati.

Il monitoraggio delle perdite è considerato lo stato dell'arte per i tubi di rivestimento in plastica con tubi in acciaio [75]. Per i tubi medi in plastica, il monitoraggio delle perdite di solito non è disponibile come standard.

Per le installazioni fognarie, l'ispezione visiva dei pozzetti è considerata sufficiente; se necessario, dovrebbero essere utilizzate apparecchiature di monitoraggio automatico dei pozzetti. Le tubazioni interrato sono di solito gestite senza sistemi di monitoraggio.

I sistemi di monitoraggio delle perdite utilizzati oggi misurano la resistenza elettrica dell'isolamento termico tra due anime o tra un'anima e il tubo di servizio (la misura durante il funzionamento deve essere presa a > 1 megohm). Se c'è penetrazione di umidità nell'isolamento termico o nell'indicatore, la resistenza diminuisce. Utilizzando due nuclei, si può formare un circuito di monitoraggio. Il monitoraggio di questo anello assicura il monitoraggio dell'intero circuito. Quando si sceglie il sistema di monitoraggio delle perdite, è importante assicurarsi che il principio di misurazione permetta di rilevare tempestivamente un danno, ad esempio la penetrazione di

umidità nell'isolamento a causa di un danno al rivestimento esterno o al tubo portante, nonché la sua precisa localizzazione, in modo che i lavori di manutenzione possano essere effettuati immediatamente. La misurazione delle perdite deve essere integrata nella tecnologia di controllo, nella visualizzazione e nella registrazione continua dei dati.

Il manuale sulla pianificazione delle reti di teleriscaldamento tratta in modo approfondito il monitoraggio delle perdite (vedi [17] pagina 73 e seguenti). Tre diversi sistemi sono presentati (Nordic, Brandes e sistema di indicatori) e confrontati sulla base di vari criteri (fili del sensore, metodo di misurazione, rilevamento degli errori, tolleranza di visualizzazione, possibilità di monitoraggio e lunghezza delle sezioni di monitoraggio).

## 8.5 Trasmissione e comunicazione dei dati

Nella costruzione di sistemi di teleriscaldamento, l'integrazione di sistemi di monitoraggio dei dati e delle perdite è ormai lo stato dell'arte e dovrebbe essere implementato ovunque, indipendentemente dalle dimensioni del sistema. Questi permettono una fatturazione semplice, sicura ed efficiente, la registrazione centrale dei guasti e la possibilità di ottimizzare i sistemi dei clienti e l'individuazione dei difetti (per esempio la deriva della temperatura primaria di ritorno).

La soluzione più semplice per i sistemi più piccoli è quella di controllare o regolare i clienti con regolatori individuali. Per i sistemi di medie e grandi dimensioni, si dovrebbe considerare anche un'opzione di monitoraggio centralizzato (ad es. sistema di controllo o lettura a distanza). Attraverso il costante scambio di dati, i processi nell'intera rete di teleriscaldamento sono resi trasparenti ed è possibile la regolazione a distanza di tutti i parametri di sistema di ogni singola stazione di trasferimento. Da qualsiasi luogo (ad esempio tramite notebook o telefono cellulare), i clienti possono essere supportati nella regolazione degli impianti. Con la registrazione dei singoli contatori di calore e il trasferimento dei dati misurati a un dispositivo centrale, non è più necessario leggere il contatore in loco.

## 8.6 Struttura della rete

Il termine rete di teleriscaldamento o rete di distribuzione del calore si riferisce al collegamento tra la produzione di calore e i consumatori di calore. La scelta della struttura della rete, del percorso, del sistema di tubi e del metodo di installazione è influenzata da numerosi fattori. Non solo la struttura dell'insediamento, ma anche gli aspetti tecnici, geologici, economici e di sicurezza, così come le questioni architettoniche e legali sono determinanti. Il bacino d'utenza e le dimensioni di una rete di distribuzione del calore di solito non sono fissati fin dall'inizio, ma si sviluppano nel tempo.

La rete di distribuzione del calore è di solito divisa in tubi principali, diramati e di collegamento alle abitazioni (vedi Figura 8.1 Struttura della rete e). Il tubo principale

corrisponde al primo tubo dall'impianto di riscaldamento centrale. Inoltre, si usa anche il termine tubo di derivazione o, nel caso di grandi generatori di calore che si trovano lontano dalle aree di fornitura, il termine tubo di trasporto. Le tubazioni di derivazione o di distribuzione si staccano dalle tubazioni principali e sono usate per la sub-distribuzione alle singole aree di fornitura. Le tubazioni di collegamento alle abitazioni sono utilizzate per collegare un cliente a una tubazione principale o di derivazione.

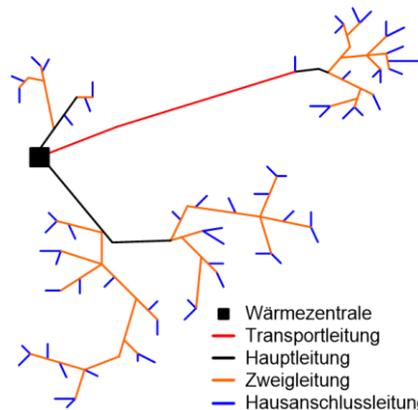


Figura 8.1 Struttura della rete e tipi di tubi [17].

Le reti di distribuzione del calore sono quasi esclusivamente progettate come **sistemi chiusi a due tubi** (un tubo di alimentazione e uno di ritorno). Occasionalmente sono progettate come **sistemi a tre o quattro tubi** con diverse linee di alimentazione e di ritorno, che sono gestite a diversi livelli di temperatura, per esempio.

Oltre alla differenziazione in base al numero di tubi, la **struttura della rete di distribuzione del calore** è influenzata dal numero di centrali di riscaldamento così come dal numero e dalla posizione delle singole aree di fornitura. A seconda della situazione e dello sviluppo della rete di calore, la rete di distribuzione del calore ha una struttura ad albero, un collegamento ad anello o una maglia.

Per la **sotto-distribuzione** e il collegamento delle utenze di calore, si fa una distinzione di base tra il routing standard, il routing casa per casa e il routing single-loop.

La struttura della rete è descritta in dettaglio nel Manuale sulla pianificazione delle reti di teleriscaldamento (vedi [17] pagina 71 e seguenti).

## 8.7 Metodi e situazioni di installazione

La posa delle condutture viene effettuata fondamentalemente secondo i seguenti **metodi**:

- Fuori terra su piedistalli o supporti a pendolo
- Sotterranei nei canali
- Sottoterra in trincea
- Sotterraneo con metodi trenchless
- Casi speciali (canalizzazioni, ponti, ecc.)

Il metodo di installazione dipende da vari fattori. I più importanti sono il sistema di tubi utilizzato e la situazione sul posto. Le **situazioni di installazione** più comuni sono:

- Superfici pavimentate (strade pubbliche, aree urbane, ecc.) o non pavimentate (aree rurali, terreni coltivati, ecc.).
- Tratti di terreno con infrastrutture esistenti (linee ferroviarie, ponti, corsi d'acqua, autostrade, ecc.)
- Terreno con cavi o tubi esistenti (elettricità, gas o acqua)
- Connessione successiva ai tubi esistenti

A seconda della situazione, devono essere osservati i regolamenti, le autorizzazioni, le concessioni, ecc. corrispondenti. Il funzionamento e la sicurezza a lungo termine della conduttura installata non devono essere sottovalutati e si raccomanda un'analisi dei rischi durante la pianificazione

L'**ingegneria civile e la costruzione di condutture** non sono trattate in questo manuale di pianificazione. Si fa qui riferimento al Manuale sulla pianificazione delle reti di teleriscaldamento, che tratta questi argomenti in dettaglio (vedi [17]pagina 73 e seguenti).

## 8.8 Qualità dell'acqua nella rete di riscaldamento

Per evitare danni da corrosione, erosione o sovrassollecitazione del materiale negli impianti, l'acqua circolante nella rete di distribuzione del calore deve soddisfare determinati requisiti.

Informazioni più dettagliate sulla qualità dell'acqua e sui requisiti si possono trovare nel capitolo 7.6.1 nel Manuale sulla pianificazione delle reti di teleriscaldamento (vedi [17]pagina 93 e seguenti). Una descrizione completa è fornita anche da [71]e [72]. Fondamentalmente, devono essere rispettate le rispettive norme e linee guida nazionali relative alla qualità dell'acqua negli impianti di riscaldamento e nelle reti di teleriscaldamento e le specifiche del produttore.

## 8.9 Trasferimento di calore

### 8.9.1 Connessione con il cliente

Il sistema di distribuzione del calore domestico del cliente può essere collegato alla rete di teleriscaldamento in due modi:

- Collegamento diretto senza scambiatore di calore intermedio
- Collegamento indiretto con scambiatore di calore intermedio

In caso di **collegamento diretto**, il mezzo di trasferimento del calore dalla rete di teleriscaldamento passa attraverso il sistema domestico. Quando si sceglie il materiale, si devono prendere in considerazione le proprietà chimiche del mezzo di trasferimento del calore. Se la pressione della rete è superiore alla pressione ammissibile dell'impianto domestico, il collegamento diretto deve

essere realizzato con riduzione della pressione e protezione. In linea di principio, la pressione nel flusso di ritorno della rete a lunga distanza deve essere sempre inferiore alla pressione ammessa nell'impianto domestico. La temperatura di mandata massima nella rete interurbana è determinata dalla temperatura di mandata massima ammissibile dell'impianto domestico.

Con il **collegamento indiretto**, il mezzo di trasferimento del calore primario non scorre attraverso il sistema della casa, ma è separato idraulicamente dal mezzo di trasferimento del calore secondario da uno scambiatore di calore. Il lato primario deve essere progettato e assicurato per le temperature e le pressioni massime della rete di teleriscaldamento, il lato secondario per le pressioni e le temperature interne.

### 8.9.2 Requisiti per il trasferimento di calore

I requisiti per l'esecuzione dell'allacciamento al calore sono stabiliti nelle **Prescrizioni tecniche di allacciamento (TCR)**, che fanno parte del contratto di fornitura di calore. Questi servono come specifiche per i requisiti tecnici nella pianificazione, realizzazione e gestione della fornitura di calore. L'obiettivo dei TCR è quello di raggiungere uno standard tecnico minimo, di garantire la qualità della fornitura di calore e di evitare errori grossolani e difetti. Inoltre specifica se l'allacciamento alla rete di teleriscaldamento avviene con un collegamento diretto o indiretto dell'abitazione.

Il TCR dovrebbe essere breve, conciso e chiaro senza riferimenti specifici agli standard (che devono essere rispettati in linea di principio). Il TCR dovrebbe anche fornire specifiche realistiche per quanto riguarda la temperatura di ritorno, la temperatura, le perdite di pressione, i materiali, ecc. e specificare i prodotti solo se necessario (ad esempio contatori di calore, valvole, controlli, ecc.) Nel TCR, dovrebbero essere fornite chiare specifiche per il lato secondario, come il riscaldamento dell'acqua calda non consentito o i dispositivi idraulici. La struttura del TCR può essere la seguente:

- Informazioni generali
- Basi tecniche
- Specifiche dell'attrezzatura
- Integrazione lato secondario
- Requisiti operativi
- Integratori

Ulteriori note e informazioni dettagliate sul contenuto del TCR elencato sopra si possono trovare nella Guida alla pianificazione delle stazioni di trasferimento del teleriscaldamento [73]e nell'opuscolo AGFW FW 515 Technische Anschlussbedingungen - Heizwasser (condizioni tecniche di connessione - acqua di riscaldamento) [76].

Come **requisito minimo**, una stazione di trasferimento del teleriscaldamento dovrebbe essere facile da usare e consentire una facile assistenza e manutenzione e deve essere conforme alle norme tecniche di allacciamento dell'azienda di fornitura del calore, nonché alle norme e

linee guida pertinenti. Nella linea guida per la pianificazione delle stazioni di trasferimento del teleriscaldamento [73] sono definiti i seguenti componenti minimi (vedi Figura 8.2 Requisiti minimi):

1. Valvole di intercettazione nelle linee di alimentazione e di ritorno
2. Visualizzazione della temperatura (termometro) nelle linee di mandata e ritorno
3. Visualizzazione della pressione (manometro) nelle linee di alimentazione e di ritorno
4. Sfiato nel flusso (in alto) e scarico nel ritorno (in basso)
5. Trappola per lo sporco nel flusso prima dello scambiatore di calore (lato primario) e trappola per lo sporco nel ritorno prima dell'ingresso dello scambiatore di calore (lato secondario)
6. Scambiatore di calore
7. Valvola combinata con azionamento
8. Contatore di calore (misurazione del volume e della temperatura, calcolatrice, sensore di temperatura nel flusso e nel ritorno)
9. Valvola di sicurezza, caricata a molla

10. Vaso d'espansione
11. Unità di controllo della temperatura di mandata lato secondario
  - Sensore di temperatura nel flusso sul lato secondario
  - Sensore di temperatura nel ritorno sul lato primario
  - Sensore di temperatura per la temperatura esterna (se compensato dalle condizioni atmosferiche)
  - Collegamento alla valvola combinata
12. Sensore di temperatura esterna.

Le linee guida per la pianificazione delle stazioni di trasferimento del teleriscaldamento [73] forniscono raccomandazioni di base per la progettazione dei componenti più importanti, stabiliscono i requisiti per il sistema di consegna del calore e per il riscaldamento dell'acqua calda nella proprietà di connessione (lato secondario), e descrivono la procedura nella pianificazione e nel funzionamento del sistema.

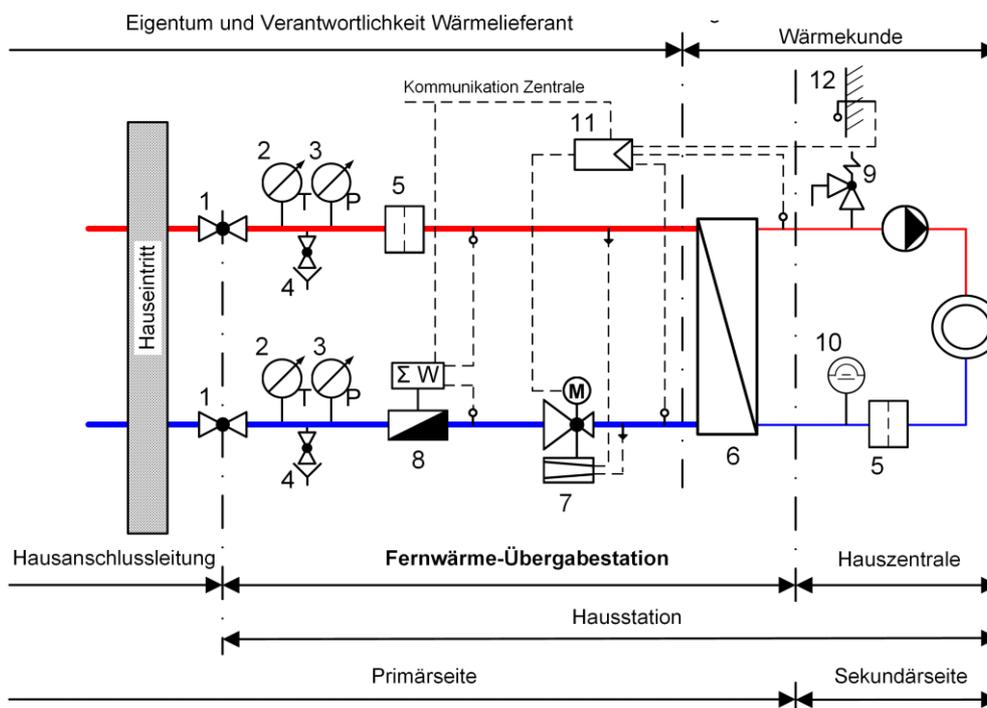


Figura 8.2 Requisiti minimi per la stazione di trasferimento del teleriscaldamento [73].

## 9 Cenere

### 9.1 Accumulo di cenere

Quando i combustibili legnosi sono usati per generare energia, si producono ceneri di legno in varie quantità e qualità. Queste devono essere smaltite o riciclate in modo ecologico per proteggere l'acqua e il suolo. In termini di quantità, la cenere di legno prodotta durante la combustione del legno è nell'ordine dello 0,5-8% del peso del legno in entrata. La percentuale più bassa di cenere si trova nei pellet. La migliore qualità di pellet (ENplus A1) ha un massimo dello 0,7% di cenere in peso. Quando si usano combustibili legnosi con un alto contenuto di corteccia e aghi e molte impurità o legno di scarto, il contenuto di ceneri può arrivare all'8 per cento in peso. Come linea guida, si può assumere che l'accumulo annuale di cenere per MW di potenza nominale della caldaia è di circa 10 t/a a 20 t/a quando si usa il cippato con corteccia, e di circa 8 t/a a 15 t/a quando si usa il cippato senza corteccia [77]. La Tabella 9.1 mostra la produzione

annuale di cenere dai sistemi a legna in Austria, Germania e Svizzera. A causa dell'aumento dell'uso del legno come fonte di energia, queste quantità aumenteranno in futuro.

Tabella 9.1 Produzione di cenere in tonnellate di materia secca per anno [t materia secca/a] da sistemi a legna in Austria (2017), Germania (2015) e Svizzera (2018); fonti ([78], [79], [80]).

Paese e origine delle ceneri	Accumulo di cenere t TS/a
Totale Austria	254,000
Totale Germania	> 1,000,000
Totale Svizzera	72,00018,000
di cui: Impianti < 50 kW	41,000
Impianti a griglia per ceneri > 50 kW	9,000
Impianti di ceneri volanti a ciclone > 50 kW	4,000
Impianti di cenere con filtro > 50 kW	

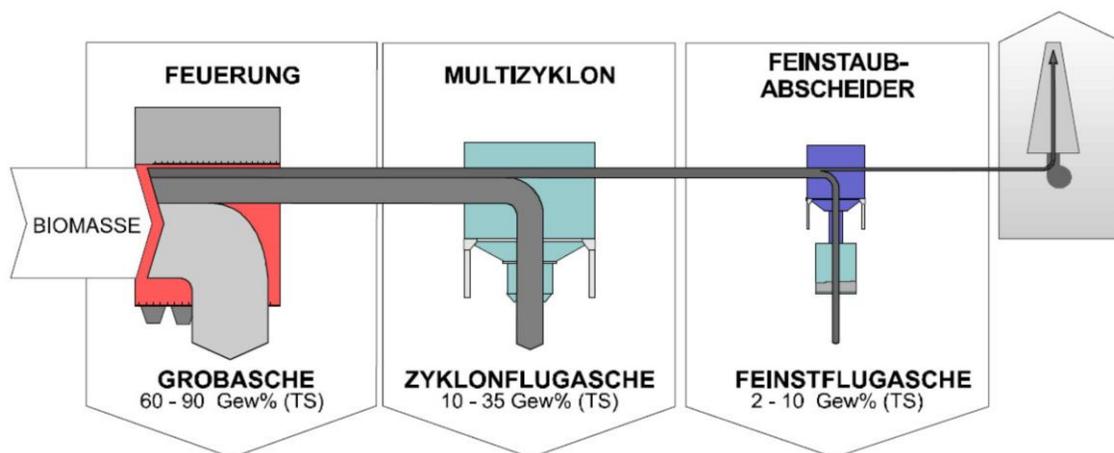


Figura 9.1 Proporzioni delle diverse frazioni di cenere in percentuale del peso (base secca) [78].

### 9.2 Frazioni di cenere

#### Posizione dell'accumulo di cenere

Nei grandi sistemi automatici di combustione del legno, viene fatta una distinzione tra le seguenti frazioni in base alla posizione dell'accumulo di cenere e alla dimensione delle particelle (vedi Figura 9.1):

- Cenere grossolana (cenere di griglia, cenere di caldaia, cenere di letto)
- Ceneri volanti del ciclone (ceneri del ciclone, ceneri volanti, ceneri volanti della caldaia)
- Cenere volante fine (cenere da filtro).

#### Cenere della griglia

La proporzione di ceneri grossolane (nel caso dei forni a letto fluido, si parla di ceneri di letto) è tra il 60 e il 90%

del peso totale delle ceneri prodotte. Le ceneri grossolane sono prodotte nella sezione di combustione del forno e sono un residuo prevalentemente minerale. A seconda del tipo di combustibile e del grado di contaminazione, questa frazione di cenere è spesso intervallata da materiale estraneo come sabbia, terra e pietre, che aumentano la proporzione di cenere grossolana. Nel caso di rifiuti e residui di legno, una notevole frazione di cenere grossolana è dovuta principalmente a impurità sotto forma di chiodi, cerniere, residui di cemento, ecc. Anche queste parti non combustibili vengono separate principalmente come cenere di fondo. Al contrario, i componenti volatili come i metalli pesanti e i sali sono sempre più trasferiti nella fase gassosa e quindi si accumulano in concentrazioni maggiori nel ciclone e nelle ceneri volanti fini. La qualità di combustione ha anche una grande influenza sulla proporzione di ceneri grossolane. Un indicatore di questo è il contenuto di TOC ("Total Organic Carbon") delle ceneri. Un alto contenuto di TOC significa

una grande quantità di materiale incombusto e rende impossibili alcuni percorsi di riciclaggio (per esempio, l'industria del cemento) o lo smaltimento in discarica. Per quest'ultimo, si applicano limiti TOC specifici per ogni paese. Le ceneri grossolane includono anche la cenere e i depositi che si accumulano nella camera di combustione e nella caldaia durante la pulizia periodica dell'impianto di combustione.

Le impurità nel combustibile (legno di scarto) causano una riduzione della temperatura del punto di fusione della cenere. Questo porta a scorie e incrostazioni sulla griglia e sulle pareti e a temperature troppo alte della camera di combustione. Quando si raffredda, l'incrostazione diventa vetrosa ed è difficile da rimuovere.

### Cenere volante del ciclone

Tra il 10 e il 35% del peso delle ceneri si accumula come cenere volante da ciclone. Questo consiste di componenti solidi, prevalentemente inorganici, del combustibile che sono trasportati nei gas di scarico e si accumulano nei separatori a ciclone (separatori multiciclone, separatori centrifughi) a valle della caldaia. La dimensione delle particelle delle ceneri volanti del ciclone è abbastanza grande da poter essere separate con forza pesante o centrifuga (vedi capitolo 5.8).

### Cenere volante fine

Le ceneri volanti fini hanno un contenuto dal 2 al 10% e hanno dimensioni di particelle così piccole che si comportano come un fluido e vengono trasportate con il flusso dei gas di scarico. Può quindi essere separata solo con separatori di particelle meccanici o elettrostatici (precipitatori elettrostatici, filtri a tessuto) o scrubber, che sono installati a valle della caldaia e del separatore a ciclone. Negli scrubber (condensazione dei gas di scarico), la cenere del filtro si accumula come fango di condensazione.

## 9.3 Composizione della cenere

La composizione della cenere dipende dal tipo di combustibile usato, dalla qualità della combustione e dal luogo in cui si sviluppa. La cenere del legno non trattato consiste principalmente di minerali, metalli alcalini e sali. Fosforo e potassio sono contenuti in quantità rilevanti come nutrienti (vedi Tabella 9.2). Inoltre, ci sono numerose altre sostanze rilevanti come il calcio e il magnesio, nonché oligoelementi come il manganese e lo zolfo.

Tabella 9.2 Proporzioni di nutrienti rilevanti in diverse frazioni di cenere dalla combustione di legno non trattato in percentuale del peso della materia secca [81].

Nutrienti	Cenere della griglia [wt-%]	Cenere di ciclone [wt-%]	Cenere da filtro [wt-%]
Calcio CaO	32 - 48	25 - 46	25 - 40
Magnesio MgO	5 - 7	3 - 5	3 - 4

Potassio K <sub>2</sub> O	4 - 8	4 - 9	7 - 21
Fosforo P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2 - 5	2 - 5	2 - 4
Sodio Na <sub>2</sub> O	< 1	< 1	1 - 2

Tuttavia, la cenere contiene anche inquinanti rilevanti come i metalli pesanti arsenico, piombo, cadmio, cromo (come cromo totale o cromo III e come cromo VI), rame, nichel, mercurio e zinco (vedi Tabella 9.3). Questi si trovano in concentrazioni particolarmente alte nelle ceneri volanti più fini e sono più alte nei rifiuti di legno. Ma anche la cenere della griglia dalla combustione del legno non trattato contiene metalli pesanti. Questi sono stati assorbiti dall'albero durante la sua vita attraverso le radici e si trovano in forma concentrata nella cenere. Nel caso del legno di scarto, i metalli pesanti provengono da accessori, vernici, rivestimenti e sostanze estranee nel combustibile. Le ceneri dei precipitatori elettrostatici a umido hanno un contenuto di metalli pesanti significativamente più alto di quelle dei precipitatori elettrostatici a secco.

Il cromo-VI è uno dei metalli pesanti più tossici. Viene assorbito dall'albero dal suolo come cromo-III e ossidato a cromo-VI nel processo termico quando il legno viene bruciato. Questa ossidazione avviene in gran parte indipendentemente dall'assortimento di legno utilizzato e non è praticamente influenzata dalle misure di combustione. A differenza del cromo-III, il cromo-VI è altamente solubile in acqua, altamente tossico, mutageno e cancerogeno. Per questo motivo, è necessario prestare attenzione quando si maneggia la cenere di legno per evitare la formazione di polvere e utilizzare adeguati dispositivi di protezione individuale.

Il cromo-VI gioca solo un ruolo minore nelle ceneri grezze degli impianti che hanno un sistema di rimozione delle ceneri a umido, poiché il cromo è presente prevalentemente come cromo-III.



Figura 9.2 Deposito senza polvere di cenere di legno in una discarica (fonte: Amstutz Holzenergie AG/Holzenergie Schweiz).

In certe condizioni, l'invecchiamento della cenere insieme all'aggiunta di acqua trasforma il cromo-VI in

cromo-III. Tuttavia, questo processo ha bisogno di spazio e tempo e può essere accelerato dall'aggiunta di agenti riducenti come il solfato di ferro-II.

Tabella 9.3 Tipici contenuti di metalli pesanti in mg/kg di materia secca delle ceneri derivanti dalla combustione di diversi combustibili legnosi e diverse frazioni di ceneri. Per le ceneri volanti fini, sono state considerate solo le ceneri provenienti da precipitatori elettrostatici a secco ([81], [82], [83]).

Metallo pesante	Legno naturale			Rifiuti di legno			Rifiuti di legno		
	Cenere grossolana	Cenere volante del ciclone	Cenere volante fine	Cenere grossolana	Cenere volante del ciclone	Cenere volante fine	Cenere grossolana	Cenere volante del ciclone	Cenere volante fine
Antimonio Sb	< 10	< 10	< 10	10 - 31	< 30	n.d.	10 - 790	n.d.	50 - 810
Arsenico As	< 1	n.d.	< 15	n.d.	n.d.	59 - 140	13 - 41	< 60	20 - 290
Piombo Pb	2 - 45	10 - 70	33 - 266	6 - 350	180 - 1,182	n.d.	10 - 2,144	< 8,500	< 50,000
Cadmio Cd	1 - 6	21 - 36	3 - 81	3 - 30	16 - 30	n.d.	10 - 100	< 70	5 - 590
Cromo Cr totale	12 - 325	127 - 189	101 - 332	72 - 747	78 - 212	n.d.	109 - 873	< 1,415	< 404
Cromo Cr-VI	3 - 14	n.d.	4 - 47	7 - 13	n.d.	42 - 66	3 - 66	n.d.	3 - 62
Rame Cu	100 - 996	120 - 350	84 - 630	< 372	< 288	< 820	170 - 2,800	n.d.	< 422
Nichel Ni	42 - 80	10 - 79	28 - 99	Ø 113	Ø 61	n.d.	23 - 412	Ø 167	Ø 74
Mercurio Hg	< 0,05	< 0,1	< 3,5	< 0,5	< 0,7	n.d.	< 0,5	n.d.	< 1,0
Zinco Zn	22 - 738	1,271 - 2,469	22 - 25,177	Ø 503	Ø 3,656	n.d.	1,234 - 22,000	Ø 15,667	Ø 164,000

La diversa composizione delle varie frazioni di cenere influenza non solo le loro possibilità di riciclaggio, ma anche il tipo e i costi del loro smaltimento. Nei vari paesi si applicano condizioni quadro diverse. *"I rifiuti di oggi sono la materia prima di domani"*! In vista di un futuro riciclaggio, si raccomanda quindi di raccogliere separatamente le tre frazioni di cenere in nuovi impianti più grandi o di prevedere una successiva separazione delle ceneri (vedi capitolo 6.8).

Tuttavia, le possibilità di utilizzo attuali e future dipendono fortemente dalla qualità delle ceneri. Questa può essere influenzata positivamente durante il funzionamento dell'impianto come segue [84]:

- Uso del combustibile corretto adattato al sistema di accensione
- Evitare le impurità nel combustibile
- Impostare correttamente i parametri del sistema di combustione (troppa aria primaria porta alla formazione di scorie, troppa poca aria primaria aumenta il contenuto di combustibile incombusto).
- Riduzione della temperatura della griglia (raffreddamento ad acqua, ricircolo dei gas di scarico primario)
- Funzionamento continuo senza rapidi cambiamenti di carico
- Corretto stoccaggio nella centrale termica.

## 9.4 Smaltimento e riciclaggio

Le ceneri di legno possono fondamentalmente essere smaltite o riciclate. Le seguenti opzioni sono disponibili per lo smaltimento ([78], [79], [85]):

- Deposito in una discarica

- Riempimento di miniere (può anche essere visto come una forma di recupero a causa dell'effetto di stabilizzazione).

Le seguenti opzioni sono disponibili per il riciclaggio:

- Uso industriale (ad esempio come aggregato o materia prima) per cemento e calcestruzzo
- Riciclaggio nella costruzione di strade
- Uso come fertilizzante agricolo
- Aggiunta alla calcinazione compensativa nella foresta
- Recupero di sostanze preziose

Il prerequisito per l'**uso industriale** nell'industria del cemento è che vengano prodotte quantità sufficienti in una qualità costante ed elevata. Pertanto, solo impianti di combustione molto grandi possono essere considerati per questo scopo. È importante che le frazioni di cenere siano raccolte a secco e separatamente. Particelle estranee, impurità e un'alta percentuale di materiale incombusto rendono impossibile il loro utilizzo nell'industria del cemento. Meno impegnativo a questo proposito è l'utilizzo nella produzione di alcuni assortimenti di calcestruzzo ("calcestruzzo magro").

In linea di principio, la cenere di legno può essere utilizzata come materiale di base nella **costruzione di strade**, a condizione che i luoghi siano al di fuori delle aree di protezione dell'acqua e delle zone sensibili dal punto di vista idrogeologico, nonché delle pianure alluvionali. La cenere viene depositata sotto uno strato superficiale impermeabile di asfalto o calcestruzzo e serve come strato di base non legato (strato di protezione dal gelo o strato di base in ghiaia), come strato di base legato (idraulico o bituminoso) o come terrapieno stradale (sottostruttura). Durante l'installazione e la manipolazione, la formazione

di polvere deve essere evitata per motivi di salute e sicurezza.

A causa del fatto che la cenere di legno contiene sostanze nutritive per le piante (vedi Tabella 9.2) e quindi presenta proprietà fertilizzanti, è ottimamente adatta come **fertilizzante agricolo**. A causa del suo contenuto di metalli pesanti, solo la cenere grossolana dalla combustione di legno non trattato è adatta a questo scopo. In combinazione con componenti organici (compost, prodotti di fermentazione), si possono produrre fertilizzanti organico-minerali che possono essere utilizzati anche in agricoltura biologica. In tempi di cambiamenti climatici, il potassio ( $K_2O$ ) come "elemento resistente alla siccità" e la calce ( $CaO$ ) come requisito di base per l'assorbimento e lo stoccaggio dell'acqua sono di particolare importanza. Una condizione per l'uso in agricoltura è una rigorosa garanzia di qualità, come il marchio di qualità RAL in Germania. L'uso come fertilizzante agricolo è soggetto a regolamenti specifici del paese, che in alcuni casi differiscono significativamente l'uno dall'altro (vedi capitolo 19).

Nel Baden-Württemberg, l'uso della cenere di legno come **additivo alla calce compensativa nella foresta** è stato recentemente stabilito. Il contenuto massimo di cenere nella miscela non può superare il 30%, il 70% è calce dolomitica. In 15 anni, si può applicare un massimo di 2,5 tonnellate di cenere per ettaro. Anche in questo

caso, sono ammesse solo ceneri di fondo di qualità garantita provenienti dalla combustione di legno non trattato.

Analogamente alle scorie degli impianti di riciclaggio dei rifiuti, anche le ceneri di legno saranno utilizzate in futuro per il **recupero di sostanze preziose**. Progetti sono in corso in vari paesi (per esempio il recupero dello zinco dalle ceneri volanti fini dei forni a legna).

I percorsi di recupero e smaltimento delle ceneri di legno dipendono molto dalle leggi, direttive e regolamenti nazionali e sono talvolta complessi. La situazione in paesi selezionati è discussa di seguito. I regolamenti menzionati possono anche essere trovati in forma raccolta nel capitolo 19.

### 9.4.1 Situazione in Svizzera

In Svizzera, l'attenzione si concentra attualmente sullo smaltimento. La relativa ordinanza sui rifiuti [86] prevede la messa in discarica delle ceneri di legno secondo la Figura 9. 2.

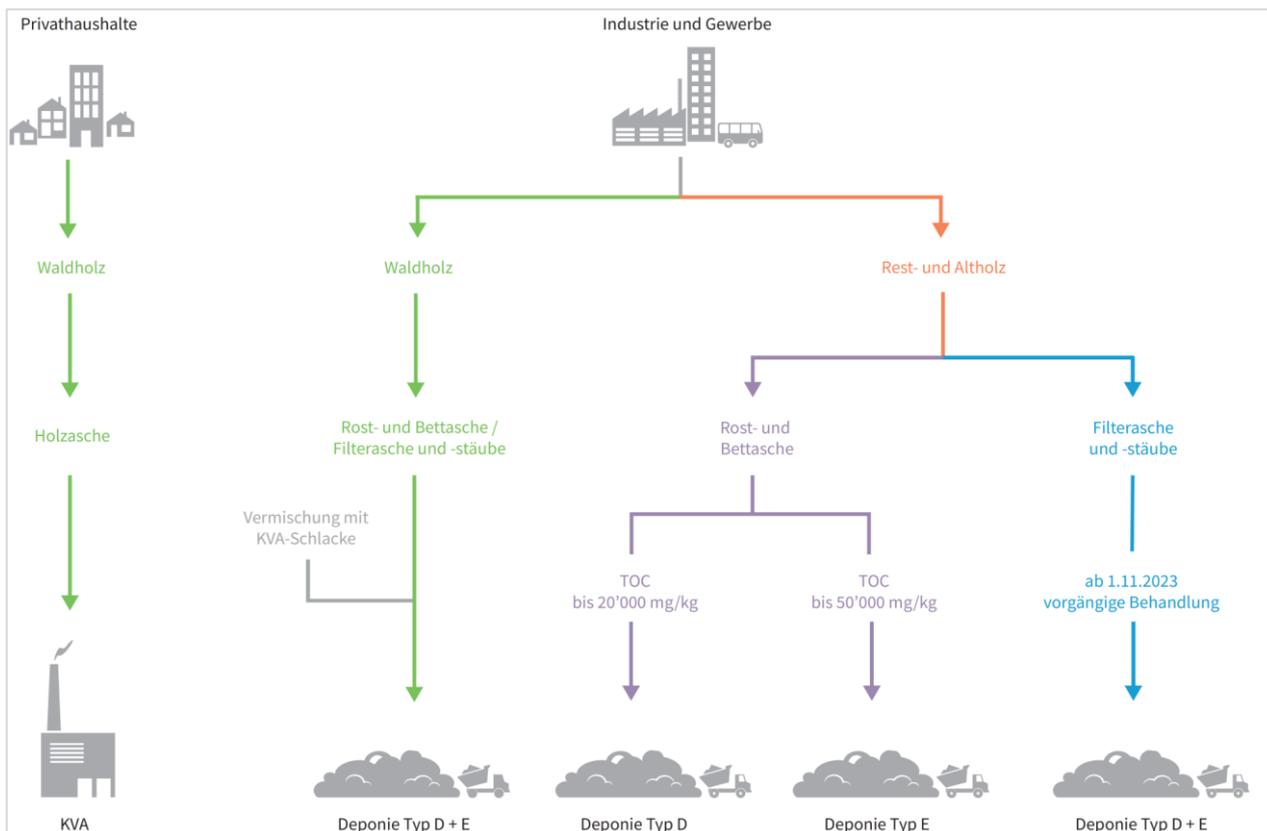


Figura 9. 2 Percorsi di smaltimento in Svizzera (TOC ... carbonio organico totale, tipi di discariche secondo l'ordinanza svizzera sui rifiuti) [86].

Le ceneri di legno dei piccoli impianti dovrebbero essere smaltite in un impianto di incenerimento dei rifiuti. Le ceneri di griglia, di ciclone e di filtro dall'incenerimento di legno di bosco e residuo in impianti più grandi devono essere smaltite in discariche di tipo D ed E. Anche le ceneri di ruggine dall'incenerimento del legno di scarto devono essere smaltite nelle discariche di tipo D ed E. Poiché le scorie dall'incenerimento dei rifiuti, contenenti grandi quantità di ferro libero, vengono smaltite anche in queste due discariche, il cromo-VI viene rapidamente ridotto a cromo-III se ben mescolato. Nella discarica di tipo D, le ceneri devono rispettare un limite massimo di TOC di 20.000 mg/kg; nella discarica di tipo E, il limite di TOC è di 50.000 mg/kg. Secondo l'ordinanza sui rifiuti, le ceneri dei filtri provenienti dall'incenerimento dei rifiuti di legno dovranno essere trattate a partire dal 1° gennaio 2026 (recupero dei metalli pesanti).

Questa applicazione sarà regolata in dettaglio nel futuro aiuto all'applicazione "Residui dell'incenerimento, parte II, ceneri di legno" dell'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM). Esso definirà anche il limite di rendimento al di sopra del quale è richiesto lo smaltimento in discarica.

Il riciclaggio come fertilizzante agricolo e forestale non è possibile a causa dei regolamenti attuali. L'utilizzo industriale è solo all'inizio. Una ragione di ciò è la capacità media relativamente piccola del parco macchine svizzero. Per questo motivo, attualmente si stanno facendo degli sforzi per creare dei sistemi di pooling regionali.

### 9.4.2 Situazione in Germania

In Germania, la Bundesgütegemeinschaft Holzasche e.V. (Associazione federale di qualità per le ceneri di legno) ha iniziato intorno al 2010 a istituire un sistema di garanzia della qualità per le ceneri grossolane da combustibili legnosi non trattati (codice rifiuti numero 100101 secondo l'ordinanza sul catalogo dei rifiuti [87]). L'obiettivo è quello di classificare le ceneri di legno secondo le sostanze nutritive delle piante come il fosforo, il potassio e il magnesio e le sostanze attive di base e allo stesso tempo rispettare i limiti delle sostanze inquinanti, soprattutto per i metalli pesanti.

La base del sistema di garanzia della qualità è il cosiddetto "Manuale di gestione della qualità" per la cenere di legno come materia prima per fertilizzanti e come fertilizzante. La cenere di legno qualificata riceve il marchio di qualità RAL "Fertilizzante" (RAL-GZ 252) dopo una procedura di riconoscimento con successo e poi rimane permanentemente nella procedura di controllo (vedi [www.holzaschen.de](http://www.holzaschen.de)).

L'etichetta viene assegnata dalla Bundesgütegemeinschaft Holzasche e.V. come istituzione indipendente sotto la Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK). Oltre alla cenere di legno non trattato, anche le frazioni di cenere adatte di altri combustibili da biomassa come la paglia possono ottenere l'etichetta RAL-GZ 252 ([www.kompost.de](http://www.kompost.de)).

La garanzia di qualità delle ceneri di legno ha lo scopo di implementare i concetti di economia di riciclaggio nel

quadro delle disposizioni pertinenti della legge sui rifiuti (KrWG [88], BioAbfV [89], DepV [90]) e della legge sui fertilizzanti (DüMV [91], DüngG [[92], DüV [93]). La cenere di legno di qualità sostituisce i fertilizzanti minerali nell'agricoltura convenzionale e biologica, mantiene la calce nei boschi e contribuisce così a una bioeconomia sostenibile e rispettosa delle risorse. I rifiuti soggetti a smaltimento vengono così trasformati in un prodotto di valore. Gli aspetti economici giocano qui un ruolo decisivo. I costi finanziari e di personale aggiuntivi per il controllo della qualità sono compensati dai ricavi per i fertilizzanti prodotti e dai risparmi nei metodi di smaltimento precedenti, ad esempio la messa in discarica. Gli stabilimenti di calce (concime minerale) e gli impianti di compostaggio (concime organico-minerale) che hanno un permesso secondo la legge federale sul controllo delle emissioni (BImSchG) sono predestinati ad accettare, lavorare e raffinare la cenere di legno.

La messa in discarica professionale è ancora la via di smaltimento più comune in Germania per le ceneri grossolane degli impianti con legno non trattato (AVV 100101 secondo l'ordinanza sul catalogo dei rifiuti [87]). Di norma, si tratta di discariche della classe DK II secondo il DepV per rifiuti minerali contaminati ma non pericolosi, i cui gestori sono aziende specializzate certificate nella gestione dei rifiuti. Prima che le ceneri siano consegnate a un'impresa di trasporto autorizzata o in caso di consegna diretta alla discarica, il produttore dei rifiuti deve sempre presentare un'analisi della dichiarazione. Questa viene preparata da un laboratorio specializzato sulla base di un campione di materiale prelevato da un campionamento professionale in loco. I parametri da determinare, come i metalli pesanti, i solidi disciolti e i residui incandescenti (max. 5%), sono regolati dall'ordinanza sulle discariche.

Le polveri di filtraggio provenienti da impianti con legno non trattato (AVV 100103 secondo l'ordinanza sul catalogo dei rifiuti [87]), se si tratta di ceneri volanti da ciclone, possono essere depositate in singoli casi in discariche di superficie, a seconda dell'analisi del materiale e della rispettiva autorizzazione della discarica. Ciò non vale per le frazioni di rifiuti pericolosi contrassegnati con \* nell'AVV (ad es. AVV 100118 Rifiuti dal trattamento dei gas di scarico contenenti sostanze pericolose secondo l'ordinanza sul catalogo dei rifiuti [87]). Le ceneri volanti fini provenienti da precipitatori elettrostatici o da filtri a tessuto contengono molte più sostanze nocive e possono essere depositate solo in discariche sotterranee (DK IV), ad esempio nel materiale di riporto delle miniere. Le discariche fuori terra DK III per rifiuti pericolosi sono estremamente rare in Germania. In Baviera, c'è attualmente solo un impianto nella zona di Augsburg. I produttori e i trasportatori di rifiuti pericolosi sono obbligati a fornire una verifica in conformità con l'ordinanza sui registri di recupero e smaltimento dei rifiuti (NachwV [94]).

L'uso di ceneri provenienti da impianti di combustione di biomassa nell'industria del cemento e dei materiali da costruzione ("calcestruzzo di cenere di legno") è attualmente in fase di test presso l'Università di Stoccarda, tra gli altri luoghi. Le questioni importanti sono la durata e la

resistenza del calcestruzzo, sempre in conformità con le norme DIN pertinenti e i criteri di conformità.

### 9.4.3 Situazione in Austria

In Austria, le ceneri di legno sono generalmente considerate rifiuti. Le disposizioni dell'ordinanza sulle discariche del 2008 sono decisive per il deposito in discarica. Le ceneri della griglia e le ceneri volanti del ciclone (dopo aver abbassato il valore del pH) possono essere depositate in discariche per rifiuti non pericolosi (rifiuti residui o discariche per rifiuti sfusi) se il contenuto di metalli pesanti è inferiore ai limiti legali [95]. Se i limiti di metalli pesanti vengono superati, il deposito in discarica è consentito solo nelle discariche per rifiuti pericolosi (discarica sotterranea). Attualmente, gran parte della cenere di legno prodotta in Austria viene smaltita in discarica. Dove sono disponibili opportunità appropriate, la cenere di legno viene anche fornita dalle società di smaltimento all'industria del cemento come aggregato, il che riduce i costi di smaltimento.

L'utilizzo della cenere di legno come fertilizzante su terreni agricoli o forestali è possibile a certe condizioni. Tuttavia, l'utilizzo della cenere di legno non è attualmente regolato esplicitamente da disposizioni legali in Austria. Pertanto, diverse leggi e ordinanze devono essere osservate:

- Legge sulla gestione dei rifiuti del 2002
- Elenco dei rifiuti ordinanza 2003 (chiave di identificazione per i registratori)
- Ordinanza sul bilancio dei rifiuti (obbligo di registrazione)
- Legge sulla bonifica dei siti contaminati
- Ordinanza sul compost
- Legge sui fertilizzanti
- Legge forestale (diffusione nelle foreste)
- Legge sui diritti dell'acqua
- Divieti di fertilizzanti nel quadro delle leggi sulla conservazione della natura degli stati federali
- Leggi di protezione del suolo di alcuni stati federali

Quali di queste leggi e ordinanze devono essere osservate nei singoli casi, o se altri regolamenti non menzionati sopra possono essere applicabili, devono essere verificati in ogni singolo caso. Di seguito, vengono presentate alcune informazioni di applicazione generale sull'utilizzo delle ceneri [77].

In linea di principio, le ceneri grossolane e le ceneri volanti del ciclone sono adatte al riciclaggio come fertilizzanti, a condizione che siano rispettati i valori limite corrispondenti relativi alla composizione delle ceneri. Le miscele di queste frazioni di ceneri sono consentite per il recupero solo se sono già presenti come miscela e la composizione della miscela è conforme ai valori limite. Le ceneri da filtro (ceneri volanti fini) non sono generalmente adatte a causa del loro alto contenuto di metalli pesanti.

Il campionamento delle ceneri è obbligatorio a intervalli regolari che vanno da ogni 10 anni a tre volte l'anno, a

seconda della potenza nominale della caldaia e dell'uso previsto (agricolo/forestale). Sulla base dell'analisi delle ceneri, la cenere di legno viene classificata per qualità. A seconda della classe di qualità raggiunta, la cenere di legno può essere sparsa su terreni agricoli e forestali senza ulteriori analisi (classe di qualità A) o solo con ulteriori analisi del terreno. In base all'ordinanza sul bilancio dei rifiuti, vi è l'obbligo di registrare la quantità, l'origine e la destinazione delle ceneri sotto forma di un rapporto elettronico annuale. La cenere di legno utilizzata come fertilizzante in agricoltura deve essere presa in considerazione nella gestione dei fertilizzanti agricoli. Durante lo spargimento, devono essere rispettate le distanze minime prescritte dai corpi idrici.

Per ulteriori informazioni, si raccomanda [77] in generale e [96] in profondità (inclusi i diagrammi di flusso per l'implementazione pratica per quanto riguarda le applicazioni richieste, le registrazioni, ecc.).

## 10 Efficienza economica

### 10.1 Problemi di efficienza economica per gli impianti DI TELERISCALDAMENTO a biomassa

Diverse domande sorgono quando si valuta l'efficienza economica degli impianti di teleriscaldamento a biomassa. Le più importanti sono:

- Quanto saranno alti i costi di produzione del calore?
- Com'è l'efficienza economica dell'impianto di riscaldamento a legna rispetto ad altri sistemi energetici?
- Quali prezzi di riscaldamento possono essere offerti ai futuri clienti?
- Quale struttura tariffaria dovrebbe essere scelta (tassa di connessione/prezzo base/ prezzo dell'energia/canone del contatore)?
- Quali sono i rischi economici più significativi?
- Come si dovrebbe valutare lo sviluppo economico e il cambiamento delle condizioni quadro (ad esempio i prezzi del combustibile, la diminuzione delle vendite di calore a causa della ristrutturazione termica e del cambiamento climatico, il prezzo della CO<sub>2</sub>, l'ambiente politico e sociale) nel periodo di funzionamento dell'impianto?

La scelta del metodo appropriato per la valutazione dell'efficienza economica dipende dalla domanda e dallo stato del progetto. Nelle prime fasi del progetto (studio di fattibilità), è sufficiente una stima dei costi di investimento e di produzione di calore basata sull'esperienza e sulle linee guida (vedi anche capitolo 3.2). I costi di investimento per la produzione e la distribuzione di calore possono essere stimati nell'ambito di uno studio di fattibilità utilizzando i diagrammi del capitolo 10.8. In seguito, la precisione delle posizioni dei costi viene aumentata da offerte concrete e la sensibilità e lo sviluppo economico del progetto vengono considerati per tutta la durata del progetto. I capitoli seguenti mostrano quali metodi sono adatti e quali strumenti possono essere usati per rispondere alle domande di cui sopra. Prima, però, dovrebbe essere chiarito come le responsabilità sono distribuite tra i partecipanti al progetto nella valutazione delle prestazioni.

### 10.2 Responsabilità

La responsabilità principale della valutazione dell'efficienza economica di un impianto di riscaldamento a biomassa è del proprietario dell'edificio. Di norma, il progettista fornisce al proprietario dell'edificio dati affidabili sull'efficienza economica di un impianto di riscaldamento a legna:

- Domanda di energia e di calore dei clienti di calore previsti
- Contenuto energetico dell'assortimento di combustibile previsto e informazioni sui possibili costi di follow-up previsti (particolarmente importante per gli assortimenti di combustibile a basso costo).

- Costi di investimento
- Costi di manutenzione e riparazione
- Costi energetici, che consistono in costi di combustibile e costi di energia ausiliari (costi legati alla domanda o al consumo).

Il pianificatore deve essere in grado di consigliare il cliente quando esegue il calcolo dell'efficienza economica. Come incarico aggiuntivo, il pianificatore può anche eseguire il calcolo dell'efficienza economica al posto del cliente. In ogni caso, però, il cliente deve decidere quali ipotesi di base devono essere applicate al calcolo dell'efficienza economica. Queste includono:

- Calcolo del tasso di interesse
- Vita utile dei componenti dell'impianto
- Tasso di inflazione (tasso di aumento dei prezzi)
- Aumento dei costi operativi
- Prezzi dell'energia: per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa, questo include anche la scelta dell'assortimento del combustibile e il conseguente prezzo del combustibile
- Aumento dei prezzi dell'energia
- Evoluzione della domanda di calore dovuta al tasso di modernizzazione o di espansione e densificazione della rete di riscaldamento.

È consigliabile concordare queste ipotesi di base per iscritto.

Se diversi clienti devono essere riforniti di calore in una rete di riscaldamento pianificata, le responsabilità tra il cliente e il progettista devono essere divise come segue:

#### Proprietario dell'edificio

- Principalmente responsabile del calcolo della redditività. Deve controllare e interrogare criticamente i dati di base necessari per il calcolo
- Responsabile di decidere quali potenziali clienti prendere in considerazione
- Responsabile della decisione sul tempo presunto di connessione (influenza il tempo dei costi di investimento sostenuti e il reddito previsto)

#### Planner

- Responsabile della determinazione affidabile della domanda di capacità termica richiesta, compreso il profilo di carico e la domanda di calore annuale prevista dei potenziali clienti
- Responsabile della determinazione dei costi di investimento per la connessione di potenziali clienti

### 10.3 Struttura dei costi degli impianti DI TELERISCALDAMENTO a biomassa

Secondo la linea guida VDI 2067 [97], i seguenti quattro gruppi di costi sono presi in considerazione quando si determinano i costi dei sistemi tecnici dell'edificio:

- Costi legati al capitale (comprese le riparazioni e le ristrutturazioni/aggiornamenti)
- Costi legati al consumo

- Costi operativi
- Altri costi

La Tabella 10.1 mostra l'assegnazione dei singoli tipi di costo a questi gruppi di costo per un impianto di riscaldamento a legna.

Per i singoli tipi di costo, i costi sono stimati nel calcolo dell'efficienza economica sulla base di valori guida, per esempio come percentuale della somma dell'investimento o della quantità di calore prodotta. Deve essere chiaramente definito quali tipi di costi sono assegnati ai singoli gruppi di costi. Secondo la VDI 2067 [97], la manutenzione significa l'attuazione di misure per preservare e ripristinare la condizione target e include i tipi di costo "riparazione", "manutenzione" e "ispezione":

- **Riparazione:** Misure per ripristinare la condizione di destinazione.
- **Manutenzione:** Misure per mantenere la condizione obiettivo

- **Ispezione:** Misure per determinare e valutare la condizione effettiva

La Tabella 10.1 dà una panoramica dei tipi di costo e mostra quali dati di base dovrebbero essere usati per il calcolo. In parte, sono dati anche i valori guida. Questi possono essere utilizzati per il calcolo dell'efficienza economica secondo il metodo della rendita, così come per un bilancio preventivo e un conto economico preventivo. Il pianificatore non deve accettare i valori standard dati senza controllarli. Dato che i costi specifici (per esempio dati come costi/MWh) dipendono in parte dalle dimensioni dell'impianto e/o dal numero di ore di funzionamento a pieno carico, si deve verificare per ogni singolo caso se un valore di riferimento può essere usato e quanto alto deve essere fissato. Per l'Austria, l'ÖKL-Merkblatt 67 [98] fa delle specifiche individuali. Questi sono essenzialmente requisiti minimi che non dovrebbero essere sottovalutati.

Tabella 10.1 Gruppi di costo e tipi di costo di un impianto di riscaldamento a legna. Principi di base e valori indicativi per determinare i costi annuali. Va notato che - in deroga alla VDI 2067 [97]- i costi di manutenzione sono inclusi nei costi del personale. Le cifre tra parentesi () si riferiscono a ÖKL-Merkblatt 67 [98].

Gruppo di costo	Tipo di costo	Base per la determinazione dei costi annuali	Valori di riferimento
Costi legati al capitale	Costi di capitale dei componenti delle immobilizzazioni e dei beni strutturali (investimenti)	Somme di investimento dei componenti dell'impianto, vita utile, tasso di interesse	Vita utile: vedi Tabella 10.2 Valori guida: come specificato dallo sviluppatore o dalle istituzioni finanziatrici (finanziamento secondo [98])
	Costi di manutenzione (riparazioni secondo VDI 2067 [97])	Somme di investimento dei componenti dell'impianto, percentuale della somma di investimento	Vedi Tabella 10.2 Valori guida
Costi legati al consumo	Costi del combustibile	Consumo annuale e valore calorico o consumo di combustibile, prezzo del combustibile	Prezzi effettivi basati sulle offerte (inoltre prezzo minimo 23 € per MWh di energia grezza, basato sul potere calorifico <sub>Hu</sub> , secondo [98]).
	Energia ausiliaria (elettricità) per la generazione e la distribuzione di calore	Percentuale di calore (generato o distribuito) x prezzo dell'elettricità	per la generazione di calore: 1 - 1,5 % del calore generato per la rete di riscaldamento: 0,5 - 1 % della quantità di calore distribuito (min. 1,5 % in relazione alla quantità di calore generato; 2% per sistemi con condensazione dei fumi o separatore elettrico secondo [98])
	Materiali operativi per la generazione di calore (ad esempio per gli impianti SNCR)	Prezzo, quantità consumata	Stimare i costi effettivi
	Smaltimento della cenere	Input di combustibile, contenuto di cenere, metodo di smaltimento	Stima dei costi effettivi (possibilmente inclusi nel prezzo del combustibile)
	Costi del personale (per funzionamento, pulizia, manutenzione, ispezione, senza amministrazione)	Percentuale dei costi di investimento, generazione di calore	dell'1,5% dei costi di investimento per la generazione di calore (almeno 2,5 - 5 € per MWh di calore generato secondo [98])
Costi operativi	Affitti, locazioni, tasse di concessione	a seconda del caso individuale	Stimare i costi effettivi

	Spazzacamino, ispezione dei gas di scarico, misurazione delle emissioni	a seconda del caso individuale	Stimare i costi effettivi
Altri costi	Assicurazione, tasse, spese generali, costi amministrativi	Percentuale della somma investita	0,5 - 1,5 % dell'investimento totale

La vita utile presunta per il calcolo della redditività deve essere determinata insieme al proprietario dell'edificio ed eventualmente con potenziali istituzioni di finanziamento (banche, agenzie di finanziamento, ecc.). Quando si determina la vita utile, va notato che non dipende necessariamente dalla vita utile tecnica. La vita utile è anche influenzata dai cambiamenti delle esigenze e dagli sviluppi tecnologici. Inoltre, spesso diversi elementi dell'edificio vengono sostituiti allo stesso tempo durante le ristrutturazioni - indipendentemente dal fatto che ogni elemento abbia raggiunto la vita utile tecnica.

Tabella 10.2 Valori guida per la vita utile e i costi di riparazione

Commercio	Durata di utilizzo	Costi di manutenzione speciali
	Anni	%
Componenti vegetali specifici del legno*	20	3.0
Componenti dell'impianto specifici per il carico di picco*	20	2.0
Idrraulica	20	2.0
Installazioni elettriche e di servizi di costruzione	20	2.0
Strutture strutturali e accesso	50	1.0
Rete principale (incl. condutture e lavori di terra)	40	1.0
Stazione di trasferimento del calore	30	2.0
Veicoli	15	3.0
Pianificazione**	mediato	-

\* incl. regolazione e controllo

\*\* La vita utile media per la pianificazione deve essere ponderata con i costi di pianificazione per i singoli mestieri o i costi di pianificazione devono essere assegnati ai singoli mestieri.

La linea guida VDI 2067 [97] contiene informazioni più dettagliate e parzialmente divergenti sulla Tabella 10.2

Valori guida. Per i calcoli secondo la VDI, devono essere utilizzate le informazioni della linea guida VDI 2067.

## 10.4 Calcolo dell'efficienza economica

### 10.4.1 Introduzione

Nel calcolo dell'efficienza economica, vengono determinati i costi di generazione e distribuzione del calore, i costi di investimento e i costi di funzionamento e manutenzione. In un confronto di varianti, diversi sistemi di riscaldamento o varianti di design possono essere confrontati in termini di costi. Il calcolo dell'efficienza economica è anche la base per la determinazione del prezzo e la determinazione del prezzo di vendita del calore.

Per un confronto tra le varianti, i costi di produzione di calore di ogni variante dovrebbero essere determinati in aggiunta ai costi di investimento. Il confronto dei costi di produzione di calore permette un confronto completo dei costi durante la vita utile del sistema. Il calcolo dei costi di produzione di calore secondo il metodo della rendita è spesso usato nella pratica ed è descritto nel capitolo 10.4.2.

Per poter valutare lo sviluppo economico di una rete di riscaldamento, le spese e i ritorni dovrebbero essere calcolati su diversi anni. A questo scopo, il metodo del valore attuale netto (metodo NPV) è molto adatto, con il quale si può calcolare il tasso di interesse (interno) effettivo dell'investimento. Lo strumento di efficienza economica del MQ per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa si basa sul metodo del tasso interno di rendimento (vedi capitolo 10.7).

Per l'analisi dei sistemi energetici, che di solito hanno una lunga vita utile e dove gli aumenti di prezzo e altri cambiamenti futuri nei dati di input sono quindi importanti, si raccomanda l'uso di **metodi di calcolo dinamico**. In questi metodi, i cambiamenti attesi nel periodo in esame sono stimati o specificati utilizzando valori medi statistici per essere in grado di prevedere i costi annuali per l'intera vita utile del sistema. I **metodi di calcolo statici**, invece, considerano solo le condizioni esistenti al momento dell'analisi della redditività. Con periodi di osservazione di solito di almeno 15 anni, questo può portare a deviazioni significative dai metodi dinamici. In molti casi, per i metodi dinamici si possono fare ipotesi semplificate, in modo da poter utilizzare semplici formule di somma per il calcolo dell'efficienza economica e lo sforzo di calcolo non è quindi significativamente maggiore rispetto ai metodi statici.

I metodi di calcolo dinamico più importanti sono

- Metodo del valore attuale netto

- Metodo della rendita
- Metodo del valore attuale netto.

### 10.4.2 Calcolo dei costi di produzione del calore con il metodo della rendita

Il metodo dell'annualità è solitamente usato per calcolare i costi di produzione del calore. Questo è descritto in dettaglio nella linea guida VDI 2067 [97]. Il metodo della rendita determina i costi annuali medi sostenuti nel periodo considerato. I costi annuali consistono in costi di capitale, operativi e di energia. Nei costi di capitale ( $I \cdot a$ ), gli interessi sono pagati sull'investimento durante la sua vita utile (la vita dell'impianto) e rimborsati. I costi operativi consistono in costi di manutenzione e di personale. I costi energetici risultano dal consumo di energia previsto, compresa l'energia ausiliaria per ogni fonte di energia. I costi annuali di funzionamento e di energia  $A$  sono aggiunti ai costi di capitale, tenendo conto del loro possibile sviluppo ( $d \cdot a$ ).

Poiché le voci di costo rilevanti per i costi di produzione del calore dipendono fortemente dal paese/regione, dall'ubicazione, dalle condizioni generali, dal metodo di costruzione, dalle strutture salariali, dai prezzi dell'energia, dalle interfacce, ecc, l'indicazione di valori indicativi è volutamente omessa. Un confronto dei costi di produzione del calore con altre soluzioni nell'ambito di un confronto di varianti è spesso più utile.

Calcolo dei **costi annuali K**:

$$K = I \cdot a + A \cdot d \cdot a$$

- K Costi annuali [EUR/a; CHF/a]
- I Costi di investimento (per componente dell'impianto) [EUR; CHF]
- A I costi operativi annuali [EUR/a; CHF/a] consistono in:
  - Costi di manutenzione e riparazione
  - Costi energetici (combustibili ed energia ausiliaria)
  - Altri costi
- a Fattore di rendita [-], calcolato da:
 
$$\text{für } i = 0 : a = \frac{1}{n} \quad \text{für } i > 0 : a = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$
  - i Tasso d'interesse di calcolo [%]
  - n Periodo di osservazione [a] (vita utile)
- d Valore attuale o fattore di sconto [-] calcolato da:
 
$$d = \frac{(1+e)^n}{(1+i)^n}$$
- e Aumento annuale dei prezzi [%]

La vita utile e i costi di riparazione possono essere determinati secondo la Tabella 12.2. Tuttavia, la vita utile presunta può anche essere specificata dal proprietario dell'edificio, da un istituto di credito (banca) o da una possibile agenzia di finanziamento.

In molti casi, le seguenti semplificazioni sono possibili rispetto al metodo descritto in dettaglio nella VDI 2067:

- Gli investimenti avvengono solo all'inizio del periodo considerato.
- Il periodo considerato corrisponde alla durata di vita degli investimenti. Ciò significa che non ci sono sostituzioni da effettuare nel periodo considerato e che non ci sono valori residui alla fine del periodo considerato.

Se la vita utile non corrisponde al periodo considerato, bisogna tenerne conto come segue:

- Se la vita utile è più breve del periodo considerato, l'investimento di sostituzione deve essere preso in considerazione di conseguenza (aggiungere il valore attuale all'investimento iniziale).
- Se la fine della vita utile non è ancora stata raggiunta alla fine del periodo considerato, l'investimento  $I$  è ridotto del valore attuale del valore residuo.

Dividendo i costi annuali per il calore utile medio pianificato generato annualmente si ottengono i **costi di produzione del calore k**:

$$k = \frac{K}{Q_{\text{use}}}$$

k Costi di produzione del calore [EUR/MWh; CHF/MWh]

K Costi annuali [EUR/a; CHF/a]

$Q_{\text{use}}$  Calore utile generato annualmente [MWh/a]  
(nelle reti di riscaldamento combinato, i costi di produzione del calore possono anche essere correlati al calore venduto)

Il calcolo dei costi di produzione del calore secondo il metodo della rendita è anche incluso, per esempio, nello strumento di calcolo della redditività economica (vedi capitolo 10.7) o nel software open-source Sophena [99]. Inoltre, molti progettisti hanno sviluppato strumenti in programmi di fogli di calcolo per il calcolo dell'efficienza economica basato sul metodo della rendita.

In pratica, il metodo della rendita è spesso semplificato utilizzando il tasso d'interesse corrente per i prestiti bancari come tasso d'interesse di calcolo e non tenendo conto degli aumenti dei prezzi (inflazione). Così, il metodo della rendita diventa una considerazione statica che non tiene conto dei cambiamenti futuri. Questo può portare a notevoli errori in sistemi con diverse strutture di costo. Tuttavia, se le quote dei tipi di costi legati al capitale sono simili e si può supporre un aumento dei prezzi ugualmente alto per tutti i tipi di costi legati al consumo e all'esercizio per l'intero periodo di utilizzo, nel contesto di uno studio preliminare è sufficiente un confronto del sistema con il tasso di interesse attuale e senza aumento dei prezzi.

Questa procedura da sola di solito non è sufficiente per valutare se il sistema selezionato e quindi il progetto in questione può essere gestito economicamente. Per valutare la situazione economica nel corso della vita dell'impianto, si dovrebbe sempre preparare un business plan per un impianto con una rete di riscaldamento e si

dovrebbe considerare lo sviluppo economico su diversi anni (vedi capitoli 10.6e 10.7).

### 10.4.3 Metodo del valore attuale netto (NPV) e tasso interno di rendimento (IRR)

Il metodo della rendita descritto nel capitolo 10.4.2 calcola i costi medi sulla durata del progetto. Poiché gli investimenti in impianti di teleriscaldamento a biomassa hanno di solito una lunga vita utile e si ripagano solo in alcuni anni, ha senso valutare lo sviluppo economico su un periodo di tempo più lungo. A questo scopo, il metodo del valore attuale netto (VAN) è molto adatto, che può essere utilizzato anche per calcolare il tasso di rendimento effettivo (interno) dell'investimento. Lo strumento di redditività presentato nel capitolo 10.7 questi metodi.

Il tasso di rendimento interno è il rendimento medio del capitale investito durante la vita utile. Il calcolo tiene conto delle entrate fluttuanti (pagamenti dai clienti) e delle spese (costi energetici, manutenzione) e determina un rendimento medio annuale. Il tasso di interesse ricercato è quello al quale il valore attuale netto è zero al momento del calcolo [100].

$$I_0 = \sum_{t=1}^n \frac{e_t - a_t}{(1+i)^t} + \frac{L_n}{(1+i)^n}$$

- t Indice temporale, dove  $t = 1, 2, \dots, n$
- n Vita utile dell'investimento in anni
- i Tasso di sconto (tasso di interesse di calcolo)
- $I_0$  Esborsi in relazione all'acquisto dell'oggetto dell'investimento, ad esempio il prezzo di acquisto di una macchina
- $a_t$  Pagamenti durante la vita utile, dovuti alla fine del rispettivo periodo di tempo  $t$ , come pagamenti per combustibile, salari, manutenzione e riparazione
- $e_t$  Pagamenti ricevuti durante la vita utile, dovuti alla fine del rispettivo periodo di tempo  $t$ , come le entrate dalla vendita di energia
- $L_n$  Proventi di liquidità alla fine della vita utile

Per determinare il tasso di interesse interno, l'equazione di cui sopra deve essere risolta secondo  $i$ . Per i progetti di investimento con più di due periodi di utilizzo, questo comporta notevoli difficoltà matematiche, per cui è necessario utilizzare soluzioni approssimative. La procedura è la seguente [100]:

- Si determina un tasso d'interesse di calcolo  $i$  al quale il valore del capitale calcolato è il più vicino possibile allo zero, ma è ancora positivo.
- Si determina un secondo tasso d'interesse di calcolo  $i$  al quale il valore del capitale calcolato è anche il più vicino a zero possibile, ma risulta in un valore negativo.
- Con i due valori determinati, si calcola per interpolazione il tasso d'interesse al quale il valore del capitale diventa zero.

I moderni programmi di fogli di calcolo come Excel hanno funzioni che semplificano questi calcoli.

**Se il tasso di interesse interno calcolato di un investimento è maggiore del tasso di interesse di calcolo, l'investimento è considerato economico e viceversa.**

### 10.4.4 Confronto delle varianti

Per determinare i costi di produzione di calore di un impianto di riscaldamento a legna, si può applicare la procedura descritta nel capitolo 10.4.2. Bisogna distinguere se si devono calcolare i costi di produzione di calore del primo anno di funzionamento (aumento di prezzo non rilevante) o i costi medi di produzione di calore nel periodo considerato (approccio nominale). Solo l'approccio nominale garantisce che i costi medi di produzione di calore siano determinati nel modo più accurato possibile nel periodo considerato.

Quando si **confrontano le varianti di un impianto di riscaldamento a legna**, il metodo di calcolo descritto di seguito può essere utilizzato con l'approccio reale. Questo è molto più facile da eseguire rispetto al metodo nominale.

Con questa considerazione, le relazioni delle varianti di generazione di calore confrontate si riflettono correttamente. Tuttavia, va notato che i costi di produzione di calore calcolati possono discostarsi dai costi reali a causa delle semplificazioni nel calcolo.

Così, si presume che la sostituzione dei beni alla fine della loro vita utile sarà allo stesso prezzo in termini reali dell'investimento originale.

Il tasso di interesse reale rappresenta il tasso di interesse in eccesso rispetto al tasso di inflazione generale ed è approssimativamente la differenza tra il tasso di interesse e il tasso di inflazione.

**Esempio:** Se il tasso di interesse nominale è del 3% con un tasso di inflazione generale dell'1%, il tasso di interesse reale è del 2%. In Svizzera, il tasso d'interesse reale medio a lungo termine è compreso tra l'1 e il 3%.

**Se non si tiene conto dell'inflazione quando si confrontano i costi di produzione di calore di diversi sistemi di riscaldamento, il tasso d'interesse reale deve essere usato come tasso d'interesse di calcolo.**

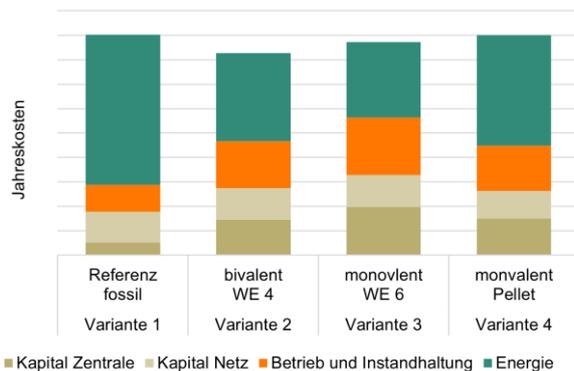


Figura 10.1 Ripartizione esemplare dei costi annuali in capitale, manutenzione e costi energetici.

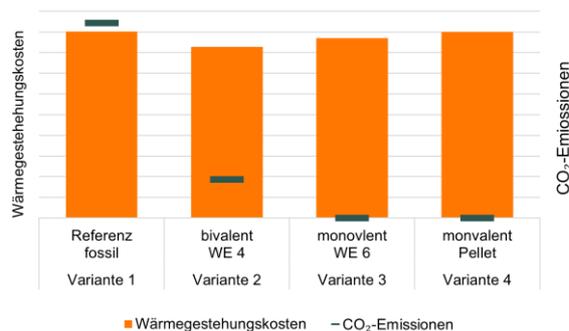


Figura 10.2 Confronto esemplare dei costi di produzione del calore e delle emissioni di CO<sub>2</sub>

### 10.4.5 Analisi di sensibilità

Con un'analisi di sensibilità, l'influenza delle fluttuazioni dei singoli parametri di input sui risultati del confronto delle varianti può essere mostrata e si può rispondere alle seguenti domande:

- Quali variabili di input hanno un'influenza particolarmente forte sul valore della variabile risultato?
- Entro quali limiti possono fluttuare i valori delle variabili di input senza mettere in pericolo il successo dell'azienda?

Per esempio, si possono calcolare gli effetti del superamento dei costi di investimento, la riduzione della vendita di calore o l'influenza della fluttuazione dei prezzi dell'energia, delle tasse e delle imposte sul prezzo di produzione del calore.

Nella Figura 10.3 vengono inseriti diversi fattori per i vari costi energetici. Le fonti energetiche fossili e l'elettricità sono valutate come critiche e la loro volatilità è presa in considerazione con - 10%/+ 20%. La volatilità della biomassa, invece, è assunta come inferiore (- 5%/+ 10%). Così, si può notare che a causa dei costi energetici più stabili, i costi annuali dei generatori di calore rinnovabili variano molto meno di quelli delle fonti energetiche fossili.

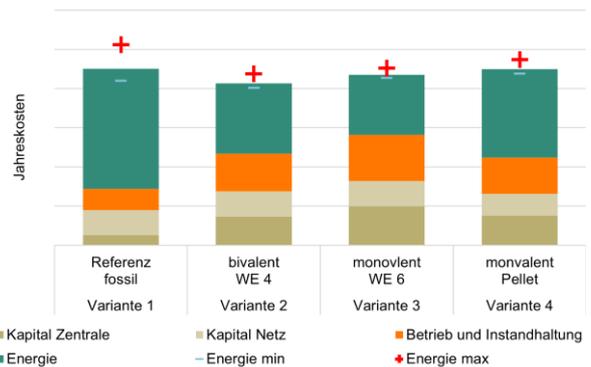


Figura 10.3 Costi annuali con confronto di sensibilità "prezzi dell'energia".

La Figura 10.4 mostra l'analisi di sensibilità (+ 20%/ - 10%) basata sui costi di investimento. A causa degli investimenti significativamente più alti delle varianti rinnovabili, i costi di capitale variano significativamente di più che nella variante base.

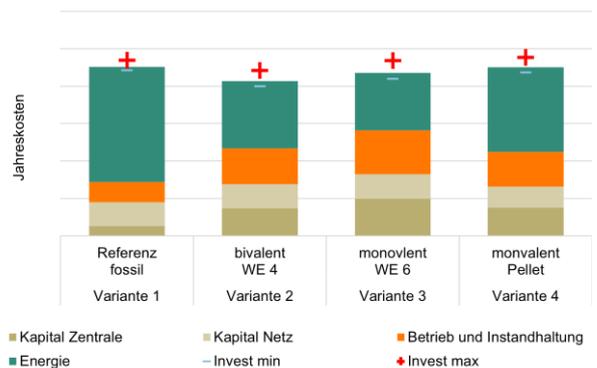


Figura 10.4 Costi annuali con confronto di sensibilità "costi di investimento".

## 10.5 Struttura tariffaria vendite di calore

I costi elencati nel capitolo 10.3 devono essere inclusi nella struttura tariffaria per la vendita di calore. Ha senso dividere i costi in costi dipendenti dal consumo e costi indipendenti dal consumo. Gli investimenti e i costi di manutenzione e assistenza sono in gran parte indipendenti dalla vendita di calore. Le spese per l'acquisto di combustibile e i costi dell'elettricità per l'energia ausiliaria dipendono dall'energia prodotta e sono quindi costi legati al consumo.

La struttura tariffaria per il teleriscaldamento è spesso composta da tre o quattro componenti:

- **Tassa di connessione una tantum:** quota dei costi di investimento del cliente per la costruzione e la connessione della casa. Il pagamento viene effettuato una volta sola, di solito dopo il completamento della connessione della casa.
- **Prezzo base annuale** per kW di capacità sottoscritta: I costi fissi indipendenti dal consumo vengono addebitati con il prezzo di base. A seconda della tasso di connessione, anche una parte dei costi di

investimento deve essere addebitata come costi di capitale attraverso il prezzo di base.

- **Prezzo dell'energia:** costi dell'energia per il calore fornito, fatturati al contatore di calore tarato del cliente. Oltre ai costi del combustibile, sono inclusi nel prezzo dell'energia anche i costi per l'energia ausiliaria e le perdite di distribuzione del calore, nonché altri costi dipendenti dal consumo.
- **Costo del contatore:** inoltre, la struttura tariffaria può anche includere un costo per il contatore, che copre i costi per l'attrezzatura di misurazione e la sua manutenzione/calibrazione. La quota del costo del contatore nell'importo totale della tariffa è piccola.

I prezzi ricorrenti (prezzo di base e prezzo dell'energia) sono spesso indicizzati e aggiustati periodicamente (per esempio annualmente). A seconda del paese e della regione, sono disponibili diversi indici dei prezzi, che coprono per esempio l'andamento dei prezzi al consumo, i prezzi dell'energia (olio da riscaldamento, gas, elettricità, energia o legna da ardere), i costi del personale o della costruzione. Per esempio, il prezzo del lavoro può essere indicizzato con un indice dei prezzi dell'energia o del combustibile e il prezzo di base con un indice generale dei prezzi al consumo.

Le clausole di variazione dei prezzi devono essere redatte in modo da tenere adeguatamente conto sia dell'andamento dei costi per la produzione e la fornitura di calore da parte dell'impresa sia delle rispettive condizioni del mercato del calore. Esse devono mostrare i fattori di calcolo pertinenti in modo completo e in una forma generalmente comprensibile [101].

La struttura tariffaria, il metodo di determinazione delle singole componenti di prezzo e l'adeguamento dell'in-

dice dei prezzi devono essere specificati in modo completo e dettagliato nel contratto di fornitura di calore o in un supplemento applicabile (ad es. scheda tariffaria). In caso di prezzi indicizzati, oltre al prezzo di base, devono essere specificati il nome, l'anno di riferimento e le fonti dell'indice (o degli indici), il valore soglia al quale gli adeguamenti hanno effetto e le formule di calcolo. Devono essere rispettate tutte le leggi, i regolamenti e le linee guida riguardanti la progettazione di prezzi e contratti per la fornitura di energia e la fatturazione. Per una struttura giuridicamente sicura di un contratto di fornitura di calore, si consiglia di rivolgersi a studi legali esperti in questo campo (anche per piccoli impianti con pochi clienti). Il contratto di fornitura di calore e le condizioni tecniche di allacciamento in esso contenute devono essere concepiti in modo tale che vi siano possibilità di motivazione e legali per ottimizzare il comportamento del carico e le temperature di mandata e ritorno. A questo scopo, vengono utilizzate sempre più spesso le cosiddette "tariffe di motivazione". Queste prendono in considerazione, per esempio, la temperatura di ritorno o una determinata portata volumetrica per calcolare un bonus o un malus sul prezzo del calore a seconda di questo. Ulteriori informazioni sui contratti di fornitura di calore si possono trovare nel Manuale sulla pianificazione delle reti di teleriscaldamento [17].

La figura 10.5 mostra la distribuzione dei costi di una rete di calore secondo la struttura tariffaria. La distribuzione deve essere determinata individualmente e dal gestore del sistema. Se, per esempio, si rinuncia a una tassa di allacciamento una tantum, l'intero costo dell'investimento, compresa la quota di rischio, deve essere capitalizzato e incluso nel prezzo di base.

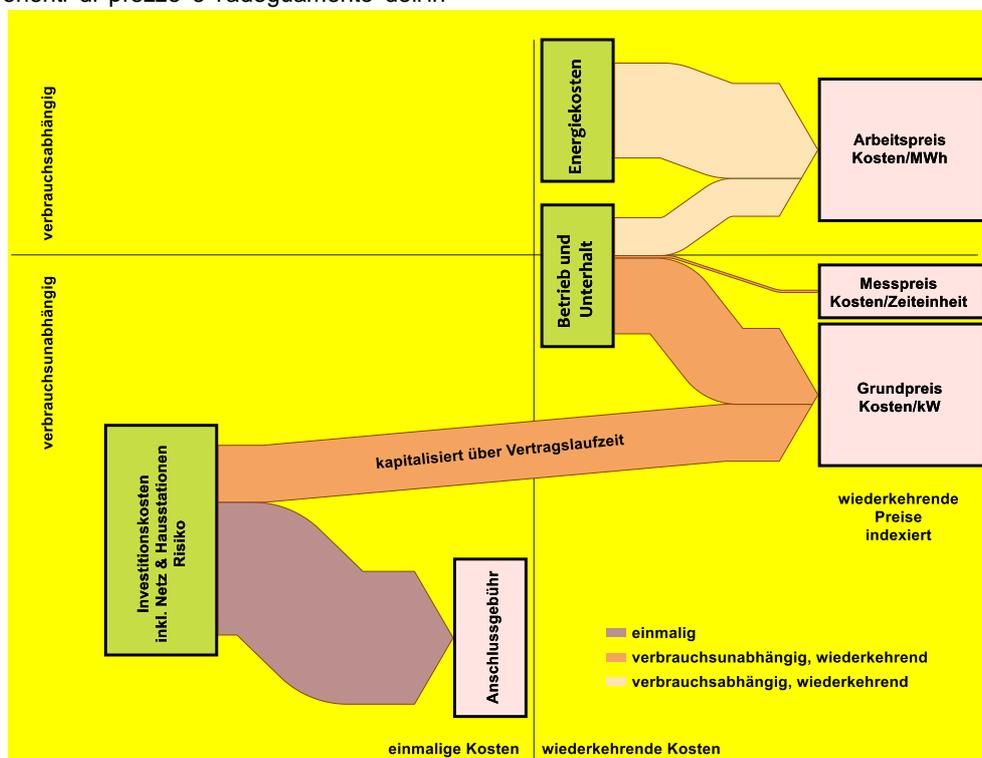


Figura 10.5 Distribuzione dei costi secondo la struttura tariffaria.

## 10.6 Piano d'affari

### 10.6.1 Struttura e contenuto

Il business plan descrive un concetto o un piano per un'idea di business che deve essere implementata in un'azienda. La costruzione e il funzionamento di un impianto di riscaldamento a biomassa - specialmente una rete di teleriscaldamento - è anche un business in questo senso e richiede un business plan. Un business plan è quindi uno strumento che fornisce informazioni sulla qualità di un'azienda. Un buon business plan aiuta nel finanziamento e nell'acquisizione di clienti. Per le seguenti spiegazioni, il business plan comprende un documento nelle seguenti due parti:

**1. Testo: Il business plan** è una formulazione scritta dell'idea di business in termini di prodotto, servizio, clientela e marketing. Il business plan fornisce informazioni sullo sviluppo del business e permette una valutazione dei rischi.

Per una rete di riscaldamento, è importante mostrare gli effetti delle diverse varianti di espansione della rete.

**2. Finanze: il bilancio preventivo e il conto economico preventivo** forniscono informazioni su entrate e uscite previste, sussidi, finanziamenti e pianificazione della liquidità. Il bilancio preventivo e il conto economico preventivo di solito coprono un periodo di almeno 20 anni.

Il business plan dovrebbe coprire i seguenti elementi in queste due parti:

- Riassunto esecutivo (massimo due pagine)
- Azienda: team fondatore, profilo aziendale, obiettivi aziendali
- Prodotto o servizio: vantaggi e benefici per i clienti, stato di sviluppo, produzione
- Industria e mercato: analisi del settore, analisi del mercato e segmentazione del mercato, clientela target, concorrenza, analisi della posizione
- Marketing: ingresso nel mercato, concetto di marketing e vendite, promozione delle vendite
- Gestione e posizioni chiave
- Pianificazione dell'implementazione
- Opportunità e rischi
- Sezione finanziaria: pianificazione per i prossimi 20-25 anni - pianificazione del personale, pianificazione degli investimenti e degli ammortamenti, conto profitti e perdite di bilancio, pianificazione della liquidità, mostrare i requisiti finanziari
- Analisi di sensibilità come supplemento al calcolo dell'investimento, in cui si risponde alle seguenti domande variando le variabili di input più importanti:
  - Quali variabili di input hanno un'influenza particolarmente forte sul livello della variabile risultato?
  - Entro quali limiti possono fluttuare i valori delle variabili di input senza mettere in pericolo il successo dell'azienda?
- Le variabili di input importanti includono:
  - Rapporto di indebitamento e interessi sul debito
  - Prezzo del combustibile (e approvvigionamento sicuro)
  - Costi di costruzione e di impianto
  - Prezzo dell'elettricità
  - Costi del personale
  - Finanziamento

Il business plan dovrebbe sempre essere scritto dallo sviluppatore. Lo sviluppatore è responsabile dell'idea di business che rappresenta al meglio il business plan al mondo esterno. Il compito del pianificatore è quello di sostenere il cliente nella preparazione del business plan.

### 10.6.2 Bilancio preventivo e conto economico preventivo

La valutazione della redditività di un'azienda non può basarsi solo sul calcolo dei costi medi di produzione del calore. Anche se i costi di produzione del calore sono inferiori ai ricavi su un periodo di osservazione più lungo, non è possibile compensare eventuali perdite nei primi anni di attività con profitti negli anni successivi se la liquidità per questo non è assicurata. Bisogna quindi prestare particolare attenzione alla situazione della liquidità, che è lo scopo del bilancio preventivo e del conto economico preventivo con la prova della situazione economica per ogni anno.

Nel capitolo 10.7 viene presentato uno **strumento** basato su Excel sviluppato da QM per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa, che può essere utilizzato per mappare la situazione economica di una rete di riscaldamento per 25 anni.

Le **condizioni generali** come la struttura e la densità di connessione della rete di riscaldamento influenzano l'efficienza economica. Questi dati devono essere raccolti dal progettista e utilizzati nel processo di ottimizzazione economica.

La **verifica** della fattibilità economica e i relativi calcoli di pianificazione non dovrebbero essere eseguiti solo una volta dopo la preparazione, ma regolarmente aggiornati e controllati con i costi effettivi durante l'intera durata del progetto e integrati con l'esame di possibili ottimizzazioni dei costi.

L'inflazione deve essere presa in considerazione nel calcolo del bilancio preventivo e del conto economico preventivo dei singoli anni. Tuttavia, l'approccio reale semplificato (vedi capitolo 10.4) non è ammissibile a questo scopo perché la differenza tra il tasso di interesse reale e il tasso di interesse bancario aumenta quando il tasso di inflazione è alto. Questo porta a un carico di interessi corrispondentemente più alto nei primi anni. L'utilizzo del tasso d'interesse reale può quindi portare a una sottostima dei costi del capitale con un rischio corrispondente, soprattutto nei primi anni.

Se non si tiene conto dell'**inflazione** utilizzando il tasso d'interesse nominale senza aumenti di prezzo, l'onere degli interessi sarà un po' più alto nel conto economico di pianificazione rispetto al reddito che poi nella realtà.

Se l'inflazione è bassa, questa deviazione può essere trascurata rispetto ad altre incertezze. Poiché l'inflazione influisce sia sulle spese che sulle entrate, di solito è trascurabile rispetto alle altre incertezze. Le ipotesi riguardanti i tassi di interesse e l'inflazione dovrebbero essere discusse e concordate con gli istituti di credito.

## 10.7 Strumento di calcolo della redditività

QM Holzheizwerke ha sviluppato un semplice strumento per la Svizzera ("QMH-Berechnungstool Wirtschaftlichkeit") per la preparazione di un bilancio preventivo e di un conto economico preventivo su un periodo operativo di 25 anni. Lo strumento si basa su un programma di calcolo dell'efficienza economica sviluppato e offerto dal team austriaco di QM Heizwerke (strumento "Economic Profitability Calculation" disponibile nell'[area download](#) di QM for Biomass di teleriscaldamento Plants; versione tedesca disponibile sotto <https://www.klimaaktiv.at/qmheizwerke>). Con questo strumento, lo sviluppo dei costi, i colli di bottiglia economici e il successo del progetto possono essere presentati. Le seguenti domande, tra le altre, possono essere risposte con l'aiuto dello strumento:

- Come si sviluppa il progetto durante il periodo di funzionamento?
- Quali sono i rischi economici?
- Il capitale di debito è garantito dal valore residuo dell'impianto?
- Quanto sono alti i costi di produzione di calore dei clienti?

La versione attuale del modello Excel e i file di esempio (in lingua tedesca) possono essere trovati nell'[area di download](#) di QM Holzheizwerke.

**Disclaimer**

Lo strumento Excel *QMH-Wirtschaftlichkeitsrechnung (Calcolo della redditività economica)* è stato preparato con molta cura, tuttavia le persone e le istituzioni coinvolte nella sua preparazione non possono assumere alcuna garanzia o assicurazione per i risultati determinati e le conclusioni che ne derivano. Le semplificazioni effettuate comportano alcune deviazioni dovute alla natura del calcolo, per esempio, non si tiene conto se un pagamento viene effettuato all'inizio dell'anno o alla fine dell'anno, poiché un anno viene considerato come un periodo.

**Nota:** Anche se lo strumento fornisce un feedback di avvertimento sui vari limiti di input, non si può escludere che valori di input errati possano portare a una rappresentazione errata del risultato finale. La corretta valutazione delle conseguenze di certe assunzioni è responsabilità delle persone che usano lo strumento.

Lo strumento Excel ha vari fogli di lavoro. I fogli di lavoro sono di sola lettura, ma tutte le formule e i calcoli sono visibili. Va notato che le modifiche ad essi possono portare ad errori e quindi a dichiarazioni errate da parte dello strumento.

Invece di un manuale o una guida, lo strumento è descritto nel foglio di lavoro **I1\_Explanations**. I campi di input e output sono collegati alle spiegazioni corrispondenti.

Nel foglio di lavoro **E1\_Dati del progetto**, si inseriscono le informazioni relative all'intero progetto. Questo include:

- Dati generali del progetto, perdite di distribuzione del calore e altri

- Prezzi dell'energia e ripartizione, costi operativi, inflazione
- Costi di manutenzione
- Costi di investimento compresa la vita utile
- Finanziamento del debito e prestiti (incl. termine e tasso d'interesse)
- Sussidi.

Quattro diverse strutture tariffarie (prezzi e periodi di contratto) possono essere definiti nel foglio di lavoro **E2\_Heat price**. Le tariffe corrispondono alla struttura tariffaria presentata nel capitolo 10.5.

I dati dei consumatori di calore vengono registrati nel foglio di lavoro **E3\_Consumatori**. I dati di connessione per ogni cliente possono essere inseriti nella tabella. I dati generali e la domanda di calore possono essere presi dallo strumento Excel per la valutazione della domanda e la selezione del sistema appropriato o inseriti manualmente. È importante che venga inserita la potenza concordata contrattualmente per la potenza sottoscritta e non il fabbisogno di potenza calcolato. Dai dati di consumo e dalle tariffe si possono calcolare i costi annuali e il prezzo di produzione del calore dal punto di vista del cliente del calore o il ricavo di vendita dal punto di vista dell'azienda di fornitura del calore.

Gli input sono compilati nel foglio di lavoro **B1\_Calculations** e valutati su una durata del progetto di 25 anni. Durante il funzionamento, il file può essere utilizzato per un semplice controllo e post-calcolo utilizzando i valori effettivi per la spesa totale e il rendimento.

I risultati e i grafici più importanti sono raccolti nel foglio di lavoro **A1\_Results** e possono essere stampati su due pagine A4.

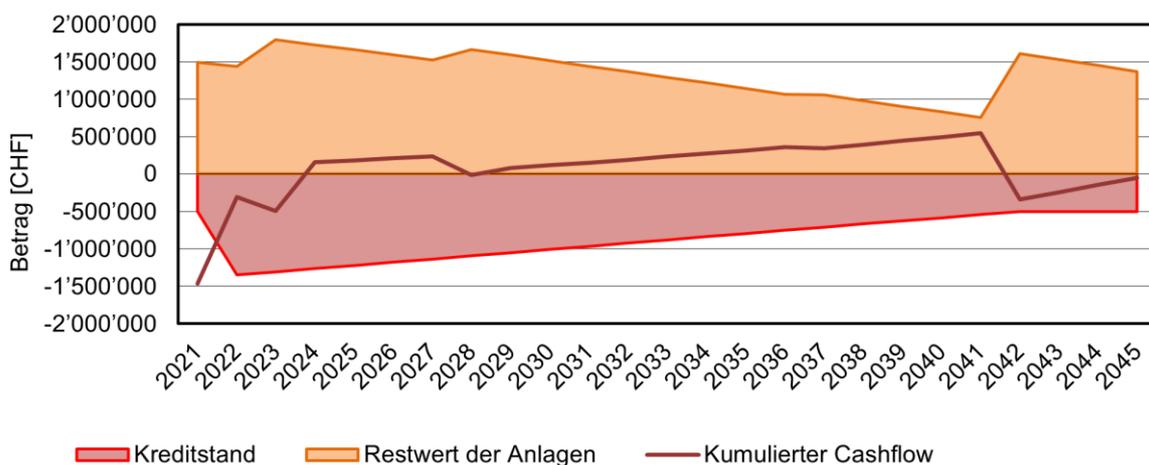


Figura 10.6 Grafico sul saldo del prestito, valore residuo del bene e flusso di cassa.

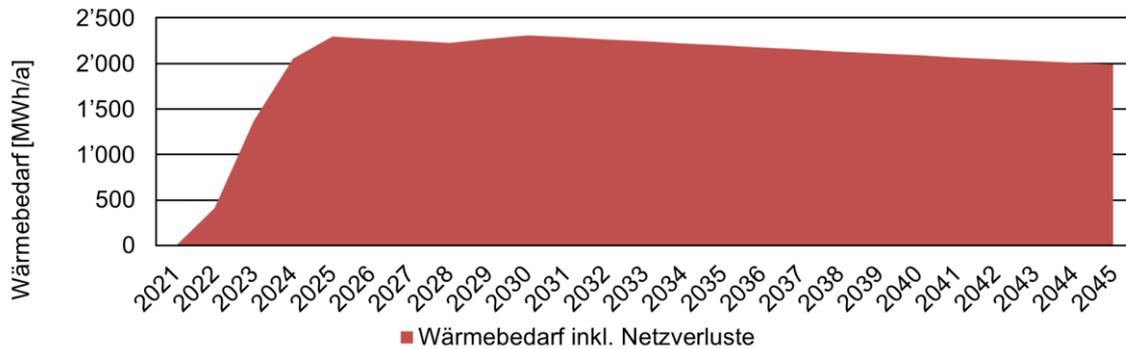


Figura 10.7 Sviluppo delle vendite di calore. A causa delle ristrutturazioni e delle misure di efficienza sul lato del cliente, la domanda di calore e le vendite diminuiscono negli anni se non vengono collegati nuovi clienti.

### Altri strumenti raccomandati

Insieme ai documenti sviluppati e forniti da QM per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa, ci sono ulteriori strumenti di calcolo che possono essere raccomandati per la progettazione e il calcolo dell'efficienza economica.

#### Sophena [99]

Il software open-source [Sophena](#) offre la possibilità di effettuare la pianificazione tecnica ed economica di un progetto di fornitura di calore in modo rapido e fondato. Il cuore di Sophena è una simulazione della caldaia e dell'accumulo tampone, da cui vengono determinate le curve di durata annuale e le cifre chiave dell'energia. Sulla base di questi calcoli, viene effettuata un'analisi della redditività secondo la VDI 2067, inclusa la determinazione dei costi di produzione del calore. Altri risultati includono un bilancio dei gas serra e la densità della domanda di calore della rete.

#### THENA [102]

[THENA](#) (Thermal Network Analysis) è uno strumento di calcolo basato su Excel e viene utilizzato per una semplice analisi tecnica del progetto della rete e una stima approssimativa supplementare dei costi della rete di distribuzione del calore.

#### DN-Sensi [103]

Con lo strumento di calcolo basato su excel [DN-Sensi](#), il dimensionamento ottimale così come la sensibilità dei diversi parametri ai costi di distribuzione del calore per i diametri nominali da DN 20 a DN 250 può essere calcolato e visualizzato graficamente in modo semplice.

## 10.8 Stima dei costi di investimento

Le figure seguenti mostrano i costi di investimento totali della produzione di calore con impianti di riscaldamento centralizzati (vedi Figura 10.8) e della rete di riscaldamento con stazioni domestiche (vedi Figura 10.9). Le curve si basano sui dati degli impianti realizzati dal monitoraggio QM in Svizzera e Austria nel periodo 2009-2018. I grafici rappresentano la maggior parte dei sistemi valutati che soddisfano i requisiti Q più importanti. Il campo di fluttuazione è talvolta considerevole e dipende da diversi fattori.

### Note

I seguenti diagrammi sono intesi solo come una prima **stima dei costi di investimento** (studio preliminare, studio di fattibilità). Essi forniscono indicazioni, ma non devono essere utilizzati per determinare i costi di investimento nell'ambito della fase di pianificazione approfondita di un impianto di riscaldamento a legna. I diagrammi servono come punto di riferimento per il confronto con i calcoli specifici del progetto.

La conversione EUR/CHF non è una pura conversione di valuta, ma tiene conto anche delle **differenze di prezzo** in Austria e Svizzera secondo i dati valutati dell'impianto ed è giustificata dai diversi livelli di prezzo, costi di costruzione e salari.

Ulteriori tabelle e grafici con i prezzi guida per i tubi di teleriscaldamento e le stazioni domestiche sono stati determinati da QM Fernwärme e pubblicati nel Handbook on Planning of District Heating Networks [17](tubi di teleriscaldamento) e nella Guide to Planning District Heating Transfer Stations [73](stazioni domestiche).

### 10.8.1 Valori guida per i costi di investimento specifici per la generazione di calore

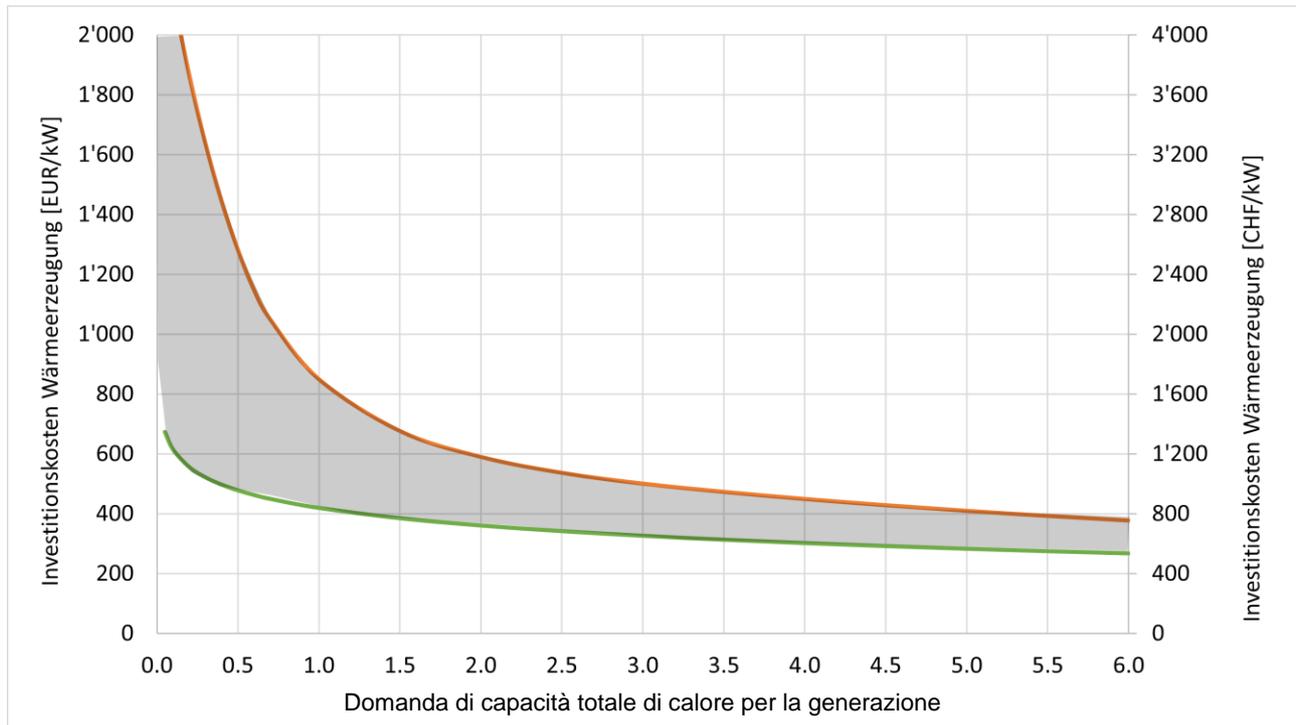


Figura 10.8 Costi di investimento specifici per la generazione di calore - valutazione degli impianti realizzati da AT e CH nel periodo 2009 - 2018.

I costi includono la generazione di calore, il separatore di particelle, l'economizzatore e/o la condensazione se presente, l'accumulo di calore, il sistema di camino (canna fumaria), l'integrazione idraulica, le installazioni elettriche, il controllo/regolazione (C&I), il locale caldaia, l'accumulo di combustibile incluso lo scarico per sistemi monovalenti e bivalenti con accumulo di calore. Il progetto soddisfa i requisiti Q "E4 generazione di calore"; EUR/CHF - la conversione tiene conto dei diversi livelli di prezzo in AT e CH.

### 10.8.2 Valori guida per i costi di investimento specifici per la distribuzione del calore

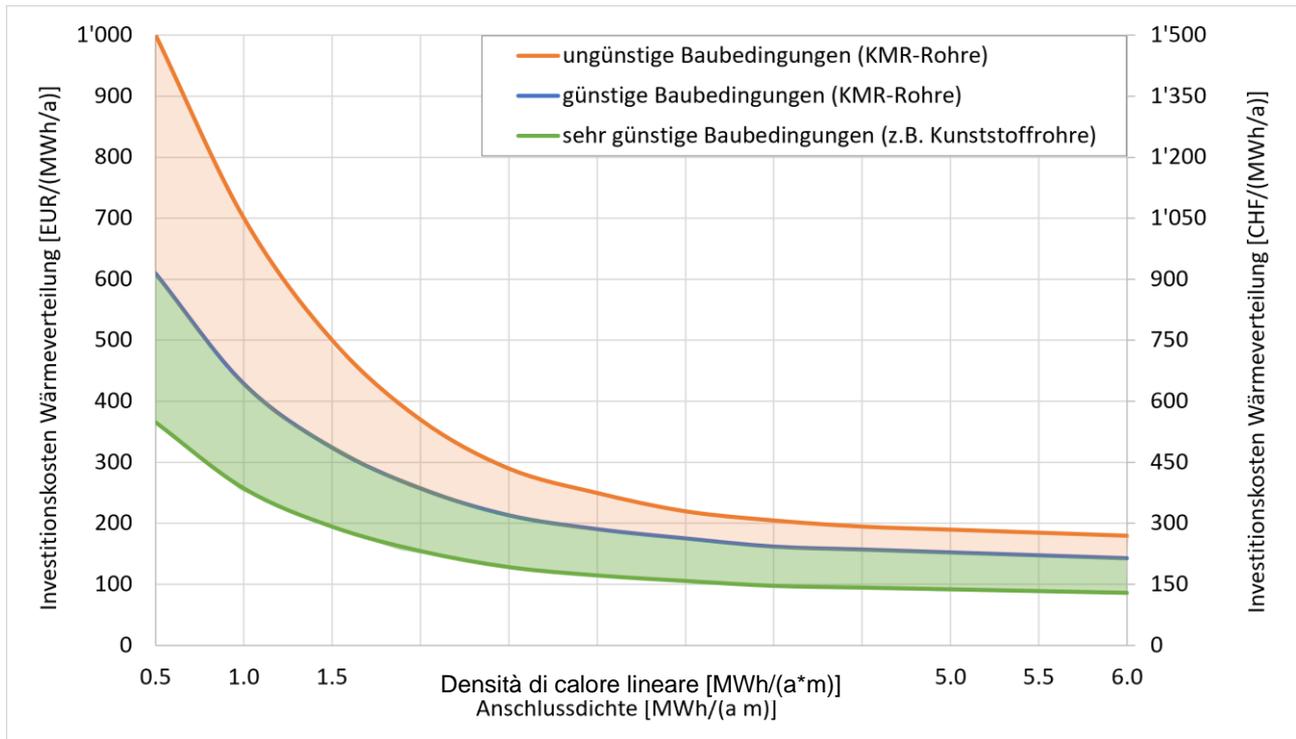


Figura 10.9 Costi di investimento specifici per la distribuzione del calore - valutazione delle installazioni realizzate da AT e CH nel periodo 2009 - 2018.

I costi includono l'impianto idraulico relativo alla rete di teleriscaldamento nell'impianto di riscaldamento, la rete di teleriscaldamento compresi i lavori di scavo e i collegamenti domestici fino alle stazioni di trasferimento del calore (senza la stanza della sottostazione domestica); EUR/CHF - la conversione tiene conto dei diversi livelli di prezzo in AT e CH.

## **Parte 3 - Processo di pianificazione**

# 11 Valutazione della domanda e selezione appropriata del sistema

## 11.1 Introduzione

L'analisi della situazione attuale (valutazione della domanda) è la base per la selezione del sistema al fine di definire un sistema di generazione e distribuzione del calore adatto all'edificio o all'area da alimentare.

La **valutazione della domanda e la scelta appropriata del sistema è la base più importante per tutte le fasi successive della pianificazione** e gioca un ruolo decisivo per il successo del progetto e il funzionamento dell'impianto. La sovrastima del fabbisogno di energia e di calore e il relativo sovradimensionamento degli impianti può avere enormi effetti tecnici ed economici negativi su un progetto.

Di conseguenza, si dovrebbe prestare attenzione all'attuazione dell'analisi della situazione già in una prima fase di pianificazione. L'implementazione è responsabilità di pianificatori esperti e dovrebbe essere controllata per la plausibilità da un organismo indipendente (per esempio il Q-manager di QM per impianti di teleriscaldamento a biomassa).

In un approccio olistico, la valutazione della domanda include la determinazione della domanda attuale e futura di riscaldamento e raffreddamento così come la valutazione di tutte le possibili fonti di calore rinnovabili e disponibili a livello regionale. Come risultato, la valutazione della domanda fornisce il fabbisogno annuale di calore dell'intero sistema per diversi scenari di fornitura e di espansione, così come il corrispondente profilo di carico e le curve di durata annuale per l'ulteriore selezione del sistema (vedi capitolo 13).

**QM Holzheizwerke** e **QM Fernwärme** offrono documenti e strumenti utili a questo scopo:

- **Procedura di progetto** dettagliata secondo il MQ per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa nelle linee guida Q-Guidelines [15], nella parte 3 di questo manuale di pianificazione e nel manuale sulla pianificazione delle reti di teleriscaldamento ([17], pagina 102 e seguenti).
- **Questionario** per una connessione al teleriscaldamento come modello di documento in Word ([Link](#))
- **Strumento Excel per la valutazione della domanda e la selezione del sistema appropriato** [104] per il controllo di plausibilità per ogni consumatore di calore e per l'intero sistema. Nello strumento Excel, la selezione del sistema per la generazione di calore è direttamente valutata utilizzando i valori target del QM per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa.

Si raccomanda di coinvolgere il prima possibile tutte le parti interessate al progetto. Ciò include il comune del sito, il cantone o lo stato federale, la società operativa (ad esempio l'appaltatore), i clienti, le società di fornitura

di combustibile e di energia e gli stakeholder indiretti come i residenti e i proprietari di case, le associazioni, le agenzie regionali per l'energia, le associazioni commerciali e per la biomassa. I partecipanti al progetto rilevanti sono descritti in dettaglio nei rapporti "Rischi nelle reti termiche" [18] e "Aspetti socio-economici delle reti termiche" [16].

### Fasi di lavoro richieste

Le seguenti **fasi di lavoro devono essere** disponibili o definite con diversi gradi di precisione a seconda dell'avanzamento del progetto e della pietra miliare secondo il QM per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa:

- Nello studio preliminare o nello sviluppo del progetto, viene effettuata una prima analisi preliminare approssimativa della **zona di approvvigionamento**. In questo processo, i potenziali esistenti delle fonti di calore e dei pozzi di calore (domanda di calore) devono essere chiariti. A questo scopo possono essere utilizzate fonti di informazione come linee guida e raccomandazioni per la pianificazione energetica, strumenti GIS (Geographic Information Systems) o mappe catastali (vedi anche capitolo 12):
  - Guida alla pianificazione del calore comunale di KEA [105] ([Link](#))
  - Moduli per la pianificazione energetica territoriale da EnergieStadt [106]
  - Strumento PETA 5.1 ([Link](#))
  - Strumento THERMOS ([Link](#))
  - Strumento Hotmaps Toolbox ([Link](#))
  - Info mappa map.geo.admin.ch ([Link](#))
  - Strumento webGIS ([Link](#)) per la Svizzera.
- Coordinamento e chiarimento delle potenziali aree di fornitura per mezzo di **strategie energetiche** nazionali, regionali e comunali esistenti o di **piani regolatori energetici**. Nel programma Heat Roadmap Europe ([Link](#)), sono state sviluppate a livello europeo strategie per il riscaldamento e il raffreddamento a zero emissioni di CO<sub>2</sub>
- Chiarimento dell'interesse tra i **clienti chiave** più importanti
- Analisi, valutazione e controllo di plausibilità dei dati, per esempio con lo **strumento Excel per la valutazione della domanda e la selezione del sistema appropriato** [104] di QM Holzheizwerke.
- Effettuare una valutazione approfondita della domanda di calore e dell'interesse attraverso indagini casa per casa, eventi informativi e questionari per raccogliere **dati dettagliati** (capitolo 11.2, Domanda dei singoli consumatori di calore)
- Aggiornamento dell'analisi e preparazione di diverse possibili **varianti** per la fornitura di calore. La selezione delle varianti si basa sui seguenti criteri:
  - Disponibilità di fonti di energia locali e rinnovabili

- Quota minima richiesta di fonti di energia rinnovabile
- Copertura del carico di picco
- Costi di investimento e operativi
- Domanda esistente di energia di raffreddamento
- Ripetere il processo a seconda del progresso del progetto e delle pietre miliari e aumentare il grado di precisione (processo iterativo).

#### Risultato della valutazione della domanda

Fabbisogno annuale di calore dell'intero sistema per diversi scenari di fornitura e di espansione, nonché il corrispondente profilo di carico e le curve di durata annuale per l'ulteriore selezione del sistema (vedi capitolo 13)

## 11.2 Analisi della domanda di calore

### 11.2.1 Nuovi edifici

Il **fabbisogno annuale di calore per il riscaldamento degli ambienti** dovrebbe essere calcolato secondo la norma EN ISO 52016 [107]. Se necessario, si dovrebbero consultare altre norme e linee guida nazionali equivalenti. I guadagni di calore dalla radiazione solare, dalle persone, dagli apparecchi elettrici e da altri sono presi in considerazione in questo standard.

Il calcolo del **fabbisogno annuale di calore per l'acqua calda sanitaria** è di solito basato su un determinato uso standard. Oltre alla Tabella 11.2, si possono consultare a questo scopo le norme e le linee guida nazionali pertinenti (vedi capitolo 19).

Il **fabbisogno standard di capacità termica per il riscaldamento degli ambienti** dovrebbe essere calcolato secondo la norma EN 12831-1 [108]. Altri standard nazionali equivalenti e linee guida possono anche essere usati per il calcolo. I guadagni di calore dalla radiazione solare, dalle persone, dagli apparecchi elettrici e da altri non sono considerati in questo standard. Per compensare gli effetti del riscaldamento intermittente, può essere presa in considerazione una capacità di riscaldamento aggiuntiva. Senza capacità di riscaldamento supplementare, si ottiene un valore medio su 24 ore senza tenere conto dei guadagni di calore.

Il valore medio del fabbisogno di capacità termica per l'**acqua calda sanitaria** è calcolato dividendo il fabbisogno di calore per l'acqua calda per il numero di ore di riscaldamento (funzionamento invernale) o 8.760 ore (funzionamento annuale). Il valore di picco del fabbisogno di capacità termica per l'acqua calda deriva dal carico collegato dello scaldacqua. Dato che in genere si usano scaldacqua ad accumulo con un circuito prioritario, di solito è sufficiente dividere il fabbisogno annuale di calore per l'acqua calda per 4.000-6.000 ore. Se si utilizzano scaldacqua istantanei o a flusso o stazioni di acqua dolce, il numero di ore di funzionamento a pieno carico può dover essere ridotto. Questo tiene conto di un carico

di picco più alto del valore medio teorico, perché il carico di picco in certi giorni può essere più alto del valore medio e dipende dal giorno della settimana e dalla stagione.

La **richiesta di temperatura** risulta dalla progettazione della capacità termica e dalla preparazione dell'acqua calda sanitaria. La progettazione dei radiatori, del riscaldamento a pavimento e degli scambiatori di calore è di solito basata sulle specifiche del produttore.

### 11.2.2 Edifici esistenti

Il calcolo del **fabbisogno totale di calore annuale** è di solito basato sul precedente consumo di energia finale (per esempio il precedente consumo di olio da riscaldamento) e il grado di utilizzo del precedente generatore di calore. Da questo, viene fatta una suddivisione in riscaldamento degli ambienti, acqua calda sanitaria e processi (vedi Tabella 11.1). Non è consigliabile selezionare la capacità in base ai sistemi di caldaie precedentemente installati, prendere il fabbisogno di energia e capacità dall'attestato di prestazione energetica o affidarsi a una stima approssimativa e non professionale.

Se non sono disponibili dati affidabili sul consumo passato o se non è possibile una divisione affidabile in riscaldamento degli ambienti, acqua calda sanitaria e processi, si dovrebbero fare delle misurazioni o una stima professionale.

Il metodo migliore per determinare la **domanda di capacità termica** è determinare le caratteristiche del carico con l'aiuto di misurazioni. Questo di solito comporta uno sforzo eccessivo per i piccoli consumatori di calore, ma è sicuramente raccomandato, specialmente per i grandi consumi di calore e per i sistemi di riscaldamento di processo. La pianificazione anticipata è importante in questi casi, poiché le misurazioni sono possibili solo se c'è tempo sufficiente e se è disponibile un sistema di generazione di calore funzionante.

L'esperienza ha dimostrato che i **calcoli della domanda di capacità termica** esistenti sono difficilmente disponibili o sono basati su metodi di calcolo obsoleti. I nuovi calcoli spesso falliscono a causa della mancanza di informazioni necessarie sulla struttura dettagliata dell'edificio.

La domanda di capacità termica è più spesso determinata dalla domanda di calore precedente:

- **Fabbisogno massimo di capacità termica per il riscaldamento degli ambienti:** Divisione del fabbisogno di capacità termica per un numero adeguato di ore di funzionamento a pieno carico (per la spiegazione e le limitazioni vedere il riquadro "Numero di ore di funzionamento a pieno carico per il riscaldamento degli ambienti")
- **Domanda media di calore per l'acqua calda:** Divisione del fabbisogno di calore per il numero di ore di riscaldamento (funzionamento invernale) o 8.760 ore (funzionamento annuale). Per tenere conto di un ca-

rico di picco più elevato rispetto al valore medio teorico, il fabbisogno annuale di calore per l'acqua calda viene solitamente diviso per 4.000-6.000 ore.

- Capacità termica richiesta per il **calore di processo**: Divisione del fabbisogno di calore per un numero adeguato di ore di funzionamento a pieno carico, che deve essere determinato o stimato individualmente, tenendo conto dei tempi di funzionamento, dei picchi di riscaldamento, delle pause, della riduzione notturna e dei fine settimana. Va notato che nello strumento Excel per la valutazione del fabbisogno e la selezione del sistema appropriato, il calore di processo viene considerato come media delle ore di funzionamento all'anno (valori medi giornalieri). Così, i picchi di potenza massima non sono presi in considerazione. In alcuni casi, questa informazione da sola non è sufficiente per il dimensionamento del sistema.

È possibile stimare la **richiesta di temperatura** solo sulla base dei sistemi di fornitura di calore esistenti come il riscaldamento a pavimento, il riscaldamento a radiatori o gli scaldabagni. Tuttavia, si raccomanda di effettuare misurazioni della temperatura presso le singole utenze di calore durante le temperature esterne fredde e di estrapolare le coppie di valori misurati (temperatura di mandata/ritorno, temperatura esterna) ai valori di progetto.

Le prossime **misure di risparmio energetico** devono essere rilevate nel corso della valutazione della domanda e prese in considerazione nella domanda annuale di calore, nella domanda di capacità termica e nella domanda di temperatura.

#### Discussione relativa al numero di ore di funzionamento a pieno carico per il riscaldamento degli spazi

Il numero di ore di funzionamento a pieno carico per il riscaldamento degli ambienti [h/a] (chiamato anche "ore di funzionamento a pieno carico" o "ore di utilizzo completo") è il rapporto tra la domanda di energia utile per il riscaldamento degli ambienti in kWh/a e la domanda di capacità termica massima per il riscaldamento degli ambienti in kW. Il numero di ore di funzionamento a pieno carico dipende dalla curva di durata annuale della temperatura esterna nell'ubicazione del sistema, dal limite di riscaldamento e dalla dimensione della quota non dipendente dal tempo della domanda di capacità termica.

A seconda dello standard dell'edificio e del tipo di utilizzo, risultano altri valori, che a volte sono difficili da stimare, soprattutto nel caso di edifici non residenziali, a causa del funzionamento limitato e del riscaldamento, nonché delle temperature ambiente e dei carichi interni che differiscono da quelli degli edifici residenziali (vedi il confronto tra edifici residenziali e non residenziali nella Tabella 11.1). Di conseguenza, i numeri delle ore di funzionamento a pieno carico indicati

nella Tabella 11.2 si applicano solo agli **edifici residenziali esistenti** (riscaldamento degli spazi senza acqua calda) che sono stati costruiti prima del 1990 circa. Questi numeri di ore di funzionamento a pieno carico non possono essere applicati ai **nuovi edifici e agli** edifici residenziali esistenti molto ben isolati con limiti di riscaldamento < 15°C così come agli edifici non residenziali; qui risultano valori più bassi.

Il numero di ore di funzionamento a pieno carico è fondamentalmente inteso come un aiuto per la stima della capacità termica richiesta e per i controlli di plausibilità. Tuttavia, a seconda della situazione, della richiesta di potenza e dell'uso previsto, questo metodo non è sufficiente per una decisione di investimento e richiede un chiarimento più preciso della richiesta di potenza sulla base della EN 12831-1 [108], nel caso di edifici esistenti, con l'aiuto di misurazioni (vedi capitolo 11.2.1 e 11.2.2).

### 11.2.3 Area dell'edificio

Se non c'è un piano di costruzione esatto per le aree dell'edificio e quindi nessuna possibilità di calcolo, il **fabbisogno di calore** è determinato approssimativamente sulla base dell'area di riferimento energetico e del fabbisogno di riscaldamento specifico. Il fabbisogno di calore specifico dovrebbe essere impostato secondo lo standard di costruzione attuale e previsto per il futuro, ma in nessun caso troppo alto. Il fabbisogno di calore specifico per l'acqua calda sanitaria è usato nel calcolo secondo un uso standard.

Analogamente agli edifici esistenti, un calcolo della **domanda di capacità termica** è possibile a partire dalla domanda di calore (qui stimata). La **domanda di temperatura** è stimata sulla base dei sistemi di fornitura di calore previsti.

Tabella 11.1 Confronto tra edifici residenziali ed edifici non residenziali selezionati.

	Housing	Negozi e ristoranti	Hotel senza area benessere	Piscine coperte e aree spa negli hotel
<b>Problemi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calcolo della domanda di capacità termica senza guadagni di calore, ma questo viene preso in considerazione nello strumento Excel per la valutazione della domanda e la selezione del sistema appropriato</li> <li>Domanda di acqua calda sanitaria relativamente prevedibile e uniforme</li> <li>Nessun funzionamento limitato, o solo durante la notte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calcolo della domanda di capacità termica spesso inaffidabile</li> <li>Cifre spesso imprecise per i carichi di calore residuo</li> <li>Alto carico collegato al riscaldatore dell'aria</li> <li>Orari di funzionamento limitati in termini di giorno e settimana</li> <li>Il consumo di acqua calda domestica è alto nei ristoranti e basso nei negozi (ma varia a seconda del settore).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calcolo della domanda di capacità termica come nell'edilizia residenziale, ma i guadagni di calore non sono chiari</li> <li>È possibile un'ampia variazione dei tempi di funzionamento e delle occupazioni stagionali</li> <li>Alti picchi di acqua calda sanitaria che non si verificano nella normale costruzione residenziale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calcolo della domanda di capacità termica spesso inaffidabile</li> <li>Cifre spesso imprecise per i carichi di calore residuo</li> <li>Alti carichi collegati di scambiatori di calore per l'acqua del bagno</li> <li>Orari di funzionamento limitati in termini di giorno, settimana e anno</li> <li>Grande consumo giornaliero di acqua calda sanitaria con alti picchi di domanda</li> </ul>
<b>Riscaldamento dello spazio</b> Domanda specifica di calore	<p>Terra di mezzo / pianura</p> <p>Vecchio 100 kWh/(m<sup>2</sup>*a) Esistente 80 kWh/(m<sup>2</sup>*a) Nuovo 40 kWh/(m<sup>2</sup>*a)</p> <p>Regione di montagna</p> <p>Vecchio 120 kWh/(m<sup>2</sup>*a) Esistente 100 kWh/(m<sup>2</sup>*a) Nuovo 50 kWh/(m<sup>2</sup>*a)</p>	<p>Terra di mezzo / pianura</p> <p>Esistente 80 kWh/(m<sup>2</sup>*a) Nuovo 40 kWh/(m<sup>2</sup>*a)</p> <p>Regione di montagna</p> <p>Esistente 100 kWh/(m<sup>2</sup>*a) Nuovo 50 kWh/(m<sup>2</sup>*a)</p>	<p>Terra di mezzo / pianura</p> <p>Esistente 80 kWh/(m<sup>2</sup>*a) Nuovo 40 kWh/(m<sup>2</sup>*a)</p> <p>Regione di montagna</p> <p>Esistente 100 kWh/(m<sup>2</sup>*a) Nuovo 50 kWh/(m<sup>2</sup>*a)</p> <p>Valori inferiori possibili con interruzioni del funzionamento</p>	<p>Terra di mezzo / pianura</p> <p>Esistente 300 kWh/(m<sup>2</sup>*a) Nuovo 150 kWh/(m<sup>2</sup>*a)</p> <p>Regione di montagna</p> <p>Esistente 375 kWh/(m<sup>2</sup>*a) Nuovo 190 kWh/(m<sup>2</sup>*a)</p> <p>(compreso il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria e dell'acqua del bagno)</p>
Numero di ore di funzionamento a pieno carico	<p>Terra di mezzo / pianura</p> <p>Vecchio 2.000 h/a Esistente 2.000 h/a Nuovo 1.200 h/a</p> <p>Regione di montagna:</p> <p>Vecchio 2.500 h/a Esistente 2.500 h/a Nuovo 1.500 h/a</p>	<p>Terra di mezzo / pianura:</p> <p>Esistente 1.350 h/a Nuovo 800 h/a</p> <p>Regione di montagna</p> <p>Esistente 1.700 h/a Nuovo 1.000 h/a</p>	<p>Terra di mezzo / pianura</p> <p>Esistente 2.000 h/a Nuovo 1.200 h/a</p> <p>Regione di montagna</p> <p>Esistente 2.500 h/a Nuovo 1.500 h/a</p> <p>Valori inferiori possibili con interruzioni del funzionamento</p>	<p>Terra di mezzo / pianura</p> <p>Esistente 2.000 h/a Nuovo 1.200 h/a</p> <p>Regione di montagna</p> <p>Esistente 2.500 h/a Nuovo 1.500 h/a</p> <p>(compreso il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria e dell'acqua del bagno)</p>
Requisiti specifici di prestazione	<p>Terra di mezzo / pianura</p> <p>Vecchio 50 W/m Esistente 40 W/m Nuovo 30 W/m</p> <p>Regione di montagna</p> <p>Vecchio 50 W/m Esistente 40 W/m Nuovo 30 W/m</p>	<p>Terra di mezzo / pianura</p> <p>Esistente 60 W/m Nuovo 50 W/m</p> <p>Regione di montagna</p> <p>Esistente 60 W/m Nuovo 50 W/m</p>	<p>Terra di mezzo / pianura</p> <p>Esistente 40 W/m Nuovo 30 W/m</p> <p>Regione di montagna</p> <p>Esistente 40 W/m Nuovo 30 W/m</p> <p>Con interruzioni di attività pari a valori necessari</p>	<p>Terra di mezzo / pianura</p> <p>Esistente 150 W/m Nuovo 125 W/m</p> <p>Regione di montagna</p> <p>Esistente 150 W/m Nuovo 125 W/m</p> <p>(compreso il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria e dell'acqua del bagno)</p>
<b>Acqua calda</b> Domanda specifica di calore	<p>Casa unifamiliare (EFH): 15 - 20 kWh/(m<sup>2</sup>*a)</p> <p>Casa multifamiliare (MFH): 25 - 30 kWh/(m<sup>2</sup>*a)</p>	<p>Ristoranti valori più alti del residenziale 30 - 70 kWh/(m<sup>2</sup>*a)</p> <p>Negozi al dettaglio valori più bassi degli edifici residenziali: 5 - 15 kWh/(m<sup>2</sup>*a)</p>	<p>Valori significativamente più alti di MFH, ma forse compensati dalla bassa occupazione 30 - 50 kWh/(m<sup>2</sup>*a)</p>	<p>La preparazione dell'acqua calda domestica e il riscaldamento dell'acqua del bagno sono inclusi nelle cifre chiave elencate sopra.</p> <p>Con l'aiuto di queste cifre chiave, solo la domanda totale approssimativa può essere stimata.</p>
Numero di ore di funzionamento a pieno carico	<p>Non 8.760 h/a, poiché il consumo giornaliero varia; raccomandazione: 4.000 - 6.000 h/a</p>	<p>Valori più bassi rispetto all'edilizia residenziale (picchi di potenza più alti): 2.000 - 3.000 h/a</p>	<p>Valori più bassi rispetto all'edilizia residenziale (picchi di potenza più alti): 2.000 - 3.000 h/a</p>	

Requisiti specifici di prestazione	Casa unifamiliare (EFH): 5 W/m  Casa multifamiliare (MFH): 8 W/m	Ristoranti con valori più alti di quelli residenziali: 25 W/m  Negozi al dettaglio valori più bassi rispetto agli edifici residenziali: 5 W/m	La domanda specifica di acqua calda sanitaria è molto più alta che nella MFH: 15 - 25 W/m <sup>2</sup> .
------------------------------------	--	---	---

Tabella 11.2 Numero di ore di funzionamento a pieno carico per edifici residenziali esistenti (riscaldamento degli ambienti senza acqua calda). Questi numeri di ore di funzionamento a pieno carico possono non essere applicati agli edifici nuovi e agli edifici esistenti molto ben isolati termicamente con limiti di riscaldamento < 15° C e agli edifici non residenziali (note sull'applicazione nel box).

Posizione	Numero di ore di funzionamento a pieno carico per gli edifici residenziali Calcolato con l'aiuto dello strumento Excel per la valutazione della domanda e la selezione del sistema appropriato	Numero di ore di funzionamento a pieno carico per gli edifici residenziali Valori comuni utilizzati nei singoli paesi
Zurigo (CH)	2.050 h/a *	2.000 - 2100 h/a *
Davos (CH)	2.800 h/a *	2.600 - 3.000 h/a *
Locarno-Monti (CH)	1.800 h/a *	1.700 - 1.900 h/a *
Università di Graz (AT)	1.900 h/a **	1.800 - 1.875 h/a ***
Tamsweg (AT)	2.350 h/a **	1.766 - 1.840 h/a ***
Centro città di Vienna (AT)	1.700 h/a **	1.714 - 1.813h/a ***
Monaco-Aeroporto (DE)	2.050 h/a **	1.913 h/a ****
Karlsruhe (DE)	1.750 h/a **	1.611 h/a ****

\* Valori empirici a lungo termine dalla Svizzera. Le cifre sono in parte specificate nelle ordinanze cantonali sull'energia.

\*\* Le cifre per l'Austria e la Germania sono state calcolate esclusivamente sulla base della curva di durata annuale utilizzando lo strumento Excel per la valutazione della domanda e la selezione appropriata del sistema sulla base dei valori svizzeri. Questi valori dovrebbero essere usati solo come cifre comparative in Germania e Austria.

\*\*\* Fonte: Handbook for Energy Consultants, JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH, edizione ottobre 1994.

Fonte: Recknagel/Sprenger/Hönnmann, Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 1990/1991.

## 11.3 Richiesta di calore dell'intero sistema

### 11.3.1 Determinazione della capacità termica richiesta

Quando si determina la capacità termica necessaria dell'intero sistema dalle cifre dei singoli consumatori di calore, spesso sorgono i seguenti problemi:

- La capacità termica richiesta per l'intero sistema risulta da una miscela di valori calcolati con **margini di sicurezza** più o meno grandi e valori reali misurati senza margini di sicurezza.
- La domanda standard di capacità termica per il riscaldamento degli ambienti, calcolata secondo la norma EN 12831-1 [108], è basata su una temperatura esterna standard. Al contrario, le caratteristiche di carico determinate sulla base di misurazioni si riferiscono a **temperature esterne reali**.
- La capacità termica standard richiesta per il riscaldamento degli ambienti, calcolata secondo la norma EN 12831-1 [108], non tiene conto dei **guadagni di calore interni ed esterni** dovuti alla radiazione solare, alle persone o agli apparecchi elettrici, ecc. Al contrario, le caratteristiche di carico determinate in base alle misurazioni tengono correttamente conto dei guadagni di calore.
- Per stimare la domanda di capacità termica per il riscaldamento degli spazi negli edifici esistenti a partire dalla domanda di calore, è necessario un numero

di ore di funzionamento a pieno carico, che dipende dalla curva di durata annuale della temperatura esterna nel luogo in cui si trova l'impianto, dalla temperatura della stanza, dal limite di riscaldamento e dalla dimensione del componente non dipendente dal tempo. **Quale numero di ore di funzionamento a pieno carico** dovrebbe essere usato?

- Il calcolo delle **capacità di riscaldamento aggiuntive** per compensare gli effetti del riscaldamento intermittente (ad esempio il riscaldamento del lunedì mattina in un edificio per uffici dopo un funzionamento ridotto nel fine settimana) spesso non viene considerato.
- Le caratteristiche di carico misurate possono essere create per diversi casi di carico regredendo i valori medi giornalieri a valori medi di 1 ora. Bisogna notare che i carichi di picco determinati in base alle misurazioni non dipendono solo dal consumo di calore, ma anche dal generatore di calore (possibile sovradimensionamento o sottodimensionamento) e dalla posizione del punto di misurazione.
- **Le curve di carico determinate tramite misurazione mostrano spesso una quota considerevole non dipendente dalle condizioni atmosferiche della domanda di potenza di riscaldamento.** Come si dovrebbe tener conto di questa quota non dipendente dalle condizioni atmosferiche della domanda di capacità termica per il riscaldamento degli spazi nei nuovi edifici?
- Il valore medio della **domanda di capacità di calore per l'acqua calda sanitaria** (domanda annuale di calore per l'acqua calda divisa per 8.760 ore) è qualcosa di completamente diverso dal valore di picco

della domanda di capacità di calore per l'acqua calda (carico collegato dello scaldabagno). Il consumo di acqua calda varia spesso di giorno in giorno e dipende dal giorno della settimana e dalla stagione.

#### Domande a cui rispondere

Per determinare le cifre dell'intero impianto da una miscela di calcoli e valori reali misurati nel modo più realistico possibile, bisogna rispondere alle seguenti domande:

- Come si tiene conto dei guadagni di calore nei nuovi edifici?
- Qual è il numero appropriato di ore di funzionamento a pieno carico per determinare il fabbisogno di capacità termica per il riscaldamento degli spazi sulla base del precedente fabbisogno termico degli edifici esistenti?
- Come si dovrebbe prendere in considerazione la quota non dipendente dal clima della domanda di capacità termica per il riscaldamento degli spazi?
- In che misura si tiene conto delle capacità di riscaldamento aggiuntive per compensare gli effetti del riscaldamento intermittente nel sistema complessivo?
- A quale temperatura esterna si riferisce il sistema totale?

### 11.3.2 Domanda di potenza termica indicata come caratteristica di carico

La rappresentazione del fabbisogno di capacità termica come caratteristica di carico con temperature esterne il più possibile reali richiede un supporto empirico ed è emerso dall'esperienza pratica con le misurazioni nelle ristrutturazioni e negli ampliamenti di grandi sistemi di servizi per edifici. Il grande vantaggio è che la combinazione di materiale numerico dai calcoli del consumo energetico precedente e dalle misurazioni può essere presentata chiaramente. Questo metodo è implementato e applicato nello strumento Excel per la valutazione della domanda e la selezione del sistema appropriato di QM Holzheizwerke [104].

Il metodo si basa sulle seguenti considerazioni fondamentali:

- Il riscaldamento degli ambienti, l'acqua calda sanitaria e i processi devono essere considerati separatamente per ogni consumatore di calore.
- Per gli edifici residenziali standard, nel calcolo viene utilizzato il valore medio giornaliero per la capacità termica richiesta per il riscaldamento degli ambienti. L'esperienza e numerose misurazioni dimostrano che il riscaldamento degli ambienti richiesto negli edifici residenziali ad una certa temperatura esterna (anche media giornaliera) può essere fornito in qualsiasi punto entro 24 ore - in "pacchetti", per così dire. È sufficiente che l'equilibrio sia di nuovo corretto dopo 24 ore. I cosiddetti arretramenti notturni sono quindi quasi impercettibili nei normali edifici residenziali. Questo è particolarmente vero per gli edifici residenziali costruiti dopo il 1985 e per gli edifici più vecchi

che sono stati rinnovati termicamente. In caso di temperature esterne molto basse, le riduzioni notturne possono anche essere disattivate, se necessario!

- Casi speciali come i sistemi con funzionamento ridotto nel fine settimana e possibili sistemi di ventilazione ad aria fredda sono progettati - il più moderatamente possibile - per i carichi di punta.
- Nel caso di scaldacqua ad accumulo con scambiatori di calore interni o esterni, la capacità termica richiesta per il riscaldamento dell'acqua viene presa in considerazione come il valore medio più alto che si verifica, e non come valore di picco. I sistemi sono per lo più gestiti con circuiti prioritari per l'acqua calda sanitaria (priorità della caldaia).
- Per gli scaldacqua a flusso continuo (stazioni d'acqua dolce) senza accumulatore di riserva, il fabbisogno di capacità termica per la preparazione di acqua calda sanitaria viene considerato come valore di picco. Per i sistemi con accumulatore di riserva, il fabbisogno di capacità termica può anche essere preso in considerazione come il valore medio più alto che si verifica. Si deve tener conto del volume dell'accumulatore di riserva e della questione se gli impianti funzionano con circuiti prioritari per l'acqua calda sanitaria (priorità della caldaia) o meno.
- I fattori di sicurezza e i supplementi di carico di punta sono presi in considerazione per i singoli consumatori di calore e devono essere giustificati in modo plausibile. Ogni edificio è quindi utilizzato il più realisticamente possibile nel calcolo complessivo, così che i fattori di concorrenza non sono generalmente richiesti. Tuttavia, fattori di concorrenza moderati non sono "vietati" (vedi capitolo 12.2.5). Usando le ipotesi fatte per i clienti e i margini di sicurezza, ci sarà sempre un certo equilibrio.
- La rappresentazione è fatta come una caratteristica di carico dell'intero sistema. Per il riscaldamento dello spazio, si distingue tra una quota dipendente dalle condizioni atmosferiche e una quota non dipendente dalle condizioni atmosferiche. Questa è indipendente dalle componenti non dipendenti dalle condizioni atmosferiche per la capacità termica richiesta per l'acqua calda sanitaria e il calore di processo, nonché dalle perdite di distribuzione del calore.
- La capacità media delle perdite di distribuzione del calore della rete di teleriscaldamento è calcolata sulla base delle specifiche del produttore.

Un grande vantaggio del metodo attraverso la caratteristica di carico è che la curva di durata annuale della domanda di capacità termica può essere calcolata da essa con l'aiuto della curva di durata annuale della temperatura esterna.

#### Caratteristica di carico

La caratteristica di carico è la rappresentazione della domanda di capacità termica in funzione del valore medio giornaliero della temperatura esterna. Per la temperatura esterna si deve sempre utilizzare il valore medio delle 24 ore, mentre il fabbisogno di capacità termica può essere un valore medio giornaliero (ad esempio per gli edifici residenziali) o un valore di picco (ad esempio per gli edifici bancari). La caratteristica di

carico dell'intero sistema risulta dalla sovrapposizione di diverse caratteristiche di carico (vedi Figura 11.1).

**Curva di durata annuale della temperatura esterna**

La linea di durata annuale della temperatura esterna è la rappresentazione della frequenza cumulativa della temperatura esterna come numero di giorni all'anno. Dalla Figura 11.2 per esempio, si può leggere che la temperatura esterna media giornaliera di 10 anni a Zurigo era inferiore a 4 °C in 100 giorni.

**Curva di durata annuale della domanda di capacità termica**

La curva di durata annuale della domanda di capacità di calore risulta dalla caratteristica di carico ponderata e dalla curva di durata annuale della temperatura esterna. Dalla Figura 11.3 per esempio, si può vedere che la domanda di calore supera gli 880 kW in 50 giorni. La domanda di calore per questi 50 giorni risulta dall'area sotto la curva.

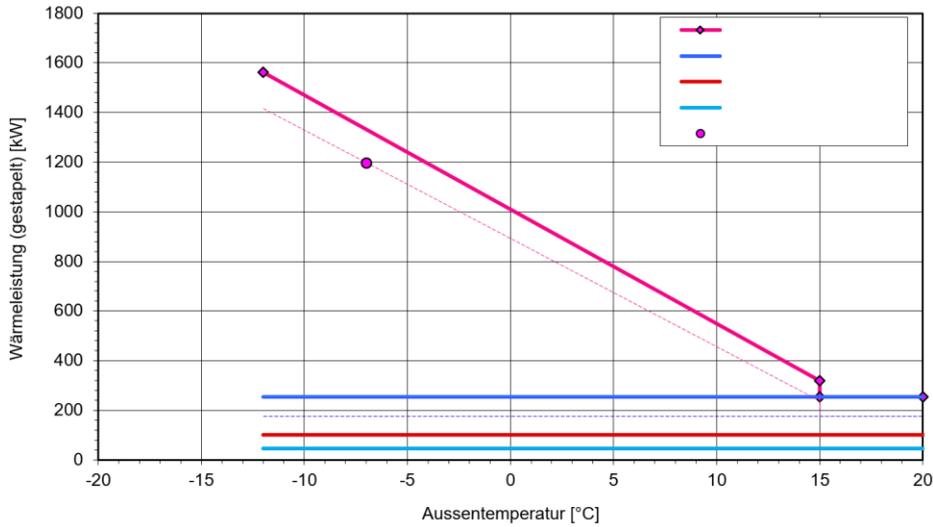


Figura 11.1 Caratteristica di carico dell'intero sistema (linea solida) e caratteristica di carico ponderata (linea tratteggiata) per il calcolo della curva di durata annuale della capacità termica richiesta.

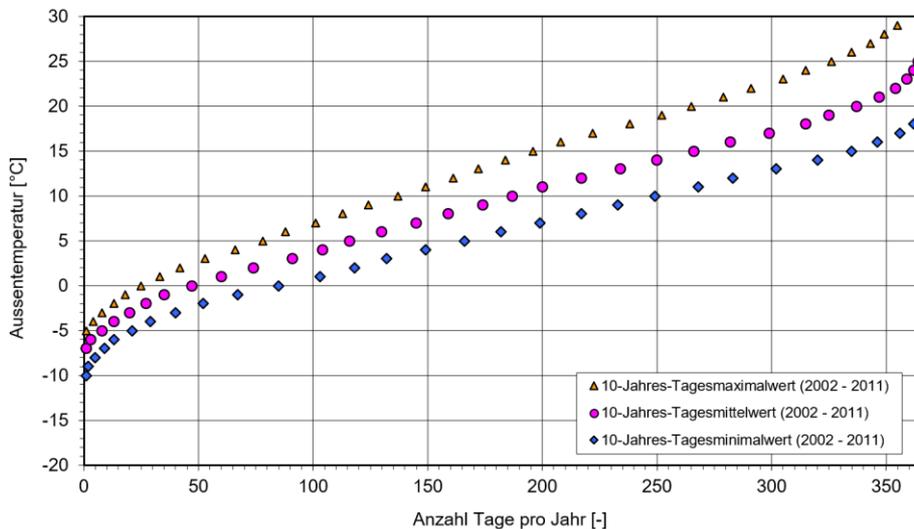


Figura 11.2 Curve annuali di durata della temperatura esterna per il sito di Zurigo-Fluntern (media decennale 2002-2011).

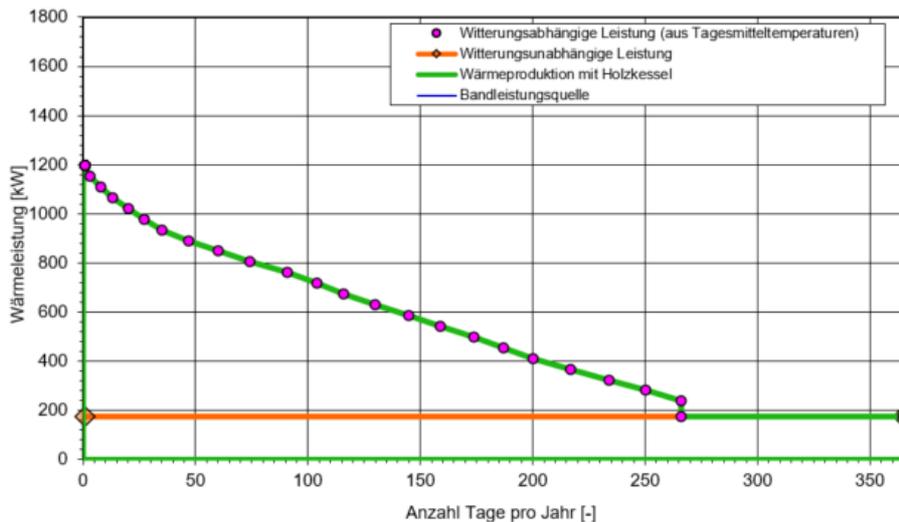


Figura 11.3 Curva di durata annuale della capacità termica richiesta, inquadrata in verde è la quantità annuale di energia prodotta con la biomassa.

### 11.4 Analisi delle fonti di calore

Oltre al legno, altre fonti di calore rinnovabili sono sempre più utilizzate per raggiungere in futuro un approvvigionamento di calore completamente rinnovabile e neutrale dal punto di vista del CO (vedi capitolo 1.3.2). Per la biomassa gli impianti di teleriscaldamento con reti di calore sono un punto di partenza ideale per rendere utilizzabili le fonti di calore disponibili a livello regionale.

Di conseguenza, oltre all'analisi della domanda di calore e della strategia di approvvigionamento del legno (vedi capitoli 11.212.2.1), la situazione delle fonti di calore disponibili (a livello locale) deve essere analizzata in una prima fase di pianificazione. L'accento è posto sulla neutralità del CO, sulla disponibilità e sull'efficienza economica nell'utilizzo della fonte di calore.

Nell'analisi è utile anche una strategia energetica esistente (per esempio un piano generale dell'energia), che definisce quali fonti di energia devono essere utilizzate per gli edifici, i quartieri o le aree di fornitura più grandi.

Preferibilmente, le fonti di energia locali sono usate per prime. Solo in una fase successiva dovrebbero essere considerate le fonti di energia non locali. Le fonti di energia locali sono caratterizzate dal fatto che non possono essere facilmente trasportate, ma sono solitamente disponibili in abbondanza, come l'acqua dei fiumi e dei laghi o il calore dei rifiuti industriali. Le fonti di energia non locali, d'altra parte, possono essere facilmente trasportate e immagazzinate, ma non sono disponibili ovunque in ogni momento (per esempio il legno e l'energia solare).

Già durante l'analisi iniziale delle fonti di calore disponibili, devono essere raccolti i dati sulle condizioni situazionali, il potenziale disponibile in termini di capacità e quantità di energia, nonché le rispettive caratteristiche speciali della fonte di calore, come la disponibilità temporale / profilo di carico, la controllabilità o il livello di temperatura.

Sulla base di questi dati, può essere fatta una priorità e una preselezione dei vettori energetici/fonti di calore, che saranno considerati nell'ulteriore selezione del sistema di generazione del calore (vedi capitolo 13).

## 11.5 Integrazione nel processo del progetto QM per impianti DI TELERISCALDAMENTO a biomassa

Come descritto nel capitolo 2, il monitoraggio della qualità secondo il QM per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa richiede che venga effettuato un controllo di plausibilità per ogni consumatore di calore e per l'intero sistema utilizzando lo **strumento Excel per la valutazione della domanda e la selezione appropriata del sistema** [104]. È richiesto il calcolo di cifre chiave e curve caratteristiche. Il Q-manager confronta poi queste cifre chiave e curve caratteristiche con le informazioni della letteratura selezionata e con i propri valori empirici.

La valutazione della domanda, la selezione del sistema appropriato e l'uso dello strumento Excel è un processo iterativo. Nel processo del progetto QM per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa, una valutazione della domanda e una selezione appropriata del sistema è richiesta al più tardi nella Milestone 2 nella fase di pianificazione del design. Questo viene aggiornato nella Milestone 3, quando il progetto di gara è pronto, e ripetuto

nella Milestone 5 dopo l'ottimizzazione operativa. Nella Milestone 4, se accettata, la valutazione della domanda e la selezione del sistema appropriato dovrebbero essere controllate e la documentazione dell'impianto dovrebbe essere aggiornata.

Con ogni pietra miliare, il livello di informazione aumenta, ma i gradi di libertà diminuiscono di conseguenza. Mentre un cambiamento nella pietra miliare 2 spesso significa solo un tratto di matita, nelle pietre miliari 4 e 5 l'impianto è in costruzione e un errore di valutazione è corrispondentemente costoso.

La Tabella 11.3 fornisce una panoramica dello stato della valutazione della domanda e della selezione del sistema appropriato per le singole pietre miliari e può essere usata come una lista di controllo. Anche se la colonna "Generazione di calore" è solo l'oggetto della successiva selezione del sistema (vedi capitolo 13), è già trattata qui per motivi di chiarezza.

Tabella 11.3 Panoramica e lista di controllo dello stato della valutazione della domanda e della selezione del sistema appropriato nelle singole pietre miliari.

Pietra miliare	Consumatori di calore	Rete di riscaldamento	Generazione di calore in generale	Generazione di calore con il legno
<b>2</b> Pianificazione del design	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Una lista di potenziali consumatori di calore è disponibile, e almeno il 70% dei potenziali clienti dovrebbe aver firmato una dichiarazione di intenti.</li> <li><input type="checkbox"/> Per i nuovi edifici, i dati di pianificazione sul calore, la capacità termica e le esigenze di temperatura sono disponibili (con vari gradi di precisione a seconda dello stato di avanzamento del progetto).</li> <li><input type="checkbox"/> I dati precedenti sul consumo di combustibile sono disponibili per gli edifici esistenti.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> È disponibile una pianta del sito con l'ubicazione dell'impianto di riscaldamento centrale e i tubi di derivazione segnati, le linee di derivazione e i collegamenti della casa.</li> <li><input type="checkbox"/> La rete di teleriscaldamento è progettata in base alle dimensioni in termini di diametri nominali (non c'è ancora un calcolo preciso della rete di tubi e delle perdite di carico).</li> <li><input type="checkbox"/> Le perdite di distribuzione del calore sono state determinate in termini di dimensioni sulla base della densità di calore lineare.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Il calore necessario, la capacità termica e la richiesta di temperatura sono noti (vedi colonna "Consumatori di calore").</li> <li><input type="checkbox"/> Sono stati consultati i piani e le strategie energetiche nazionali, regionali o comunali.</li> <li><input type="checkbox"/> Le fonti di calore disponibili per la selezione sono state analizzate in termini di caratteristiche, disponibilità ed efficienza economica.</li> <li><input type="checkbox"/> La selezione del sistema (mix energetico, tipo e numero di sistemi di generazione di calore) è stata fatta.</li> <li><input type="checkbox"/> L'assegnazione della capacità ai sistemi di generazione di calore è stata fatta.</li> <li><input type="checkbox"/> Il modo di funzionamento in estate e in inverno è fisso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Il calore necessario, la capacità termica e la richiesta di temperatura sono noti (vedi colonna "Consumatori di calore").</li> <li><input type="checkbox"/> La gamma di combustibile e la sua disponibilità sono state chiarite.</li> <li><input type="checkbox"/> La selezione del sistema (tipo di combustione, monovalente/bivalente, numero di caldaie) è stata fatta.</li> <li><input type="checkbox"/> L'assegnazione della potenza alle caldaie è stata fatta.</li> <li><input type="checkbox"/> Il modo di funzionamento in estate e in inverno è fisso.</li> </ul>
<b>3</b> Progetto di gara	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> La lista dei consumatori di calore per la prima fase di espansione e l'espansione finale è stata determinata.</li> <li><input type="checkbox"/> All'inizio della costruzione, almeno il 60 % del fabbisogno annuale di calore <sup>1)</sup> deve essere garantito da contratti di fornitura di calore firmati.</li> <li><input type="checkbox"/> Per i nuovi edifici, sono disponibili gli ultimi dati di pianificazione sul fabbisogno di calore, capacità termica e temperatura.</li> <li><input type="checkbox"/> Per gli edifici esistenti, sono stati controllati i dati precedenti sul consumo di combustibile e la domanda di temperatura è disponibile in modo affidabile (se possibile sulla base di misurazioni).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> L'ubicazione dell'impianto di riscaldamento centrale e il percorso delle tubature principali, di derivazione e di collegamento alle abitazioni sono stati determinati in modo definitivo.</li> <li><input type="checkbox"/> La progettazione finale della rete di teleriscaldamento in termini di dimensioni nominali e perdite di carico è completa.</li> <li><input type="checkbox"/> Le perdite di distribuzione del calore sono state calcolate sulla base del progetto definitivo della rete.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> La fonte di calore è stabilita ed è disponibile una concessione corrispondente, un contratto di fornitura di combustibile o un documento equivalente.</li> <li><input type="checkbox"/> La generazione di calore è specificata o è disponibile una descrizione con schema di principio, descrizione funzionale, concetto di misurazione, ecc.</li> <li><input type="checkbox"/> Lo schema di principio finale con uscite, temperature e portate registrate è disponibile.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> La gamma di combustibile è fissata e c'è un contratto di fornitura di combustibile corrispondente.</li> <li><input type="checkbox"/> Il circuito standard è specificato o è disponibile una descrizione equivalente con schema di principio, descrizione funzionale, concetto di misurazione, ecc.</li> <li><input type="checkbox"/> Lo schema di principio finale con uscite, temperature e portate registrate è disponibile.</li> </ul>
<b>4</b> Accettazione	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> L'elenco dei consumatori di calore è stato aggiornato.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> I cambiamenti dovuti alla pianificazione dell'implementazione sono stati aggiornati nella documentazione dell'installazione.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> I cambiamenti dovuti alla pianificazione dell'implementazione sono stati aggiornati nella documentazione dell'installazione.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> I cambiamenti dovuti alla pianificazione dell'implementazione sono stati aggiornati nella documentazione dell'installazione.</li> </ul>
<b>5</b> Ottimizzazione del funzionamento	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> L'ottimizzazione operativa è stata completata.</li> <li><input type="checkbox"/> La lista dei consumatori di calore effettivamente collegati nel primo anno di funzionamento è stata compilata.</li> <li><input type="checkbox"/> Il consumo effettivo di calore, la potenza di picco necessaria e la richiesta di temperatura dei consumatori di calore secondo l'elenco sono noti.</li> <li><input type="checkbox"/> È stato fatto un confronto tra l'effettivo potenziale di espansione rimanente e i possibili ulteriori consumatori di calore (con l'intenzione di connettersi).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> L'ottimizzazione operativa è completata.</li> <li><input type="checkbox"/> Le modifiche apportate nel corso dell'ottimizzazione operativa sono state aggiornate nella documentazione del sistema.</li> <li><input type="checkbox"/> Le perdite di calore effettive della rete di teleriscaldamento nel primo anno di funzionamento sono note.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> L'ottimizzazione operativa è stata completata.</li> <li><input type="checkbox"/> Le modifiche apportate nel corso dell'ottimizzazione operativa sono state aggiornate nella documentazione del sistema.</li> <li><input type="checkbox"/> L'utilizzo effettivo degli impianti di generazione di calore è noto (numero di ore di funzionamento a pieno carico).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> L'ottimizzazione operativa è stata completata.</li> <li><input type="checkbox"/> Le modifiche apportate nel corso dell'ottimizzazione operativa sono state aggiornate nella documentazione del sistema.</li> <li><input type="checkbox"/> L'utilizzo effettivo delle caldaie è noto (numero di ore di funzionamento a pieno carico).</li> </ul>

	<input type="checkbox"/> Se necessario, è stato creato un concetto per la pubblicità di ulteriori consumatori di calore.			
--	--	--	--	--

<sup>1)</sup> Il QM per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa basa il valore sulle vendite annuali di calore della prima fase di costruzione o dei primi cinque anni di funzionamento.

I requisiti esterni (ad esempio le agenzie di finanziamento) possono discostarsi da questo valore e dovrebbero essere chiariti in una fase iniziale.

## 12 Design della distribuzione del calore

### 12.1 Introduzione

I capitoli 2e 11 spiegano in dettaglio la procedura di progetto per il monitoraggio della qualità con QM per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa e la valutazione della domanda e la selezione del sistema appropriato in generale. Il capitolo 12 fornisce una panoramica dei requisiti generali per la progettazione della distribuzione del calore, nonché le cifre e i termini chiave più importanti. Per maggiori dettagli si rimanda al Manuale sulla pianificazione delle reti di teleriscaldamento [17].

Come mostrato nella Figura 8.1 Struttura della rete e una rete di riscaldamento è composta da uno o più impianti di riscaldamento centrale, una o più tubature principali, una o più tubature di derivazione e le tubature di collegamento alle abitazioni. Poiché una rete di riscaldamento è un progetto infrastrutturale costoso con una lunga vita di servizio, le modifiche successive sono difficili da implementare e associate a costi elevati - lo stesso vale per rimediare a difetti, come perdite o rottura di tubi. A causa della lunga durata di vita, si deve fare un attento equilibrio tra una riserva di espansione previdente con maggiori costi di investimento e perdite di calore e un dimensionamento stretto della linea. Questo difficile compito deve essere affrontato in base alla situazione e con una previsione strategica. In caso di colli di bottiglia di capacità, ci sono opzioni di ottimizzazione come la gestione del carico, l'accumulo di calore decentralizzato, l'abbassamento della temperatura di ritorno, l'integrazione di generatori di calore decentralizzati o il collegamento ad anello. Nel caso di una rete di riscaldamento sovradimensionata, invece, non ci sono quasi opzioni di ottimizzazione se non la vendita di più calore.

La distribuzione del calore o la progettazione della rete di calore è un processo iterativo e intersettoriale e deve essere considerato olisticamente come un sistema con valutazione della domanda, selezione del sistema ed espansione della rete in fasi.

Le seguenti spiegazioni e le cifre chiave considerano la terza generazione di distribuzione del calore con temperature dell'acqua calda < 110 °C, tubi di plastica preisolati interrati e collegati in modo permanente e stazioni di trasferimento indiretto compatte (vedi [17], pagina 65 e seguenti). Il capitolo finale 12.5 si occupa dell'ulteriore sviluppo della tecnologia delle reti di teleriscaldamento, che è caratterizzata da livelli di temperatura più bassi e da un aumento della complessità dovuto all'integrazione di diversi sistemi.

## 12.2 Cifre e termini chiave

### 12.2.1 Area di approvvigionamento potenziale

Gli strumenti e i metodi descritti di seguito per identificare le potenziali aree di approvvigionamento servono come aiuto per la valutazione iniziale e la valutazione approssimativa in uno studio di fattibilità (vedi anche il capitolo 11). Una pianificazione dettagliata è obbligatoria per una decisione di investimento.

Oltre alla stima convenzionale delle aree di fornitura potenziali, sono sempre più disponibili fonti di informazione digitali come strumenti GIS, mappe catastali o simili, che offrono dati sulla domanda di riscaldamento e raffreddamento così come altre informazioni utili. Questi includono, per esempio, il seguente software gratuito basato sul web (vedi anche Figura 12.1):

- THERMOS ([Link](#)) è usato per pianificare e ottimizzare le reti di teleriscaldamento secondo i requisiti specifici dell'utente e del progetto come il budget, il clima e gli obiettivi energetici. Con THERMOS, sono possibili una mappatura istantanea e stime integrate della domanda di energia.
- Hotmaps-Toolbox ([Link](#)) e PETA 5.1 ([Link](#)) supportano autorità, società di servizi energetici e pianificatori nella pianificazione strategica del riscaldamento e del raffreddamento a livello locale, regionale e nazionale. I due strumenti contengono dati per la stima della domanda di riscaldamento e raffreddamento nelle regioni europee (le mappe calde includono Svizzera e Norvegia).
- Da map.geo.admin.ch ([Link](#)) c'è un software simile a Hotmaps-Toolbox per la Svizzera. Contiene dati per stimare la domanda di riscaldamento e raffreddamento. Inoltre, più di 1.000 reti termiche esistenti sono mappate.

Per una stima della densità della domanda di calore in una zona di fornitura di calore, la domanda annuale di calore per il riscaldamento degli ambienti, l'acqua calda sanitaria e il calore di processo dei singoli edifici può anche essere stimata approssimativamente. A questo scopo vengono utilizzati i seguenti metodi, che sono descritti più in dettaglio nel capitolo 6.4.2 del Manuale sulla pianificazione delle reti di teleriscaldamento [17]

- Stima della domanda annuale di calore attraverso l'area di riferimento energetico EBF e la qualità dell'edificio.
- Stima della domanda annuale di calore attraverso il volume e la qualità dell'edificio.

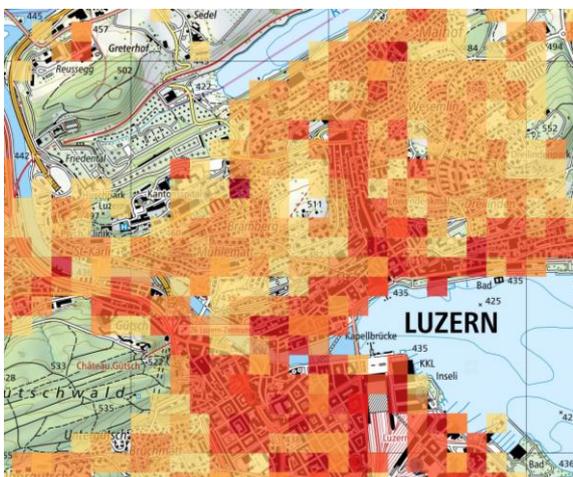
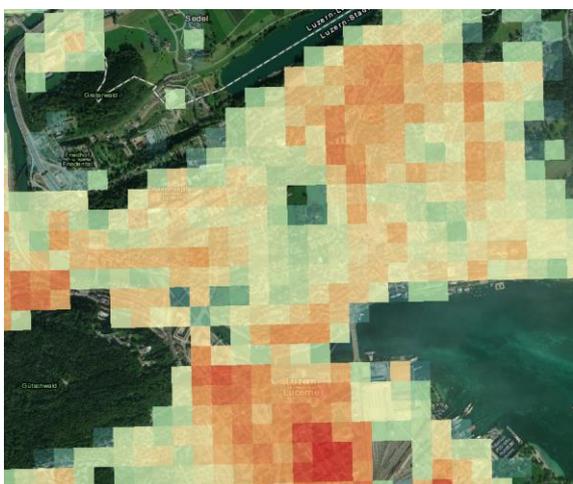


Figura 12.1 Sezione di mappa da THERMOS (in alto), Hotmaps toolbox (al centro) e map.geo.admin.ch (in basso) per la città di Lucerna (CH). I campi colorati rappresentano diversi valori di domanda di riscaldamento e raffreddamento.

### 12.2.2 Densità della domanda di calore

La densità della domanda di calore è un criterio di idoneità di un'area di fornitura per la connessione a una rete di teleriscaldamento. Mette in relazione il consumo annuale di calore di tutti gli edifici di un'area con la superficie totale del territorio. Si raccomanda di utilizzare la Tabella 12.1 Densità di domanda di calore per la valutazione della densità della domanda di calore.

Tabella 12.1 Densità di domanda di calore raccomandata per una zona come criterio di idoneità.

Idoneità alla rete di calore	Densità della domanda di calore kWh/(m <sup>2</sup> *a)
Non adatto	< 50
Condizionatamente adatto	50 - 70
Adatto	> 70

#### Dichiarazioni sulla densità della domanda di calore

- I quartieri di case monofamiliari non sono generalmente interessanti (densità di domanda di calore 15 - 30 kWh/(m<sup>2</sup>\*a)).
- Aree con una costruzione densa, come quartieri di case plurifamiliari, centri di villaggi o città, di interesse.
- La densità di approvvigionamento di calore e l'efficienza economica di una rete di riscaldamento possono essere migliorate se i grandi consumatori situati nella zona (clienti chiave) sono integrati come priorità.
- Una rete di riscaldamento per un singolo grande consumatore è di solito interessante solo se anche le aree circostanti hanno un'alta densità di approvvigionamento di calore.
- Una rete di calore può anche essere creata solo per pochi grandi consumatori, a condizione che una densità di approvvigionamento di calore adeguata risulti dalla corrispondente vicinanza locale.
- Con bassi costi di investimento e di combustibile o basse perdite di calore (alto standard di isolamento, basse temperature di alimentazione), le aree con una densità di domanda di calore inferiore a 70 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) possono essere economicamente collegate al teleriscaldamento.

### 12.2.3 Clienti chiave

Oltre alla densità di approvvigionamento di calore come misura dell'idoneità di una zona, le proprietà con un grande consumo di calore, chiamate anche clienti chiave, sono essenziali per il funzionamento economico di una rete di teleriscaldamento.

Un sondaggio iniziale dei clienti chiave dovrebbe chiarire l'interesse per la connessione e fornire dati di pianificazione. Spesso, i dati adatti non sono disponibili per gli

edifici esistenti o le strutture speciali, specialmente per le industrie con calore di processo, o è costoso raccogliarli. Per mantenere bassi i costi, nello studio preliminare, si dovrebbero usare inchieste verbali e stime qualificate.

### 12.2.4 Grado di sviluppo

In una potenziale area di approvvigionamento, è raro che tutti gli edifici siano collegati. Soprattutto nel caso di nuovi sviluppi di aree di approvvigionamento più grandi, per esempio in uno studio di fattibilità o preliminare, il fabbisogno annuale di calore in un'area deve essere preso in considerazione con il cosiddetto grado di sviluppo o di allacciamento. Il grado di connessione dovrebbe essere considerato a seconda della situazione e può essere compreso tra il 50% e l'80%.

### 12.2.5 Fattore di concorrenza

Per il dimensionamento della rete di distribuzione del calore deve essere preso in considerazione anche un fattore di concorrenza. In una rete con molti consumatori di calore, questo fattore descrive l'effetto che in nessun momento tutti i consumatori di calore assorbono la massima potenza simultaneamente, ed è calcolato dalla massima richiesta di capacità di calore che si verifica simultaneamente in relazione alla richiesta totale di capacità di calore sottoscritta.

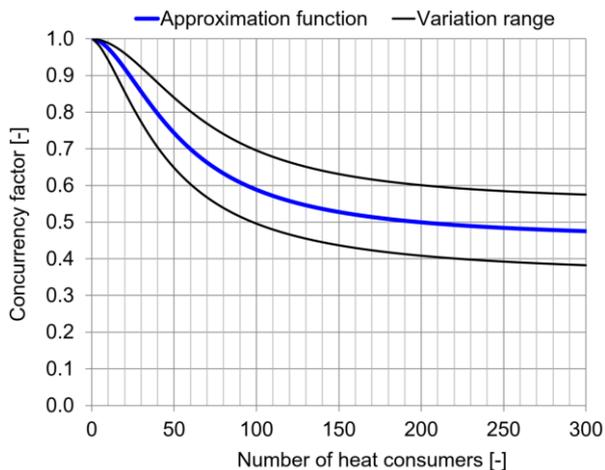


Figura 12.2 Funzione di prossimità e intervallo di dispersione per l'approssimazione del fattore di concorrenza basato sul numero di clienti connessi (vedi [17]).

La Figura 12.2 Funzione di mostra il fattore di concorrenza come **funzione di approssimazione in funzione** del numero di clienti. Di conseguenza, con 10-20 clienti, ci si può aspettare una simultaneità di circa il 95 % nell'intervallo tra l'85 % e il 100 %. Per connessioni con più di 100 consumatori di calore, si può supporre una simultaneità di circa il 60 %.

Il fattore decisivo per determinare la simultaneità è la **struttura della clientela**. I consumatori permanenti di calore di processo portano ad una maggiore simultaneità rispetto, per esempio, ad un quartiere di case monofami-

liari. Una domanda di calore temporanea o stagionale riduce la simultaneità, mentre i carichi di punta stagionali portano a fattori di concorrenza maggiori, per esempio durante la stagione delle vacanze nelle località di sport invernali con la massima occupazione di hotel e appartamenti di vacanza. La stima della simultaneità si basa su una profonda conoscenza della struttura e dell'esperienza dei consumatori.

Quando si utilizza lo **strumento Excel per la valutazione della domanda e la selezione appropriata del sistema** QM per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa, va notato che non viene utilizzato alcun fattore di concorrenza, poiché la progettazione del generatore di calore si basa su una domanda media giornaliera di energia, il che significa che l'effetto descritto è già preso in considerazione, analogamente al fattore di concorrenza.

### 12.2.6 Densità di connessione

Si presume che le reti di teleriscaldamento siano economicamente efficienti se le entrate derivanti dalla vendita di calore superano i costi di produzione del calore, sia in termini di capitale che di costi operativi. Un indicatore importante per stimare l'efficienza economica è la densità di connessione (chiamata anche densità di calore lineare). La densità di connessione è il rapporto tra la quantità annuale di calore venduto in MWh/a e la lunghezza totale in trincea delle condutture principali, delle diramazioni e dei collegamenti alle abitazioni in metri. Come la densità della domanda di calore, anche la densità di calore lineare può essere calcolata per singole sottoreti o diramazioni e utilizzata per la valutazione.

Per una valutazione approssimativa senza una conoscenza più dettagliata delle condizioni al contorno, le aree di fornitura con una densità di calore lineare > 2 MWh/(a\*m) sono generalmente considerate attraenti nell'espansione finale e con un funzionamento durante tutto l'anno. Le condizioni generali come le entrate dalla vendita di calore, i costi di combustibile favorevoli, le basse perdite di calore (alto standard di isolamento, basse temperature di rete) o le condizioni di costruzione favorevoli, così come le sovvenzioni agli investimenti, permettono un funzionamento economico anche con densità di collegamento inferiori.

La connessione di piccoli consumatori nelle vicinanze o lungo un percorso è generalmente auspicabile e normalmente non critica in termini di densità di connessione. Tuttavia, se un piccolo consumatore si trova lontano dalla prossima conduttura principale o diramazione, si riduce la densità di connessione, per cui una connessione corrispondente può essere poco attraente e deve essere esaminata in base alla situazione. L'allacciamento può essere legato a un contributo ai costi di allacciamento supplementari o a un prezzo del calore maggiorato.

Spiegazioni più dettagliate sono descritte nel Handbook on Planning of District Heating Networks [17] nel capitolo 6.4.4.

### 12.2.7 Costi di investimento specifici

I costi specifici della distribuzione di calore mostrano una vasta gamma e sono determinati principalmente dalle condizioni di costruzione, dal tipo di tubo, dai prezzi locali, dal progresso dello sviluppo e dalla densità di connessione.

Nelle aree rurali, i costi per la posa di tubi di teleriscaldamento sono generalmente inferiori a quelli delle aree urbane. Nelle aree urbane, le tubature di servizio esistenti, le strutture degli edifici, le condizioni del sottosuolo, gli alti costi di ricostruzione (asfaltatura, pavimentazione, ecc.) e le difficili condizioni del traffico impediscono un percorso ottimale dei tubi, il che a volte causa notevoli costi aggiuntivi.

Se il valore target dei costi d'investimento specifici non può essere raggiunto in un monitoraggio della qualità secondo il QM per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa, possono essere concordati valori più alti in consultazione con l'investitore e i fornitori di capitale. In questo caso, deve essere esaminato come i costi d'investimento specifici più alti della distribuzione del calore influenzino la redditività economica a lungo termine, specialmente per quanto riguarda possibili aumenti di prezzo, per esempio a causa di prezzi più alti del combustibile. In entrambi i casi, la redditività economica dovrebbe essere dimostrata con un business plan e un bilancio preventivo e un conto economico preventivo. Spiegazioni più dettagliate sono descritte nel capitolo 10.

### 12.2.8 Perdite nella distribuzione del calore

Le perdite di distribuzione del calore sono, come la densità di connessione, un parametro importante che influenza l'efficienza economica. Dipendono dai seguenti fattori:

- Dimensionamento delle condutture
- Prestazioni dell'isolamento delle condutture (valore U)
- Livello di temperatura di mandata e ritorno
- Profilo di temperatura durante il funzionamento (costante, scorrevole o a scorrimento costante)
- Densità di connessione
- Durata del funzionamento (funzionamento annuale o stagionale).

In funzione, le perdite di distribuzione del calore sono determinate come la differenza tra la quantità di calore fornita alla rete di teleriscaldamento dalla generazione di calore e la quantità di calore prelevata da tutti i clienti collegati (vedi Handbook on Planning of District Heating Networks [17] capitolo 7.1.4). Le perdite di distribuzione del calore possono essere considerate in termini assoluti o relativi, di solito in relazione alla quantità di calore immessa nel sistema. In termini relativi, le perdite di calore in estate sono significativamente più alte che in inverno, mentre in termini assoluti la differenza è quasi trascurabile.

La Figura 12.3 mostra le perdite relative (percentuali) annuali di distribuzione del calore in funzione della densità di calore lineare per diverse modalità operative e temperature di flusso. Per ragioni di efficienza, secondo il QM per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa, le perdite di distribuzione del calore non dovrebbero superare un valore obiettivo del 10 % della domanda di calore utile. Per raggiungere il valore obiettivo secondo la Figura 12.3 devono essere raggiunte diverse densità di connessione a seconda della modalità di funzionamento, del livello di temperatura e dei costi di investimento.

In una rete di riscaldamento in funzione, le perdite relative di distribuzione del calore possono essere ridotte in primo luogo aumentando la densità di connessione (compressione), il che migliora l'efficienza economica complessiva.

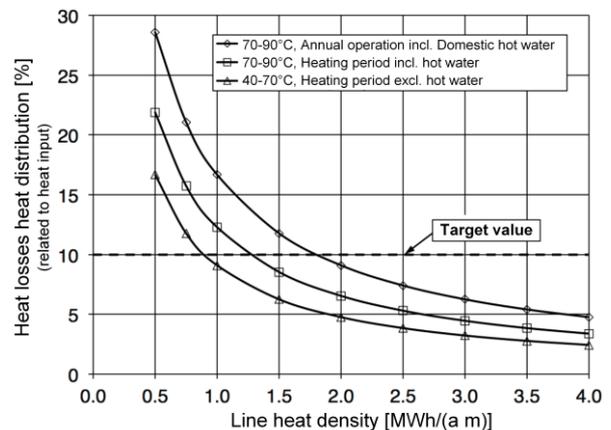


Figura 12.3 Perdite di distribuzione del calore in funzione della densità di calore lineare per diverse modalità operative e livelli di temperatura di flusso della rete di riscaldamento.

### 12.2.9 Deviazione dai criteri di efficienza

Come già descritto nel capitolo 12.2.6, la costruzione e le condizioni operative convenienti permettono un funzionamento economico di una rete di riscaldamento anche con densità di connessione inferiori.

Quando si considera il calore residuo inevitabile (per esempio processi e industria), ci sono anche obiettivi contrastanti in termini di efficienza (basse perdite di distribuzione del calore) e di economicità (investimenti ridotti). Dato che le fonti di calore residuo spesso non si trovano nelle immediate vicinanze dei clienti allacciati, sarebbe sensato permettere densità di allacciamento più basse anche per l'utilizzo del calore residuo, per esempio accettando perdite di calore più elevate per il collegamento o la linea di trasporto.

A questo punto non è possibile dare una risposta definitiva o una raccomandazione a questa domanda. In linea di principio, tuttavia, dovrebbe essere possibile, in determinate circostanze, consentire requisiti di efficienza inferiori, a condizione che l'uso si basi su un'applicazione ri-

spettosa delle risorse e principalmente su 2fonti di energia neutrali rispetto al CO. La valutazione dovrebbe quindi essere sempre fatta su base situazionale e adattata alle rispettive condizioni quadro da parte del legislatore, all'accettazione da parte della popolazione e altro.

### **12.3 Procedura del progetto**

Una rete di riscaldamento comprende la generazione di calore, la distribuzione di calore e la cessione di calore ai clienti. La seguente descrizione del processo di progetto include i compiti di pianificazione per la distribuzione del calore dalla generazione di calore fino alla consegna del calore ai clienti, ed è descritta in dettaglio nel capitolo 6 del Manuale sulla pianificazione delle reti di teleriscaldamento [17]. Viene fatta una distinzione di base tra una fase di pianificazione e una fase operativa.

La Tabella 12.2 elenca le fasi di pianificazione e le attività e i compiti corrispondenti. Il dimensionamento dei diametri dei tubi è trattato nel prossimo capitolo.

Tabella 12.2 Fasi e attività di pianificazione secondo il Manuale sulla pianificazione delle reti di teleriscaldamento (vedi [17], pagina 103 e seguenti).

Fase di pianificazione	Attività / Compito
Pre-studio	Determinare la potenziale area di fornitura di calore Determinare i clienti chiave Aggiornare l'area di fornitura del calore Primo studio di fattibilità economica Decisione per un ulteriore sviluppo
Pianificazione del design	Specificare i clienti chiave Sondaggio tra i piccoli clienti Determinare l'area di fornitura del calore Seconda analisi di efficienza economica Decisione sull'attuazione
Tender pianificazione	Progettazione della rete di calore Specifiche stazioni di trasferimento Permesso di costruzione Gara d'appalto e presentazione Terza analisi della redditività Aggiudicazione, esecuzione e accettazione

## 12.4 Dimensionamento dei diametri dei tubi

I diametri dei tubi sono sempre dimensionati sulla base della perdita di pressione specifica per metro di lunghezza del tubo in Pa/m. La Figura 12.4 mostra le raccomandazioni per le velocità di flusso massime secondo ÖKL-Merkblatt 67 [98] e secondo l'associazione svedese per il teleriscaldamento [74]. Per confronto, sono disegnate le velocità di flusso corrispondenti a una perdita di pressione specifica costante di 100, 200 e 300 Pa/m [110].

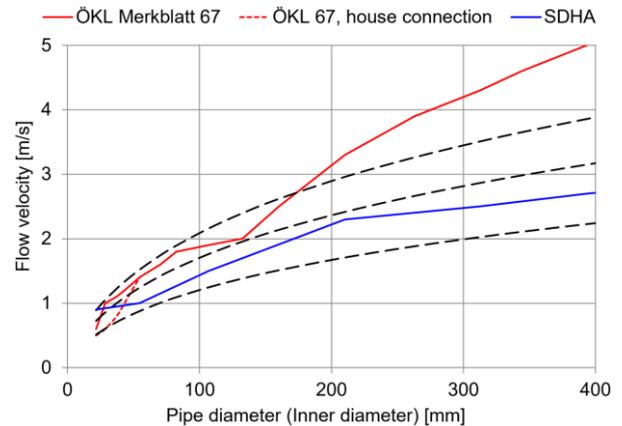


Figura 12.4 Velocità di flusso in funzione del diametro interno del tubo con le raccomandazioni per la massima velocità di flusso secondo ÖKL-Merkblatt67 [98] e la Swedish District Heating Association [74]. Inoltre, sono mostrate le velocità di flusso a perdite di carico specifiche costanti di 100, 200 e 300 Pa/m [110].

### Risultati del sondaggio pratico

Un'indagine pratica su 52 reti di teleriscaldamento ha mostrato che circa l'80% dei tubi principali e secondari erano più grandi di quanto sarebbe stato effettivamente necessario [110]. Il sovradimensionamento di solito corrisponde a uno o due, ma in alcuni casi fino a quattro diametri nominali, e provoca perdite di calore e costi significativamente più elevati rispetto a una rete di riscaldamento con il più piccolo diametro possibile dei tubi.

### 12.4.1 Raccomandazioni per il dimensionamento

Il dimensionamento dei diametri dei tubi si basa sull'espansione finale prevista o attesa. A causa della lunga durata di vita, una considerazione strategica a lungo termine è indispensabile, ma anche associata a incertezze e difficoltà corrispondenti. Un attento equilibrio deve essere raggiunto tra un potenziale di espansione precauzionale con costi di investimento e perdite di calore maggiori e un dimensionamento generalmente stretto delle tubazioni.

Inoltre, è necessario prendere in considerazione la scelta appropriata del sistema di tubi e gli standard di isolamento, la pressione nominale, le situazioni e i metodi di installazione, nonché la trasmissione dei dati e il monitoraggio delle perdite. Inoltre, ci sono specifiche di temperatura statica e operativa dei tubi, come la temperatura operativa continua in inverno e la temperatura di ritorno prevista.

Sulla base delle condizioni limite sopra elencate, i diametri dei tubi sono dimensionati secondo le seguenti raccomandazioni:

- Rugosità del tubo idraulico  $k \leq 0,01$  mm

- Progettazione di singole sottocondutture per una caduta di pressione specifica da 250 Pa/m a 300 Pa/m
- Variabile di controllo per sezioni di condutture più lunghe con diversi diametri nominali (ad es. nodo critico) con una caduta di pressione specifica media da 150 Pa/m a 200 Pa/m

Per una prima stima e dimensionamento, le capacità di trasmissione a diversi intervalli di temperatura e perdite di carico specifiche sono mostrate graficamente per diversi sistemi di tubi nel Manuale sulla pianificazione delle reti di teleriscaldamento (vedi [17], pagina 191 e seguenti).

### 12.4.2 Procedura di dimensionamento

La procedura di dimensionamento della rete di riscaldamento è descritta in dettaglio nel capitolo 7.3 del Manuale sulla pianificazione delle reti di teleriscaldamento (vedi [17], pagina 130 e seguenti e tabelle di progettazione a pagina 191 e seguenti).

Il punto di partenza è un piano di conduttura o un diagramma di conduttura in cui i tubi sono divisi in sezioni. Una sezione è definita come un tubo senza una diramazione e un cambio di diametro nominale. Per la progettazione, le seguenti informazioni devono essere definite per le sezioni:

- Numerazione della sezione
- Capacità termica della sezione
- Flusso della sezione
- Lunghezza della sezione
- Resistenze individuali della sezione (considerazione dei cambiamenti di direzione e degli infissi)
- Primo dimensionamento del tubo della sezione.

Importante: La determinazione del diametro nominale ottimale è un processo iterativo.

### 12.4.3 Metodi di calcolo

Il calcolo della perdita di pressione e il conseguente dimensionamento della conduttura può essere fatto in diversi modi, sia a mano con l'aiuto di tabelle, grafici e moduli per il calcolo della rete di tubazioni, sia utilizzando programmi di calcolo speciali.

Esiste un gran numero di programmi di calcolo per le reti di tubazioni disponibili a questo scopo (per esempio dalla tecnologia di costruzione e installazione). Alcuni di essi servono solo per calcolare le perdite di pressione, come ad esempio lo strumento Excel per le perdite di pressione della Scuola universitaria professionale di Lucerna ([Link](#)).

Ci sono anche programmi di calcolo più completi specificamente per applicazioni di teleriscaldamento che sono adatti al calcolo di grandi reti di riscaldamento. Questi hanno spesso interfacce complete per importare ed esportare dati (per esempio dati GIS) e coprono tutti gli aspetti del calcolo relativi al teleriscaldamento come la perdita di pressione, la perdita di calore, il nodo critico, il dimensionamento, l'ottimizzazione, l'analisi della rete e

altri. Ci sono una varietà di programmi di calcolo disponibili in commercio come:

- Rete CE di FrieTec GmbH ([Link](#))
- STANET dell'ufficio di ingegneria Fischer-Uhrig ([Link](#))
- ROKA GS del centro informatico per le reti di approvvigionamento Wehr GmbH ([Link](#))
- SIR-3S di 3S-Consult GmbH ([Link](#))
- THENA di Verenum AG ([Link](#))

La maggior parte dei programmi ha valori preimpostati (ad esempio per la rugosità dei tubi), ma questi non dovrebbero essere usati senza un'attenta verifica. Tutti i parametri di calcolo rilevanti sono di solito liberamente configurabili e dovrebbero sempre essere attentamente controllati e impostati.

## 12.5 Sviluppi nella tecnologia delle reti di calore

Le **classiche reti di teleriscaldamento** trasferiscono il calore dalla fonte (generatore di calore) con temperature di mandata > 60 °C e talvolta fino a > 150 °C al sink (consumatori di calore) [74] e sono chiamate "reti ad alta temperatura"

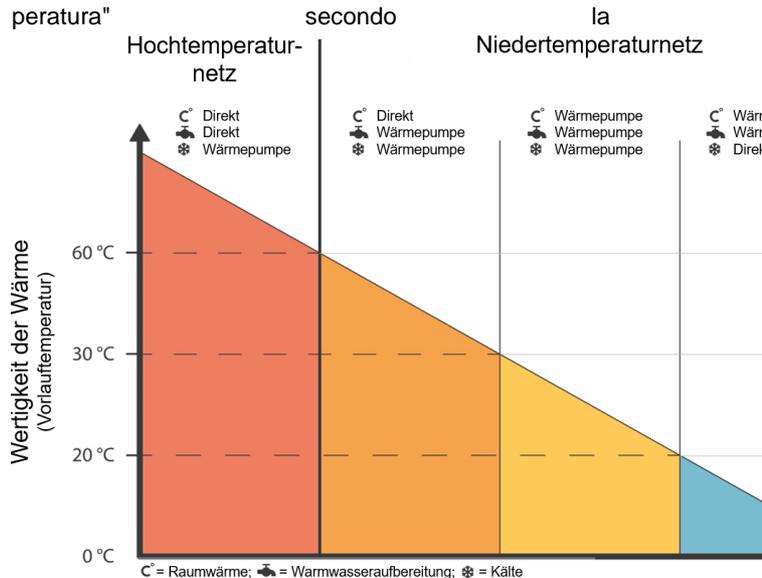


Figura 12.5. Servono ad alimentare gli edifici con il riscaldamento degli spazi e l'acqua calda sanitaria, nonché i processi.

Le **reti a bassa temperatura** si riferiscono a reti per lo scambio di calore che funzionano a temperature inferiori a 60 °C. Questo permette la fornitura diretta per il riscaldamento degli spazi fino a un limite inferiore di circa 30 °C. Le pompe di calore decentralizzate sono necessarie per la preparazione dell'acqua calda sanitaria. A

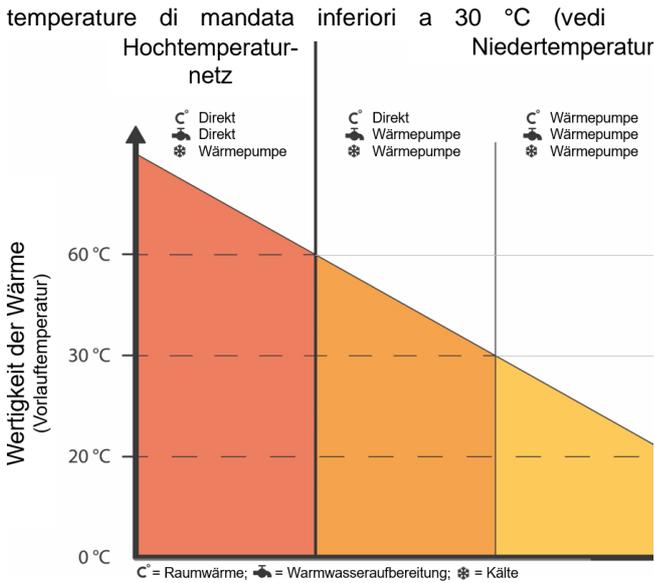
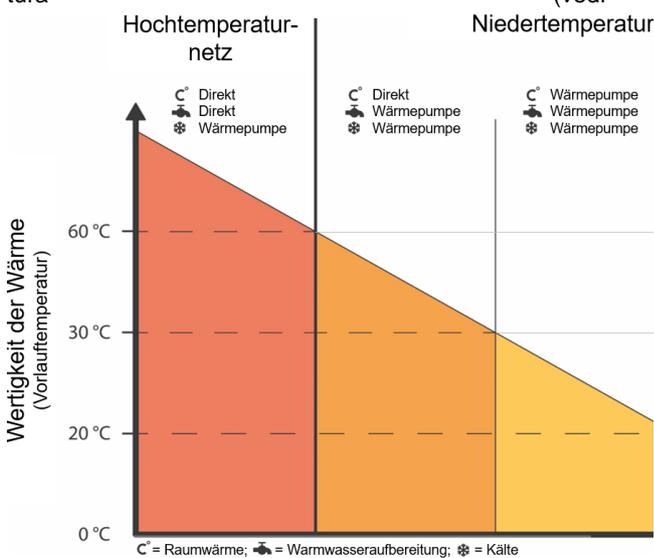


Figura 12.5), le pompe di calore decentralizzate sono necessarie sia per il riscaldamento degli ambienti che per la preparazione dell'acqua calda sanitaria. Le reti a bassa temperatura possono essere utilizzate anche come sorgente per le pompe di calore decentralizzate che alimentano a valle le reti di distribuzione convenzionali ad alta temperatura.

A temperature inferiori a 20 °C, la rete può anche servire come un dissipatore di calore e quindi fornire raffreddamento. In quest'ultimo caso, l'applicazione è anche chiamata "teleraffreddamento". Le applicazioni per la distribuzione di calore al di sotto dei 30 °C sono talvolta chiamate anche "teleriscaldamento freddo" o "rete anergica". Poiché "rete anergica" è fisicamente impreciso, questo termine non viene utilizzato in questo documento.

Le **reti termiche** servono come termine generico per le reti di trasferimento del calore a tutti i livelli di temperatura (vedi



Rete a bassa temperatura

Figura 12.5). Come descritto sopra, si differenziano in base alla **temperatura di flusso**. Inoltre, ci sono anche diverse **modalità di funzionamento** per quanto riguarda la direzione del flusso dell'acqua (direzionale o non direzionale) e il flusso di energia nel sistema (unidirezionale o bidirezionale; vedi [111]).

La tendenza nello sviluppo della tecnologia del teleriscaldamento, specialmente anche per le reti esistenti ad alta temperatura, è verso temperature di sistema più basse per consentire una distribuzione del calore efficiente e a bassa perdita, per aumentare l'efficienza e il rendimento delle fonti di calore rinnovabili e per sviluppare nuove fonti di calore a bassa temperatura. Tuttavia, quali temperature di sistema e quale tecnologia di rete vengono scelte dipende molto dalle fonti di calore disponibili e dalle condizioni quadro del rispettivo progetto. Di conseguenza, le reti a bassa temperatura non sono sempre più adatte di quelle ad alta temperatura.

Le tipiche fonti di calore fossili per la fornitura di teleriscaldamento (impianti di cogenerazione fossili, caldaie a gas) non saranno più disponibili come fonti di calore nel medio termine. Altre fonti di calore ad alta temperatura per il teleriscaldamento, come il calore di scarto della cogenerazione dei rifiuti e gli impianti di riscaldamento e di cogenerazione a legna, in futuro saranno sempre più integrate da altre **fonti di energia rinnovabile** e da altre fonti di calore di scarto:

- Calore ambientale come fonte di calore per pompe di calore centrali e decentralizzate per il riscaldamento o come dissipatore di calore per il raffreddamento passivo degli edifici (free cooling) con l'uso di:
  - Acqua di superficie (laghi e fiumi)
  - Acque sotterranee (varie profondità)
  - Energia geotermica (in particolare scambiatori di calore da foro).
- Calore residuo da varie fonti di energia, comprese le centrali termiche, i processi industriali alimentati da combustibili fossili o elettrici, nonché il calore residuo degli impianti di refrigerazione, degli edifici e delle acque reflue e, a seconda della regione, anche delle centrali geotermiche.
- Combustibili fossili (per i picchi di carico e la ridondanza, limitati in futuro)

Inoltre, l'aria ambiente e la radiazione solare sono disponibili come fonti di calore. Per le pompe di calore, le fonti di calore diverse dall'aria (per esempio l'acqua di mare o il calore geotermico) sono più efficienti per le temperature e le rese richieste. A seconda della regione e delle condizioni generali, l'energia solare termica è già utilizzata in varie forme e il suo uso continuerà ad aumentare.

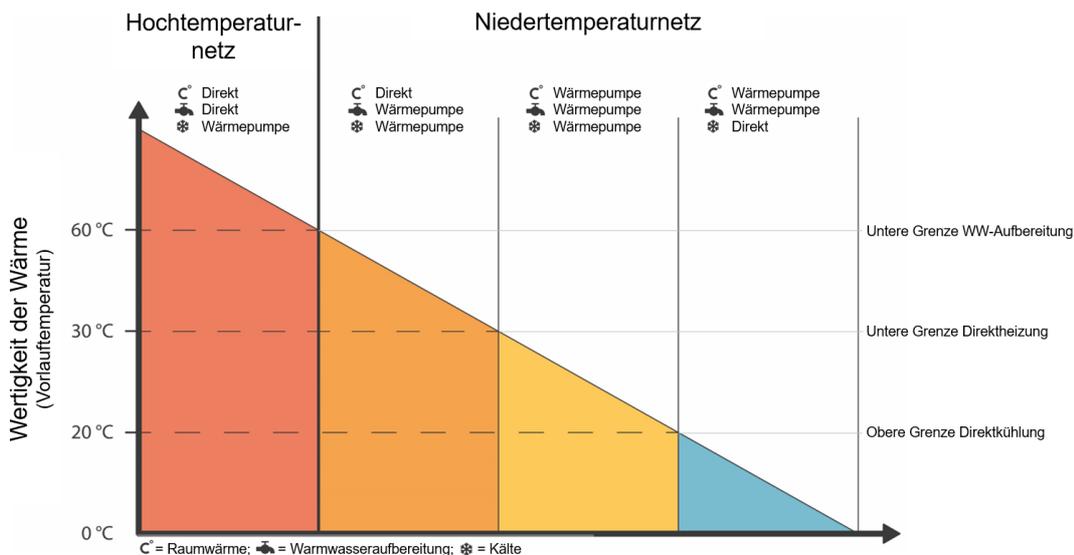


Figura 12.5 Classificazione delle reti termiche in funzione della temperatura di flusso (secondo [111] con aggiunte).

L'energia da biomassa come risorsa rinnovabile continuerà a svolgere un ruolo importante e di supporto nell'approvvigionamento di calore del futuro grazie alla sua disponibilità regionale, immagazzinabilità e flessibilità (vedi capitolo 1.3.2). I vantaggi particolari delle basse temperature della rete di calore si presentano per gli impianti di teleriscaldamento da biomassa grazie alle ridotte perdite di trasmissione e soprattutto in combinazione con la condensazione dei gas di scarico, dove si possono ottenere rendimenti significativamente più elevati a basse temperature di fornitura (vedi capitolo 13).

Gli impianti di teleriscaldamento a biomassa possono essere integrati in concetti a bassa temperatura in un'ampia varietà di modi. Per esempio, l'utilizzo del calore in cascata può essere ottenuto disaccoppiando il calore dal ritorno per le sottoreti a bassa temperatura. Al contrario, una fonte di calore a bassa temperatura può essere integrata in una rete di calore attraverso una tubazione di trasporto a bassa temperatura e una pompa di calore centrale.

Ci sono molti progetti attuali e pianificati per l'ulteriore sviluppo di concetti e tecnologie nel settore delle reti termiche. Alcuni di questi sono impianti pilota e dimostrativi, che non sono sempre completamente sviluppati per il mercato o sono troppo specializzati. L'obiettivo del QM per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa e di questo manuale di pianificazione è un funzionamento efficiente, a risparmio di risorse e a basse emissioni degli impianti di teleriscaldamento a biomassa e delle reti termiche. Su questa base, i seguenti principi generali possono essere formulati per le reti termiche e l'interazione di diverse fonti di calore rinnovabili:

- Uso migliore possibile e con risparmio di risorse di tutte le fonti di calore disponibili a livello regionale
- Uso delle fonti locali prima di quelle non locali
- Configurazione del sistema e dimensionamento dei singoli generatori di calore e degli accumulatori di

calore fatti in modo che tutte le fonti di calore funzionino in condizioni operative ottimali e ammissibili (capacità, temperatura).

- Minimizzare le perdite di calore nella rete di riscaldamento

Non appena gli impianti di teleriscaldamento a biomassa fanno parte di un sistema complessivo, i principi e le raccomandazioni di questo manuale di pianificazione per un funzionamento efficiente e a basse emissioni delle caldaie a biomassa dovrebbero essere applicati mutatis mutandis o per quanto possibile (vedi capitolo 13.7). Inoltre, dallo stato attuale delle conoscenze non è possibile ricavare raccomandazioni generalmente valide su quali concetti siano sostenibili e quali no. Si può presumere che, dato il gran numero di concetti, non tutti avranno successo a lungo termine.

Per analizzare la situazione attuale, circa 1000 reti sono state registrate nel programma "Reti termiche" di SwissEnergy ([Link](#), [112]). Oltre a due reti di teleriscaldamento classiche, l'analisi descrive anche sette casi di studio di reti termiche con temperature di mandata inferiori a 40 °C ([Download](#) [113]). Il "Low-Temperature District Heating Implementation Guidebook" dell'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA) [114] offre ulteriore letteratura sul tema delle reti a bassa temperatura e un gran numero di esempi dimostrativi.

## 13 Selezione del sistema di generazione di calore

### 13.1 Introduzione

Dopo che importanti dati di base come la produzione annuale di calore e la domanda totale di capacità termica sono noti dalla valutazione della domanda e dalla progettazione della distribuzione di calore, il capitolo 13 si occupa della progettazione della generazione di calore. A seconda della domanda totale di calore e della distribuzione desiderata della domanda di calore tra i generatori di calore, viene scelta una variante base dei sistemi di generazione di calore. L'inclusione di altre fonti di calore rinnovabili e di sistemi di generatori di calore rinnovabili, l'uso di misure di aumento dell'efficienza e le possibilità di combinare calore ed energia (CHP) dovrebbero anche essere esaminate. La scelta dei generatori di calore influenza a sua volta la progettazione del sistema di riscaldamento, l'idraulica e il sistema del camino. Le questioni legali, la sicurezza, la protezione dal rumore e i requisiti di emissione devono essere garantiti.

### 13.2 Confronto ecologico con altre fonti di calore

#### 13.2.1 Panoramica

Quando si sceglie un sistema di riscaldamento oggi, la compatibilità ambientale o la sostenibilità sono sempre in primo piano, così come i costi. Anche se una valutazione precisa e generalmente valida della compatibilità ambientale non è possibile, sono disponibili vari parametri e metodi che possono essere utilizzati per un confronto qualitativo di diverse varianti nel quadro della pianificazione del sistema.

Se si deve valutare solo l'influenza locale, per esempio sul rumore o sull'aria dell'ambiente, si possono effettuare indagini corrispondenti sul funzionamento del sistema. Nel caso della qualità dell'aria, è utile un confronto delle emissioni di diversi sistemi di riscaldamento. I fattori di emissione (vedi capitolo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) per i singoli tipi di impianti sono raccolti dalle autorità ambientali, aggiornati regolarmente e, per esempio, messi a disposizione in Svizzera dall'Ufficio federale dell'ambiente nel "Factsheet on Emission Factors for Furnaces" [115].

Per una valutazione più dettagliata, tuttavia, gli effetti dei processi a monte e a valle come la costruzione dell'impianto, l'approvvigionamento del combustibile, il consumo di energia ausiliaria e lo smaltimento devono essere presi in considerazione durante l'intero processo e la durata prevista dell'impianto. Una valutazione completa viene effettuata utilizzando una valutazione del ciclo di vita (LCA).

Particolarmente importanti per la valutazione degli impianti energetici sono l'efficienza energetica e l'impatto climatico, che possono essere quantificati come segue:

- **Valutazione dell'efficienza energetica** (per lo più legata all'energia primaria):  
Domanda cumulativa di energia (per lo più indicata come fattore di energia primaria) e opzionalmente derivato da questo il periodo di ritorno dell'energia così come il fattore di raccolta dell'energia.
- **Valutazione dell'impatto climatico:**  
Determinazione delle emissioni totali di gas serra (CO<sub>2</sub> GHG equivalente)

Anche se la raccolta di questi dati richiede la contabilità del ciclo di vita, i dati ottenuti descrivono una singola entità fisica che può essere quantificata senza ponderazione soggettiva dei diversi effetti.

Se è richiesta una valutazione completa dei vari impatti ambientali, le singole aree ambientali possono essere valutate separatamente (ad esempio i "volumi critici" sotto forma di indicatori per il volume critico dell'aria, il volume critico dell'acqua, il volume dei rifiuti e l'equivalente energetico). In Germania, il metodo di valutazione degli "indicatori di impatto UBA" sviluppato dall'Agenzia Federale per l'Ambiente (UBA) è usato per questo scopo. Lo scopo di questo metodo è di classificare i vari impatti ambientali, il che richiede una valutazione soggettiva dei singoli impatti.

In altri metodi, gli impatti ambientali sono aggregati in un unico indicatore. Questo viene fatto, per esempio, utilizzando il "metodo della scarsità ecologica" usato in Svizzera per i cosiddetti "punti di impatto ambientale" (EIP), che richiede anche una ponderazione soggettiva dei singoli impatti ambientali. In Svizzera, la determinazione degli EIP è utilizzata per valutare la sostenibilità nel settore dell'edilizia. I dati corrispondenti sono messi a disposizione in una raccomandazione della "Koordinationsskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren" - Conferenza di coordinamento degli organismi edilizi e immobiliari dei costruttori pubblici (KBOB). Questo mostra i dati sul fattore di energia primaria, le emissioni di gas serra e l'impatto ambientale [116].

Il riquadro sottostante descrive le caratteristiche dei metodi menzionati.

**Valutazione dell'efficienza energetica**

**Domanda cumulativa di energia ( CED )**

Il CED comprende l'input energetico per la produzione, l'uso e lo smaltimento di un sistema o prodotto [117]. Di norma, viene valutata l'energia primaria e il CED viene anche chiamato "fattore di energia primaria". Il periodo di ritorno dell'energia può essere determinato dal CED e dalla produzione annuale di energia.

**Fattore diraccolta HF = CEP/CED**

Se si assume anche una durata prevista per il sistema, il fattore di raccolta dell'energia (raccolta HF) può anche essere determinato dal CED e dalla produzione cumulativa di energia (CEP) durante la durata. Secondo questa definizione, raccolta HF < 1. Il valore raccolta HF può essere usato, per esempio, per confrontare due sistemi per l'uso energetico della biomassa. Per un confronto tra un sistema di riscaldamento a olio e uno a legna, tuttavia, questa definizione non è utile. A questo scopo, un fattore di raccolta può essere determinato a condizione che l'energia primaria non rinnovabile sia contata come domanda, mentre l'energia primaria rinnovabile non è considerata.

Con l'indice RE per l'energia rinnovabile si applica:

**raccolta HF<sub>RE</sub> = CEP/CED<sub>RE</sub>**

Con l'indice NR per l'energia non rinnovabile si applica:

**raccolta HF<sub>NR</sub> = CEP/CED<sub>NR</sub>**

Come regola, si applica quanto segue per le fonti di energia fossile:

raccolta HF<sub>NR</sub> = raccolta HF < 1 e per le rinnovabili:  
raccolta HF<sub>NR</sub> > 1 > raccolta HF .

Questo metodo permette un confronto dell'efficienza delle risorse di diversi sistemi energetici, con raccolta HF<sub>NR</sub> > 2 a > 10 possibile per le fonti energetiche rinnovabili e EFNE < 1 per le fonti energetiche non rinnovabili.

Per il CED , vale anche quanto segue:

**CED<sub>RE</sub>+ CED<sub>NR</sub>= CED**

**Valutazione dell'impatto climatico**

**Gas serra equivalenti (GHG)**

Il vapore acqueo, il CO<sub>2</sub> , il metano (CH<sub>4</sub> ) e numerosi altri gas e particelle presenti nell'atmosfera influenzano il bilancio delle radiazioni della Terra, che viene descritto come effetto serra. Il CO<sub>2</sub>equivalente o GHG equivalente serve come misura di un cambiamento nell'effetto serra. Questo descrive il contributo di un composto all'effetto serra rispetto al CO<sub>2</sub> in un certo periodo di tempo. Di solito si considera un periodo di 100 anni. Per 100 anni, per esempio, 1 kg di metano (CH<sub>4</sub> ) ha un 2equivalente di 28 kg di CO<sub>2</sub> . Per il protossido di azoto ("gas esilarante", N<sub>2</sub>O) questo valore è 265. Se si sommano tutte le emissioni rilevanti per l'effetto serra di un processo nel corso del ciclo di vita, si può determinare l'equivalente di gas serra. Per i combustibili fossili, il GHG equivalente è solitamente dominato da CO<sub>2</sub> . Per altri processi, anche il CH<sub>4</sub>(per esempio il biogas) o l'N<sub>2</sub>O (per esempio le coltivazioni) possono essere importanti.

**Valutazione del ciclo di vita con valutazione di vari impatti ambientali in diverse categorie di impatto**

Esempi sono il metodo CML con 14 categorie o il metodo Eco-Indicator con 9 categorie (radioattività, riduzione dell'ozono, metalli pesanti, cancerogenicità, smog estivo, smog invernale, pesticidi, effetto serra, acidificazione ed eutrofizzazione). Questi metodi permettono un confronto sommario di numerosi impatti ambientali. Tuttavia, se, per esempio, il legno deve essere paragonato al petrolio in un'unica cifra, è necessaria una ponderazione dell'effetto serra.

**Valutazione del ciclo di vita con valutazione secondo la scarsità ecologica**

Qui, la valutazione è fatta in relazione agli obiettivi regionali o specifici del paese e sommando i punti di impatto ambientale (EIP). Questo metodo permette una semplice valutazione della sensibilità di importanti fattori di influenza come le emissioni dei sistemi di riscaldamento a legna. Tuttavia, la valutazione complessiva è orientata verso una definizione soggettiva degli obiettivi, come il superamento o la diminuzione dei valori limite nazionali.

**13.2.2 Esempi**

La Tabella 13.1mostra un confronto del fattore di raccolta HF<sub>NR</sub> (senza valutazione dell'energia rinnovabile utilizzata) di diversi sistemi di riscaldamento, in cui è stata esaminata anche l'influenza di una rete di teleriscaldamento. I valori più alti dei sistemi automatici di riscaldamento a legna di 13,0 sono raggiunti dai sistemi senza rete di teleriscaldamento. Gli ingressi e le perdite della rete portano a fattori di raccolta un po' più bassi di circa 9 per densità di connessione tipiche. A basse densità di connessione, il fattore di raccolta diminuisce.

Tabella 13.1 Fattore di raccolta HF<sub>NR</sub> di diversi sistemi di riscaldamento dato in TJ di calore utile per TJ di energia primaria non rinnovabile. Per il teleriscaldamento, l'influenza della densità di calore lineare è anche indicata in MWh/(a\*m). Dati secondo [117].

Catena di approvvigionamento	HF <sub>NR</sub> [TJ/TJ]
Pellet di legno	8.3
Cippato con teleriscaldamento a 0,6 MWh/(a*m)	7.9
Cippato con teleriscaldamento a 1,5 MWh/(a*m)	9.0
Cippato con teleriscaldamento a 3 MWh/(a*m)	9.4
Cippato senza teleriscaldamento	13.0
Caldaia a biomassa in zolle	13.8
Caldaia a olio combustibile con condensazione dei fumi	0.71
Riscaldamento a gas naturale con condensazione dei fumi	0.74

Poiché i sistemi di riscaldamento a olio e gas raggiungono un fattore di raccolta tra 0,71 e 0,74, i sistemi di riscaldamento a legna raggiungono un effetto di sostituzione per le fonti di energia non rinnovabili che è superiore di un fattore da 10 a 20. Il potenziale di sostituzione risulta dal rapporto dei fattori di raccolta dei sistemi di riscaldamento a legna e dei sistemi di riscaldamento fossili (ad esempio  $14/0,7 = 20$ ). Ciò significa che un litro di petrolio investito nella costruzione e nel funzionamento dei sistemi di riscaldamento a legna sostituisce da 10 a 20 litri di petrolio necessari per un sistema di riscaldamento a petrolio con benefici equivalenti. Poiché le fonti energetiche fossili causano CO<sub>2</sub>, questo fattore è anche un indicatore per la sostituzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> fossili.

La Figura 13.1 mostra un esempio di valutazione del ciclo di vita secondo il metodo degli eco-indicatori. Poiché tutti gli effetti ambientali sono combinati in un indicatore, l'ordine delle varianti esaminate dipende dalla ponderazione dell'effetto serra. Con una ponderazione "alta" dell'effetto serra, il riscaldamento a legna è valutato significativamente meglio del riscaldamento fossile, mentre con una ponderazione "bassa" dell'effetto serra, il riscaldamento a gas si comporta meglio, il che illustra il problema della ponderazione aggregata.

Tabella 13.2 Fattore di energia primaria mostra un estratto della *Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren* (raccomandazione KBOB) [116] per la valutazione della sostenibilità nel settore edilizio in Svizzera. I dati sul fattore di energia primaria e la spesa energetica cumulativa sono mostrati nella



Figura 13.2(a sinistra) dove viene valutata solo l'energia primaria non rinnovabile (indice NR). I dati mostrano che i sistemi di legno energetico raggiungono alti fattori di raccolta e possono ridurre il consumo di energia non rinnovabile di circa l'80-90% rispetto al petrolio e al gas naturale. Un effetto simile si ottiene in termini di emissioni

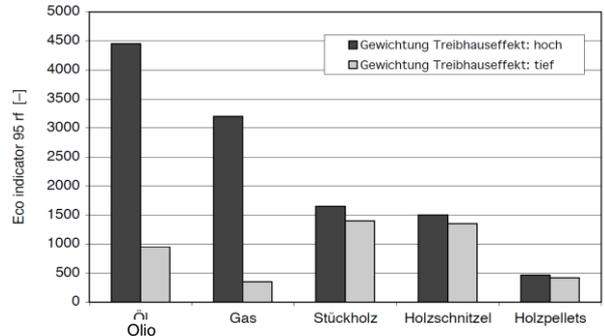


Figura 13.1 Impatto ambientale come punti eco-indicatori per TJ di energia utile per sistemi di riscaldamento a olio, gas e legno per le varianti di ponderazione dell'effetto serra "alto" e "basso" secondo i dati di [118]. Più dell'80% dei valori per i tronchi e il cippato sono dovuti alle emissioni di polveri sottili e di ossido di azoto. Per i moderni sistemi di riscaldamento a cippato con separatori di polveri sottili, il valore sarebbe circa un terzo.

La

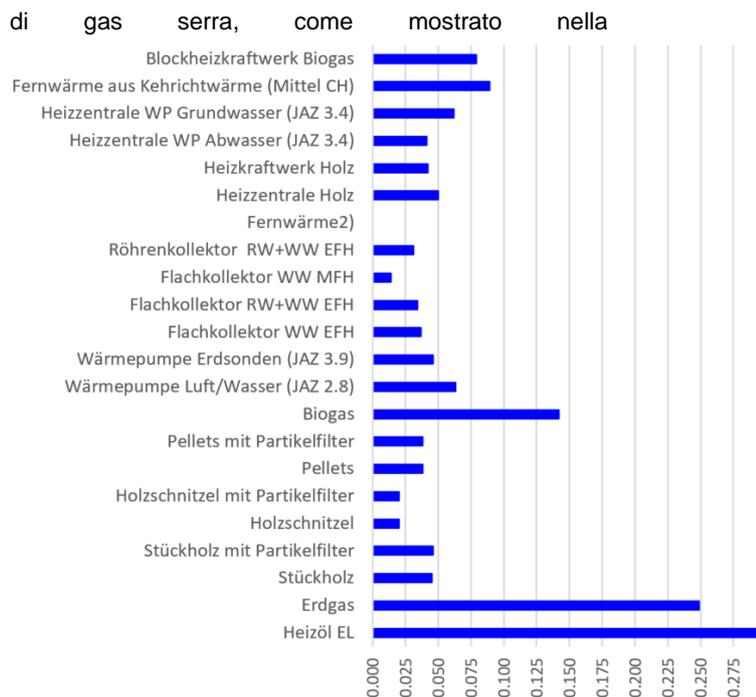


Figura 13.3(a sinistra).

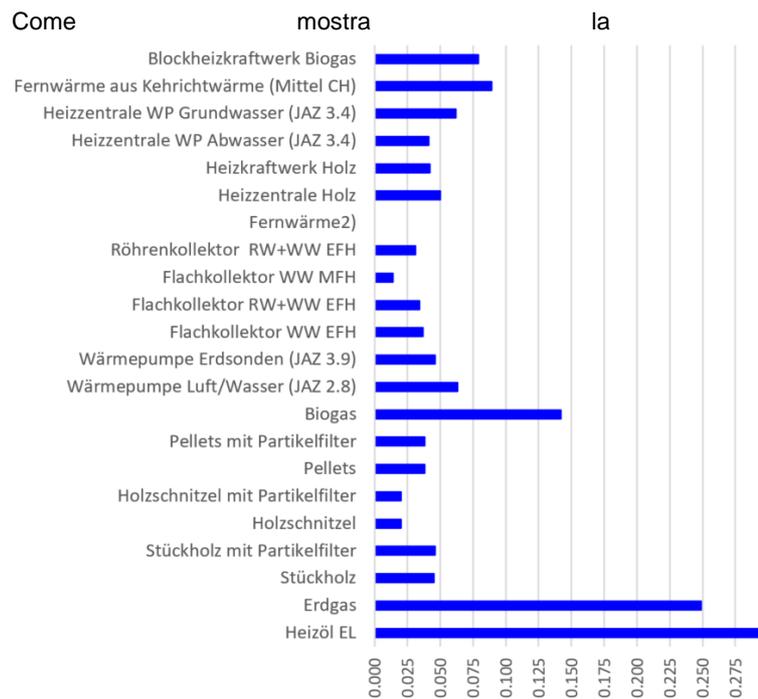
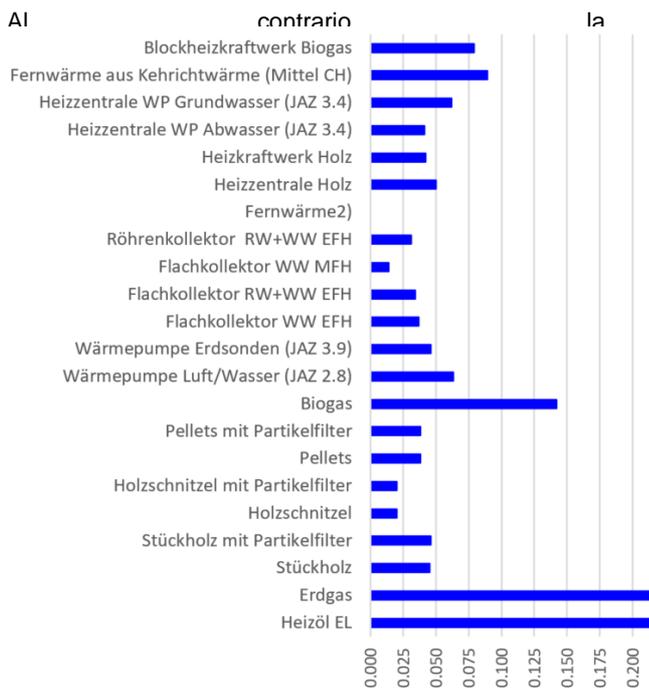


Figura 13.3(a destra) mostra che le differenze nei punti di impatto ambientale sono più piccole delle differenze quando si considera l'energia primaria o l'effetto serra. Prendendo in considerazione tutti gli impatti ambientali, il vantaggio del gas naturale sul gasolio da riscaldamento diventa maggiore, mentre i vantaggi dei sistemi di riscaldamento a legna su quelli fossili diventano minori.

Per i prossimi decenni, tuttavia, la massima priorità deve essere data alle emissioni di gas serra, poiché la sfida più importante è il raggiungimento degli obiettivi climatici.

Tabella 13.2 Fattore di energia primaria o domanda cumulativa di energia (CED), fattore di raccolta (HF), emissioni di gas serra (GHG) e punti di impatto ambientale (EIP) di diversi sistemi di riscaldamento relativi al calore utile prodotto. L'elettricità in questi paesi ha un'intensità di CO<sub>2</sub> superiore di un fattore di circa 2, 4 e 6. Per il fattore 2, il vantaggio delle pompe di calore rispetto al riscaldamento fossile è ridotto, il fattore 4 comporta emissioni di gas serra altrettanto elevate, mentre per l'elettricità ad alta intensità di CO<sub>2</sub> con il fattore 6, le pompe di calore comportano emissioni di CO<sub>2</sub> superiori al riscaldamento fossile.

Figura 13.3(a sinistra), il riscaldamento a biomassa e i sistemi solari termici sono particolarmente vantaggiosi in termini di emissioni di gas serra. Anche le pompe di calore sono interessanti, purché funzionino con elettricità a bassa emissione di CO<sub>2</sub>. I dati per le pompe di calore riportati nella tabella 13.2 si riferiscono a un acquisto di elettricità dalla rete in Svizzera con 0,102 kg di CO<sub>2</sub> per kWh di elettricità. Per gli altri paesi si deve considerare la corrispondente intensità di CO<sub>2</sub> dell'elettricità. La

Tabella 13.2 Fattore di energia primaria o domanda cumulativa di energia (CED), fattore di raccolta (HF), emissioni di gas serra (GHG) e punti di impatto ambientale (EIP) di diversi sistemi di riscaldamento relativi al calore utile prodotto. Il fattore di raccolta HF<sub>NR</sub> è stato calcolato come il reciproco di CED<sub>NR</sub>. I dati per le pompe di calore si applicano al mix elettrico svizzero, i cui valori caratteristici sono riportati alla fine della tabella. Dati secondo [116] tranne i dati sull'elettricità in Austria, Germania e Italia secondo [119].

	Energia primaria (equivalente al petrolio) = domanda cumulativa di energia CED			Fattore di raccolta	Emissioni di gas serra	Punti di impatto ambientale
	Non rinnovabile (CED <sub>NR</sub> )	Rinnovabile (CED <sub>RE</sub> )	Totale (CED)	Non rinnovabile (HF <sub>NR</sub> =1/CED <sub>NR</sub> )	GHG	EIP
<b>Caldaie <sup>1)</sup></b>	kWh/kWh Q <sub>u</sub>			kWh Q <sub>u</sub> /kWh	kg CO <sub>2</sub> /kWh Q <sub>u</sub>	EIP/kWh Q <sub>u</sub>
Olio per riscaldamento extra leggero	1.300	0.007	1.31	0.77	0.322	251.0
Gas naturale	1.160	0.005	1.17	0.86	0.249	151.0
Legno di tronco	0.194	1.580	1.77	5.2	0.045	152.0
Legno di tronco con filtro per particelle	0.198	1.580	1.78	5.1	0.046	144.0
Truciolini di legno	0.097	1.420	1.52	10.3	0.020	116.0
Cippato con filtro per particelle	0.100	1.420	1.52	10.0	0.020	106.0
Pellets	0.210	1.320	1.53	4.8	0.038	108.0
Pellet con filtro per particelle	0.213	1.320	1.53	4.7	0.038	103.0
Biogas	0.330			3.0	0.142	121.0
Pompa di calore aria/acqua (COP annuale 2,8)	0.908			1.1	0.063	149.0
Collettore di terra a pompa di calore (COP annuale 3,9)	0.665			1.5	0.046	110.0
Collettore piatto W SFH	0.275			3.6	0.037	102.0
Collettore piatto SH+DWH SFH	0.221			4.5	0.034	90.0
Collettore piatto W MFH	0.086			11.6	0.014	40.7
Collettore a tubo sottovuoto SH+DI W SFH	0.193			5.2	0.031	76.5
<b>Teleriscaldamento <sup>2)</sup></b>	kWh/kWh <sub>end</sub>			kWh <sub>end</sub> /kWh	kg CO <sub>2</sub> /kWh <sub>end</sub>	PEI/kWh <sub>end</sub>
Impianto di riscaldamento a biomassa	0.143	1.580	1.72	6.99	0.050	120.0
Impianto di cogenerazione a biomassa	0.128	1.330	1.46	7.81	0.042	102.0
Pompa di calore dell'acqua di scarico dell'impianto di riscaldamento (COP 3.4 annuale)	0.894			1.1	0.041	124.0
Impianto di riscaldamento pompa di calore ad acqua freatica (COP 3.4 annuale)	0.963			1.0	0.062	155.0
Teleriscaldamento da incenerimento dei rifiuti (media CH)	0.452			2.2	0.089	75.5
Impianto di cogenerazione a biogas	0.207			4.8	0.079	72.9
<b>Elettricità dalla rete <sup>2)</sup></b>	kWh/kWh <sub>end</sub>			kWh <sub>end</sub> /kWh	kg CO <sub>2</sub> /kWh <sub>end</sub>	PEI/kWh <sub>end</sub>
Svizzera (CH-consumo mix)	2.520	0.488	3.01	0.40	0.102	347.0
Austria <sup>3)</sup>	0.820	0.980	1.80	1.22	0.202 <sup>4)</sup>	170.0
Germania <sup>3)</sup>	1.760	0.830	2.59	0.57	0.427 <sup>5)</sup>	400.0
Italia <sup>3)</sup>	2.760	0.320	3.08	0.36	0.610	489.0

Abbreviazioni: COP: coefficiente di prestazione, Q<sub>u</sub>: calore utile, acqua calda sanitaria, SH: riscaldamento spaziale SFH: casa unifamiliare, MFH: casa multifamiliare

<sup>1)</sup>Per le caldaie, il valore di riferimento è 1 kWh di calore utile.

<sup>2)</sup>Per il teleriscaldamento e l'elettricità, la quantità di riferimento è 1 kWh di energia finale (unità di scambio).

<sup>3)</sup>Fonte: [119], tutti gli altri dati secondo [116].

<sup>4)</sup>Le cifre attuali e i valori applicabili per le emissioni di CO in Austria sono forniti dall'Agenzia Federale per l'Ambiente <https://www.umweltbundesamt.at/>

<sup>5)</sup>Le cifre attuali e i valori applicabili per le emissioni di CO in Germania sono forniti dall'Agenzia Federale per l'Ambiente <https://www.umweltbundesamt.de/>

Per il gasolio da riscaldamento, il gas naturale e i combustibili legnosi, KBOB mostra valori di CED che sono maggiori di 1 e comparabili tra loro. Per il biogas e i combustibili derivati dai rifiuti, CED < 1 è mostrato, poiché la loro quota di energia primaria non è valutata o lo è solo parzialmente. Questi valori per CED = CED<sub>RE</sub> + CED<sub>NR</sub> non sono comparabili con altri e non sono elencati nella tabella.

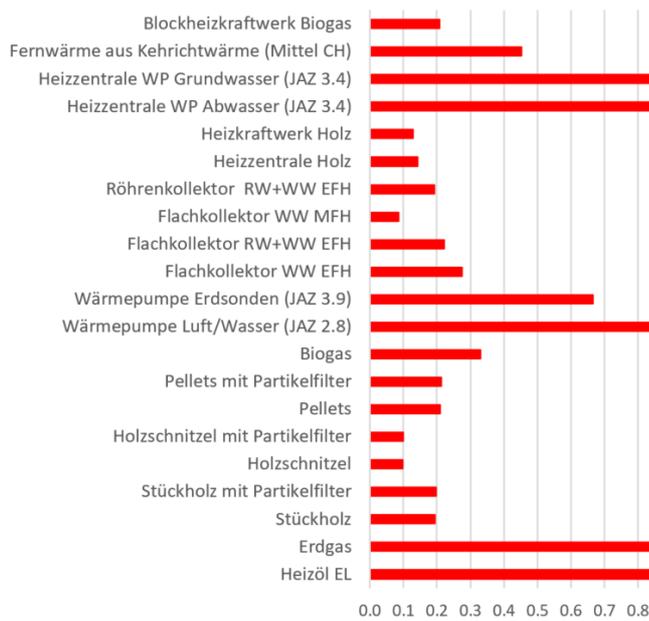


Tabella 13.2 Fattore di energia primaria o.

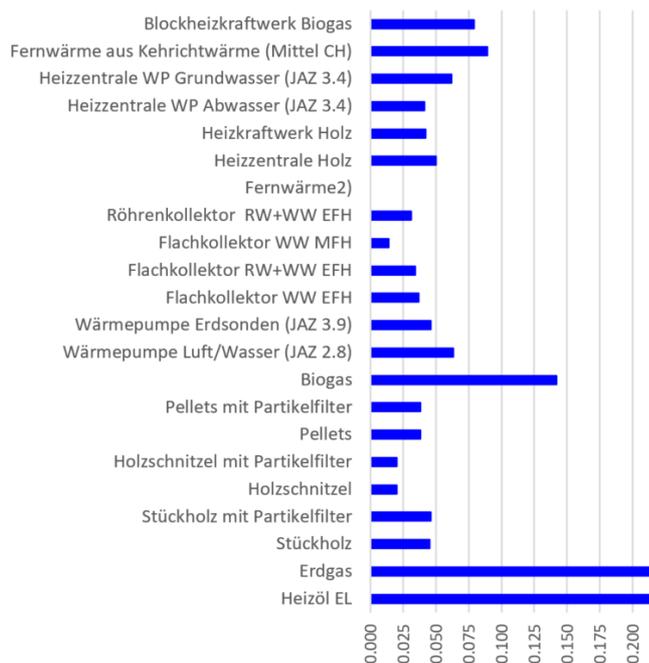


Tabella 13.2 Fattore di energia primaria o.

### 13.3 Requisiti generali e definizione di termini importanti

Gli impianti di teleriscaldamento a biomassa devono essere gestiti con basse emissioni e in modo economico. Ciò richiede un sistema di accensione appropriato per l'assortimento del combustibile, una registrazione corretta della potenza termica dei singoli generatori di calore, un volume di stoccaggio del combustibile (volume netto del silo) adeguato alla logistica del combustibile e

Figura 13.2 Sinistra (rosso): Fattore di energia primaria dell'energia non rinnovabile o domanda cumulativa di energia CED<sub>NR</sub>  
A destra (verde): Fattore di raccolta dell'energia non rinnovabile HF<sub>NR</sub> = 1/CED<sub>NR</sub> secondo la

Figura 13.3 A sinistra (blu): Emissioni di gas serra in [kg CO<sub>2</sub>-eq/kWh calore utile]  
A destra (nero): Punti di impatto ambientale [EIP/kWh di calore utile] secondo la

un'integrazione idraulica ottimale nel sistema complessivo. L'obiettivo è quello di ottenere installazioni collaudate ed economiche concentrandosi sull'essenziale e su concetti semplici.

A seconda del progresso del progetto (milestone), i seguenti dovrebbero essere definiti come **obiettivi** con un grado crescente di precisione:

1. Fabbisogno annuo totale di calore <sup>1)</sup> o produzione annua di calore necessaria per la generazione di calore

2. Capacità termica totale richiesta <sup>1)</sup>
3. Sistema di generazione del calore (circuito, concetto di controllo)
4. Sistema di combustione della caldaia a biomassa
5. Assegnazione della domanda totale di capacità termica ai generatori di calore delle singole fonti di energia (combustibili), compresa la loro quota di produzione di calore <sup>1)</sup>
6. Dimensionamento degli altri componenti del sistema di riscaldamento (volume dell'accumulatore di combustibile e di calore, ecc.)

<sup>1)</sup> secondo lo strumento Excel per la valutazione della domanda e la selezione del sistema appropriato

Quando si progetta un impianto di riscaldamento a biomassa, si devono considerare le seguenti caratteristiche specifiche:

- Tempo di reazione lungo dopo la modifica del set-point di potenza della caldaia a causa di un comportamento di combustione lento del combustibile a seconda del contenuto d'acqua e della compattazione (ad es. pellet)
- Le caldaie a biomassa di solito possono essere fatte funzionare nell'intervallo di potenza dal 30% al 100% in combustione continua con alimentazione ininterrotta di aria di combustione e alimentazione continua di combustibile. Un'estensione della gamma di potenza inferiore fino al 15% è possibile con misure adeguate (per esempio il preriscaldamento dell'aria di combustione).
- Carico di riscaldamento medio giornaliero minimo richiesto per il funzionamento a basso carico nell'intervallo 10 % - 30 % della potenza nominale della caldaia a biomassa.

La progettazione ottimale di un impianto di riscaldamento a biomassa richiede competenze specifiche e quindi pone maggiori esigenze al progettista. Si raccomanda alle persone o agli uffici di pianificazione che progettano e pianificano per la prima volta un impianto di riscaldamento a biomassa di rivolgersi a progettisti esperti per una consulenza. Per raggiungere gli obiettivi di qualità del MQ per gli impianti di riscaldamento a biomassa, il sistema di generazione del calore deve soddisfare i seguenti requisiti e valori target:

- **Basse emissioni:** I valori limite legalmente applicabili non devono essere superati durante la fase di funzionamento stazionario di un impianto di combustione di biomassa. Questo vale per tutti gli assortimenti di combustibile e per l'intera gamma di potenza del sistema di combustione e richiede quindi concetti di controllo adeguati.
- **Le emissioni di odori** durante le fasi operative transitorie nel funzionamento a basso carico durante la fase di avvio, la fase di burn-out e la manutenzione del focolare devono essere evitate con le misure descritte nel capitolo 13.5(Nota Tabella 13.4).
- **Alta efficienza annuale  $\eta_a > 85$  %:** I prerequisiti per un'alta efficienza annuale (vedi capitolo 20.12) sono:
  - Eccesso d'aria in tutta la gamma di potenza (dal 30 % al 100 %) con  $\lambda < 1,7$

- Temperature dei fumi in media  $< 140$  °C e basse perdite di radiazione della caldaia
- Impianto di combustione di biomassa monovalente: Numero minimo di ore di funzionamento a pieno carico dopo la fase di espansione 1 per anno  $> 1.400$  h e con espansione completa per anno  $> 2.000$  h
- Impianto di combustione di biomassa bivalente: Le ore di funzionamento a pieno carico sono significativamente più alte secondo la Tabella 13.5(in AT valore target secondo ÖKL-Merkblatt  $> 4.000$  h/a)
- Basso funzionamento in standby o manutenzione del focolare (rapporto tra tempo di standby annuale e tempo di funzionamento  $< 0,2$ )
- Il minor numero possibile di fasi di start-up e burn-out
- Rispetto delle condizioni di carico leggero secondo la Tabella 13.4
- **Bassi costi di investimento del sistema:** Nessun sovradimensionamento del sistema di generazione del calore, impianto di riscaldamento semplice con una chiara struttura di sistema e il minor numero possibile di unità di caldaie con una gamma di potenza più ampia. I sistemi a più caldaie con equipaggiamento di serie sono un'eccezione.
- **Bassi costi di manutenzione e assistenza:** Utilizzo della rimozione automatica della cenere e della pulizia dei tubi della caldaia, garantendo un funzionamento a basso rischio grazie all'utilizzo di componenti del sistema con una lunga durata, un sistema di caricamento e di combustione adattato alla gamma di combustibile concordata e una manutenzione regolare. Utilizzo uniforme della caldaia a biomassa con un basso numero di fasi di avviamento e di spegnimento (la caldaia a biomassa segue continuamente la curva di carico media senza brusche variazioni di potenza a breve termine).
- **Stoccaggio di combustibile efficiente in termini di costi**
  - Il volume del deposito di combustibile per il **cip-pato** con sistema di scarico automatico (volume netto del silo) dovrebbe contenere da cinque a sette richieste giornaliere dell'impianto di caldaia a biomassa a potenza nominale di funzionamento a 24 ore più il volume di trasporto del veicolo di consegna in caso di catena di fornitura diretta (vedi capitolo 4.5.5.5). Questo dimensionamento consente all'azienda fornitrice di combustibile un intervallo logistico per superare facilmente le festività come Natale e Capodanno o le interruzioni a breve termine della catena di fornitura. Nella catena di fornitura indiretta (vedi capitolo 4.5.5), il volume di stoccaggio di combustibile richiesto può essere ridotto in consultazione con il fornitore di combustibile. La sicurezza dell'approvvigionamento in condizioni estreme come nevicata, pioggia gelata e simili deve essere coordinata con il fornitore di combustibile.
  - Il volume di stoccaggio del combustibile per i **pellet** dovrebbe avere circa dieci richieste giornaliere alla temperatura di progetto più una capacità minima di consegna del veicolo di pellet di 25-30 m<sup>3</sup> di pellet. Questo permette il tempo di reazione

del fornitore di combustibile dall'ordine alla consegna con il necessario margine logistico. Ulteriori informazioni possono essere trovate nel capitolo 14.2

- **Utilizzo ottimale della caldaia a biomassa:**
  - La caldaia a biomassa dovrebbe seguire continuamente la curva di carico medio al livello di potenza più basso possibile.
  - Le frequenti fasi di start-up e burn-out devono essere evitate con lunghi tempi di funzionamento, cioè con un elevato utilizzo della caldaia a biomassa.
  - La caldaia a biomassa dovrebbe essere in grado di gestire i cambiamenti lenti di carico della rete di riscaldamento (ad esempio, a seconda della temperatura esterna).
  - I cambiamenti a breve termine della potenza dovrebbero essere evitati, poiché il letto di combustibile ha bisogno di molto tempo per adattarsi in modo ottimale alla nuova potenza di combustione.
  - La potenza in ingresso alla caldaia a biomassa deve essere più lenta del tempo di reazione. Questo di solito richiede un accumulo di calore, che può compensare i picchi di carico a breve termine e le riduzioni di carico.
- **Quota annuale di produzione di calore con il sistema di caldaie a biomassa:**
  - Impianto di combustione di biomassa monovalente: 100%
  - Sistema di riscaldamento a biomassa bivalente con caldaia a gasolio/gas per il funzionamento a carico di punta e a basso carico in estate: 80% - 85%.
  - Sistema di riscaldamento a biomassa bivalente con caldaia a gasolio/gas per il funzionamento a carico di punta: dal 90% al 95%.
- **Sicurezza dell'approvvigionamento:** La sicurezza dell'approvvigionamento o la ridondanza in caso di guasto della caldaia a biomassa può essere garantita dalle seguenti misure:
  - Caldaia a carico di picco con olio o gas (bio-olio/biogas), potenza della caldaia  $\leq$  capacità termica totale richiesta per la generazione di calore
  - Tubo di collegamento per sistema di riscaldamento mobile per sistema di combustione di biomassa monovalente
  - Spegnimento del carico da parte di grandi clienti collegati con un sistema di caldaie a gasolio/gas ridondante
  - Tubi di collegamento per sistemi di riscaldamento mobili presso la centrale di riscaldamento o presso grandi clienti collegati selezionati (ad esempio aziende industriali con processi di produzione critici).

#### Condizioni:

##### Manutenzione del focolare

Per garantire che un sistema di combustione a biomassa possa ripartire senza accensione esterna dopo alcune ore senza richiesta di energia, il letto di fuoco (braci) viene mantenuto durante questo periodo di standby aggiungendo periodicamente piccole quantità di combustibile.

##### Operazione di manutenzione a bassa emissione e controllata del letto di fuoco

Periodicamente, una piccola quantità di combustibile viene aggiunta alla griglia e bruciata in un letto di braci in modo controllato con i ventilatori dell'aria di combustione accesi. Dopo aver spento i ventilatori dell'aria di combustione, il letto di braci rinnovato non dovrebbe più contenere particelle di combustibile che emettono gas fumanti nel processo di pirolisi.

##### Accensione automatica

Quando il combustibile è secco (contenuto d'acqua  $M < 35\%$  fino a un massimo di  $M < 40\%$ ), la combustione viene spenta con basse emissioni bruciando il letto di combustibile fino a un letto di braci nella fase di burn-out con i ventilatori dell'aria di combustione accesi. Quando i ventilatori dell'aria di combustione sono spenti, questo non dovrebbe più contenere particelle di combustibile che emettono ancora gas di combustione. Dopo la fase di arresto, il processo di combustione viene avviato con l'accensione automatica (ventola di accensione o barre di accensione) quando necessario.

##### Tempo di accensione

Il tempo di accensione comprende il tempo di funzionamento regolare e il tempo di attesa (manutenzione del focolare o fase di funzionamento senza richiesta di carico) di un impianto di combustione tra l'inizio e la fine del periodo di riscaldamento.

## 13.4 Qualità del combustibile e sistema di accensione

La selezione del sistema comporta la scelta del sistema di accensione della caldaia a biomassa in base alla qualità del combustibile.

La classificazione dei combustibili e le dimensioni delle particelle di QM per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa si basano sulle specifiche secondo EN ISO 17225-1, la classificazione delle dimensioni delle particelle è stata integrata con le classi S di EN ISO 17225-4.

QM per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa ha inoltre integrato la classificazione del combustibile con cippato di qualità fine/ grossolano e ha limitato ulteriormente la sezione trasversale delle particelle sovradimensionate rispetto allo standard. La classificazione del combustibile è descritta in dettaglio nel capitolo 4. Con

la Tabella 13.3 come guida, è possibile assegnare il sistema di combustione consigliato nella gamma di potenza corrispondente ad una determinata qualità di combustibile.

Tabella 13.3 Intervallo raccomandato di utilizzo dei combustibili legnosi (secondo la classificazione dei combustibili per i sistemi di combustione e gli intervalli di potenza (vedi anche FAQ 36; [Link](#)).

Classificazione del combustibile	Sistema di sparo	Gamma di potenza	Commenti
WS- e IS-P16S-M20	Piccoli sistemi di cottura, unità di serie standard Sottoalimentazione, combustione a griglia fissa*	20 kW - 200 kW	Trucioli di legno di qualità finemente setacciato con F05
WS- e IS-P31S-M20	Unità della serie standard Sottoalimentazione, combustione a griglia fissa*	> 100 kW	Trucioli di legno di qualità setacciato grossolanamente con F05
WS- e IS-P31S-M35	Combustione a griglia di alimentazione e sottoalimentazione	> 200 kW	
WS- e IS-P31S-M50	Combustione a griglia di alimentazione e sottoalimentazione	> 200 kW	
WS- e IS-P31S-M55+	Combustione della griglia di alimentazione	> 200 kW	
P31-M35	Combustione della griglia di alimentazione	> 200 kW	PWK, LH,
P31-M50	Combustione della griglia di alimentazione	> 200 kW	PWK, LH, DI
P31-M55+	Combustione della griglia di alimentazione	> 200 kW	PWK, LH, DI
WS- e IS-P45S-M35	Combustione della griglia di alimentazione	> 500 kW	
WS- e IS-P45S-M50	Combustione della griglia di alimentazione	> 500 kW	
WS- e IS-P45S-M55+	Combustione della griglia di alimentazione	> 500 kW	
P45-M35	Combustione della griglia di alimentazione	> 1.000 kW	PWK, LH, DI, AH
P45-M50	Combustione della griglia di alimentazione	> 1.000 kW	PWK, LH, DI, RZ
P45-M55+	Combustione della griglia di alimentazione	> 1.000 kW	PWK, LH, DI, RZ
P63-M35	Combustione della griglia di alimentazione	> 3.000 kW	PWK, LH, DI, AH
P63-M50	Combustione della griglia di alimentazione	> 3.000 kW	WS, IS, PWW, PWK, LH, DI, RZ
P63-M55+	Combustione della griglia di alimentazione	> 3.000 kW	WS, IS, PWW, PWK, LH, DI, RZ

Si presume che i requisiti per la capacità di stoccaggio (Q-Guidelines; Tabella 19) e per il carico di riscaldamento medio giornaliero minimo durante il funzionamento fuori stagione (Q-Guidelines; Tabella 20) siano soddisfatti.

\* Combustione a griglia fissa: Combustione a griglia senza movimento attivo/convogliamento del combustibile sulla griglia (per esempio griglia piatta, griglia inclinata). Il combustibile viene trasportato sulla griglia con la coclea di carico, la cenere può essere rimossa, per esempio, inclinando i segmenti della griglia.

Specifiche per il legno residuo della lavorazione del legno (RHH-M10-20), cippato e trucioli con un alto contenuto di polvere):

- Per la combustione sottoalimentata e a griglia, è ammesso un contenuto massimo di polvere del 50%; al di sopra di questo, prevedere la combustione a iniezione di polvere.
- Per evitare la formazione di scorie nel letto di combustibile, si dovrebbe considerare l'uso di un sistema di ricircolo dei fumi primari (vedi capitolo 5.3.2).
- La grumosità (proporzioni di cippato, trucioli e polvere) e la composizione chimica basata sulle analisi del combustibile sono i fattori chiave per quanto riguarda la garanzia fornita dal produttore del forno.

## 13.5 Selezione e progettazione del sistema di generazione del calore

I seguenti dati chiave devono essere conosciuti per la selezione e la progettazione del sistema di generazione del calore:

- Domanda annuale di calore totale <sup>1)</sup>
- Capacità termica richiesta <sup>1)</sup> e caratteristica di carico <sup>1)</sup> dell'intero sistema
- Curva di durata annuale della capacità termica richiesta con caldaia a biomassa e quota di carico base <sup>1)</sup>
- Sviluppo futuro delle vendite di calore (ristrutturazioni termiche, clima, potenziale di espansione, "clienti a rischio")

- Carico medio giornaliero minimo di riscaldamento per il funzionamento a basso carico nelle fasi di espansione secondo la Tabella 13.4
- Temperatura di mandata in funzione della temperatura esterna
- Temperatura di ritorno principale
- Fornitura e qualità del combustibile a seconda della logistica del combustibile: catena di approvvigionamento diretta o indiretta
- Potenziali di calore residuo e fonti di calore

<sup>1)</sup> secondo lo strumento Excel per la valutazione della domanda e la selezione del sistema appropriato

Il capitolo 13.3 elenca i requisiti che sono decisivi per la scelta di un sistema di caldaie a biomassa monovalente o bivalente. I requisiti per la modalità di funzionamento e l'utilizzo delle caldaie a biomassa determinano la progettazione della potenza nominale e il numero di caldaie.

#### Procedura

- Selezione del sistema di generazione di calore come variante di base:
  - Secondo la classe di capacità termica totale richiesta secondo la Tabella 13.5
  - Distribuzione della potenza termica dei singoli generatori di calore in sistemi bivalenti e determinazione del fabbisogno di combustibile
- Selezione del sistema di combustione in funzione della qualità del combustibile e della logistica del combustibile (catena di approvvigionamento diretta o indiretta).
- Progettazione dei componenti del sistema:
  - Impianto di combustione con componenti aggiuntivi (stoccaggio del combustibile, sistema di trasporto del combustibile, pulizia dei fumi, ecc.)
  - Integrazione idraulica incluso il volume dell'accumulo di calore
  - Sistema di riscaldamento
  - Camino (sistema di fumi)
- Controllo del rispetto dei requisiti di sicurezza, protezione dal rumore e dalle emissioni
- Controllo della variante di base definita, incluse le varianti aggiuntive (capitolo 13.6) e le opzioni aggiuntive (capitolo 13.7)
- Determinazione dell'investimento e dei costi annuali, valutazione della fattibilità economica (capitolo 10).

### 13.5.1 Varianti di base dei sistemi di generazione di calore con sistema di combustione di biomassa

I sistemi di generazione di calore con combustione di biomassa possono essere progettati come sistemi di caldaie singole o multiple, monovalenti o bivalenti con accumulo. Una volta determinato il fabbisogno totale di capacità termica richiesto, tenendo conto della caratteri-

stica di carico e della curva di durata annuale del fabbisogno di capacità termica del sistema complessivo e delle fasi di espansione, e definiti con precisione tutti i requisiti del sistema di combustione di biomassa, si sceglie una delle varianti di base dei sistemi di generazione di calore riassunti nella Tabella 13.5

Tutte le varianti di base elencate hanno un accumulatore di calore per soddisfare i requisiti generali secondo il capitolo 13.3.

Le varianti di base senza serbatoio di accumulo possono essere selezionate solo se il sistema di combustione a biomassa viene fatto funzionare con un carico di base.

Per la scelta del sistema di generazione di calore, oltre alla classe di prestazione, si devono prendere in considerazione i seguenti **requisiti Q e fattori di influenza**:

- **Numero di ore di funzionamento a pieno carico della caldaia a biomassa** Tabella 13.5; il prerequisito per alte ore annuali di funzionamento a pieno carico senza aumento dell'usura è un utilizzo uniforme (basso numero di fasi di avvio e di arresto, cambi di potenza lenti, letto di combustibile stabile) e un design industriale delle caldaie.
- **Tempo di accensione**: Tutto l'anno o durante il periodo di riscaldamento.
- **Condizione di basso carico** secondo la Tabella 13.4  
Per il funzionamento durante tutto l'anno, la condizione di basso carico deve essere soddisfatta in estate. Per il funzionamento durante il periodo di riscaldamento, si applica nel periodo di transizione.
- **Cambiamenti di carico**:
  - Grandi e rapide fluttuazioni di carico (picchi di carico e riduzioni di carico) si verificano nelle seguenti situazioni: picchi di riscaldamento mattutini, riduzione serale della domanda di riscaldamento (riduzione notturna), riscaldamento dell'acqua in estate (specialmente con scaldacqua a flusso continuo, moduli di acqua fresca), profili di carico speciali (per esempio, località sportive invernali, hotel sportivi), accensione di uno scambiatore di calore con separazione di rete nella centrale termica, aumento o diminuzione della temperatura di mandata della rete di teleriscaldamento, ecc.
  - La variazione diurna con alte fluttuazioni di carico (picchi e cali di carico) si verifica nelle seguenti situazioni: Serre (nessuna riduzione di carico quando il sole splende, alta riduzione di carico quando la notte è serena), riscaldamento mattutino della piscina esterna, profili di carico irregolari per il calore di processo, ecc.
- **Carico di base**, ad esempio calore di processo, funzionamento a carico di base come risultato di una piccola potenza nominale della caldaia a biomassa in relazione alla domanda di capacità termica
- **L'assortimento di combustibile** pone delle esigenze al sistema di alimentazione e di combustione.
- **Investimento in impianti**
- **Sicurezza dell'approvvigionamento/ridondanza**: La suscettibilità al guasto del sistema di trasporto del combustibile o di combustione e quindi la sicurezza dell'approvvigionamento dipende in gran parte da

come viene mantenuta la qualità del combustibile specificata. La ridondanza corrisponde alla capacità termica (come percentuale della capacità termica richiesta) che può ancora essere fornita in caso di guasto della caldaia più grande.

- **Quota di biomassa**
- **Prezzo del combustibile:** Quando i prezzi del combustibile sono bassi, è preferibile il funzionamento tutto l'anno del sistema di combustione della biomassa.
- **Flessibilità/riserva di espansione:** I sistemi a più caldaie permettono un utilizzo ottimale delle singole caldaie a biomassa quando si sviluppa un'area di fornitura di calore a tappe.
- **Stato dell'arte:** I sistemi di combustione con una potenza nominale fino a circa 500 kW possono funzionare con accensione automatica con un contenuto d'acqua nel combustibile < M35 - M40, per esempio, senza manutenzione del focolare. Questo permette

un funzionamento a basso carico con basse emissioni e ridotte perdite di energia ed è particolarmente importante per i sistemi di combustione di biomassa monovalente.

- **Carico costante minimo richiesto:** Per i sistemi di combustione a biomassa con sistemi di alimentazione a spinta, è necessario un carico costante minimo per prevenire i ritorni di fiamma nel condotto di inserimento. Per questo valgono i seguenti valori guida:
  - combustibile secco < M35: 30 % della potenza nominale della caldaia a biomassa
  - combustibile umido > M40: 20 % della potenza nominale della caldaia a biomassa
- **Il numero di ore di funzionamento a pieno carico della caldaia a biomassa** in h/a è definito come la divisione della produzione annuale di calore in kWh/a della caldaia a biomassa per la potenza termica nominale della caldaia a biomassa in kW.

Tabella 13.4 Carico giornaliero medio minimo di riscaldamento per il funzionamento a basso carico basato sulle linee guida Q-Guidelines [15](Tabella 20).

Tipo di combustione → Raccomandazioni ↓	Sistemi di combustione a griglia di alimentazione					Sistemi di combustione a griglia fissa e sottoalimentati		
	con accensione automatica		con manutenzione del letto di fuoco			con accensione automatica		con manutenzione del letto di fuoco
Contenuto d'acqua	≤ M35	M35-40	≤ M35	M35 - 50	> M50	M ≤ M35	M35 - 40	≤ M50
Carico giornaliero medio minimo di riscaldamento come percentuale della potenza nominale della caldaia per la generazione di calore con accumulatore di calore	15 %	20 %	15 %	20 %	30 %	10 %	15 %	15 %

**Nota importante:** a seconda del produttore della caldaia a biomassa, i valori possono variare leggermente. I valori e le raccomandazioni del produttore della caldaia a biomassa sono sempre determinanti.

**Condizione di basso carico**

Rispettando la condizione di basso carico si evitano i seguenti gravi problemi con una riduzione insufficiente del carico:

- Disturbo da odore
- Fumo periodicamente visibile
- Pericolo di accumulo di fuliggine nella caldaia a biomassa
- Efficacia limitata del separatore di particelle perché non raggiunge la temperatura d'esercizio e quindi ha un effetto limitato o nullo nel funzionamento a basso carico. Questo si traduce in una disponibilità ridotta o al massimo insufficiente del separatore.
- Separatore di elettro-particelle: Se la temperatura scende al di sotto del punto di rugiada, c'è il rischio che le particelle umide si accumulino nell'alloggiamento, sugli isolatori e sugli elettrodi del separatore. Conseguenze: Cortocircuito degli isolatori, fallimento della pulizia automatica e scarico delle ceneri.
- Filtro in tessuto: Se la temperatura scende sotto il punto di rugiada, c'è il rischio che le particelle

umide si rapprendano sul tessuto del filtro. Conseguenze: Mancata pulizia automatica fino alla distruzione del tessuto filtrante.

- I dettagli sui processi di separazione si trovano nel capitolo 5.8

Le seguenti condizioni quadro devono essere osservate:

- A causa del letto di combustibile più grande (letto di braci), i forni a griglia mobile devono essere azionati con una potenza minima più alta rispetto ai forni a griglia fissa o sottoalimentati.
- Il vantaggio dell'accensione automatica è che permette una sequenza automatica ed elimina la minima perdita di calore associata alla manutenzione del focolare. Nel funzionamento a basso carico, questo può comportare dei vantaggi rispetto a un sistema con manutenzione del focolare.
- Nei sistemi con accumulatori di calore e accensione automatica, l'accumulatore può essere riempito completamente e poi di nuovo svuotato completamente durante il funzionamento a basso carico senza che si verifichino fluttuazioni di carico elevate e di breve durata con un rendimento minimo della caldaia. Ciò significa che si

può ottenere un funzionamento continuo più lungo con una potenza minima della caldaia.

**Esempio**

Potenza massima della caldaia a biomassa = 200 kW;  
domanda di calore nel funzionamento estivo = 300 kWh al giorno; perdite di stoccaggio e trasmissione nel funzionamento estivo = 180 kWh al giorno.

- Carico di riscaldamento giornaliero come percentuale della potenza nominale della caldaia =  $(300 \text{ kWh/d} + 180 \text{ kWh/d}) / (24 \text{ h/d} \times 200 \text{ kW}) = 0,10 = 10\%$ .
- Quando si usa cippato secco di buona qualità ( $M \leq 35\%$ ), con questo sistema dovrebbe essere possibile il funzionamento estivo con alimentazione sotterranea o a griglia fissa, se sono disponibili l'accensione automatica e un accumulatore di calore.
- Per i sistemi senza funzionamento estivo, il funzionamento durante il periodo di transizione deve soddisfare gli stessi requisiti. È quindi spesso necessario far funzionare inizialmente la caldaia a gasolio/gas (se presente) o la piccola caldaia a biomassa (per i sistemi monovalenti) durante il funzionamento a basso carico.

**13.5.1.1 Influenza della capacità termica totale richiesta**

La capacità termica totale richiesta determina la classe di potenza delle varianti di base suddivise nei seguenti gruppi:

- Da 100 kW a 500 kW
- Da 501 kW a 1.000 kW
- > 1.000 kW

Nel caso di sistemi bivalenti, la potenza della caldaia a biomassa o delle caldaie a biomassa deve essere distribuita sulla base della curva di durata annuale secondo la Figura 13.5 in modo che il numero minimo di ore di funzionamento a pieno carico della caldaia a biomassa o delle caldaie a biomassa sia raggiunto tenendo conto del minimo carico giornaliero medio di riscaldamento richiesto nel funzionamento a basso carico.

Tabella 13.5 Panoramica delle varianti di base dei sistemi di generazione di calore con accumulo a seconda della richiesta di capacità termica totale basata sulla tabella 19 delle linee guida Q [15]. Negli schemi idraulici standard parte I [60] sono descritti in dettaglio i circuiti da WE1 a WE8 e negli schemi idraulici standard parte II [68] i circuiti da WE12 a WE16.

Circuito	Descrizione	Capacità termica totale richiesta		
		100 - 500 kW	501 - 1.000 kW	> 1.000 kW
1 Caldaia a biomassa con serbatoio di stoccaggio WE2 (WE12)	Calore annuale prodotto con la biomassa	100 %		
	Potenza della caldaia a biomassa di progettazione	100% senza picchi di carico		
	Numero di ore di funzionamento a pieno carico della caldaia a biomassa	> 2.000 h/a		
	Funzionamento a basso carico	Funzionamento estivo possibile se il carico estivo è sufficiente secondo la Tabella 13.4		
	Accensione automatica?	Sì		
	Combustibile	Massimo P31S; con accensione automatica M40 ≤		
	Riserva di espansione	Possibile solo in casi eccezionali a causa di problemi di basso carico		
	Capacità di stoccaggio	≥ 1 h relativa alla potenza nominale della caldaia a biomassa		
1 caldaia a biomassa + 1 caldaia a olio/gas con serbatoio di stoccaggio WE4, WE11/16 con 1 caldaia a bi.	Calore annuale prodotto con la biomassa	80 - 90 %		Per i sistemi senza funzionamento estivo, può anche avere senso avere solo 1 caldaia a biomassa + 1 caldaia a olio/gas sopra i 1.000 kW.
	Potenza della caldaia a biomassa di progettazione	50 - 60 %*		
	Capacità progettuale della caldaia a gasolio/gas	Almeno il 70%, massimo il 100%.		
	Numero di ore di funzionamento a pieno carico della caldaia a biomassa	> 3.500 h/a Obiettivo 4.000 h/a		

Circuito	Descrizione	Capacità termica totale richiesta			
		100 - 500 kW	501 - 1.000 kW	> 1.000 kW	
	Funzionamento a basso carico	Se la Tabella 13.4 non è soddisfatta, con caldaia a gasolio/gas			
	Accensione automatica?	Sì			
	Combustibile	Massimo P31S; con accensione automatica M40 ≤	Nessuna restrizione; con accensione automatica M40 ≤		
	Riserva di espansione	Possibile tramite caldaia a gasolio/gas (con corrispondente riduzione della copertura di legno)			
	Capacità di stoccaggio	≥ 1 h relativa alla potenza nominale della caldaia a biomassa			
2 caldaie a biomassa con serbatoio di stoccaggio WEG	Calore annuale prodotto con la biomassa	→ La realizzazione di un funzionamento estivo monovalente può essere possibile solo con due caldaie a biomassa	100 %		
	Potenza della caldaia a biomassa di progettazione 1		33% senza picchi di carico		
	Potenza della caldaia a biomassa di progettazione 2		67% senza picchi di carico		
	Numero di ore di funzionamento a pieno carico della caldaia a biomassa 1 + 2		> 2.000 h/a		
	Funzionamento a basso carico		Il rispetto della Tabella 13.4 solitamente possibile con piccole caldaie a biomassa		
	Accensione automatica?		Per la piccola caldaia a biomassa		
	Combustibile		Max. P31S; con accensione automatica M40 ≤	Nessuna restrizione; con accensione automatica M40 ≤	
	Riserva di espansione		Possibile con costi di investimento corrispondentemente alti (caldaie a biomassa costose)		
	Capacità di stoccaggio		≥ 1 h relativa a 2/3 della potenza nominale totale delle caldaie a biomassa		

Circuito	Descrizione	Capacità termica totale richiesta		
		100 - 500 kW	501 - 1.000 kW	> 1.000 kW
2 caldaie a biomassa + 1 caldaia a olio/gas con serbatoio di stoccaggio WE8 (WE 14/16 con 2 caldaie a biomassa)	Calore annuale prodotto con la biomassa			80 - 90 %
	Potenza della caldaia a biomassa di progettazione 1			17 - 20 %*
	Potenza della caldaia a biomassa di progettazione 2			33 - 40 %*
	Capacità progettuale della caldaia a gasolio/gas			Min. 100 % - piccola caldaia a biomassa, max. al 100%.
	Numero di ore di funzionamento a pieno carico Caldaia a biomassa 1 + 2			> 3.000 h/a Obiettivo 4.000 h/a
	Funzionamento a basso carico			Rispetto della Tabella 13.4 con piccola caldaia a biomassa o caldaia a gasolio/gas
	Accensione automatica?			Per la piccola caldaia a biomassa
	Combustibile			Nessuna restrizione; con accensione automatica ≤ M40
	Riserva di espansione			Possibile con caldaia a gasolio/gas (riducendo l'uso della biomassa)
	Capacità di stoccaggio			≥ 1 h relativa a 2/3 della potenza nominale totale delle caldaie a biomassa

\* Valore indicativo per sistemi con riscaldamento prevalentemente spaziale

### 13.5.1.2 Determinazione della potenza totale della caldaia richiesta

La determinazione della potenza totale richiesta della caldaia è fatta come segue:

- Per i sistemi di caldaie a biomassa **bivalenti** sulla base della domanda di capacità termica totale. Questo corrisponde al quadrato blu della caratteristica di carico estratto nella Figura 13.4 (domanda totale di potenza termica compresi i picchi di carico).

- Per i sistemi di caldaie a biomassa **monovalenti** con accumulo, sulla base della domanda media di capacità termica totale. Questo corrisponde al rombo nero della caratteristica di carico tratteggiata nella Figura 13.4 (valore medio giornaliero della domanda di capacità termica totale senza picchi di carico). Questo evita il sovradimensionamento delle caldaie a biomassa, per cui i picchi di carico a breve termine (da 3 a 4 ore) devono essere coperti dall'accumulatore di calore.

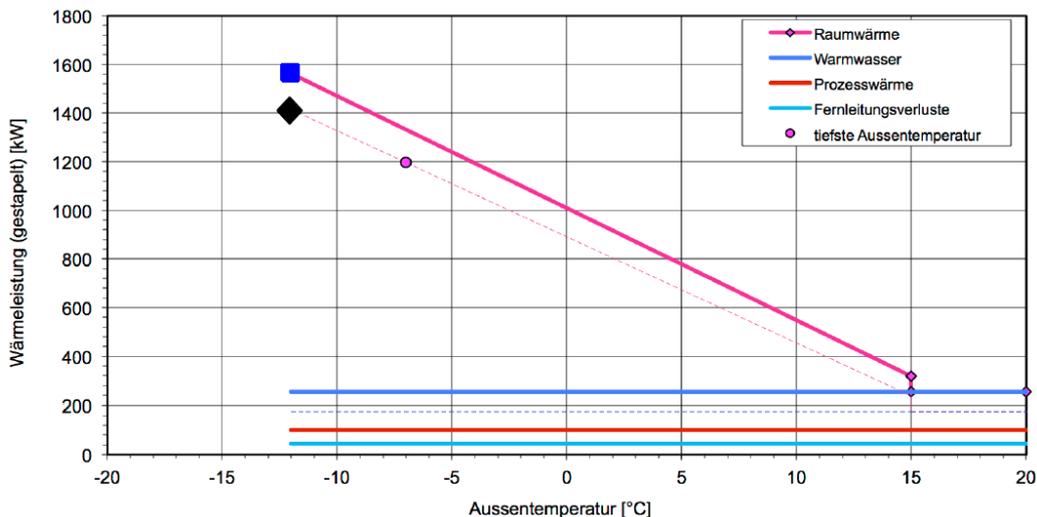


Figura 13.4 Determinazione della potenza totale richiesta della caldaia per un sistema di riscaldamento a biomassa mono o bivalente utilizzando la caratteristica di carico.

### 13.5.1.3 Ripartizione della potenza totale delle caldaie a biomassa tra caldaie a biomassa più piccole e più grandi

Nei sistemi di riscaldamento a biomassa monovalenti o bivalenti con due o tre caldaie a biomassa, il rapporto tra la potenza nominale della piccola caldaia a biomassa e la potenza nominale della grande caldaia a biomassa non dovrebbe superare 1:2 (intervallo consigliato 1:1 - 1:2) (Figura 13.5). Questo permette un **intervallo di transizione comune**, cioè un intervallo di potenza comune, che consente un funzionamento ottimale per entrambe le caldaie a biomassa nel funzionamento individuale. Questa suddivisione deve essere rispettata anche per i sistemi a più caldaie con unità di serie standard.

L'area di transizione comune è richiesta,

- in modo che dopo la messa in funzione della caldaia a biomassa più grande durante il passaggio alla stagione fredda, il suo utilizzo minimo richiesto secondo la Tabella 13.4 può essere garantito anche durante un periodo di caldo imprevisto senza spegnere nuovamente la caldaia a biomassa più grande con una nuova messa in funzione della caldaia a biomassa più piccola.
- in modo che dopo lo spegnimento della caldaia a biomassa più grande e l'avvio della caldaia a biomassa più piccola durante il passaggio alla stagione calda, anche durante un breve periodo di freddo, non è necessario avviare la caldaia a biomassa più grande e spegnere nuovamente la caldaia a biomassa più piccola.

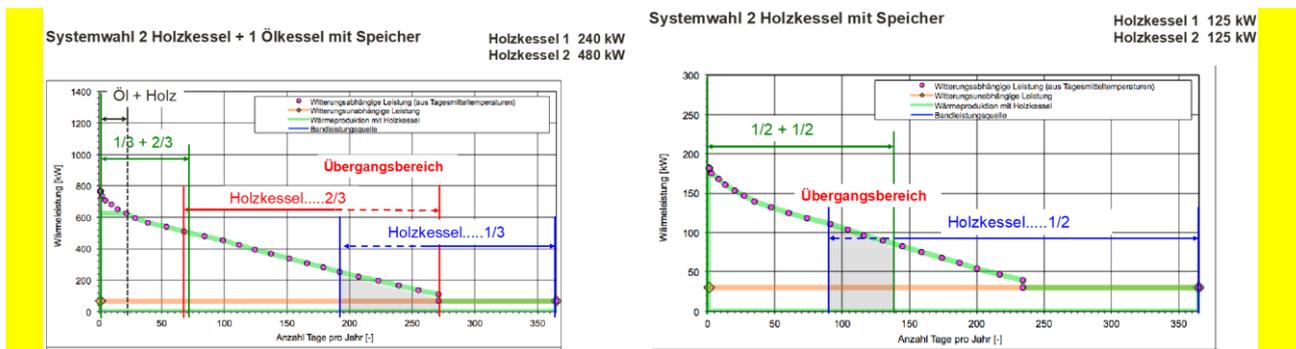


Figura 13.5 Fasi operative e intervallo di transizione per sistemi con due caldaie a biomassa utilizzando l'esempio della curva di durata annuale (a sinistra con caldaia fossile, a destra senza caldaia fossile).

I dati dettagliati per la curva di durata annuale sulla sinistra "Sistema bivalente a tre caldaie con serbatoio di stoccaggio" sono:

- Carico di riscaldamento medio minimo giornaliero durante il funzionamento non di punta effettivamente 67 kW
- Piccola caldaia a biomassa 240 kW, carico di riscaldamento medio giornaliero minimo richiesto con funzionamento a basso carico 48 kW (presupposto 20 % della potenza della caldaia secondo la Tabella 13.4, riscaldamento a griglia mobile, da M35 a M50).
- Grande caldaia a biomassa 480 kW, carico di riscaldamento medio giornaliero minimo richiesto con funzionamento a basso carico 96 kW (presupposto 20 % della potenza della caldaia secondo la Tabella 13.4)

I dati dettagliati per la curva di durata annuale sulla destra "Sistema di riscaldamento a legna monovalente a due caldaie con serbatoio di stoccaggio" sono:

- Carico di riscaldamento medio giornaliero minimo per il funzionamento a basso carico effettivamente 30 kW
- Caldaia a biomassa 1 e caldaia a biomassa 2 da 125 kW ciascuna, carico di riscaldamento medio giornaliero minimo richiesto con funzionamento a basso carico 13 kW (presupposto 10 % della potenza della caldaia secondo la Tabella 13.4, sistemi di combustione a griglia fissa e sottoalimentati, ≤ M35).

### 13.5.2 Descrizione delle varianti di base

costosi e fanno risparmiare spazio. Possono anche essere usati come base per ulteriori fasi di espansione.

#### 13.5.2.1 Sistema di riscaldamento a biomassa monovalente con serbatoio di stoccaggio da 100 a 500 kW

##### Descrizione

Gli impianti con una potenza termica nominale fino a un massimo di 500 kW possono essere gestiti con un sistema monovalente a caldaia singola (una caldaia a biomassa con accumulatore WE2). L'accumulatore serve a bilanciare il funzionamento della caldaia e a coprire i carichi di punta. Questi sistemi sono relativamente poco

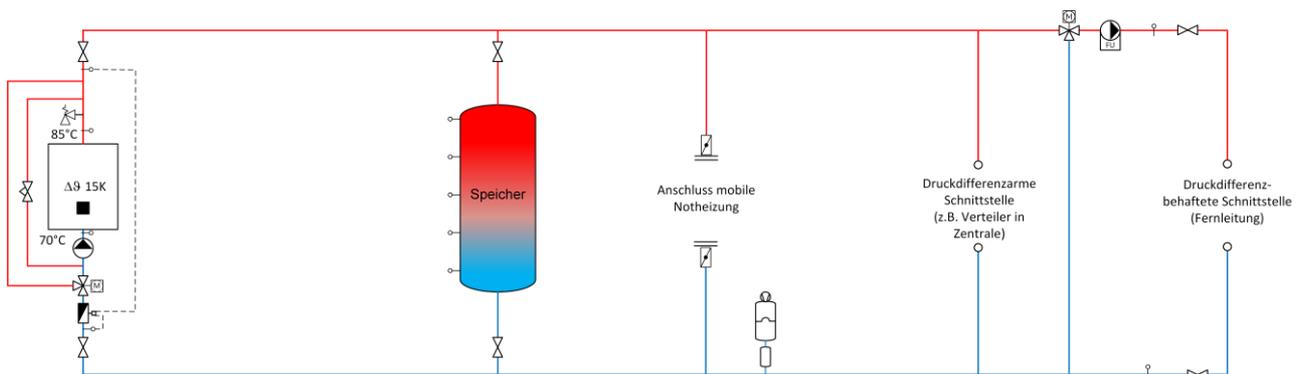


Figura 13.6 Schema di principio di un sistema con una caldaia a biomassa con serbatoio di stoccaggio (WE2).

Le caratteristiche più importanti sono:

- I picchi di carico a breve termine e le riduzioni di carico sono bilanciati dal sistema di stoccaggio.
- Progettare la potenza della caldaia senza tener conto dei carichi di punta (rombo nero nella Figura 13.4)
- Funzionamento tutto l'anno con richiesta di calore esclusiva per il riscaldamento degli ambienti e l'acqua calda sanitaria possibile solo con un carico estivo sufficientemente alto (condizioni di basso carico Tabella 13.4)
- Nel periodo di transizione, il contenuto massimo di acqua nel combustibile è limitato a  $\leq M40$  (accensione automatica richiesta).
- Variante conveniente
- Estensione possibile con l'aggiornamento a WE4, 6, ecc.
- Strategia di controllo: La caldaia a biomassa viene fatta funzionare alla potenza più bassa possibile in modo che la potenza della caldaia corrisponda appena alla capacità termica media richiesta. Lo stato di carica dell'accumulatore determina la specifica della potenza della caldaia. Nel periodo di transizione o nel funzionamento estivo, se non ci sono forti oscillazioni di carico a breve termine, l'accumulatore viene caricato alla potenza minima della caldaia in modalità on/off. Per la descrizione dettagliata del controllo, vedere gli schemi idraulici standard parte I [60].

La soluzione WE2 non è adatta:

- quando si verificano fluttuazioni di carico elevate a breve termine che non possono essere assorbite dal sistema di stoccaggio.
- se le condizioni di basso carico non possono essere soddisfatte durante il funzionamento estivo.
- per i sistemi in espansione parziale.

Principi di progettazione

Produzione annuale di calore con la biomassa	100 %
Potenza della caldaia a biomassa di progettazione	100% senza picchi di carico (rombo nero nella Figura 13.4)
Numero di ore di funzionamento a pieno carico della caldaia a biomassa	> 2.000 h/a
Funzionamento a basso carico	Funzionamento estivo possibile se il carico estivo è sufficiente secondo la Tabella 13.4
Accensione automatica?	Sì
Combustibile	Massimo P31S con accensione automatica $\leq M40$
Capacità di stoccaggio	$\geq 1$ h relativo alla potenza nominale della caldaia a biomassa

### 13.5.2.2 Sistema di riscaldamento a biomassa bivalente con serbatoio di stoccaggio da 100 a 1.000 kW

#### Descrizione

Per aumentare la sicurezza dell'approvvigionamento e/o nel caso di un'espansione graduale, un sistema bivalente raggiunge un funzionamento significativamente più stabile a bassi costi aggiuntivi. I sistemi bivalenti con una caldaia a biomassa con accumulatore sono raccomandati fino a una potenza termica nominale richiesta di 1.000 kW (una caldaia a biomassa con accumulatore e una caldaia a combustibile fossile WE4). L'accumulatore

di calore serve a bilanciare il funzionamento della caldaia. La caldaia a combustibile fossile copre i carichi di punta e, se necessario, anche il funzionamento estivo. Con la caldaia a combustibile fossile, le fluttuazioni di carico a breve termine che non possono essere compensate dal sistema di accumulo di calore possono essere coperte. Inoltre, la caldaia a combustibile fossile garantisce la sicurezza dell'approvvigionamento in caso di guasto o malfunzionamento della caldaia a biomassa. Questi sistemi sono relativamente poco costosi e possono essere gestiti in modo molto efficiente.

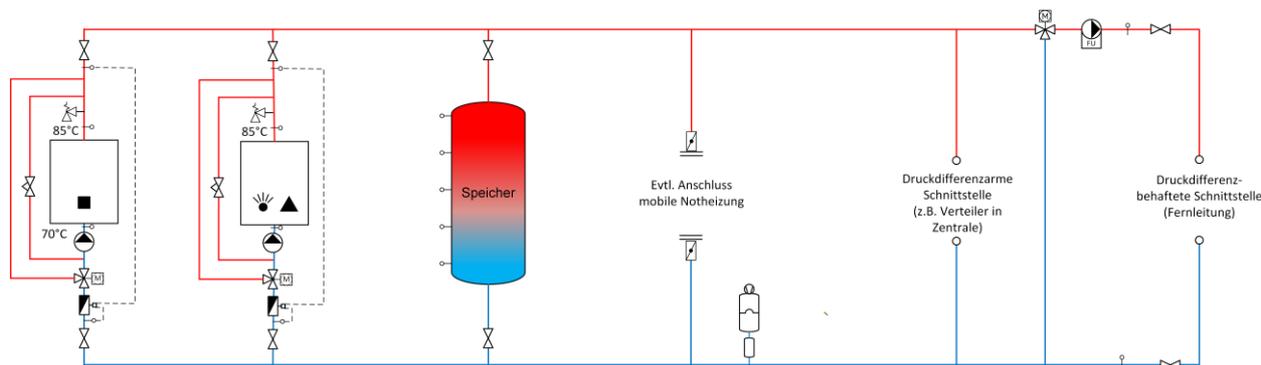


Figura 13.7 Schema di principio di un sistema con una caldaia a biomassa con serbatoio di stoccaggio e caldaia a combustibile fossile (WE4).

Le caratteristiche più importanti sono:

- I carichi di picco a breve termine e le riduzioni di carico sono compensati dall'accumulatore di calore
- Progettazione della potenza totale della caldaia compresi i picchi di carico (quadrato blu nella Figura 13.4)
- La potenza della caldaia a biomassa corrisponde alla capacità termica media richiesta fino al punto di bivalenza e poi a una parte del carico di riscaldamento medio giornaliero
- Copertura del carico di picco con caldaia ausiliaria fossile
- Funzionamento a basso carico nel periodo di transizione e in estate con caldaia a biomassa se il carico è sufficiente, altrimenti con caldaia fossile (Tabella 13.4)
- Per l'accensione automatica, il contenuto massimo di acqua nel combustibile è limitato a  $\leq M40$
- Variante economica per un funzionamento e una fornitura garantiti tutto l'anno
- Buon utilizzo della caldaia a biomassa con un corrispondente alto grado di copertura con la biomassa
- Le riserve sono coperte dalla parte vegetale fossile
- L'idraulica e il controllo della generazione di calore possono essere estesi, per esempio a WE8
- Strategia di controllo: La caldaia a biomassa viene fatta funzionare alla potenza più bassa possibile in modo che la potenza della caldaia soddisfi la capa-

rità termica media richiesta. Lo stato di carica dell'accumulatore determina la specifica di potenza della caldaia a biomassa. Per il funzionamento a carico di punta durante i giorni invernali più freddi, la caldaia fossile viene accesa e supporta la caldaia a biomassa. In caso di malfunzionamento o guasto delle caldaie a biomassa, il sistema di riscaldamento fossile subentra automaticamente. Il funzionamento estivo avviene con la caldaia a biomassa o con la caldaia fossile, a seconda che sia soddisfatta la condizione di basso carico. Se non si verificano fluttuazioni di carico elevate a breve termine, l'accumulatore viene caricato dalla caldaia a biomassa alla potenza minima della caldaia in modalità on/off (accensione automatica obbligatoria). Se la caldaia a biomassa non è adatta al funzionamento a basso carico, la copertura estiva è assicurata dalla caldaia fossile. Per una descrizione dettagliata del controllo, vedere gli schemi idraulici standard parte I [60].

- Gli impianti senza funzionamento estivo o con un'alta richiesta di calore di processo possono eventualmente funzionare anche sopra i 1.000 kW con una sola caldaia a biomassa e una caldaia fossile.

#### La soluzione WE4 non è adatta

- quando è richiesta una generazione di calore al 100% priva di combustibili fossili.

#### Principi di progettazione

Produzione annuale di calore con la biomassa 80 - 90 %

Potenza della caldaia a biomassa di progettazione	50-60% della capacità termica totale richiesta, compresi i picchi di carico (quadrato blu nella Figura 13.4)
Progettazione della potenza della caldaia fossile	Dal 70 al 100 % del fabbisogno totale di potenza termica (alta ridondanza)
Numero di ore di funzionamento a pieno carico Caldaia a biomassa	> 3.500 h/a (obiettivo 4.000 h/a)
Funzionamento a basso carico	Se non soddisfatti: Funzionamento estivo con caldaia fossile
Accensione automatica	Sì
Combustibile	fino a 500 kW massimo P31S; con accensione automatica ≤ M40
Capacità di stoccaggio	≥ 1 h relativo alla potenza nominale della caldaia a biomassa

### 13.5.2.3 Sistema di riscaldamento a biomassa monovalente con serbatoio di accumulo da 501 a 1.000 kW

#### Descrizione

Dividendo la potenza della caldaia tra due caldaie a biomassa, i sistemi più grandi possono funzionare con la biomassa tutto l'anno (due caldaie a biomassa con stoccaggio WE6). Si raccomanda di dividere la potenza da 1/3 a 2/3. Questo di solito permette alla caldaia più piccola di coprire il basso carico in estate e un funzionamento equilibrato di entrambi i generatori di calore durante tutto l'anno. La caldaia piccola dovrebbe essere dotata di accensione automatica. Un serbatoio di accumulo deve essere installato per bilanciare il funzionamento della caldaia e per coprire i carichi di punta.

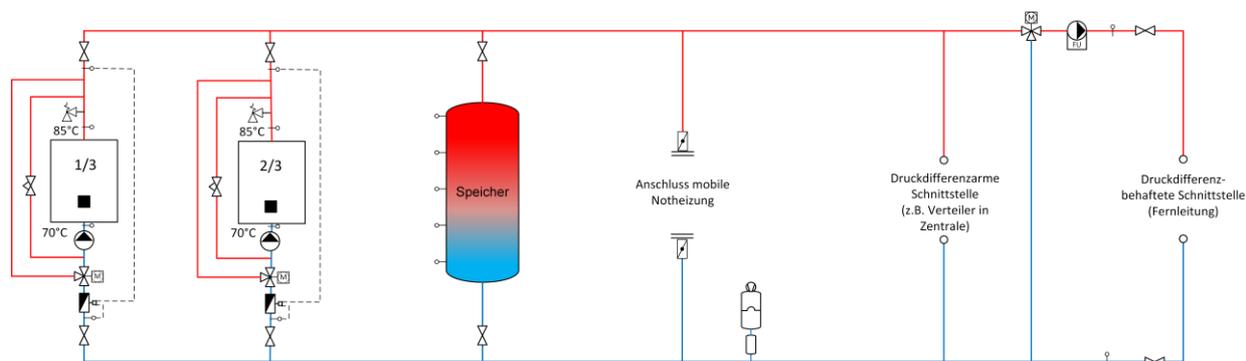


Figura 13.8 Sistema con due caldaie a biomassa e con serbatoio di stoccaggio (WE6).

Le **caratteristiche** più importanti sono:

- I picchi di carico a breve termine e le riduzioni di carico sono compensati dal sistema di stoccaggio.
- Progettazione della potenza totale della caldaia senza picchi di carico (rombo nero nella Figura 13.4)
- Distribuzione delle uscite della caldaia nel rapporto 1/3 a 2/3 secondo il capitolo 13.6.1
- Funzionamento a basso carico nel periodo di transizione e in estate con una piccola caldaia di solito possibile (Tabella 13.4)
- Piccola caldaia con accensione automatica contenente massimo di acqua nel combustibile limitato a ≤ M40
- Funzionamento senza fossili per tutto l'anno
- In caso di malfunzionamento di una caldaia a biomassa l'alimentazione è garantita in modo condizionato dalla seconda caldaia a biomassa. Per la massima affidabilità si dovrebbe prevedere un collegamento a un sistema di riscaldamento mobile.
- Connessione graduale dei clienti possibile (a costi di investimento relativamente alti)
- L'idraulica e il controllo della generazione di calore possono essere ampliati
- Strategia di controllo: Entrambe le caldaie a biomassa vengono fatte funzionare alla potenza più bassa possibile (stessa specifica di potenza comune)

in modo che la somma delle uscite delle caldaie soddisfi la capacità termica media richiesta. Lo stato di carica dell'accumulatore determina la specifica di uscita delle caldaie. La cascata di caldaie (circuito sequenziale) determina il funzionamento delle caldaie. Nel funzionamento estivo, se non ci sono fluttuazioni di carico elevate a breve termine, l'accumulatore viene caricato alla potenza minima della caldaia a biomassa più piccola in modalità on/off. La caldaia a biomassa più piccola viene commutata manualmente su quella più grande quando la caldaia a biomassa più piccola non è più in grado di coprire la domanda media giornaliera di calore. La caldaia a biomassa più grande viene commutata manualmente su quella più piccola se la produzione giornaliera di calore della caldaia a biomassa più grande (produzione di calore in 24 ore a potenza minima) è inferiore al 25% della sua massima produzione giornaliera possibile (produzione di calore in 24 ore a potenza nominale). La caldaia a biomassa più piccola viene accesa con il sequenziamento automatico e il funzionamento a carico di punta con l'accensione automatica quando la caldaia a biomassa più grande non riesce più a coprire il fabbisogno di calore su una media oraria. La caldaia a biomassa più piccola si spegne di nuovo solo quando la richiesta di capacità termica scende al di sotto della somma delle uscite minime delle due caldaie a biomassa. In caso di malfunzionamento della caldaia a biomassa più grande, la caldaia a biomassa più piccola viene accesa con l'accensione automatica. Per una descrizione dettagliata

del sistema di controllo, vedere gli schemi idraulici standard parte I [60].

**La soluzione WE6 non è adatta:**

- quando si verificano fluttuazioni di carico elevate a breve termine che non possono essere assorbite dal sistema di stoccaggio.
- se le condizioni di basso carico nel funzionamento estivo non possono essere soddisfatte con la piccola caldaia.

**Principi di progettazione**

Produzione annuale di calore con la biomassa	100 %
Progettazione caldaia a biomassa uscita 1 e 2	33 % rispettivamente 67 % senza picchi di carico (rombo nero nella Figura 13.4)
Numero di ore di funzionamento a pieno carico della caldaia a biomassa	> 2.000 h/a
Funzionamento a basso carico	Conformità con la Tabella 13.4 con piccola caldaia
Accensione automatica?	Sì, per la piccola caldaia
Combustibile	fino a 1.000 kW max. P31S con accensione automatica ≤ M40

Capacità di stoccaggio ≥ 1 h relativo ad almeno 2/3 della potenza nominale totale delle caldaie a biomassa (raccomandato, tuttavia, ≥ 1 h al 100% della potenza nominale totale).

**13.5.2.4 Sistema di riscaldamento a biomassa monovalente con serbatoio di stoccaggio ≥ 1.000 kW**

**Descrizione**

I sistemi monovalenti a più caldaie con più di due caldaie a biomassa possono essere realizzati, per esempio, come estensione dei sistemi a due caldaie WE6 in caso di espansione graduale o se le condizioni di basso carico non possono essere soddisfatte con la caldaia piccola (sistema a più caldaie legno con accumulatore). Le gamme di potenza parziale delle caldaie devono essere scelte in modo da rendere possibile sia una facile commutazione delle caldaie che il funzionamento estivo. Dividendo la potenza nominale della caldaia (per es. 1/5 - 2/5 - 2/5), il funzionamento può essere assicurato tutto l'anno. La caldaia più piccola dovrebbe essere dotata di accensione automatica. Un serbatoio di accumulo dovrebbe essere installato per bilanciare il funzionamento della caldaia e per coprire le fluttuazioni di carico.

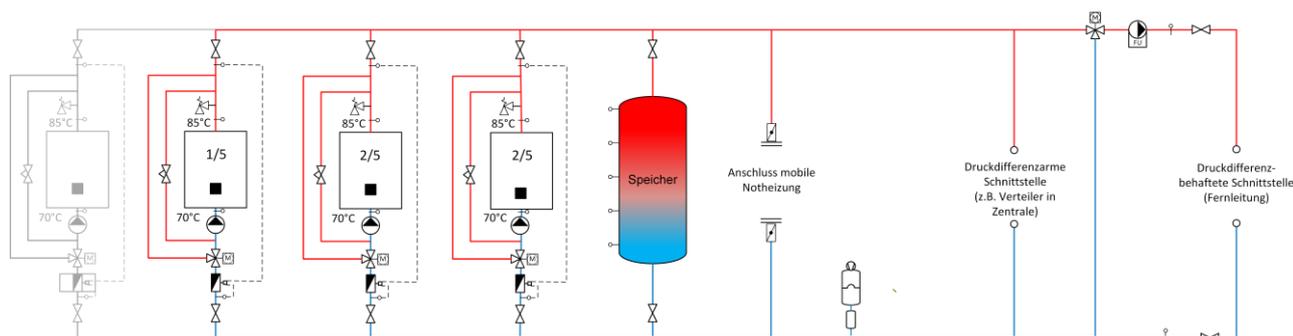


Figura 13.9 con diverse caldaie a biomassa e con serbatoio di stoccaggio (WE6+).

**Le caratteristiche più importanti sono:**

- I picchi di carico a breve termine e le riduzioni di carico sono compensati dal sistema di stoccaggio
- Progettazione della potenza totale della caldaia senza picchi di carico (rombo nero nella Figura 13.4)
- Distribuzione delle uscite della caldaia in modo da garantire il funzionamento estivo e la commutazione della caldaia (vedi capitolo 13.6.1).
- Funzionamento a basso carico nel periodo di transizione e in estate con la caldaia più piccola (Tabella 13.4)
- Caldaia più piccola (≤ 500 kW) con accensione automatica, contenuto massimo di acqua nel combustibile limitato a ≤ M40
- Funzionamento senza fossili per tutto l'anno
- In caso di malfunzionamento di una caldaia a biomassa, la fornitura è garantita in modo condizionato dalle altre caldaie a biomassa. Per la massima affidabilità si dovrebbe prevedere un collegamento a un sistema di riscaldamento mobile.

- Possibilità di connessione passo dopo passo dei clienti
- L'idraulica e il controllo della generazione di calore possono essere ampliati
- Strategia di controllo: Le caldaie a biomassa vengono fatte funzionare alla potenza più bassa possibile (specifica di potenza uguale comune) in modo che la somma delle uscite delle caldaie soddisfi la capacità termica media richiesta. Lo stato di carica dell'accumulatore determina la specifica della potenza delle caldaie. La cascata di caldaie (circuito sequenziale) determina il funzionamento delle caldaie. Nel funzionamento estivo, se non ci sono fluttuazioni di carico elevate a breve termine, l'accumulatore viene caricato alla potenza minima della più piccola caldaia a biomassa in modalità on/off. Le caldaie a biomassa sono di solito commutate manualmente. Se la richiesta di capacità termica supera la somma delle potenze nominali delle caldaie a biomassa in funzione, o si spegne una piccola caldaia a biomassa e si accende una grande caldaia a biomassa, o si ac-

cede un'altra caldaia a biomassa. Se la potenza termica richiesta scende al di sotto della somma delle potenze minime delle caldaie a biomassa in funzione, si spegne una piccola caldaia a biomassa oppure si accende una piccola caldaia a biomassa e si spegne una grande caldaia a biomassa. La caldaia a biomassa più piccola con accensione automatica può essere accesa automaticamente con la commutazione automatica in sequenza. In caso di malfunzionamento di una caldaia a biomassa più grande, si accende anche la caldaia a biomassa più piccola con accensione automatica. Per una descrizione dettagliata delle regole, vedere gli schemi idraulici standard parte I [60].

**La soluzione WE6+ non è adatta**

- quando si verificano fluttuazioni di carico elevate a breve termine che non possono essere assorbite dal sistema di stoccaggio.

**Principi di progettazione**

Produzione annuale di calore con la biomassa	100 %
Design	Potenza totale della caldaia senza picchi di carico (rombo nero nella Figura 13.4)
	la caldaia più piccola secondo la Tabella 13.4, progettare altre caldaie per un cambio di caldaia senza problemi (per esempio da 1/5 a 2/5 a 2/5)
Numero di ore di funzionamento a pieno carico della caldaia a biomassa	> 2.000 h/a

Funzionamento a basso carico	Conformità Tabella 13.4 caldaia più piccola
Accensione automatica?	Sì, per la piccola caldaia
Combustibile	fino a 1.000 kW massimo P31S con accensione automatica ≤ M40
Capacità di stoccaggio	≥ 1 h relativo ai 2/3 della potenza nominale totale delle caldaie a biomassa (raccomandato, tuttavia, ≥ 1 h al 100% della potenza nominale totale).

**13.5.2.5 Sistema di riscaldamento a biomassa bivalente con serbatoio di stoccaggio ≥ 1.000 kW**

**Descrizione**

I sistemi bivalenti a più caldaie con due o più caldaie a biomassa di solito permettono il funzionamento estivo con la biomassa anche nei sistemi più grandi (due caldaie a biomassa con serbatoio di stoccaggio e caldaia fossile WE8). Possono anche essere costruiti come estensione dei sistemi bivalenti WE4 o dei sistemi a due caldaie WE6. I sistemi bivalenti sono caratterizzati dalla massima affidabilità con bassi costi aggiuntivi. L'accumulatore serve a bilanciare il funzionamento della caldaia a biomassa. Con la caldaia a combustibile fossile si possono coprire anche le fluttuazioni di carico a breve termine che non possono essere compensate dal sistema di accumulo di calore. Questi sistemi possono essere gestiti in modo relativamente economico e molto efficiente.

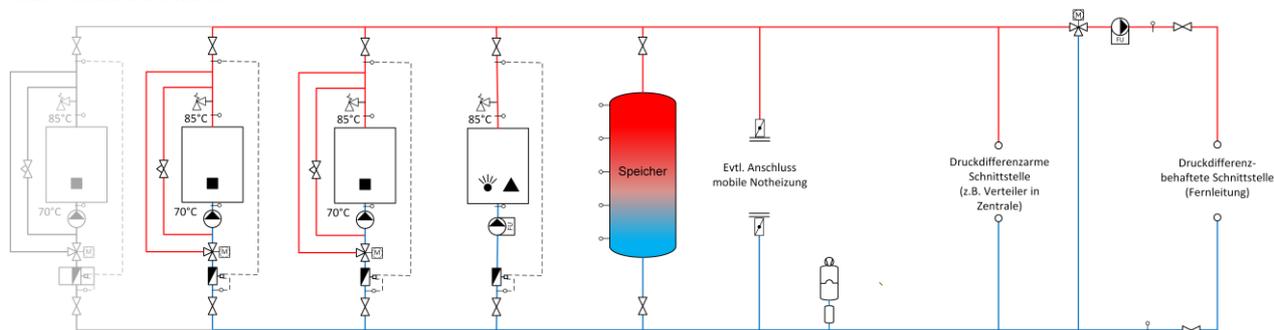


Figura 13.10 Sistema con due caldaie a biomassa con serbatoio di stoccaggio e caldaia a combustibile fossile (WE8).

**Le caratteristiche più importanti sono:**

- I picchi di carico a breve termine e le riduzioni di carico sono compensati dal sistema di stoccaggio.
- Progettazione della potenza totale della caldaia compresi i picchi di carico (quadrato blu nella Figura 13.4)
- Divisione della potenza della caldaia in modo da garantire il funzionamento estivo e il cambio della caldaia (riferimento incrociato alla progettazione di sistemi a più caldaie)
- Funzionamento a basso carico nel periodo di transizione e in estate con la caldaia a biomassa più piccola (Tabella 13.4)

- La più piccola caldaia a biomassa (≤ 500 kW) con accensione automatica, contenuto massimo di acqua nel combustibile limitato a ≤ M40
- Massima affidabilità della fornitura
- Buon utilizzo dell'impianto di caldaie a biomassa con un corrispondente alto grado di copertura con la biomassa
- Riserve coperte da caldaia a combustibile fossile
- Possibilità di connessione passo dopo passo dei clienti
- L'idraulica e il controllo della generazione di calore possono essere ampliati

- **Strategia di controllo:** Le caldaie a biomassa vengono fatte funzionare alla potenza più bassa possibile (specifica di potenza uguale comune) in modo che la somma delle uscite delle caldaie soddisfi la capacità termica media richiesta. Lo stato di carica dell'accumulatore determina la specifica della potenza delle caldaie. La cascata di caldaie (circuito sequenziale) determina il funzionamento delle caldaie. Nel funzionamento estivo, se non ci sono fluttuazioni di carico elevate a breve termine, l'accumulatore viene caricato alla potenza minima della più piccola caldaia a biomassa in modalità on/off. Le caldaie a biomassa sono di solito commutate manualmente. Se la richiesta di capacità termica supera la somma delle potenze nominali delle caldaie a biomassa in funzione, o si spegne una piccola caldaia a biomassa e si accende una grande caldaia a biomassa, o si accende un'altra caldaia a biomassa. Se la potenza termica richiesta scende al di sotto della somma delle potenze minime delle caldaie a biomassa in funzione, si spegne una piccola caldaia a biomassa oppure si accende una piccola caldaia a biomassa e si spegne una grande caldaia a biomassa. La caldaia a biomassa più piccola con accensione automatica può essere accesa automaticamente con la commutazione automatica sequenziale. La caldaia a combustibile fossile viene utilizzata per il funzionamento di picco durante i giorni invernali più freddi ed eventualmente per il funzionamento a basso carico in estate. In caso di malfunzionamento di una caldaia a legna più grande, viene aggiunta la caldaia a biomassa più piccola con accensione automatica. In caso di guasto completo del sistema di riscaldamento a biomassa, la caldaia fossile subentra nella fornitura di calore. Per una descrizione dettagliata del sistema di controllo, vedere gli schemi idraulici standard parte I [60].

**Principi di progettazione**

Produzione annuale di calore con la biomassa	80 - 90 %
Design	Potenza totale della caldaia 60 % compresi i carichi di punta (quadrato blu nella Figura 13.4) caldaia più piccola secondo la Tabella 13.4, progettare altre caldaie per un cambio di caldaia senza problemi (ad esempio 1/3 a 2/3 o per tre caldaie a biomassa 1/5 a 2/5 a 2/5)
Numero di ore di funzionamento a pieno carico della caldaia a biomassa	> 3.000 h/a
Funzionamento a basso carico	Rispetto della Tabella 13.4 con la caldaia più piccola o la caldaia a combustibile fossile
Accensione automatica?	Sì, per la piccola caldaia
Combustibile	fino a 1.000 kW massimo P31S con accensione automatica ≤ M40
Capacità di stoccaggio	≥ 1 h relativo ai 2/3 della potenza nominale totale delle caldaie a biomassa (raccomandato, tuttavia, ≥ 1 h al 100% della potenza nominale totale).

**13.5.3 Procedura per la progettazione di un sistema bivalente**

Quando si progettano i generatori di calore di un impianto di riscaldamento a biomassa bivalente, si devono prendere in considerazione le seguenti condizioni limite:

- **La curva di durata annuale** della produzione di calore di una rete di teleriscaldamento mostra una fase di carico di picco relativamente breve in relazione all'andamento della temperatura esterna (vedi Figura 13.11).
- **La struttura dei costi** dei sistemi di generazione di calore è diversa. I costi di investimento delle caldaie a biomassa sono alti e i costi del combustibile sono bassi, mentre le caldaie a olio e a gas hanno costi di investimento relativamente bassi ma alti costi del combustibile.

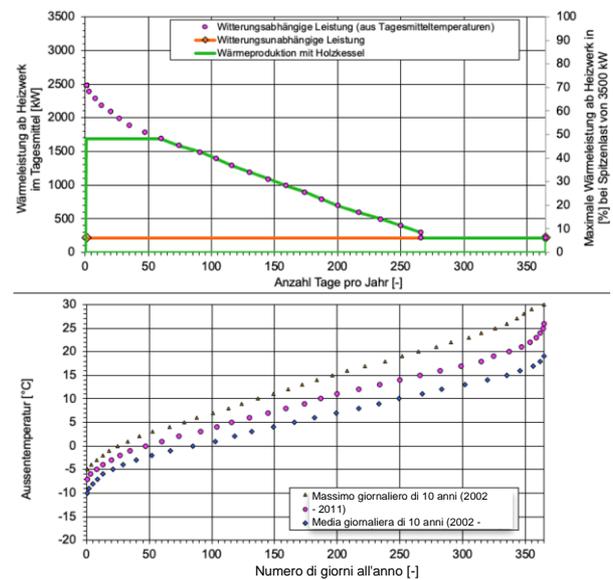


Figura 13.11 Esempio di curva di durata annuale di un sistema di riscaldamento a biomassa bivalente.

In alto: linea di durata annuale della produzione di calore nella media giornaliera.  
In basso: Curva di durata annuale della temperatura media esterna giornaliera

Tabella 13.6 Struttura dei costi di diversi sistemi di generatori di calore.

Impianto di combustione	Costi di investimento (costi fissi)	Costi del combustibile (costi variabili)
Biomassa	alto	basso
Olio di riscaldamento, gas	basso	alto

- Da queste condizioni limite si può dedurre che è consigliabile dividere un sistema bivalente tra un impianto di combustione a biomassa per **coprire il carico di base** (carico di base e medio) e un impianto a olio/gas per **coprire il carico di punta** e come unità

di stand-by. La produzione di calore a zero<sub>2</sub> emissioni di CO può essere raggiunta con questa variante di sistema solo se la fonte di energia fossile viene sostituita da una fonte di energia rinnovabile come il biogas (liquido), l'olio di riscaldamento biologico o il combustibile di legno di alta qualità (pellet, cippato di qualità).

In linea di principio, la potenza termica di un sistema bivalente dovrebbe essere suddivisa determinando il costo ottimale. Tuttavia, devono essere prese in considerazione anche altre condizioni quadro, come la quota massima di combustibili fossili consentita dall'ente finanziatore, l'accettazione decrescente dell'uso di combustibili fossili da parte della popolazione e del proprietario dell'edificio (transizione termica verso una produzione di calore neutrale in termini di CO).

- Per i sistemi più grandi, ha senso dividere il sistema in due caldaie a biomassa. Qui è importante il seguente criterio:
  - La decrescita dei costi di investimento rappresenta un importante criterio di decisione in questo contesto, cioè una divisione in due caldaie a biomassa con una somma delle potenze nominali delle caldaie a biomassa inferiore a circa 2 MW dovrebbe essere esaminata attentamente dal punto di vista economico. 2 MW dovrebbe essere esaminata attentamente dal punto di vista economico.

L'esperienza del QM per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa mostra che il rispetto dei requisiti Q secondo la Tabella 13.4 non solo assicura un funzionamento tecnicamente impeccabile con basse emissioni, ma che questi impianti sono anche i più interessanti dal punto di vista economico.

### 13.5.4 Selezione del sistema di combustione

Sulla base della selezione del sistema di generazione del calore e dei principi di progettazione corrispondenti, viene determinata la potenza della caldaia necessaria per una o più caldaie.

I vari sistemi di combustione sono più o meno adatti ai diversi campi di applicazione. I criteri più importanti per la scelta del sistema di combustione sono:

- Uscita della caldaia
- Assortimento di biomassa secondo il capitolo 13.4
- Modalità di funzionamento per carico di base e funzionamento a basso carico (vedi requisiti Tabella 13.4).

### 13.5.5 Dimensionamento dell'accumulatore di calore

Affinché il setpoint di uscita della caldaia a biomassa possa essere modificato più lentamente del suo tempo di reazione, di solito è necessario un accumulatore di calore con le seguenti funzioni:

- Compensazione di picchi e riduzioni di carico a breve termine che sono più veloci del tempo di reazione

della caldaia a biomassa (secondo la capacità di stoccaggio specificata).

- Reazione all'andamento del carico dovuta al cambiamento dello stato di carica dell'accumulatore.

Come **volume di stoccaggio**, si raccomanda generalmente una capacità di stoccaggio di  $\geq 1$  h relativa alla potenza nominale della caldaia a biomassa. Inoltre, si deve tener conto di eventuali requisiti di legge. Tuttavia, se nel corso della giornata si verificano elevati picchi di carico (a breve termine) e riduzioni di carico, come nel caso del modello di carico delle serre, del calore di processo o dei riscaldatori d'aria, questi possono essere compensati solo con una capacità di stoccaggio significativamente maggiore. Le seguenti raccomandazioni dovrebbero quindi essere osservate per i seguenti casi:

- **Serre:** Per compensare i picchi di carico nelle serre (di notte a causa della radiazione fredda) e le riduzioni di carico (durante il giorno quando il sole splende) durante il giorno, la capacità di accumulo dovrebbe essere aumentata fino a 4-6 h della potenza nominale della caldaia a biomassa. La potenza nominale della caldaia a biomassa dovrebbe essere progettata per circa il 50% della richiesta di capacità termica massima. Ciò comporta un aumento corrispondente dell'utilizzo o del numero di ore di funzionamento a pieno carico.
- **Calore del processo** 2 h - 8 h
- **Riscaldatore d'aria** 1,5 h - 2 h
- **Preparazione dell'acqua calda sanitaria** 1,5 h - 2 h (per esempio stazioni di acqua fresca)
- **Riscaldamento della piscina all'aperto** 1,5 h - 2 h

Per evitare il sovradimensionamento della caldaia a biomassa di un **sistema di caldaie a biomassa monovalente con serbatoio di stoccaggio**, i picchi di carico a breve termine (da 3 a 4 ore) devono essere coperti dal serbatoio di stoccaggio secondo la caratteristica di carico della linea continua. Il volume di stoccaggio deve avere una capacità di stoccaggio che sia in grado di bilanciare la curva di carico in modo tale che il sistema della caldaia a biomassa possa seguire la riduzione media del carico o la caratteristica di carico della linea tratteggiata (Figura 11.1).

Per **due o più caldaie a biomassa**, il volume minimo di stoccaggio  $\geq 1$  h di capacità di stoccaggio può essere basato su 2/3 della potenza nominale totale delle caldaie a biomassa.

Il volume di stoccaggio richiesto è calcolato nello strumento Excel per la valutazione della domanda e la selezione del sistema appropriato. La capacità di stoccaggio è determinata direttamente attraverso la differenza di temperatura attraverso il serbatoio di stoccaggio. QM per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa specifica che la differenza di temperatura attraverso il serbatoio di stoccaggio dovrebbe essere  $> 30$  K. Con una differenza di temperatura di 40 K, la capacità di stoccaggio può essere aumentata notevolmente rispetto ai 30 K per un volume di stoccaggio esistente. Per una gestione ottimale dello stoccaggio, è necessario un flusso elevato costante e una temperatura di ritorno bassa e costante.

Ulteriori informazioni sulla funzione dei sistemi di accumulo di calore, compresi i prerequisiti per una gestione ottimale dell'accumulo di calore, si possono trovare nel capitolo 7.5.

### 13.5.6 Domanda di combustibile

La domanda annuale di combustibile per la biomassa (t/anno o LCM/anno) è calcolata dalla domanda annuale di energia primaria (contenuto energetico del combustibile ad esempio in MWh/a) e dal contenuto energetico del combustibile.

Nel caso della generazione di calore monovalente, la domanda annuale di energia primaria per la biomassa corrisponde alla domanda annuale di calore dell'intero sistema divisa per l'efficienza annuale  $\eta_a$  del sistema della caldaia a biomassa.

Nel caso della produzione di calore bivalente, solo la quota della domanda annuale di calore che è coperta dalle caldaie a biomassa (quota biogenica della produzione annuale di calore) è rilevante per determinare la domanda di energia primaria della biomassa. Questa dipende dall'assegnazione di potenza fatta e dalla curva di durata annuale dell'intero impianto e di solito corrisponde all'80-90% della domanda annuale di calore dell'intero impianto. Dividendo questa quota per l'efficienza annuale  $\eta_a$  dell'impianto con caldaia a biomassa si ottiene la domanda annuale di energia primaria per la biomassa. Nello strumento Excel per la valutazione del fabbisogno e la scelta del sistema appropriato, questo viene mostrato nel foglio di lavoro "*Tabella delle cifre* o del *piano Q*".

Le **perdite di generazione di calore**  $Q_{VWE}$  sono calcolate dall'efficienza annuale di generazione di calore  $\eta_a$ . La determinazione dell'efficienza annuale per i sistemi a biomassa è descritta nel capitolo 20.12. Le perdite di generazione di calore  $Q_{VWE}$  sono influenzate da:

- Perdite operative, rispettivamente efficienza della caldaia
- Perdite in standby
- Utilizzo della capacità
- Livello di carico medio.

## 13.6 Ulteriori varianti del sistema di generazione di calore

### 13.6.1 Sistemi a più caldaie con equipaggiamento di serie

Le caldaie a biomassa a basso costo come dispositivi di serie standard fino a una potenza nominale della caldaia di circa 500 kW, con eccezioni fino a 1.500 kW, consentono come sistemi di caldaie multiple monovalenti ("sistemi a cascata", per esempio da 3 a 6 caldaie a biomassa) di coprire la domanda di capacità termica di un

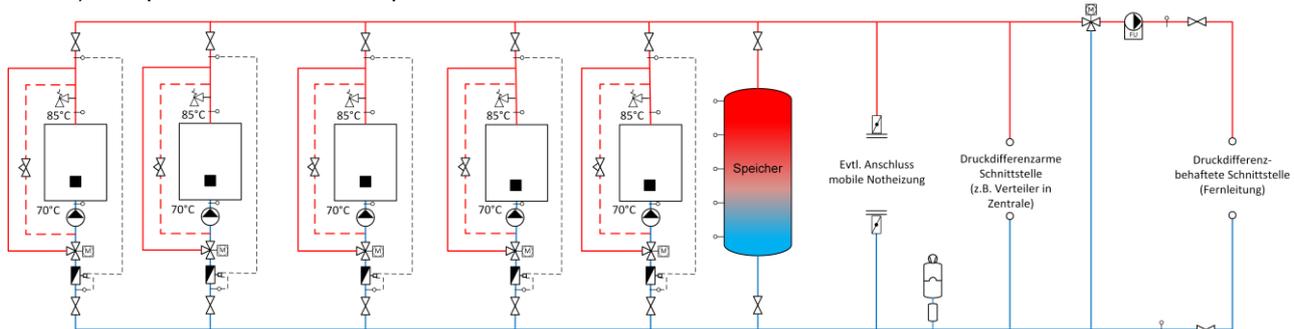


Figura 13.12 Schema di un sistema a più caldaie ("sistema a cascata") con dispositivi di serie standard.

Va notato che le caldaie a biomassa di serie con alimentazione a griglia fissa e sottoalimentata effettuano una **rimozione automatica della cenere e un intervallo di pulizia della griglia fissa** (con griglie inclinabili) o della griglia rotante dopo un determinato tempo di funzionamento, per esempio, da 6 a 8 ore di funzionamento. In questo processo, il combustibile sulla griglia viene completamente bruciato in cenere nella fase di burnout. La griglia viene quindi pulita meccanicamente prima che la caldaia a biomassa venga riavviata con l'accensione automatica. L'intervallo di pulizia è di circa 30-45 minuti.

Durante l'intervallo di pulizia di una caldaia a biomassa, si deve evitare che un'altra caldaia a biomassa venga avviata per superare il processo di pulizia con un avviamento a freddo, per poi essere nuovamente spenta non appena la caldaia pulita è di nuovo in fase di funzionamento stazionario.

In caso di guasto di una caldaia a biomassa, le altre caldaie a biomassa forniscono un back-up affidabile (ridondanza).

I sistemi a più caldaie con apparecchi di serie standard offrono un alto grado di flessibilità nell'ampliamento di una rete di riscaldamento, poiché l'utilizzo richiesto delle singole caldaie a biomassa nel funzionamento a basso carico è già possibile nell'ampliamento di base.

Requisiti del **combustibile** (vedi anche capitolo 13.4):

- Pellets
- Cippato di qualità WS- e IS-P16S-M20\* e WS- e IS-P31S-M20

impianto di riscaldamento a biomassa fino a circa 2 MW e oltre.

In combinazione con un accumulatore di calore, che consente una specificazione ottimale della potenza e una regolazione ottimale della cascata con accensione e spegnimento automatico (con accensione automatica) delle singole caldaie a biomassa, le singole caldaie a biomassa possono essere fatte funzionare continuamente per tutto l'anno, soprattutto durante il funzionamento a basso carico nel periodo di transizione e in estate (vedi Tabella 13.4), con un elevato utilizzo e basse perdite in stand-by. Questo permette un'alta efficienza annuale complessiva  $\eta_a$ .

- WS- e IS-P31S-M35 (dalla potenza della caldaia > 200 kW con riscaldamento a griglia mobile)

L'alta qualità richiesta del combustibile aumenta significativamente i costi operativi a causa del prezzo più alto del combustibile. Questo ha un effetto particolare sull'efficienza economica dei sistemi a più caldaie con un'alta potenza nominale totale della caldaia.

#### Principi di progettazione

Produzione annuale di calore con la biomassa	100 %
Design	Potenza totale della caldaia senza picchi di carico (rombo nero nella Figura 13.4) Caldaia più piccola secondo la Tabella 13.4, Altre caldaie per un cambio di caldaia senza problemi (es. da 1/5 a 2/5 a 2/5)
Numero di ore di funzionamento a pieno carico della caldaia a biomassa	> 2.000 h/a
Funzionamento a basso carico	Conformità alla Tabella 13.4 con la caldaia più piccola
Accensione automatica?	Sì, per piccole caldaie (< 500 kW)
Combustibile	Pellet, cippato di qualità WS- e IS-P16S-M20* nonché WS- e IS-P31S-M20 o WS- e IS-P31S-M35 (a partire dalla potenza della caldaia > 200 kW con forno a griglia mobile)

Capacità di stoccaggio  $\geq 1$  h relativo ai 2/3 della potenza nominale totale delle caldaie a biomassa (raccomandato, tuttavia,  $\geq 1$  h al 100% della potenza nominale totale).

### 13.6.2 Caldaia a biomassa supplementare con alta qualità di combustibile per il funzionamento estivo

In caso di bassa domanda di calore nel periodo transitorio o in estate, un sistema monovalente con due caldaie a biomassa a volte non raggiunge l'utilizzo necessario (il carico di riscaldamento medio giornaliero minimo richie-

sto per il funzionamento a basso carico secondo la Tabella 13.4) per la caldaia o le caldaie a biomassa più grandi, poiché queste hanno un requisito di carico minimo più elevato a causa delle loro dimensioni e dei combustibili di riferimento tipicamente utilizzati.

Per avere più flessibilità nella progettazione e nel funzionamento degli impianti, una caldaia a biomassa aggiuntiva (caldaia estiva) con una bassa potenza può essere un'aggiunta utile per coprire il funzionamento estivo o a basso carico in modo flessibile ed efficiente (vedi Figura 13.14). Di regola, in questo caso vengono utilizzati apparecchi di serie progettati per il funzionamento con combustibile di alta qualità (pellet o cippato di qualità) e con accensione automatica. Rappresentano un'alternativa sensata alle caldaie fossili e alle caldaie a biopetrolio e biogas per consentire una produzione di calore al 100% neutrale in termini di CO

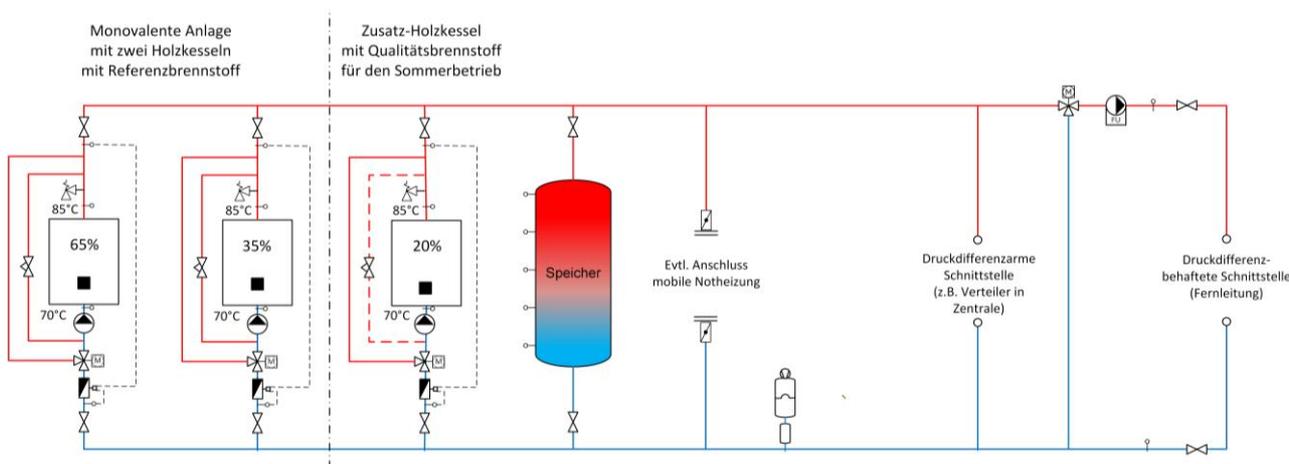


Figura 13.13 Schema di un sistema monovalente con due caldaie a biomassa e un'ulteriore caldaia a biomassa per combustibile di alta qualità per il funzionamento estivo.

L'obiettivo della progettazione della caldaia a biomassa ausiliaria è quello di ottenere un utilizzo ottimale della caldaia a biomassa nella produzione di calore per la fornitura di acqua calda sanitaria in estate.

A tal fine, la potenza della caldaia o la potenza totale della caldaia di una o più caldaie a biomassa aggiuntive dovrebbe essere dimensionata per almeno il doppio del carico massimo di riscaldamento medio giornaliero richiesto nel funzionamento estivo. In un sistema con una sola grande caldaia a biomassa e una caldaia a biomassa aggiuntiva, il sistema dovrebbe essere dimensionato possibilmente per tre volte il massimo carico di riscaldamento medio giornaliero richiesto nel funzionamento estivo. Questo si basa sul presupposto che la capacità di stoccaggio sia disponibile per compensare il carico giornaliero in modo tale che la caldaia a biomassa aggiuntiva possa coprire il carico medio giornaliero durante il funzionamento estivo. Questo rende possibile che la caldaia a biomassa aggiuntiva (vedi Figura 13.5) copra la fascia di transizione, in cui potrebbe essere utilizzata anche la caldaia a biomassa più grande.

Per gli apparecchi di serie si deve tener conto dei **requisiti speciali del combustibile** come per i sistemi a più caldaie con apparecchi di serie standard (vedi capitolo 13.6.1).

Se non c'è un deposito e una fornitura di combustibile separati, bisogna assicurarsi che il deposito di combustibile contenga il combustibile di alta qualità richiesto quando la caldaia a biomassa ausiliaria si avvia. Se c'è un malfunzionamento nell'alimentazione del combustibile, nessuna delle caldaie può funzionare.

Con lo stoccaggio e l'alimentazione separati del combustibile, la caldaia a biomassa aggiuntiva può funzionare contemporaneamente alle altre caldaie ed essere utilizzata come copertura dei picchi di carico e per la ridondanza o per garantire la fornitura in caso di malfunzionamento.

Quando si utilizzano i pellet per la caldaia ausiliaria, è necessario creare un ulteriore deposito di pellet, ad esempio un silo di tessuto.

Se è disponibile un sistema solare termico centrale, le caldaie a biomassa ausiliarie con accensione automatica e alta flessibilità offrono la possibilità di un back-up per il sistema solare termico. Tuttavia, si pone la questione dell'utilità e dell'efficienza economica di una caldaia a biomassa ausiliaria, poiché la produzione di calore e quindi l'utilizzo della caldaia a biomassa ausiliaria è fortemente limitata. L'utilizzo richiesto della caldaia ausiliaria a biomassa secondo la Tabella 13.4 non può essere garantito in ogni momento. Pertanto, tali fasi di funzionamento dovrebbero essere ridotte al minimo (vedi capitolo 13.7.4.3). Quando la caldaia a biomassa ausiliaria è accesa, dovrebbe avere un lungo tempo di funzionamento continuo di > 8 ore con una potenza minima della caldaia. L'accumulatore dovrebbe essere caricato solo parzialmente, in modo che l'impianto solare termico possa essere nuovamente utilizzato al massimo il giorno successivo.

### 13.6.3 Calore ed energia combinati

Per un uso orientato al futuro ed efficiente dal punto di vista energetico del potenziale di biomassa, dovrebbe essere esaminata anche l'installazione di impianti di cogenerazione (CHP). In Germania e Austria si usa il termine "Kraft-Wärme-Kopplung", in Svizzera "Wärme-Kraft-Kopplung".

Quando si produce elettricità dalla biomassa, si dovrebbe sempre utilizzare la massima quantità di calore prodotta per risparmiare risorse. Altrimenti, l'uso della biomassa per la produzione di elettricità non è raccomandato. La gamma di modulazione di questi impianti è relativamente piccola, quindi, di regola, dovrebbero sempre funzionare alla potenza nominale per la fornitura di carico base elettrico e termico. Le seguenti tecnologie sono adatte agli impianti di cogenerazione a biomassa:

- Turbina a vapore
- Motore a vapore
- Ciclo Rankine organico (ORC)
- Motore a gas
- Turbina a gas calda

Le singole tecnologie di cogenerazione sono descritte più dettagliatamente nel Manuale sulla pianificazione delle reti di teleriscaldamento (vedi [17], capitolo 2.9).

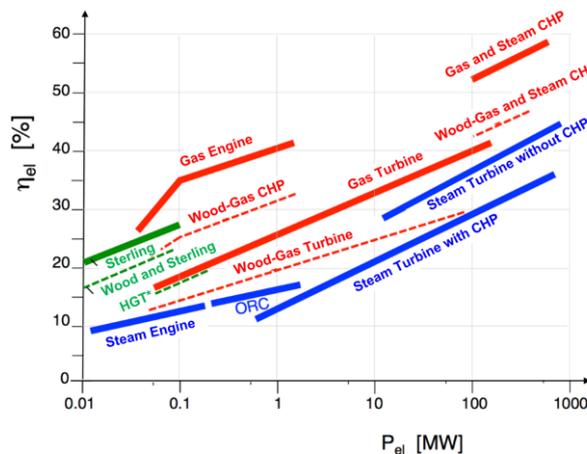


Figura 13.14 Efficienze elettriche nette di diverse tecnologie per la generazione di elettricità in funzione della potenza elettrica [17].  
CCGT = turbina a gas a ciclo combinato, HGT = turbina a gas a caldo (con combustione di biomassa).

La Figura 13.14 Efficienze elettriche mostra che le tecnologie di cogenerazione coprono una gamma da pochi kW a oltre 1 GW di capacità elettrica. Le efficienze elettriche nette raggiungibili coprono una gamma da meno del 10% fino al 60%. Per i processi consolidati della tecnologia a vapore, i rendimenti elettrici mostrano una pronunciata dipendenza dalla scala, da meno del 10% per produzioni da 10 kW<sub>el</sub> fino a circa il 45% per impianti su larga scala. Altre tecnologie come la gassificazione della biomassa e il motore Stirling raggiungono rendimenti elettrici più alti nella gamma di potenza piccola e media. La produzione di elettricità con la biomassa è indipendente dal tempo e dalla stagione ed è adatta al funzionamento a carico di base e alla stabilizzazione della rete elettrica.

Con la gassificazione della biomassa, bisogna fare attenzione a garantire un'alta qualità del combustibile. Di regola, è necessario un combustibile omogeneo ed essiccato come il cippato di qualità WS/IS-P16S/P31S-M10. A seconda del produttore dell'impianto, del design e della tecnologia, nonché delle dimensioni dell'impianto, la gamma di combustibili che possono essere utilizzati deve essere chiarita in ogni singolo caso. Oltre alla produzione di elettricità e di calore, con le tecnologie di gassificazione della biomassa è possibile anche la produzione di carbone di legna.

Gli impianti di cogenerazione a biomassa hanno i seguenti costi di produzione di elettricità come valori di orientamento:

- Processo a vapore con caldaia a vapore e turbina a vapore:  
10 - 20 ct. /kWh (15 - 30 Rp/kWh)
- Processo ORC con caldaia a olio termico e modulo ORC:  
15 - 25 ct. /kWh (20 - 35 Rp/kWh)
- Processo di gassificazione della biomassa con motore a gas:  
15 - 30 ct. /kWh (25 - 40 Rp/kWh)

La fattibilità economica deve essere esaminata in dettaglio in base alle condizioni di mercato (tariffe di alimentazione ottenibili/copertura della potenza propria rispetto ai costi di produzione dell'elettricità) e alle condizioni tecniche generali

(operatività a carico parziale, utilizzo dell'impianto, funzionamento ottimizzato della potenza termica/efficienza complessiva dell'impianto, ecc. ) e, se del caso, per confrontare i costi di produzione di elettricità ottenibili con quelli di altre fonti di elettricità rinnovabili.

## 13.7 Fonti di calore complementari e sistemi di generazione di calore

### 13.7.1 Osservazioni generali

La richiesta di una futura generazione di calore a zero emissioni di CO<sub>2</sub> è una sfida che deve essere accettata. Per la copertura del carico di picco e del basso carico, possono essere richieste opzioni aggiuntive alle varianti di base dei sistemi di generazione di calore con combustione di biomassa (capitolo 13.5.1). Un'altra possibilità è l'integrazione di caldaie esistenti decentralizzate, se disponibili. A seconda dell'infrastruttura necessaria e della tecnologia di misurazione e regolazione, si deve verificare in ogni singolo caso se i generatori di calore esistenti (ad es. caldaie a pellet o a gas, unità di cogenerazione) possono essere integrati in una rete pianificata.

La copertura dei picchi di carico fossile non può soddisfare il requisito di decarbonizzazione. La produzione di calore per le reti di riscaldamento (reti termiche) dovrebbe quindi essere sempre più realizzata con diverse fonti di energia rinnovabile in futuro.

Le fonti di calore complementari possono essere:

- Calore di scarto dai gas di scarico degli impianti di combustione di biomassa per uso diretto e indiretto con pompa di calore
- Calore residuo di impianti di refrigerazione per uso diretto e indiretto con pompa di calore
- Calore residuo dalle acque reflue e dagli impianti di trattamento delle acque reflue (WWTP) per uso indiretto con pompa di calore
- Calore di scarto da processi industriali per uso diretto e indiretto con pompa di calore
- Calore ambientale dagli strati d'aria vicini al suolo, dalle acque superficiali e dall'energia geotermica vicina al suolo per l'uso indiretto con la pompa di calore
- Energia geotermica fino a una profondità di circa 500 metri, nonché energia geotermica a profondità maggiori per l'uso diretto o indiretto con pompe di calore, compreso l'utilizzo delle acque sotterranee.

I sistemi di generazione di calore complementari sono:

- Pompe di calore
- Sistemi solari termici
- Caldaia a biogas/bio-olio
- Cogenerazione a biogas/bio-olio (impianti di cogenerazione)

L'interazione dei sistemi di combustione di biomassa con le fonti di calore supplementari / sistemi di generazione di calore è determinata dalla disponibilità della fonte di calore o del sistema di generazione di calore.

I requisiti relativi al carico di riscaldamento medio giornaliero minimo per il funzionamento a basso carico secondo la Tabella 13.4 e l'utilizzo annuale delle caldaie a biomassa (numero di ore di funzionamento a pieno carico) determinano il campo di applicazione in cui il sistema di combustione a biomassa può essere utilizzato in modo efficiente dal punto di vista energetico e a basse emissioni.

I seguenti obiettivi devono essere osservati quando si combina un sistema a biomassa con fonti di calore supplementari o sistemi di generazione di calore supplementari:

- Sostituzione delle fonti energetiche fossili per la produzione di calore a zero emissioni di CO<sub>2</sub>
- Uso efficiente dal punto di vista energetico del potenziale di biomassa. Il potenziale limitato deve essere utilizzato in modo ottimale.
- Sostituzione della biomassa con altre fonti energetiche rinnovabili, dove possibile e appropriato. Il potenziale delle fonti energetiche rinnovabili deve essere ampliato e queste devono essere utilizzate in modo ottimale.
- Evitare "situazioni competitive" tra le diverse fonti di energia rinnovabile - combinando invece di competere!

Per il successo dell'implementazione delle fonti di calore complementari e dei sistemi di generazione di calore elencati, si deve sempre tenere conto dei requisiti di base delle tecnologie selezionate. Per esempio, per aumentare l'efficienza, alcune tecnologie richiedono basse temperature di ritorno nella rete di riscaldamento con un valore target di 40 °C o temperature di mandata più basse nella rete di riscaldamento con un valore target di 70 °C.

Con i sistemi di generazione di calore aggiuntivi, si deve considerare nella progettazione della caldaia che le caldaie a biomassa devono funzionare al minimo utilizzo richiesto secondo la Tabella 13.4. L'uso di sistemi di generazione di calore aggiuntivi può ridurre il numero di ore di funzionamento a pieno carico delle caldaie a biomassa, in modo che i valori richiesti nella Tabella 13.5 non possano più essere soddisfatti.

L'intero sistema dovrebbe essere progettato e gestito in modo che i requisiti di base elencati nel capitolo 13.3 possano essere soddisfatti in ogni momento.

### 13.7.2 Recupero di calore dal gas di scarico

Randbedingungen: Abgastemperatur nach Holzkessel = 170 °C, Umgebungstemperatur = 0 °C, O<sub>2</sub>-Gehalt im trockenen Abgas = 7 Vol.-%, Abstrahlungsverluste Kessel + Kondensator = 1.5%, 500 m.ü.M/950 mbar, relative Luftfeuchte = 10%, Sättigungswassermenge in der Verbrennungsluft = 10 g/m<sup>3</sup>, Heizwert atro = 18.3 MJ/kg = 5.08 kWh/kg, Ascheanteil = 0.1%

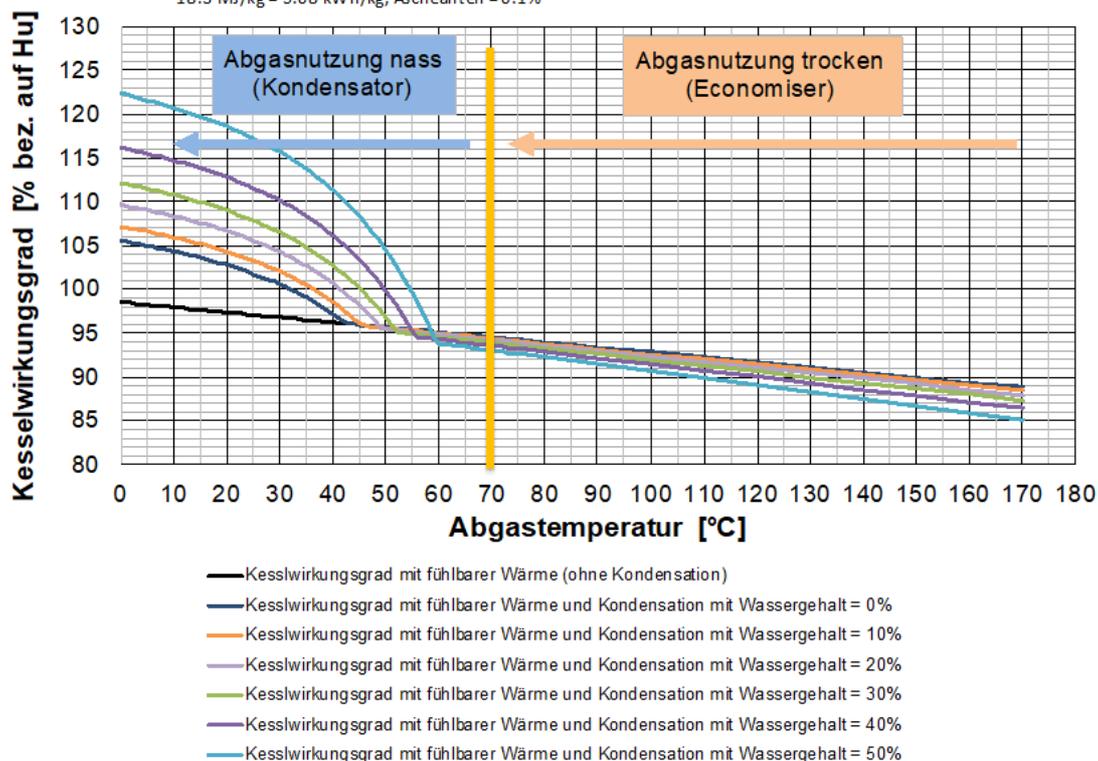


Figura 13.15 Efficienza della caldaia in funzione della temperatura dei gas di scarico e del contenuto d'acqua del combustibile. Utilizzo del gas di scarico secco con economizzatore, utilizzo del gas di scarico umido con condensazione dei gas di scarico (fonte: Verenum AG).

#### 13.7.2.1 Osservazioni generali

Dopo aver lasciato la caldaia o il sistema di pulizia dei fumi, i fumi possono avere ancora temperature da 120 a >160°C e un contenuto energetico corrispondentemente alto, a seconda del progetto e delle condizioni di funzionamento.

La Figura 13.15 mostra il potenziale per aumentare l'efficienza della caldaia attraverso l'uso di economizzatori e sistemi di condensazione dei fumi. Di conseguenza, le varianti di recupero del calore dai fumi di scarico descritte di seguito dovrebbero essere esaminate per un efficiente utilizzo dell'energia dalla biomassa. Ulteriori informazioni possono essere trovate nel capitolo 5.9.

#### 13.7.2.2 Economizzatore

All'uscita del separatore di particelle, i gas di scarico hanno temperature che vanno da 120 °C a carico parziale a 160 °C alla potenza nominale della caldaia. Nell'economizzatore, il calore sensibile viene recuperato raffreddando i gas di scarico a circa 70 °C (circa 15 K sopra il punto di rugiada). Con un alto utilizzo annuale

della caldaia, si può ottenere una quota aggiuntiva di WRG dal 5 al 7 % della quantità di calore prodotto dalla caldaia a biomassa.

Idraulicamente, l'economizzatore è di solito collegato in serie al ritorno principale dopo il serbatoio di stoccaggio (sul lato della caldaia) (vedi Figura 13.16, schema a sinistra). Un'integrazione idraulica dell'economizzatore in parallelo alla caldaia a biomassa (vedi Figura 13.16, schema a destra), quindi come un generatore di calore aggiuntivo, dovrebbe essere considerata se la temperatura di mandata principale è < 85 °C, la temperatura di ritorno principale > 65 °C o il mezzo di trasferimento del calore della caldaia a biomassa (ad esempio olio termico, vapore o acqua calda) è > 110 °C e il calore generato dall'economizzatore può essere trasferito a un sistema di acqua calda.

La FAQ 17 ([Link](#)) descrive in dettaglio i vantaggi e gli svantaggi delle diverse varianti di integrazione dell'economizzatore sul lato dell'acqua di riscaldamento e dei gas di scarico.

Ulteriori informazioni si trovano nel capitolo 5.4e nel capitolo 5.9.

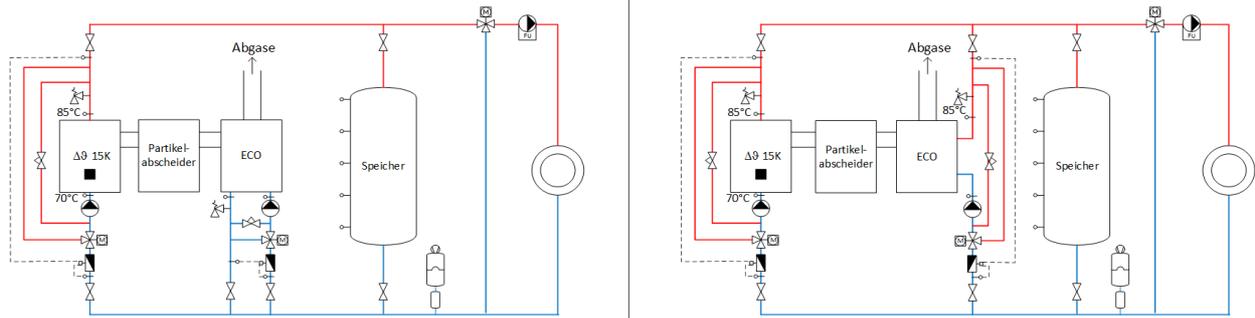


Figura 13.16 Schema di un sistema con l'integrazione di un economizzatore in serie nel ritorno (sinistra) o in parallelo (destra).

### 13.7.2.3 Condensazione dei fumi

Nel sistema di condensazione dei gas di scarico, il calore latente nei gas di scarico viene recuperato insieme al calore sensibile. I gas di scarico vengono raffreddati ben al di sotto del punto di rugiada per ottenere il massimo recupero di calore.

Per poter raggiungere una quota di WRG > 10 % o un valore obiettivo > 15 %, devono essere soddisfatte le seguenti condizioni quadro:

- Bassa temperatura di ritorno del sistema di riscaldamento
- Rapporto di eccesso d'aria  $\lambda$  nella fase di funzionamento stazionario su tutto il campo di potenza della caldaia dal 30 % al 100 %: < 1,5 base umida
- Ricircolo dei fumi e utilizzo ottimale del sistema della caldaia a biomassa richiesto (ore di funzionamento a pieno carico > 3.000 h/a, poche fasi di avviamento e burn-out).
- Contenuto medio di acqua nel combustibile almeno M40
- Differenza di temperatura dello scambiatore di calore tra la temperatura dei fumi all'uscita e la temperatura di ritorno del sistema di riscaldamento < 4 K nel caso di progetto alla massima capacità di recupero del calore e < 2 K per tutto il tempo di funzionamento.

La **temperatura di ritorno** determina il tasso di recupero di calore. **Ogni Kelvin** che il gas di scarico può essere raffreddato sotto il punto di rugiada **aumenta il tasso di recupero di calore dell'1%**.

Tabella 13.7 Requisiti di base per il funzionamento efficiente di un sistema di condensazione dei gas di scarico.

Media contenuto d'acqua	Tipo di combustibile	Ritorno temperatura
M 40	Trucioli di legno da residui forestali	< 45 °C

M 40	Cippato da residui forestali (> 1.000 kW di potenza nominale della caldaia)	< 50 °C*
M 50	Legno di scarto industriale da una segheria	< 50 °C

\* con umidificazione dell'aria di combustione

Come variante di base, il sistema di condensazione dei fumi è integrato idraulicamente in serie nel ritorno principale (vedi Figura 13.17). Per garantire una temperatura di ritorno più bassa possibile, il flusso volumetrico per la condensazione deve essere determinato a monte dell'accumulatore. Per garantire la portata volumetrica attraverso la condensazione, il ritorno deve trovarsi tra l'accumulatore e la caldaia. Grazie alla simultaneità di caldaia e condensazione, il funzionamento dell'impianto idraulico può essere garantito senza traboccare.

È anche possibile installare la condensazione nel ritorno principale tra l'accumulatore e la caldaia (vedi Figura 13.18). Se la portata volumetrica nel ritorno principale è bassa, la portata volumetrica nel circuito del sistema di condensazione dei fumi deve essere ridotta riducendo la capacità della pompa in modo da escludere un trabocco del flusso del sistema di condensazione dei fumi nell'ingresso del sistema di condensazione dei fumi. L'installazione di una valvola di non ritorno o di una valvola di non ritorno costituisce un'ulteriore misura per evitare il trabocco indesiderato.

In casi eccezionali, ad esempio nel caso di una separazione di rete tra produzione di calore e rete di riscaldamento o nel caso di una linea con basse temperature di ritorno, la condensazione dei fumi può essere integrata nel ritorno lato rete (vedi Figura 13.19). In questo caso si deve tener conto della simultaneità della produzione di calore del sistema di condensazione dei fumi con il fabbisogno di calore nella rete e i corrispondenti flussi di massa nel ritorno.

La FAQ 17 ([Link](#)) descrive in dettaglio i vantaggi e gli svantaggi delle diverse varianti per integrare il sistema di condensazione dei fumi sul lato dell'acqua di riscaldamento e dei fumi.

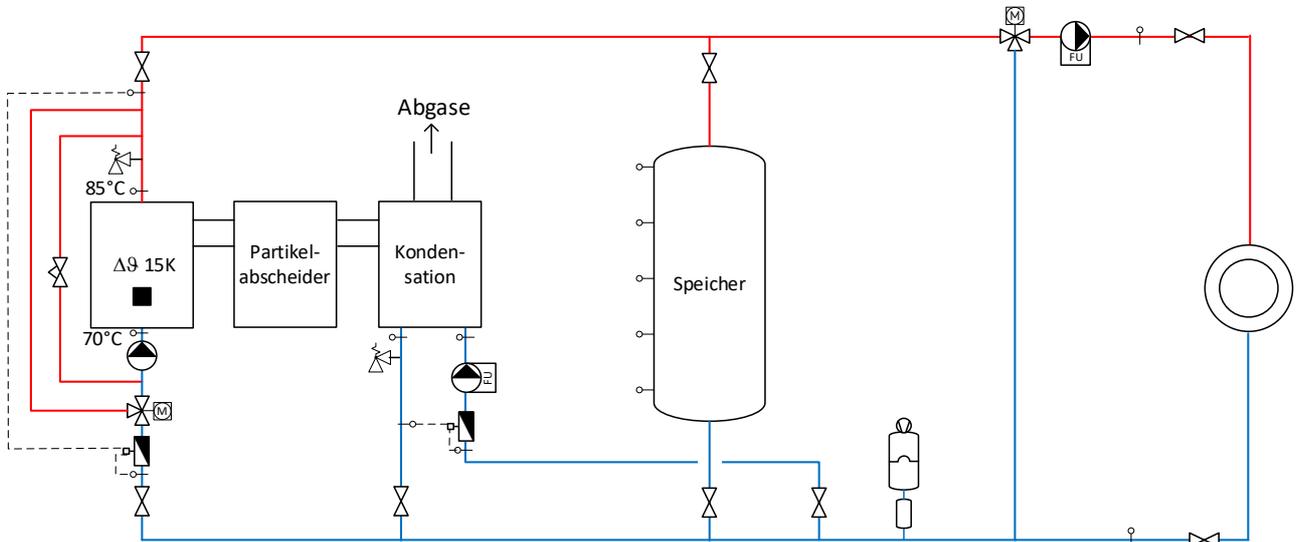


Figura 13.17 Schema di un sistema con condensazione dei fumi integrata nel ritorno principale: Ingresso della condensazione dei fumi a monte dell'accumulatore, uscita della condensazione dei fumi tra l'accumulatore e la caldaia.

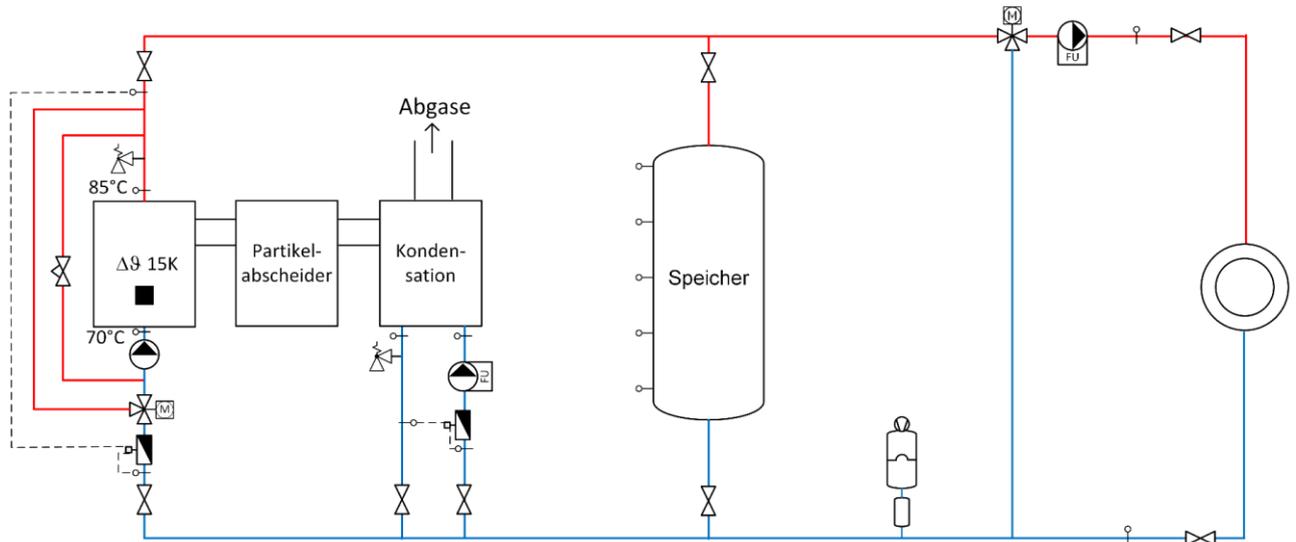


Figura 13.18 Schema di un sistema con condensazione dei fumi integrata nel ritorno principale: Ingresso di condensazione dei fumi e uscita di condensazione dei fumi tra accumulatore e caldaia.

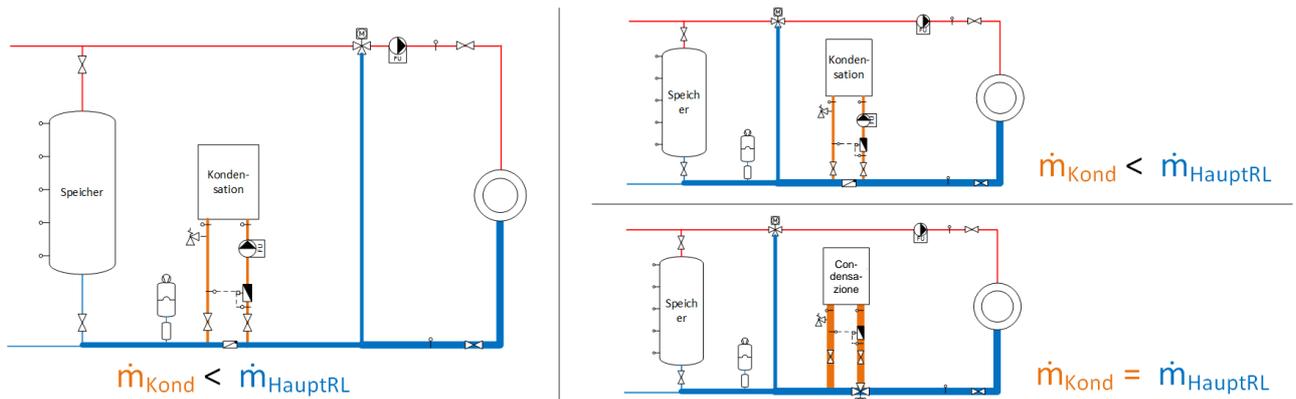


Figura 13.19 Schema con integrazione della condensazione dei fumi nel ritorno principale a monte del serbatoio di stoccaggio.

### 13.7.2.4 Recupero di calore con condensazione dei fumi per una rete a bassa temperatura

Se le utenze con basse temperature di ritorno e anche con un basso fabbisogno di temperatura possono essere alimentate tramite una rete a bassa temperatura separata, la rete a bassa temperatura può essere alimentata solo con il calore residuo della condensazione dei fumi. A causa del basso livello di temperatura, è possibile ottenere un rendimento termico significativamente più elevato dalla condensazione dei fumi.

**Nota:** per la copertura dei picchi di carico o per motivi igienici, le temperature della griglia possono essere temporaneamente aumentate con il calore dell'impianto primario. A causa della temperatura dei fumi nettamente inferiore durante il funzionamento normale rispetto a quella in caso di malfunzionamento del sistema di condensazione dei fumi, occorre prestare particolare attenzione al dimensionamento della sezione della canna fumaria (vedi sezione 13.10.4.2) e alla modalità di funzionamento in caso di malfunzionamento.

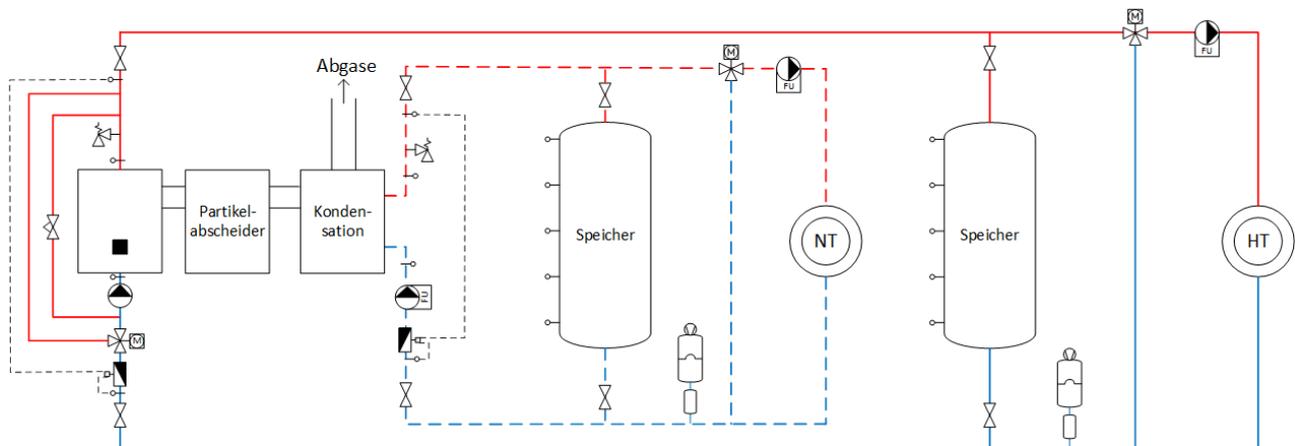


Figura 13.20 Diagramma schematico dell'integrazione della condensazione dei gas di scarico in una rete a bassa temperatura.

### 13.7.3 Pompe di calore

#### 13.7.3.1 Informazioni generali

Una pompa di calore estrae il calore da una fonte di calore con un livello di temperatura inferiore per portarlo ad un livello di temperatura superiore. Il calore a un livello di temperatura più alto può essere utilizzato per il riscaldamento. Si suppone che il principio di funzionamento del ciclo della pompa di calore e la definizione delle cifre chiave corrispondenti siano noti.

L'efficienza di un sistema a pompa di calore è definita dal coefficiente di prestazione (COP) e dal COP annuale.

Il grado di qualità mostra come il coefficiente di prestazione COP della macchina reale differisce dal COP del ciclo termodinamico ideale CARNOT (Carnot-COP).

I requisiti di base per un sistema a pompa di calore sono:

- Il refrigerante (mezzo di lavoro) della pompa di calore ha un'alta compatibilità ambientale per quanto riguarda il potenziale di riduzione dell'ozono (ODP) e il potenziale di riscaldamento globale (GWP).
- Il refrigerante deve essere adatto a tutto il campo di applicazione della temperatura.

- Il design della pompa di calore deve corrispondere al carico dell'unità. Una pompa di calore con 8.000 ore di funzionamento a pieno carico all'anno deve essere realizzata nello standard dell'edificio industriale.
- I requisiti legali per la costruzione di un impianto a pompa di calore devono essere rispettati. Tutte le norme e le direttive pertinenti devono essere rispettate (refrigeranti approvati, emissioni di rumore, potenziale di pericolo, ventilazione del locale di installazione, avvertenze sui gas, ecc. ).

#### 13.7.3.2 Efficienza energetica di un sistema a pompa di calore

Il sistema della pompa di calore deve funzionare con un alto coefficiente di rendimento (COP) e un alto COP annuale. I seguenti punti devono essere presi in considerazione nella progettazione dell'impianto:

- Funzionamento al più piccolo sollevamento di temperatura possibile (differenza di temperatura tra il dissipatore e la sorgente). Il calore generato dovrebbe essere utilizzato al livello di temperatura più basso possibile. L'utilizzo ottimale del calore residuo del gas caldo deve essere preso in considerazione per quanto riguarda l'aumento di temperatura possibile.

- Scelta di una pompa di calore con un alto COP o un alto grado di qualità (vedi Figura 13.22e Figura 13.23 Grado di qualità).
- Funzionamento continuo dell'impianto al punto di funzionamento ottimale con potenza termica variabile con poche fasi di avvio/arresto per ridurre l'usura. A questo scopo si possono utilizzare diverse pompe di calore, pompe di calore a velocità controllata o una combinazione di entrambe le varianti.
- Integrazione idraulica del sistema a pompa di calore per l'innalzamento della temperatura del ritorno principale:
  - La temperatura di ritorno principale della rete di riscaldamento deve essere mantenuta costante al livello di temperatura più basso possibile.
  - L'alimentazione del sistema della pompa di calore per l'aumento della temperatura di ritorno deve essere effettuata secondo la differenza di temperatura più piccola possibile in funzione della capacità di trasferimento nel flusso di volume variabile del circuito della pompa di calore.
  - Nelle seguenti condizioni di funzionamento, il sistema della pompa di calore deve immettere il ca-

lore in un accumulatore collegato in serie al ritorno principale (vedi Figura 13.21a sinistra) o nella parte inferiore di un accumulatore collegato in parallelo ai generatori di calore (vedi Figura 13.21a destra):

- La curva di produzione di calore del sistema a pompa di calore non è identica alla curva della riduzione del carico nella rete di riscaldamento:
  - Pompa di calore a 1 stadio
  - L'apporto di calore dalla fonte di calore (ad es. sistema di condensazione dei gas di scarico, macchina frigorifera) è ritardato rispetto alla domanda di carico nella rete di riscaldamento. A breve termine, possono verificarsi elevate fluttuazioni di carico nella rete di riscaldamento.

Questa integrazione idraulica permette una temperatura di ritorno costantemente bassa nel circuito della pompa di calore, nonostante le variazioni di carico della rete di riscaldamento rispetto al modello di produzione di calore della pompa di calore.

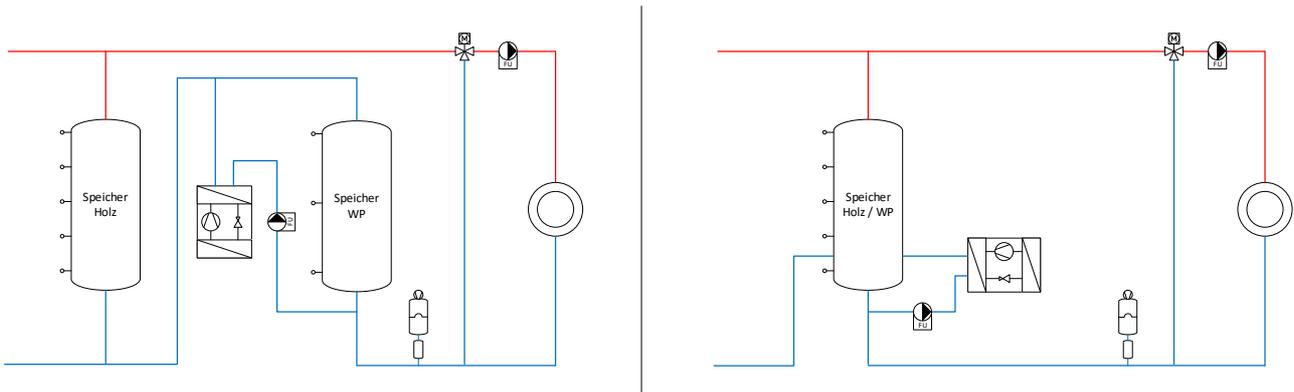


Figura 13.21 Schema per l'integrazione delle pompe di calore.

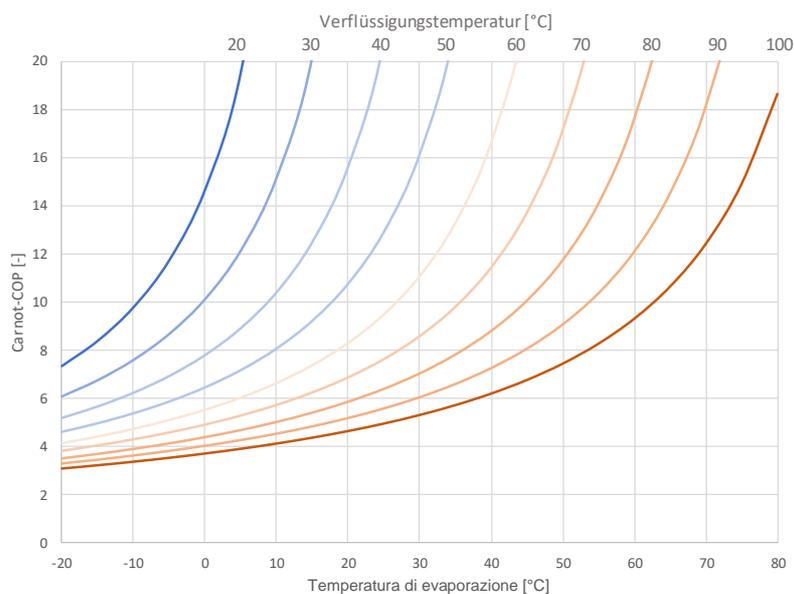


Figura 13.22 COP del processo di Carnot. Il diagramma si basa su un grado di qualità 1 di una macchina o pompa di calore ideale. Nel funzionamento reale, le pompe di calore hanno un grado di qualità da 0,4 a 0,6.

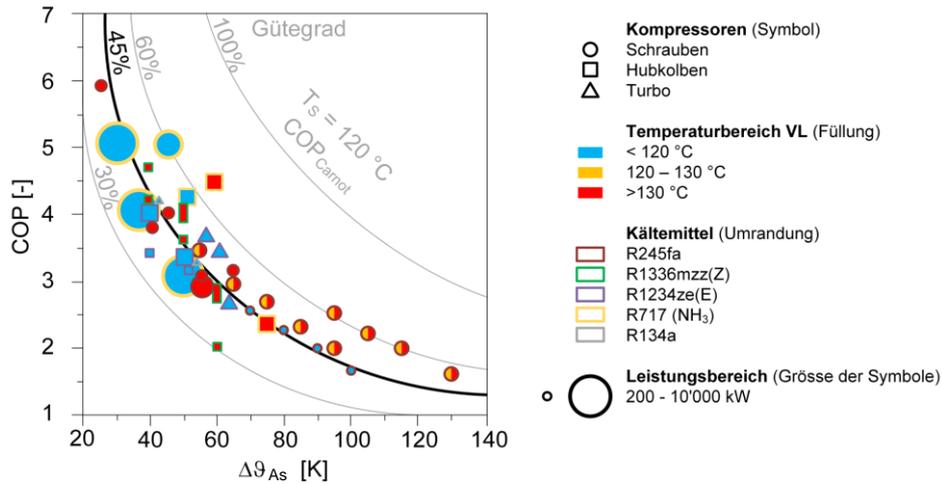


Figura 13.23 Grado di qualità e COP di macchine reali in funzione dell'innalzamento della temperatura esterna, cioè la differenza di temperatura tra la temperatura di uscita del sink e quella di ingresso della sorgente [120].

Per il funzionamento economico ed efficiente dal punto di vista energetico di un sistema a pompa di calore per una rete di riscaldamento con un impianto di riscaldamento a biomassa, si deve osservare un valore target del **COP annuale > 4**. Il fattore di prestazione annuale o il coefficiente di prestazione COP è direttamente correlato all'innalzamento della temperatura che il sistema a pompa di calore deve raggiungere (vedi Figura 13.22). Lo stato dell'arte dei sistemi di pompe di calore industriali è:

- Ascensore di temperatura 30 K, COP 6 a 7\*
- Ascensore di temperatura 40 K, COP da 4 a 5\*
- Ascensore di temperatura 60 K, COP 3 a 4\*  
(ad esempio, da 15 °C a 75 °C)

\*Pompe di calore con grado di alta qualità

Nella scelta del **refrigerante**, bisogna garantire un valore ODP pari a 0 e un basso valore GWP (vedi Ordinanza sulla riduzione del rischio chimico, ChemRRV [121]). Per quanto possibile, i refrigeranti naturali dovrebbero essere considerati

### 13.7.3.3 Integrazione idraulica di un sistema a pompa di calore per il funzionamento estivo

Se la temperatura di mandata della pompa di calore nel funzionamento estivo (quando il calore viene generato solo con il sistema della pompa di calore) corrisponde alla temperatura di mandata della rete di teleriscaldamento, la pompa di calore può caricare l'accumulatore del sistema di caldaie a biomassa (vedi Figura 13.24). Quando il sistema della pompa di calore è in funzione insieme al sistema di combustione a biomassa, la pompa di calore immette il calore nel ritorno principale a monte dell'accumulatore o nella parte inferiore dell'accumulatore per aumentare la temperatura di ritorno.

**Nota:** in linea di principio, i requisiti di base della MQ devono essere sempre rispettati!

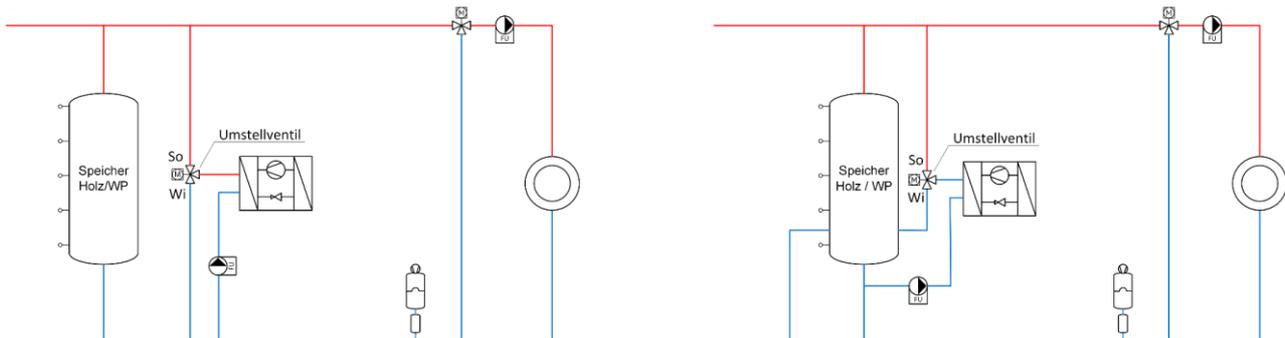


Figura 13.24 Schema per l'integrazione di una pompa di calore per il funzionamento estivo.

### 13.7.3.4 Pompa di calore in combinazione con la condensazione dei fumi

La quota di recupero di calore della condensazione dei gas di scarico può essere aumentata fino al 30% se i gas di scarico, dopo il raffreddamento con la temperatura di ritorno principale della rete di riscaldamento, vengono ulteriormente raffreddati a  $< 30\text{ }^{\circ}\text{C}$  con l'aiuto di pompe di calore.

Il sistema della pompa di calore deve essere installato idraulicamente in modo tale che il calore prodotto sia alimentato in serie nel ritorno principale (vedi Figura 13.25). In questo modo si ottiene un COP elevato che diventa maggiore quanto più piccolo è il sollevamento di temperatura.

Per mantenere bassa l'elevazione della temperatura del sistema della pompa di calore, si deve garantire una bassa temperatura del ritorno principale. Va notato che la parte diretta del recupero di calore attraverso il sistema di condensazione dei fumi porta già a un aumento del flusso principale di ritorno.

L'economizzatore deve essere integrato idraulicamente nel ritorno principale dopo l'aumento della temperatura da parte del sistema della pompa di calore.

Quando si usano **pompe di calore a compressione**, si dovrebbe puntare a un COP  $> 4$  e il sistema dovrebbe essere progettato in modo tale da poter funzionare in condizioni operative sempre ottimali nonostante le fluttuazioni del volume dei gas di scarico, modulando la potenza della caldaia.

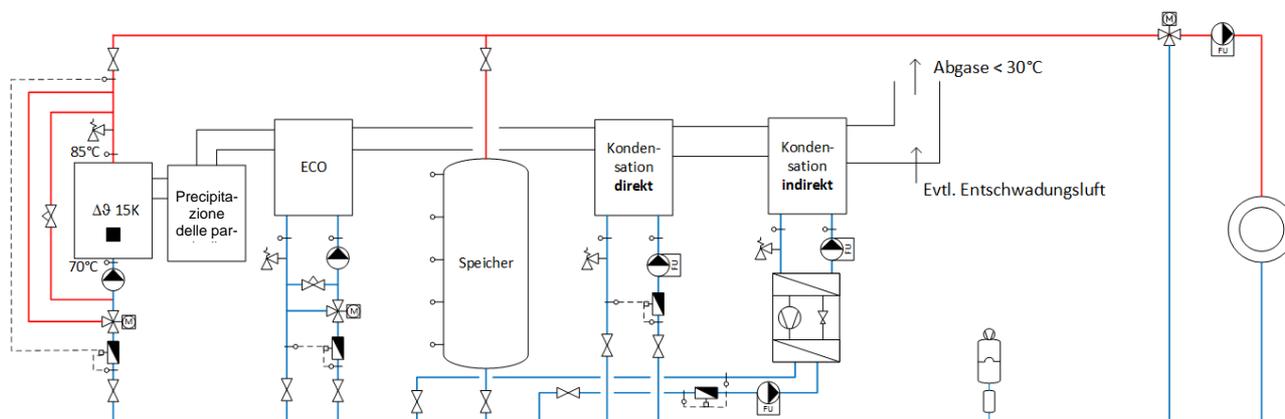


Figura 13.25 Diagramma schematico dell'integrazione della pompa di calore nella condensazione dei fumi.

Ciò può essere ottenuto ad esempio utilizzando diverse pompe di calore a compressione, una pompa di calore a velocità controllata con pompe a velocità controllata per il circuito della sorgente di calore e il circuito del calore utile, o con una combinazione delle due opzioni. La potenza termica aggiuntiva che l'impianto della pompa di calore guadagna utilizzando il sistema di condensazione dei fumi aumenta notevolmente la potenza termica totale della generazione di calore. Quando si sceglie la pompa di calore, bisogna assicurarsi che sia adatta sia per un ascensore a bassa temperatura che per una temperatura relativamente alta della sorgente.

Le **pompe di calore ad assorbimento** funzionano con una caldaia ad acqua calda nel campo di temperatura di  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Circa il 30 % della potenza della caldaia ad acqua calda della caldaia a biomassa (le caldaie a biomassa) è necessario per il calore di azionamento della pompa di calore ad assorbimento. Come opzione, la potenza totale delle caldaie a biomassa può essere divisa in 70 % di acqua calda e 30 % di acqua calda con un sistema comune di condensazione dei fumi. L'acqua calda (30 % della portata volumetrica totale del circuito della caldaia) viene raffreddata da circa  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  a circa  $130\text{ }^{\circ}\text{C}$  nella pompa di calore ad assorbimento. Un COP di circa 1,7 risulta per una portata di  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  e una temperatura di ritorno di  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$  sul lato del condensatore (utilizzato per aumentare la temperatura di ritorno principale

del teleriscaldamento) e una temperatura dei fumi dopo la condensazione dei fumi di  $< 30\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Figura 13.26 Pompa di calore ad assorbimento).

Qui, l'efficienza del combustibile può essere aumentata di circa il 20% attraverso la condensazione dei gas di scarico con un contenuto di acqua del combustibile di M 50. Il rendimento aggiuntivo di un economizzatore non viene preso in considerazione.

Le pompe di calore ad assorbimento per i sistemi di recupero del calore con condensazione dei gas di scarico sono utilizzate negli impianti di teleriscaldamento a biomassa con una capacità termica totale richiesta  $> 5\text{ MW}$ . Idealmente, alcuni clienti (massimo circa il 50%) richiedono anche acqua calda, come nel caso di caseifici, lavanderie e altri consumatori di calore di processo.

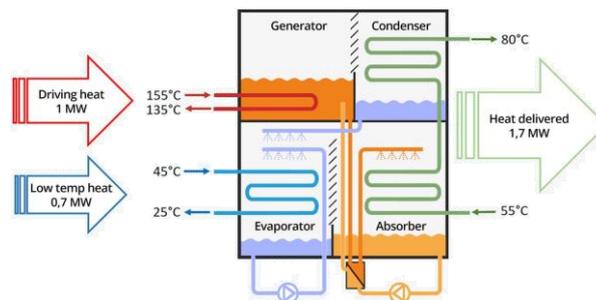


Figura 13.26 Pompa di calore ad assorbimento (LiBr, monostadio; fonte: STEPSAHEAD).

Il campo di applicazione delle **pompe di calore rotative** per il recupero di calore con condensazione dei fumi è negli impianti di teleriscaldamento a biomassa con una capacità termica totale richiesta > 5 MW.

Vantaggi delle pompe di calore rotative:

- Nessun refrigerante problematico (ODP = 0, GWP = 0, non infiammabile, non tossico (gas nobile))
- Ampio campo di utilizzo da -20 °C a 150 °C con una stessa macchina e attrezzatura di lavoro
- Temperature e uscite regolabili in modo molto flessibile
- Vantaggi per applicazioni ad alta temperatura < 100°C.

Svantaggi delle pompe di calore rotative:

- COP moderato
- costi elevati
- un elevato fabbisogno di spazio.

### 13.7.3.5 Recupero di calore con condensazione dei fumi per il teleriscaldamento a freddo

L'immissione del calore del sistema di condensazione dei fumi in una rete con una temperatura di mandata di circa 15 °C permette di raffreddare i fumi fino a < 20 °C, ottenendo un'elevata quota di recupero del calore della condensazione dei fumi. Il calore viene distribuito come teleriscaldamento freddo e viene portato alla temperatura richiesta da pompe di calore decentralizzate (COP annuale > 4). Questo permette un uso altamente efficiente della biomassa.

## 13.7.4 Energia solare

### 13.7.4.1 Obiettivi

Gli obiettivi dell'uso dell'energia solare in relazione al funzionamento di un impianto di riscaldamento a biomassa sono elencati di seguito:

- Un uso efficiente dell'energia solare diretta permette di ridurre la domanda di biomassa nei mesi con alta radiazione solare. La biomassa dovrebbe essere usata nei mesi con bassa radiazione solare.
- Evitare il funzionamento di una caldaia a biomassa in estate con un utilizzo insufficiente nel funzionamento a basso carico.
- Riduzione dell'uso di combustibili fossili (gasolio da riscaldamento, gas) in estate, quando la caldaia a biomassa non è sufficientemente sfruttata nel funzionamento a basso carico.

### 13.7.4.2 Sistemi solari termici per reti di riscaldamento

Un impianto solare termico per una rete di teleriscaldamento viene progettato sulla base del carico medio estivo, cioè il carico medio giornaliero di riscaldamento

della rete di riscaldamento in estate come domanda di capacità termica indipendente dalle condizioni atmosferiche secondo la Figura 13.27 Curva di durata annuale di un. L'integrazione idraulica dell'impianto solare termico nella rete di riscaldamento può essere centralizzata o decentralizzata.

Con un campo di collettori solari termici, dimensionato in base al carico medio giornaliero della rete di riscaldamento in estate, è possibile coprire il 100% della domanda di calore in estate e parte di essa nel periodo di transizione. Il sistema della caldaia a biomassa viene messo in funzione solo all'inizio della stagione di riscaldamento.

Se un'area limitata del campo di collettori impedisce una copertura estiva del 100%, la copertura residua richiesta deve essere fornita da una caldaia a biomassa con alta qualità del combustibile o, in alternativa, con una caldaia che funziona idealmente con bio-olio o biogas (vedi capitolo 13.6.2).

Vari esempi e possibilità di integrazione dei sistemi solari termici si possono trovare sul sito web di Solar District Heating o Euroheat&Power (<https://www.solar-district-heating.eu> e <https://www.euroheat.org/>).

La seguente formula empirica, tenendo conto dei valori della Tabella 13.8 permette una stima approssimativa dell'area totale del collettore necessaria. Il dimensionamento dettagliato dell'area totale del collettore deve essere fatto tenendo conto delle condizioni quadro effettive. Semplici strumenti applicabili, che sono disponibili gratuitamente, facilitano il dimensionamento (per esempio [www.scfw.de](http://www.scfw.de)).

*Area del collettore = fattore area del collettore [m²/kWsummer demand] \* carico medio giornaliero di riscaldamento in estate [kWsummer demand].*

Tabella 13.8 Stima dell'area del collettore e del volume di stoccaggio per diverse frazioni solari (base: 10 impianti realizzati in CH, DE e AT)

Fattore di area del collettore [m²/kWsummer demand]	Volume di stoccaggio [l/m²collettore]	Annuale copertura* [%]	Frazione solare estate [%]
20	100	ca. 20	100
4	200	ca. 6	40
2	300	ca. 3	20

\* Il fabbisogno annuo di calore per l'acqua calda sanitaria ha assunto il 25% del fabbisogno totale di calore, e il fabbisogno di calore al di fuori del periodo di riscaldamento (estate) circa il 10% del fabbisogno annuo di calore (fabbisogno di calore per l'acqua calda sanitaria più le perdite di distribuzione del calore della rete di teleriscaldamento). Più alta è la quota della domanda annuale di calore per l'acqua calda sanitaria, più alta è la possibile copertura annuale.

Supponendo un rendimento annuale del collettore di 400-500 kWh/m², si ottengono i seguenti ordini di grandezza:

- Con una superficie del collettore di circa 20 m<sup>2</sup>/kW e un volume di accumulo di circa 100 litri/m<sup>2</sup> di superficie del collettore, si può ottenere una frazione solare fino a circa il 20% rispetto alla domanda totale di calore annuale della rete di riscaldamento. In estate, la frazione solare in questo caso può essere quasi del 100 %.
- Con circa 4 m<sup>2</sup>/kW di superficie del collettore e un volume di accumulo di 200 litri/m<sup>2</sup> di superficie del collettore, si può ottenere una frazione solare fino al

6% rispetto alla domanda totale di calore annuale della rete di riscaldamento.

- Con una superficie del collettore di 2 m<sup>2</sup>/kW e un volume di accumulo di 300 litri/m<sup>2</sup> di superficie del collettore, si può ottenere una frazione solare fino al 3% rispetto alla domanda totale di calore annuale della rete di riscaldamento.

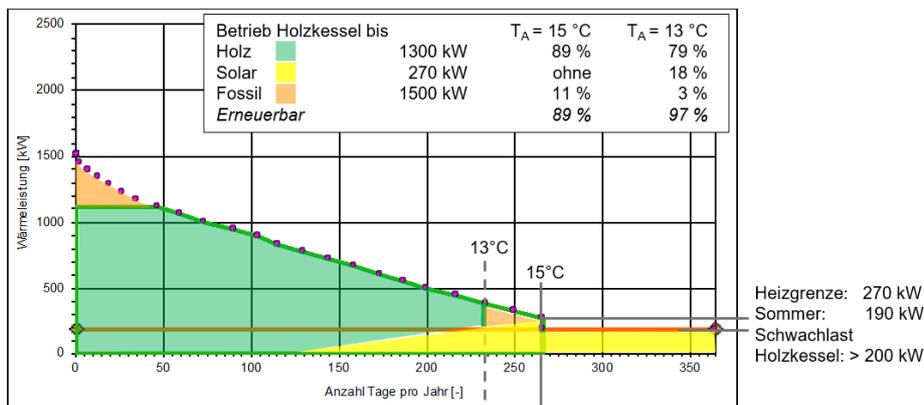


Figura 13.27 Curva di durata annuale di un impianto di riscaldamento a biomassa con una caldaia a biomassa, una caldaia a combustibile fossile e un sistema solare termico.

Un prerequisito per una sensata integrazione energetica di un sistema solare termico nella rete di un impianto di riscaldamento a biomassa è che le caldaie a biomassa possano funzionare con un'alta efficienza annuale complessiva  $\eta_a > 90\%$ . Ciò richiede un utilizzo ottimale delle caldaie a biomassa, combinato con un recupero di calore efficiente dai gas di scarico.

- Il rendimento termico aggiuntivo derivante dall'installazione di un economizzatore è circa il 6% della produzione di calore della caldaia a biomassa. Questo corrisponde al rendimento di un impianto solare termico con 4 m<sup>2</sup> di superficie del collettore solare per kW di carico giornaliero medio di riscaldamento in estate e una copertura solare annuale fino al 6%.
- Il rendimento termico aggiuntivo derivante dall'installazione di un sistema di condensazione dei fumi è di circa il 15-20% della produzione di calore della caldaia a biomassa. Questo corrisponde al rendimento di un impianto solare termico con 20 m<sup>2</sup> di superficie del collettore solare per kW di carico giornaliero medio di riscaldamento in estate e una frazione solare fino al 20%.

**Nota:** se l'impianto solare termico non può coprire l'intero fabbisogno estivo, l'utilizzo della caldaia a biomassa in funzione è notevolmente limitato dal rendimento termico dell'impianto solare termico. Se l'utilizzo è significativamente inferiore al carico di riscaldamento giornaliero medio minimo richiesto per la caldaia a biomassa secondo la Tabella 13.4, questo si traduce in una forte riduzione dell'efficienza annuale  $\eta_a$  della caldaia a biomassa in funzione. In queste circostanze, la combinazione di un sistema solare termico con una caldaia a biomassa per coprire la domanda di calore in estate può avere un effetto sfavorevole in termini di efficienza energetica.

**L'utilizzo della caldaia a biomassa** è anche significativamente ridotto nel periodo di transizione dal rendimento termico dell'impianto solare termico. Questo problema può essere visto nella curva di durata annuale della Figura 13.27 Curva di durata annuale di un. Con una frazione solare in estate di quasi il 100% (ad es. sostituzione del combustibile fossile in estate), il rendimento termico dell'impianto solare termico comporta un carico notevolmente ridotto per la caldaia a biomassa nel periodo di transizione. La selezione del sistema "una caldaia a biomassa con serbatoio di accumulo (monovalente o bivalente)" risulta in un funzionamento sfavorevole della caldaia a biomassa nel periodo di transizione con una ridotta efficienza annuale  $\eta_a$  a causa di un carico troppo basso (significativamente al di sotto del carico di riscaldamento medio giornaliero minimo richiesto per la caldaia a biomassa).

Una caldaia a biomassa aggiuntiva con una piccola potenza per il funzionamento con combustibile di alta qualità (ad esempio con pellet o cippato di qualità) in estate ed eventualmente nel periodo di transizione può evitare il problema dell'insufficiente utilizzo della caldaia a biomassa da parte del rendimento termico dell'impianto solare termico (vedi capitolo 13.6.2).

Pertanto, per un funzionamento ottimale dell'impianto di combustione a biomassa nel periodo di transizione con l'utilizzo richiesto con la resa termica aggiuntiva dell'impianto solare termico, si dovrebbero esaminare le seguenti varianti di scelta del sistema: 2 caldaie a biomassa (divisione della potenza della caldaia 1 a 2) o sistema a caldaie multiple con serbatoio di accumulo.

Il volume di archiviazione comune deve essere utilizzato come segue:

- In estate, il rendimento termico dell'impianto solare termico e la produzione di calore dell'impianto della caldaia a biomassa vengono immessi nel flusso principale.
- Nel periodo di transizione, il rendimento termico del sistema solare termico viene alimentato nel terzo inferiore dell'accumulatore per l'innalzamento del ritorno principale. I due terzi superiori dell'accumulatore sono gestiti dal sistema della caldaia a biomassa secondo il circuito standard dell'impianto di riscaldamento a biomassa QM.
- Informazioni supplementari possono essere trovate nella FAQ 32 "Come devono essere integrati i collettori solari? ".

### 13.7.4.3 Sistema solare termico decentralizzato presso il consumatore

Con una densità di connessione nella rete di riscaldamento di  $< 1 \text{ MWh}/(\text{a} \cdot \text{m})$ , si dovrebbe esaminare se la preparazione dell'acqua calda sanitaria in estate può essere decentralizzata con sistemi di collettori solari termici presso le utenze, dato che durante questo periodo le perdite di calore della rete di riscaldamento sono significativamente superiori alla richiesta di calore della preparazione dell'acqua calda sanitaria.

In questa variante, la rete di riscaldamento è in funzione solo durante il periodo di riscaldamento. Le perdite di calore della rete di riscaldamento in estate sono omesse e non devono essere coperte da un impianto solare termico centrale con la corrispondente domanda di elettricità per le pompe dell'impianto solare termico e la rete di riscaldamento.

L'impianto solare termico è progettato in base al consumo di acqua calda sanitaria di ogni cliente. Sarebbe anche possibile riscaldare l'acqua presso il cliente in estate utilizzando una pompa di calore (caldaia a pompa di calore in combinazione con l'impianto fotovoltaico).

### 13.7.4.4 Fotovoltaico con pompa di calore

La domanda di calore di una rete di riscaldamento può essere completamente coperta da una pompa di calore in estate. Se l'elettricità per la pompa di calore viene generata con un impianto fotovoltaico (impianto PV), anche questa produzione di calore è rinnovabile. Inoltre, la pompa di calore può essere integrata anche in inverno per la copertura dei picchi di carico o nella condensazione dei fumi.

Una superficie di moduli fotovoltaici da 5 a 7 m<sup>2</sup> per kW di carico medio giornaliero di riscaldamento in estate si traduce in una produzione annuale di elettricità che corrisponde alla domanda di elettricità della pompa di calore per coprire la domanda di riscaldamento in estate.

La superficie del modulo fotovoltaico può anche essere disposta su diverse superfici del tetto esistenti.

Si possono fare le seguenti ipotesi:

- Domanda di calore in estate: 10 % della domanda totale di calore annuale

- Fonte di calore aria esterna in media  $> 15 \text{ °C}$ , temperatura di mandata rete termica  $70 \text{ °C}$
- Fattore di rendimento annuale (APF) della pompa di calore  $> 3$  (fino a 4 per le pompe di calore con grado di qualità elevato).

A differenza del solare termico, la pompa di calore può essere spenta all'inizio del periodo di transizione per avviare la caldaia a biomassa. In questo modo, la caldaia a biomassa può funzionare durante il periodo di transizione con l'utilizzo richiesto e senza perdita di efficienza annuale (vedi capitolo 13.7.4.2). L'elettricità fotovoltaica che non viene utilizzata direttamente può essere immessa nella rete.

Con la scelta del sistema "una caldaia a biomassa con accumulo monovalente", la pompa di calore dovrebbe essere progettata più grande. L'accensione e lo spegnimento della pompa di calore permette di progettare l'uso indiretto dell'energia solare con l'impianto fotovoltaico in modo più flessibile, tenendo conto dell'utilizzo richiesto della caldaia a biomassa. Lo sfruttamento dell'energia solare e la produzione di calore sono separati nel tempo.

La pompa di calore può essere utilizzata anche per il recupero di calore con la condensazione dei fumi.

## 13.7.5 Utilizzo del calore residuo

### 13.7.5.1 Osservazioni preliminari

Il calore di scarto è il termine usato per descrivere i flussi di calore che si verificano come sottoprodotto dei processi e vengono rilasciati nell'ambiente inutilizzati e spesso con un ulteriore dispendio di energia per pompe, ventilatori, scambiatori di calore per il raffreddamento o sistemi di refrigerazione, contribuendo al riscaldamento indesiderato. L'utilizzo del calore di scarto (recupero di calore) si riferisce a misure che utilizzano questo calore di scarto per altri processi o scopi e quindi aumentano l'efficienza energetica.

Contrariamente al calore proveniente da un generatore di calore, il calore residuo non è legato alla domanda, ma al processo. Le fluttuazioni qualitative (temperatura) e quantitative (quantità di calore) della fornitura di calore di scarto dovute a condizioni stagionali, orari di lavoro o sequenze di processo e altri motivi, così come gli spostamenti temporali tra la fornitura di calore di scarto e la domanda di calore, devono essere presi in considerazione nella progettazione dei sistemi e soprattutto degli accumulatori di calore. Nello strumento Excel per la valutazione del fabbisogno e la scelta del sistema appropriato di QM per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa, l'utilizzo del calore di scarto può essere preso in considerazione sotto la voce "Capacità massima di carico di base media giornaliera" quando si progetta il sistema.

**Nota:** gli impianti industriali di solito lavorano su uno o due turni dal lunedì al venerdì e non producono a Natale e Capodanno. È quindi possibile che il calore residuo degli impianti industriali non sia disponibile per il riscaldamento degli spazi in questo periodo.

### 13.7.5.2 Utilizzo diretto del calore di scarto

#### Fonti di calore residuo > 80°C

Il calore proveniente da fonti di calore residuo > 80 °C (ad es. calore residuo da impianti di cogenerazione, energia geotermica profonda) è solitamente allo stesso livello di temperatura del sistema di riscaldamento a biomassa e può essere integrato direttamente nel flusso principale o nel sistema di accumulo di calore in parallelo al sistema della caldaia a biomassa.

Quando si integrano fonti di calore di scarto con una potenza relativamente bassa e di conseguenza una bassa portata di massa, si deve notare che la portata all'estremità del cliente deve essere adattata a questa portata di massa. Altrimenti, c'è il rischio che la temperatura nel flusso dell'utilizzazione del calore residuo sia mescolata dall'alto flusso di massa e che l'accumulatore di calore sia caricato dal basso.

#### Fonti di calore residuo > 60°C

Per le fonti di calore > 60 °C (calore residuo industriale, calore residuo dell'aria compressa, calore del desurriscaldatore o energia geotermica di media profondità), il calore dovrebbe essere immesso direttamente nel ritorno principale della rete di riscaldamento. In questo modo, la temperatura del ritorno principale viene aumentata e deve essere aggiunto meno calore > 80 °C per raggiungere la temperatura nominale della rete di riscaldamento. In questo caso, tuttavia, la simultaneità della produzione di calore di scarto e la domanda di calore di scarto dei clienti o della rete di riscaldamento, nonché i flussi di massa del ritorno principale da innalzare devono essere adattati alla produzione di calore di scarto. Se necessario, un accumulatore di calore supplementare è utile per compensare il passaggio temporale dalla domanda di calore all'offerta di calore. Se questo calore residuo viene immesso direttamente nell'accumulatore di calore del sistema di riscaldamento a biomassa, la quantità di calore corrispondente e la sua influenza sulla temperatura dell'accumulatore devono essere prese in considerazione nella progettazione dell'accumulatore di calore. L'accumulatore deve essere dimensionato di conseguenza e si deve garantire che la temperatura massima di ritorno di tutti i componenti di generazione del calore possa essere mantenuta.

### 13.7.5.3 Utilizzo indiretto del calore residuo con pompa di calore

#### Fonti di calore di scarto < 50°C

Il calore di scarto delle fonti di calore con una temperatura inferiore alla temperatura di ritorno principale delle utenze di calore non può essere utilizzato direttamente. Se non è disponibile un pozzo di calore per l'utilizzo diretto del calore residuo, questo calore residuo può essere portato a un livello di temperatura utilizzabile con l'aiuto di una pompa di calore e immesso nel circuito di riscaldamento.

Per quanto riguarda le possibilità di applicazione, i limiti di applicazione e i requisiti per la progettazione delle pompe di calore, si devono osservare le condizioni di base menzionate nel capitolo 13.7.3

Le seguenti fonti di calore aggiuntive per il calore residuo di condensazione dai gas di scarico possono essere utilizzate, per esempio, con una pompa di calore:

- Calore di scarto dei sistemi di refrigerazione
- Calore residuo industriale/aria di scarico industriale
- Calore residuo ARA (impianti di trattamento delle acque reflue)
- Acque sotterranee (acqua di lago o di fiume)
- Energia geotermica vicina alla superficie (sonde geotermiche).

#### Calore di scarto dei sistemi di refrigerazione (da 20 a 40°C)

La temperatura di condensazione dei sistemi di refrigerazione è di solito tra 30 °C e 40 °C. Questo livello di temperatura spesso non può essere usato direttamente nella rete di calore ma come fonte per una pompa di calore. A seconda del refrigerante e del design del sistema, il refrigerante può essere direttamente compresso a una pressione più alta in un secondo stadio o portato alla temperatura utilizzabile con un sistema separato.

A seconda dello scopo dell'applicazione di raffreddamento, la domanda di calore varia stagionalmente. Se viene prodotto soprattutto il raffreddamento dell'aria condizionata, la pompa di calore può essere usata bene per coprire la domanda di acqua calda sanitaria in estate. In inverno, il sistema di condensazione dei gas di scarico del riscaldamento a biomassa può essere usato come fonte per la pompa di calore. Le applicazioni di raffreddamento che funzionano in modo relativamente stabile tutto l'anno possono quindi essere utilizzate tutto l'anno anche per lo sfruttamento del calore residuo.

A causa della temperatura relativamente alta della sorgente, con questi sistemi sono possibili buoni valori COP e anche alte temperature utili.

#### Calore residuo industriale dipendente dal processo (da 5 a 80 °C)

Il calore di scarto degli impianti industriali può avere origini molto diverse e presentarsi a diversi livelli di temperatura. La prima priorità nell'uso del calore di scarto industriale è quella di utilizzarlo il più vicino possibile al luogo in cui viene prodotto. Un'analisi di tutti i processi dell'impianto con il metodo del pinch aiuta a identificare le fonti e i pozzi di calore e permette la creazione di una "rete di scambiatori di calore". Il calore di scarto che non viene utilizzato nell'azienda può essere trasferito al sistema di riscaldamento centrale.

A causa della temperatura, il calore direttamente utilizzabile deve essere integrato secondo il capitolo 13.7.5.2. Il calore di scarto a un livello di temperatura inferiore può essere portato a una temperatura utilizzabile con una pompa di calore e integrato nel sistema:

- In una rete a bassa temperatura si può trasferire il calore residuo delle macchine (impianto a turbina con generatore, macchine utensili, ecc.), il calore residuo industriale o commerciale e l'energia geotermica, ad esempio delle sorgenti termali.
- L'uso della pompa di calore deve essere coordinato con l'occorrenza temporale del calore residuo o bilanciato con un accumulatore di calore.

#### **Calore residuo degli impianti di trattamento delle acque reflue (da 5 a 20 °C, varia stagionalmente)**

Negli impianti di trattamento delle acque reflue (WWTP), il calore residuo da 5 °C a 20 °C si accumula durante l'anno e può essere utilmente utilizzato per la condensazione dei gas di scarico nel sistema della caldaia a biomassa. Una temperatura di mandata di circa 15 °C per l'impianto di trattamento delle acque reflue permette di raffreddare i gas di scarico a < 20 °C e quindi un alto grado di recupero del calore. Nei mesi invernali, il ridotto potenziale di calore residuo dell'impianto di trattamento delle acque reflue può essere compensato da temperature più basse delle acque reflue a causa dei minori volumi di acque reflue.

Il sistema della pompa di calore viene utilizzato per coprire il carico di base. In estate, la pompa di calore fornisce la temperatura di mandata per la rete di teleriscaldamento. Durante il periodo di riscaldamento, serve ad aumentare la temperatura di ritorno principale.

Il sistema di caldaie a biomassa serve a coprire il carico medio e, se c'è un volume di stoccaggio sufficiente, anche a coprire il carico di punta. Il carico di picco può essere coperto anche con caldaie a biogas o biopetrolio.

#### **Acque sotterranee e superficiali con temperature variabili stagionalmente**

Queste includono le seguenti fonti:

- Le acque sotterranee hanno una temperatura di origine da 8 a 12 °C.
- La temperatura di origine dell'acqua superficiale: varia tra 5 e 20 °C. Ci sono differenze stagionali relativamente significative.

Queste fonti di calore possono essere utilizzate in modo sensato nel sistema di condensazione dei gas di scarico del sistema della caldaia a biomassa. Una temperatura di mandata di 15 °C permette di raffreddare i gas di scarico fino a < 20 °C e di ottenere un alto grado di recupero del calore. Il potenziale ridotto dell'acqua di falda e di superficie nei mesi invernali può essere compensato da temperature dell'acqua più basse.

L'impianto a pompa di calore funziona per coprire il carico di base. In estate, fornisce la temperatura di mandata per la rete di teleriscaldamento. Durante il periodo di riscaldamento, serve ad aumentare la temperatura di ritorno principale.

Il sistema di caldaie a biomassa serve a coprire il carico medio e, se c'è un volume di stoccaggio sufficiente, anche a coprire il carico di punta. Il carico di picco può essere coperto anche con caldaie a biogas o biopetrolio.

#### **Aria esterna (da - 10 °C a + 30 °C)**

Per il solo funzionamento estivo della pompa di calore si può utilizzare come fonte di calore l'aria esterna ad una temperatura compresa tra 10 °C e 30 °C.

Le pompe di calore con grandi potenze termiche richiedono evaporatori con una capacità corrispondente, che richiedono uno spazio considerevole. Inoltre, l'isolamento acustico deve essere preso in considerazione - soprattutto nel funzionamento estivo.

## **13.8 Fornitura di calore di processo**

Il calore di processo è il calore richiesto per un processo industriale. Contrariamente alla domanda di riscaldamento dello spazio, la domanda di calore di processo non dipende di solito dalla temperatura esterna, ma direttamente dal processo da fornire.

A causa delle alte temperature di combustione, i sistemi di combustione a biomassa sono anche adatti a fornire calore di processo ad alte temperature. A seconda del livello di temperatura richiesto, il calore di processo può essere generato con la biomassa per i seguenti mezzi:

- Sistema di acqua calda < 110°C
- Sistema di acqua calda > 110°C
- Vapore
- Olio termico
- Processi ad aria calda o altri gas caldi

Le caldaie a biomassa per vapore, olio diatermico o aria calda sono all'avanguardia e disponibili (vedi anche il capitolo 5.4), ma in contrasto con le caldaie ad acqua calda e calda, sono utilizzate solo per impianti di cogenerazione o di calore di processo. A differenza dei gas di scarico delle caldaie a gas, l'uso diretto dei gas di scarico caldi delle caldaie a biomassa per i processi (ad esempio l'essiccazione) non è generalmente possibile a causa del carico di polveri. Per le applicazioni ad alta temperatura, occorre prestare particolare attenzione all'ingegneria della sicurezza, all'inerzia dovuta alla grande massa termica dei forni a biomassa e ai problemi di corrosione. Questo manuale di pianificazione non entra nel dettaglio dei tipi di costruzione, degli impianti e della tecnica di sicurezza. Dovrebbero essere coinvolti produttori specializzati e progettisti esperti in questo campo.

#### **Profilo di carico e accumulo di calore di processo**

La domanda di calore di processo, che si verifica come carico di base, può essere fornita da un sistema di combustione di biomassa, anche se il livello di temperatura è alto.

La domanda di calore di processo con elevate fluttuazioni di carico a breve termine e un profilo di carico giornaliero irregolare (ad esempio nessun consumo di calore al di fuori dell'orario di lavoro, come ad esempio durante la notte e nei fine settimana) difficilmente può essere coperta in modo monovalente con un sistema di combustione a biomassa, mantenendo l'utilizzo richiesto. Al fine

di consentire il necessario bilanciamento del carico attraverso un accumulatore di calore senza ricorrere a caldaie a combustibile fossile, è necessario considerare quanto segue:

- In anticipo, si dovrebbero esaminare attentamente le possibili misure per ridurre il più possibile i carichi di picco regolando la produzione.
- L'accumulatore di calore e la gestione della carica dell'accumulatore devono quindi essere progettati in modo tale che i maggiori picchi di carico, che si verificano ad esempio al mattino all'inizio della settimana, possano essere coperti in modo sicuro dall'accumulatore e dal sistema di combustione a biomassa insieme. La capacità massima di scarico dell'accumulatore e la potenza termica massima della caldaia a biomassa sono fattori limitanti. Bisogna tener conto del fatto che entrambe le potenze massime possono essere utilizzate contemporaneamente solo se il funzionamento dell'impianto viene pianificato con lungimiranza, poiché la caldaia a biomassa richiede un certo tempo di avviamento e l'accumulatore può fornire la potenza massima di scarico solo per un tempo limitato.
- La pianificazione della produzione potrebbe dover essere incorporata nella gestione dello stoccaggio.
- Con una ridotta domanda di calore (di processo) durante il fine settimana, il progetto di stoccaggio deve garantire la produzione di calore della caldaia a biomassa alla potenza minima (secondo la condizione di basso carico nella Tabella 13.4). L'elevato stato di carica dell'accumulo il lunedì mattina può essere utilizzato per coprire il picco di avvio.
- Nel caso di vapore, olio diatermico o aria come mezzi di trasferimento del calore, le opzioni di stoccaggio sono estremamente limitate a causa di vari fattori (capacità di stoccaggio raggiungibile, costi, aspetti di sicurezza, ...). Di regola, per questi mezzi di trasferimento del calore non è possibile implementare nessuna capacità di stoccaggio o solo capacità minori.

### Design

Per la selezione del sistema e la progettazione dell'impianto di generazione di calore per la fornitura di impianti di calore di processo, lo strumento Excel per la valutazione della domanda e la selezione appropriata del sistema di QM per impianti di teleriscaldamento a biomassa a volte non è sufficiente. Sono spesso necessari profili di carico orari basati su misurazioni. L'influenza del tempo è spesso di secondaria importanza, così che la progettazione può essere basata su alcuni profili settimanali tipici selezionati. Tuttavia, i requisiti di temperatura dei processi sono decisivi per la selezione dell'impianto.

Possibili varianti del sistema:

- Copertura del carico di base (se disponibile) con impianto di combustione a biomassa con accumulo di calore e copertura del carico di picco con caldaia a gas fossile, che in futuro funzionerà con biogas ottenuto dalla rete del gas e con qualità di gas naturale.
- Sistema di gassificazione della biomassa che produce un gas prodotto combustibile che viene utilizzato come sostituto del gas naturale in una caldaia a

gas. Va notato che il potere calorifico è significativamente inferiore a quello del gas naturale e che sono quindi necessari adattamenti ai tubi del gas e ai bruciatori. Finora, non c'è quasi nessuna esperienza pratica in questo senso. Allo stesso tempo, l'uso per la fornitura di calore di processo richiede o un funzionamento modulante praticamente nell'intervallo da 0 % a 100 % o un serbatoio di stoccaggio del gas. Per questa variante, non sono ancora disponibili prodotti commerciali e ci si devono aspettare alti costi di investimento e costi operativi (alta qualità del combustibile, maggiori costi di manutenzione e assistenza). Tuttavia, gli impianti di gassificazione della biomassa permettono anche la produzione aggiuntiva di carbone di legna o "carbone vegetale" (il carbone vegetale è un carbone prodotto dalla biomassa che non viene utilizzato per l'energia ma per scopi materiali).

## 13.9 Progettazione dei componenti del sistema

### 13.9.1 Selezione della tecnologia di precipitazione della polvere

#### Frazioni di polvere

Per quanto riguarda gli aspetti rilevanti per l'ambiente, le emissioni di polvere dalla combustione della biomassa sono di grande importanza, così come le emissioni di NO<sub>x</sub>. Quando si valutano le emissioni di polvere dai sistemi di riscaldamento a biomassa, si deve fare una distinzione di base tra due frazioni. Le ceneri **volanti grossolane sono composte da** particelle di cenere che vengono turbinate dal letto di combustibile durante la combustione e vengono scaricate con il gas di scarico. La dimensione delle particelle varia tra pochi µm e circa 100 µm. La seconda frazione è costituita da **particelle fini**, i cosiddetti aerosol, con diametri chiaramente <1 µm, che si formano per condensazione di sostanze inorganiche nella biomassa che evaporano durante la combustione.

#### Requisiti legali

Nella discussione sulle polveri sottili, viene spesso usato il termine PM 10. PM 10 sta per "particolato < 10 µm" e corrisponde alla massa totale di particelle solide e liquide, i cosiddetti aerosol, che hanno una dimensione delle particelle inferiore a 10 µm. La maggior parte dei paesi europei ha sia limiti di emissione che di immissione per il PM 10. Poiché i valori limite per le particelle fini respirabili sono stati raggiunti o superati in molti luoghi, anche i sistemi di riscaldamento a biomassa devono contribuire alla loro riduzione. Oltre alla massa delle particelle, il numero di particelle, che è più rilevante per la salute, sarà importante in futuro.

I valori limite per la polvere totale negli impianti di combustione di biomassa sono specifici per ogni paese (vedi Tabella 13.9 Valori limite di emissione di particolato e capitolo 19). Con la direttiva sugli impianti di combustione medi (MCPD) del 2015, sono stati fissati nuovi standard minimi di emissione all'interno dell'UE per gli impianti di combustione fino a 50 MW termici per quanto riguarda le polveri, gli ossidi di azoto, il monossido di carbonio e il

biossido di zolfo, che sono stati implementati in modo specifico per ogni paese. La Germania, per esempio, ha implementato la MCPD molto più rigorosamente nella 44. BImSchV.

Tabella 13.9 Valori limite di emissione di particolato specifici per paese a seconda del combustibile o della potenza termica nominale; per una migliore comparabilità, i valori limite dei singoli paesi sono convertiti in 11 e 13 % O<sub>2</sub>.

Potenza termica del combustibile	Polvere totale [mg/m <sup>3</sup> ]		
	all'11% di O <sub>2</sub>	al 13% di O <sub>2</sub>	
CH	70 - 500 kW	50	
	0,5 - 1 MW	20	
	1 - 10 MW	20	
	> 10 MW	10	
IT	< 1 MW	25	20
	1 - 5 MW	23	19
	> 5 MW	13	11
A	< 1 MW	150	120
	1 - 2 MW	33	27
	> 2 MW	20	16

Limiti significativamente più severi si applicano ad altri combustibili da biomassa (culmo, legno di scarto).

**Tecnologie di precipitazione della polvere**

Sono disponibili i seguenti metodi di raccolta della polvere, descritti in dettaglio nel capitolo 5.8.1

- Depolverizzazione per gravità (camere di decantazione)
- Separazione centrifuga (ciclone, multiciclone)
- Forze del campo elettrico (precipitatore elettrostatico, precipitatore elettrostatico a umido)
- Filtrazione (filtro in tessuto, filtro a letto imballato, filtro in ceramica)
- Depolverazione a umido (scrubber Venturi, scrubber a flusso radiale, condensazione dei gas di scarico).

**Procedura per la selezione del processo di separazione**

1. Esaminare le possibilità di ridurre il contenuto di polvere già nel gas grezzo (misure primarie, vedi capitolo 5.7): selezione del combustibile, progettazione della combustione, regolazione dei parametri di controllo.
2. Determinare il grado di separazione necessario per soddisfare i requisiti di emissione
3. Selezione del processo di separazione appropriato per le ceneri volanti e le particelle fini.

I multicicloni sono sempre applicati o utilizzati come pre-polverizzazione e separazione delle scintille per un processo di raccolta delle polveri a valle. Di regola, i limiti di emissione di polvere di 150 mg/m<sup>3</sup> (all'11 vol.% O<sub>2</sub>) possono essere rispettati. Valori di polvere < 100 mg/m<sup>3</sup> (all'11 vol.% O<sub>2</sub>) di solito non possono essere garantiti senza ulteriori misure (misure primarie o processo di separazione della polvere a valle). Valori di polvere < 50 mg/m<sup>3</sup> (all'11 vol.% O<sub>2</sub>) richiedono un processo di separazione della polvere a valle.

Il grado di separazione necessario è determinato dal contenuto di polvere nel gas grezzo e dal valore limite da rispettare.

Tabella 13.10 usata per selezionare il metodo di separazione appropriato.

I seguenti punti sono importanti o critici per l'uso delle tecnologie di precipitazione delle polveri:

- Contenuto di vapore acqueo nei gas di scarico (contenuto d'acqua del combustibile, cambiamento del contenuto d'acqua)
- Temperatura del gas di scarico
- Caduta di temperatura sotto il punto di rugiada
- Cambiamenti di carico e spegnimenti (fasi di spegnimento notturno, spegnimento nel fine settimana, funzionamento estivo)
- Fasi di funzionamento con alto contenuto di ossigeno causate da un'alimentazione d'aria errata o da quantità d'aria di combustione troppo elevate
- Alta proporzione di materiale incombusto nella cenere volante.

Tabella 13.10 Criteri per la selezione dei metodi di raccolta della polvere.

Criteri	Valutazione		
	Filtro in tessuto	Elettroseparatore	Separatore elettrico bagnato
Combustibile secco	++ <sup>1)</sup>	++	--
Combustibile bagnato	- <sup>2)</sup>	+	++
Funzionamento a carico base	++	++	++
Funzionamento discontinuo	--	+	+
Contenuto di polvere di gas pulito mg/m <sup>3</sup> all'11 vol.% O <sub>2</sub>	1 - 5	5 - 50	5 - 20
Efficienza di separazione	> 95 %	90 % - 95 %	90 % - 95 %
Aggiunta di assorbente (additivo) per la riduzione di HCl, SO <sub>x</sub> e PCDD/F <sup>3)</sup>	++	--	--

Perdita di pressione (valori tipici) in mbar	alto 10 - 20	profondo <sup>1</sup> .5 - 3.0	medio <sup>5</sup> - 10
Domanda di energia ausiliaria (valori tipici) in kWhel/MWhth	alto <sup>14</sup> - 17	profondo <sup>2</sup> - 5	medio <sup>5</sup> - 10
Requisito di spazio	medio	alto	alto
Campo operativo temperatura del gas di scarico	140 - 220 °C	80 - 250 °C	40 - 60 °C <sup>4)</sup>
Bypass necessario	sì	opzionale	opzionale
Sensibilità alle particelle di ambra, scintille volanti	alto	profondo	profondo
Costi di investimento	medio	alto	alto
Costi operativi (manutenzione ed energia ausiliaria)	alto	profondo	medio

**Valutazione** ++ Molto adatto, tipico campo di applicazione

+ adatto

-- Non adatto

<sup>1)</sup> vantaggioso per il funzionamento a carico di base

<sup>2)</sup> adatto in misura limitata per il funzionamento a carico di base

<sup>3)</sup> necessario, ad esempio per il legno di scarto

<sup>4)</sup> Deumidificazione solitamente necessaria, adatta in combinazione con la condensazione dei fumi

I **filtri a tessuto** dimostrano il loro valore negli impianti di combustione a biomassa che vengono fatti funzionare per coprire il carico di base (una fase di avvio e una di spegnimento per un lungo periodo di funzionamento dell'impianto). L'uso di un filtro a tessuto in impianti di combustione di biomassa con funzionamento discontinuo a basso utilizzo (molti avviamenti e fasi di burnout, frequenti operazioni di standby, interruzioni del funzionamento a causa di brevi intervalli di pulizia della caldaia) è problematico a causa del raffreddamento del filtro a tessuto durante il funzionamento di standby, poiché i gas di scarico possono raffreddarsi sotto il punto di rugiada nella fase di avvio, il che porta all'umidificazione del tessuto. L'umidità e la polvere formano un rivestimento sul tessuto che non può essere rimosso con la pulizia d'urto ad aria compressa e porta all'intasamento del filtro di tessuto. Più umido è il combustibile, maggiore è la tendenza dei filtri di tessuto a intasarsi.

I **precipitatori elettrostatici** per gli impianti di combustione di biomassa con funzionamento discontinuo a basso utilizzo hanno bisogno di un riscaldamento delle tracce (elettrico o tramite il sistema di riscaldamento) nell'area in cui si accumulano le particelle di polvere, al fine di prevenire la bagnatura delle particelle nella fase di avvio e quindi la formazione di un deposito che non può più essere scaricato automaticamente. L'efficacia di un precipitatore elettrostatico non può essere controllata attualmente con una misurazione continua delle polveri sottili. I dispositivi di misurazione ottici possono essere utilizzati per rilevare le rotture, ad esempio nei filtri a tessuto (controllo del funzionamento). Tuttavia, una misurazione accurata e continua della concentrazione di polveri sottili non è possibile. L'efficacia di un precipitatore elettrostatico per un determinato tempo di funzionamento può essere determinata sulla base della "FAQ 38: Come

si determina la disponibilità dei precipitatori elettrostatici? L'intervallo per dimostrare la disponibilità del precipitatore elettrostatico è determinato dall'autorità. La disponibilità deve essere dimostrata almeno ogni volta che le autorità richiedono una misurazione delle emissioni, per esempio con la FAQ 38 Modulo 1 o 2.

### 13.9.2 Selezione della tecnologia di riduzione degli ossidi di azoto

Il termine ossido di azoto comprende il monossido di azoto NO e il biossido di azoto NO<sub>2</sub>, la cui somma viene spesso indicata come NO<sub>x</sub>. I processi di riduzione<sub>x</sub> di NO si basano sulla conversione di NO già formato con composti intermedi contenenti azoto in azoto molecolare N<sub>2</sub>, per esempio dopo la reazione NO + NH<sub>2</sub> -> N<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O. A seconda del processo, sono necessarie condizioni di reazione adeguate (temperatura, tempo di permanenza, agente riducente).

#### Procedura

1. Decidere se la riduzione di NO<sub>x</sub> è necessaria
2. Determinare il grado di denitrificazione necessario per soddisfare i requisiti di emissione
3. Selezione del processo di riduzione di NO appropriato

La necessità di una riduzione di NO dipende non solo dai valori limite di emissione relativi alla concentrazione di NO e al flusso di massa di NO, ma anche dal contenuto di azoto del combustibile o dalle emissioni di NO risultanti. Le emissioni di NO dell'assortimento di combustibile previsto dovrebbero essere determinate per impianti comparabili o stimate sulla base di valori empirici (ad esempio la Tabella 4.9o la Tabella 13.11 Emissioni). Il calcolo del flusso di massa di NO dalla concentrazione di NO<sub>x</sub> e dal flusso volumetrico dei fumi, così come il trattamento degli impianti a caldaia singola e multipla sono

descritti in [122]. Con la concentrazione di NO e la potenza termica nominale, cioè la potenza nominale della caldaia divisa per l'efficienza della caldaia, si può stimare dalla Figura 13.28 se la riduzione di NO è necessaria.

Se l'abbattimento di NO è necessario, il grado di denitrificazione richiesto per soddisfare i requisiti di emissione dovrebbe essere determinato e il processo appropriato di abbattimento di NO selezionato dalla Tabella 13.12.

Ulteriori informazioni si trovano nel capitolo 5.8.2

Tabella 13.11 Emissioni tipiche di NO di diversi combustibili per impianti senza processi di abbattimento di NO.

Combustibile	Emissione di NO [mg/m <sup>3</sup> ]	
	all'11% di O <sub>2</sub>	al 13% di O <sub>2</sub>
basso contenuto di azoto, per esempio abete scortecciato	100 - 150	80 - 120
Contenuto medio di azoto, per esempio legno di bosco con corteccia	150 - 250	120 - 200
Aumento del contenuto di azoto, per esempio corteccia, legno di scarto, legno proveniente dalla gestione del paesaggio	250 - 400	200 - 320
Alto contenuto di azoto, per esempio il truciolato UF	400 - 1,000	320 - 800

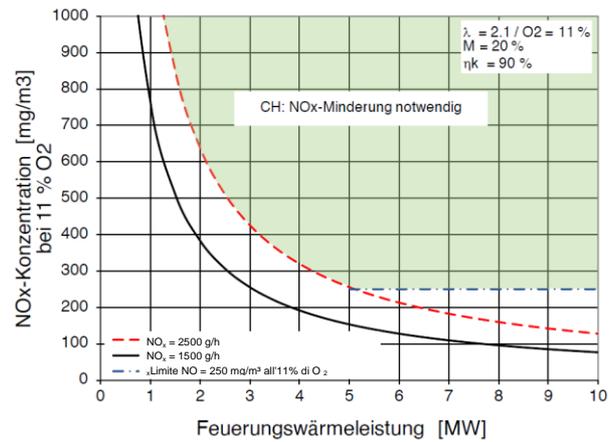


Figura 13.28 Concentrazione di NO in funzione della potenza termica nominale come criterio per le misure di riduzione di NO.

Tabella 13.12 Efficienza di denitrificazione e condizioni limite di vari processi di abbattimento di NO (per una descrizione dei processi, vedi capitolo 5.8.2).

Tecnologia di riduzione di NO	Livello di denitrificazione N contenuto	Condizioni limite
Misure primarie "Low Nox" (senza agenti riducenti)		
Messa in scena dell'aria	basso: 30 - 50 % alto: 50 - 70 %	zona di reazione interna, rapporto aria primaria 0,7 - 0,8, reazione a partire da circa 1.100 - 1.200 °C, condizionatamente adatto a combustibili ricchi di ceneri
Stabilizzazione del combustibile	basso: 40 - 50 % alto: 60 - 75 %	Due alimentazioni di combustibile, zona di reazione interna, numero di aria primaria 0,8 - 0,9, inizio della reazione a circa 800 °C
Misure secondarie "Denox" (con agente riducente)		
Processo SNCR	50 - 75 %	zona di reazione interna, finestra di temperatura circa 850 - 950 °C, rapporto molare importante, possibili sottoprodotti indesiderati
Processo SCR polvere bassa	90 - 95 %	Finestra di temperatura 200 - 250 °C, separazione delle polveri prima del catalizzatore

L'attività dei catalizzatori nel processo SCR è continuamente ridotta dall'ingresso di metalli alcalini attraverso i gas di scarico. L'efficacia dei catalizzatori diminuisce costantemente man mano che vengono avvelenati dai metalli alcalini. Per questo motivo, il processo SCR può essere gestito in modalità "low dust" con separazione delle polveri a monte.

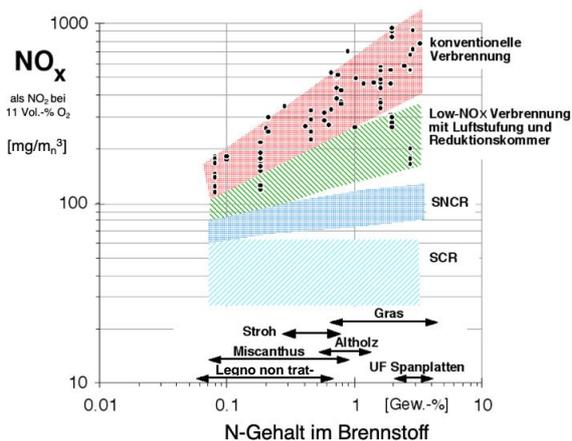


Figura 13.29 Confronto delle emissioni di NO<sub>x</sub> a seconda dei diversi contenuti di azoto nel combustibile con diverse misure di riduzione [109].

I produttori di forni possono garantire il rispetto dei limiti di emissione di NO specificati solo se ottengono informazioni precise sul contenuto di azoto nel combustibile specificato (analisi del combustibile). I contenuti di azoto dei singoli assortimenti di combustibile nel capitolo 4 (Tabella 4.9, Tabella 4.10e Tabella 4.11) consentono una stima del contenuto di azoto del combustibile.

### 13.9.3 Selezione di componenti aggiuntivi

I componenti aggiuntivi come l'accumulatore di calore o l'economizzatore sono determinati sulla base dei requisiti dettagliati del sistema di combustione a biomassa (vedi capitolo 5.9e capitolo 7.5).

## 13.10 Progettazione dell'impianto di riscaldamento centrale

### 13.10.1 Impianto di riscaldamento centrale

#### 13.10.1.1 Progettazione del locale caldaia, requisiti di spazio

Se possibile, il locale caldaia dovrebbe essere collocato direttamente accanto o sotto il silo, in modo che non sia necessaria un'attrezzatura di trasporto complicata e costosa. Gli impianti con una potenza nominale di più di 200-400 kW richiedono un locale caldaia alto più di 3 m (è possibile anche a 2 piani con una piattaforma). Inoltre, deve essere previsto uno spazio sufficiente per i lavori di manutenzione e pulizia del sistema nella camera di combustione e sulla caldaia.

Nella progettazione del locale caldaia si deve tener conto anche dei componenti aggiuntivi come la precipitazione delle polveri grossolane e delle polveri fini, nonché dell'integrazione idraulica delle caldaie, dell'accumulatore di calore, dello scaldabagno, del sistema di distribuzione, dell'espansione, del quadro elettrico, della pulizia dei fumi, del contenitore delle ceneri, ecc.

Il fabbisogno di spazio dovrebbe essere mostrato in un disegno del layout del silo e del locale caldaia in scala 1 : 50.

#### 13.10.1.2 Integrazione idraulica del sistema della caldaia

Per l'integrazione idraulica del sistema della caldaia, si devono adottare gli schemi idraulici standard secondo il QM per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa (vedi [60]o [68]).

Per garantire la sicurezza dell'approvvigionamento di calore, come elencato nelle linee guida Q come requisito Q D.4.8 [15], i sistemi monovalenti a caldaia singola devono essere dotati di tubi di collegamento per il riscaldamento di emergenza, per esempio un sistema di riscaldamento mobile.

#### 13.10.1.3 Ventilazione del locale caldaia

La fornitura di aria di combustione al locale caldaia deve essere garantita in ogni caso. L'aria di combustione deve essere sempre presa direttamente dall'aria aperta attraverso un'apertura per l'aria di alimentazione e non deve contenere polvere o gas o vapori nocivi o infiammabili. Nel caso di impianti più grandi, oltre all'apertura per l'aria di alimentazione, deve essere prevista un'apertura per l'aria di scarico. Se possibile, le due aperture dovrebbero essere disposte una di fronte all'altra o in diagonale, in modo da ottenere una ventilazione incrociata del locale di riscaldamento. Questo impedisce un accumulo di calore in estate.

Ha senso far entrare l'aria di combustione dal soffitto del locale caldaia. Questo riutilizza il calore residuo e permette di mantenere più fresca la parte superiore del locale caldaia.

Gli impianti di combustione di biomassa e i relativi sistemi di alimentazione del combustibile generano più rumore degli impianti alimentati a petrolio e a gas. Le aperture per l'aria di alimentazione e di scarico del locale caldaia devono essere conformi alle norme di protezione dal rumore menzionate nel capitolo 13.10.5. Per questo motivo sono spesso insonorizzate per mezzo di griglie meteorologiche fonoisolanti o, ancora meglio, progettate secondo il "principio dello snorkel" con un silenziatore integrato nel condotto.

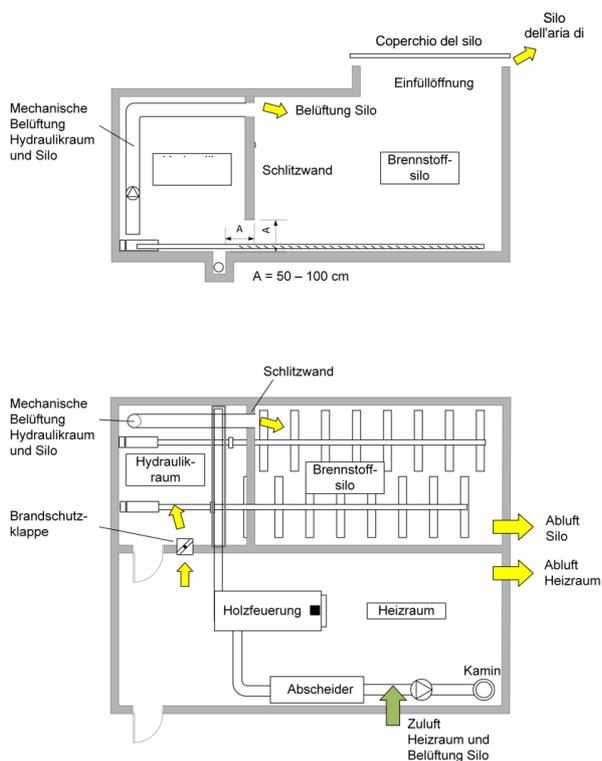


Figura 13. Ventilazione del locale caldaia e del silo.

### 13.10.1.4 Dimensionamento del sistema di ventilazione

Per la ventilazione del locale caldaia e l'alimentazione dell'aria di combustione, si applicano gli stessi requisiti dei sistemi convenzionali. La ventilazione del locale caldaia e del silo sono spesso combinate.

I compiti più importanti del dispositivo di aerazione sono:

- Assicurare l'alimentazione dell'aria di combustione (per il calcolo della quantità di aria di combustione, vedere il capitolo 20.8).
- Dissipazione del calore in eccesso che si accumula nel locale caldaia. Il calore residuo può ammontare a circa il 2-3% della potenza della caldaia a biomassa in funzione a causa delle perdite di radiazione della caldaia a biomassa, del separatore di particelle e dell'integrazione idraulica con il serbatoio di accumulo. La dissipazione del calore residuo nell'impianto di riscaldamento deve essere chiarita in modo che le temperature sotto il soffitto dell'impianto di riscaldamento non salgano oltre i 30 °C (non oltre i 35 °C a breve termine).
- Mantenere una condizione d'aria nel locale caldaia che permetta a una persona di rimanerci senza compromettere la sua salute.
- Prevenzione della pressione negativa nel locale caldaia (< 10 Pa), che può interferire con il funzionamento del sistema e rendere difficile l'apertura delle porte d'ingresso.
- Un'apertura di sezione trasversale sufficientemente grande deve essere progettata e fornita in conformità con le norme applicabili e le formule in esse contenute (vedi capitolo 19). Per esempio, in Svizzera l'area della sezione trasversale dell'apertura per l'aria

di alimentazione può essere determinata con la seguente formula:

$$A_{\text{supply air}} \left[ \text{cm}^2 \right] = 6 \left[ \frac{\text{cm}^2}{\text{kW}} \right] \times \dot{Q}_k \left[ \text{kW} \right]$$

Presupposti:

- $\dot{Q}$  Potenza della caldaia in kW,  $\eta_k = 85 \%$ ,  $\lambda = 2$ ,
- $M = 40 \%$ , aria di alimentazione = 1 m/s

L'apertura trasversale  $A_{\text{supply air}}$  deve essere allargata se altri flussi d'aria entrano nella camera di riscaldamento oltre all'aria di combustione, per esempio se,

- la ventilazione del silo prende l'aria di alimentazione dal locale caldaia (vedi capitolo 14.2.4).
- il flusso d'aria necessario per dissipare il calore in eccesso nel sistema di riscaldamento è anche disegnato attraverso la stessa sezione. Va notato che in condizioni climatiche molto calde il sistema di combustione può non funzionare alla potenza nominale e quindi un flusso d'aria di combustione inferiore può essere incluso nel calcolo.

In linea di principio, per il dimensionamento dell'impianto di ventilazione devono essere rispettate tutte le normative, gli standard e le linee guida nazionali e regionali pertinenti.

### 13.10.2 Contenitore di riscaldamento e impianti di riscaldamento come elemento prefabbricato

I contenitori e le centrali termiche come elementi prefabbricati sono soluzioni provvisorie e sensate per la fase di avvio di una rete di riscaldamento. Tuttavia, sono anche adatti come soluzione definitiva con le seguenti caratteristiche:

- Costruzione: container o elementi prefabbricati, installati su fondamenta a terra
- Deposito di combustibile: integrato nel contenitore o elemento prefabbricato con piccola potenza della caldaia, contenitore di riscaldamento/elemento prefabbricato con grande potenza della caldaia alimentato tramite due contenitori di scambio a pavimento con un volume di silo di 36 m<sup>3</sup> ciascuno o ulteriori elementi prefabbricati che sono interconnessi.
- Potenza massima delle caldaie industriali: fino a circa 500 kW con altezza del container di 3 metri, fino a circa 1.000 kW con altezza del container di 4 metri.
- Unità di serie con potenza massima della caldaia: da 250 kW a 450 kW. Diversi contenitori possono essere combinati, di solito ci sono da una a due caldaie installate per contenitore (pellet, cippato di qualità).
- Per i requisiti del combustibile, vedere il capitolo 13.4



Figura 13.31 Contenitore di riscaldamento (fonte: Jenni Energietechnik e Schmid energy solutions).



Figura 13.32 Impianto di riscaldamento centrale come elemento prefabbricato con serbatoi di stoccaggio del combustibile integrati o aggiuntivi (fonte: Holzenergie Schweiz).

### 13.10.3 Domanda di energia ausiliaria

Il fabbisogno annuale di energia ausiliaria nel sistema di riscaldamento è di circa l'1,0-1,5 % del calore prodotto, a condizione che si faccia attenzione a utilizzare l'energia ausiliaria in modo efficiente. Per gli azionamenti elettrici, questo include:

- Motori correttamente dimensionati
- Efficienza ottimale (specialmente del ventilatore dei gas di scarico)
- Motori a velocità controllata

Per i sistemi con separatori elettrici, economizzatori, sistemi di condensazione dei gas di scarico e altri sistemi, la domanda di energia ausiliaria può anche essere più alta.

### 13.10.4 Camino, camino

#### 13.10.4.1 Dimensionamento dell'altezza del camino

Il dimensionamento dell'altezza del camino deve essere effettuato secondo le norme specifiche del paese e soddisfare le norme locali di protezione antincendio e acustica (vedi capitolo 19).

I seguenti fattori determinano l'altezza del camino:

- Dimensioni dell'edificio (altezza, larghezza)
- Ingresso termico nominale
- Livello di immissione in funzione dell'area di ostacolo più alta nell'area di influenza

#### 13.10.4.2 Dimensionamento della sezione del camino

Il dimensionamento della sezione del camino deve essere eseguito secondo le norme specifiche del paese

(vedi capitolo 19). Il progettista ha il compito di assicurare il corretto dimensionamento da parte del fornitore del camino e di verificare la conformità del camino offerto alle norme vigenti consultando il fornitore del camino. Per il dimensionamento sono rilevanti le seguenti indicazioni per il fornitore del camino:

- Temperatura e pressione dei fumi all'ingresso del camino
- Altezza della canna fumaria e temperatura dei fumi richiesta all'uscita
- Umidità dei gas di scarico.

#### 13.10.4.3 Costruzione di camini

Quando si brucia cippato umido, il punto di rugiada del gas di scarico è di circa 60 °C. In linea di principio, i camini in acciaio inossidabile ben isolati sono i più adatti per queste condizioni limite. Con pellet di legno molto secco, il punto di rugiada è un po' più basso a 40 °C - 45 °C con un eccesso d'aria di 1,5 - 2,0.

Particolare cautela è richiesta nel caso di ristrutturazioni quando si utilizzano camini esistenti. Spesso, l'unica soluzione è quella di installare una nuova canna fumaria inossidabile con isolamento sfuso. Bisogna fare attenzione che l'isolamento sfuso sia riempito a regola d'arte, ed è per questo che si raccomanda un fornitore di canne fumarie con esperienza nei sistemi a biomassa.

Nelle nuove installazioni, la caldaia a biomassa dovrebbe essere in grado di funzionare con temperature dei fumi più basse possibili (< 150 °C), il che richiede una canna fumaria ben isolata. I possibili tipi di camino sono:

- Camini in ceramica
- Tubi rigidi a parete liscia in acciaio al nichel-cromo con uno spessore di parete da 1,0 a 1,5 mm
- Camini assemblati da pezzi singoli

La costruzione del camino deve soddisfare i requisiti specifici del paese per quanto riguarda la resistenza al fuoco della fuliggine e la statica.

#### 13.10.4.4 Ugelli per la misurazione delle emissioni

Per la misurazione delle emissioni in impianti soggetti a collaudo e misurazione, nella sezione verticale del camino deve essere installato un raccordo standard (ad es. CH: "EMPA-Normstutzen", vedi Figura 13.33 Dimensioni di ). Prima e dopo l'elemento di collegamento deve essere prevista una zona di calma secondo le disposizioni specifiche del paese. La posizione esatta deve essere chiarita con lo spazzacamino responsabile e con le autorità competenti prima dell'installazione.

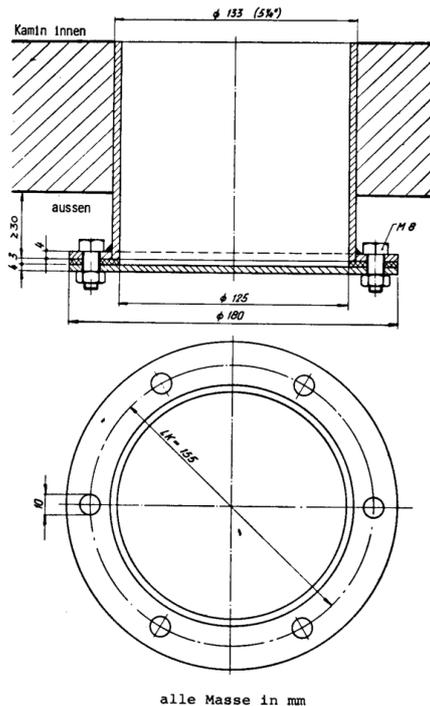


Figura 13.33 Dimensioni di installazione di un EMPA-Normstützen (rubinetti standard) [66].

### 13.10.5 Protezione dal rumore

Quando si progetta un impianto di riscaldamento automatico a biomassa, bisogna sempre chiarire gli effetti della propagazione del suono (suono trasportato dall'aria e dalla struttura) durante il funzionamento dell'impianto. Il suono aereo non rimane dove viene generato, ma viene trasmesso attraverso l'aria e può anche penetrare in parti dell'edificio. Il suono trasportato dalla struttura è innescato da vibrazioni o oscillazioni, trasmesso attraverso i corpi solidi e riemesso come suono trasportato dall'aria. Le energie che vengono introdotte in un componente dell'edificio sono significativamente maggiori rispetto al suono trasportato dall'aria. La propagazione del suono trasmesso dalla struttura può essere significativamente ridotta con elementi di smorzamento delle vibrazioni.

Per quanto riguarda la protezione dal rumore, devono essere rispettate le norme, i regolamenti e le direttive in vigore. In Svizzera, ad esempio, i livelli di sensibilità sono definiti nell'ordinanza contro l'inquinamento fonico (OIF) nell'ambito della pianificazione del territorio, analogamente alla zonizzazione (definizione dei tipi di utilizzo e delle altezze degli edifici). A seconda del tipo di utilizzo, l'assegnazione del livello di sensibilità da parte del comune determina quanto rumore può generare un impianto o quanto rumore devono sopportare i residenti.

L'ordinanza contro il rumore elenca i valori limite dei livelli massimi di pressione sonora per le singole zone. Il livello di valutazione del rumore è la somma del livello misurato e della correzione del livello. La correzione del livello è determinata in funzione del contenuto sonoro e

del contenuto di impulsi. Ad esempio, il valore di correzione del livello può comportare un aumento significativo del livello di valutazione del rumore per i trasportatori (trasportatori a catena raschiante, trasportatori a coclea) che vengono fatti funzionare in cicli ed emettono un forte rumore di cracking all'avvio.

$$\text{Noise rating level} = \text{Measured level} + \text{Level correction}$$

Il livello di rumore ammissibile dipende dal livello di quiete durante il giorno e la notte. Così, le emissioni di rumore di un sistema di riscaldamento a legna sono molto meno problematiche se c'è un alto livello di quiete dovuto ad altre fonti di emissione di rumore come il traffico, il commercio e l'industria.

Il manuale sull'isolamento acustico nei servizi degli edifici [123] elenca in dettaglio ulteriori misure di isolamento acustico nell'area degli impianti di riscaldamento.

Per quanto riguarda la responsabilità di rispettare le normative sul rumore specifiche del paese (vedi capitolo 19), si possono fare le seguenti indicazioni:

- Quando si compone il team di progettazione, si deve verificare chi sarà responsabile della pianificazione dell'isolamento acustico. La pianificazione acustica è un compito interdisciplinare e deve essere eseguita da uno specialista dell'isolamento acustico.
- L'organizzazione incaricata della responsabilità generale del progetto (architetto, progettista generale, appaltatore generale, consorzio di pianificazione) dovrebbe scegliere attentamente lo specialista dell'isolamento acustico (per esempio, ingegnere acustico).
- L'ingegnere edile o il progettista dell'impianto di riscaldamento a biomassa ha l'obbligo di richiamare l'attenzione dello specialista dell'isolamento acustico sulle fonti di rumore dell'impianto di riscaldamento a biomassa. Inoltre, devono essere messi a disposizione i dati tecnici che lo specialista dell'isolamento acustico richiede.

I seguenti componenti dell'impianto di un sistema di riscaldamento a biomassa sono fonti critiche di emissione di rumore e hanno dato luogo a reclami in passato (vedi Figura 13.34 Suono trasportato dall').

#### Ventilatore del gas di scarico

Il ventilatore dei fumi è la maggiore fonte di rumore negli impianti di teleriscaldamento a biomassa. I problemi sorgono soprattutto negli impianti in cui è necessaria un'alta pressione di mandata, a causa degli alti livelli di pressione sonora in cima al camino e nelle stanze adiacenti al camino. Le seguenti misure possono ridurre le emissioni di rumore:

- Silenziatore di scarico
- Separazione del condotto dei fumi e del camino per quanto riguarda la trasmissione delle vibrazioni
- Ventilatore ad alta efficienza di trasporto, che non ha squilibri e può essere azionato alla velocità più bassa possibile
- Montaggio del ventilatore di scarico su elementi di smorzamento delle vibrazioni

- Disposizione del camino in modo che la cima del camino non sia direttamente accanto alla finestra di una camera da letto, per esempio
- Impedire la trasmissione del suono trasportato dalla struttura dal camino alla struttura dell'edificio
- Pianificare il camino lontano dalle stanze con elevate esigenze di riduzione del rumore

#### Sistema di scarico del silo

Le seguenti misure possono ridurre le emissioni di rumore dai piani di spinta, dalle coclee di scarico e dalle unità idrauliche:

- Separare la struttura del silo dalla struttura degli spazi abitativi o di lavoro adiacenti per evitare la trasmissione del suono da parte della struttura.
- Montare l'unità idraulica su uno smorzatore di vibrazioni e coprirla con un cofano fonoassorbente.

#### Sistema di trasporto: Trasportatore a catena raschiante, trasportatori a coclea

Le seguenti misure possono ridurre le emissioni di rumore del sistema di trasporto:

- Separare la struttura del locale di riscaldamento dalla struttura degli spazi abitativi o di lavoro adiacenti per evitare la trasmissione del suono da parte della struttura.
- Separare il sistema di trasporto durante l'installazione per prevenire la trasmissione del suono da parte della struttura utilizzando smorzatori di vibrazioni o tappeti fonoisolanti per la struttura.

#### Sala di riscaldamento

La trasmissione del suono per via aerea dal locale caldaia può essere ridotta con le seguenti misure:

- Edificio chiuso con un isolamento acustico sufficientemente alto
- Aperture verso l'esterno dotate di silenziatori, ad esempio il condotto di alimentazione dell'aria di combustione dotato di deflettori silenziatori.
- Pannelli fonoassorbenti sul soffitto del locale caldaia
- Ventilatori dell'aria di combustione con silenziatori di aspirazione

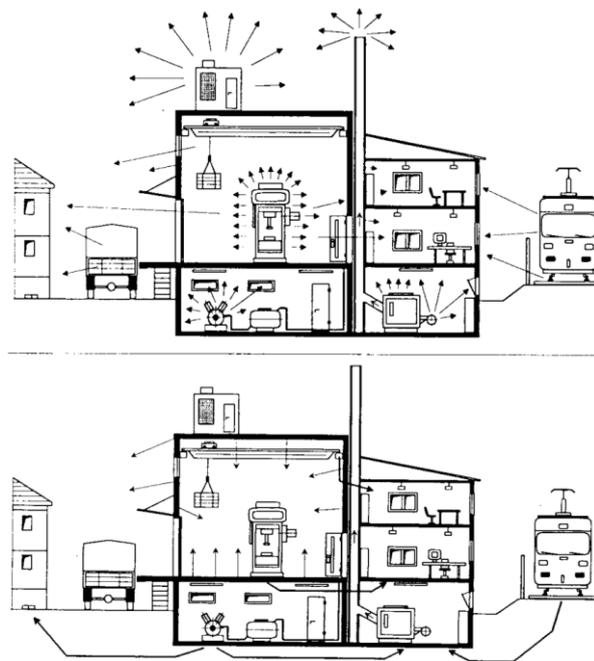


Figura 13.34 Suono trasportato dall'aria e dalla struttura [66].

## 14 Progettazione dello stoccaggio del combustibile, del trasporto del combustibile e della rimozione delle ceneri

### 14.1 Note generali

I seguenti requisiti devono essere osservati quando si pianifica lo stoccaggio del combustibile:

- Facilmente accessibile dalla strada
- Possibilità di girare il veicolo di consegna davanti al punto di scarico senza manovre dispendiose (rispettare il raggio di sterzata richiesto).
- Logistica del combustibile senza complicazioni nella sala di stoccaggio: "primo dentro, primo fuori".
- Utilizzo della topografia del terreno per facilitare lo scarico del combustibile (ad esempio, punto di scarico su un pendio nel punto più alto).

Nella fase di pianificazione del progetto dell'impianto di stoccaggio del combustibile, le possibili varianti dell'accordo dovrebbero essere chiarite con il futuro fornitore di combustibile al fine di consentire la consegna del combustibile con poco dispendio di tempo.

Nella Tabella 14.1i tipi di stoccaggio del combustibile sono classificati secondo l'assortimento del combustibile e la strategia di approvvigionamento.

Devono essere rispettati i requisiti per la costruzione e il funzionamento secondo le raccomandazioni e le normative specifiche del paese (vedi capitolo 19), in particolare:

- Prevenzione degli incendi e delle esplosioni
- Norme di sicurezza, in modo che si possano prevenire incidenti alle persone e che le persone con l'attrezzatura di protezione appropriata possano utilizzare il silo senza pericolo.
- Procedura in caso di malfunzionamenti e loro eliminazione
- Sistema di scarico di emergenza.

### 14.2 Selezione e dimensionamento dello stoccaggio del combustibile

#### 14.2.1 Tipi di stoccaggio del combustibile

La scelta appropriata e il dimensionamento del deposito di combustibile dipende dall'assortimento di combustibile, dalla domanda annuale di combustibile e dalla strategia di fornitura, che può essere basata su una catena di fornitura diretta, indiretta o mista. Se necessario, devono essere prese in considerazione anche speciali condizioni locali (per esempio, disponibilità limitata di combustibile

durante le vacanze di Natale, accessibilità della foresta in inverno, tempi di consegna ristretti, ecc.

Nel caso di legno proveniente da regioni elevate dove non è possibile il taglio durante tutto l'anno, il legno viene immagazzinato temporaneamente ad altitudini più basse o direttamente presso la centrale di riscaldamento a legna come **legname rotondo in cataste** e cippato secondo necessità o immagazzinato temporaneamente come cippato in magazzini. Questo permette la costruzione di piccoli e quindi convenienti silos presso i clienti di combustibile o presso la centrale di riscaldamento a legna.

Tipi di stoccaggio del combustibile:

- **Silo (bunker):** Un sistema di scarico automatico del combustibile convoglia il combustibile immagazzinato nel silo nel sistema di trasporto dell'impianto della caldaia a biomassa.
- **Magazzino di stoccaggio:** Lo stoccaggio intermedio del combustibile, protetto dalle intemperie, avviene in un magazzino. Il magazzino dell'impianto di riscaldamento a biomassa ha di solito un silo giornaliero.
- **Stoccaggio all'aperto:** Stoccaggio temporaneo all'aperto di trucioli di legno su cumuli e legname rotondo in cataste

#### 14.2.2 Dimensionamento

C'è un grande potenziale di risparmio nel dimensionamento corretto dello stoccaggio del combustibile. Un'ottimizzazione dettagliata è quindi urgente.

Per risparmiare sui costi, un silo di combustibile con un sistema di scarico dovrebbe sempre essere progettato il più piccolo possibile. Tuttavia, la dimensione non può essere valutata separatamente dalla logistica del combustibile, ma fa parte del concetto di fornitura.

I costi possono di solito essere mantenuti entro limiti ragionevoli se il silo di combustibile contiene da cinque a sette richieste giornaliere dell'impianto di combustione al funzionamento a potenza nominale, più il volume aggiuntivo del silo nel caso di una **catena di approvvigionamento diretto**.

##### Volume aggiuntivo del silo

Il silo di combustibile di solito non è completamente vuoto quando viene consegnato (margine di tempo richiesto tra l'ordine e la consegna). Pertanto, un volume aggiuntivo del silo dovrebbe essere preso in considerazione in aggiunta ai requisiti giornalieri specificati. Il volume aggiuntivo del silo dovrebbe essere della stessa dimensione del volume di trasporto del veicolo di consegna più grande per garantire che il silo possa essere riempito con il fabbisogno giornaliero specificato con un veicolo di consegna a pieno carico.

Per i sistemi di combustione monovalenti, questo corrisponde a un periodo di approvvigionamento di sei-otto giorni, poiché la richiesta di capacità termica non corrisponde di solito alla potenza nominale della caldaia per 24 ore. In un inverno medio, questo porta a circa 20 alimentazioni di silo di combustibile. Nel caso di una **ca-**

**tena di approvvigionamento indiretto** con una logistica di trasporto disponibile a breve termine dall'impianto di stoccaggio intermedio (ad esempio un magazzino), la dimensione del silo di combustibile può essere ridotta a 2 o 4 richieste giornaliere. Spesso, gli impianti di riscaldamento hanno grandi capacità di stoccaggio (magazzino, stoccaggio all'aperto con pali, ecc.) in modo che lo stoccaggio intermedio possa avvenire direttamente presso l'impianto di riscaldamento. In questo caso, il silo di combustibile può anche essere significativamente più piccolo (ad esempio il fabbisogno di un giorno).

Il numero di movimenti del veicolo per alimentare il deposito di combustibile dipende dalla domanda annuale di combustibile e dalla capacità di trasporto del veicolo.

- **Direttamente** dalla foresta: Un camion può trasportare da 40 a 50 (60) LCM di cippato direttamente dalla foresta, una combinazione camion-rimorchio da

70 a 80 LCM. In linea di principio, il cippato consegnato da un camion dovrebbe poter essere scaricato immediatamente e, nel caso di una combinazione camion-rimorchio, i 40 LCM aggiuntivi dopo 10 minuti di tempo di trasferimento.

- Dallo **stoccaggio intermedio**: Un camion con un semirimorchio a spinta o a pianale scorrevole può consegnare da 80 a 90 LCM.

Oltre al volume di stoccaggio, si deve prestare attenzione a soluzioni economiche nella progettazione dell'impianto di stoccaggio, all'attrezzatura ausiliaria necessaria per il riempimento e la distribuzione del combustibile e all'attrezzatura di ventilazione. Inoltre, devono essere osservati i dispositivi e le norme di sicurezza corrispondenti.

Tabella 14.1 Scelta del tipo di stoccaggio del combustibile a seconda dell'assortimento di combustibile e della strategia di approvvigionamento.

Tipo di combustibile	Tipo di stoccaggio del combustibile	Catena di approvvigionamento	Dimensionamento del fabbisogno giornaliero del sistema della caldaia a biomassa per il funzionamento a potenza nominale	Fabbisogno giornaliero del sistema della caldaia a biomassa con funzionamento a potenza nominale
Pellets	Silo chiuso per pellet, deposito assolutamente asciutto Silo rotondo fuori terra	indiretto	Circa 20 richieste giornaliere, vedi Figura 35 secondo [65]	
Cippato di qualità	Silo sotterraneo, silo fuori terra	indiretto	5 - 7 richieste giornaliere più il volume aggiuntivo del silo <sup>1)</sup>	
Cippato fino a P45S-M55+	Silo sotto il pavimento	diretto	5 - 7 richieste giornaliere più il volume aggiuntivo del silo <sup>1)</sup>	< 50 LCM/d
Cippato fino a P45S-M55+	Silo rotondo fuori terra	diretto	5 - 7 richieste giornaliere più il volume aggiuntivo del silo <sup>1)</sup>	> 50 LCM/d
Cippato fino a P45S-M55+	Magazzino con silo giornaliero	misto	Minimo 7 richieste giornaliere	> 50 LCM/d
LH, DI, RZ, Ruz <sup>2)</sup> e legno di scarto fino a P63-M55+	Magazzino con silo giornaliero Silo rotondo fuori terra	misto	Minimo 7 richieste giornaliere	
RHH <sup>2)</sup>	Silo rotondo o quadrato	diretto	Conciliare domanda e necessità	

<sup>1)</sup>Il silo di combustibile di solito non è completamente vuoto quando viene consegnato (margine di tempo richiesto tra l'ordine e la consegna). Di conseguenza, un volume aggiuntivo del silo dovrebbe essere preso in considerazione in aggiunta ai requisiti giornalieri specificati. Il volume aggiuntivo del silo dovrebbe essere della stessa dimensione del volume di trasporto del veicolo di consegna più grande per garantire che il silo possa essere riempito con il fabbisogno giornaliero specificato con un veicolo di consegna a pieno carico.

LCM = metri cubi di cippato sciolto

<sup>2)</sup>Tipi di combustibile vedi Tabella 4.10

### 14.2.3 Design del silo del combustibile

#### Silos sotto il pavimento

I silos sotto il pavimento (vedi Figura 14.1) possono essere riempiti direttamente dal veicolo di trasporto attraverso una o più aperture di riempimento senza alcun dispositivo ausiliario. La dimensione ideale e più economica è un silo alto con una base quadrata e un coperchio del silo che, se possibile, non può essere guidato sopra. Per

ottenere un livello di riempimento > 70 % con un'apertura di riempimento del silo, il rapporto tra altezza e larghezza deve essere almeno 1. La forma del silo deve essere idealmente estesa con altri sili allineati uno accanto all'altro. Per ottenere un livello di riempimento > 70 % con altre dimensioni di silo, il combustibile può essere introdotto o attraverso diverse aperture di silo o con viti di riempimento o distributori di silo.

L'apertura del silo deve avere una dimensione libera minima di 3,5 m di lunghezza e 2 m di larghezza. Questo riduce la quantità di lavoro necessaria per lo scarico:

- Tempo di scarico più breve grazie a una minore manovra del camion e a un migliore comportamento del flusso del cippato
- Nessuna pulizia successiva della zona di scarico
- Meno danni al coperchio del silo.

I vantaggi dei silo sotto il pavimento sono il loro alto livello di riempimento (> 70 %). Inoltre, non sono necessari costosi dispositivi di posizionamento e distribuzione. Gli svantaggi dei silo sotto il pavimento includono il fatto che a volte non sono fattibili in caso di problemi di acque sotterranee e di solito hanno costi di costruzione più alti (scavi e lavori di cemento).



Figura 14.1 Alimentazione del silo sotto il pavimento (fonte Holzenergie Schweiz).

Le dimensioni e la geometria del silo sono determinate dal requisito di bassi costi e dalla larghezza di un'unità di asta di spinta di 2 m al massimo. Per i silo più larghi, è necessario prevedere più aste di spinta, il che a sua volta influisce sui costi. Altri fattori che influenzano la geometria e le dimensioni sono il requisito del massimo grado di riempimento possibile (> 70 %) e l'angolo di riposo del cippato. Questo è di solito di 45°. Così, nel caso di silo sotto il pavimento con aperture di riempimento a livello del suolo, si dovrebbe puntare a un silo alto, dove l'altezza non dovrebbe superare 1,5 volte la larghezza per evitare ponti, specialmente con cippato umido.

Per determinare l'altezza dell'**apertura di uscita dal silo al canale di trasporto trasversale** (Figura 14.2), è necessario prendere in considerazione il comportamento del flusso e l'angolo di riposo del combustibile (vedi Figura 14.2).

Per il cippato con un buon comportamento di scorrimento (angolo di riposo di circa 45°), l'altezza dell'apertura di uscita può essere fissata. Dovrebbe essere scelta in modo tale da corrispondere al massimo alla distanza tra l'angolo laterale del silo dell'apertura di uscita e l'inizio del canale del trasportatore trasversale, ma almeno 50 cm. Questo assicura che il cippato non fluisca in modo incontrollato nel canale del trasportatore trasversale e non riempi eccessivamente il sistema del trasportatore trasversale.

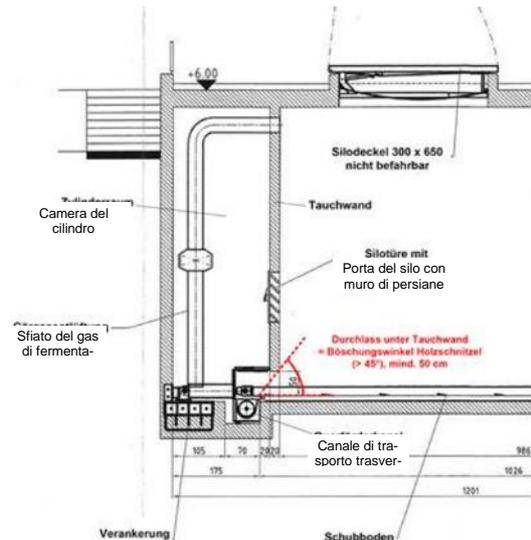


Figura 14.2 Apertura di passaggio dal silo al canale di trasporto trasversale (fonte: Holzenergie Schweiz).

Nel caso di combustibili di cui non si conosce il comportamento del flusso e l'angolo di riposo (legno di scarto sminuzzato, legno sminuzzato dalla manutenzione del paesaggio, corteccia), l'altezza dell'apertura di passaggio deve essere progettata in modo variabile; per esempio, con assi di legno che possono essere rimosse o inserite a seconda delle necessità. Nel funzionamento pratico, viene poi determinata l'altezza necessaria. Si deve garantire che il combustibile non fluisca incontrollato nel canale di trasporto trasversale e che non avvenga alcuna compressione. La compressione del combustibile sul deflettore o sulle tavole di legno sopra l'apertura di passaggio può portare all'impossibilità di scaricare il combustibile.

Lo scarico senza complicazioni di combustibili con un comportamento di flusso sfavorevole dal silo può anche essere ottenuto installando un rullo dosatore sopra l'apertura di uscita (vedi Figura 6.21).

Oltre ai container con una capacità di 30 - 40 m<sup>3</sup>, i singoli fornitori di cippato hanno anche **container pompa** con una capacità fino a 30 m<sup>3</sup>. Con questi contenitori a pompa, è possibile alimentare il cippato di qualità nonostante una disposizione sfavorevole del silo. Si può quindi evitare una soluzione con coperchi di silo e un costoso trogolo di scarico con coclee di riempimento. Durante il pompaggio del cippato, tuttavia, si deve garantire che l'aria di trasporto prodotta possa uscire dal silo. Se possibile, l'apertura corrispondente dovrebbe essere prevista presso l'apertura di riempimento. Il pompaggio comporta costi aggiuntivi. Il tempo di riempimento richiede circa 30 minuti per 30 LCM.

Se un silo deve essere riempito con veicoli ribaltabili nonostante le difficili condizioni di posizionamento, è necessario un trogolo di scarico all'esterno dell'edificio con un sistema di coclee (vedi Figura 6.11 Viti di ).

**Contenitore mobile per trucioli con scarico in sostituzione del silo**

Nel caso di una successiva installazione di un sistema di riscaldamento a legna, la costruzione di un silo sotterraneo è nella maggior parte dei casi molto costosa o non sempre possibile a causa delle condizioni strutturali. In questo caso, è concepibile una fornitura tramite container mobili da 30 m<sup>3</sup> con scarico a spinta incorporato nel pavimento. Uno o più container sono agganciati al sistema di trasporto (comune) su un piazzale adeguato o all'interno dell'edificio. Il collegamento è formato da un trasportatore trasversale installato in modo permanente che sposta il cippato scaricato verso il sistema di caricamento del forno. L'unità di azionamento per il piano di movimentazione dei contenitori è collocata nel locale caldaia.

### Silo rotondo

Nel caso di impianti di teleriscaldamento a biomassa con una potenza della caldaia a biomassa > 5 MW, il combustibile può essere stoccato in un magazzino con un silo giornaliero o in sili rotondi fuori terra con uno scarico a coclea. Per evitare ponti, l'altezza massima di riempimento del silo rotondo deve essere limitata a seconda della fluidità del combustibile.

Le seguenti altezze massime di riempimento H<sub>max</sub> valgono come valori guida:

- Cippato umido, basso contenuto fine, particelle di lunghezza massima 200 mm:  $H_{max} = 1,5 \times D$  (diametro silo rotondo)
- Secco, legno di scarto sminuzzato, basso contenuto di materiale fine, particelle di lunghezza massima 200 mm:  $H_{max} = 1,0 \times D$  (diametro silo rotondo)

Se il combustibile umido rimane nel silo rotondo per un periodo di tempo più lungo, si secca e tende a formare forti ponti. Questo riduce la scorrevolezza e lo scarico automatico del combustibile non è più possibile.

## 14.2.4 Ventilazione del silo

I silos per il combustibile secco (trucioli) non sono ventilati. Questo impedisce al combustibile di assorbire l'umidità dall'aria. Nei silos chiusi con combustibile umido, l'aumento di umidità deve essere rimosso per mezzo di una ventilazione meccanica. Inoltre, durante lo stoccaggio del cippato umido vengono prodotti gas di fermentazione, tra cui il CO<sub>2</sub>, a causa dei processi di decomposizione. Poiché il CO<sub>2</sub> è più pesante dell'aria, si diffonde lungo il pavimento del magazzino del combustibile, del locale idraulico e del locale caldaia e si raccoglie nei punti più bassi. Per garantire che non ci sia mai un rischio di asfissia per il personale addetto alla manutenzione, le aree interessate devono essere protette con dispositivi di ventilazione adeguati. Devono essere rispettati i dispositivi di sicurezza e le norme specifiche del paese nel capitolo 19

Il rilascio di umidità dei trucioli di legno causa un'alta umidità relativa nel deposito di combustibile. Questa si condensa sulle pareti fredde, sul soffitto e specialmente sui coperchi dei sili non isolati e causa la riumentificazione del combustibile. L'acqua estranea sulla superficie del combustibile può causare una grave crescita di muffa. Per

evitare questo, l'umidità che si accumula deve essere rimossa dal sistema di ventilazione (controllato da un timer), che ventila il silo trasversalmente. Le pareti, il soffitto e il coperchio del deposito di combustibile possono così essere mantenuti asciutti.

### Ventilazione del silo con aria esterna

L'aria esterna fluisce attraverso un pozzo di luce nella stanza idraulica. Lì, l'aria viene convogliata meccanicamente nel silo dei trucioli vicino al pavimento da un sistema di ventilazione e condotta all'esterno come aria di scarico attraverso il coperchio del silo o il pozzo di luce. In caso di ventilazione intermittente, il sistema di ventilazione deve essere progettato per un ricambio d'aria da 3 a 5 volte all'ora del locale idraulico, per cui la ventilazione deve essere in funzione per almeno 10 minuti all'ora.

Si può fare a meno della ventilazione intermittente se la ventilazione è progettata per un ricambio d'aria di 20 volte all'ora e si osserva un periodo di attesa di 15 minuti tra l'accensione della ventilazione e l'ingresso nella stanza (ad esempio con una porta bloccata da un timer).

Se ci sono aperture dirette tra il locale idraulico e il silo, per esempio perché il canale di trasporto trasversale nel locale idraulico non è chiuso, può verificarsi un breve flusso d'aria tra il silo e il locale idraulico. Per garantire che i gas di fermentazione e l'umidità dell'aria vengano comunque portati via, è necessario installare un'unità di estrazione supplementare nel silo sopra il combustibile. Affinché l'aria esterna possa entrare, il suo volume di mandata deve essere leggermente più grande di quello dell'estrazione nel locale idraulico.

In particolare, va notato che ad altezze di riempimento superiori a cinque metri, i gas di fermentazione che si formano sopra il materiale sfuso devono essere scaricati in modo controllato.

Se l'aria esterna è fredda e il combustibile è umido, il ghiaccio può formarsi a causa della condensazione dell'umidità nel locale idraulico e nella rete dei condotti di ventilazione.

### Ventilazione combinata del locale caldaia e del silo

Ha senso combinare i sistemi di ventilazione del locale caldaia e del silo perché l'aria calda del locale caldaia riduce i problemi di congelamento nel locale idraulico e supporta il processo di essiccazione del cippato. In caso di ventilazione intermittente, il sistema di ventilazione deve essere progettato per un ricambio d'aria da 3 a 5 volte all'ora del locale idraulico, per cui la ventilazione deve essere in funzione per almeno 10 minuti all'ora.

Si può fare a meno della ventilazione intermittente se la ventilazione è progettata per un ricambio d'aria di 20 volte all'ora e si osserva un periodo di attesa di 15 minuti tra l'accensione della ventilazione e l'ingresso nella stanza (ad esempio con una porta bloccata da un timer).

L'aria esterna fluisce nella stanza della caldaia attraverso una griglia di protezione dalle intemperie. Una parte dell'aria viene immessa nel forno dai soffiatori

dell'aria di combustione, il resto fluisce attraverso la serranda antincendio nella stanza idraulica. Lì, l'aria viene trasportata meccanicamente nel silo dei trucioli da un sistema di ventilazione e condotta all'esterno come aria di scarico umida.

Se ci sono aperture dirette tra il locale idraulico e il silo, ad esempio perché il canale di trasporto trasversale nel locale idraulico non è chiuso, può verificarsi un flusso d'aria di cortocircuito tra il silo e il locale idraulico. Per garantire che i gas di fermentazione e l'umidità vengano comunque portati via, è necessario utilizzare un ventilatore aggiuntivo per tubi davanti alla serranda antincendio per convogliare nel locale cilindri una quantità di aria calda del locale caldaie leggermente superiore a quella che estrae il ventilatore nel locale cilindri.

Se il locale caldaia è significativamente più basso del locale idraulico e del silo, la porta tra il locale caldaia e il locale idraulico deve essere assolutamente a tenuta d'aria. Altrimenti, c'è il rischio che i gas di fermentazione si accumulino nel locale caldaia, specialmente nel funzionamento a basso carico e in estate quando il sistema è fermo ma c'è ancora del cippato nel silo.

Se il livello del pavimento del silo è più basso di quello del locale caldaia, l'aria fredda esterna dal locale caldaia può fluire nel locale idraulico e ostacolare il processo di asciugatura desiderato. Questo può essere evitato usando un tubo di ventilazione aggiuntivo con un ventilatore per guidare l'aria calda dal soffitto del locale caldaia direttamente nel locale idraulico attraverso la serranda antincendio.

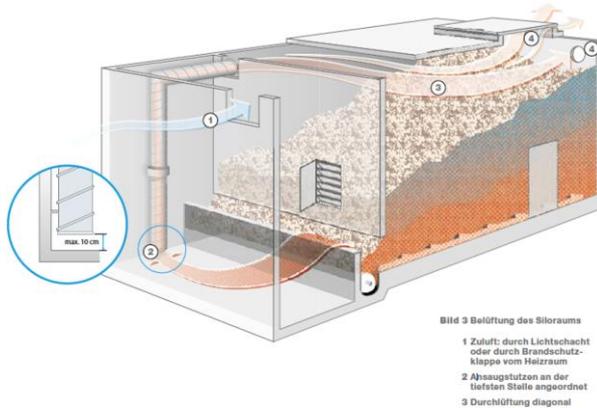


Figura 14.3 Ventilazione del silo (fonte: Suva [124]).

#### Scarico dell'aria di scarico del silo

Quando si pianifica l'apertura dell'aria di scarico del silo, bisogna ricordare che i gas di fermentazione hanno un odore sgradevole. In caso di possibile odore fastidioso, si raccomanda di condurre l'aria di scarico del silo sopra il tetto con un sistema di aria di scarico separato.

### 14.2.5 Design del magazzino

Per gli impianti più piccoli e medi, un silo è solitamente usato per lo stoccaggio del combustibile; per un impianto

di dimensioni > 2 MW, un magazzino è molto più conveniente (Figura 14.4). Per gli impianti < 2 MW con una catena di approvvigionamento diretto, la costruzione di un magazzino di stoccaggio accessibile con un piano di spinta facilmente accessibile e con un silo giornaliero può anche essere una soluzione economica se si può rinunciare a un silo sotto il pavimento costoso. Per impianti teleriscaldamento a biomassa molto grandi, un'alternativa al magazzino di stoccaggio è un silo circolare fuori terra.



Figura 14.4 Magazzino (fonte: Holzenergie Schweiz).

La gestione di un magazzino si realizza con la seguente logistica:

- Gestione del magazzino e alimentazione del silo giorno e piano mobile con pala gommatrice o caricatore telescopico
- Sistema di gru completamente automatico, che ha un trogolo di scarico e un silo giornaliero
- Sistema di carico e scarico con trasportatore a catena raschiante. Pre-silo con raschietto o piano di spinta per il carico del trasportatore a catena raschiante, scarico del combustibile al sistema di carica del forno con piano di spinta.
- Alimentazione dal trogolo di scarico con sistema a coclea, scarico con piano di spinta
- Stoccaggio e scarico con sistema speciale come Toploader.

I magazzini devono essere ventilati trasversalmente, in modo da eliminare l'umidità che fuoriesce sopra il combustibile. Nel caso del sistema a gru e del sistema di carico e scarico con trasportatore a catena raschiante, si deve anche prevedere un'alimentazione di emergenza nel silo diurno, in modo che il sistema di riscaldamento a legna possa continuare a funzionare in caso di guasto del sistema di gestione del capannone. Con il sistema a gru, il combustibile può, per esempio, essere rovesciato direttamente sul pavimento di spinta del silo giornaliero, che convoglia il combustibile al sistema di caricamento. Nel sistema di carico e scarico, il combustibile può, per esempio, cadere attraverso un'apertura nel canale di trasporto del trasportatore a catena raschiante sul sistema di carico.

## 14.2.6 Magazzino esterno

Lo stoccaggio all'aperto del cippato in cataste o dei tronchi in mucchi presso l'impianto di riscaldamento o in un luogo centrale dovrebbe essere soleggiato e accessibile tutto l'anno



Figura 14.5 Stoccaggio all'aperto di cippato (Fonte: Holzenergie Schweiz).

Lo svantaggio del cippato nello stoccaggio all'aperto è l'aumento delle perdite di energia dovute alla perdita di sostanza.

Nel caso di cippato su cumuli, che sono gestiti con un cuscinetto a ruote, la contaminazione da sabbia e pietre deve essere evitata. Un sito asfaltato con drenaggio o un sito su un sottosuolo compatto e asciutto dovrebbe essere fornito



Figura 14.5 Stoccaggio all'aperto di cippato su catasta (fonte: Holzenergie Schweiz).



Figura 14.6 Stoccaggio all'aperto di legname rotondo in cataste (fonte: Holzenergie Schweiz).

Quando si immagazzinano combustibili umidi come il cippato di residui forestali, i residui industriali, il legno proveniente dalla gestione del paesaggio, il legno residuo dal diradamento, così come la corteccia triturrata o non triturrata, devono essere osservate le seguenti condizioni generali:

- Una buona aerazione del combustibile sul cumulo è ottenuta da una bassa proporzione di fini tra cui aghi, foglie e ramoscelli e dalla grossolana grumosità del combustibile.

- Un'alta proporzione di fini e una piccola grumosità impediscono al combustibile di asciugarsi uniformemente e favoriscono la formazione di muffa in cima al mucchio. La risalita dell'umidità è impedita negli strati con un'alta percentuale di fini, e l'umidità rilasciata si condensa di nuovo in questi strati (specialmente in cima al mucchio).
- La degradazione della materia secca nel combustibile (alti valori di degradazione fino al 4 % al mese con alto contenuto d'acqua) può essere ridotta da brevi tempi di manipolazione e da un'essiccazione ottimale del combustibile con grumi grossolani (ben ventilato). La nota si riferisce anche allo stoccaggio del combustibile in silos o magazzini.
- Specialmente nel caso di combustibili con celle a pori aperti come il legno di conifere, l'essiccazione del combustibile per un periodo di stoccaggio più lungo può essere ottimizzata coprendo i mucchi con velli, che riducono significativamente l'umidità esterna del combustibile da parte delle precipitazioni. I mucchi di legno di conifere sono in parte coperti con fogli tagliabili per evitare l'umidità estranea.
- Il tasso di essiccazione del combustibile, che può essere fino al 10% di riduzione del contenuto d'acqua durante il primo mese, è molto più alto in estate e nel periodo di transizione che nel periodo freddo dell'inverno.

## 14.2.7 Combustione spontanea e perdita di sostanza

Quando si immagazzinano grandi quantità di cippato, c'è il rischio di combustione spontanea. C'è sempre un rischio maggiore se diverse delle seguenti condizioni sono soddisfatte allo stesso tempo:

- Periodo di conservazione particolarmente lungo (per esempio più di 3 mesi)
- Conservazione con tempo caldo (mesi estivi)
- Il combustibile è umido e possibilmente ancora verde quando viene conservato.
- Il combustibile contiene porzioni più grandi di aghi o foglie.
- Una parte del combustibile è tritata molto finemente.
- Il combustibile contiene alte proporzioni di corteccia fresca o rami sottili (ad esempio, materiale della corona ricco di nutrienti).
- La triturazione è stata fatta con trituratori, o cippatrici con coltelli smussati
- Qualità diverse (ad esempio grossolana/fine, umida/secca, legno di testa/legno di fusto) sono immagazzinate una dopo l'altra nello stesso magazzino.
- Il combustibile è disomogeneo e si deposita in diversi strati durante lo stoccaggio (formazione di cumuli). Tra i singoli combustibili di diversa qualità o origine si formano degli strati limite.
- Il combustibile è accatastato relativamente in alto (> 4 m).
- Il combustibile viene compattato durante lo stoccaggio dai veicoli che ci passano sopra.
- A seconda del tipo di gestione dello stoccaggio e soprattutto nel caso di fasi di stoccaggio più lunghe, il

materiale stoccato per primo non viene rimosso per primo. Ciò significa che il periodo di stoccaggio del combustibile non è uniforme.

Oltre al rischio di combustione spontanea, tali condizioni di stoccaggio portano anche a considerevoli perdite di energia dovute alla degradazione biologica - alcune delle quali, tuttavia, non sono visibili dall'esterno. Nel caso di cippato umido e fine, queste perdite sono dal 2 al 3% al mese. Pertanto, lo stoccaggio a lungo termine di cippato di bassa qualità non è consigliabile.

Una combinazione delle seguenti misure dovrebbe quindi essere presa per prevenire gli incendi da combustione spontanea:

- Separazione di diverse qualità di cippato nei loro propri mucchi
- Evitare un alto contenuto di acqua nel materiale immagazzinato permettendo al legno di asciugarsi prima della cippatura
- Evitare utensili da taglio smussati per la triturazione
- La struttura del cippato più grossolana possibile
- Evitare porzioni più grandi di aghi o foglie perché sono sostanze facilmente attaccabili dai microbi
- Breve periodo di stoccaggio (specialmente quando le temperature esterne sono calde durante lo stoccaggio).
- Aerazione (ingresso aria calda, uscita umidità)
- Altezza di scarico < 4 m (se possibile, a forma di cono appuntito o pila)
- Piccola sezione di stoccaggio per lo stoccaggio all'aperto (larghezza della pila < 6 m)
- Evitare lo stoccaggio a lungo termine (anche a causa delle perdite di combustibile)
- Se necessario, asciugatura attiva o raffreddamento con ventilazione
- Utilizzo di sonde di temperatura per il monitoraggio (sono adatte, per esempio, le sonde che vengono utilizzate anche per il monitoraggio dei mucchi di fieno).
- Rispettare la distanza minima da edifici o altre strutture e la quantità massima di stoccaggio.

#### Protezione antincendio preventiva

Quando si immagazzina il combustibile, si deve prestare maggiore attenzione alla prevenzione degli incendi, e le norme di prevenzione degli incendi applicabili devono essere sempre rispettate. I vigili del fuoco responsabili hanno familiarità con le condizioni locali e dovrebbero essere disponibili piani operativi preparati congiuntamente.

Se i mucchi di combustibile immagazzinato vengono aperti o rimossi per lo spegnimento degli incendi, l'accesso dell'ossigeno può portare a un incendio aperto.

### 14.2.8 Design del silo di cippato

La dimensione del silo è determinata in base al bilancio della domanda mensile di cippato e della produzione mensile di legno residuo. Qui, un silo di cippato ha la funzione di un deposito di combustibile e allo stesso tempo

agisce come un buffer per assorbire l'afflusso di materiale. Il pianificatore deve chiarire quanto legno residuo sarà prodotto in un certo periodo di tempo e quale parte di esso può essere utilizzata come combustibile. Il legno residuo in eccesso può essere fornito a terzi. Le forme adatte sono silos rotondi o quadrati.

Devono essere osservati in particolare i requisiti per la progettazione strutturale e il funzionamento secondo le raccomandazioni e le normative vigenti (vedi capitolo 19):

- Prevenzione degli incendi e delle esplosioni
- Regolamenti sulla salute e la sicurezza in modo che le persone con l'attrezzatura di protezione appropriata possano eseguire la gestione del silo in modo sicuro
- Procedura per la risoluzione dei problemi
- Sistema di scarico di emergenza

### 14.2.9 Design dello stoccaggio del pellet

I seguenti requisiti per la progettazione strutturale e il funzionamento di un deposito di pellet sono descritti in dettaglio nell'opuscolo "Raccomandazioni per lo stoccaggio di pellet di legno" [65]:

- Consegna e stoccaggio professionale di pellet
- Tappetino di protezione dagli urti
- Proprietà come lo spazio di stoccaggio asciutto (nessuna infiltrazione di umidità), pareti e penetrazioni nelle pareti a tenuta di polvere, requisiti statici, prevenzione delle esplosioni, ecc.
- Volume o capacità di stoccaggio a seconda della potenza nominale della caldaia a pellet
- Sistema di scarico a seconda della potenza nominale delle caldaie a pellet
- Ventilazione del magazzino per la salute e la sicurezza (per evitare alte concentrazioni di CO)
- I depositi di pellet che superano i 50 m<sup>3</sup> devono essere dotati di una porta esterna.
- Pulizia del magazzino

Inoltre, sono elencate le norme di sicurezza che devono essere osservate quando si entra nel negozio di pellet, in modo da evitare incidenti causati da concentrazioni tossiche di CO.

Il locale di stoccaggio dei pellet deve essere conforme alle norme e alle direttive locali vigenti in materia di prevenzione degli incendi e degli infortuni (vedi capitolo 19).

## 14.3 Selezione e dimensionamento dello scarico del combustibile

### 14.3.1 Osservazioni generali

La scelta appropriata e la dimensione del trasporto del combustibile dipende dall'assortimento del combustibile e dalla sua scorrevolezza. Questo è determinato dalla

dimensione delle particelle (grumosità), dal contenuto di acqua, dal contenuto di particelle fini e dalla tecnica di lavorazione. Il combustibile tritato risulta in superfici tagliate, mentre il combustibile sminuzzato risulta in superfici rotte. La scelta del sistema di scarico e di trasporto del combustibile a seconda dell'assortimento del combustibile e del tipo di stoccaggio del combustibile può essere vista nella Tabella 14.2.

I pellet o i trucioli di legno secchi di qualità con una bassa percentuale di fini hanno un'alta scorrevolezza.

### 14.3.2 Trasporto di combustibile

Il dimensionamento dell'attrezzatura di scarico e di trasporto per la sicurezza operativa richiesta con l'assortimento di combustibile dato dovrebbe essere attentamente pianificato

Il principio di trasporto dipende dal combustibile. La dimensione e le dimensioni dell'attrezzatura di trasporto sono solitamente determinate dal fornitore dell'impianto di combustione in base alla potenza della caldaia e alle dimensioni del silo. Tuttavia, il progettista ha un'influenza decisiva sulla disposizione del silo e della caldaia. Oltre al requisito che il deposito di combustibile e la caldaia devono essere il più vicino possibile l'uno all'altro, nei sistemi a più caldaie ogni unità di combustione deve avere il proprio sistema di trasporto. L'accessibilità alla caldaia, al separatore di ceneri volanti, al filtro per le polveri sottili e al camino non deve essere ostacolata dal sistema di trasporto.

### 14.3.3 Scarico

#### Scarico del silo

Per il cippato forestale umido, i trucioli dell'industria delle segherie e la corteccia, si raccomanda un silo con scarico a piano mobile. Il pavimento mobile è insensibile alle particelle di combustibile sovradimensionate e ai corpi estranei come le pietre. Il dimensionamento del piano di spinta (specialmente aste di spinta e cilindri idraulici) deve essere progettato per la massima altezza di scarico possibile o ammissibile e deve essere specificato e controllato dal progettista.

Per i silo di trucioli di forma rotonda e quadrata, le coclee centrali sono adatte a convogliare il combustibile al centro, anche se la vite conica a basso costo è usata anche per i piccoli diametri dei silo. Per i silo di forma rettangolare, viene utilizzata una coclea a pendolo o un piano di spinta per lo scarico del silo.

#### Scarico dal deposito di pellet

Lo scarico dal deposito di pellet viene spesso effettuato con uno scarico a coclea centrale in combinazione con un pavimento inclinato (per piccole capacità di stoccaggio) o per mezzo di uno scarico a nucleo elastico, uno scarico a spazio con braccio articolato (per grandi capacità di stoccaggio). Il magazzino deve poter essere riempito e svuotato nel modo più completo e semplice possibile. Gli spazi morti devono essere ridotti al minimo. I sistemi di estrazione pneumatica sono utilizzati per sistemi < 50 kW.

Tabella 14.2 Scelta del tipo di stoccaggio del combustibile a seconda dell'assortimento di combustibile, dello scarico del combustibile e del sistema di trasporto.

Gamma del combustibile	Tipo di stoccaggio del combustibile	Sistema di erogazione	Sistema di trasporto del combustibile	Sistema di alimentazione del forno	
Pellets	Stoccaggio chiuso di pellet	Scarico medio della vite	Trasportatore a coclea	Vite del fuochista	
	Absolutamente asciutto	Scarico del nucleo della molla			
	Silo rotondo fuori terra	Scarico del braccio articolato			
		Scarico del centro			
Cippato di qualità	Silo sotterraneo, silo fuori terra	Scarico del pavimento mobile	Trasportatore a coclea	Vite del fuochista	
		Scarico del nucleo della molla			
		Scarico del braccio articolato			
		Scarico del centro			
Cippato fino a P45S-M55+	Silo sotterraneo	Scarico del pavimento scorrevole	Trasportatore a coclea	Fuochista e doppio fuochista a vite	
	Silo rotondo fuori terra	Scarico della vite di fresatura	Trasportatore a catena raschiante	Pusher	
	Magazzino di stoccaggio con silo giornaliero		Piano di spinta trasversale	Trasportatore a spinta idraulica	Spingitore diretto
LH, DI, RZ, Ruz e legno di scarto fino a P63-M55+	Magazzino di stoccaggio con silo giornaliero Silo rotondo fuori terra	Scarico del pavimento mobile	Trasportatore a catena raschiante	Pusher	
		Scarico della vite di fresatura	Piano di spinta trasversale	Spingitore diretto	
			Trasportatore a spinta idraulica		

RHH

Silo rotondo o quadrato

Scarico della vite conica  
Scarico del centro

Trasportatore a coclea

Vite del fuochista

### 14.3.4 Sistemi di trasporto del combustibile

#### Trasporto pneumatico

Il trasporto di polvere, trucioli, cippato secco e pellet è possibile sia pneumaticamente che meccanicamente. Nel caso dell'attrezzatura pneumatica, i soffiatori si occupano del trasporto; con l'attrezzatura meccanica, si usano trasportatori a coclea. Se la situazione strutturale lo permette, per esempio con brevi collegamenti di trasporto, i sistemi di trasporto meccanici sono preferibili a quelli pneumatici. I vantaggi del trasporto meccanico sono

- sono meno suscettibili di fallire,
- richiedono meno energia di azionamento e
- sono più convenienti.

#### Trasportatore a coclea

L'area di applicazione del trasportatore a coclea è limitata alle seguenti dimensioni massime di combustibile:

- La lunghezza massima dei pezzi di combustibile corrisponde al diametro della vite.
- Lo spessore massimo risulta dal gioco tra il diametro della vite e il diametro nominale del canale di alimentazione o il diametro nominale del tubo guida della vite.

I pezzi flessibili nel combustibile possono bloccarsi o avvolgersi sull'anima della vite (per esempio, pezzi di corteccia freschi e lunghi o trucioli di riduzione). Questo può causare problemi durante il trasporto a coclea. I combustibili con un cattivo comportamento di scorrimento, come il legno da manutenzione paesaggistica sminuzzato grossolanamente, possono causare problemi di trasporto nei punti di trasferimento a causa dei ponti.

#### Sistema di trasporto a catena raschiante o a spinta

I combustibili con grande grumosità (pezzi molto lunghi o spessi) così come i combustibili con un cattivo comportamento di flusso devono essere trasportati per mezzo di un trasportatore a catena raschiante o di un sistema di spinta.

### 14.3.5 Alimentazione della fornace

#### Trasportatore a coclea

Vedi sopra nel capitolo 14.3.4.

I trasportatori a doppia coclea con un grande diametro nominale permettono anche il trasporto di pezzi lunghi nel combustibile con un diametro minore delle singole coclee.

#### Spingitore idraulico, sistemi a spinta diretta o sistemi a trasmettitore di spinta

Gli spintori permettono di convogliare nella camera di combustione dimensioni di combustibile molto lunghe con una lunghezza dell'estremità fino a 100 cm.

Un bordo di taglio aggiuntivo sul sistema di spintore diretto o sul sistema di trasmettitore dello spintore può tagliare le parti di combustibile in eccesso. Due bordi di taglio separati l'uno dall'altro da una zona di scarico sono vantaggiosi per ridurre notevolmente il fabbisogno di energia elettrica per l'unità idraulica del sistema di spintore. La corteccia del rotore perforato con sezioni di corteccia fino a 80 cm può essere convogliata nel forno senza pre-triturazione. Il legno di scarto con un'alta percentuale di materiale estraneo (pietre, metalli, ecc.) causa un'elevata usura del dispositivo di spinta.

L'usura del dispositivo di spinta quando si carica il forno con legno di scarto può essere significativamente ridotta con la pre-separazione del contenuto di materiale estraneo.

#### Nota sul rischio di ritorno di fiamma

Per evitare il ritorno di fiamma nel sistema di spinta, la caldaia a biomassa deve essere fatta funzionare con un carico continuo minimo, che permette l'inserimento continuo del combustibile.

#### Si applicano i seguenti valori guida per un carico continuo minimo necessario:

- combustibile umido > M40: 20% della potenza nominale della caldaia
- combustibile secco < M40: 30% della potenza nominale della caldaia.

Il funzionamento a basso carico al di sotto del carico continuo minimo richiesto è escluso.

Gli spintori sono utilizzati principalmente in impianti di combustione per residui di segheria con corteccia o legno proveniente dalla manutenzione del paesaggio. Per i trucioli secchi e la polvere, gli spingitori devono essere equipaggiati con una valvola di scorrimento supplementare antincendio nello scivolo che si chiude automaticamente in caso di blackout a causa del rischio di ritorno di fiamma.

## 14.4 Selezione e dimensionamento della rimozione delle ceneri

La logistica delle ceneri per l'impianto di riscaldamento deve essere definita in dettaglio già nella fase di pianificazione, con l'obiettivo di una rimozione delle ceneri a bassa manutenzione, semplice, conforme e senza polvere.

Le seguenti frazioni di cenere sono prodotte durante il processo di combustione (Figura 9.1):

- Cenere grossolana (cenere di griglia, cenere di caldaia, cenere di letto)
- Ceneri volanti del ciclone (ceneri del ciclone, ceneri volanti, ceneri volanti della caldaia)
- Cenere volante fine (cenere da filtro).

#### Deposito di cenere nell'impianto di riscaldamento

Lo stoccaggio intermedio della cenere prodotta per la rimozione della cenere può essere fatto, per esempio, per mezzo di contenitori o bunker di cenere:

- I contenitori per la cenere delle dimensioni di 240 l, 400 l, 600 l, 800 l, 1.000 l sono disposti, per esempio, come una "stazione di contenitori per la cenere".
- Un bunker di cenere secca integrato nella struttura dell'impianto di riscaldamento (non è possibile lo stoccaggio intermedio di grandi parti di scorie, la rimozione delle ceneri con un veicolo di trasporto con sistema di estrazione delle ceneri integrato).

Altre opzioni per lo stoccaggio delle ceneri sono:

- Cassonetti o contenitori speciali "Roll on-Roll off" nella centrale termica o all'aperto
- Big Bags (FIBC - Flexible Intermediate Bulk Container)

#### Sistemi di trasporto per la rimozione della cenere

La cenere grossolana viene trasportata al contenitore delle ceneri o al bunker tramite sistemi meccanici di scarico delle ceneri con trasportatori a coclea con una pendenza massima di 45° senza che la cenere rifluisca nel canale della coclea, trasportatori ad aste di spinta, trasportatori a catena raschiante, trasportatori a catena a canalina, trasportatori a secchiello o rimozione delle ceneri umide con trasportatori a catena raschiante.

Il trasporto delle ceneri volanti del ciclone e delle ceneri volanti fini al bidone delle ceneri o al bunker delle ceneri può essere fatto con un trasportatore a coclea con una pendenza massima di 45° o con un sistema pneumatico di aspirazione delle ceneri, per cui va notato che i sistemi di trasporto meccanico di rimozione delle ceneri hanno i seguenti vantaggi rispetto a quelli pneumatici:

- Meno suscettibilità ai guasti (parti estranee, parti di scoria, particelle di ambra)
- Minore fabbisogno di energia ausiliaria
- Minori emissioni di rumore
- Nessuna usura delle curve dei tubi.

Nel caso di ceneri ricche di scorie o di ceneri con un alto contenuto estraneo di pietre, sabbia, ecc. i trasportatori a coclea sono soggetti a un'usura elevata. Per lunghe distanze di trasporto, si dovrebbero usare trasportatori ad asta di spinta, catene a raschietto, catene a canale o a tazze.

Il percorso di trasporto del sistema di scarico delle ceneri al contenitore delle ceneri, al bunker delle ceneri o dall'impianto di riscaldamento al cassone o ai contenitori "roll on/roll off" deve essere a tenuta di polvere e robusto

con una disposizione più breve e semplice possibile (lineare).

Il facile accesso attraverso le aperture di manutenzione semplifica l'individuazione dei guasti e i lavori di manutenzione.

Nel caso di sistemi di scarico delle ceneri che portano a un cassone o a un contenitore "roll on/roll off" nell'area esterna, l'inquinamento acustico deve essere ridotto al livello richiesto.

I sistemi di trasporto pneumatico per la rimozione delle ceneri possono essere utilizzati nel caso di lunghe distanze o di complicate disposizioni del percorso di trasporto. Va notato che i sistemi pneumatici possono essere utilizzati solo con ceneri senza scorie e senza sostanze estranee, per esempio con precipitatori elettrostatici o filtri a tessuto.

#### Rimozione della cenere

Sulla base della logistica di smaltimento specificata (vedi capitolo 9), si deve decidere se le varie frazioni di cenere devono essere temporaneamente immagazzinate separatamente. In questo contesto, anche il futuro riciclaggio di alcune frazioni di cenere deve essere preso in considerazione prevedendo una successiva separazione.

Per i grandi impianti > 2 MW di potenza della caldaia a biomassa, l'accumulo di cenere dovrebbe essere automaticamente convogliato in cassoni o contenitori "roll on/roll off" per camion. Il contenitore delle ceneri dovrebbe essere caricato sul veicolo di trasporto in modo semplice. Un dispositivo di cambio semplice (ad es. cassonetti che possono essere spostati su rotaie) per il contenitore di cenere di ricambio disponibile consente una facile rimozione della cenere (vedi Figura 14.7

Dispositivo di cambio del trogolo delle ceneri (fonte: AEE).



Figura 14.7 Dispositivo di cambio del trogolo delle ceneri (fonte: AEE INTEC).

Nel caso di sistemi di caldaie a biomassa di medie dimensioni < 2 MW di potenza totale, dovrebbe essere possibile spostare i contenitori di cenere direttamente fuori dall'impianto di riscaldamento all'aria aperta in modo da evitare costose attrezzature ausiliarie come sollevatori idraulici di contenitori di cenere, piattaforme di sollevamento, dispositivi di sollevamento o attrezzature di trasporto pneumatico.

Quando si progetta il sistema di smaltimento delle ceneri, è importante prendere in considerazione la facilità di caricamento del contenitore delle ceneri su un veicolo di trasporto e la generazione di polvere quando si svuota il contenitore delle ceneri in un veicolo di raccolta dei rifiuti. Per evitare la formazione di polvere, un sacchetto a prova di strappo e sigillabile può essere messo nel contenitore vuoto e sigillato prima dello svuotamento. La cenere priva di ceneri può essere riempita in sacchi a perdere (FIBC), trasportata e depositata.

Per gli impianti di medie dimensioni, la rimozione delle ceneri utilizzando un veicolo di trasporto con un sistema di estrazione delle ceneri montato sta diventando più comune (Figura 14.8). Questo permette una semplice gestione delle ceneri nell'impianto di riscaldamento. Il tubo per il trasporto delle ceneri dall'impianto di riscaldamento verso l'esterno (tubo di collegamento del veicolo di trasporto) è solitamente progettato come installazione fissa (osservare il collegamento euquipotenziale).



Figura 14.8 Veicolo di trasporto con sistema di estrazione delle ceneri montato (fonte: Holzenergie Schweiz).

## 15 Esecuzione e accettazione del sistema della caldaia a biomassa

### 15.1 Requisiti generali e definizione dei termini più importanti

L'esecuzione e l'accettazione della distribuzione del calore sono descritte nel Manuale sulla pianificazione delle reti di teleriscaldamento [17]. Di seguito, verranno discusse l'esecuzione e il collaudo dell'impianto della caldaia a biomassa. Devono essere rispettate le normative vigenti degli stati federali, che possono portare a deviazioni dai requisiti e dalle procedure elencate di seguito a titolo di esempio, così come gli accordi contrattuali specifici del progetto.

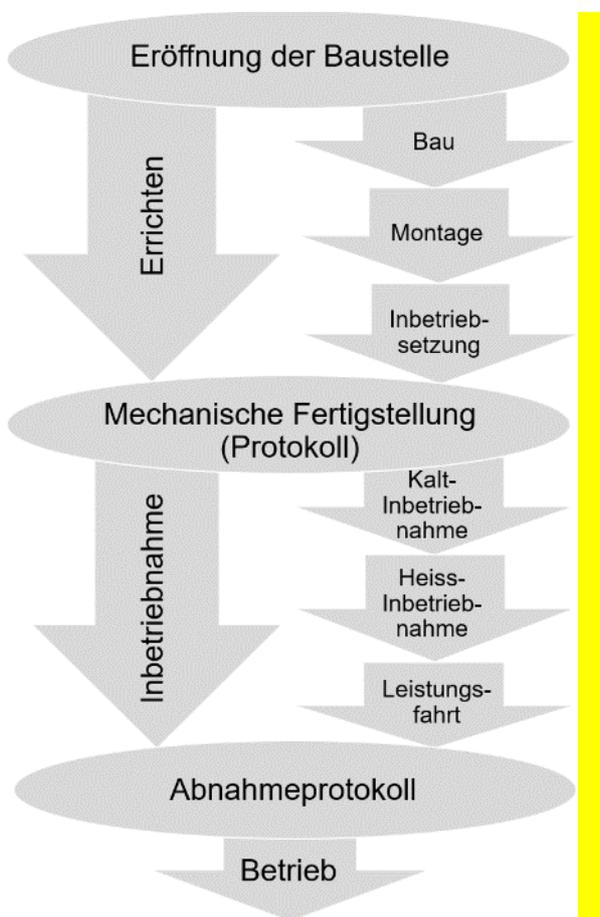


Figura 15.1 Costruzione, messa in funzione e funzionamento di un impianto [126].

La Figura 15.1 mostra le solite fasi del progetto: Erezione, messa in funzione e funzionamento. Con l'apertura del cantiere, inizia l'**erezione dell'impianto**, cioè la costruzione e il montaggio. Successivamente vengono eseguiti i test di sicurezza e di funzionamento, che possono essere associati alla messa in funzione dell'infrastruttura e degli impianti ausiliari e che vengono chiamati anche nel loro complesso "commissioning". La registrazione del

cosiddetto completamento meccanico segna la fine dei preparativi per la messa in funzione; ora è il momento della **messa in funzione** vera e propria. Con la messa in funzione a freddo, la prontezza operativa è stabilita a tal punto che l'impianto può essere avviato. Durante la successiva messa in funzione a caldo, l'impianto funziona per la prima volta in condizioni operative. Lo scopo del successivo funzionamento di prova è quello di regolare l'impianto in modo che raggiunga i parametri concordati e dimostri di essere utilizzabile per il funzionamento continuo. La prova delle prestazioni con le misurazioni di accettazione deve essere fornita dal funzionamento di prova, che viene anche chiamato test di accettazione. Il test di rendimento termina con la firma del **rapporto di accettazione** da parte dei partner contrattuali. A questo punto l'impianto entra nel funzionamento commerciale (funzionamento continuo) [126].

Con la messa in servizio, ogni azienda mette in funzione la sua sezione di impianto in conformità al contratto di servizio. La messa in funzione dei singoli componenti dell'impianto avviene secondo le disposizioni generali vigenti. Se più sezioni di impianto devono essere messe in funzione insieme, la direzione del cantiere (site management), in accordo con i singoli appaltatori, coordina i tempi della messa in funzione individuale con un programma. La messa in funzione dei singoli componenti dell'impianto è di competenza della rispettiva azienda.

Ogni parte dell'installazione viene accettata individualmente secondo il contratto di servizio. La supervisione della costruzione è responsabile dell'esecuzione del collaudo. Se l'accettazione ha successo, la parte dell'installazione costruita dall'azienda viene consegnata al cliente.

La consegna dell'intera struttura al proprietario dell'edificio è stata completata,

- se tutti i componenti dell'impianto sono stati accettati in conformità al contratto di servizio e se è stata effettuata la successiva rettifica dei guasti, e
- quando la direzione dei lavori ha consegnato al proprietario dell'edificio la documentazione completa dell'intero sistema.

### 15.2 Supervisione della costruzione

La supervisione della costruzione, chiamata anche gestione del cantiere o gestione tecnica del cantiere, deve essere effettuata da una persona esperta e competente. Questa è la responsabilità del proprietario dell'edificio e deve quindi essere organizzata dal proprietario dell'edificio. Di solito, la supervisione della costruzione è affidata dal proprietario dell'edificio al progettista. Serve in particolare a controllare l'esecuzione puntuale e professionale dei componenti dell'impianto da parte dei singoli fornitori e il coordinamento della costruzione a livello superiore. Si raccomanda di concordare con precisione quali misure di garanzia della qualità devono essere eseguite dai fornitori di componenti e quali dal supervisore della costruzione.

La direzione dei lavori deve tenere delle riunioni di costruzione a intervalli di una settimana al massimo, alle quali devono partecipare tutti i fornitori di impianti. In queste riunioni devono essere discussi lo stato attuale del progetto, le interfacce tra i singoli fornitori di impianti, il calendario e qualsiasi altra questione. I verbali di tutte le riunioni devono essere scritti e inviati a tutti i partecipanti.

La supervisione della costruzione deve richiedere in tempo utile ai fornitori di impianti i dati essenziali da inoltrare agli altri fornitori di impianti per la loro esecuzione.

I compiti della supervisione della costruzione includono l'assicurazione che il lavoro di installazione dei fornitori di impianti sia eseguito in conformità con i contratti di servizio. Questo vale in particolare per la completezza, l'installazione e l'esecuzione professionale, la sicurezza del lavoro e la pulizia. La qualità dell'installazione, la documentazione in corso e le misure di garanzia della qualità dei fornitori di componenti devono essere controllate regolarmente a campione e documentate (ad esempio i cordoni di saldatura, la tenuta, il cablaggio, il senso di rotazione, l'installazione secondo i piani e i diagrammi di flusso).

La supervisione della costruzione dovrebbe informare regolarmente il cliente sullo stato attuale del progetto.

### 15.3 Punti critici durante la fase di costruzione

Di seguito, alcuni punti critici durante la fase di costruzione sono trattati come esempi.

#### Installazione degli inserti del silo

I profili di ancoraggio e le guide per lo scarico del silo devono essere installati in una fase iniziale della costruzione. Di norma, l'ingegnere strutturale elabora i piani delle casseforme e delle armature necessarie per la costruzione del silo, integrando gli elementi strutturali del sistema di scarico. Il progettista coordina la consegna delle imprese di costruzione e dei fornitori di attrezzature e controlla i piani del silo dell'ingegnere strutturale.

Gli inserti dello scarico del silo sono installati dal fornitore dell'impianto che coordina il tempo di installazione con l'impresa di costruzione. Soprattutto in questa impegnativa fase di esecuzione, il progettista deve assicurare la corretta interazione tra l'impresa di costruzione e il fornitore dell'impianto in loco.

#### Determinazione della posa di tubi e cavi

Le posizioni esatte delle penetrazioni delle tubazioni per il teleriscaldamento, i dati, l'acqua, le fognature, il telefono, l'elettricità ed eventualmente il petrolio e il gas dovrebbero essere rese note dal progettista all'appaltatore dell'edificio durante i lavori di fondazione, in modo che le tubazioni e i cavi non siano posizionati in luoghi sfavorevoli in seguito. Il prerequisito è che la pianificazione di queste linee nel locale caldaia abbia già avuto luogo a questo punto.

#### Considerazione delle cinghie di messa a terra per il collegamento equipotenziale e la conduzione dei fulmini

Anche l'installazione delle fasce di messa a terra, il loro scarico nel terreno e le possibilità di collegamento per il collegamento equipotenziale delle macchine e dei parafulmini devono essere eseguiti in coordinamento con l'impresa di costruzione già nella fase di fondazione. Spesso accade che a questo punto non sia ancora stato stipulato un contratto definitivo con un'azienda elettrica e l'impresa di costruzioni deve quindi eseguire questi lavori o commissionarli a un'azienda elettrica. In linea di principio, è consigliabile che questi lavori siano già inclusi nell'offerta per le attività di costruzione.

#### Installazione di componenti di grandi impianti

L'installazione di grandi componenti del sistema deve essere pianificata insieme al progresso della costruzione dell'edificio. Nel processo, le aperture appropriate devono essere tenute libere per l'installazione dei componenti. Opzioni di installazione inadeguate per i componenti del sistema potrebbero portare allo smantellamento parziale di porte, portoni, tetti o pareti (tagli delle pareti) che potrebbero causare ritardi e costi imprevisti per il proprietario dell'edificio.

#### Fissazione dei supporti di montaggio

Spesso, per il montaggio di componenti pesanti dell'impianto, i fornitori utilizzano ausili di montaggio temporanei e attrezzature di sollevamento, ad esempio paranchi di carico che vengono fissati al soffitto. Tali attrezzature devono essere pianificate di conseguenza, poiché possono avere un impatto sulla statica dell'edificio e devono essere prese in considerazione nel dimensionamento.

In questo contesto, si dovrebbe considerare se gli ausili di montaggio e le attrezzature di sollevamento possono essere installati in modo permanente in modo da essere disponibili anche per i successivi lavori di manutenzione e assistenza.

### 15.4 Messa in funzione e avvio

#### 15.4.1 Preparativi per la messa in servizio, messa in servizio a freddo

Per la messa in funzione, i seguenti preparativi devono essere fatti dopo che l'installazione del nuovo sistema è stata completata [126]:

- Pulizia di base,
- Test di sicurezza e di funzionamento, test di tenuta,
- Messa in funzione di strutture e infrastrutture ausiliarie.

Il controllo funzionale dei singoli componenti dell'impianto viene solitamente eseguito dal produttore della caldaia, compresi tutti gli azionamenti elettrici e la tecnologia I&C. Dopo aver documentato il completamento meccanico, il passo successivo è la messa in funzione a freddo, che rende il sistema pronto per il funzionamento.

Un protocollo indica che il sistema è pronto per il funzionamento.

In pratica, durante queste fasi preparatorie sorgono diversi aspetti chiave per i sistemi di caldaie a biomassa:

- La prima accensione del sistema della caldaia a biomassa richiede un combustibile secco in modo che il rivestimento della camera di combustione possa essere completamente asciugato. I requisiti del combustibile in termini di quantità e qualità devono essere concordati con il fornitore del sistema.
- Il silo di combustibile dovrebbe essere inizialmente riempito al massimo per un terzo. Se si verificano problemi con il sistema di scarico, non è necessario svuotare l'intero contenuto del silo attraverso l'apertura di riempimento.
- Per prevenire la formazione di ponti, lasciare al calcestruzzo del silo il tempo sufficiente per asciugarsi prima del primo riempimento. Una fase di asciugatura di due settimane è considerata il minimo. Prima del riempimento, la funzione e il design del sistema di scarico così come la qualità della superficie del pavimento del silo devono essere controllati dal fornitore dell'impianto. Il fornitore dà poi alla direzione del sito il via libera per il primo riempimento. Prima del riempimento, l'interno del silo deve essere pulito.
- Affinché il sistema del generatore di calore possa essere messo in funzione, bisogna assicurarsi che ci sia un'estrazione di calore sufficiente.
- È compito della direzione del sito, in consultazione con i fornitori di impianti, coordinare la presenza delle singole aziende.

#### Preparazione della lista di controllo per la messa in servizio

- Sistema di riscaldamento e vaso di espansione riempiti (potenza termica pronta per il funzionamento)?
- Le tubature sono state fatte correttamente?
- La pompa della caldaia funziona?
- I ventilatori dell'aria di combustione e dei gas di scarico funzionano?
- La protezione della temperatura di ritorno della caldaia funziona?
- Il posizionamento del sensore è corretto?
- Termostato di sicurezza impostato correttamente?
- Valvola di sicurezza montata?
- Il dispositivo di sicurezza a scarica termica funziona?
- Collegamenti dei tubi, prevenzione del ritorno di fiamma installati e pronti per il funzionamento?
- I collegamenti elettrici, compresa la catena di sicurezza, sono stati controllati per il corretto funzionamento?
- Pulizia dei fumi, camino e collegamento alla canna fumaria OK?
- I sistemi di trasporto (combustibile, cenere) sono stati controllati per il funzionamento?

- I&C, interfacce, comunicazione, visualizzazione e, se del caso, registrazione dei dati funzionali?

### 15.4.2 Messa in funzione a caldo dell'impianto

Il presupposto per la messa in funzione a caldo dell'impianto della caldaia, detta anche messa in funzione a caldo, è il controllo funzionale completato e la messa in funzione delle parti dell'impianto che non sono comprese nella fornitura del fornitore dell'impianto, ma che sono necessarie per il funzionamento dell'impianto della caldaia. La messa in funzione a caldo dell'impianto avviene quando l'impianto della caldaia a biomassa viene acceso per la prima volta (start-up), per cui l'interazione simultanea di tutte le parti dell'impianto deve avvenire tramite il controllo automatico dell'impianto. In primo luogo, il rivestimento della camera di combustione viene asciugato secondo le specifiche del produttore. Poi la capacità di combustione viene aumentata a tappe. Durante questa fase, la supervisione della costruzione, il personale specializzato per la messa in funzione e il personale specializzato per tutti i componenti rilevanti dell'impianto (produttore della caldaia, costruttore del sistema, idraulico, elettricista, ingegnere di controllo), nonché il futuro personale operativo dovrebbero essere presenti o disponibili con breve preavviso. Per questa fase si dovrebbe prevedere un tempo sufficiente. A seconda delle dimensioni del sistema, si dovrebbe pianificare da un giorno intero a diversi giorni. La messa in funzione a caldo è spesso chiamata operazione di prova [126].

Nella tecnologia delle centrali elettriche e di riscaldamento, il funzionamento di prova può anche essere inteso come una fase operativa separata tra la messa in funzione a caldo e il funzionamento continuo [126]. Nel caso di sistemi di caldaie a legna, può iniziare non appena

- l'unità può essere fatta funzionare in modalità automatica e soddisfa tutti i test di sicurezza (ad esempio, limitatore di temperatura di sicurezza, dispositivo di sicurezza di scarico termico);
- il sistema della caldaia è stato regolato per il funzionamento di prova e, se necessario, è stato testato il funzionamento con diverse miscele di combustibile;
- il briefing iniziale del personale operativo con il manuale operativo ha avuto luogo.

Durante l'operazione di prova, che può durare da pochi a diversi giorni a seconda delle dimensioni e della complessità del sistema, tra le altre cose,

- il sistema è regolato in modo ottimale,
- le carenze significative devono essere corrette,
- deve essere dimostrato un funzionamento ininterrotto e senza problemi del sistema sotto la supervisione e la responsabilità del fornitore del sistema.

Inoltre, durante il funzionamento di prova, i dati di funzionamento dovrebbero già essere registrati e valutati in modo che le irregolarità nel funzionamento del sistema possano essere individuate e risolte in tempo utile prima dell'accettazione.

I valori delle emissioni e delle prestazioni devono essere documentati in un rapporto di misurazione e consegnati al proprietario dell'edificio.

Se si verificano guasti che costringono a spegnere l'impianto e che durano più a lungo di quanto concordato nel contratto di assistenza, il funzionamento di prova deve ricominciare dall'inizio dopo che il guasto è stato eliminato. Il funzionamento di prova deve ricominciare anche se la durata totale di tutti i singoli guasti supera un periodo concordato nel contratto di servizio.

Il fornitore dell'impianto è responsabile della messa in funzione dell'impianto della caldaia a biomassa e del funzionamento di prova, poiché l'impianto non è ancora stato consegnato al proprietario dell'edificio. Un prerequisito per un avvio senza problemi del funzionamento del riscaldamento è la nomina del personale operativo responsabile, che viene istruito di conseguenza. Durante la messa in funzione dell'impianto, il personale operativo ha la possibilità di familiarizzare con l'impianto della caldaia a biomassa ed è importante che sia supportato dal fornitore dell'impianto e dalla direzione del sito. Ciò include l'istruzione preliminare del personale operativo da parte del fornitore dell'impianto. L'istruzione preliminare dovrebbe essere basata sul manuale operativo.

#### Portata di un manuale operativo

Funzionamento del sistema della caldaia a biomassa:

- Controlli prima della messa in funzione e dell'avviamento
- Posizioni degli interruttori ed effetti
- Modalità di funzionamento

Cosa fare in caso di malfunzionamenti:

- Concetto di guasto e di allarme
- Cosa fare in caso di malfunzionamenti e lista dei messaggi di errore
- Tabella per documentare i messaggi di errore

Piano di manutenzione:

- Intervalli di pulizia e rimozione della cenere
- Definire il lavoro di revisione da parte di terzi

Sicurezza:

- Attrezzatura di sicurezza
- Norme di sicurezza
- Evitare incidenti con i gas di fermentazione
- Evitare gli incidenti sulle attrezzature di trasporto

Documentazione:

- Disposizione dell'impianto
- Piani elettrici
- Elenco completo delle attrezzature operative in testo semplice

Nella maggior parte dei casi, il manuale operativo non è ancora disponibile nella sua versione definitiva durante

l'operazione di prova (schema di revisione mancante, piano di manutenzione ancora in bozza, ecc.) Tuttavia, è sufficiente consultare questa bozza. La corretta gestione delle funzioni di commutazione, l'osservanza delle norme di sicurezza e le istruzioni in caso di malfunzionamenti devono essere chiare. Durante la messa in funzione dell'impianto, la direzione del cantiere deve assicurarsi che il personale operativo venga istruito completamente dal fornitore dell'impianto per il successivo funzionamento di prova. L'istruzione iniziale del personale operativo deve essere registrata in un protocollo che deve essere firmato dalla direzione del sito, dal fornitore dell'impianto e dal personale operativo.

## 15.5 Accettazione

L'operazione di prova è stata completata con successo e l'azienda vorrebbe ora consegnare il sistema al cliente. Questa consegna da parte dell'azienda o accettazione da parte del cliente permette di verificare il rispetto delle specifiche e delle norme tecniche.

Una base per il passaggio di consegne è il test delle prestazioni, chiamato anche test di accettazione. Lo scopo del test di rendimento è di fornire una prova legalmente vincolante del rendimento dell'impianto, che deve essere fornito durante un periodo operativo definito come parte della messa in servizio. Il programma per questo è concordato contrattualmente [126].

Il test delle prestazioni inizia quando il fornitore dell'impianto ha stabilizzato e ottimizzato il funzionamento dell'impianto e del sistema di controllo a tal punto che esso può essere fondamentalmente rilasciato per un funzionamento continuo senza problemi. Il fornitore dell'impianto è responsabile della verifica delle prestazioni dell'impianto della caldaia a biomassa, poiché l'impianto non è ancora stato consegnato al proprietario. Se la verifica ha successo, spesso seguono le trattative di accettazione, che si concludono con la firma del protocollo di accettazione. L'impianto è quindi nel funzionamento commerciale previsto (funzionamento continuo) [126].

#### Regolamenti specifici del paese

Per quanto riguarda il collaudo e la sua documentazione, devono essere osservate le leggi, le norme e i regolamenti specifici del paese e gli accordi contrattuali specifici del progetto. A questo proposito, si dovrebbe anche fare riferimento alle norme pertinenti per i contratti di lavoro e di servizi, in cui i temi del collaudo e della consegna sono regolati per mestieri specifici. Ci possono essere deviazioni dai requisiti e dalle procedure esemplari menzionati di seguito, comprese scadenze speciali.

#### Responsabilità, parti partecipanti, procedura

La messa in funzione a freddo e a caldo del sistema di caldaie a biomassa è responsabilità del fornitore del sistema e deve essere completata al momento dell'accettazione. Tuttavia, il collaudo congiunto è condotto dalla direzione dei lavori. All'accettazione devono partecipare i seguenti soggetti:

- la supervisione della costruzione,

- il fornitore di attrezzature e
- il proprietario dell'edificio.

Durante l'accettazione, la portata della consegna e delle prestazioni del fornitore dell'impianto viene controllata sulla base del contratto di servizio.

Al momento dell'accettazione, il fornitore dell'impianto deve

- presentare la documentazione di sistema completamente aggiornata, comprese le istruzioni operative, gli schemi elettrici rivisti, i piani di implementazione rivisti, le registrazioni dei test e la dichiarazione di conformità (vedi Linee guida Q, E.5) e
- istruire il personale operativo del sistema della caldaia a biomassa in dettaglio su come far funzionare e mantenere il sistema.

### **Istruzione del personale operativo dell'impianto e documenti operativi scritti**

L'istruzione del personale operativo è particolarmente importante per i sistemi di caldaie a biomassa. Un'alta efficienza e basse emissioni inquinanti possono essere raggiunte solo da impianti che vengono gestiti e controllati con attenzione e professionalità. Se, ad esempio, viene utilizzato un combustibile diverso da quello utilizzato durante la regolazione, il personale operativo deve sapere che l'impostazione dell'impianto non è più ottimale e deve essere regolata nuovamente.

Un buon manuale operativo, che contiene anche istruzioni su cosa fare in caso di malfunzionamenti e su come impostare i setpoint di controllo, è essenziale per una manutenzione ottimale del sistema.

I documenti operativi finali devono essere consegnati al più tardi al momento dell'accettazione. Tutte le modifiche apportate alla configurazione operativa durante il funzionamento di prova devono essere documentate e aggiornate. Spesso i documenti di revisione e di funzionamento vengono presentati solo dopo il collaudo. Tuttavia, la responsabilità viene trasferita al proprietario dell'edificio con l'accettazione finale riuscita. Questo può portare a problemi legali se il proprietario può dimostrare che non era sufficientemente preparato per il compito, cosa che può accadere in assenza di chiare istruzioni operative.

Con i sistemi automatici di caldaie a biomassa, la catena di sicurezza è più estesa rispetto ai sistemi di riscaldamento convenzionali. Nelle istruzioni per l'uso si deve prestare particolare attenzione alla prevenzione degli incidenti, per esempio nella stanza del silo o sulle attrezzature di scarico.

### **Protocollo di accettazione**

L'ispezione congiunta e l'accettazione sono accompagnate dalla stesura di un protocollo firmato da tutte le parti, che serve come prova per tutte le parti coinvolte. Il protocollo registra tutti gli elementi del contratto di servizio e il loro adempimento.

Di seguito, sono elencati solo i punti che richiedono un'attenzione speciale per un sistema di riscaldamento automatico a biomassa:

- Controlli sulla portata della consegna (tipo, controllo delle prestazioni, dimensioni, completezza)
- Controllo dell'esecuzione (fissaggi, isolamento, qualità del materiale, precisione dimensionale)
- Controlli di sicurezza (dispositivi di sicurezza, prevenzione del ritorno di fiamma, prevenzione degli incidenti)
- Verifica delle funzioni di controllo (limite di consegna)
- Verifica delle emissioni e delle prestazioni
- Rapporto sul collaudo e sul funzionamento di prova

L'ispezione congiunta spesso rivela piccole carenze e lavori che non sono stati completamente completati. Può portare a tre diverse decisioni:

1. L'installazione può essere accettata
2. L'installazione può essere accettata con riserve (difetti minori).
3. L'installazione non può essere accettata (difetti gravi).

L'accettazione può essere rifiutata se si trovano difetti importanti. Il cliente o il supervisore della costruzione devono concedere al fornitore dell'impianto un periodo di tempo accettabile per la loro rettifica. Successivamente, è necessaria una seconda accettazione. Gli elementi elencati nel primo protocollo come conformi al contratto non vengono più controllati nella seconda accettazione.

La distinzione tra difetti minori e maggiori è determinata dalla pratica. In linea di principio, un difetto è considerato importante se ci sono ragioni per il cliente di farlo eliminare il più presto possibile. Questo include difetti che impediscono il funzionamento o la messa in funzione di un sistema, che possono portare a danni o che mettono in pericolo la vita o la salute delle persone, la proprietà del cliente o di terzi. I difetti estetici non sono significativi. In generale, l'effetto di un difetto sull'installazione complessiva deve essere preso in considerazione nella sua valutazione.

Se alcuni valori di emissione e di garanzia di prestazione non possono essere verificati durante l'ispezione congiunta, questi devono essere esplicitamente registrati come riserve di prestazione nel protocollo di ispezione.

### **Consegna dell'impianto al cliente**

Con l'accettazione positiva, l'impianto costruito dal fornitore dell'impianto viene consegnato al cliente. Al momento della consegna dell'impianto al cliente, il cliente deve assumere i seguenti obblighi:

- Consegna della supervisione: Dal momento della consegna, è responsabilità del cliente prendere tutte le misure per proteggere la vita e la salute delle persone, le loro cose e la proprietà di terzi. Questi obblighi devono essere rispettati dal fornitore dell'impianto fino alla consegna.
- Trasferimento dei rischi: Il fornitore dell'impianto non si assume più alcun rischio per gli incidenti che comportano il danneggiamento o la perdita dell'impianto
- I periodi di garanzia e di limitazione iniziano.
- Il fornitore dell'impianto deve presentare il rapporto finale entro un periodo di tempo definito.

Il rischio viene trasferito al cliente solo dopo l'accettazione senza difetti. Dal momento dell'accettazione, inizia il periodo di garanzia per l'intera prestazione. Solo per le parti autonome della prestazione il trasferimento del rischio inizia con l'accettazione parziale.

**Compiti del progettista durante la consegna al cliente**

I seguenti compiti devono essere completati dal pianificatore quando consegna l'intera struttura al cliente:

- La documentazione del sistema secondo le linee guida Q-Guidelines D.5 viene consegnata completamente al proprietario dell'edificio.
- Il concetto di ottimizzazione operativa secondo le linee guida Q-Guidelines D.6 è presentato al proprietario dell'edificio.

## **Parte 4 - Funzionamento e gestione**

## 16 Ottimizzazione operativa dopo la messa in funzione

### 16.1 Ragioni e obiettivi

Dopo che la messa in funzione e il collaudo sono stati completati con successo (vedi capitolo 15), l'impianto, sia quello di nuova costruzione che un ampliamento del sistema, entra in funzione regolarmente e diventa responsabilità del proprietario. L'esperienza dimostra che nella maggior parte dei casi non è ancora possibile ottenere un funzionamento ottimale dell'impianto con complessi impianti di teleriscaldamento a biomassa e reti di riscaldamento, anche se gli impianti sono stati pianificati e costruiti correttamente e la messa in funzione con funzionamento di prova è stata effettuata in modo professionale.

Le ragioni di questo includono:

- Il discostamento della reale domanda di calore da quella di pianificazione dovuto all'intervallo di incertezza nel calcolo della domanda di calore
- La messa in funzione e il funzionamento di prova non possono rappresentare tutte le condizioni di carico e le condizioni operative che si verificano durante un intero anno di funzionamento
- Mancanza di esperienza operativa riguardo al comportamento e alla dinamica di controllo dell'impianto
- Cambiamento degli assortimenti di combustibile e fluttuazioni di qualità (per esempio il contenuto d'acqua)

Inoltre, spesso sono necessari diversi anni per raggiungere il livello di espansione finale della rete di riscaldamento, che era la base per la pianificazione e il dimensionamento della produzione di calore. Se il grado di espansione al momento dell'ottimizzazione operativa differisce notevolmente dall'espansione finale, questa dovrebbe essere effettuata per analogia e per quanto possibile secondo la procedura qui descritta. A causa dello sviluppo dinamico di una rete di riscaldamento nel corso di molti anni, è ancora più importante stabilire un monitoraggio continuo del sistema e un'ottimizzazione continua e ripetere periodicamente il monitoraggio dettagliato del sistema in base allo stato di espansione.

Se ci sono condizioni di funzionamento relativamente costanti durante l'anno per quanto riguarda l'andamento del carico, la qualità del combustibile e altri fattori, l'ottimizzazione del funzionamento può essere abbreviata ed effettuata durante la messa in funzione e il funzionamento di prova. Tuttavia, ci si dovrebbe assicurare che i successivi requisiti di ottimizzazione operativa possano essere coperti. Questo potrebbe essere il caso, per esempio, di un impianto di riscaldamento a biomassa per la fornitura di calore di processo e una quota di carico subordinata dipendente dalle condizioni atmosferiche.

Nel corso della messa in funzione e del funzionamento di prova, viene effettuata un'impostazione di base del sistema e del controllo che consente un funzionamento stabile e automatico. Tuttavia, il sistema di controllo in

particolare deve essere ulteriormente ottimizzato sulla base delle prime esperienze di funzionamento. L'obiettivo di questa (prima) ottimizzazione del funzionamento è quello di ottenere un funzionamento conforme alla pianificazione secondo la descrizione funzionale con la massima efficienza, basse emissioni e parametri operativi stabili come le temperature di flusso. Questo include anche il modo di funzionamento più delicato possibile per ottenere la durata di vita più lunga possibile (periodo di funzionamento tra le pulizie) e per evitare malfunzionamenti, per esempio, a causa della formazione di scorie, il superamento o l'abbassamento dei limiti di funzionamento consentiti, ecc. L'ottimizzazione completa del funzionamento porta a bassi costi operativi, un basso impatto ambientale e una lunga durata dell'impianto.

L'ottimizzazione operativa richiede una valutazione e una revisione sistematica del funzionamento attuale dell'impianto sulla base di dati di misurazione completi e affidabili, nonché un confronto dei dati operativi e delle cifre chiave con le specifiche della descrizione funzionale, al fine di rispondere alle seguenti domande:

- Il sistema funziona come previsto in tutti gli stati operativi?
- I parametri di controllo devono ancora essere regolati?
- Dove ci sono ancora carenze o domande aperte?
- Quando e come si può rimediare alle carenze esistenti?
- I valori di garanzia, che possono essere valutati solo in un funzionamento a lungo termine, sono rispettati (consumo di energia, periodo di funzionamento tra le pulizie, ecc.)

#### Ottimizzazione operativa con QM per impianti DI TELERISCALDAMENTO a biomassa

Oltre a una pianificazione professionale e coscienziosa, l'ottimizzazione operativa continua è un'importante pietra miliare per un funzionamento di successo a lungo termine dell'impianto. Poiché in passato questo aspetto è stato spesso trascurato, l'ottimizzazione operativa è obbligatoria nel quadro del QM per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa (vedi capitolo 2).

I requisiti, le responsabilità e le procedure spiegate nei capitoli da 16.2a a 16.4 corrispondono essenzialmente alle specifiche delle linee guida Q [15]. QM per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa offre i seguenti documenti e strumenti:

- Descrizioni funzionali per schemi idraulici standard [60]e [68]
- Elenchi di punti di misura
- Descrizione della registrazione dei dati
- Valori obiettivo predefiniti
- Concetto di ottimizzazione operativa - vedere il documento supplementare 424 nelle linee guida Q [15]

- FAQ 8: Come deve essere fatta la valutazione e la presentazione dei dati nell'ottimizzazione operativa? ([Link](#))

L'ottimizzazione operativa qui presentata è da considerarsi come un requisito minimo e può anche essere effettuata in modo molto più dettagliato e/o estesa ad altri componenti dell'impianto, se necessario.

Con un'attenta gestione operativa, la raccolta dei dati, il monitoraggio e le misure di ottimizzazione che ne derivano dovrebbero essere continuamente documentate. Questo crea una base di dati e conoscenze che è di grande valore per la successiva espansione, ristrutturazione e modernizzazione dell'impianto (vedi capitolo 18).

## 16.2 Requisiti e responsabilità

A seconda delle dimensioni del sistema, l'ottimizzazione operativa di base viene effettuata nei primi uno o due anni dopo la messa in funzione del sistema. Nel caso dei sistemi di teleriscaldamento, almeno un anno intero di funzionamento o un periodo di riscaldamento completo dovrebbe essere utilizzato per questa ottimizzazione operativa.

Nel corso della pianificazione, deve essere creata una descrizione funzionale completa. Questa è, tra l'altro, la base per la pianificazione dettagliata e l'esecuzione, in particolare il collegamento e il controllo idraulico, ma anche un prerequisito fondamentale per un'ottimizzazione operativa di successo. I seguenti documenti sono necessari per l'ottimizzazione operativa:

- Schema idraulico completo e definitivo
- Descrizione dettagliata del funzionamento del sistema per tutti gli stati operativi pertinenti, compresa la descrizione del controllo
- Elenco completo dei punti di misura contenente la posizione e il campo di misura, la risoluzione temporale e la precisione di misura per ogni punto di misura
- Descrizione della registrazione automatica dei dati con la documentazione del principio di base, la struttura dei dati o dei file, nonché il luogo e la durata dell'archiviazione dei dati.
- Elenco di valori obiettivo concordati e garantiti per fornire la prova di un funzionamento ottimale
- Documentazione e schede tecniche dei principali componenti del sistema

Inoltre, devono essere definite chiare responsabilità per la preparazione e l'attuazione del lavoro di ottimizzazione e devono essere necessariamente incluse nell'assegnazione del pianificatore principale e, se applicabile, di altri agenti responsabili (ad esempio, società di produzione o di ingegneria di controllo). L'assegnazione della responsabilità principale per le attività richieste è raccomandata come segue, ma può anche essere scelta diversamente a seconda della situazione:

- Pianificazione e specificazione della registrazione dei dati da parte del pianificatore

- Controllo della registrazione automatica dei dati da parte del personale operativo
- Attuazione di registrazioni manuali supplementari da parte del personale operativo
- Lettura e fornitura dei dati misurati da parte del personale operativo dell'impianto e delle società di ingegneria di controllo o dei produttori
- Valutazione, calcolo dei valori obiettivo e valutazione dei dati da parte del progettista.

Le attività di ottimizzazione devono essere svolte in stretto coordinamento con il personale operativo dell'impianto e i produttori.

Le responsabilità e i requisiti relativi alla raccolta dei dati e all'implementazione dell'ottimizzazione operativa dovrebbero essere riassunti in un concetto di ottimizzazione operativa (vedi documento aggiuntivo 424 nelle linee guida Q [15]).

Affinché l'ottimizzazione operativa abbia successo insieme ai produttori, nei contratti di servizio devono essere previste delle garanzie finanziarie corrispondenti (sconti di responsabilità) per il periodo di garanzia. Altrimenti non si può garantire che tutti i produttori partecipino all'ottimizzazione operativa in modo mirato.

## 16.3 Elaborazione e valutazione dei dati

Un equipaggiamento completo di misurazione dell'impianto di riscaldamento e della rete di riscaldamento e una tecnologia di controllo adeguata alla trasmissione, la memorizzazione e la visualizzazione dei dati operativi misurati sono un aiuto importante per la gestione operativa continua e una base essenziale per l'esecuzione dell'ottimizzazione operativa.

Nel corso del monitoraggio, i dati operativi vengono elaborati e valutati. A questo scopo, i principali **valori annuali** per l'anno d'esercizio considerato e i valori obiettivo che ne derivano sono determinati secondo la Tabella 16.1. Questo fornisce una rapida panoramica del funzionamento dell'impianto e permette il confronto dei valori determinati con i valori di pianificazione.

Inoltre, sono necessari **dati operativi** dettagliati con un'alta risoluzione temporale (ad esempio valori di 5 minuti), che devono essere forniti con l'aiuto di un'appropriata attrezzatura dell'impianto di misurazione e dell'acquisizione dei dati (capitolo 5.10). Questi devono essere valutati per **stati operativi** e periodi di tempo selezionati. A questo scopo, i seguenti stati operativi sono definiti in accordo con il QM per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa:

- **Basso carico** vicino al limite di riscaldamento nel periodo di transizione o in estate
- **Carico principale** come intervallo di carico in cui avviene la maggior parte della produzione di calore. Per esempio, la temperatura esterna media giornaliera è nell'intervallo 0 - 10°C. Nei sistemi a più caldaie, il funzionamento in cascata conta come carico principale ma anche come carico elevato.

- **Carico elevato** con tempo molto freddo, per esempio quando la temperatura media esterna giornaliera è inferiore a 0°C. Anche il funzionamento a cascata in sistemi a più caldaie e il funzionamento a carico di punta con caldaie bivalenti contano come carico elevato.
- **Condizioni di carico e di funzionamento straordinarie**

La selezione degli stati di funzionamento deve essere adattata di conseguenza a seconda della configurazione del sistema o del circuito standard ([60]o [68]) e di altri fattori di influenza, per esempio se non c'è un funzionamento estivo.

Affinché questi dati dettagliati possano essere interpretati e valutati, una rappresentazione grafica dei dati è essenziale e deve soddisfare i seguenti requisiti:

- Visualizzazione di una storia settimanale rappresentativa per ciascuno degli stati operativi definiti
- Rappresentazione del corso giornaliero dei giorni selezionati
- Deve essere possibile presentare i dati più importanti insieme in una sola diapositiva.

- I diagrammi devono essere facili da leggere e avere etichette e legende degli assi in modo che i valori numerici possano essere facilmente letti.
- La creazione e la presentazione, per esempio di un file Excel, supportano l'analisi e l'interpretazione dei dati.

I requisiti dettagliati riguardanti i punti di misurazione da valutare e i criteri di valutazione sono specificati nella Tabella 16.2e nella Tabella 16.3riassunta. Queste contengono anche raccomandazioni su come i singoli parametri possono essere raggruppati in diagrammi di progresso giornaliero e settimanale significativi. Se necessario, la presentazione dei diagrammi può essere adattata alle rispettive domande da valutare.

Alcuni sistemi di controllo o di visualizzazione degli impianti offrono opzioni complete per la creazione e l'esportazione di diagrammi temporali specifici per l'utente, che possono poi essere utilizzati direttamente per la valutazione e l'ottimizzazione operativa.

Ulteriori dettagli ed esempi possono essere trovati nella FAQ 8 di QM Holzheizwerke ([Link](#)).

Tabella 16.1 Valori annuali richiesti e valori obiettivo che ne derivano.

	Parametro	Unità	Valutazione
Per tutte le caldaie a biomassa	Produzione annuale di calore	MWh/a	Numero di ore di funzionamento a pieno carico
	Potenza nominale della caldaia	kW	Valore guida Schema idraulico standard
	Ore totali di funzionamento	h/a	Numero di start-up per anno
	30 - 50 %	h/a	
	50 - 75 %	h/a	
	75 - 100 %	h/a	
	Stand-by	h/a	
	Accensione/avvio	h/a / n	
	Domanda di elettricità caldaia a biomassa	kWh/a	Domanda specifica di elettricità
Condensazione dei fumi	Produzione annuale di calore	MWh/a	Numero di ore di funzionamento a pieno carico
	Potenza termica nominale	kW	Quota di condensazione nella produzione annuale di calore delle caldaie a biomassa
	Ore totali di funzionamento	h/a	
	Domanda di elettricità condensazione dei fumi	MWh/a	Domanda specifica di elettricità
	Consumo d'acqua	l/a	Consumo specifico di acqua
Precipitazione della polvere (precipitatore elettrostatico/filtro in tessuto)	Ore totali di funzionamento	h/a	Disponibilità
	Ore di funzionamento del filtro attivo	h/a	
	Bypass delle ore di funzionamento	h/a	
	Disponibilità secondo la FAQ 38	h/a	
	Ore di funzionamento ON	h/a	
	Precipitazione ON delle ore di funzionamento relative	h/a	
Per tutte le caldaie bivalenti e altre fonti di calore	Produzione annuale di calore	MWh/a	Numero di ore di funzionamento a pieno carico
	Potenza termica nominale	kW	Quota della produzione annuale
	Ore totali di funzionamento	h/a	
	Domanda di elettricità caldaia bivalente/altro	MWh/a	Domanda specifica di elettricità
Rete di riscaldamento	Domanda annuale di calore dal centro di controllo	MWh/a	Perdite nella distribuzione del calore
	Consumatori con domanda annuale di calore	MWh/a	ΔT media annuale
	Quantità d'acqua	m³/a	Perdite stoccaggio/centrale

QM per impianti DH a biomassa - Manuale di pianificazione

	Pompe di rete a domanda di energia elettrica	MWh/a	Domanda specifica di elettricità
Uso di combustibile ed energia ausiliaria	Truciolini di legno, corteccia, truciolini, ecc.	kg/a (m <sup>3</sup> /a)	Efficienza annuale dell'impianto
	Pellet	m <sup>3</sup> /a	Caldaia a pellet a efficienza annuale
	Olio o gas		Caldaia bivalente a efficienza annuale
	Pompa di calore a domanda di energia elettrica		Pompa di calore COP annuale
	Domanda totale di elettricità del sistema		Domanda specifica di elettricità dell'intero impianto

Tabella 16.2 Diagrammi, punti di misurazione e criteri di valutazione - corso settimanale.

Diagramma	Parametro	Unità	Valutazione
Tendenze settimanali	Uscita caldaia a biomassa 1	kW	Selezione della rilevanza giornaliera
	Uscita caldaia a biomassa 2	kW	Numero di avviamenti al giorno/settimana
	Caldaia bivalente in uscita	kW	Accensione/spegnimento della caldaia bivalente
	Capacità termica della rete Attuale	kW	Interazione con altre fonti di calore
	Stato di carica del serbatoio di stoccaggio	%	
	Temperatura esterna	°C	

Tabella 16.3 Diagrammi, punti di misurazione e criteri di valutazione - ciclo diurno

Diagramma	Parametro	Unità	Valutazione
Panoramica	Temperatura esterna	°C	Stato operativo
	Stato di carica del serbatoio di stoccaggio Attuale	%	Controllo dello stato di carica del serbatoio di stoccaggio
	Stato di carica del serbatoio di stoccaggio Target	%	Accensione/spegnimento della caldaia bivalente
	Uscita caldaia a biomassa 1	kW	Interazione con altre fonti di calore
	Uscita caldaia a biomassa 2	kW	
	Caldaia bivalente in uscita	kW	
	Potenza termica di altre fonti di calore	kW	
Per ogni caldaia a biomassa	Temperatura di uscita della caldaia	°C	$\Delta T$ all'uscita di potenza nominale
	Temperatura di ingresso della caldaia	°C	
	Uscita caldaia a biomassa 1	kW	Potenza minima
	Uscita caldaia a biomassa 2	kW, %	La produzione di calore copre la domanda senza oscillazioni; potenza della caldaia al livello più basso possibile
	Contenuto di ossigeno residuo / Lambda	% / -	Efficienza di combustione
	Temperatura del gas di scarico	°C	Controllo della temperatura di uscita della caldaia
			Numero di avviamenti al giorno
			Conformità alla condizione di carico leggero
			Produzione giornaliera minima di calore
			Funzionamento estivo e cambio delle caldaie a biomassa in autunno/primavera
Per tutte le altre fonti di calore (eccetto le caldaie bivalenti)	Potenza termica effettiva	kW	
	Uscita di calore Valore impostato	kW	
	Temperatura d'ingresso	°C	
	Temperatura di uscita	°C	
	Altri parametri specifici (a seconda del tipo di fonte di calore)		Valori obiettivo specifiche a seconda del tipo di fonte di calore
Aggiuntivo diagramma			Numero di avviamenti al giorno
	Temperatura di flusso della rete Attuale	°C	Differenza di temperatura della rete di riscaldamento
	Temperatura di ritorno della rete Attuale	°C	Dimensione dei carichi di picco della rete di riscaldamento
	Capacità termica della rete Attuale	kW	Caldaia bivalente in funzione solo quando necessario
	Abilitare il segnale bivalente o altri generatori di calore	kW, %	La potenza della caldaia a biomassa rimane al massimo durante il funzionamento della caldaia bivalente
	Flusso principale prima/dopo il serbatoio di stoccaggio	°C	Sequenza pianificata di utilizzo di altre fonti di calore
	Ritorno principale prima/dopo il serbatoio di stoccaggio	°C	Potenza termica nominale
			Potenza termica minima
			$\Delta T$ a potenza termica nominale
			Controllo della temperatura di uscita della caldaia
		La produzione di calore copre la domanda senza oscillazioni	
		Potenza della caldaia al livello più basso possibile	

		Controllo della temperatura di uscita della caldaia	
Serbatoio di stoccaggio	Tutti i sensori di temperatura del serbatoio di stoccaggio	°C	Stratificazione della temperatura carica/scarica
	Stato di carica del serbatoio di stoccaggio	%	Differenza di temperatura utilizzabile nel serbatoio di stoccaggio T
Parametri aggiuntivi richiesti:			
- Valore medio giornaliero [°C] per il rispettivo giorno selezionato			
- Produzione giornaliera di calore [kWh/d] per ogni generatore di calore			
- Condizione di carico minimo [kW o % del carico nominale] per ogni caldaia a biomassa o anche altri generatori di calore			

## 16.4 Implementazione

Una volta che tutti i dati operativi sono stati preparati, l'analisi e la valutazione effettive possono essere eseguite su questa base e il funzionamento effettivo dell'impianto può essere confrontato con la funzionalità dell'impianto definita secondo la pianificazione (funzionamento target). Questo è il compito del progettista principale. Nel corso di questo controllo finale, essi devono documentare se l'impianto funziona come previsto. Come base per questo, devono essere utilizzati tutti i documenti menzionati in precedenza, i dati di funzionamento, le cifre chiave e i diagrammi, nonché i criteri di valutazione dalla Tabella 16.1 alla Tabella 16.3. Inoltre, si raccomanda di includere nella valutazione tutte le informazioni aggiuntive, come le misurazioni ricorrenti delle emissioni, i registri di funzionamento/incidenti, l'esperienza operativa del personale operativo e una visita all'impianto.

Quando si esegue l'ottimizzazione operativa, si deve rispondere, tra le altre, alle seguenti domande:

- I dati di misurazione esistenti sono completi e plausibili o potrebbero esserci errori di misurazione?
- I valori pianificati sono uguali ai valori reali della domanda di calore dell'intero sistema e dei singoli clienti collegati nel corso di un'analisi dei clienti (la base è lo strumento Excel per la valutazione della domanda e la selezione appropriata del sistema)? In caso di deviazioni importanti, un'analisi dettagliata dovrebbe mostrare se c'è un errore sistematico o altri motivi.
- La caldaia a biomassa fornisce la potenza nominale concordata per contratto (costante e senza oscillazioni)?
- La caldaia a biomassa funziona alla potenza minima concordata contrattualmente senza interrompere l'alimentazione dell'aria di combustione?
- L'efficienza dell'impianto (tasso di utilizzo annuale della produzione di calore e della rete di riscaldamento) corrisponde ai valori obiettivo previsti?
- Il controllo della potenza nel funzionamento a carico parziale funziona in modo tale che la/e caldaia/e a biomassa sia/siano sempre fatta/e funzionare al livello più basso possibile in modo che la/e caldaia/e a biomassa sia/siano in grado di seguire l'andamento della richiesta di potenza gradualmente e senza oscillazioni?
- Le caldaie a olio o a gas, se presenti, sono attivate solo quando è assolutamente necessario? Vengono disattivate di nuovo non appena la potenza richiesta può essere coperta dalla caldaia a biomassa? I punti di commutazione (punti di bivalenza) corrispondono

all'ipotesi prevista (strumento Excel per la valutazione del fabbisogno e la scelta del sistema adeguato)?

- È possibile il funzionamento estivo con la caldaia a biomassa (piccola) e quando dovrebbe avvenire il passaggio dalla caldaia a biomassa piccola a quella grande o viceversa in autunno/primavera?
- Tutti i controlli di carica dell'accumulatore di calore funzionano secondo le specifiche della descrizione funzionale e il funzionamento delle caldaie a biomassa è uniforme?
- La stratificazione della temperatura nel serbatoio di stoccaggio è mantenuta durante il caricamento e lo scaricamento ed è raggiunta la differenza di temperatura utilizzabile prevista?
- Gli avviamenti e gli spegnimenti frequenti sono ampiamente evitati?
- Si verificano condizioni di funzionamento che portano a fastidiosi odori e ad alte emissioni?
- Il sistema funziona con i valori di ossigeno residuo e le temperature dei gas di scarico specificati?
- Tutti i carburanti specificati possono essere usati senza problemi?
- La combustione delle ceneri è completa e ci sono problemi di scorie?
- Le temperature misurate corrispondono ai valori di pianificazione e il comportamento nel tempo è stabile?
- La temperatura di mandata principale della rete di riscaldamento segue la strategia di controllo pianificata (ad esempio in funzione della temperatura esterna)?
- La temperatura di ritorno principale corrisponde ai valori previsti? Dove c'è un potenziale di ottimizzazione (a tal fine, si può effettuare un'analisi del cliente secondo il Manuale sulla pianificazione delle reti di teleriscaldamento [17]).
- La disponibilità del precipitatore elettrostatico, se esiste, è conforme alle specifiche o ai valori di garanzia (vedi FAQ 38; [Link](#))?
- Il consumo specifico di energia corrisponde ai valori previsti o alle specifiche del produttore?
- Il periodo di funzionamento garantito tra le pulizie manuali della caldaia è raggiunto?
- Gli intervalli di servizio sono più brevi di quelli concordati?
- C'è un numero crescente di malfunzionamenti nei singoli componenti dell'impianto?

- Si verifica un aumento dell'usura nei componenti del sistema (ad esempio a causa dell'argilla refrattaria nel forno, degli elementi della griglia)?

Se questa valutazione rivela carenze nel funzionamento e nell'operazione dei componenti dell'impianto, si devono definire misure di ottimizzazione corrispondenti. Di regola, queste riguardano in particolare la regolazione graduale dei parametri di controllo con l'osservazione simultanea degli effetti.

Quando si regolano i parametri di controllo, considerare di regolare solo un parametro alla volta e lasciare abbastanza tempo per osservare gli effetti. A seconda della regolazione dei parametri, il sistema di combustione della biomassa reagisce molto lentamente e si dovrebbero concedere ore o giorni per questo processo. Tutte le regolazioni devono essere documentate in dettaglio in un registro operativo. La documentazione deve essere fatta in modo tale che tutte le parti coinvolte nel progetto possano in seguito vedere e capire qualsiasi cambiamento.

Se necessario, si dovrebbero consultare gli esperti di regolamentazione e i produttori. I difetti gravi dovrebbero essere comunicati immediatamente per iscritto ai produttori nel corso della garanzia. Se nel corso dell'ottimizzazione del funzionamento vengono rilevati difetti rilevanti per la sicurezza di qualsiasi tipo, le persone competenti (compresi i progettisti) hanno il dovere di informare le persone responsabili degli impianti e dovrebbero comunicare immediatamente per iscritto i difetti.

Il personale operativo responsabile dovrebbe essere coinvolto il più possibile nella valutazione e nell'ottimizzazione. L'obiettivo dell'ottimizzazione operativa è anche quello di stabilire un monitoraggio dell'impianto durante il funzionamento e una continua ottimizzazione operativa.

## 17 Funzionamento e manutenzione

### 17.1 Organizzazione aziendale

Un impianto di riscaldamento a biomassa con una rete di riscaldamento è un'azienda come qualsiasi altra. Di conseguenza, si applicano gli stessi requisiti per quanto riguarda la gestione professionale amministrativa e commerciale.

Il comitato esecutivo è responsabile dei seguenti compiti nell'area amministrativa e commerciale:

- Chiarimento dei più importanti regolamenti, linee guida e leggi al personale operativo
- Informare il personale operativo sulle disposizioni dei contratti di fornitura di calore e del contratto di fornitura di combustibile che sono importanti per loro.
- Conclusione di contratti conformi alla legge (contratto di fornitura di combustibile, contratti di fornitura di calore, ecc.)
- Registrazione e implementazione del potenziale di ottimizzazione nelle seguenti aree:
  - Acquisto di combustibile ed elettricità (pooling di elettricità)
  - Assicurazioni
  - Impiego di personale/leasing di personale
  - Logistica dei carburanti con l'obiettivo di ridurre la movimentazione del combustibile e l'uso dei veicoli (eventualmente affittando risorse come le pale gommate o usandole in sinergia, per esempio con il comune).
- Cooperazione con associazioni di gestori e/o altri impianti di riscaldamento (ad esempio, pool di acquisto, stoccaggio comune di pezzi di ricambio)
- Servizio clienti professionale (comunicazione con i clienti, informazione, servizio, hotline, ecc.)

Per un funzionamento tecnico di successo, si devono osservare le seguenti note sull'organizzazione operativa.

Un funzionamento ordinato richiede un'organizzazione operativa con un elenco delle persone coinvolte e delle loro responsabilità e competenze. Una documentazione di sistema completa e aggiornata secondo la linea guida QM per impianti di teleriscaldamento a biomassa "E.5 Q-requisiti documentazione di sistema" [15] costituisce la base con cui il personale operativo può gestire e mantenere l'impianto di riscaldamento a biomassa con rete di riscaldamento con i dati di sistema aggiornati in qualsiasi momento.

Tutte le leggi e le direttive applicabili e, in particolare, i requisiti secondo l'autorizzazione dell'impianto operativo devono essere inclusi nel funzionamento dell'impianto in corso. Questo vale, tra l'altro, per le seguenti aree:

- Prevenzione del fuoco
- Sicurezza sul lavoro/attrezzature di protezione
- Prevenzione delle esplosioni
- Ispezioni ricorrenti

Devono essere sviluppati piani di emergenza per i seguenti scenari:

- Fornitura di calore di emergenza (collegamento esterno della caldaia di riserva) /garantire la fornitura di calore in caso di mancanza totale di generazione
- Ottenere un sistema mobile di fornitura di calore d'emergenza il più rapidamente possibile
- Procedura in caso di blackout ed esame della necessità di un'alimentazione di emergenza.
- Procedura in caso di accessibilità limitata all'impianto di riscaldamento centrale (ad es. inverno, regione montuosa) per quanto riguarda la fornitura di combustibile, i mezzi operativi e il personale.
- Quali pezzi di ricambio essenziali devono essere disponibili in loco per evitare lunghe interruzioni di funzionamento?

### 17.2 Funzionamento tecnico

I requisiti più importanti per il corretto funzionamento di un impianto di riscaldamento a biomassa sono:

- L'uso di assortimenti di biomassa adatti al sistema della caldaia a biomassa e per i quali è stato selezionato. La qualità del combustibile deve corrispondere alla definizione del combustibile secondo il contratto di servizio con il fornitore dell'impianto.
- Monitoraggio regolare dei dati di funzionamento come la temperatura dei fumi, l'eccesso d'aria, la velocità del ventilatore dei fumi, i tempi di funzionamento, ecc.
- Ispezione regolare dell'impianto in modo che, per esempio, i tubi idraulici che perdono possano essere individuati in una fase iniziale o le particelle di combustibile sovradimensionate possano essere rimosse dal combustibile.
- Manutenzione regolare del sistema secondo le istruzioni del produttore
- Specifiche di lavoro dettagliate per il personale operativo con descrizione del lavoro, responsabilità e autorizzazione per le singole aree di compito

La **procedura in caso di malfunzionamenti** è descritta nel manuale operativo del produttore. Il personale operativo deve essere preparato in modo particolare per i malfunzionamenti importanti (blackout, guasto di una caldaia a biomassa, interruzione della fornitura di combustibile, ...) per essere in grado di reagire rapidamente in caso di emergenza. Con la comprensione dei malfunzionamenti e la conoscenza di come porvi rimedio, molte complicazioni possono essere prevenute in anticipo.

### 17.3 Manutenzione

#### 17.3.1 Generale

La manutenzione comprende il mantenimento, l'ispezione (monitoraggio), la riparazione e il miglioramento della tecnologia dell'impianto.

Gli obiettivi della manutenzione sono un funzionamento facile, economico, senza problemi, ottimale ed ecologico,

un alto tasso di utilizzo annuale e la conservazione del valore del sistema e dei suoi componenti.

Tenere un diario delle operazioni permette di tracciare il corso cronologico delle fasi di manutenzione più importanti in qualsiasi momento. Questa è la base per il coordinamento e la pianificazione delle misure di manutenzione necessarie. La manutenzione basata sulle condizioni e predittiva comprende anche, tra l'altro, la misurazione dello spessore delle pareti e dell'usura nei punti critici (ad es. tubi della caldaia, argilla refrattaria, elementi a griglia, unità di mandata, pompe, ventilatori), nonché il controllo dei dispositivi di allarme e di sicurezza contro le perdite, il mantenimento della pressione (quantità di reintegro) e il controllo regolare della qualità del mezzo di trasferimento del calore. Questo può aumentare la durata del sistema e ridurre i costi di riparazione e manutenzione a lungo termine.

La redditività economica della gestione di un impianto di riscaldamento a biomassa con una rete di riscaldamento è fortemente influenzata dai costi di manutenzione e deve essere presa in considerazione già nella fase di pianificazione (vedi anche capitolo 1).

La quota di manutenzione è spesso legata ai costi di investimento. Nella Figura 17.1 manutenzione ammontano al 4% dei costi d'investimento della generazione di calore. Ulteriori informazioni si trovano nel capitolo 10.3.

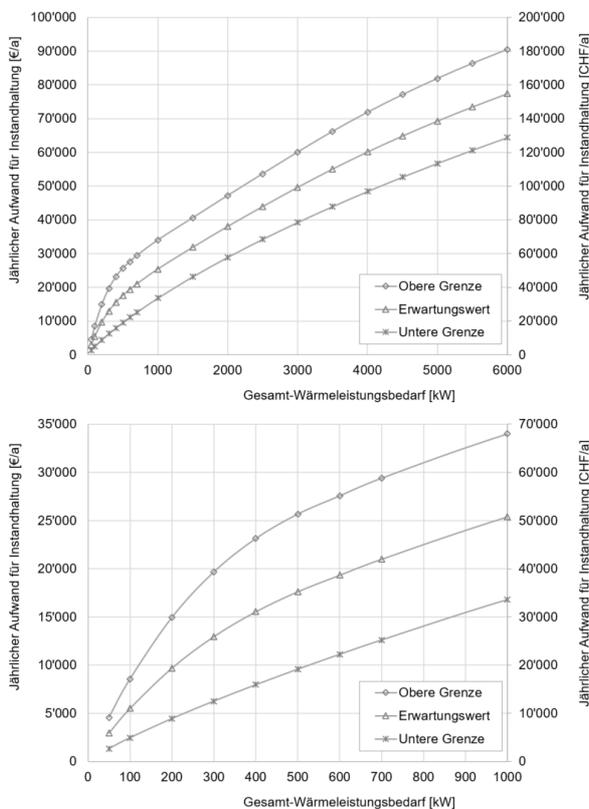


Figura 17.1 Spesa annuale per la manutenzione in funzione del fabbisogno totale di capacità termica dell'impianto (valore empirico = 4 % dei costi d'investimento sulla base di [123];

sopra ... gamma totale, sotto ... sezione di dettaglio per la gamma di piccola potenza).

La redditività economica della gestione di un impianto di riscaldamento a biomassa con una rete di riscaldamento è fortemente influenzata dai costi di manutenzione e deve essere presa in considerazione già nella fase di pianificazione (vedi anche capitolo 1).

### 17.3.2 Manutenzione e ispezione

La manutenzione e l'ispezione comprendono il monitoraggio operativo come il controllo della disponibilità del separatore di particelle, l'eliminazione dei guasti, la manutenzione come la pulizia o la lubrificazione, i controlli funzionali regolari dei componenti del sistema e la manutenzione periodica da parte dei produttori dei singoli componenti del sistema. Il contratto di assistenza per il sistema della caldaia a biomassa o il separatore di particelle e la pulizia periodica della caldaia e del sistema del camino da parte degli spazzacamini servono a questo scopo. Oltre al controllo periodico, devono essere eseguiti e documentati tutti i controlli periodici previsti dalla legge (ad es. protezione antincendio, impianti di sollevamento, cancelli automatici, veicoli, dispositivi di protezione e di estinzione degli incendi, illuminazione di emergenza, ecc.) Se questo non è possibile sotto forma di ispezioni interne, questo deve essere affidato a enti adeguatamente certificati.

La manutenzione e l'ispezione ammontano al 2% dei costi d'investimento della generazione di calore come linea guida e quindi rappresentano la metà dei costi di manutenzione totali secondo la Figura 17.1. Ulteriori informazioni si trovano nel capitolo 10.3.

#### Funzionamento a bassa manutenzione

Per garantire che un sistema di caldaie a biomassa possa funzionare con una bassa manutenzione oltre a un funzionamento senza problemi, lo sforzo richiesto per la pulizia della caldaia deve essere ridotto al minimo.

Ciò richiede la pulizia automatica dei tubi della caldaia e lo scarico automatico della cenere dalla camera di combustione.

#### Pulizia della caldaia

La cenere e i materiali estranei rimasti dal processo di combustione si depositano nei seguenti luoghi, che devono essere puliti periodicamente dal personale operativo o dallo spazzacamino:

- Passaggi dello scambiatore di calore della caldaia o dello scambiatore di calore a valle (ceneri volanti) e loro camere di deflusso
- Zona di burnout
- Camera di combustione (cenere della griglia), intorno alla storta di combustione nel caso di combustione sottoalimentata, all'estremità della griglia nel caso dei sistemi di combustione a griglia
- Sotto la griglia (cenere della griglia) o sotto la storta di combustione

I documenti operativi del fornitore della caldaia descrivono la pulizia della caldaia e specificano quanto spesso

è necessaria la pulizia. L'intervallo di pulizia dipende dal combustibile, dal comportamento della combustione del combustibile sulla griglia (letto di combustibile stabile senza sfondamenti o punti caldi), dalla modalità di funzionamento e dallo stato del sistema.

Un buon indicatore dello stato di contaminazione del sistema è la temperatura dei fumi, che dovrebbe quindi essere controllata regolarmente. Le superfici sporche dello scambiatore di calore peggiorano il trasferimento di calore all'acqua di riscaldamento. Il risultato è un aumento della temperatura dei gas di scarico e quindi maggiori perdite di gas di scarico. La pulizia della caldaia è necessaria quando la temperatura dei fumi aumenta di 20 K - 30 K. Di regola, l'intervallo è tra due e tre settimane.

Con la pulizia automatica pneumatica o meccanica dei tubi della caldaia, l'intervallo tra due pulizie manuali della caldaia può essere aumentato ad un numero di ore di funzionamento a pieno carico di 2.500 - 3.000 h/a o ad un intervallo semestrale (vedi anche capitolo 5.5).

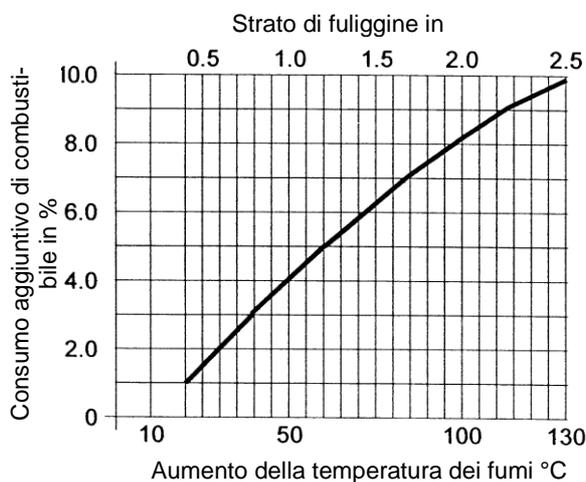


Figura 17.2 Relazione tra lo strato di fuliggine sugli scambiatori di calore, il consumo aggiuntivo di combustibile e l'aumento della temperatura dei fumi nella caldaia.

La pulizia supplementare può essere significativamente ridotta con i seguenti componenti del sistema automatico:

- Rimozione della cenere sotto la griglia per il passaggio della griglia nei sistemi di combustione a griglia
- Rimozione delle ceneri refrattarie per sistemi di combustione sottoalimentati e a griglia

#### Contratto di manutenzione (contratto di servizio)

Nel contratto di manutenzione (contratto di servizio), si concorda la manutenzione periodica dei componenti dell'impianto da parte del fornitore dell'impianto.

La manutenzione periodica dovrebbe garantire un funzionamento senza problemi che non porti a danni ai componenti del sistema. La funzionalità tecnica deve essere garantita dalla sostituzione delle parti usurate.

#### Ambito del contratto di manutenzione per un sistema automatico di caldaie a biomassa

Entro un intervallo di tempo di due anni, i seguenti lavori di manutenzione devono essere eseguiti su un sistema automatico di caldaie a biomassa (vedi anche capitolo 5):

- **Revisione:** Durante la revisione dell'impianto si controlla l'usura e l'efficienza funzionale dei componenti del sistema di trasporto, della camera di combustione, della griglia del forno, della caldaia e dei dispositivi di sicurezza quando l'impianto non è in funzione, per esempio in estate.
- **Manutenzione delle emissioni:** Durante la manutenzione delle emissioni, viene controllata la funzionalità del sistema in funzione per quanto riguarda la qualità e l'efficienza della combustione, il controllo, i dispositivi di sicurezza come la prevenzione del ritorno di fiamma o il termostato di sicurezza. Può essere necessario specificare nuove impostazioni per il controllo della combustione.

La manutenzione aggiuntiva a distanza da parte del produttore della caldaia è un supporto importante per il personale operativo nella risoluzione dei problemi e nell'ottimizzazione del funzionamento e comprende le seguenti attività:

- Diagnosi a distanza
- Controllo
- Accesso remoto e consulenza telefonica
- Controllo remoto

Un contratto di manutenzione garantisce la continuità di questo servizio. In questo modo, i malfunzionamenti possono essere ridotti al minimo o rimediati immediatamente a distanza. La sicurezza operativa è aumentata. Ulteriori informazioni si trovano nel capitolo 5.10e nel capitolo 16.

#### Partner contrattuale

A seconda delle dimensioni e della complessità del sistema e del numero di contraenti principali, è necessario più di un contratto di manutenzione per il sistema di riscaldamento a biomassa. I possibili contraenti sono:

- Produttore della caldaia a biomassa con controllo
- Produttore degli aggregati del silo (riempimento e svuotamento del silo, l'accumulo)
- Produttore di trattamenti di scarico
- Fabbricante dell'integrazione idraulica
- Fabbricante del sistema di controllo o di gestione dell'edificio
- Aziende specializzate e indipendenti dal prodotto.

Può essere necessario stipulare un contratto di manutenzione con tutte le aziende sopra elencate. I servizi inclusi nei rispettivi contratti di manutenzione devono essere coordinati tra loro.

#### Contenuto del contratto

Un contratto di servizio dovrebbe contenere i seguenti punti:

- Scopo
- Descrizione chiara dei servizi e dei risultati (sono possibili anche garanzie!)

- Descrizione delle esclusioni ed eccezioni
- Elenco delle tariffe orarie e delle indennità nonché delle spese
- Costi
- Validità e durata
- Cancellazione
- Ristrutturazione
- Indirizzo di contatto e organizzazione per richiedere servizi in caso di emergenza
- Compiti dell'operatore
- Diritti dell'imprenditore

### 17.3.3 Riparazione e miglioramento

La sostituzione periodica di componenti del sistema come il rivestimento della camera di combustione, gli elementi della griglia o le pompe con lo stesso stato dell'arte della tecnologia viene definita manutenzione. Se, invece, i componenti del sistema vengono sostituiti con tecnologie di uno stato dell'arte più recente, ciò corrisponde a un miglioramento.

Le riparazioni e i miglioramenti ammontano al 2% dei costi di investimento della generazione di calore come linea guida e quindi rappresentano la metà dei costi totali di manutenzione secondo la Figura 17.1. Ulteriori informazioni si trovano nel capitolo 10.3.

## 17.4 Sicurezza sul lavoro

La sicurezza sul lavoro del personale operativo è determinata essenzialmente dall'osservanza e dal rispetto dei requisiti specifici del paese per l'equipaggiamento di sicurezza dei corrispondenti componenti dell'impianto per quanto riguarda la prevenzione degli incidenti di incendio e delle esplosioni (vedi anche capitolo 19).

Inoltre, si deve prestare grande attenzione all'igiene del lavoro, poiché questa ha una grande influenza sulla salute del personale operativo. Il personale operativo di un impianto di riscaldamento a biomassa è esposto alle seguenti immissioni e influenze rilevanti per la salute:

- Polvere di cenere durante la pulizia della caldaia, la manipolazione della cenere, i lavori di manutenzione del sistema dei fumi e del sistema di rimozione della cenere
- Polvere di legno nell'area di stoccaggio del combustibile durante la consegna del combustibile, la manipolazione del combustibile, i lavori di manutenzione del sistema di trasporto del combustibile.
- Muffa nell'area di stoccaggio del combustibile durante la consegna del combustibile, la manipolazione del combustibile, i lavori di manutenzione del sistema di trasporto del combustibile.
- Rumore
- Gas di fermentazione nella zona di stoccaggio del combustibile e nelle stanze adiacenti
- Monossido di carbonio nel deposito di pellet
- Parti del sistema con alte temperature o radiazioni ad alta temperatura.

La polvere di cenere, la polvere di legno e le spore della muffa hanno particelle di polvere fine che sono respirabili e possono quindi compromettere la funzione polmonare. La polvere di legno e le spore di muffa possono causare allergie, che possono indebolire la salute della persona interessata. Il personale operativo deve prendere le seguenti precauzioni:

- Indossare una maschera protettiva quando si è esposti a immissioni di polvere di cenere, polvere di legno e spore di muffa
- Usare dispositivi di protezione se il livello di rumore è alto
- Ventilare accuratamente prima di entrare nelle aree di stoccaggio del combustibile e nelle stanze con possibili alte concentrazioni di gas di fermentazione per prevenire possibili asfissie
- Rispettare le norme di sicurezza dell'opuscolo "Lagerung von Holzpellets" [65]; Le norme devono essere osservate quando si entra nei depositi di pellet per evitare incidenti causati da concentrazioni tossiche di CO.
- Indossare indumenti protettivi appropriati con uno schermo protettivo quando si maneggiano componenti dell'impianto o quando si lavora nelle immediate vicinanze di componenti dell'impianto che presentano alte temperature per evitare ustioni.
- Spegnerne o interrompere l'alimentazione durante la ricerca di guasti o i lavori di manutenzione su parti del sistema con azionamenti elettrici.

## 17.5 Assicurazione

Per garantire il funzionamento economico a lungo termine di un impianto di riscaldamento a biomassa, è necessario stipulare sempre delle polizze assicurative adeguate. Questo è particolarmente importante perché spesso gli obblighi contrattuali di fornitura di calore sono specificati nei contratti con i clienti. Guasti imprevisti e interruzioni della fornitura di calore possono verificarsi in qualsiasi impianto di riscaldamento. Sono possibili le seguenti assicurazioni:

- Edificio (durante la fase di costruzione)
- Fuoco
- Incendio, interruzione del funzionamento
- Rottura della macchina
- Rottura della macchina, interruzione del funzionamento
- Responsabilità civile
- Rischi naturali

Si consiglia di effettuare una precisa valutazione dei rischi in collaborazione con esperti.

Ulteriori punti di assicurazione sono:

- Coassicurazione delle spese accessorie in caso di danni
- Coassicurazione delle spese di perizia in caso di sinistro
- Protezione legale

- Conduiture

Si raccomanda di verificare se è possibile concludere un accordo di assicurazione quadro per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa con una rete di riscaldamento con il seguente scopo (se non già incluso in altre assicurazioni):

- Assicurazione dell'edificio (di solito obbligatoria)
- Assicurazione del contenuto
- Assicurazione sull'interruzione dell'attività
- Assicurazione di interruzione dell'attività a costo aggiuntivo
- Assicurazione di responsabilità civile
- Assicurazione speciale di protezione del diritto penale

Gli accordi dei contratti di assicurazione devono essere rigorosamente rispettati. Oltre a tutti i requisiti legali (in particolare le ispezioni e le documentazioni ricorrenti - capitolo 17.3.2), per garantire la copertura assicurativa devono essere osservati tutti i requisiti aggiuntivi imposti dalle compagnie di assicurazione.

## 18 Ottimizzazione e ristrutturazione di impianti esistenti

### 18.1 Spiegazioni

I nuovi impianti pianificati e realizzati nell'ambito del QM per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa effettuano l'**ottimizzazione operativa** descritta nel capitolo 16 durante i primi anni di funzionamento. In questo processo si verifica se l'impianto raggiunge i valori obiettivo tecnici ed economici del QM per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa. Se l'impianto è costruito secondo queste specifiche i valori obiettivo e i dati di funzionamento necessari per questa valutazione sono disponibili.

Questo capitolo è destinato agli impianti esistenti che sono in funzione da diversi anni, indipendentemente dal fatto che sia stato coinvolto il QM per impianti di teleriscaldamento a biomassa. Affinché gli impianti esistenti rimangano sostenibili, i componenti più importanti dell'impianto di produzione e distribuzione del calore devono essere periodicamente rivisti dal punto di vista della tecnologia e dell'efficienza economica e il potenziale di ottimizzazione deve essere identificato e sfruttato. La densificazione o l'espansione dell'approvvigionamento di calore, le innovazioni dello stato dell'arte, le nuove disposizioni di legge come i limiti di emissione più severi o il divieto o la minore accettazione dei combustibili fossili, l'elevata usura dei componenti dell'impianto, l'accumulo di problemi di funzionamento o di guasti dell'impianto o i nuovi assetti proprietari possono far scattare una revisione più approfondita (**analisi dello status quo**) dell'impianto. Questo può mostrare che alcuni componenti dovrebbero essere ottimizzati (**ottimizzazione di impianti esistenti**), o che singoli componenti o addirittura l'intero impianto devono essere rinnovati (**ristrutturazione di impianti esistenti**).

I seguenti capitoli descrivono procedure, strumenti e misure e hanno lo scopo di mostrare al progettista come supportare il personale operativo dell'impianto nell'ottimizzazione e/o nella ristrutturazione dell'impianto. Il punto di partenza è sempre un'analisi dello status quo secondo il capitolo 18.2.2, che deve essere ampliata nel caso di una ristrutturazione dell'impianto secondo il capitolo 18.3.2.

### 18.2 Ottimizzazione degli impianti esistenti

#### 18.2.1 Procedura

I seguenti passi sono necessari per ottimizzare i sistemi esistenti:

- Analisi dello status quo della tecnologia esistente e della situazione economica attuale
- Valutazione dei risultati dell'analisi dello status quo, se possibile, attraverso il confronto con i benchmark

- Identificazione delle misure di ottimizzazione con analisi costi/benefici, chiarimenti approfonditi nelle sotto-aree se necessario.
- Attuazione delle misure di ottimizzazione e monitoraggio del successo.

L'ottimizzazione dovrebbe essere effettuata da esperti. Per ottenere risultati mirati e affidabili, è necessaria la cooperazione con il personale operativo. Essi devono fornire le informazioni necessarie. Se vengono rilevate carenze rilevanti per la sicurezza di qualsiasi tipo, c'è l'obbligo di informare la persona responsabile dell'impianto, in modo che le corrispondenti carenze debbano essere comunicate immediatamente per iscritto.

#### 18.2.2 Analisi dello status quo della tecnologia e dell'economia

La base di ogni analisi è un database aggiornato e completo e una stima degli sviluppi futuri. Quindi, i dati e le informazioni più completi elencati di seguito devono essere ottenuti per l'analisi dello status quo.

##### Stato generale dell'impianto

Rilevanti per la valutazione dell'impianto sono una descrizione della condizione generale dell'impianto, lo stato della tecnologia e delle attrezzature dell'impianto, la descrizione generale della situazione attuale e dei possibili problemi, se questi non sono trattati in dettaglio nei punti seguenti, e i piani di espansione attuali o futuri. Un tour dell'impianto fornisce una panoramica dello stato attuale.

##### Generazione di calore

- Descrizione dei generatori di calore
- Anno di costruzione e condizione generale, rendimenti nominali, componenti aggiuntivi (separatori di polveri fini, economizzatore, ecc.), misurazioni delle emissioni, registrazioni di malfunzionamenti e riparazioni
- Dati di base e annuali necessari per lo strumento Excel per la valutazione della domanda e la selezione del sistema appropriato (vedi capitolo 11)
- Dati operativi richiesti nell'ambito dell'ottimizzazione operativa (vedi capitolo 16)
- Schema idraulico, circuito standard WE, descrizione della funzione/controllo
- Esame dell'uso dello spazio, potenziale di espansione nella centrale termica e in loco
- Controllo degli aspetti di sicurezza dell'impianto di riscaldamento, compreso lo stoccaggio del combustibile (norme specifiche del paese nel capitolo 19)

##### Combustibile e cenere

- Logistica della fornitura di combustibile e dello smaltimento delle ceneri
- Fabbisogno di combustibile di un anno di esercizio (quantità, tipo, qualità)
- Qualità del combustibile secondo il contratto di fornitura

- Analisi del combustibile e classificazione della qualità del combustibile secondo il QM per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa (capitolo 4).
- Capacità di stoccaggio lordo, netto di silo, magazzino, area di stoccaggio all'aperto
- Registrosi di malfunzionamenti operativi nell'area del silo e del trasporto del combustibile fino al sistema di combustione e al sistema di trasporto delle ceneri

#### Distribuzione del calore

- Schema della rete con indicazione delle dimensioni dei tubi e dei livelli di temperatura
- Dati di base e annuali necessari per lo strumento Excel per la valutazione della domanda e la selezione del sistema appropriato (vedi capitolo 11)
- Dati operativi richiesti nell'ambito dell'ottimizzazione operativa (vedi capitolo 16)
- Stato generale della rete di riscaldamento, monitoraggio delle perdite, stazioni di trasferimento del calore e qualità dell'acqua
- Registrosi dei volumi di rifornimento richiesti
- Schema idraulico di una tipica stazione di trasferimento di calore

#### Funzionamento e manutenzione (manutenzione, ispezione, riparazione e miglioramento)

- Manutenzione annuale richiesta secondo il capitolo 17.3.2
- Manutenzione e miglioramento annuale medio richiesto secondo il capitolo 17.3.3

#### Quadro contrattuale e legale

- Ente responsabile, forma giuridica del gestore dell'impianto
- Contratto di fornitura di combustibile
- Contratto di fornitura di calore con regolamento tecnico di connessione e modello tariffario
- Servitù (es. diritto di passaggio)
- Contratti per servizi forniti a terzi (funzionamento/supporto del sistema, fatturazione del calore, ecc.)
- Regolamenti legali (limiti di emissione, regolamenti di salute e sicurezza e altri secondo il capitolo 19)
- Organizzazione del funzionamento dell'impianto

#### Efficienza economica

- Tutti i dati di base per il calcolo della redditività (vedi strumento Calcolo della redditività (capitolo 10))
- Costi effettivi di energia, gestione e manutenzione, nonché entrate da tasse di connessione e vendite di calore
- Stima dello sviluppo dei prossimi cinque-dieci anni

#### Indagine sul comportamento operativo della generazione e distribuzione del calore

La registrazione del comportamento operativo dovrebbe essere orientata all'ottimizzazione del funzionamento secondo il capitolo 16e la FAQ 8. Il rilevamento del comportamento operativo dipende in larga misura dagli strumenti di misurazione di cui sono dotati l'impianto di riscaldamento e la rete di riscaldamento e in quale forma possono essere visualizzati i dati operativi. Nel migliore dei casi, questo può essere fatto monitorando il sistema di controllo operativo (vedi capitolo 16.3). Se vengono registrati solo pochi o nessun dato di funzionamento, allora la valutazione del comportamento operativo deve basarsi su:

- Osservazioni del personale operativo
- Osservazioni mirate in giorni selezionati in inverno, nel periodo di transizione e in estate.
- Misurazioni temporanee e mirate in giorni selezionati in inverno, nel periodo di transizione e in estate, per esempio attraverso misurazioni a lungo termine in conformità con QS Support Holzfeuerungen ([Link](#)).

### 18.2.3 Valutazione dell'analisi dello status quo

Di seguito, vengono descritte diverse possibilità su come i risultati dell'analisi dello status quo possono essere messi in relazione con i valori caratteristici del QM per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa.

#### Strumento Excel per la valutazione della domanda e la selezione del sistema appropriato

Lo strumento Excel per la valutazione della domanda e la scelta del sistema appropriato [104]calcola i valori chiave più importanti dell'impianto, le confronta con i valori caratteristici del QM per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa e permette così di fare affermazioni approssimative sui seguenti aspetti:

- Numero di ore di funzionamento a pieno carico delle caldaie a biomassa: Quali riserve di potenza sono disponibili nella generazione di calore?
- Quanto è alta la quota di biomassa nella produzione annuale di calore?
- Il volume dell'accumulo di calore è sufficiente?
- Il funzionamento della (più piccola) caldaia a biomassa è consentito in estate?
- La densità di connessione della rete di riscaldamento è sufficiente?
- Quanto sono alte le perdite di distribuzione del calore?
- Quanto è alta l'autonomia di rifornimento del deposito di combustibile?
- Quanto è affidabile la fornitura di calore in caso di guasto della caldaia a biomassa più grande?

#### Ottimizzazione operativa secondo la pietra miliare MS5

Se la raccolta dei dati operativi e del comportamento può essere effettuata secondo il capitolo 16, i valori chiave più importanti dell'impianto possono anche essere calcolati con l'aiuto dello strumento Excel per la valutazione

della domanda e la selezione appropriata del sistema. Sono anche possibili ulteriori affermazioni sul comportamento operativo, come per esempio:

- Il comportamento operativo del sistema corrisponde alla descrizione funzionale? Dove si discosta?
- C'è da aspettarsi un aumento dell'usura del sistema o una riduzione della vita utile di componenti come il rivestimento della camera di combustione, i mattoni dell'arco, gli elementi della griglia, la coclea della cenere, ecc.
- Si verificano alti picchi di carico e grosse riduzioni di carico nella rete di riscaldamento?
- Il precipitatore elettrostatico raggiunge la disponibilità annuale prevista?
- Il consumo di energia del sistema rientra nell'intervallo previsto?

Suggerimenti utili su come effettuare l'ottimizzazione operativa possono essere trovati nella FAQ 8 [128].

**Costi di manutenzione e assistenza (vedi capitolo 17)**

Se sono disponibili informazioni sui costi medi annuali per la manutenzione e la riparazione, questi valori possono essere confrontati con i diagrammi corrispondenti e consentire così affermazioni come:

- I costi medi annuali di manutenzione sono all'interno dell'intervallo previsto?
- C'è il potenziale per ridurre questi costi?
- I costi medi annuali per la riparazione (manutenzione) sono all'interno della gamma prevista?
- Possono essere ridotti attraverso l'ottimizzazione operativa?

**Strumento Excel "Erneuerung Holzenergieanlagen" (ristrutturazione di impianti di teleriscaldamento a biomassa)**

Nello strumento di consulenza "Erneuerung Holzenergieanlagen" [127] vengono inseriti i dati tecnici di sistema più importanti sulla generazione e distribuzione del calore e sull'efficienza economica. Lo strumento calcola i dati tecnici ed economici più importanti e li confronta con i valori target del QM per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa. I risultati vengono visualizzati anche graficamente, in modo che si possa riconoscere rapidamente se i valori caratteristici dell'impianto sono all'interno del range previsto o se superano o scendono sotto un limite superiore o inferiore. I risultati e le possibili misure di ottimizzazione o ristrutturazione vengono discussi con l'operatore dell'impianto.

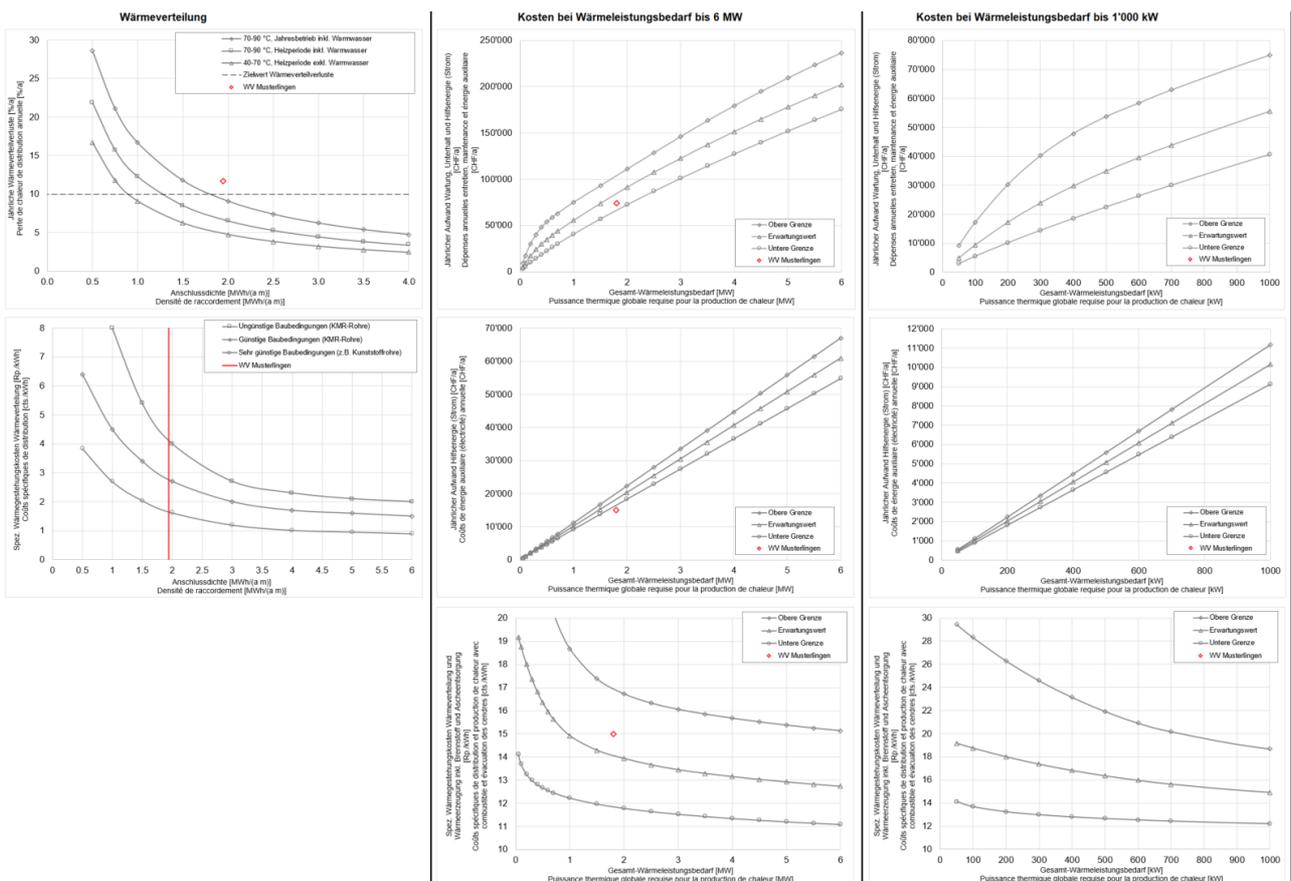


Figura 18.1 Grafici esemplificativi dello strumento di consultazione "Erneuerung Holzenergieanlagen" [127].

### Consulenze su impianti di riscaldamento da parte di Q-manager in Austria

In Austria, le consulenze per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa (più vecchi) sono offerte dal governo federale o nell'ambito dei programmi di sostegno delle province. Queste consulenze sono effettuate da esperti indipendenti (Q-manager di klimaaktiv QM Heizwerke). Oltre all'esame dei dati dell'impianto e dei documenti pertinenti, l'esperto conduce anche un'ispezione di un giorno dell'impianto. Infine, viene presentato un rapporto scritto con raccomandazioni per misure di ottimizzazione.

### Confronto di benchmark dai dati operativi nella banca dati QM Heizwerke

In Austria, il processo QM è supportato dal database klimaaktiv QM Heizwerke, in cui sono registrati e documentati tutti i dati tecnici ed economici dell'impianto (vedi capitolo 2.3.6). Questo include anche la divulgazione annuale obbligatoria dei dati operativi più importanti. Su

questa base vengono calcolati automaticamente importanti valori chiave e preparati per il confronto con i valori obiettivo e i valori comparativi di altri impianti di riscaldamento (benchmark) come informazione per il personale operativo, i pianificatori e i Q-manager. La figura 18.2 mostra un esempio di benchmark di un impianto di riscaldamento per il consumo specifico di elettricità dell'intero impianto.

Lo scopo di questo servizio della direzione del programma di klimaaktiv QM Heizwerke è di dare al personale operativo in particolare una panoramica dello status quo dell'impianto (e del suo sviluppo negli anni precedenti) e di motivarlo a trattare i dati operativi del suo impianto (vedi anche [129]). Con l'aiuto dei benchmark, è possibile identificare il potenziale di ottimizzazione nelle rispettive condizioni quadro specifiche del sito - se necessario con il supporto di esperti.

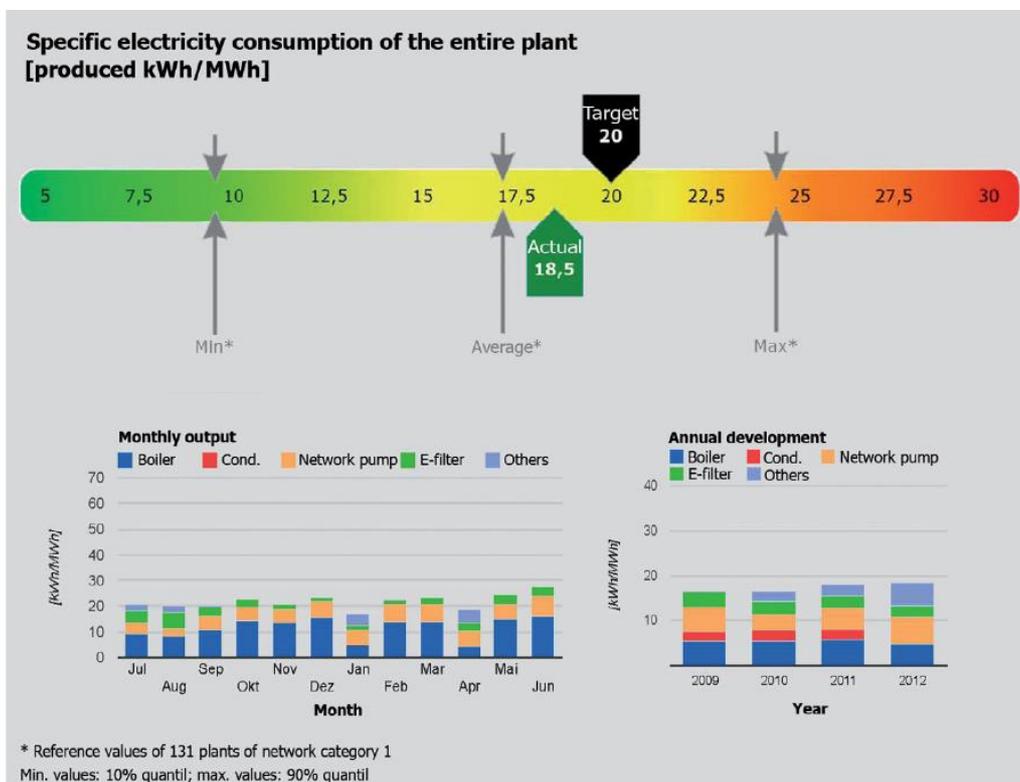


Figura 18.2 Esempio di valutazione dei benchmark klimaaktiv QM Heizwerke (fonte: AEE INTEC).

### Analisi della qualità degli impianti di riscaldamento a biomassa

Per gli impianti di iteleriscaldamento a biomassa in Germania, C.A.R.M.E.N. e.V. offre agli operatori una cosiddetta analisi operativa. La procedura si basa sulle consultazioni delle centrali termiche effettuate in Austria. La portata dell'analisi può essere coordinata individualmente con le esigenze del personale operativo ([Link](#)).

### Strumento Excel Calcolo della redditività economica

Lo strumento Economic Profitability Calculation [130] mostra in profondità gli aspetti economici attuali di un impianto e il possibile sviluppo futuro. Anche se non fa raccomandazioni di ottimizzazione, può mostrare molto facilmente come le misure/investimenti che riducono i costi o aumentano il rendimento influenzeranno l'efficienza economica dell'impianto.

### Chiarimenti approfonditi

La valutazione dei documenti e i risultati dell'analisi dello status quo possono concludere che sono necessari chiarimenti più approfonditi, come ad esempio:

- Visita/ispezione dell'impianto e di una tipica stazione di trasferimento
- Misurazioni aggiuntive e selezionate per una valutazione approfondita del comportamento operativo
- Analisi approfondita della rete di calore utilizzando strumenti di analisi come THENA [102], Sophena [99], Excess consumption [131], ecc:
  - Identificazione delle stazioni di trasferimento di calore difettose
  - Determinazione dei potenziali nei rami esistenti della rete di teleriscaldamento per la connessione di clienti aggiuntivi

## 18.2.4 Misure per l'ottimizzazione degli impianti esistenti

### 18.2.4.1 Misure di riduzione dei costi

In molti casi, l'ottimizzazione di un impianto esistente è innescata da una mancanza di efficienza economica. L'attenzione si concentra quindi inizialmente su misure che riducono i costi. Le misure di copertura dei costi includono:

#### Garantire una qualità del combustibile conforme

L'uso di assortimenti di combustibile a basso prezzo e di bassa qualità che non soddisfano le specifiche dell'impianto di combustione può portare a malfunzionamenti operativi, maggiore manutenzione e usura, nonché emissioni inammissibili e quindi peggiorare l'efficienza economica dell'impianto. Misure:

- Analisi della qualità del combustibile
- Utilizzo di una qualità di combustibile adatta al sistema di trasporto e al tipo di combustione
- Controllo frequente del contenuto d'acqua, controllo periodico dei fini, delle sovrallunghezze e del contenuto estraneo
- Rifiutare coerentemente i combustibili non conformi.

#### Ridurre il consumo di combustibile

- Aumentare l'efficienza annuale delle caldaie a biomassa:
  - Permettere lunghi tempi di funzionamento con un'adeguata regolazione della potenza in combinazione con accumulatori di calore sufficientemente dimensionati (se necessario, retrofit dell'accumulatore di calore con gestione della carica dell'accumulatore).
  - Ridurre il contenuto di ossigeno residuo nei gas di scarico in tutte le gamme di potenza da parte del fornitore dell'impianto di combustione (ottimizzazione della regolazione della combustione, della regolazione dell'aria, del ricircolo dei gas di scarico), controllo annuale di follow-up, controllare regolarmente la misurazione dell'ossigeno (sonda O<sub>2</sub>, sonda lambda), controllare le perdite e le false entrate d'aria.
  - Monitorare continuamente la temperatura dei fumi e ridurla con misure adeguate e automatizzate di pulizia della caldaia o, se necessario, accorciando gli intervalli di pulizia della caldaia.

- Valutare il retrofit delle misure di aumento dell'efficienza (per esempio economizzatore, condensazione dei gas di scarico).
- Controllare se il funzionamento della caldaia a biomassa soddisfa i requisiti per il funzionamento in estate con combustibile secco. In caso contrario:
  - Far funzionare il sistema in estate con una caldaia fossile esistente che in futuro, se possibile, funzionerà con biocarburanti gassosi o liquidi.
  - Valutare il retrofit di una caldaia a biomassa più piccola per il funzionamento estivo
  - Esaminare una fornitura alternativa di acqua calda sanitaria decentralizzata per il funzionamento estivo e non far funzionare la rete di riscaldamento in estate.

- Ridurre le perdite della rete di riscaldamento:

- Controllare la temperatura di mandata della rete di riscaldamento in base alle condizioni atmosferiche e ridurla al livello di temperatura minimo necessario.
- Ridurre la temperatura di ritorno della rete di riscaldamento:
  - Individuare le stazioni di trasferimento di calore difettose sulla base di un'analisi dei consumatori di calore per il consumo in eccesso (vedere il Manuale sulla pianificazione delle reti di teleriscaldamento [17]capitolo 10).
  - Controllare l'attrezzatura lato primario delle stazioni di trasferimento del calore
  - Retrofit idraulico sul lato secondario
- Applicare le norme tecniche di allacciamento delle stazioni di trasferimento del calore per quanto riguarda le temperature di ritorno massime ammissibili o introdurle se necessario. Se la densità di allacciamento della rete di riscaldamento è troppo bassa, esaminare una fornitura alternativa di acqua calda sanitaria decentralizzata per il funzionamento estivo e non mettere in funzione la rete di riscaldamento in estate.
- Usare tubi di teleriscaldamento con i più alti standard di isolamento quando si espande la rete di riscaldamento o si sostituiscono le tubature.

#### Riduzione dei costi di manutenzione e riparazione

- Ottimizzare gli intervalli di pulizia manuale osservando la temperatura dei gas di scarico. Utilizzare dispositivi ausiliari
- Automatizzare il lavoro di pulizia manuale attraverso un adeguato retrofit dove possibile
- Valutare il retrofit di un'accensione automatica della caldaia a biomassa
- Ridurre le interruzioni nel sistema di trasporto del combustibile grazie a qualità di combustibile conformi. Posizionare in modo ottimale e regolare adeguatamente i sensori nel sistema di trasporto del combustibile
- Ispezione/revisione regolare dei componenti del sistema (contratto di servizio per l'individuazione precoce e la riparazione dei danni)

- Assicurare un'alta qualità dell'acqua (mezzo di trasferimento del calore) per evitare danni (corrosione, depositi sui contatori di calore e sui raccordi, surriscaldamento nella zona della caldaia).
- Assicurare un funzionamento a bassa usura e bassa manutenzione del sistema:
  - impostando adeguatamente i parametri di controllo in modo che la caldaia a biomassa possa funzionare sempre con un letto di combustibile stabile senza la formazione di punti caldi (vulcani) o ceneri
  - installando un accumulatore di calore con un'adeguata gestione della carica dell'accumulatore di calore per ottenere tempi lunghi e continui di funzionamento della caldaia con poche fasi di avvio/arresto.

#### Ridurre i costi per il consumo di elettricità

- Cercare di ottenere un'alta differenza di temperatura tra la temperatura di mandata e quella di ritorno della rete di teleriscaldamento, se possibile, attraverso misure che riducano la temperatura di ritorno della rete di teleriscaldamento (sul lato primario).
- Puntare a una differenza di temperatura massima tra la mandata e il ritorno della caldaia a biomassa di 15 K alla potenza nominale
- Applicare un adeguato controllo della pressione differenziale delle pompe capillari
- Applicare il dimensionamento adeguato della rispettiva pompa capillare per il funzionamento invernale ed estivo.
- Utilizzare azionamenti e aggregati efficienti dal punto di vista energetico (ventilatori, pompe, tecnologia di trasporto, compressori, ecc.)
- Utilizzare il controllo della velocità per i ventilatori (invece delle valvole a farfalla)
- Evitare inutili perdite di pressione nelle tubazioni idrauliche e nei condotti dei fumi
- Evitare l'ingresso di aria falsa nei sistemi di combustione, nei sistemi di precipitazione della polvere e nei condotti dei fumi
- Evitare perdite di aria compressa

#### 18.2.4.2 Misure per aumentare i guadagni

La mancanza di efficienza economica richiede anche misure per aumentare il rendimento. Queste includono:

##### Revisione del modello tariffario

- Controllare i contratti di fornitura di calore (modello tariffario e disegno della tariffa) e aggiustare se necessario:
  - Ridurre la dipendenza dal tempo dei rendimenti annuali
  - Effettuare adeguamenti tariffari attraverso un'adeguata indicizzazione

##### Assicurare la precisione dei contatori di calore

- Mantenere alta la qualità dell'acqua:

- Assicurarsi che l'attrezzatura per il trattamento dell'acqua (filtro a flusso magnetico, degassificazione, ecc.) funzioni correttamente. Se necessario, adattare l'attrezzatura di conseguenza.
- Controllare periodicamente la qualità dell'acqua
- Controllare la corretta posizione dei contatori di calore e far ricalibrare i contatori di calore secondo i requisiti di legge.

#### Sfruttare le riserve di capacità nella generazione e distribuzione del calore - densificazione della rete

- Verificare le riserve di capacità nella rete di riscaldamento o nelle diramazioni usando strumenti adeguati di analisi della rete (per esempio THENA [102]o altri).
- Densificazione della rete attraverso l'acquisizione di clienti adeguati nel perimetro della rete di calore esistente

#### Espansione della generazione e della distribuzione di calore - espansione della rete

- Con l'aiuto di adeguati strumenti di analisi della rete è possibile mostrare le riserve rimanenti nella rete di riscaldamento e individuare meglio i potenziali clienti. L'ampliamento della rete di riscaldamento dovrebbe essere preso in considerazione solo se vengono raggiunti i parametri tecnici del MQ per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa e una fornitura di calore garantita contrattualmente pari al 60 % del nuovo potenziale termico da sfruttare.
- Assicurarsi che la caldaia o le caldaie a biomassa raggiungano la loro capacità nominale
- Espansione della capacità di generazione di calore:
  - Controllare le capacità di alimentazione del combustibile
  - Verificare il potenziale di spazio nel locale caldaia per un'ulteriore caldaia a biomassa o per la sostituzione di una caldaia a biomassa esistente con una caldaia a biomassa più grande.
  - Effettuare solo quando si raggiunge il numero previsto di ore annuali di funzionamento a pieno carico delle caldaie a biomassa esistenti

#### 18.2.4.3 Altre misure

Si dovrebbero considerare anche altre misure, tra cui le seguenti:

##### Sicurezza operativa e sicurezza dell'approvvigionamento di calore

- Analisi ed eliminazione dei pericoli per la sicurezza delle persone e delle macchine
- Per gli impianti di riscaldamento senza caldaie a combustibile fossile, prevedere collegamenti per l'uso di un sistema di riscaldamento esterno mobile.
- Impostazione dell'organizzazione operativa in modo tale che il funzionamento sia garantito in caso di assenze per ferie o malattia.

##### Alta quota di energie rinnovabili nella produzione annuale di calore

- Caldaia a combustibile fossile in funzione solo quando è assolutamente necessario durante i picchi di carico e spenta il più presto possibile.

#### Riduzione delle emissioni

- Le misure elencate aiutano a ridurre le emissioni indesiderate nel funzionamento regolare e nelle fasi di funzionamento transitorio delle caldaie a biomassa.
- Esaminare il retrofit della precipitazione delle polveri anche senza requisiti legali più severi, al fine di aumentare proattivamente l'accettazione dei sistemi di combustione della biomassa.

#### Misure commerciali/amministrative

- Revisione regolare delle spese e della struttura dei costi e possibili risparmi
- Riorganizzazione finanziaria se necessario
- Ottimizzazione delle tariffe elettriche attraverso il confronto delle tariffe e l'acquisto congiunto di elettricità/pooling (per esempio attraverso le associazioni di operatori). La preferenza dovrebbe essere data all'elettricità verde certificata.
- Cooperazione di diversi impianti per lo stoccaggio dei pezzi di ricambio, lo smaltimento comune delle ceneri e l'acquisto di combustibile
- Ottimizzazione delle tariffe di assicurazione e di altre spese
- Utilizzo di strumenti software per semplificare la fatturazione del calore e la gestione operativa

## 18.3 Ristrutturazione di impianti esistenti

### 18.3.1 Introduzione

L'analisi e la valutazione degli impianti esistenti descritte nel capitolo 18.2 scopo di ottimizzare i componenti esistenti dell'impianto di produzione e distribuzione del calore, migliorando così la situazione tecnica ed economica dell'intero sistema. Tuttavia, la valutazione può anche concludere che singoli componenti dell'impianto o addirittura l'intero impianto dovrebbero essere rinnovati. Nella maggior parte dei casi, questo riguarda il settore della produzione di calore.

I seguenti motivi possono portare al retrofit di singoli componenti, a una ristrutturazione parziale o addirittura completa del sistema di generazione del calore, anche senza un'analisi preliminare dell'impianto:

- Difficoltà economiche in corso
- Scadenza della vita utile prevista dei componenti o delle caldaie a biomassa
- Cambiamenti nei regolamenti legali, per esempio per quanto riguarda i limiti di emissione, l'obbligo di accumulo di calore, l'obbligo di fornire prove sulla disponibilità di separazione delle polveri, la restrizione dell'uso di combustibili fossili
- Reclami del vicinato a causa di rumori o odori molesti nell'ambiente vicino all'impianto di riscaldamento centrale

- Scadenza imminente per l'attuazione di ordini ufficiali, per esempio l'adeguamento delle precipitazioni di polvere e/o dei serbatoi di accumulo di calore

Se un impianto esistente deve essere parzialmente o completamente rinnovato, il potenziale di ottimizzazione mostrato nel capitolo 18.2 dovrebbe sempre essere studiato e, se possibile, sfruttato.

### 18.3.2 Procedura per la ristrutturazione

Anche se inizialmente si considera solo la ristrutturazione di un singolo componente, è necessaria un'analisi olistica dell'impianto da parte di un esperto. I seguenti passi devono essere fatti per la ristrutturazione di impianti esistenti:

- Analisi dello status quo della tecnologia esistente e della situazione economica attuale
- Valutazione dei risultati dell'analisi dello status quo
- Identificazione delle misure di risanamento con analisi costi/benefici (se necessario, effettuare chiarimenti approfonditi nelle sotto-aree) e raccomandazione di una strategia di risanamento.
- Attuare la strategia di ristrutturazione e monitorarne il successo

Se si sta considerando una ristrutturazione completa di un impianto esistente, la procedura è fondamentalmente la stessa della realizzazione di una nuova installazione. Si deve quindi seguire l'intero processo di pianificazione descritto nella Parte 3 del Manuale di pianificazione. Generalmente si raccomanda di far accompagnare la ristrutturazione di un impianto da un Q-Manager per impianti di teleriscaldamento a biomassa.

#### Analisi dello status quo con valutazione dei risultati

In un primo passo, lo strumento di consultazione "Erneuerung Holzenergieanlagen" elencato nel capitolo 18.2.3 può essere usato per identificare le priorità iniziali di possibili misure di ristrutturazione. In una seconda fase, dovrebbe essere effettuata l'analisi dettagliata dello status quo della tecnologia e dell'economia descritta nel capitolo 18.2.2 La valutazione dei risultati dovrebbe prendere in considerazione anche i seguenti aspetti:

- **Valutazione del fabbisogno e scelta del sistema adeguato** (vedi capitolo 11): Oltre al fabbisogno annuo di calore e al fabbisogno di capacità termica dell'impianto attuale, si deve tenere conto dello sviluppo a medio e lungo termine del potenziale bacino di approvvigionamento di calore, vale a dire delle future ristrutturazioni di edifici termici e del futuro sviluppo di abitazioni, commercio e industria nel bacino di approvvigionamento di calore. Si deve trovare un equilibrio tra la valutazione più realistica possibile dello sviluppo futuro e riserve inutili ed eccessive.
- **Distribuzione del calore** (vedi capitolo 12): Oltre alla densificazione nella rete di calore esistente, deve essere esaminata anche l'espansione. Questo richiede chiarimenti approfonditi del potenziale di rendimento nella rete di riscaldamento esistente usando strumenti di analisi come THENA [102], Sophena

[99]o altri. Se altre reti di riscaldamento sono in funzione nelle vicinanze della rete di riscaldamento esistente, si dovrebbe anche esaminare un possibile collegamento con queste reti. In caso di tassi elevati di perdite, rotture di tubi o incertezze sulla condizione della rete di riscaldamento e sulla durata di vita prevista, si raccomanda di effettuare un'analisi approfondita della rete di riscaldamento con l'aiuto di esperti e aziende specializzate.

- **Generazione di calore** (vedi capitolo 13): L'analisi dovrebbe includere tutti i sistemi e i componenti esistenti del sistema di riscaldamento, cioè i generatori di calore, i serbatoi di stoccaggio, l'idraulica, le pompe, la logistica del combustibile e delle ceneri, i sistemi I&C, la visualizzazione del processo. Chiarimenti più approfonditi dovrebbero mostrare,
  - in quali condizioni sono i sistemi e i componenti esistenti e se possono continuare ad essere utilizzati a medio o lungo termine.
  - se le misure per aumentare l'efficienza/il recupero di calore possono essere realizzate.
  - se le capacità di stoccaggio esistenti sono sufficienti o se capacità di stoccaggio aggiuntive portano un vantaggio.
  - se possono essere implementate misure per ridurre i costi di manutenzione e riparazione.
  - se possono essere implementate misure per ridurre le emissioni di rumore dell'impianto di riscaldamento a biomassa.
  - se si possono implementare misure per evitare il fastidio degli odori (innalzamento del camino, processo di combustione ottimizzato).
  - se si possono integrare fonti di calore alternative.
  - se i sistemi di controllo e acquisizione dati possono essere modernizzati.
  - se è possibile una procedura passo dopo passo e come può essere garantita la fornitura di calore durante la ristrutturazione dell'impianto.
- **Combustibile** (vedi capitolo 4): Deve essere chiarito come si svilupperà il potenziale di biomassa disponibile in futuro e se la qualità del combustibile disponibile è adatta ai componenti esistenti e/o nuovi.
- **Costruzione dell'impianto di riscaldamento**: Deve essere chiarito come i componenti che non sono più utilizzati possono essere rimossi dal sistema di riscaldamento e come possono essere introdotti nuovi componenti. Se necessario, devono essere prese misure strutturali appropriate.
- **Efficienza economica** (vedi capitolo 10): Come parte dell'analisi dei contratti di fornitura di calore, si dovrebbe anche esaminare se l'operatore del sistema può regolare le tariffe di calore.
- **Aspetti legali**: Deve essere chiarito se le condizioni quadro legali (ad esempio i limiti di emissione, le procedure di autorizzazione e di permesso) sono cambiate e come questo influisce sulle potenziali misure di ristrutturazione.

#### Mostrare la strategia di ristrutturazione in uno studio di fattibilità

Uno studio di fattibilità dovrebbe valutare diverse strategie di ristrutturazione per mezzo di un'analisi costi-benefici e includere i seguenti punti:

- Valutazione complessiva dell'impianto esistente
  - Potenziale dell'impianto esistente
  - Potenziale di espansione della rete di riscaldamento
  - Analisi del cliente
  - Sviluppo politico e sociale
- Identificare le misure di ristrutturazione (vedi capitolo 11.2)
- Mostra le misure di ristrutturazione per la generazione di calore:
  - Adattare o rinnovare la precipitazione di particelle
  - Retrofit del serbatoio di stoccaggio, retrofit o miglioramento della gestione della ricarica dello stoccaggio
  - Modificare o sostituire il sistema di erogazione del combustibile
  - Sostituire caldaie a biomassa singole o multiple
  - Ricircolo dei gas di scarico a stadi (primario/secondario)
  - Recupero di calore in retrofit
  - Ottimizzare l'idraulica dell'impianto di riscaldamento
  - Migliorare la logistica per la rimozione delle ceneri e il sistema di trasporto delle ceneri, compreso lo stoccaggio intermedio delle ceneri
  - Integrare nuovi vettori di calore/fonti di calore
  - Controllare la possibilità di generare energia
- Presentare misure di ristrutturazione per la distribuzione del calore:
  - Acquisizione professionale e cura del cliente
  - Definizione delle fasi di espansione
  - Riduzione della temperatura di ritorno per il retrofit del recupero di calore
  - Concetto di rinnovamento e modernizzazione a lungo termine della rete di riscaldamento. Questo include, tra l'altro, il rinnovamento sistematico di sezioni di tubi, il coordinamento con altre attività di costruzione (per esempio il rinnovamento delle strade) nella zona di approvvigionamento, la sostituzione di scambiatori di calore, regolatori, valvole di controllo o l'intera stazione di trasferimento casa).
- Esaminare l'adeguata procedura passo dopo passo delle singole misure di ristrutturazione
- Mostrare come sarà garantito il funzionamento dell'impianto durante la fase di conversione
- Offrire nuovi servizi (connessione internet in fibra ottica, posa di cavi nella rete di riscaldamento esistente, rete di raffreddamento supplementare, espansione dei servizi per i clienti (ottimizzazione del lato secondario o pulizia dello scambiatore di calore, e-car sharing, ecc.))
- Fare una raccomandazione per una strategia comune di ristrutturazione e rinnovo

#### Attuazione della strategia di ristrutturazione

Le misure di ristrutturazione e rinnovamento decise devono essere implementate, e deve essere effettuata una revisione delle prestazioni (ad esempio attraverso il monitoraggio con QM per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa).

### 18.3.3 Ristrutturazione non possibile

Lo studio di fattibilità può concludere che una ristrutturazione non può essere effettuata o può essere effettuata solo in condizioni molto difficili per cause tecniche o amministrative. I motivi sono, ad esempio, la mancanza di spazio nella centrale termica o nell'immobile, contratti di locazione in scadenza, permessi di costruzione o di esercizio mancanti o non ottenibili, modifiche significative delle condizioni quadro tecniche o giuridiche. Inoltre, è possibile che la redditività economica di una ristrutturazione o il finanziamento necessario non possano essere garantiti. In tali situazioni, devono essere esplorate altre strade per assicurare il futuro funzionamento della struttura.

#### Nuova costruzione dell'impianto di generazione di calore

Se la ristrutturazione dell'impianto di generazione di calore esistente non è possibile, si dovrebbe considerare una disattivazione e una costruzione completamente nuova, nello stesso luogo o in un altro nella zona della rete di teleriscaldamento esistente. Questo offre la possibilità di un nuovo processo di pianificazione senza restrizioni tecniche ed economiche. In particolare, questo crea la possibilità di densificare ed espandere la rete di calore esistente. La progettazione del nuovo impianto di generazione di calore offre l'opportunità di realizzare un sistema con costi operativi e di combustibile più bassi perché:

- possono essere utilizzati assortimenti di combustibile più convenienti
- la logistica del combustibile e delle ceneri può essere ridefinita
- possono essere inclusi nuovi vettori di calore/fonti di calore
- è possibile scegliere una tecnologia di riscaldamento e un dimensionamento del sistema che raggiunga un'alta efficienza annuale, consenta bassi costi di manutenzione e riparazione e abbia un grande potenziale di espansione a lungo termine.

#### Fusione con altre reti

Si dovrebbe anche considerare se i problemi esistenti potrebbero essere risolti fondendo la rete di riscaldamento esistente con un'altra rete di riscaldamento nelle vicinanze, invece che con una ristrutturazione/nuova costruzione. Se la capacità dell'altro impianto di riscaldamento non è sufficiente per la fusione delle due reti di riscaldamento o il potenziale di espansione è già esaurito, si può anche esaminare se una nuova centrale di riscaldamento per entrambe le reti di riscaldamento può essere costruita in un nuovo luogo.

Se ci sono diverse altre reti di riscaldamento nelle immediate e più ampie vicinanze dell'impianto di generazione

di calore esistente, si dovrebbe esaminare se una fusione di tutte le reti di teleriscaldamento sarebbe concepibile e vantaggiosa. I singoli impianti di riscaldamento potrebbero essere utilizzati insieme o si potrebbe costruire un nuovo impianto di riscaldamento centrale in un luogo adatto.

#### Contrattazione

In caso di difficoltà nella realizzazione della ristrutturazione di un impianto, il coinvolgimento di un appaltatore può essere un'opzione. L'esperienza pratica ha dimostrato che gli appaltatori specializzati possono portare nuovi concetti, modelli di business e prospettive di sviluppo a lungo termine in un progetto e quindi far avanzare la rivitalizzazione dei vecchi impianti.

Alcuni appaltatori specializzati spesso gestiscono già diversi impianti di teleriscaldamento a biomassa e reti di teleriscaldamento e hanno esperienza nella valutazione e nella rivitalizzazione degli impianti esistenti. Ad esempio, è possibile sfruttare le sinergie e risparmiare sui costi grazie alla gestione centralizzata, al marketing professionale, al personale operativo esistente o alle catene di fornitura del combustibile esistenti.

# Appendice

## 19 Regolamento

Quando si costruisce e si gestisce un impianto di riscaldamento a biomassa, è necessario osservare una vasta gamma di requisiti. È responsabilità del progettista conoscere e applicare le leggi, le ordinanze, gli standard e le linee guida locali, nonché le altre norme da rispettare. La seguente è una selezione di regolamenti rilevanti per la Svizzera, la Germania e l'Austria. Oltre ai regolamenti nazionali, possono essere rilevanti anche i regolamenti internazionali, per esempio l'Organizzazione Internazionale per la Standardizzazione (ISO), il Comitato Europeo per la Standardizzazione (CEN). La selezione si basa, tra l'altro, sui seguenti argomenti:

### Requisiti del combustibile

I requisiti del combustibile dei regolamenti elencati definiscono, tra l'altro, quali combustibili sono permessi per quale tipo di sistema di combustione.

### Emissioni inquinanti

L'emissione di inquinanti atmosferici come polvere e monossido di carbonio, a volte anche ossidi di azoto e biossido di zolfo, è limitata. Di solito, i limiti dipendono dalla potenza termica nominale di un impianto di riscaldamento a biomassa e dal combustibile utilizzato.

### Cenere

Il trasporto della cenere di legno, il suo possibile utilizzo come fertilizzante e/o lo smaltimento delle ceneri (di filtraggio) sono regolati dalla legge. In caso di futuro riciclaggio della cenere, è necessaria la raccolta separata delle frazioni di cenere.

### Salute e sicurezza

La prevenzione degli incidenti è sempre importante. Per esempio, si deve evitare che una persona che entra in un deposito di combustibile di legno cada, rimanga sepolta o si ferisca con il sistema di trasporto. Lo stoccaggio di combustibile umido produce gas di fermentazione che possono raccogliersi sul pavimento del silo, della sala idraulica e del locale caldaie; le aree pericolose devono essere dotate di dispositivi di ventilazione adeguati in modo che non ci sia mai un rischio di asfissia per il personale. In alcuni casi, le autorità competenti prescrivono anche dispositivi di avvertimento CO per la protezione personale. Sui depositi di trucioli di legno deve essere apposto un avviso che indichi la possibile formazione di muffe e il relativo pericolo per la salute. Quando si stoccano pellet di legno in uno spazio chiuso, è necessario un avviso che indichi il rischio di formazione di monossido di carbonio. Anche la manipolazione della cenere può essere associata a dei pericoli e il personale deve essere protetto adottando misure appropriate (ad es. protezione dalla polvere).

### Dispositivi di sicurezza idraulici

La prevenzione di un aumento inammissibile della temperatura o della pressione nel sistema idraulico della generazione di calore, in particolare nella caldaia, deve essere garantita dall'installazione di dispositivi di sicurezza.

### Prevenzione del fuoco

Lo sviluppo e la propagazione di un incendio nel locale caldaia e nella zona di stoccaggio del combustibile devono essere prevenuti fornendo attrezzature e misure strutturali adeguate. Devono essere disponibili uscite di emergenza.

### Protezione dal rumore

Gli effetti della propagazione del suono (suono trasportato dall'aria e suono trasportato dalla struttura) durante il funzionamento di un impianto di riscaldamento a biomassa devono essere sempre chiariti e devono essere rispettate le norme regionali di protezione dal rumore. Le principali fonti di rumore sono il ventilatore di scarico, la cima del camino, lo scarico del silo, la tecnologia di trasporto e di convogliamento e, eventualmente, la preparazione dei combustibili a base di cippato in loco. Le emissioni di rumore devono essere ridotte con misure adeguate.

### Sistema di protezione dai fulmini

L'impianto di riscaldamento a biomassa, i macchinari e la rete di teleriscaldamento devono essere protetti dai fulmini per mezzo di dispositivi di protezione contro i fulmini e le sovratensioni.

### Prevenzione delle esplosioni

Nelle aree pericolose con alto rischio di esplosione, devono essere previste misure preventive costruttive e operative.

### Regolamenti, ordinanze, standard e linee guida in Svizzera

Quando si realizza un impianto di riscaldamento in Svizzera, è necessario rispettare numerose disposizioni di legge, ordinanze, direttive e norme. Quella che segue è una selezione delle norme importanti per la tecnica di riscaldamento e per l'utilizzo di energia da biomassa. Si declina ogni responsabilità per eventuali errori o omissioni. Le disposizioni legali devono essere sempre applicate nella versione più recente.

Tabella 19.1 Regolamenti, ordinanze, standard e linee guida in Svizzera (selezione).

Argomento	Titolo breve	Titolo	Descrizione
<b>Domanda valutazione</b>	Norma SIA 380/1	Grundlagen für energetische Berechnungen von Gebäuden	Basi per i calcoli energetici degli edifici
	Norma SIA 384/1 /2 /3	Heizungsanlagen in Gebäuden	Sistemi di riscaldamento negli edifici
	Norma SIA 385/1	Impianti per l'acqua di mare in edifici - Fondamenti e soluzioni	Impianti per l'acqua calda sanitaria negli edifici - Principi e requisiti di base
<b>Accordi contrattuali</b>	SIA 108	Ordnung für Leistungen und Honorare der Ingenieurinnen und Ingenieure der Bereichen Gebäudetechnik, Maschinenbau und Elektrotechnik	Regolamento per i servizi e gli onorari degli ingegneri nei campi della tecnologia edilizia, meccanica ed elettrica
	SIA 112	Modell Bauplanung	Design dell'edificio
	SIA 118	Condizioni generali per la costruzione di edifici	Condizioni generali per i lavori di costruzione
<b>Combustibile requisiti</b>	LRV	Luftreinhalte-Verordnung	Ordinanza sul controllo dell'inquinamento dell'aria
	EN ISO 17225	Feste Biobrennstoffe (ersetzt EN 14961)	Biocarburanti solidi (sostituisce EN 14961)
<b>Requisiti di emissione</b>	LRV	Luftreinhalte-Verordnung	Ordinanza sul controllo dell'inquinamento dell'aria
	Cercl'Air Empfehlung Nr. 31p	Vollzugsblätter Emissionsüberwachung Holzfeuerungen über 70 kW <sub>FWL</sub>	Schede di applicazione, monitoraggio delle emissioni, sistemi di combustione a biomassa oltre i 70 kW di capacità di ingresso
<b>Genere</b>	VVEA	Regolamento sulla creazione e la gestione di un'impresa di trasporti	Ordinanza sulla prevenzione e lo smaltimento dei rifiuti
	VeVA	Regolamento sulla circolazione con le Abfällen	Ordinanza sul movimento dei rifiuti
<b>Sicurezza</b>	Suva	Istituto svizzero di assicurazione contro gli infortuni	Fondo svizzero di assicurazione contro gli infortuni
		Grünschnittsilos (Best. Nr. 66050.D)	Silo per cippato verde (numero d'ordine 66050.D)
		Checkliste Grünschnittsilos (Best. Nr. 67006.D)	Lista di controllo silos di trucioli verdi
		Checkliste Holzspänesilos (Best. Nr. 67007.D)	Lista di controllo silos di trucioli di legno
		Merkblatt Explosionsschutz (www.suva.ch/2153.d)	Opuscolo sulla prevenzione delle esplosioni
	SWIKI	SUVA 88813 - Die acht lebenswichtigen Regeln der Instandi teleriscaldamentooaltung	Le otto regole vitali della manutenzione
		Associazione svizzera di ingegneria geotecnica (Schweizerischer Verein von Gebäudetechnik-Ingenieuren)	Associazione svizzera degli ingegneri dei servizi di costruzione
		Richtlinie 91-1 Be- und Entlüftung von Heizräumen	Linee guida per la ventilazione dei locali caldaia
		Richtlinie HE301-01 Sicherheitstechnische Einrichtung für Heizungsanlagen (ersetzt Richtlinie 91-1 mit Ergänzungen Nr.1 und 2)	Linee guida sulle attrezzature di sicurezza per i sistemi di riscaldamento (sostituisce la linea guida 91-1 con i supplementi No.1 e 2)
		BT 102-01 Wasserbeschaffenheit für Gebäudetechnik-Anlagen	Qualità dell'acqua per le installazioni di servizi di costruzione
	Richtlinie HE200-01 Lagerung von Holzpellets beim Endkunden	Linee guida per lo stoccaggio di pellet di legno presso il cliente finale	

	SN EN 12779	Sicherheit von Holzbearbeitungsmaschinen - Ortsfeste Absauganlagen für Holzstaub und Späne - Sicherheitstechnische Anforderungen	Sicurezza delle macchine per la lavorazione del legno - Sistemi fissi di aspirazione per polvere e trucioli di legno - Requisiti di sicurezza
	DGUV-Informatione 209-083	Silos per il lagern von Holzstaub und -spänen - Bauliche Gestaltung, Betrieb	Silos per lo stoccaggio di polvere di legno e cippato - Progettazione strutturale, funzionamento
	DGUV-Informatione 209-045	Absauganlagen und Silos für Holzstaub und -späne; Brand- und Explosionsschutz	Sistemi di estrazione e silos per polvere di legno e trucioli; Prevenzione degli incendi e delle esplosioni
	BGI Informationen 739-2		
	DGV proPellets.ch	Druckgeräteverordnung DGV (SR 930.114) Empfehlungen zur Lagerung von Holzpellets 2018	Ordinanza sulle attrezzature a pressione Raccomandazioni per lo stoccaggio dei pellet di legno
<b>Fuoco prevenzione</b>	VKF          Lokale feuerpolizeiliche Vorschriften	Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen Brandschutzrichtlinie 24-15 Wärmetechnische Anlagen 104-15 Spänefeuerungen 105-15 Schnitzelfeuerungen 106-15 Pelletsfeuerungen Abgasanlagen ff	Associazione degli assicuratori cantonali contro gli incendi      Linee guida per la protezione antincendio Sistemi termici  Forni a trucioli Forni a cippato Forni a pellet Attrezzatura per i gas di scarico Norme antincendio locali
<b>Rumore riduzione</b>	LSV SIA 181	Lärmschutz-Verordnung Schallschutz im Hochbau	Ordinanza sull'abbattimento del rumore Isolamento acustico nella costruzione di edifici
<b>Sezione del camino e altezza del camino</b>	LRV SIA 384/4 BAFU	Luftreinhalte-Verordnung Kamine für den Hausbrand Bundesamt für Umwelt UV-1318-D Mindesthöhe von Kaminen über Dach	Ordinanza sul controllo dell'inquinamento dell'aria Camini per uso domestico Ufficio federale dell'ambiente UV-1318-D Altezza minima dei camini sopra il tetto

**Regolamenti, ordinanze, standard e linee guida in Germania**

Quando si realizza un impianto di riscaldamento in Germania, si devono osservare numerose disposizioni legali, regolamenti, direttive e norme. Oltre al diritto tedesco, le norme giuridiche e gli standard europei stanno diventando sempre più importanti. Quella che segue è una selezione delle norme importanti per la tecnologia di riscaldamento e per l'utilizzo di energia da biomassa. Nessuna responsabilità per eventuali errori od omissioni. Le norme legali devono essere sempre applicate nella versione più recente.

Tabella 19.2 Regolamenti, ordinanze, standard e linee guida in Germania (selezione).

Argomento	Titolo breve	Titolo	Descrizione
<b>Domanda valutazione</b>	GEG	Gebäudeenergiegesetz	Legge sull'energia degli edifici
	DIN EN 12831-1	Heizungsanlagen in Gebäuden	Sistemi di riscaldamento negli edifici
	DIN V 18599	Energetische Bewertung von Gebäuden	Valutazione energetica degli edifici
	DIN EN ISO 52016-1	Energetische Bewertung von Gebäuden	Valutazione energetica degli edifici
	VDI 2067	Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen	Efficienza dei sistemi tecnici dell'edificio
<b>Accordi contrattuali</b>	BGB	Bürgerliches Gesetzbuch	Codice civile
	VgV	Vergabeverordnung	Ordinanza sugli appalti
	VOB	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen	Procedure del contratto di costruzione tedesco
	AVBFernwärmeV	Verordnung über allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Fernwärme	Ordinanza sulle condizioni generali per la fornitura di teleriscaldamento
	HeizKV	Verordnung über verbrauchsabhängige Abrechnung der Heiz- und Warmwasserkosten	Riscaldamento Ordinanza sulla fatturazione dei costi di riscaldamento e acqua calda in base al consumo
	HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure	Scala degli onorari per architetti e ingegneri
<b>Combustibile requisiti</b>	BlmSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz	Legge federale sul controllo dell'immigrazione
	TA Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft	Istruzioni per il controllo della qualità dell'aria
	1. BlmSchV	Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen	Ordinanza sui piccoli e medi impianti di combustione
	4. BlmSchV	Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen	Ordinanza sulle installazioni che richiedono un permesso
	13. BlmSchV	Verordnung über Grossfeuerungs-, Gasturbinen- und Verbrennungsmotoranlagen	Ordinanza sui grandi impianti di combustione, turbine a gas e motori a combustione interna
	44. BlmSchV	Verordnung über mittelgrosse Feuerungs-, Gasturbinen- und Verbrennungsmotoranlagen	Ordinanza sui medi impianti di combustione, turbine a gas e motori a combustione interna
	DIN EN ISO 17225	Biogene Festbrennstoffe (ersetzt DIN EN 14961)	Combustibili solidi biogenici (sostituisce DIN EN 14961)
<b>Emissione e immissioni requisiti</b>	BlmSchG	See above	vedi sopra
	TA Luft		
	1. BlmSchV		
	4. BlmSchV		
	13. BlmSchV		
	44. BlmSchV		
	VDI 2066	Messen von Partikeln	Misurazione delle particelle
	VDI 3462-4	Emissionsminderung	Riduzione delle emissioni
VDI 3253	Emissionen aus stationären Quellen: Methoden zum qualitativen Nachweis des kontinuierlichen effektiven Betriebs von Staubabscheidern bei Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe mit einer Feuerungswärmeleistung zwischen 1 MW und weniger als 5 MW	Emissioni da fonti fisse: Metodi per la dimostrazione qualitativa del funzionamento efficace e continuo dei collettori di polveri in impianti di combustione per combustibili solidi con una potenza termica nominale tra 1 MW e meno di 5 MW	

	AwSV	Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen	Ordinanza sugli impianti per la manipolazione di sostanze pericolose per l'acqua	
	BBodSchV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung	Ordinanza federale sulla protezione del suolo e sui siti contaminati	
	KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz	Legge tedesca sulla gestione dei rifiuti a ciclo chiuso delle sostanze	
	DüG	Düngegesetz	Legge sui fertilizzanti	
	AVV	Abfallverzeichnis-Verordnung	Ordinanza sul catalogo dei rifiuti	
	BioAbfV	Bioabfallverordnung	Ordinanza sui rifiuti organici	
	DepV	Deponieverordnung	Ordinanza sulle discariche	
	DüMV	Düngemittelverordnung	Ordinanza sui fertilizzanti	
	DüV	Düngeverordnung	Ordinanza di fertilizzazione	
	NachwV	Nachweis-Verordnung	Ordinanza di verifica	
<b>Sicurezza</b>	UVV	Unfallverhütungsvorschriften	Norme di prevenzione degli incidenti	
	DGUV	DGUV Vorschriften- und Regelwerk	Regolamento dell'assicurazione legale tedesca contro gli infortuni	
	MRL	Maschinen-Richtlinie	Direttiva Macchine	
	DGRL	Druckgeräte-Richtlinie	Direttiva sulle attrezzature a pressione	
	Niederspannungs-RL	Niederspannungsrichtlinie	Direttiva sulla bassa tensione	
	EMV-RL	Elektromagnetische Verträglichkeit-Richtlinie	Direttiva sulla compatibilità elettromagnetica	
	REACH	REACH-Verordnung	Regolamento sulla registrazione, valutazione, autorizzazione e restrizione delle sostanze chimiche	
	BetrSichV	Betriebssicherheitsverordnung	Ordinanza sulla sicurezza e la salute industriale	
	DIN EN ISO 12100	Sicherheit von Maschinen	Sicurezza dei macchinari	
	DIN EN 303-5	Heizkessel - Heizkessel für feste Brennstoffe, manuell und automatisch beschickte Feuerungen, Nennwärmeleistung bis 500 kW - Begriffe, Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung	Caldaie per riscaldamento - Caldaie per combustibili solidi, alimentate manualmente e automaticamente, portata termica nominale non superiore a 500 kW - Definizioni, requisiti, prove e marcatura	
	DIN EN 12828	Heizungsanlagen in Gebäuden – Planung von Wasserheizungsanlagen	Sistemi di riscaldamento negli edifici - Progettazione di sistemi di riscaldamento dell'acqua	
	DIN EN 61000	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	Compatibilità elettromagnetica (EMC)	
	DIN 4747	Fernwärmeanlagen	Sistemi di teleriscaldamento	
	VDI 2694	Bunker und silos	Bunker e silos	
	VDI 2035	Verhütung von Schäden durch Korrosion und Steinbildung in Warm-wasserheizungsanlagen	Prevenzione dei danni dovuti alla corrosione e alla formazione di calcare nei sistemi di riscaldamento dell'acqua calda	
	VDI 3464	Lagerung von Holzpellets beim Verbraucher - Anforderungen an Lager sowie Herstellung und Anlieferung der Pellets unter Gesundheits- und Sicherheitsaspekten	Stoccaggio di pellet di legno presso il consumatore - Requisiti per lo stoccaggio così come per la produzione e la consegna dei pellet sotto gli aspetti di salute e sicurezza	
	AGFW-FW	AGFW-Regelwerk	Regolamento AGFW	
	DEPV	Leitfaden zur Lagerung von Holzpellets	Linee guida per lo stoccaggio di pellet di legno	
	<b>Fuoco e prevenzione delle esplosioni</b>	MBO	Musterbauordnung	Codice edilizio modello
		FeuV	Feuerungsverordnung	Ordinanza di tiro
		VVB	Verordnung über die Verhütung von Bränden	Ordinanza sulla prevenzione degli incendi
		ATEX	ATEX-Herstellerrichtlinie, ATEX-Betriebsrichtlinie	Direttiva del produttore ATEX (ATmosphères Explosives), direttiva di funzionamento ATEX
ISO 8421		Brandschutz, Begriffe	Prevenzione degli incendi, termini	
DIN EN 1127			Atmosfere esplosive - Prevenzione delle	

	DIN 4102	Explosionsfähige Atmosphären - Explosions-schutz	esplosioni
	VDI 2263	Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen	Comportamento al fuoco di materiali e componenti da costruzione
		Staubbrände e Staubexplosionen	Incendi di polvere ed esplosioni di polvere
<b>Protezione dal rumore</b>	BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz	Legge federale sul controllo dell'immigrazione
	TA Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm	Istruzioni tecniche per la protezione contro il rumore
	AGFW-FW	AGFW-Regelwerk	Set di regole AGFW
<b>Camino</b>	TA Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft	Istruzioni tecniche sul controllo della qualità dell'aria
	DIN EN 13084	Freistehende Schornsteine	Camini indipendenti
	DIN EN 13384	Abgasanlagen - Wärme- und strömungstechnische Berechnungsverfahren	Sistemi di scarico - Metodi di calcolo termico e fluidico
	DIN 1298	Abgasanlagen - Verbindungsstücke für Feuerungsanlagen	Sistemi di scarico - Pezzi di collegamento per sistemi di combustione
	DIN 18160	Abgasanlagen	Sistemi di scarico
	VDI 3781-4	Ableitbedingungen für Abgase	Condizioni di scarico dei gas di scarico
<b>Protezione dai fulmini</b>	DIN EN 61643	Überspannungsschutzgeräte für Niederspannung	Dispositivi di protezione dalle sovratensioni a bassa tensione

### Regolamenti, ordinanze, standard e linee guida in Austria

Quando si realizza un impianto di riscaldamento in Austria, è necessario osservare numerose disposizioni di legge, ordinanze, linee guida e norme. Quella che segue è una selezione delle norme più importanti in Austria per la tecnologia di riscaldamento e per l'utilizzo di energia da biomassa. Nessuna responsabilità per eventuali errori od omissioni.

Le disposizioni legali devono essere sempre applicate nella versione più recente. Le leggi e le ordinanze austriache possono essere consultate gratuitamente su <http://www.ris.bka.gv.at>. Gli standard e le linee guida applicabili a livello nazionale sono emessi, tra gli altri, dai seguenti enti:

- Istituto austriaco di standardizzazione (Austrian Standards Institute) - <http://www.austrian-standards.at>
- Associazione austriaca per l'ingegneria elettrica (ÖVE) - <http://www.ove.at>
- Consiglio austriaco per l'ingegneria agricola e lo sviluppo rurale (ÖKL) - <http://www.oekl.at>
- Gruppo di lavoro austriaco per la riduzione del rumore (ÖAL) - <http://www.oal.at>
- Prüfstelle für Brandschutztechnik - <http://www.pruefstelle.at>, Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (AUVA) - <http://www.auva.at>.

Tabella 19.3 Regolamenti, ordinanze, standard e linee guida in Austria (selezione).

Argomento	Titolo breve	Titolo	Descrizione
<b>Plantoperazione</b>	GewO	Gewerbeordnung	Regolamenti commerciali
	NSG	Naturschutzgesetze der Länder	Leggi sulla conservazione della natura
<b>Domanda valutazione e concezione</b>	NORMA EN ISO 52016	Energetische Bewertung von Gebäuden	Valutazione energetica degli edifici
	ÖNORM EN 12828	Heizungsanlagen in Gebäuden - Planung von Warmwasser-Heizungsanlagen	Sistemi di riscaldamento negli edifici -
	ÖNORM H 5151-1	Planung von zentralen Warmwasser-Heizungsanlagen mit oder ohne Warmwasserbereitung - Teil 1: Gebäude mit einem spezifischen Transmissionsleitwert über 0,5 W/(K.m²) - Ergänzungsnorm zu ÖNORM EN 12828	Progettazione di sistemi di riscaldamento dell'acqua calda sanitaria
	NORMA EN 12831-1	Heizungsanlagen in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast	Sistemi di riscaldamento negli edifici - Metodo di calcolo del carico di riscaldamento standard
	ÖNORM H 7500-1	Heizungssysteme in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast für Gebäude mit einem mittleren U-Wert $\geq 0,5$ W/(m² - K) - Nationale Ergänzung zu ÖNORM EN 12831-1	Sistemi di riscaldamento negli edifici - Procedura per il calcolo del carico di riscaldamento standard per gli edifici
	ÖNORM H 7500-3	Heizungssysteme in Gebäuden - Teil 3: Vereinfachtes Verfahren zur Berechnung der Norm-Gebäudeheizlast	Sistemi di riscaldamento negli edifici - Parte 3: Metodo semplificato per il calcolo del carico di riscaldamento standard degli edifici
	ÖNORM H 5142	Haustechnische Anlagen - Hydraulische Schaltungen für Warmwasser-Heizungsanlagen, Kühlsysteme und solarthermische Anlagen	Servizi dell'edificio - circuiti idraulici per sistemi di riscaldamento dell'acqua calda, sistemi di raffreddamento e sistemi solari termici
	ÖNORM B 2503	Kanalanlagen - Ergänzende Richtlinien	Sistemi fognari - Linee guida supplementari
	ÖNORM B 2506	Regenwasser-Sickeranlagen	Sistemi di infiltrazione dell'acqua piovana
	ÖNORM H 5050	Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden	Prestazioni energetiche complessive degli edifici
OIB-RL 6/2019	Energieeinsparung e Wärmeschutz	Linee guida sul risparmio energetico e l'isolamento termico degli edifici dell'Istituto Austriaco di Ingegneria Edile	
ÖNORM M 7140	Betriebswirtschaftliche Vergleichsrechnung für Energiesysteme nach dynamischen Rechenmethoden	Calcolo economico comparativo per i sistemi energetici secondo i metodi di calcolo dinamico	

	ÖKL-Merkblatt Nr. 67	Planung von Biomasseheizwerken und Nahwärmenetzen	Opuscolo sulla pianificazione di impianti di riscaldamento a biomassa e reti di riscaldamento locale
	VDI 2067	Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen	Efficienza dei sistemi tecnici dell'edificio
<b>Contrattuale accordi</b>	BVerG	Bundesvergabebezug	Legge federale sugli appalti
	HeizKG	Heizkostenabrechnungsgesetz	Legge sulla liquidazione dei costi di riscaldamento
	ÖNORM A 2050	Vergabe von Aufträgen über Leistungen - Ausschreibung, Angebot und Zuschlag - Verfahrensnorm	Aggiudicazione di contratti di servizi - Bando di gara, offerta e aggiudicazione - Norma procedurale
	ÖNORM A 2060	Heizungsanlagen in Gebäuden - Planung von Warmwasser-Heizungsanlagen	Disposizioni contrattuali generali per i servizi - Standard di contratto
<b>Combustibile requisiti</b>	NORMA EN ISO 17225	Biogene Festbrennstoffe	Combustibili solidi biogenici
	ÖNORM C4005	Holzhackgut und Schredderholz für die energetische Verwertung in Anlagen mit einer Nenn-Wärmeleistung über 500 kW - Anforderungen und Prüfbestimmungen - Nationale Ergänzung zu ÖNORM EN ISO 17225-1	Cippato e legno triturato per il recupero energetico in impianti con una potenza termica nominale superiore a 500 kW - Requisiti e specifiche di prova - Supplemento nazionale a ÖNORM EN ISO 17225-1
	ÖNORM M 7132	Energiewirtschaftliche Nutzung von Holz und Rinde als Brennstoff - Begriffsbestimmungen und Merkmale	Recupero di energia da legno e corteccia come combustibile - Definizioni e caratteristiche
	ÖNORM S2100	Abfallverzeichnis	Elenco dei rifiuti
<b>Emissioni e immissioni requisiti</b>	FAV	Feuerungsanlagenverordnung	Ordinanza sugli impianti di tiro
	AWG	Abfallwirtschaftsgesetz u. Abfallwirtschaftskonzept (AWK)	Legge sulla gestione dei rifiuti e concetto di gestione dei rifiuti (AWK)
	IG-L	Immissionsschutzgesetz - Luft	Legge sull'inquinamento dell'aria
	WRG	Wasserrechtsgesetz	Legge sull'acqua
	AAEV	Allgemeine Abwasseremissionsverordnung	Ordinanza generale sulle emissioni di acque reflue
	IEV	Indirekteinleitungsverordnung	Ordinanza sullo scaricatore indiretto
	RL 2000/76/EG	Richtlinie über die Verbrennung von Abfällen	Direttiva CE sull'incenerimento dei rifiuti
<b>Cenere</b>	AWG	Abfallwirtschaftsgesetz	Legge sulla gestione dei rifiuti
	KPV	Kompostverordnung	Ordinanza sul compost
	AVV	Abfallverzeichnisverordnung	Ordinanza sul catalogo dei rifiuti
	AbfallbilanzV	Abfallbilanzverordnung	Ordinanza sul bilancio dei rifiuti
	ALSAG	Alltlastensanierungsgesetz	Legge sulla bonifica dei siti contaminati
	DMG	Düngemittelgesetz	Legge sui fertilizzanti
	ForstG	Forstgesetz	Legge sulla foresta
	WRG	Wasserrechtsgesetz	Legge sull'acqua
		Ascherichtlinien der Länder	Linee guida sulle ceneri dei paesi
<b>Protezione dal rumore</b>	ÖNORM B 8115	Schallschutz e Raumakustik im Hochbau	Isolamento acustico e acustica delle stanze nella costruzione di edifici
	ÖAL-Richtlinien	Richtlinien des Österreichischen Arbeitsring für Lärmbekämpfung	Linee guida del gruppo di lavoro austriaco per la riduzione del rumore
<b>Sicurezza</b>	AschG	ArbeitnehmerInnenschutzgesetz	Legge sulla protezione dei dipendenti
	BauKG	Bauarbeitenkoordinationsgesetz	Legge sul coordinamento dei lavori di costruzione
	ETG	Elektrotechnikgesetz	Legge sull'ingegneria elettrica
	AAV	Allgemeine Arbeitnehmerschutzverordnung	Ordinanza generale di protezione dei dipendenti
	AstV	Arbeitsstättenverordnung	Ordinanza sul posto di lavoro
	BauV	Bauarbeiterschutzverordnung	Ordinanza sul posto di lavoro
	DDGVO	Duale Druckgeräteverordnung	Ordinanza sul posto di lavoro

	ETV	Elektrotechnikverordnung	Ordinanza sulla protezione dei lavoratori edili
	ESV	Elektroschutzverordnung	Ordinanza sulle attrezzature a pressione
	ÖNORM EN 303-5	Heizkessel - Heizkessel für feste Brennstoffe, manuell und automatisch beschickte Feuerungen, Nennwärmeleistung bis 500 kW - Begriffe, Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung	Ordinanza sull'ingegneria elettrica Ordinanza sulla sicurezza elettrica
	ÖNORM M 7510-4	Überprüfung von Heizungsanlagen - Einfache Überprüfung von Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe	Caldaie - Caldaie a combustibile solido, alimentate manualmente e automaticamente, portata termica nominale non superiore a 500 kW - Definizioni, requisiti, prove e marcatura
	ÖVE E 8120	Verlegung von Energie-, Steuer- und Messkabeln	Ispezione dei sistemi di riscaldamento - Ispezione semplice dei sistemi di combustione per combustibili solidi
	ÖVE/ÖNORM E 8200-627	Vieladrige und vielpaarige Kabel für die Verlegung in Luft und in Erde	Posa di cavi di alimentazione, controllo e misurazione
	ÖVE EN 50110	Betrieb von elektrischen Anlagen	Cavi multipolari e multicoppia per l'installazione in aria e in terra
	DIN EN 61000	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	Funzionamento degli impianti elettrici
	AUVA-Merkblätter	Informazioni sulla sicurezza della Allgemeinen Unfallversicherungsanstalt	Compatibilità elettromagnetica (EMC)
	NORMA EN ISO 20023	Biogene Festbrennstoffe - Sicherheit von Pellets aus biogenen Fest-brennstoffen - Sicherer Umgang und Lagerung von Holzpellets in häuslichen- und and anderen kleinen Feuerstätten	Informazioni sulla sicurezza dell'istituto di assicurazione generale contro gli infortuni
	ÖNORM H5195-1	Wärmeträger für haustechnische Anlagen - Teil 1: Verhütung von Schäden durch Korrosion und Steinbildung in geschlossenen Warmwasser-Heizungsanlagen	Combustibili solidi biogenici - Sicurezza dei pellet da combustibili solidi biogenici - Manipolazione e stoccaggio sicuro dei pellet di legno in impianti domestici e altri piccoli impianti di combustione
			Mezzi di trasferimento del calore per impianti domestici - Parte 1: Prevenzione dei danni da corrosione e formazione di calcare in sistemi chiusi di riscaldamento dell'acqua calda
<b>Fuoco prevenzione</b>	ÖNORM EN 1366	Feuerwiderstandsprüfung per le installazioni	Prova di resistenza al fuoco per le installazioni
	ÖNORM B 3800	Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen	Comportamento al fuoco di materiali e componenti da costruzione
	ÖNORM F 1000	Feuerwehrtechnik e Brandschutzwesen	Tecnologia antincendio e di prevenzione degli incendi
	ÖNORM H 5170	Heizungsanlagen - Anforderungen an die Bau- und Sicherheitstechnik sowie an den Brand- und Umweltschutz	Impianti di riscaldamento - Requisiti per la costruzione e l'ingegneria della sicurezza e per la protezione antincendio e ambientale
	TRVB H118 TRVB	Automatische Holzfeuerungen Technische Richtlinien vorbeugender Brandschutz	Forni automatici a biomassa Linee guida tecniche per la protezione antincendio preventiva
<b>Protezione dai fulmini</b>	ÖVE E 40/1987	Schutz von Erdern und erdverlegten Metallteilen gegen Korrosion	Protezione dei dispersori e delle parti metalliche interrate contro la corrosione
	ÖVE/ÖNORM E 8049	Blitzschutz baulicher Anlagen	Protezione dai fulmini delle strutture
<b>Esplosione prevenzione</b>	ExSV 2015	Explosionsschutzverordnung	Ordinanza sulla protezione dalle esplosioni
	EIExV 1993	Elektro-Ex-Verordnung	Protezione dalle esplosioni per le apparecchiature elettriche
<b>Camino</b>	ÖNORM M 9440	Ausbreitung von luftverunreinigenden Stoffen in der Atmosphäre - Berechnung von Immissionskonzentrationen	Dispersione degli inquinanti atmosferici nell'atmosfera - Calcolo delle concentrazioni nell'aria ambiente
	DIN EN 13384	Abgasanlagen - Wärme- und strömungstechnische Berechnungsverfahren	Sistemi di scarico - Metodi di calcolo termico e fluidico



## 20 Calcoli e conversioni importanti

### 20.1 Rapporto di eccesso d'aria Lambda

Il rapporto di eccesso d'aria ( $\lambda$ ) descrive il rapporto tra il volume d'aria di combustione fornito e quello stechiometrico (= minimo teorico richiesto):

$$\lambda = \frac{\text{Volume d'aria immesso}}{\text{Volume d'aria stechiometrico}} [-]$$

Il rapporto di eccesso d'aria influenza la qualità della combustione e la temperatura di combustione. Può essere calcolato dalla composizione dei gas di scarico [58]. Nella procedura semplificata, le seguenti formule possono essere derivate per calcolare lambda:

$$\lambda = \frac{21}{21 - O_2 + 0.4CO} [-]$$

o

$$\lambda = \frac{20.4}{CO_2 + CO} [-]$$

e

$$O_2 = 21 - CO_2 - 0.6CO [-]$$

con:	CO <sub>2</sub>	=	concentrazione di anidride carbonica nel gas di scarico secco	[vol-%]
	CO	=	concentrazione di monossido di carbonio nel gas di scarico secco	[vol-%]
	O <sub>2</sub>	=	Concentrazione di ossigeno nel gas di scarico secco	[vol-%]
	20.4	=	CO <sub>2 max</sub> (= contenuto massimo possibile di CO nel gas di scarico)	[vol-%]
	21	=	Concentrazione di ossigeno nell'aria	[vol-%]

#### Esempio:

Variabili misurate:	CO <sub>2</sub>	=	9,0 vol-%
	CO	=	250 ppm = 0,025 vol-%

Calcolo:

$$\lambda = \frac{21}{21 - 9 - 0.6 * 0.025} = 1.75 [-]$$

Valutazione: Da un lato, il rapporto di eccesso d'aria lambda ( $\lambda$ ) dovrebbe essere il più basso possibile (alta efficienza di combustione), dall'altro, non deve essere troppo basso, perché con una quantità insufficiente di aria di combustione, la qualità della combustione si deteriora drasticamente e la temperatura di combustione sale in una gamma critica (pericolo di scorie).

**Il coefficiente di eccesso d'aria è tipicamente  $\lambda \approx 1,6 - 2,2$  per i forni a biomassa.**

**Nota:** le cosiddette "sonde lambda" misurano il contenuto di ossigeno o il rapporto di eccesso d'aria nel gas di scarico umido. La conversione in gas di scarico secco si trova nel capitolo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

## 20.2 Conversione da ppm a mg/m<sup>3</sup>

Gli strumenti di misurazione delle emissioni di CO, HC e NO<sub>x</sub> indicano solitamente i valori misurati in **vol-%** o in **ppm**. L'unità ppm (ppm = parti per milione = 1: 1.000.000 = un milionesimo) corrisponde, come il vol-%, alla *frazione di volume* di un gas ed è quindi indipendente dalla temperatura e dalla pressione del gas. La conversione da vol-% a ppm può essere fatta secondo Tabella 20.1.

Tabella 20.1 Conversione da vol-% a ppm

vol.-%	ppm
100	1,000,000
10	100,000
1	10,000
0.1	1,000
0.01	100
0.001	10
0.0001	1

I valori limite di emissione di solito non sono dati in unità di volume, ma in mg/m<sup>3</sup>. La conversione da **ppm** a **mg/m<sup>3</sup>** viene fatta moltiplicando per la **densità** del rispettivo componente del gas. Poiché i valori devono essere dati in condizioni standard (temperatura = 0 °C, pressione = 1013 mbar), la conversione viene fatta con la densità standard (massa molare / volume standard), cioè la densità in condizioni standard.

valore di emissione [mg/m <sup>3</sup> ]=	densità standard in kg/m <sup>3</sup>	* valore di emissione in ppm
CO [mg/m <sup>3</sup> ]	= <b>1,25</b> kg/m	* CO [ppm]
NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	= <b>2,05</b> kg/m	* NO <sub>x</sub> [ppm] (NO <sub>x</sub> dato come NO <sub>2</sub> ≈ 2,05 kg/m <sup>3</sup> )
HC* [mg/m <sup>3</sup> ] kg/m <sup>3</sup> )	= <b>0,54</b> kg/m	* HC [ppm] (per CH <sub>4</sub> come gas di calibrazione ≈ 0,54
HC* [mg/m <sup>3</sup> ] kg/m <sup>3</sup> )	= <b>1,62</b> kg/m	* HC [ppm] (per il gas di calibrazione C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> ≈ 1,62

\* Sostanze organiche gassose, da indicare come carbonio totale (C)

### Esempio: Conversione della concentrazione di CO (senza conversione al contenuto di ossigeno di riferimento)

Valore misurato: CO = 200 ppm

Calcolo: **CO** [mg/m<sup>3</sup>] = 1,25 kg/m<sup>3</sup>\* CO [ppm] = 1,25 kg/m<sup>3</sup> \* 200 ppm = **250 mg/m<sup>3</sup>**

### 20.3 Valore di riferimento dell'ossigeno

Per il confronto delle emissioni di diversi forni o di diversi test sulla stessa unità, è necessario un valore di riferimento. Senza la conversione dei valori di emissione in un valore di riferimento, non è possibile alcun confronto con altri dati. Il contenuto di ossigeno O<sub>2</sub> nel gas di scarico secco è definito come valore di riferimento. Il tenore di ossigeno di riferimento è specifico del paese e dipende dalle dimensioni dell'impianto. Nell'ordinanza sul controllo dell'inquinamento dell'aria (Luftreinhalte-Verordnung LRV), si applica un contenuto di ossigeno di riferimento del 13% fino a una potenza termica nominale di 1 MW, e dell'11% al di sopra di questa. Nella norma europea EN 303-5 per i sistemi a biomassa, un contenuto di ossigeno di riferimento del 10% si applica fino a una potenza termica nominale di 500 kW. Nella 44 BimSchV, un contenuto di ossigeno di riferimento del 6% si applica ai sistemi a biomassa di medie dimensioni con una potenza termica nominale di oltre 1 MW.

Tabella 20.2 Conversione di vol-% O<sub>2,reference</sub> in λ<sub>reference</sub>

Vol-% O <sub>2,ref</sub>	λ <sub>ref</sub>
13	2.625
11	2.100
10	1.910
6	1.400

I valori di misurazione delle emissioni devono essere convertiti alla quantità di riferimento definita, cioè alle condizioni standard e al contenuto di ossigeno di riferimento. In questo modo si evita che i valori di emissione inferiori siano determinati dalla diluizione dei gas di scarico con aria falsa (per esempio all'ingresso del camino a monte del campionamento per la misurazione delle emissioni). Attraverso la conversione, i valori misurati sono convertiti in una diluizione specificata secondo il contenuto di ossigeno di riferimento corrispondente. La conversione viene effettuata secondo il seguente schema:

$$\text{Valore di emissione} \left[ \frac{mg}{m^3} \right] @O_2 \text{ di riferimento} = \text{Valore di emissione} [ppm] * \text{densita' standard} \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * \frac{21 - O_{2,ref} [\%]}{21 - O_2 \text{ misurato} [\%]}$$

Questo equivale a una conversione dal λ misurato al λ secondo il contenuto di O<sub>2</sub> di riferimento. Il calcolo di λ può essere fatto misurando O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>. Per calcolare λ<sub>ref</sub>, si utilizza il contenuto di ossigeno O<sub>2,ref</sub> corrispondente.

$$\text{Valore di emissione} \left[ \frac{mg}{m^3} \right] @O_2 \text{ di riferimento} = \text{Valore di emissione} [ppm] * \text{densita' standard} \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * \frac{\lambda_{measured}}{\lambda_{ref}}$$

#### Esempio: Calcolo della concentrazione di CO con contenuto di ossigeno di riferimento

Variabili misurate: CO = 200 ppm  
O<sub>2</sub> = 9,0 vol-% (λ = 1.75)  
Valore di riferimento: O<sub>2,ref</sub> = 13 vol-% (λ<sub>ref</sub> = 2.625)

Calcolo:

$$\text{CO emission value} = 200 \text{ ppm} * 1.25 \frac{kg}{m^3} * \frac{21\% - 13\%}{21\% - 9\%} = 167 \frac{mg}{m^3} \text{ at } 13\% O_2$$

o

$$\text{CO emission value} = 200 \text{ ppm} * 1.25 \frac{kg}{m^3} * \frac{1.75}{2.625} = 167 \frac{mg}{m^3} \text{ at } 13\% O_2$$

**Conversione a un diverso contenuto di ossigeno di riferimento**

A seconda dei requisiti legali e delle classi di prestazione, si applicano diversi valori limite di emissione con diversi contenuti di ossigeno di riferimento. Tabella 20.3 può essere usata per convertire i valori di emissione, dati in mg/m<sup>3</sup> in relazione a un contenuto di ossigeno di riferimento specifico, in un altro contenuto di ossigeno di riferimento comune.

Tabella 20.3 Conversione di un valore di emissione in un diverso tenore di ossigeno di riferimento.

Contenuto di ossigeno di riferi-	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0																	
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
<b>6</b>	140.0	133.3	126.7	120.0	113.3	106.7	<b>100</b>	93.3	86.7	80.0	<b>73.3</b>	<b>66.7</b>	60.0	<b>53.3</b>	46.7	40.0	33.3
7																	
8																	
9																	
<b>10</b>	190.9	181.8	172.7	163.6	154.5	145.5	<b>136.4</b>	127.3	118.2	109.1	<b>100</b>	<b>90.9</b>	81.8	<b>72.7</b>	63.6	54.5	45.5
<b>11</b>	210.0	200.0	190.0	180.0	170.0	160.0	<b>150.0</b>	140.0	130.0	120.0	<b>110.0</b>	<b>100</b>	90.0	<b>80.0</b>	70.0	60.0	50.0
12																	
<b>13</b>	262.5	250.0	237.5	225.0	212.5	200.0	<b>187.5</b>	175.0	162.5	150.0	<b>137.5</b>	<b>125.0</b>	112.5	<b>100</b>	87.5	75.0	62.5
14																	
15																	
16																	

Esempio di lettura: 100 mg/m<sup>3</sup> al contenuto di ossigeno di riferimento 10 vol-% equivale a 90,9 mg/m<sup>3</sup> a 11 vol-% O<sub>2</sub> e 136,4 mg/m<sup>3</sup> a 6 vol-% O<sub>2</sub>

**Esempio: Conversione del valore di emissione di CO dato a un tenore di ossigeno di riferimento dell'11% in volume in un tenore di ossigeno di riferimento del 6% in volume.**

Valore iniziale:                      valore di emissione di CO                      =                      180 mg/m<sup>3</sup> sulla base di 11 vol.% O<sub>2</sub>

Secondo Tabella 20.3

Valore di emissione di CO                      =                      100 mg/m<sup>3</sup> riferito a 11 vol.% O<sub>2</sub> corrisponde a  
 Valore di emissione di CO                      =                      150 mg/m<sup>3</sup> relativo al 6 vol.% di O<sub>2</sub>

Il valore di emissione di CO convertito al 6 vol.% di O<sub>2</sub> è quindi:

$$\text{Nuovo valore emissione} = \text{valore emissione iniziale} * \frac{\text{Valore emissione tabella 20.1 nuovo}}{\text{Valore emissione tabella 20.1 iniziale}}$$

$$= 180 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} * \frac{150 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}}{100 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}} = 270 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \text{ at } 6 \text{ vol-\%O}_2$$

## 20.4 Conversione da mg/m<sup>3</sup> a mg/MJ

Per il confronto dei carichi di emissioni di diversi combustibili, per esempio petrolio e legno, le emissioni sono legate alla *quantità di energia prodotta* [mg/MJ<sub>utile</sub> o mg/kWh<sub>utile</sub>]. Il quoziente di emissione e quantità di energia è chiamato anche *fattore di emissione*. Va notato che la quantità di energia fornita [mg/MJ<sub>finale</sub>] è anche usata come parametro di riferimento. I due parametri sono collegati tramite l'efficienza o l'efficienza annuale.

La specificazione delle emissioni in mg/MJ è comune in molti paesi, così che una conversione da mg/m<sup>3</sup> a mg/MJ è necessaria per il confronto internazionale dei valori misurati.

Quando si converte da mg/m<sup>3</sup> a mg/MJ, va notato che la quantità di energia fornita nel caso della combustione di biomassa dipende dal potere calorifico e quindi anche dal contenuto di acqua del combustibile. Ciò significa che una conversione corretta è possibile solo se il potere calorifico e il contenuto di acqua del combustibile sono noti. La conversione dell'energia fornita dal combustibile o del calore utile può quindi essere effettuata come segue:

$$\text{Valore Emissioni} \left[ \frac{mg}{MJ_{Finale}} \right] = \text{Valore Emissioni} \left[ \frac{mg}{m^3} \right] \text{ at } O_{2,ref} * \frac{\lambda_{ref} * V_{air\ min}}{18.3 - 2.442 * \frac{M}{100 - M}}$$

$$\text{Valore Emissioni} \left[ \frac{mg}{MJ_{utile}} \right] = \frac{\text{Valore Emissioni} \left[ \frac{mg}{MJ_{Finale}} \right] * 100\%}{\eta_a}$$

con:	$\lambda_{ref}$	=	rapporto di eccesso d'aria a $O_{2, ref}$	[-]
	$V_{air\ min}$	=	volume stechiometrico dell'aria di combustione = 4,58	[m/kg <sup>3</sup> ]
	M	=	contenuto d'acqua del carburante	[wt-%]
	H	=	efficienza annuale <sub>a</sub>	[%]

### Esempio: Conversione della concentrazione di CO da mg/m<sup>3</sup> contenuto di ossigeno di riferimento a mg/MJ

Valore iniziale: CO = 100 mg/m<sup>3</sup> a 11 vol%.

M = 25 wt-%

$\Lambda_{ref}$  = 2.1

$\eta_a$  = 85 %

$$CO \left[ \frac{mg}{MJ_{utile}} \right] = 100 * \frac{2.1 * 4.58}{18.3 - 2.442 * \frac{25}{100 - 25}} = 55 \frac{mg}{MJ_{utile}}$$

$$CO \left[ \frac{mg}{MJ_{utile}} \right] = \frac{55 \frac{mg}{MJ_{Finale}} * 100\%}{85\%} = 65 \frac{mg}{MJ_{utile}}$$

## 20.5 Conversione da gas di scarico umido a secco

In alcuni strumenti di misurazione delle emissioni, ad esempio gli strumenti di misurazione degli idrocarburi basati sulla rilevazione a ionizzazione di fiamma (FID) o gli strumenti di misurazione di NO<sub>x</sub> basati sulla rilevazione della chemiluminescenza (CLD), la misurazione viene effettuata nel gas di scarico caldo e umido. Il motivo è che durante l'usuale raffreddamento del gas di scarico a monte dello strumento di misura delle emissioni in un raffreddatore di gas a circa 5°C, una parte delle sostanze da misurare passa nella condensa liquida e quindi falsifica il valore misurato nello strumento di misura. Poiché i valori limite di emissione valgono per il gas di scarico secco in condizioni standard (0 °C, 1013 mbar), durante la misurazione in gas di scarico umido si deve effettuare una conversione in gas di scarico secco, poiché altrimenti il vapore acqueo porta a una diluizione delle emissioni. Per le misurazioni della velocità nel gas di scarico caldo e umido, oltre alla correzione dell'umidità si deve effettuare la compensazione della temperatura e della pressione.

Il fattore di conversione  $f$  può essere calcolato con la conoscenza del rapporto di eccesso d'aria  $\lambda$  (nel gas di scarico secco) e il contenuto di acqua del combustibile  $M$  secondo la seguente equazione [52]:

$$\text{Fattore di conversione } f = \frac{\text{volume del flusso dei gas di scarico umidi}}{\text{volume del flusso dei gas di scarico secchi}}$$

$$\text{Fattore di conversione } f = 1 + \frac{0.287}{\lambda} * \left( \frac{M}{100 - M} + 0.512 \right)$$

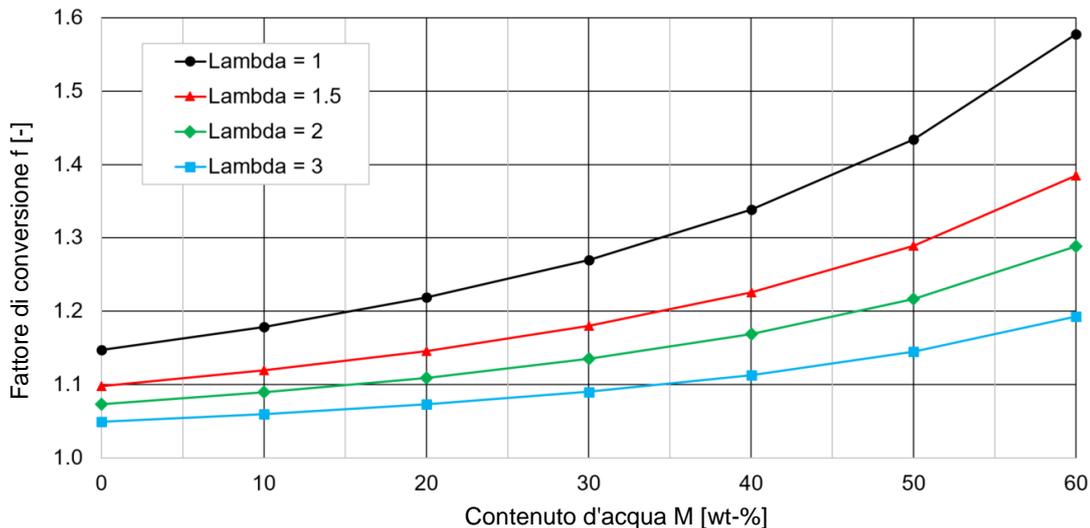


Figura 20.1 Fattore di conversione  $f$  in funzione del contenuto d'acqua del combustibile  $M$ .

### Esempio: Conversione della concentrazione di idrocarburi dal gas di scarico umido al gas di scarico secco

Valori misurati:	Concentrazione di idrocarburi nel gas di scarico umido $HC_w$	=	100 ppm
	Contenuto d'acqua $M$	=	35 wt-%
	Ossigeno ( $O_2$ )	=	7,0 vol-% ( $\lambda = 1,5$ )
	Contenuto di ossigeno di riferimento $O_{2, ref}$	=	11 vol-% ( $\lambda_{ref} = 2,1$ )
	Fattore di conversione $f$ da Figura 20.1	=	1.2
	Gas di calibrazione Propano ( $C_3H_8$ ) densità standard	=	1,62 kg/m <sup>3</sup>

Calcolo:

$$\begin{aligned} \text{Concentrazione idrocarburi} &= \text{Concentrazione Idrocarburi Umida } HC_w * f * \text{densità standard} * \frac{\lambda}{\lambda_{ref}} \\ &= 100 \text{ ppm} * 1.2 * 1.62 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{1.5}{2.1} = 139 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \text{ at } 11\% O_2 \end{aligned}$$

**Nota:** Con molti strumenti di misurazione disponibili in commercio basati sulla rilevazione IR e UV per CO, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, nonché basati sul paramagnetismo per O<sub>2</sub>, la misurazione viene effettuata in gas di scarico secco; la conversione da gas di scarico umido a secco non è necessaria in questo caso.

## 20.6 Determinazione della potenza termica nominale

La potenza termica nominale è la capacità termica fornita da un sistema di combustione all'acqua della caldaia quando il sistema di combustione funziona al carico nominale. Può essere misurata direttamente per mezzo di un contatore di calore:

$$\dot{Q}_N = (T_{flow} - T_{return}) * c_{pW} * \dot{m}_W$$

La potenza termica nominale può anche essere determinata dall'efficienza della caldaia, dal potere calorifico e dalla portata massica del combustibile bruciato:

$$\dot{Q}_N = \eta_{boiler} * NCV * \dot{m}_{fuel}$$

Se la portata massica del combustibile consumato non è nota, può essere determinata indirettamente misurando l'eccesso d'aria e la portata volumetrica dell'aria di combustione o dei gas di scarico secchi.

Con

$$\dot{m}_{fuel} = \frac{\dot{V}_{exh-gas\ d.b.} * \left(1 + \frac{M}{100 - M}\right)}{\lambda * V_{air\ min}}$$

segue

$$\dot{Q}_N = \eta_{boiler} * NCV * \frac{\dot{V}_{exh-gas\ d.b.} * \left(1 + \frac{M}{100 - M}\right)}{\lambda * V_{air\ min}}$$

con:	$\dot{Q}_N$	=	potenza termica nominale	[kW]
	$T_{flow}$	=	temperatura di flusso	[°C]
	$T_{return}$	=	temperatura di ritorno	[°C]
	$c_{pW}$	=	capacità termica specifica dell'acqua = 4,182	[kJ/kg K]
	$\dot{m}_W$	=	flusso di massa (caldaia) acqua	[kg/s]
	$\eta_{boiler}$	=	efficienza della caldaia	[-]
	NCV	=	valore calorifico netto (riscaldamento inferiore)	[kJ/kg]
	$\dot{m}_{fuel}$	=	flusso di massa del combustibile bagnato	[kg/s]
	$\dot{V}_{exh-gas\ d.b.}$	=	flusso volumetrico del gas di scarico secco	[m <sup>3</sup> /s]
	M	=	contenuto d'acqua del carburante	[wt-%]
	$\lambda$	=	rapporto di eccesso d'aria	[-]
	$V_{air\ min}$	=	volume stechiometrico dell'aria di combustione = 4,58	[m <sup>3</sup> /kg <sup>3</sup> <sub>fuel d.b.</sub> ]

Il flusso volumetrico del gas di scarico secco non può essere misurato direttamente. Misurando la velocità, per esempio con un tubo di Pitot, con la conoscenza della composizione del gas di scarico, si può scoprire il flusso volumetrico umido. La conversione in gas di scarico secco richiede il valore del contenuto di acqua del gas di scarico, che viene determinato (direttamente) nel gas di scarico o (in-direttamente) attraverso il contenuto di acqua del carburante.

## 20.7 Determinazione del flusso di massa del combustibile

Il flusso di massa di combustibile umido in chilogrammi all'ora è dato dalla potenza termica nominale di un impianto di combustione, l'efficienza della caldaia  $\eta_{boiler}$  e il potere calorifico netto NCV:

$$\dot{m}_{fuel} = \frac{\dot{Q}_N}{\eta_{boiler} * NCV} = \frac{3600}{1000} * \frac{\dot{Q}_N}{\eta_{boiler}} * \frac{1 + \frac{M}{100 - M}}{18.3 - 2.442 \frac{M}{100 - M}}$$

con:

$\dot{m}_B$	=	flusso di massa del carburante bagnato	[kg/h]
$\dot{Q}_N$	=	potenza termica nominale	[kW]
$\eta_{boiler}$	=	efficienza della caldaia	[-]
NCV	=	valore calorifico netto (riscaldamento inferiore) [MJ/kg]	
M	=	contenuto d'acqua del carburante	[wt-%]

Il flusso di massa di combustibile necessario per generare una potenza termica nominale desiderata dipende essenzialmente dal contenuto d'acqua o dal potere calorifico del combustibile.

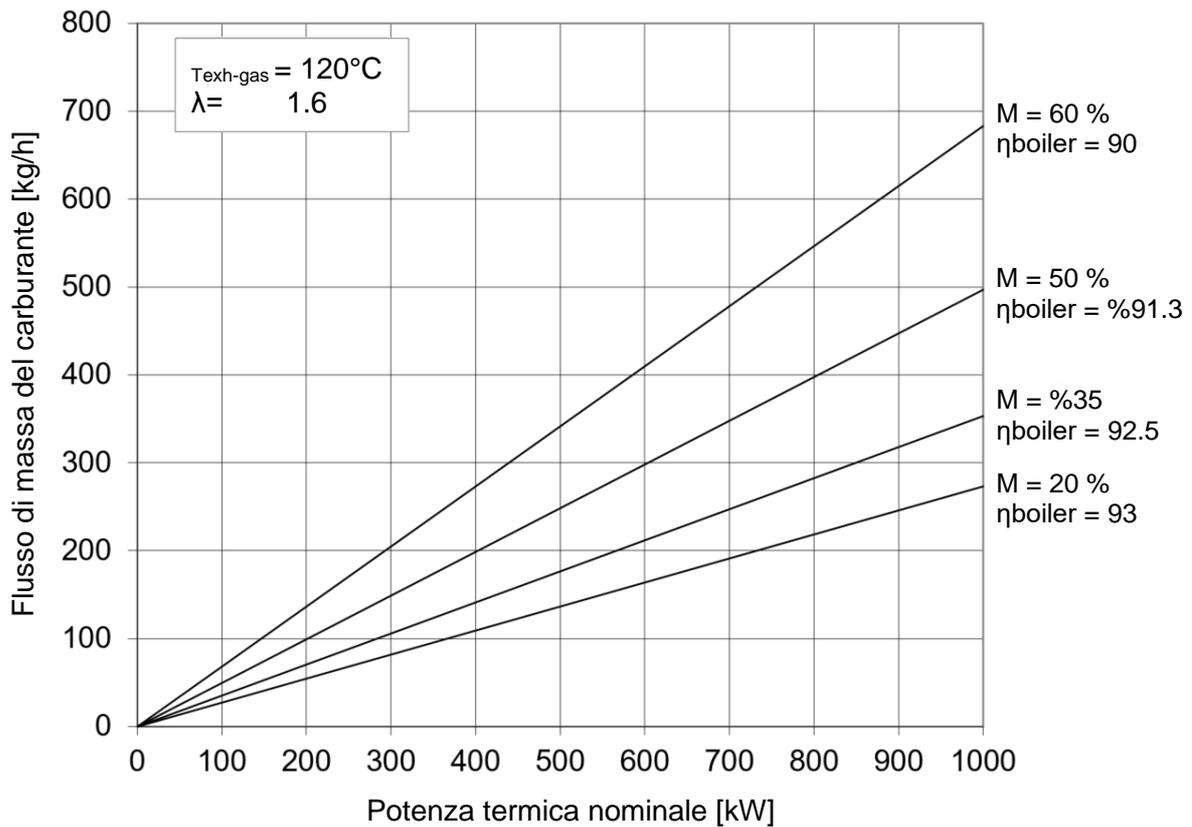


Figura 20.2 Flusso di massa del combustibile in funzione della potenza termica nominale.

## 20.8 Determinazione del volume d'aria di combustione

Il volume dell'aria di combustione, cioè il flusso volumetrico dell'aria di combustione corrisponde approssimativamente al flusso volumetrico del gas di scarico secco:

$$\dot{V}_{air} \approx \dot{V}_{exh-gas d.b.}$$

Pertanto, secondo il capitolo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**:

$$\dot{V}_{air} = \frac{\dot{Q}_N * 100\%}{\eta_{boiler}} * \frac{\lambda * V_{air min} * \left(1 + \frac{M}{100 - M}\right) * \frac{3600}{1000}}{18.3 - 2.442 \frac{M}{100 - M}}$$

con:	$\dot{V}_{air}$	=	volume d'aria di combustione	[m/h <sup>3</sup> ]
	$\dot{V}_{exh-gas d.b.}$	=	flusso volumetrico del gas di scarico secco	[m/h <sup>3</sup> ]
	$\dot{Q}_N$	=	Potenza termica nominale	[kW]
	$\eta_k$	=	efficienza della caldaia	[%]
	M	=	contenuto d'acqua del carburante	[wt-%]
	$\lambda$	=	rapporto di eccesso d'aria	[-]
	$V_{air min}$	=	volume stechiometrico dell'aria di combustione = 4,58	[m/kg <sup>3</sup> fuel d.b.]

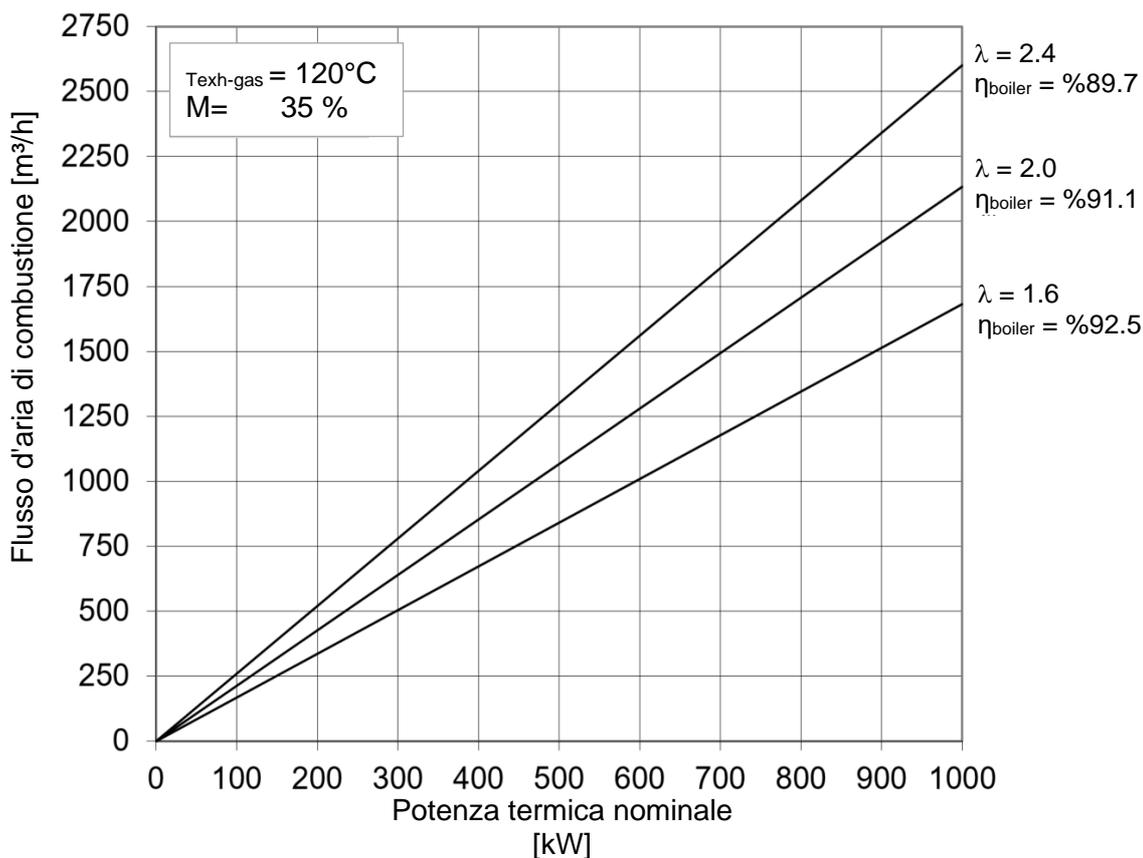


Figura 20.3 Flusso d'aria di combustione in funzione della potenza termica nominale e del rapporto di eccesso d'aria.

La quantità di aria di combustione necessaria per produrre una potenza termica nominale desiderata dipende, all'incirca nella stessa misura, dal rapporto di eccesso d'aria e dal potere calorifico o dal contenuto d'acqua.

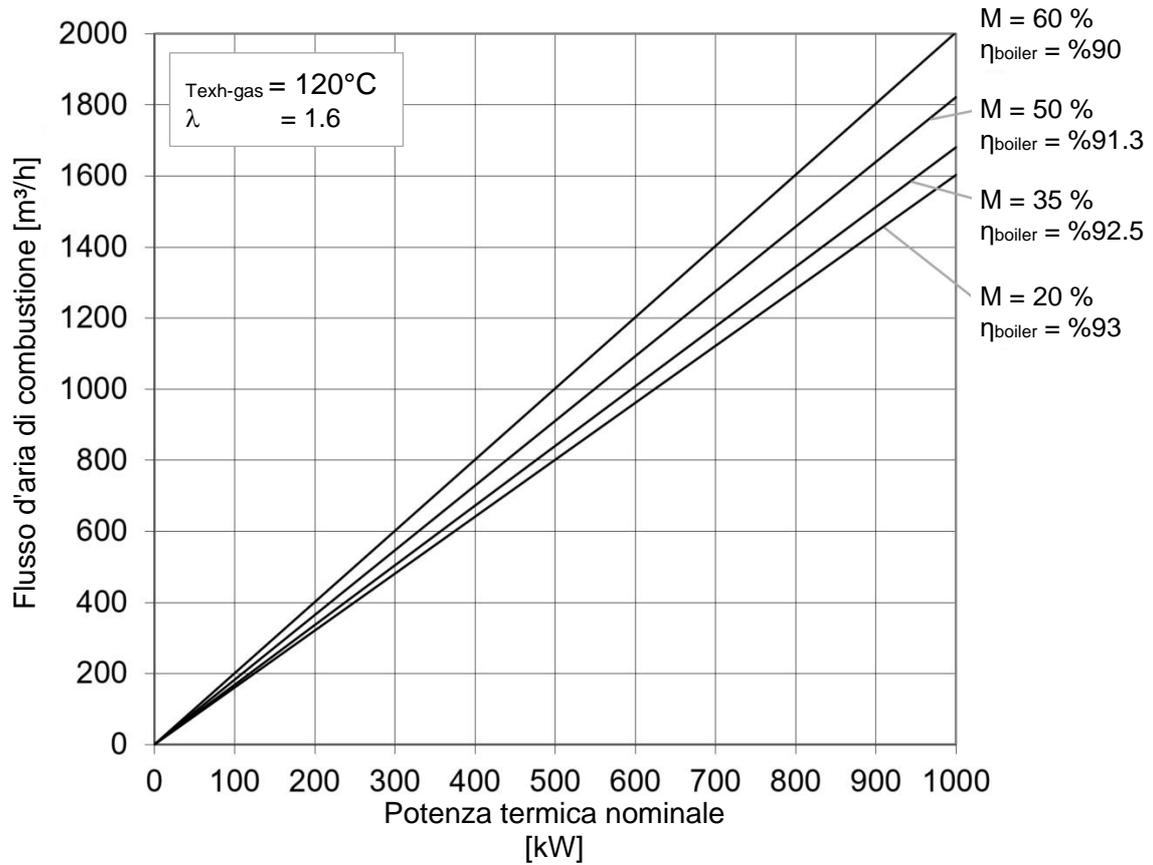


Figura 20.4 Flusso d'aria di combustione in funzione della potenza termica nominale e del contenuto d'acqua del combustibile.

## 20.9 Determinazione del flusso volumetrico dei gas di scarico

La portata volumetrica del gas di scarico secco di un sistema a biomassa in condizioni standard (0 °C e 1013 mbar) corrisponde approssimativamente alla portata volumetrica dell'aria di combustione necessaria per generare una certa potenza termica nominale.

$$\dot{V}_{exh-gas\ d.b.} \approx \dot{V}_{air} \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

La portata volumetrica del gas di scarico in condizioni operative, cioè gas di scarico umido a temperatura del gas di scarico e pressione ambiente, può essere determinata convertendo da gas di scarico secco a umido (vedi capitolo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) e convertendo dalle condizioni standard a quelle operative:

$$\dot{V}_{exh-gas} = \dot{V}_{air} * f * \frac{273 + T_{exh-gas} * 1073}{273 * p} \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

- con:
- $\dot{V}_{air}$  = flusso dell'aria di combustione [m/h<sup>3</sup>]
  - $\dot{V}_{exh-gas\ d.b.}$  = flusso volumetrico del gas di scarico secco in condizioni standard (0 °C, 1013 mbar) [m/h<sup>3</sup>]
  - $\dot{V}_{exh-gas}$  = flusso volumetrico del gas di scarico bagnato alle condizioni operative (T<sub>exh-gas</sub> e p) [m/h<sup>3</sup>]
  - f = fattore di conversione, da gas di scarico umido a gas di scarico secco [-]
  - T<sub>exh-gas</sub> = temperatura del gas di scarico [°C]
  - p = pressione ambiente [mbar]

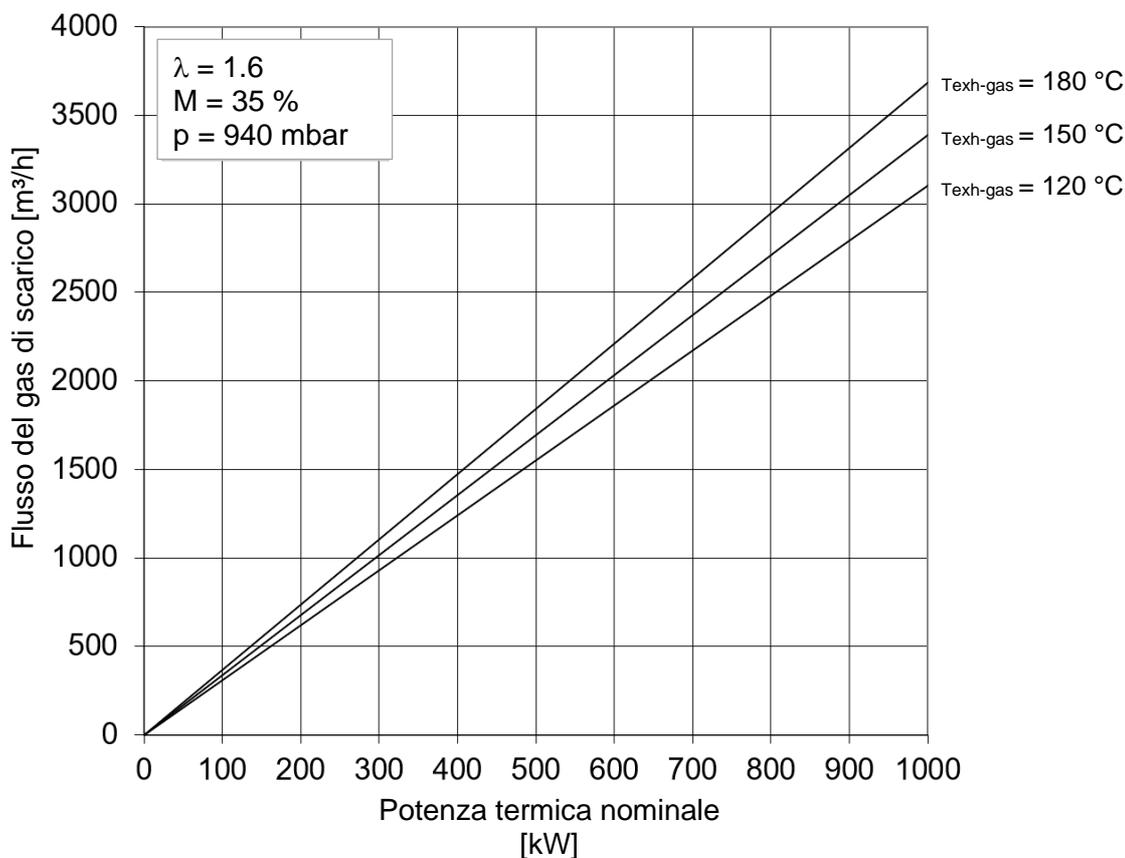


Figura 20.5 Flusso volumetrico dei gas di scarico in condizioni operative in funzione della potenza termica nominale.

## 20.10 Determinazione del flusso di massa di NO<sub>x</sub>

Di regola, gli ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>) devono rispettare un valore limite di emissione solo quando superano un determinato flusso di massa di NO<sub>x</sub>. In Svizzera, ad esempio, un valore limite di emissione di 250 mg/m<sup>3</sup> (con contenuto di ossigeno di riferimento) deve essere rispettato non appena il flusso di massa di NO<sub>x</sub> supera i 2500 g/h. Nella fase di pianificazione di un impianto di riscaldamento a biomassa, è quindi importante stimare il flusso di massa di NO<sub>x</sub>, per decidere se sarà necessario un processo di riduzione di NO<sub>x</sub> (vedi capitolo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

Il flusso di massa di NO<sub>x</sub> è calcolato dal flusso volumetrico del gas di scarico a carico nominale e dalla concentrazione di NO<sub>x</sub> al contenuto di ossigeno misurato:

$$\dot{NO}_x = \dot{V}_{exh-gas.d.b.} * \frac{NO_x}{1000} \left[ \frac{g}{h} \right]$$

Se la concentrazione di NO<sub>x</sub> con il contenuto di ossigeno misurato non è nota, può essere stimata utilizzando una concentrazione di NO<sub>x</sub> con un contenuto di ossigeno di riferimento e l'assunzione di un contenuto di ossigeno come segue:

$$NO_x = NO_{xO_2.ref} * \frac{21 - O_2}{21 - O_{2.ref}} \left[ \frac{mg}{m^3} \right]$$

con:	$\dot{NO}_x$	=	Flusso di xmassa NO	[g/h]
	$\dot{V}_{exh-gas.d.b.}$	=	flusso volumetrico del gas di scarico secco a 0 °C, 1013 mbar	[m/h <sup>3</sup> ]
	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	=	concentrazione di NO <sub>x</sub> nel gas di scarico secco al contenuto di ossigeno misurato	
	NO <sub>x O2 ref</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	=	concentrazione di NO <sub>x</sub> nel gas di scarico secco al contenuto di ossigeno di riferimento	
	O <sub>2</sub>	=	contenuto di ossigeno (misurato al carico nominale)	[vol-%]
	O <sub>2, ref</sub>	=	contenuto di ossigeno di riferimento	[vol-%]

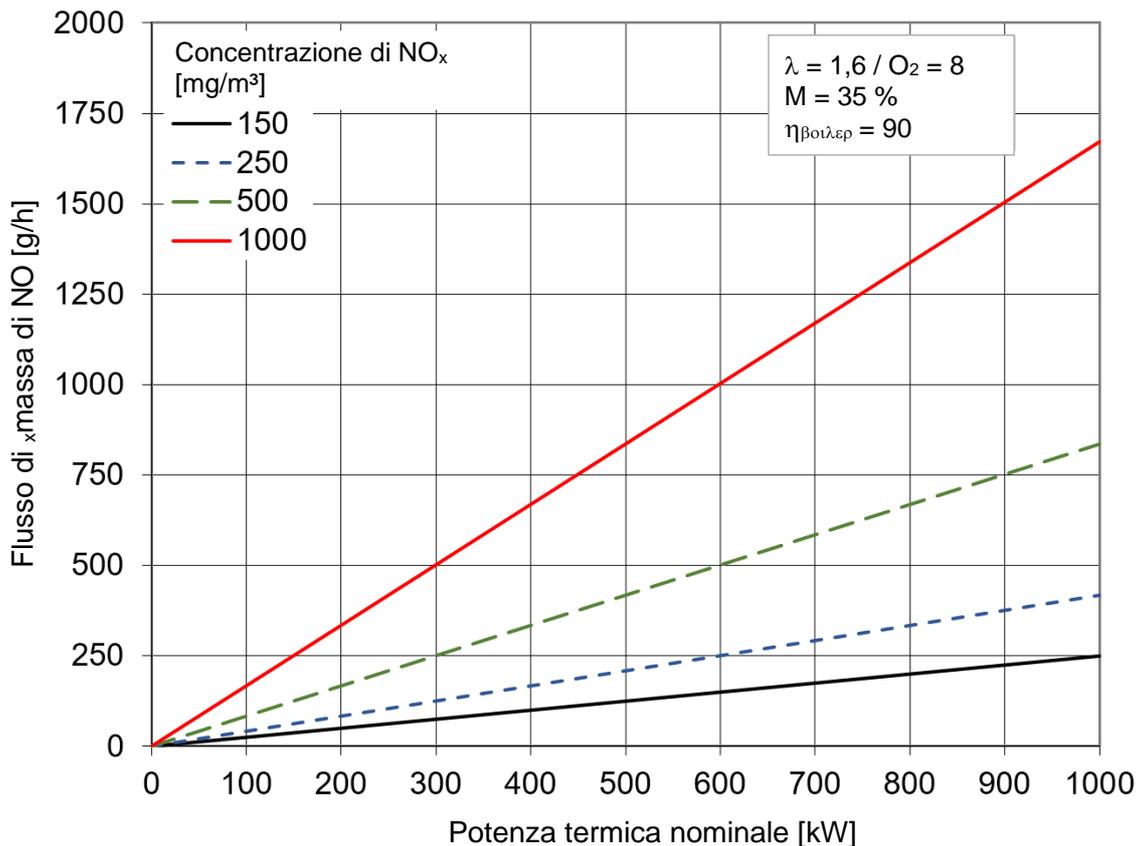


Figura 20.6 Flusso di massa di NO<sub>x</sub> in g/h in funzione della potenza termica nominale in kW e varie concentrazioni di NO<sub>x</sub>.

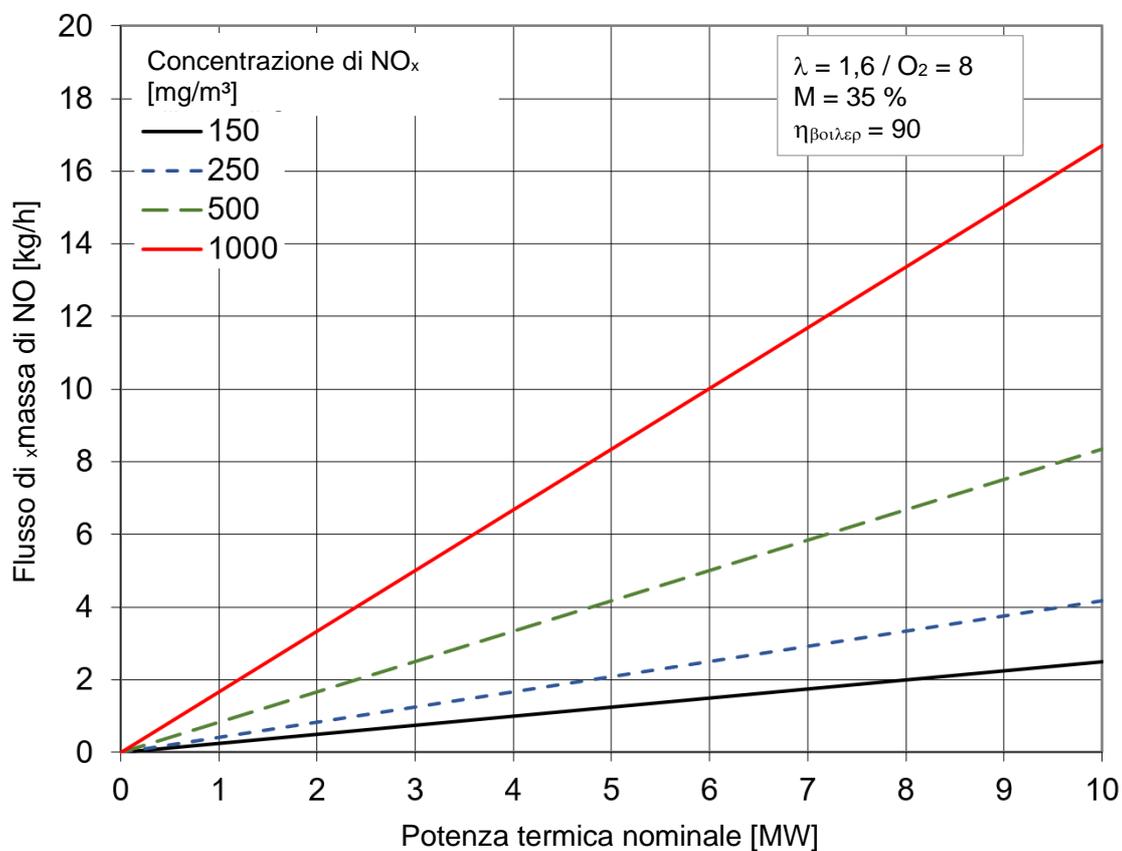


Figura 20.7 Flusso di NO<sub>x</sub> mass in kg/h in funzione della potenza termica nominale in MW e varie concentrazioni di NO<sub>x</sub>.

## 20.11 Determinazione dell'efficienza della combustione

Per calcolare l'efficienza della combustione si determina il contenuto energetico dei singoli componenti dei gas di scarico. Sulla base dell'equazione di combustione del legno, le perdite termiche e chimiche dei fumi possono essere calcolate. Nussbaumer e Good [58] hanno derivato una formula semplificata per i combustibili di legno, che dà una precisione sufficientemente alta per le applicazioni tecniche. Nell'intervallo  $CO < 0,5 \text{ vol-\%}$ ,  $CO_2 > 5 \text{ vol-\%}$ , temperatura dei fumi  $< 400^\circ\text{C}$ , per l'efficienza di combustione dei sistemi a biomassa vale quanto segue:

$$\eta_{combustion} = 100 - L_{thermal} - L_{chemical} [\%]$$

dove:  $L_{thermal}$  = perdite termiche dovute al calore sensibile dei gas di scarico [%]

$L_{chemical}$  = perdite chimiche dovute alla combustione incompleta [%]

$$L_{thermal} = \frac{(T_{exh-gas} - T_{ambient}) * (1.39 + \frac{122}{CO_2 + CO} + 0.02 * \frac{M}{100 - M})}{\frac{18300}{100} - 0.2442 * \frac{M}{100 - M}} [\%]$$

$$L_{chemical} = \frac{CO}{CO_2 + CO} * \frac{11800}{\frac{18300}{100} - 0.2442 * \frac{M}{100 - M}} [\%]$$

$$\text{Lambda } \lambda: \lambda = \frac{21}{21 - O_2 + 0.4 CO} = \frac{20.4}{CO_2 + CO} \quad [-]$$

Se  $O_2$  viene misurato al posto di  $CO_2$ :  $CO_2 = 0,98 (21 - O_2) - 0,61 CO$  [vol-%]

con:  $T_{exh-gas}$  = temperatura del gas di scarico [°C]

$T_{ambient}$  = temperatura ambiente [°C]

$O_2$  = concentrazione di ossigeno [vol-%]

$CO_2$  = concentrazione di anidride carbonica [vol-%]

$CO$  = concentrazione di monossido di carbonio [vol-%]

$u$  = contenuto di umidità del legno rispetto al legno assolutamente secco [wt-% d.b.]

$M$  = Contenuto d'acqua del legno umido [wt-% w.b.]

$\lambda$  = rapporto di eccesso d'aria [-]

Nota: Il nomogramma Figura 20.8 utilizza ancora il contenuto di umidità del combustibile  $u$ . Per calcolare il contenuto di umidità  $u$  dal contenuto di acqua  $M$ , si può usare la seguente conversione:

$$u = \frac{M}{1 - M} [-]; \quad u = \frac{M}{100 - M} [\%]$$

o

$$M = \frac{u}{1 + u} [-]; \quad M = \frac{u}{100 + u} [\%]$$

Questo metodo fornisce valori comparabili con il calcolo secondo la DIN EN 14394:2008-12 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** Se necessario, la formula può essere adattata per combustibili con composizioni diverse dal legno [58]. Una rapida stima dei valori numerici può essere eseguita anche graficamente con i nomogrammi corrispondenti (Figura 20.8).

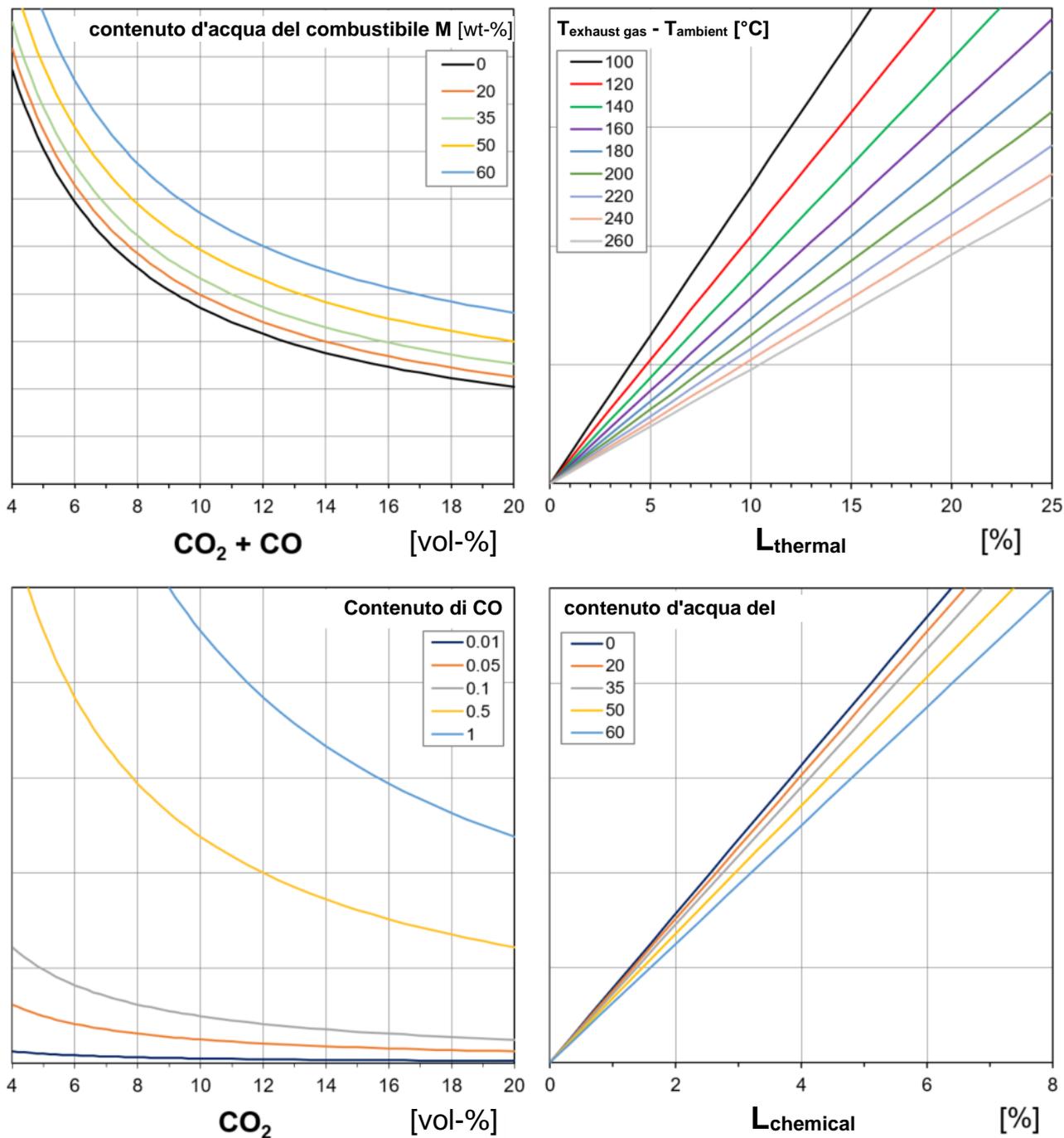


Figura 20.8 Nomogrammi per la determinazione del rendimento di combustione con  $\eta_{\text{combustione}} = 100 - L_{\text{thermal}} - L_{\text{chemical}}$  [%].

## 20.12 Determinazione dell'efficienza annuale

Con il seguente metodo di calcolo, il rendimento annuale  $\eta_a$  può essere determinato con una precisione di circa  $\pm 5\%$ , a condizione che sia disponibile un contatore di calore nel circuito della caldaia. Il rendimento annuale dipende dalle perdite, dall'utilizzo  $\alpha$  e dal livello di carico medio (L) dell'impianto di combustione. Il calcolo presuppone un forno con efficienza della caldaia  $\eta_{boiler}$  basata su parametri di funzionamento medi. Per gli impianti di combustione con altri parametri di funzionamento, il rendimento della caldaia  $\eta_{boiler}$  viene adeguato con termini di correzione. Con il fattore di carico  $\alpha$ , il rendimento della caldaia  $\eta_{boiler}$  e il livello di carico medio L, il rendimento annuale  $\eta_a$  può essere calcolato ([122], **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

Si presume che l'efficienza della caldaia  $\eta_k$  sia costante nell'intera gamma di carico. La quota relativa più alta di perdite per irraggiamento nel funzionamento a carico parziale è compensata da temperature dei fumi più basse.

### Fattore di utilizzo $\alpha$

$$\alpha = \frac{\text{Tempo di funzionamento}}{\text{Tempo di accensione}} = \frac{t_{Operation}}{t_{On}} [-]$$

La durata di accensione comprende il tempo di funzionamento regolare e il tempo di standby (manutenzione del letto di braci) di un impianto di combustione tra l'accensione all'inizio del periodo di riscaldamento e lo spegnimento alla fine del periodo di riscaldamento. Il tempo di funzionamento e il tempo di standby vengono solitamente registrati con un contatore di ore di funzionamento o tramite il controllo PLC.

### Efficienza della caldaia $\eta_{boiler}$

L'efficienza della caldaia  $\eta_{boiler}$  per un forno a cippato automatico con i seguenti parametri di funzionamento è uguale:

Parametri di funzionamento:

Temperatura del gas di scarico	$T_{exh-gas}$	=	120 °C
Rapporto di eccesso d'aria	$\lambda$	=	1.6
Contenuto d'acqua del carburante M		=	38 wt-%
Umidità del legno		=	60 % d.b.
Efficienza di combustione $\eta_{combustione}$		=	93% (nomogramma in Figura 20.8)
Perdite di radiazione $q_{rad}$		=	1.5 %
Efficienza della caldaia $\eta_{caldaia}$		=	$\eta_{Combustione} - q_{rad} = 93 - 1,5 = 91,5$

Una differenza eventualmente esistente tra le perdite di radiazione reali e quelle presunte  $q_{rad}$  dell'1,5% può essere aggiunta o sottratta direttamente all'efficienza della caldaia  $\eta_{boiler}$ . Se le perdite di radiazione  $q_{rad}$  non sono note, si può assumere approssimativamente che esse ammontino alla metà delle perdite di standby  $q_{standby}$ . Per gli altri parametri di funzionamento, si applicano le seguenti sommatorie di correzione:

per $\Delta u$	=	10%	legno più umido 0,4% efficienza della caldaia inferiore $\eta_{boiler}$
per $\Delta \lambda$	=	0.1	maggiore eccesso d'aria 0,6% minore efficienza della caldaia $\eta_{boiler}$
per $\Delta T_{exg-gas}$	=	10°C	temperatura dei gas di scarico più alta 1,0% di efficienza della caldaia in meno $\eta_k$

I totali di correzione si applicano anche al contrario.

### Livello di carico medio L

Il livello di carico medio L con cui il forno funziona in media durante il tempo di funzionamento può essere calcolato come segue:

$$L = \frac{\Delta HM * 100\%}{\dot{Q}_N * t_{Operation}} [%]$$

con: $\Delta HM$	=	valore finale del contatore di calore - valore iniziale del contatore di calore	[kWh]
$t_{Operazione}$	=	Tempo di funzionamento del forno	[h]
$\dot{Q}_N$	=	Potenza termica nominale	[kW]

**Perdite in standby  $q_{standby}$**

Le perdite di standby si verificano nelle fasi di attesa, cioè dopo ogni spegnimento di una caldaia a biomassa. Esse comprendono le perdite dovute al raffreddamento della caldaia a biomassa e all'apporto di combustibile (manutenzione del letto di combustione) per mantenere la caldaia a biomassa in temperatura pronta per il funzionamento. Le perdite in standby sono più basse per le caldaie a biomassa con un design leggero senza manutenzione del letto di combustione (dispositivi standard con accensione automatica), e più alte per le caldaie a biomassa con un design pesante con manutenzione del letto di combustione (caldaie industriali).

Per un impianto moderno di medie dimensioni, le perdite in standby  $q_{standby}$  ammontano a circa il 3%. I dati in Tabella 20.4 possono essere usati come valori guida per impianti di altre dimensioni.

Tabella 20.4 Valori guida per le perdite in standby  $q_{standby}$ .

Tipo di combustione	Perdite in standby $q_{standby}$
Dispositivo di serie fino a 300 kW	$q_{standby} \geq 1\% - 3\%$
Caldaie industriali fino a 300 kW	$q_{standby} \geq 3\% - 5\%$
Caldaie industriali > 300 kW	$q_{standby} \geq 1\% - 3\%$

**Fattore di utilizzo annuale  $\eta_a$**

Con il carico temporale  $\alpha$ , l'efficienza della caldaia  $\eta_{boiler}$ , le perdite in standby  $q_{standby}$  e il livello di carico medio L, l'efficienza annuale  $\eta_a$  può essere calcolata con la seguente formula (vedi Figura 20.9):

$$\eta_a = \eta_{boiler} \frac{1}{1 + \frac{q_{standby} * (1 - \alpha)}{L * \alpha}} [\%]$$

- Con:
- $\alpha$  = fattore di utilizzo [-]
  - $\eta_{boiler}$  = efficienza della caldaia [%]
  - $q_{standby}$  = perdite in standby [%]
  - L = livello di carico medio [%]

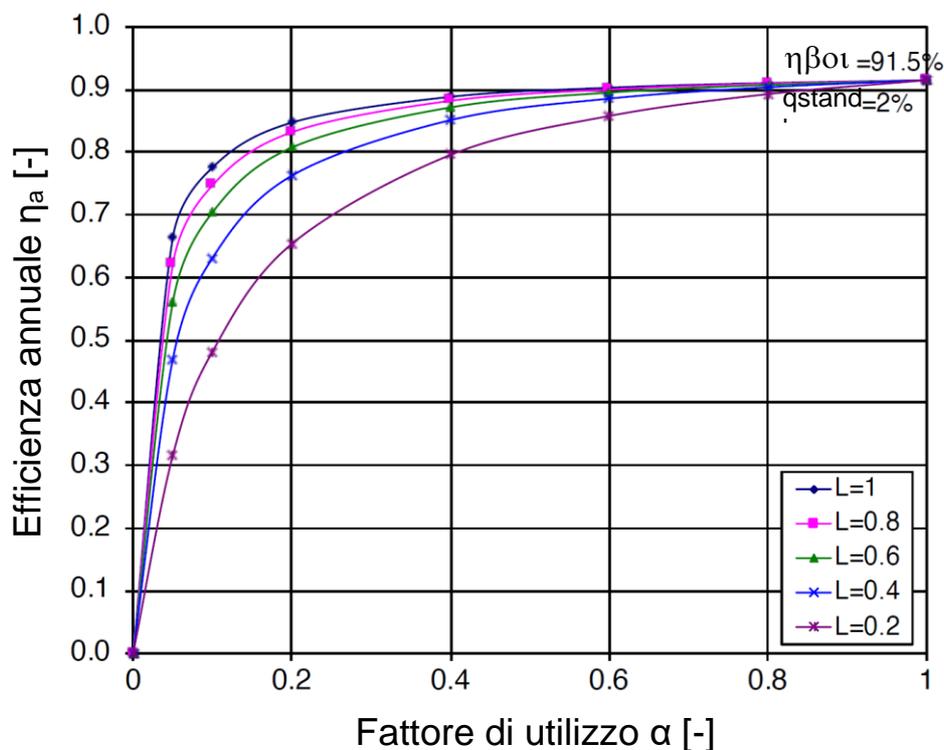


Figura 20.9 Efficienza annuale di una caldaia a biomassa in funzione del suo utilizzo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** con  $\eta_{boiler}$  efficienza della caldaia;  $q_{standby}$  perdite in standby; L livello di carico medio.

### Esempio di calcolo

#### Contatore di calore

Potenza termica nominale	= 700 kW
Rapporto di eccesso d'aria $\lambda$	= 1.6
$\Delta HM$	= 997,647 kWh
Temperatura del gas di scarico $T_{\text{exh-gas}}$	= 120 °C
Umidità del legno $u$	= 60 % d.b.
Contenuto d'acqua del carburante $M$	= 38 wt-%
Perdite di radiazione $q_{\text{rad}}$	= 1.5 %
Perdite in standby $q_{\text{standby}}$	= 2,0
Durata dell'accensione	= Periodo di riscaldamento
Tempo di funzionamento	= 2,036 h

#### Calcolo del fattore di utilizzo $\alpha$ :

Durata di accensione: Periodo di riscaldamento: Dal 15<sup>th</sup> settembre al 4<sup>th</sup> aprile = 202 giorni = 4.848 h; Tempo di funzionamento: 2.036 h

$$\alpha = \frac{\text{Tempo di operazione}}{\text{Tempo di accensione}} = \frac{2,036h}{4,848h} = 0.42$$

#### Determinazione dell'efficienza della caldaia $\eta_{\text{boiler}}$ :

Efficienza di combustione	$\eta_{\text{combustione}} = 93\%$ (determinazione con nomogramma Figura 20.8)
Perdite di radiazione	$q_{\text{rad}} = 1.5\%$
Efficienza della caldaia	$\eta_{\text{boiler}} = 93\% - 1.5\% = 91.5\%$

#### Calcolo del livello di carico medio $L$ :

$$L = \frac{\Delta HM * 100\%}{Q_N * t_{\text{operation}}} = \frac{997,647kWh * 100\%}{700kW * 2,036h} = 70\%$$

#### Calcolo del fattore di utilizzo annuale $\eta_a$

$$\eta_a = \eta_{\text{boiler}} \frac{1}{1 + \frac{q_{\text{standby}} * (1 - \alpha)}{L * \alpha}} = 91.5\% * \frac{1}{1 + \frac{2\% * (1 - 0.42)}{70\% * 0.42}} = 88\%$$

## 20.13 Unità comuni e conversioni

Tabella 20.5 Unità di misura comuni per i combustibili da biomassa solida. Vedere Tabella 20.6 per la conversione.

Simbolo	Significato
m <sup>3</sup>	Metro cubo (massa solida di legno senza interspazio), 1 m <sup>3</sup> = 1 fm ≈ 2,5 ... 2,8 LCM
fm	Metro cubo solido (massa solida di legno senza spazio intermedio), 1 fm = 1 m <sup>3</sup> ≈ 2,5 ... 2,8 LCM
LCM	Metro cubo sciolto, CH: Schnitzelkubikmeter Sm <sup>3</sup> , AT/GE: Schüttraummetro Srm
Metro cubo solido	Tronchi impilati 1x1x1 m (con spazi) = 0,7 fm = 0,7 m <sup>3</sup>

Tabella 20.6 Tabella di conversione (valori indicativi per legno con M = 15 %).

	Legno dolce WH	Legno duro HH
	Abete rosso/abete	Faggio
Legno massiccio	2,5 ... 2,8 LCM	2,5 ... 2,8 LCM
1 m <sup>3</sup> = 1 metro cubo solido (fm) corrisponde a	1,4 metri cubi 550 kg di legno	1,4 metri cubi 750 kg di legno
	200 litri di olio combustibile extra leggero	280 litri di olio combustibile extra leggero
	2000 kWh 7200 MJ	2800 kWh 10080 MJ
Trucioli di legno	0,36 m <sup>3</sup> (fm)	0,36 m <sup>3</sup> (fm)
1 metro cubo sciolto (LCM) corrisponde a	0,5 metri cubi 160 - 200 kg di legno	0,5 metri cubi 250 - 270 kg di legno
	70 litri di olio combustibile extra leggero	100 litri di olio combustibile extra leggero
	700 kWh 2520 MJ	1000 kWh 3600 MJ

Tabella 20.7 Prefissi e loro simboli

<b>Kilo</b>	<b>k</b>	10 <sup>3</sup>	
<b>Mega</b>	<b>M</b>	10 <sup>6</sup>	<b>Megawattora:</b> 1 MWh = 1.000 kWh
<b>Giga</b>	<b>G</b>	10 <sup>9</sup>	Gigawattora: 1 GWh = 1 milione di kWh
<b>Tera</b>	<b>T</b>	10 <sup>12</sup>	Terawattora: 1 TWh = 1 miliardo di kWh
<b>Peta</b>	<b>P</b>	10 <sup>15</sup>	
<b>Exa</b>	<b>E</b>	10 <sup>18</sup>	

Tabella 20.8 Unità per l'energia e la potenza

<b>Joule</b>	<b>J</b>	per energia, lavoro, quantità di calore	Vinculante per la Germania come unità legali dal 1978. La caloria e le unità derivate da essa, come l'unità di carbone fossile e l'unità di petrolio greggio, sono ancora usate come alternativa.
<b>Watt</b>	<b>W</b>	per la potenza, il flusso di energia, il flusso di calore	
1 Joule (J) = Newton metro (Nm) = 1 Wattsecondo (Ws)			

Tabella 20.9 Fattori di conversione per le unità di energia

		<b>kJ</b>	<b>kcal</b>	<b>kWh</b>	Le cifre si riferiscono al potere calorifico netto.
<b>1 Kilojoule</b>	kJ	1	0.2388	0.000278	
<b>1 chilocaloria</b>	kcal	4.1868	1	0.001163	
<b>1 Kilowattora</b>	kWh	3,600	860	1	
<b>1 kg di unità di carbone fossile</b> (tedesco: Steinkohleneinheit)	SKE	29,308	7,000	8.14	
<b>1 kg di unità di petrolio greggio</b> (tedesco: Rohöleinheit)	ROE	41,868	10,000	11.63	

## 21 Glossario

Termine	Significato
Calore ambientale	Il calore ambientale è una forma rinnovabile e naturale di energia che è ampiamente disponibile, solitamente a livelli di temperatura relativamente bassi. Le fonti di calore ambientale sono l'aria, la parte superficiale del suolo, così come l'acqua freatica, di lago e di fiume. Con le pompe di calore, il calore ambientale può essere portato a un livello di temperatura più alto e reso utilizzabile. Ciò richiede la fornitura di energia di alta qualità sotto forma di elettricità o di calore ad alta temperatura da un'altra fonte. Anche il calore ambientale di origine geotermica profonda o vulcanica può fornire direttamente calore utilizzabile a un livello di temperatura più alto.
COP annuale	Il COP annuale (coefficiente di prestazione) descrive il rapporto tra la produzione annuale di calore e l'energia elettrica o termica fornita a una pompa di calore durante lo stesso periodo. Descrive quindi l'efficienza di una pompa di calore su un periodo di funzionamento più lungo, in contrasto con il valore istantaneo del coefficiente di prestazione (vedi anche coefficiente di prestazione).
Domanda annuale di calore	La domanda annuale di calore di un consumatore è la domanda annuale di calore utile al punto di trasferimento del calore. Per una rete di teleriscaldamento, la domanda annuale di calore è la domanda al punto di fornitura (interfaccia tra la generazione di calore e la rete di distribuzione del calore) e include anche le perdite di calore della rete di teleriscaldamento.
Produzione annuale di calore	La produzione annuale di calore è la somma della produzione di calore di tutti gli impianti di generazione di calore (indipendentemente dalla fonte di energia) in un anno.
Ore annuali di funzionamento	Numero effettivo di ore all'anno in cui un impianto è in funzione. Contrariamente alle ore di funzionamento a pieno carico, il conteggio delle ore di funzionamento annuali è indipendente dalla rispettiva condizione di carico, vale a dire che un'ora di funzionamento annuale al 50% della capacità è considerata un'ora di funzionamento annuale (cfr. ore di funzionamento a pieno carico).
Carico di base, copertura del carico di base	Il carico di base si riferisce alla potenza costante richiesta, cioè durante l'intero periodo di funzionamento (stagione di riscaldamento o l'intero anno (8760 ore)). Il carico di base di una rete di teleriscaldamento è costituito dalla capacità termica stagionale indipendente richiesta dai consumatori (ad esempio per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria, il calore di processo, ecc. La copertura del carico di base si riferisce a un'unità di generazione di calore che viene utilizzata principalmente per coprire il carico di base (ad esempio un sistema di cogenerazione).
Biomassa (combustibili di legno)	La biomassa comprende tutta la materia organica prodotta da piante, animali ed esseri umani. La biomassa per scopi energetici proviene dall'agricoltura, dalla silvicoltura e dai residui biogenici (rifiuti). La biomassa adatta alla combustione è indicata come combustibile solido biogenico come la biomassa legnosa (residui forestali, legno di piccole dimensioni, residui industriali, ...), la biomassa gessosa (paglia, ...) e altre (piante di grano intero, bucce, noccioli, ...). In contrasto con la combustione, la biomassa può anche essere utilizzata energeticamente attraverso la fermentazione. A questo scopo, vengono utilizzate biomasse fermentabili, cioè non legnose, come il letame liquido, il letame, l'insilato di mais e di erba, e vari residui biogenici provenienti dall'agricoltura, dall'industria alimentare e persino i rifiuti biologici.
Generazione di calore bivalente	Generazione di calore con almeno due diversi vettori energetici; nel contesto degli impianti DH a biomassa QM, bivalente si riferisce principalmente all'impianto di riscaldamento centrale con una o più caldaie a biomassa e una a combustibile fossile di riserva per la copertura dei carichi di punta e la riserva in caso di guasto. In senso più ampio, tuttavia, si riferisce a qualsiasi tipo di sistema di generazione di calore che utilizza 2 o più fonti di energia diverse (ad esempio, legno ed energia termica solare, legno e calore residuo, ecc.)
Efficienza della caldaia	L'energia utile prodotta da una caldaia (sul lato acqua) divisa per l'energia fornita con il potere calorifico netto del combustibile. La determinazione viene fatta sia per uno stato stazionario senza effetti di accumulo (ad esempio nel caso di sistemi di combustione automatici) o su un intero processo di combustione (ad esempio nel caso di sistemi di combustione alimentati manualmente).
Temperatura di ingresso della caldaia	Temperatura del mezzo di trasferimento del calore misurata nel tubo direttamente all'ingresso della caldaia (a valle della protezione della temperatura di ritorno della caldaia!)
Temperatura di uscita della caldaia	Temperatura del mezzo di trasferimento del calore misurata nel tubo direttamente all'uscita della caldaia. La temperatura di uscita della caldaia è una variabile di controllo di base per la caldaia.
Coefficiente di prestazione (COP)	Il coefficiente di prestazione (COP) è il rapporto tra la potenza termica utile generata e la potenza elettrica o termica fornita in ingresso di una pompa di calore. Descrive un valore istantaneo o un valore determinato su un periodo di osservazione a breve termine. Il coefficiente di rendimento termodinamicamente (teoricamente) massimo ottenibile viene chiamato Carnot-COP. Questo può essere convertito nel COP effettivo di una pompa di calore utilizzando un fattore di qualità specifico del prodotto. Il fattore di rendimento annuale viene utilizzato per la valutazione su un periodo di osservazione più lungo (vedi fattore di rendimento annuale).

Termine	Significato
Valvola combinata	Le valvole combinate sono valvole speciali utilizzate principalmente nelle stazioni di trasferimento del teleriscaldamento per limitare la portata e controllare la pressione differenziale con una sola valvola. La portata massima possibile e quindi la capacità massima (= carico collegato sottoscritto) della stazione di trasferimento viene impostata tramite il limitatore di portata regolabile. Inoltre, la pressione differenziale e quindi la portata sul lato primario viene controllata in base alla temperatura di mandata secondaria misurata, al fine di raggiungere la temperatura di mandata impostata richiesta sul lato secondario.
Impianto di cogenerazione (CHP)	Impianto di generazione di energia per la produzione simultanea di calore e di energia elettrica. A questo scopo vengono utilizzate macchine termiche come un sistema ORC o un motore a gas, con cui viene prodotto calore utilizzabile in aggiunta alla potenza elettrica. Gli impianti compatti con motori o piccole turbine a gas vengono chiamati anche centrali termoelettriche a blocco o centrali di riscaldamento a blocco, mentre le centrali termiche con sfruttamento del calore residuo vengono chiamate centrali termoelettriche combinate o centrali di cogenerazione (vedi capitolo <b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b> ).
Concurrency (fattore di concorrenza)	In una rete di riscaldamento, la concorrenza descrive l'effetto che, nel caso di un gran numero di consumatori di calore, questi non prelevano mai tutti contemporaneamente la potenza termica massima garantita per contratto. Il fattore di concorrenza è 1 per un singolo consumatore di calore e diventa più piccolo di 1 per più consumatori di calore. Descrive il rapporto tra la domanda di capacità termica massima effettivamente prevista di tutti i consumatori di calore e il loro carico totale sottoscritto e collegato.
Carico collegato (carico collegato sottoscritto)	Il carico connesso o il carico connesso sottoscritto è la domanda massima di calore concordata contrattualmente di un consumatore di calore (cliente di teleriscaldamento) connesso a una rete di teleriscaldamento. Il carico connesso (anche carico connesso totale) di una rete di teleriscaldamento è la somma dei carichi connessi di tutti i consumatori di calore.
Installazione del consumatore	L'installazione del consumatore consiste nel sistema di distribuzione nell'edificio per la distribuzione del calore spaziale e di processo e dell'acqua calda sanitaria.
Valutazione della domanda	La valutazione della domanda è un'analisi della domanda di energia e di potenza per il calore (riscaldamento degli spazi, acqua calda e calore di processo), la situazione strutturale per il percorso e la potenziale area di fornitura di calore (vedi capitolo <b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b> ).
Pianificazione del design	Fase del progetto in cui viene pianificata e definita la soluzione tecnica del progetto. In CH questo è chiamato anche "pre-progetto", mentre in DE e AT è talvolta chiamato anche pianificazione del sistema e dell'integrazione.
Teleriscaldamento	Il teleriscaldamento descrive una fornitura di calore tramite condutture ai clienti collegati con calore generato centralmente da una o più centrali termiche. Il sistema di tubature con tutte le attrezzature aggiuntive necessarie (esclusa la generazione) viene definito rete di teleriscaldamento. L'acqua (solo raramente il vapore) viene utilizzata come mezzo di trasferimento del calore per trasportare il calore attraverso le pompe centrali di teleriscaldamento e un circuito chiuso di tubazioni fino alle stazioni di trasferimento del calore. Le reti di teleriscaldamento coprono un'ampia gamma di prestazioni con carichi collegati da meno di 100 kW fino a oltre 1 GW.
Calore locale	Per le reti più piccole, il termine calore locale (reti di riscaldamento locale) è talvolta usato (specialmente in AT e DE), dove non ci sono differenze tecniche fondamentali a parte la dimensione dell'impianto. In Germania, è usato per descrivere il trasferimento di calore per il riscaldamento e l'acqua calda tra edifici con capacità tra 50 kW e diversi megawatt [75]. Minergie utilizza anche il termine riscaldamento locale quando l'impianto di produzione di calore alimenta alcuni edifici o complessi di edifici, anche se non deve necessariamente esserci una vendita a terzi <b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b> Non esiste una definizione o un confine uniforme tra riscaldamento locale e teleriscaldamento ed entrambi i termini sono usati in questo manuale di pianificazione. Nell'uso linguistico internazionale, questa distinzione non esiste. Altri sinonimi di rete di teleriscaldamento sono rete di distribuzione del calore, rete di calore, rete termica o rete di riscaldamento locale.
Doppio tubo	Metodo speciale di costruzione di un tubo di teleriscaldamento preisolato in fabbrica. I tubi di mandata e ritorno (tubi di servizio) sono installati in un comune tubo di rivestimento in plastica con schiuma PUR come isolamento termico. Sono disponibili versioni rigide e flessibili con tubo medio in acciaio o in plastica.
Economizzatore	Un economizzatore è uno scambiatore di calore per il recupero di calore utilizzando il calore di scarto di un'ampia varietà di processi termodinamici o industriali. Nella tecnologia della combustione e delle caldaie, l'economizzatore viene utilizzato per recuperare il calore dai fumi caldi a valle della caldaia, riducendo così la temperatura dei fumi e aumentando l'efficienza complessiva dell'impianto.
Efficienza	L'efficienza di un sistema tecnico descrive il rapporto tra energia utile ed energia fornita. In condizioni stabili senza effetti di accumulo, l'efficienza può anche essere determinata come il rapporto tra la potenza utile e la potenza fornita. In questo manuale, il termine efficienza è usato per un valore istantaneo determinato tramite la potenza o un valore determinato su un breve periodo di osservazione.

Termine	Significato
	Per la valutazione del funzionamento dell'impianto su un periodo di tempo più lungo, il fattore di utilizzo descrive il rapporto tra la potenza utile sommata su un determinato periodo e la potenza fornita sommata sullo stesso periodo (vedi fattore di utilizzo).
Indice di efficienza energetica (EII)	La base per determinare quali modelli di pompa possono essere utilizzati in futuro è il cosiddetto indice di efficienza energetica (EEI). Esso viene determinato secondo un metodo di calcolo definito nel Regolamento (CE) 641/2009. Il rendimento medio della pompa, determinato mediante un profilo di carico, viene considerato in relazione a una pompa di riferimento, ovvero una pompa media con la stessa potenza idraulica.
Area di riferimento energetico	L'area di riferimento energetico è un importante indicatore dell'edificio ed è la somma di tutte le aree del pavimento sopra e sotto il suolo di un edificio dove è necessario il riscaldamento o l'aria condizionata. La superficie di riferimento energetico è calcolata al lordo, cioè a partire dalle dimensioni esterne, compresi i muri limitanti e i parapetti. Per temperature ambiente diverse, stanze alte, ecc. esistono fattori di correzione specifici per ogni paese. Come approssimazione, la superficie lorda del pavimento riscaldata può essere presa come superficie di riferimento energetico.
Fase di esecuzione	Fase del progetto in cui avviene la realizzazione dell'impianto. Nel corso dell'esecuzione/realizzazione, deve essere effettuata una supervisione professionale della costruzione o una supervisione locale della costruzione.
Letto combustibile	Nella tecnologia della combustione, il letto di combustibile si riferisce al combustibile sotto forma di una massa uniforme ("letto") su una griglia di combustione o in una camera di combustione.
Ore di funzionamento a pieno carico e numero di ore di funzionamento a pieno carico	Il numero di ore di funzionamento a pieno regime è il fabbisogno energetico annuale diviso per la potenza termica nominale. È un parametro importante per il dimensionamento del sistema per un singolo consumatore (numero di ore di funzionamento a pieno regime per i consumatori di calore), una caldaia o l'intera generazione di calore. Un'ora di esercizio completa corrisponde, per esempio, a un'ora di funzionamento a carico nominale o a due ore di funzionamento a carico del 50 % e vale: numero di ore di esercizio complete ≤ numero di ore di esercizio annuali (vedi ore di esercizio annuali).
Sistema d'informazione geografica (GIS)	Applicazione di elaborazione dati per l'acquisizione, l'elaborazione, l'organizzazione, l'analisi e la presentazione di dati spaziali. Per la pianificazione di reti di teleriscaldamento, può essere utilizzato per determinare il percorso, tenendo conto delle condizioni geografiche e di eventuali altri sistemi di approvvigionamento esistenti (acqua, gas, elettricità, ecc.). Inoltre, il GIS può anche essere usato per stimare il fabbisogno locale di energia e potenza.
Gradiente	Differenza minima di temperatura tra un mezzo caldo che emette calore e un mezzo freddo che lo assorbe in uno scambiatore di calore. Tra l'altro, serve a determinare la qualità tecnica di un processo di trasferimento di calore. Di regola, questa differenza di temperatura dovrebbe essere la più bassa possibile (ad esempio, soprattutto nel caso di stazioni di trasferimento del teleriscaldamento per ottenere una bassa temperatura di ritorno nella rete di riscaldamento). Quando si progetta uno scambiatore di calore, tuttavia, si devono valutare i benefici e i costi (dovuti a superfici di scambio più grandi).
Consumatore di calore, cliente (collegato)	Edifici/proprietà (e i loro proprietari) collegati a una rete di teleriscaldamento che ricevono il calore dalla rete di riscaldamento o dall'impianto di riscaldamento centrale (e quindi da una società di fornitura di calore) in conformità con gli accordi del contratto di fornitura di calore.
Densità della domanda di calore	La densità della domanda di calore è la domanda annuale di calore di tutti gli edifici in una zona di approvvigionamento in relazione alla dimensione della zona di approvvigionamento (vedi capitolo <b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b> ).
Perdite nella distribuzione del calore	Le perdite di distribuzione del calore sono un parametro importante per le reti di riscaldamento (e sono anche chiamate perdite di rete). Sono definite come la differenza tra il calore fornito a una rete di riscaldamento (dalla generazione) e il consumo totale di calore di tutti i consumatori di calore. Le perdite di distribuzione del calore possono essere presentate come valore assoluto (= differenza di quantità di calore) o come valore relativo (perdite di rete in percentuale). Nel caso delle perdite di rete relative, la differenza tra l'immissione e il consumo viene divisa per la quantità di calore immessa. Le perdite di rete sono determinate dalla capacità prevalente di distribuzione del calore nella rete, che dipende dalla differenza di temperatura tra il mezzo di teleriscaldamento e l'ambiente (terreno), dalla qualità dell'isolamento dei tubi di teleriscaldamento e dalle dimensioni dei tubi.
Scambiatore di calore	Uno scambiatore di calore è un dispositivo in cui l'energia termica viene trasferita da un flusso di materiale caldo a un altro flusso di materiale più freddo attraverso superfici di trasferimento del calore (ad esempio piastre o fasci di tubi).
Costi di produzione del calore	I costi di produzione del calore sono il rapporto tra i costi annuali di produzione del calore e il calore utile prodotto annualmente e rappresentano i costi specifici di produzione del calore in CHF/MWh o €/MWh (vedi capitolo 10.4.2). I costi annuali sono solitamente determinati usando il metodo della rendita secondo la VDI 2067 [97] e comprendono i costi del capitale (rendita dall'investimento), i costi operativi (manutenzione/servizio e costi del personale), i costi energetici (combustibili ed energia ausiliaria) e altri costi (per esempio la pianificazione).
Aziende di fornitura di calore (fornitori di calore)	Società (società operativa) che gestisce il sistema di fornitura di calore (centrale termica, rete di riscaldamento) ed è responsabile della fornitura di calore assicurato ai consumatori di calore come concordato in un contratto di fornitura di calore.

Termine	Significato
Contratto di fornitura di calore	L'interfaccia tra l'azienda di fornitura di calore (fornitore) e il consumatore di calore (cliente) è concordata contrattualmente nel contratto di fornitura di calore. Esso contiene anche le seguenti componenti contrattuali: Condizioni generali di contratto, Requisiti tecnici di allacciamento (TAV) e una scheda tariffaria.
Mezzo di trasferimento del calore	Il mezzo utilizzato per il trasporto del calore, come l'acqua, il vapore o l'olio diatermico.
Impianto di riscaldamento Impianto di teleriscaldamento Impianto di riscaldamento centrale	Sistema centrale per la fornitura di calore per grandi proprietà/edifici/imprese, una piccola rete di riscaldamento o una rete di teleriscaldamento.
Acqua calda	Il termine acqua calda è usato in modo diverso nell'ingegneria degli edifici e nell'ingegneria del teleriscaldamento come segue: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nella tecnologia del teleriscaldamento, l'acqua calda descrive l'acqua di circolazione nella rete di teleriscaldamento quando la temperatura è fino a 110 °C, mentre l'acqua di circolazione sopra i 110 °C è chiamata acqua surriscaldata. Rispetto ai sistemi ad acqua calda, ai sistemi ad acqua surriscaldata si applicano altri standard, linee guida e regolamenti, e in particolare maggiori precauzioni di sicurezza. L'acqua nella rete di teleriscaldamento non deve essere necessariamente di qualità potabile e quindi non deve essere confusa con l'acqua calda sanitaria (domestica) nei servizi degli edifici.</li> <li>• Nella tecnica edilizia, l'acqua calda sta per acqua potabile riscaldata (detta anche acqua calda sanitaria), che viene messa a disposizione a circa 60 °C. Il riscaldamento e la fornitura di acqua calda sanitaria vengono effettuati con scaldacqua. Questo può essere un serbatoio ad accumulo (scaldabagno ad accumulo, caldaia) o uno scaldabagno istantaneo.</li> </ul>
Allacciamento alla casa (tubatura)	Condotta di collegamento tra la rete di distribuzione del calore e la stazione di trasferimento del calore.
Sottostazione della casa	La sottostazione domestica è composta dalla stazione di trasferimento del calore e dall'installazione dell'utente. Serve per adattare la fornitura di calore all'impianto dell'utente in termini di pressione, temperatura e flusso volumetrico. Quando si progetta la sottostazione domestica, si deve distinguere tra collegamento diretto o indiretto (con/senza scambiatore di calore per la separazione idraulica).
Clienti chiave	I clienti del teleriscaldamento con grandi richieste di calore, che contribuiscono significativamente al fabbisogno totale di calore di una rete e sono quindi di grande importanza per lo sviluppo del progetto (focus sui potenziali clienti chiave - vedi capitolo <b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b> ), la pianificazione generale e il dimensionamento della rete di calore e degli impianti di generazione.
Densità di calore lineare, densità di connessione	La densità di calore lineare (vedi capitolo <b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b> ) è il rapporto tra la quantità annua di calore venduto in MWh/a e la lunghezza totale del percorso delle tubazioni principali, delle diramazioni e dei collegamenti alle abitazioni in metri. La densità di calore lineare può anche essere calcolata per singole sottoreti o reti collegate e utilizzata per la valutazione.
Caratteristica di carico	La curva caratteristica del carico è la rappresentazione della domanda di potenza termica in funzione del valore medio giornaliero della temperatura esterna. Per la temperatura esterna si deve sempre utilizzare il valore medio delle 24 ore, mentre il fabbisogno di potenza termica può essere un valore medio giornaliero (ad es. per gli edifici residenziali) o un valore di picco (ad es. per gli edifici ad uso ufficio). La caratteristica di carico del sistema complessivo risulta dalla sommatoria di diverse caratteristiche di carico (vedi capitolo 11.3.2).
Metri cubi sciolti (LCM)	Volume alla rinfusa del materiale cippato in metri cubi (tedesco: Schüttraummeter [Srm], CH: Schnitzelkubikmeter [Sm <sup>3</sup> ])
Lumpiness	Specifica le dimensioni e la geometria dei combustibili solidi ed è una parte essenziale della caratterizzazione dei combustibili da biomassa. La "grumosità" è specificata secondo le norme sui combustibili come la EN-ISO 17225 [21].
Pianificatore principale	Progettista responsabile nei confronti del proprietario dell'impianto per la qualità dell'intero sistema. Per la pianificazione del progetto secondo il MQ per gli impianti di teleriscaldamento a biomassa, nel piano Q deve essere sempre designato un progettista principale.
Temperatura massima di funzionamento continuo	Temperatura massima ammissibile di funzionamento senza restrizione di tempo.
Temperatura massima di funzionamento ammissibile	Temperatura massima ammissibile di funzionamento di un sistema (generazione di calore, reti di calore, ...) per un breve periodo di tempo.

Termine	Significato
Pietra miliare	<p>QM Holzheizwerke stabilisce 5 pietre miliari per la garanzia della qualità alla fine delle fasi più importanti del progetto (vedi capitolo <b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b>):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Creazione di un Q-piano per impianti DH a biomassa e pianificazione iniziale come conclusione della fase 1 del progetto</li> <li>2. Q-check e Q-control a livello di studi preliminari come conclusione della fase 2 del progetto</li> <li>3. Q-check e Q-control a livello di progetto di gara come conclusione della fase 3 del progetto</li> <li>4. Q-check e Q-control a livello di accettazione come conclusione della fase 5 del progetto</li> <li>5. Controlli e ottimizzazione a completamento del QM per gli impianti DH a biomassa dopo un anno di funzionamento come conclusione della fase 6 del progetto</li> </ol>
Generazione di calore monovalente	Generazione di calore con un unico vettore energetico, ad esempio un sistema di riscaldamento gestito esclusivamente con caldaie a biomassa (cfr. generazione di calore bivalente).
Nodo critico della rete	Posizione in una rete di riscaldamento con la pressione differenziale più bassa tra la mandata e il ritorno. Questo punto si trova di solito in una stazione di trasferimento lontana dai centri di riscaldamento, ma può spostarsi a seconda dello stato di funzionamento della rete di riscaldamento (scarico o alimentazione). Il nodo critico della rete serve come variabile definita per le pompe di rete (gruppo pompa principale). Installando dei sensori di pressione differenziale sul nodo critico della rete, le pompe di rete possono essere controllate anche in base alla pressione differenziale sul nodo critico.
Pressione della rete	La pressione di rete è la pressione nella conduttura del teleriscaldamento.
Separazione della rete	La separazione della rete si riferisce alla separazione di due sezioni di rete o della rete dalle unità di generazione. Questo può essere realizzato, per esempio, da uno scambiatore di calore (separazione tecnica, mezzi di trasferimento del calore separati) o un separatore idraulico (separazione idraulica, mezzo di trasferimento del calore comune).
Temperatura della rete	La temperatura di rete è la specifica congiunta della temperatura di mandata e di ritorno in gradi Celsius (per esempio 80/50) e deve essere intesa come un valore tipico per una rete di riscaldamento (eventualmente con differenziazione tra funzionamento estivo e invernale).
Diametro nominale DN, dimensione nominale, diametro nominale	Il diametro nominale specifica un diametro di riferimento per un sistema di tubazioni, che viene utilizzato per definire le dimensioni e la compatibilità dei componenti. Il diametro nominale fa parte della designazione del componente secondo EN ISO 6708 <b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b> e non è identico al diametro interno o esterno di un tubo o di un componente.
Potenza termica nominale	Massimo rendimento continuo di un sistema (per esempio una caldaia a biomassa) per il quale è stato progettato secondo le specifiche del produttore e i combustibili ivi definiti senza restrizioni temporali.
Pressione nominale PN (Pressure Nominal)	La pressione nominale è un valore di riferimento per la pressione di progetto di un sistema di tubazioni. È specificata secondo DIN, EN e ISO dalla designazione PN (Pressure Nominal) seguita da un numero che indica la pressione di progetto in bar a temperatura ambiente (20 °C). La definizione e la selezione è fatta secondo la norma EN 1333 <b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b>
Ottimizzazione del funzionamento, ottimizzazione del funzionamento dell'impianto	Con l'ottimizzazione operativa, il funzionamento dell'impianto viene sistematicamente controllato e ottimizzato dopo che l'impianto è stato consegnato al proprietario. Con il QM per gli impianti DH a biomassa, l'ottimizzazione operativa è responsabilità delle imprese che eseguono i lavori sotto la direzione del progettista principale (vedi capitolo <b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b> ).
Carico di picco	Richiesta di potenza termica massima che di solito si verifica solo per un breve periodo di tempo (ad esempio a temperature esterne molto basse, carico di picco di una rete di riscaldamento al mattino). Il carico di picco di un sistema è di solito molte volte superiore alla produzione media giornaliera o annuale. Il carico di picco che si verifica ha un'influenza significativa sulla configurazione dell'impianto e sul dimensionamento di tutti i componenti dell'impianto. Integrando accumulatori di bilanciamento del carico, il carico di picco effettivo che deve essere fornito dagli impianti di generazione può essere ridotto. Per coprire i picchi di carico vengono utilizzate anche delle caldaie supplementari (spesso a combustibile fossile). Queste dovrebbero avere un'ampia gamma di controllo ed essere in grado di essere accese e spente rapidamente. Come ridondanza aggiuntiva, le caldaie di picco sono spesso progettate per essere grandi in modo da compensare il fallimento di una o più caldaie di carico di base (backup di guasto).
Periodo di funzionamento tra le pulizie	Periodo di funzionamento (intervallo di pulizia) di un impianto di combustione o di una caldaia tra due arresti programmati per la pulizia (manuale).
Condutture	Il termine include fognie, acqua, acque reflue e linee elettriche di un comune, città o corporazione.
Studio preliminare (pianificazione preliminare, studio di fattibilità)	Fase iniziale del progetto in cui si determina la variante di progetto che meglio soddisfa i requisiti. Sulla base dello studio preliminare, viene presa una decisione sul proseguimento del progetto (decisione d'investimento). A seconda del paese/regione, lo studio preliminare è chiamato anche pianificazione preliminare, studio di fattibilità o progetto e pianificazione preparatoria (vedi anche capitolo <b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b> ).

Termine	Significato
Manutenzione della pressione	Un sottosistema del sistema idraulico (generazione e distribuzione del calore) che assorbe la variazione di volume dell'acqua calda tra la temperatura minima e massima e mantiene così una pressione statica preimpostata ampiamente costante (mantenimento della pressione).
Lato primario	Il lato primario di una stazione di trasferimento del calore è il lato della rete di riscaldamento, cioè la parte del sistema attraverso cui scorre il mezzo di teleriscaldamento. I termini temperatura primaria di mandata e di ritorno sono le temperature prevalenti sul lato primario (lato rete) dello scambiatore di calore. Analogamente il termine pressione primaria (vedi anche lato secondario).
Fasi del progetto	<p>La QM Holzheizwerke divide il processo del progetto nelle seguenti 6 fasi:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Studio preliminare</li> <li>2. Pianificazione del design</li> <li>3. Pianificazione della gara d'appalto</li> <li>4. Gare d'appalto e contratti</li> <li>5. Esecuzione e approvazione</li> <li>6. Ottimizzazione del funzionamento</li> </ol> <p>Le fasi del progetto di QM Holzheizwerke descrivono una tipica sequenza del progetto, tuttavia i termini e l'ambito di lavoro dettagliato delle singole fasi del progetto possono differire nei diversi paesi/regioni. A tal fine è necessario tenere conto delle norme e delle direttive specifiche del rispettivo paese.</p>
Gestione della qualità del progetto (PQM)	Assicura che la qualità desiderata sia definita e testata in un progetto limitato nel tempo che coinvolge diverse aziende. Il PQM non deve essere confuso con la gestione della qualità dell'azienda (certificazione secondo ISO 9000) e il controllo dei campioni di prodotto (prova di tipo). Tuttavia, il PQM può naturalmente essere applicato nel quadro dei sistemi di QM certificati relativi all'azienda delle aziende coinvolte nel progetto. (QM Holzheizwerke è un sistema PQM; vedi capitolo <b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b> ).
QM per impianti di teleriscaldamento a biomassa	Sistema di gestione della qualità legato al progetto per impianti a biomassa. L'accento è posto sulla concezione, pianificazione e realizzazione professionale dell'impianto di produzione di calore e della rete di riscaldamento per garantire un'elevata sicurezza di funzionamento, un controllo preciso, basse emissioni e una logistica economica del combustibile. L'obiettivo è un funzionamento efficiente dal punto di vista energetico, ecologico ed economico dell'intero impianto.
Q-manager	Assicura che il sistema di gestione della qualità "QM Impianti termici a legna" sia stabilito e mantenuto. Le sue attività sono: pianificazione della qualità, il controllo di qualità e i controlli della qualità.
Q-plan	<p>Il Q-Plan è il documento centrale del QM per gli impianti DH a biomassa, in cui i requisiti di qualità (incl. strumentazione, metodo di misurazione e tolleranza) e le responsabilità sono definiti prima della realizzazione dell'impianto e sono regolarmente controllati e aggiornati durante l'ulteriore corso del progetto. Il Q-Plan consiste di due documenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Documento principale, creato durante l'istituzione del QM per gli impianti DH a biomassa nella pietra miliare 1</li> <li>• Documento aggiuntivo, con una tabella EXCEL, che viene creato dal QM per gli impianti DH a biomassa quando viene raggiunta ogni ulteriore pietra miliare. Il documento aggiuntivo viene utilizzato per il controllo e la gestione della qualità durante il progetto (vedi capitolo 2.3.4).</li> </ul>
Qualità (Q)	Relazione tra lo standard dell'oggetto materiale o immateriale (qui: l'impianto di riscaldamento a biomassa e la rete di riscaldamento) e la qualità prevista (solitamente costituita da una somma di singoli requisiti di qualità). Buona qualità significa qui che il progetto realizzato soddisfa tutti i requisiti di qualità concordati nel Q-piano entro le tolleranze concordate.
Controlli di qualità	Controlli continui durante il corso del progetto e in particolare alla fine (controllo finale) per determinare se i requisiti di qualità concordati nel piano di qualità sono entro la tolleranza concordata.
Controllo di qualità (Q-control)	Definizione di misure nel processo del progetto, che assicurano che le deviazioni di qualità siano rilevate e corrette in tempo.
Gestione della qualità (QM)	Include la metodologia e tutte le attività che definiscono i requisiti e le responsabilità della qualità e li implementano attraverso la pianificazione della qualità, i controlli e il controllo della qualità.
Pianificazione della qualità (Q-pianificazione)	Definizione inequivocabile dei requisiti di qualità, compresa la responsabilità, la strumentazione, il metodo di misurazione e la tolleranza in un piano Q. Assicura che i singoli requisiti elencati nel piano Q siano conformi alle regole di costruzione riconosciute e allo stato attuale della tecnica.
Requisiti di qualità (Q-requisiti)	Requisiti individuali che vengono posti sulla qualità di un impianto. In QM Holzheizwerke, i requisiti di qualità per un impianto di riscaldamento a biomassa sono definiti nel Q-piano. I requisiti di qualità sono formulati in dettaglio nelle Q-linee guida.
Quench	Il quench è una parte opzionale integrabile di un impianto di condensazione dei gas di scarico. In un quench, un flusso di gas di scarico caldo viene raffreddato fino al punto di saturazione iniettando acqua. Questo permette un migliore recupero di calore (trasferimento di calore) dal gas di scarico. La saturazione del gas di scarico assicura anche che il condensatore

Termine	Significato
	a valle funzioni sempre bagnato per evitare incrostazioni e corrosione. L'iniezione d'acqua "lava" anche la polvere dal gas di scarico. Le tempere sono quindi anche un componente degli scrubber di gas di scarico, dove l'iniezione di acqua lega la polvere nel flusso di gas di scarico e la separa nei separatori di gocce a valle (per esempio separatori centrifughi).
Ridondanza	Fornitura di un'unità funzionale aggiuntiva che non è richiesta nel funzionamento regolare come backup per aumentare la sicurezza operativa (ad esempio, l'installazione di una seconda pompa di progettazione identica).
Percorso Lunghezza del percorso Routing	Il percorso è la premessa necessaria per la posa (intradamento) della conduttura di teleriscaldamento. La determinazione del tracciato fa parte della pianificazione della rete di teleriscaldamento e ha un'influenza significativa sullo sviluppo dell'area di fornitura e sulla futura espansione della rete, nonché sui costi di investimento di una rete di riscaldamento. La lunghezza del percorso è la lunghezza totale del percorso delle tubazioni principali, delle diramazioni e dei collegamenti domestici in metri (in tedesco chiamato anche "Trassenmeter" - metri di trincea [Trm]). Per un tubo di mandata e uno di ritorno, la lunghezza del tubo è il doppio della lunghezza del percorso.
Lato secondario	Il lato secondario di una stazione di trasferimento è il lato dell'edificio, cioè la parte dell'impianto attraverso cui scorre il mezzo di riscaldamento dell'impianto domestico. I termini temperatura di mandata e di ritorno secondaria sono quelle temperature che prevalgono sul lato secondario (lato edificio) dello scambiatore di calore. Analogamente, il termine pressione secondaria (vedi anche lato primario).
Vita di servizio	La vita utile è il periodo di tempo durante il quale i sistemi, le macchine o gli utensili possono funzionare fino alla prossima manutenzione, pulizia o simili. È il periodo di tempo durante il quale il sistema (macchina, utensile) può lavorare senza interruzioni.
Stack	In silvicoltura, il termine pila o catasta di legna è usato per descrivere i tronchi impilati della stessa lunghezza che sono immagazzinati nei depositi di raccolta o di legname.
Fuochista (vite del fuochista)	Unità di trasporto con cui il combustibile viene alimentato direttamente nella camera di combustione o sulla griglia di combustione. È quindi l'ultimo anello del trasporto del combustibile dal deposito del combustibile alla fornace. Il fuochista può essere progettato come un trasportatore a coclea, un inserimento idraulico o altri (ad esempio, alimentazione a getto con fuochista a spaglio). Il fuochista deve assicurare un'alimentazione uniforme del combustibile e soddisfare requisiti speciali per quanto riguarda l'esclusione dell'aria, la prevenzione del ritorno di fiamma e la resistenza alla temperatura.
Valore obiettivo	Valore che è stato dimostrato in progetti comparabili e di successo. Se viene dato un valore obiettivo per un Q-requisito, ciò significa che questo valore dovrebbe essere mirato. Tuttavia, ci possono essere buone ragioni per deviare da questo valore target, ma le deviazioni dovrebbero essere giustificate. (Al contrario, un valore limite non può essere superato o sottostimato).
Tariffa (foglio tariffario)	La scheda tariffaria fa parte del contratto di fornitura di calore e regola i prezzi, le tariffe e le altre condizioni per la fornitura di calore (vedi anche contratto di fornitura di calore).
Requisiti tecnici di connessione (TCR)	I requisiti tecnici di connessione (anche norme tecniche di connessione) regolano idealmente tutte le condizioni di connessione tecnicamente rilevanti per una rete di teleriscaldamento come la pressione, la temperatura, il materiale, l'attrezzatura di misurazione, la fatturazione e altro. Si applicano alla pianificazione, all'allacciamento e al funzionamento della rete di teleriscaldamento. I TCR fanno parte del contratto di fornitura di calore (vedi capitolo <b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b> ).
Diffusione della temperatura	Differenza tra la temperatura di mandata e di ritorno o di ingresso e di uscita di un apparecchio. In una rete di teleriscaldamento, è soprattutto la differenza di temperatura del lato primario che interessa, cioè nella rete di teleriscaldamento, nel caso dei generatori di calore tra l'entrata e l'uscita e nel caso dei serbatoi di stoccaggio tra l'alto e il basso.
Gare d'appalto e contratti	Fase del progetto in cui il progetto di gara viene messo in gara e aggiudicato. Il termine pianificazione della gara d'appalto è anche comunemente usato. Questo include la preparazione e l'invio dei documenti di gara, la preparazione del contratto di aggiudicazione (confronto delle offerte, confronto dei prezzi) e la partecipazione all'aggiudicazione del contratto. La base per la preparazione della gara è il progetto di gara, che rappresenta lo stato di pianificazione dell'impianto al momento della gara.
Stazione di trasferimento (stazione di trasferimento del teleriscaldamento, stazione di trasferimento del calore)	La stazione di trasferimento è il collegamento tra la conduttura di collegamento all'abitazione e l'installazione del consumatore. È utilizzata per il trasferimento contrattuale di calore e la misurazione del consumo di calore.
Tasso di utilizzo, efficienza annuale	Il grado di utilizzo è il rapporto tra l'energia utile prodotta in un periodo definito più lungo e l'energia fornita nello stesso periodo di tempo. Questo corrisponde all'energia utile totale nel periodo definito (per esempio leggendo il calore totale sul contatore di calore) diviso per l'energia fornita sommata nel periodo considerato (per esempio il potere calorifico del

Termine	Significato
	<p>combustibile). Se l'osservazione viene fatta su un periodo di un anno, si parla di rendimento annuale (vedi anche il capitolo 20.12).</p> <p>Se il rapporto tra energia utile ed energia fornita è determinato su un breve periodo di osservazione o come valore istantaneo, si parla di efficienza (vedi anche efficienza).</p>
Calore residuo	<p>Il calore di scarto è il termine usato per descrivere i flussi di calore che si verificano come sottoprodotto dei processi e vengono rilasciati nell'ambiente inutilizzati e spesso con l'aiuto di energia aggiuntiva per pompe, ventilatori, scambiatori di calore di raffreddamento o sistemi di refrigerazione e contribuiscono al riscaldamento indesiderato (vedi capitolo <b>Errore</b>. <b>L'origine riferimento non è stata trovata.</b>).</p>

## 22 Letteratura

- [1] Eurostat, "Energy balances 2018". <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/energy-balances> (zugegriffen 22 gennaio 2021).
- [2] A. Camia, N. E. Cazzaniga, R. Jonsson, und D. Palermo, "Sankey diagrams of woody biomass flows in the EU-28.", European Commission's Knowledge Centre for Bioeconomy, Brüssel, Broschüre, 2019. Zugegriffen: 28 gennaio 2021. [Online]. Verfügbar unter: [http://publications.europa.eu/publication/manifestation\\_identifier/PUB\\_KJ0119205ENN](http://publications.europa.eu/publication/manifestation_identifier/PUB_KJ0119205ENN)
- [3] Knowledge Centre for Bioeconomy della Commissione europea, "Sankey diagrams of woody biomass flows in the EU-28 - Years 2009-2015". Commissione europea, 2019. Zugegriffen: 28 gennaio 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/227292>
- [4] N. Scarlat, J.-F. Dallemand, N. Taylor e M. Banja, "Brief on biomass for energy in the European Union", Ufficio delle pubblicazioni dell'Unione europea, 2019. Zugegriffen: 22 gennaio 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/111111111/55047>
- [5] Dati e statistiche IEA, "World Energy Balance 2018", IEA. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tables> (zugegriffen 22 gennaio 2021).
- [6] Nazioni Unite, Dipartimento degli affari economici e sociali, "World Population Prospects: The 2017 Revision, Data Booklet", Dipartimento degli affari economici e sociali, Population Division, ST/ESA/SER.A/401, 2017. Zugegriffen: 22 gennaio 2021. [Online]. Verfügbar unter: [https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2017\\_DataBooklet.pdf](https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2017_DataBooklet.pdf)
- [7] R. Palen, "Prime stime della popolazione - La popolazione dell'UE fino a quasi 513 milioni il 1° gennaio 2018 - Aumento guidato dalla migrazione", Eurostat, Brüssel, Newsrelease 115/2018, Juli 2018. Zugegriffen: 22 gennaio 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/energy-balances>
- [8] U. Kaufmann, "Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien", Bundesamt für Energie, Bern, Ausgabe 2018, Sep. 2019. Zugegriffen: 28 gennaio 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken/teilstatistiken.ex-turl.html/aHR0cHM6Ly9wdWJkYi5iZmUuYWRTaW4uY2gyZGUvcHVib-GljYX/Rpb24vZG93bmxvYWQvOTgyOQ==.html>
- [9] International Renewable Energy Agency IRENA, "Renewable Energy and Jobs - Annual Review 2019", International Renewable Energy Agency IRENA, Abu Di teleriscaldamentoabi, 2019. Zugegriffen: 22 gennaio 2021. [Online]. Verfügbar unter: </publications/2019/Jun/Renewable-Energy-and-Jobs-Annual-Review-2019>
- [10] Observ'ER, "The state of Renewable Energies in Europe - 19th EurObserv'ER Report". <http://www.energies-renouvelables.org/> (zugegriffen Jan. 22, 2021).
- [11] A. P. C. Faaji, "Securing sustainable resource availability of biomass for energy applications in Europe; review of recent literature", University of Groningen, Groningen, Fachartikel, 2018. Zugegriffen: 22 gennaio 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://energy.nl/wp-content/uploads/2019/06/Bioenergy-Europe-EU-Biomass-Resources-Andr%C3%A9-Faaij-Final.pdf>
- [12] M. Banja, R. Sikkema, M. Jégard, V. Motola, und J.-F. Dallemand, "Biomass for energy in the EU - The support framework", Energy Policy, Bd. 131, S. 215-228, agosto 2019, doi: 10.1016/j.enpol.2019.04.038.
- [13] Direzione generale dell'energia (Commissione europea), Trinomics, T. Badouard e M. Altman, Energy subsidies: energy costs, taxes and the impact of government interventions on investments: final report. Lussemburgo: Ufficio delle pubblicazioni dell'Unione europea, 2020. Zugegriffen: 29 settembre 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://data.europa.eu/doi/10.2833/546611>
- [14] Europäischer Rechnungshof, Hrsg., Wurden mit den Mitteln aus den Fonds der Kohäsionspolitik zur Förderung der Erzeugung erneuerbarer Energien gute Ergebnisse erzielt? gemäß Artikel 287 Absatz 4 Unterabsatz 2 AEUV. Lussemburgo: Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union, 2014.
- [15] R. Bühler, H. R. Gabathuler, und A. Jenni, Q-Leitfaden QMstandard, 3. erweiterte Auflage. 1, 6 Bd. Straubing: C.A.R.M.E.N. e.V., 2011. [Online]. Verfügbar unter:  
In inglese "Q-Guidelines" disponibile sotto: <https://www.qm-biomass-di-teleriscaldamento-plants.com/downloads.html>
- [16] B. Meier, C. Moser, C. Vogler, und R. Dettli, "Sozioökonomische Aspekte thermischer Netze", econcept AG, Zürich, Schlussbericht, aprile 2019. Zugegriffen: März 18, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.econcept.ch/de/projekte/sozio-ökonomische-aspekte-thermischer-netze/>
- [17] T. Nussbaumer, S. Thalmann, A. Jenni e J. Ködel, Planungshandbuch Fernwärme, versione 1.2. Zürich: Verenum Dr. Thomas Nussbaumer, 2018. [Online].  
In inglese "Handbook on Planning of District Heating Networks" Versione 1.0 dal 2020 (traduzione della versione 1.2 in tedesco) disponibile sotto: [http://www.verenum.ch/Dokumente/Handbook-DI-TELERISCALDAMENTO\\_V1.0.pdf](http://www.verenum.ch/Dokumente/Handbook-DI-TELERISCALDAMENTO_V1.0.pdf)
- [18] L. Küng, P. Kräuchi, und G. Kayser, "Risiken bei thermischen Netzen", BG Ingenieure und Berater AG, Berna, Schlussbericht, aprile 2018. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.energieschweiz.ch/de-ch/home.aspx?p=22949,22963,22984,22985>

- [19] H. Thorwarth, H. Gerlach, L. Rieger, M. Schroth, R. Krichhof, und J. Tejada, "Natürliche Einflüsse auf die Qualität von Holzbrennstoffen und deren Auswirkungen auf den Betrieb von Holz-Heizkraftwerken", VGB PowerTech J. 112018, 2018, Zugriffen: 21 aprile 2021. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.vgb.org/pt\\_11\\_18.html](https://www.vgb.org/pt_11_18.html)
- [20] "DIN EN ISO 16993:2016-11, Biogene Festbrennstoffe\_- Umwandlung von Analyseergebnissen einer Bezugsbasis in Ergebnisse mit anderer Bezugsbasis (ISO\_16993:2016); Deutsche Fassung EN\_ISO\_16993:2016", Beuth Verlag GmbH. doi: 10.31030/2555895.
- [21] "DIN EN ISO 17225-1:2014-09, Biogene Festbrennstoffe\_- Brennstoffspezifikationen und -klassen\_- Teil\_1: Allgemeine Anforderungen (ISO\_17225-1:2014); Deutsche Fassung EN\_ISO\_17225-1:2014", Beuth Verlag GmbH. doi: 10.31030/2073606.
- [22] "DIN EN ISO 18125:2017-08, Biogene Festbrennstoffe\_- Bestimmung des Heizwertes (ISO\_18125:2017); Deutsche Fassung EN\_ISO\_18125:2017", Beuth Verlag GmbH. doi: 10.31030/2603463.
- [23] J. Hahn, M. Schardt, F. Schulmeyer, und F. Mergler, "Energieinhalt von Holz", Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), Freising, Merkblatt 12, 2014. Zugriffen: 21 aprile 2021. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.lwf.bayern.de/service/publikationen/lwf\\_merkblatt/022952/index.php](https://www.lwf.bayern.de/service/publikationen/lwf_merkblatt/022952/index.php)
- [24] F. Kollmann, "Holz und Feuchtigkeit Teil 2: Freies Wasser, Schwinden und Quellen, Eigenschaftsänderungen, Holzfeuchtigkeit und Schädlinge, Heizwert", Holz-Zentralblatt, S. 1428-1429, 1982.
- [25] M. Kaltschmitt, H. Hartmann, und H. Hofbauer, Hrsg., Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren, 3., Aktualisierte und Erweiterte Auflage. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg, 2016.
- [26] "DIN EN ISO 17827-1:2016-10, Biogene Festbrennstoffe\_- Bestimmung der Partikelgrößenverteilung für unkomprimierte Brennstoffe\_- Teil\_1: Horizontales Rüttelsiebverfahren mit Sieben mit einer Lochgröße von 3,15\_mm und darüber (ISO\_17827-1:2016); Deutsche Fassung EN\_ISO\_17827-1:2016", Beuth Verlag GmbH. doi: 10.31030/2360044.
- [27] D. Kuptz, E. Dietz, K. Schreiber, C. Schön, R. Mack e H. Hartmann, Holz hackschnitzel aus dem Kurzumtrieb - Brennstoffqualität und Verbrennungsverhalten. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), 2018. Zugriffen: 21 aprile 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.tfz.bayern.de/service/presse/186025/index.php>
- [28] M. Kern, T. Raussen, K. Funda, A. Lootsma e H. Hofmann, Aufwand und Nutzen einer optimierten Bioabfallverwertung hinsichtlich Energieeffizienz, Klima- und Ressourcenschutz. Dessau-Rosslau: Umweltbundesamt, 2010. Zugriffen: 21 aprile 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/aufwand-nutzen-einer-optimierten>
- [29] L. Eltrop und Universität Stuttgart, Hrsg., Leitfaden feste Biobrennstoffe: Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen im mittleren und großen Leistungsbereich, 4., Vollst. überarb. Aufl. Gülzow-Prützen: FNR, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 2014.
- [30] H. Thorwarth, M. Wöhler, und S. Rieder, "Influence of Road Salt on Chemical Properties of Road Side Biomass", gehalten auf der 25th European Biomass Conference and Exhibition, Stockholm, Juni 12, 2017.
- [31] H. Thorwarth und M. Scheuber, "Die Qualität bestimmt die Grenzen der Kaskadennutzung von Altholz", MÜLL ABFALL, Nr. 3, S. 6, März 2020, doi: 10.37307/j.1863-9763.2020.03.06.
- [32] P. O. dell'Unione europea, Beschluss der Kommission vom 18. Dezember 2014 zur Änderung der Entscheidung 2000/532/EG über ein Abfallverzeichnis gemäß der Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates Text von Bedeutung für den EWR. Ufficio delle pubblicazioni dell'Unione europea, 2014. Zugriffen: 21 aprile 2021. [Online]. Verfügbar unter: <http://op.europa.eu/es/publication-detail/-/publication/bb120f99-8ff5-11e4-b8a5-01aa75ed71a1/language-de/format-PDFA1A>
- [33] Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK), Verordnung des UVEK über Listen zum Verkehr mit Abfällen. 2005. Zugriffen: 21 aprile 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2005/714/de>
- [34] Società svizzera di assicurazione contro gli infortuni sul lavoro (Schweizerische Eidgenossenschaft, Luftreinhalte-Verordnung (LRV), Bd. 814.318.142.1. 1985, S. 94. Zugriffen: Dez. 09, 2019. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19850321/index.html>
- [35] N. Hofmann, T. Mendel, D. Kuptz, F. Schulmeyer, H. Borchert, und H. Hartmann, Lagerung von Holz hackschnitzeln - Trockenmasseverluste, Änderungen der Brennstoffqualität und Kosten. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), 2017. Zugriffen: 21 aprile 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.tfz.bayern.de/service/presse/186025/index.php>
- [36] W. Becke, C. Fink, M. Hamilton-Jones, R. Pertschy, und C. Rohringer, "Monitoring-Ergebnisse von grossen Solarthermie-Anlagen für Trocknungsanwendungen", in Tagungsunterlagen Online-Symposium Solarthermie und Innovative Wärmesysteme, Connexio GmbH, Hrsg. Connexio GmbH, 2021, S. 196-207.
- [37] W. Emhofer, "Emissioni da pellet di legno durante lo stoccaggio", Tesi, 2015. Zugriffen: 21 aprile 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://repositum.tuwien.at/handle/20.500.12708/3701>

- [38] "Phyllis2 - Database per la composizione fisico-chimica della biomassa lignocellulosica (trattata), micro- e macroalghe, varie materie prime per la produzione di biogas e biochar". <https://phyllis.nl/> (zugegriffen 21 aprile 2021).
- [39] "FRED - Feste Regenerative Energieträger Datenbank". <https://www.fred.bayern.de/> (zugegriffen Apr. 21, 2021).
- [40] H. Thorwarth, "Validierung und Automatisierung der Brennstoffanalytik in einem Heizwerk", gehalten auf der 16. Fachkongress Holzenergie, Augsburg, 2016.
- [41] L. Lasselsberger, Kleinf Feuerungen für Holz - Verbrennungstechnik/Stand der Technik/Regelwerke/Entwicklung. Wieselburg: Bundesanstalt für Landtechnik, 2000.
- [42] D. Kuptz, F. Schulmeyer, K. Hüttl, E. Dietz, H. Borchert e H. Hartmann, Optimale Bereitstellungverfahren für Holzhackschnitzel. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), 2015. Zugegriffen: 21 aprile 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.tfz.bayern.de/service/presse/186025/index.php>
- [43] "DIN EN ISO 18134-1:2015-12, Biogene Festbrennstoffe\_ - Bestimmung des Wassergehaltes\_ - Ofentrocknung\_ - Teil\_1: Gesamtgehalt an Wasser\_ - Referenzverfahren (ISO\_18134-1:2015); Deutsche Fassung EN\_ISO\_18134-1:2015", Beuth Verlag GmbH. doi: 10.31030/2311530.
- [44] "DIN EN ISO 18134-2:2017-05, Biogene Festbrennstoffe\_ - Bestimmung des Wassergehaltes\_ - Ofentrocknung\_ - Teil\_2: Gesamtgehalt an Wasser\_ - Vereinfachtes Verfahren (ISO\_18134-2:2017); Deutsche Fassung EN\_ISO\_18134-2:2017", Beuth Verlag GmbH. doi: 10.31030/2637759.
- [45] T. Mendel, D. Kuptz, A. Überreiter, und H. Hartmann, Schnellbestimmung des Wassergehalts von Holzhackschnitzeln. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), 2017. Zugegriffen: 21 aprile 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.tfz.bayern.de/service/presse/186025/index.php>
- [46] "DIN EN ISO 18122:2016-03, Biogene Festbrennstoffe\_ - Bestimmung des Aschegehaltes (ISO\_18122:2015); Deutsche Fassung EN\_ISO\_18122:2015", Beuth Verlag GmbH. doi: 10.31030/2316155.
- [47] C.A.R.M.E.N. e.V., "Marktpreise Hackschnitzel". <https://www.carmen-ev.de/service/marktueberblick/marktpreise-energieholz/marktpreise-hackschnitzel/> (zugegriffen Apr. 21, 2021).
- [48] M. Mladenović, M. Paprika, und A. Marinković, "Tecniche di denitrificazione per la combinazione di biomassa", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, Bd. 82, S. 3350-3364, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.10.054.
- [49] S. Van Loo und J. Koppejan, Hrsg., *The handbook of biomass combustion and co-firing*. Londra; Washington, DC: Earthscan, 2010.
- [50] I. Obernberger, *Nutzung fester Biomasse in Verbrennungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung des Verhaltens aschebildender Elemente*. Graz: dbv-Verlag der Technische Universität Graz, 1997. Zugegriffen: 15 aprile 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://graz.pure.elsevier.com/en/publications/nutzung-fester-biomasse-in-verbrennungsanlagen-unter-besonderer-b>
- [51] A. Lauber und T. Nussbaumer, "Praxiseinsatz und Überwachung von automatischen Holzfeuerungen mit Elektroabscheider", Verenum im Auftrag Bundesamt für Energie, Bern, Schlussbericht, Dez. 2014.
- [52] T. Nussbaumer, "Schadstoffbildung bei der Verbrennung von Holz", Tesi di dottorato, ETH Zurigo, 1989. doi: 10.3929/ethz-a-000514834.
- [53] R. Keller, "Primärmassnahmen zur NO<sub>x</sub>-Minderung bei der Holzverbrennung mit dem Schwerpunkt der Luftstufung", Tesi di dottorato, ETH Zürich, 1994. doi: 10.3929/ethz-a-000945058.
- [54] R. Salzmann e T. Nussbaumer, "Fuel Staging for NO<sub>x</sub> Reduction in Biomass Combustion: Experiments and Modeling", *Energy Fuels - ENERG FUEL*, Bd. 15, Mai 2001, doi: 10.1021/ef0001383.
- [55] T. Nussbaumer, "Primär- und Sekundärmassnahmen zur Stickoxidminderung bei Holzfeuerungen", in *Moderne Feuerungstechnik zur energetischen Verwertung von Holz und Holzabfällen: Emissionsminderung, Konzepte und ausgeführte Anlagen*, Düsseldorf: Springer-VDI-Verl, 1997, S. 279-308.
- [56] H. Fastenaekels e T. Nussbaumer, "Entwicklung einer kombinierten Unterschub- und Einblasfeuerung zur Luft- und Brennstoffstufung", in *Luftreinhaltung und Explosionsschutz bei Holzfeuerungen und Stand der Technik der Holzvergasung*, T. Nussbaumer, Hrsg. Zürich: Bundesamt für Energie BfE, 2002, S. 89-102.
- [57] C. Jirkowsky, R. Pretzl, T. Malzer, und K. Sihorsch, "Grundlagen der Staubabscheidung für Biomassefeuerungen ab 100 kW", in *Luftreinhaltung und Explosionsschutz bei Holzfeuerungen und Stand der Technik der Holzvergasung*, T. Nussbaumer, Hrsg. Zürich: Bundesamt für Energie BfE, 2002, S. 53-72.
- [58] J. Good und T. Nussbaumer, "Wirkungsgradbestimmung bei Holzfeuerungen", Verenum im Auftrag Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern, Schlussbericht, 1993.
- [59] "DIN IEC 60050-351:2014-09, Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch\_ - Teil\_351: Leittechnik (IEC\_60050-351:2013)", Beuth Verlag GmbH. doi: 10.31030/2159569.
- [60] H. R. Gabathuler und H. Mayer, *Standard-Schaltungen Teil I QM Holzheizwerke, 2. erweiterte Auflage*, Bd. 2, 5 Bd. Straubing: C.A.R.M.E.N. e.V., 2010. In inglese "Standard hydraulic schemes

- Part 1" disponibile sotto: <https://www.gm-bio-mass-di-teleriscaldamento-plants.com/downloads.html>
- [61] H. Lutz, W. Wendt, und V. G. & C. Verlag Europa-Lehrmittel Nourney, Taschenbuch der Regelungstechnik mit MATLAB und Simulink. 2019.
- [62] W. Böge und W. Pläßmann, Hrsg., "Grundlagen und Grundbegriffe der Meßtechnik", in Vieweg Handbuch Elektrotechnik: Grundlagen und Anwendungen für Elektrotechniker, Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2007, S. 735-740. doi: 10.1007/978-3-8348-9217-1\_57.
- [63] "DIN EN 61131-1:2004-03, Speicherprogrammierbare Steuerungen\_- Teil\_1: Allgemeine Informationen (IEC\_61131-1:2003); Deutsche Fassung EN\_61131-1:2003", Beuth Verlag GmbH. doi: 10.31030/9537680.
- [64] "DIN EN 12953-6:2011-05, Großwasserraumkessel - Teil 6: Anforderungen an die Ausrüstung für den Kessel; Deutsche Fassung EN 12953-6:2011", Beuth Verlag GmbH. doi: 10.31030/1719251.
- [65] Deutscher Energieholz- und Pellet-Verband e.V. (DEPV) und Deutsches Pelletinstitut GmbH, Hrsg., Lagerung von Holzpellets - ENplus-konforme Lagerungssysteme, 5. überarbeitete Auflage. Berlin: Deutscher Energieholz- und Pellet-Verband e.V. (DEPV), 2019. Zugegriffen: Juni 04, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://depv.de/p/Broschure-Lagerung-von-Holzpellets-ENplus-konforme-Lagerungssysteme-hienxHo3uXFMhgnQNTNyMc>
- [66] J. Good u. a., Planungshandbuch QM Holzheizwerke, 2. leicht überarbeitete Auflage. 4, 5 Bd. Straubing: C.A.R.M.E.N. e.V., 2008.
- [67] Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen VKF, Hrsg., Brandschutzerläuterung Spänefeuerungen 104-15. Berna: Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen VKF, 2015. Zugegriffen: Mai 05, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://services.vkg.ch/rest/public/georg/bs/publikation/documents/BSPUB-1394520214-157.pdf/content>
- [68] A. Hammerschmid und A. Stallinger, Standard-Schaltungen Teil II QM Holzheizwerke, 1. Auflage. 5, 5 Bd. Straubing: C.A.R.M.E.N. e.V., 2006.
- [69] C. U. Brunner, J. Nipkow, P. Gyger, und T. Staubli, Pumpen - Die wichtigsten Fakten zur Auswahl und zum Einsatz von Förderpumpen. Zürich: Topmotors, 2012. Zugegriffen: 19 luglio 2021. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.topmotors.ch/sites/default/files/2018-08/D\\_MB\\_23\\_Pumpen.pdf](https://www.topmotors.ch/sites/default/files/2018-08/D_MB_23_Pumpen.pdf)
- [70] AGFW - Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V., "FW 218 - Planung, Bau und Abnahme von Messstellen für thermische Energie". AGFW - Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V., März 2020. Zugegriffen: Okt. 21, 2021. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.agfw-shop.de/regelwerk/2-warme-](https://www.agfw-shop.de/regelwerk/2-warme-messung-und-abrechnung/fw-218c-entwurf-einbau-und-abnahme-von-messgeraeten-fuer-thermische-energie-druckfassung.html)
- messung-und-abrechnung/fw-218c-entwurf-einbau-und-abnahme-von-messgeraeten-fuer-thermische-energie-druckfassung.html
- [71] "FW 510 - Anforderungen an das Kreislaufwasser von Industrie- und Fernwärmeheizanlagen sowie Hinweise für deren Betrieb", AGFW-Projektgesellschaft für Rationalisierung, Information und Standardisierung GmbH, Frankfurt am Main, Arbeitsblatt, 2013. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.agfw.de/regelwerk/>
- [72] "Wasserbeschaffenheit für Gebäudetechnik-Anlagen", Schweizerischer Verein von Gebäude-technik-Ingenieuren SWKI, Urtenen-Schönbühl, Richtlinie BT102-01, 2012. Zugegriffen: 15 aprile 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://shop.snv.ch/Technische-Regel/Diverses/SWKI-BT102-01/SICC-BT102-01.html?list-type=search&searchparam=BT102-01%20>
- [73] T. Nussbaumer, S. Thalmann, A. Jenni, und S. Mennel, Leitfaden zur Planung von Fernwärme-Übergabestationen, Version 1.0. Zürich: Verenum AG, 2020. [Online]. Verfügbar unter: [http://www.verenum.ch/Dokumente\\_QMFW.html](http://www.verenum.ch/Dokumente_QMFW.html)
- [74] S. Frederiksen und S. Werner, Teleriscaldamento e raffreddamento, 1. Auflage. Lund: Studentlitteratur, 2013.
- [75] H. Ernst, Technisches Handbuch Fernwärme, 3. Aufl. Francoforte sul Meno: AGFW, 2013.
- [76] "FW 515 - Technische Anschlussbedingungen Heizwasser (TAB-HW)", AGFW-Projektgesellschaft für Rationalisierung, Information und Standardisierung GmbH, Frankfurt am Main, Merkblatt, 2015. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.agfw.de/regelwerk/>
- [77] M. Meyer, "Verwertung von Biomasseaschen als wertvoller Dünger für die Land- und Forstwirtschaft", Biomasseverband OÖ, Linz, 2014.
- [78] I. Oberberger, "Aschen aus Biomassefeuerungen - Charakterisierung, Aufbereitung und Verwendungsmöglichkeiten", gehalten auf der 2. Fachgespräch zur Verwertung naturbelassener Biomasseaschen, Jena, 2020.
- [79] "Markt für Holzasche befindet sich im Entstehen", Holz-Zentralblatt, Zeitungsartikel, Nov. 2015.
- [80] M. Jutz, M. Tobler, A. Keel e U. Rhyner, "Projekt HARVE - Holzaschen in der Schweiz: Aufkommen, Verwertung und Entsorgung", Holzenergie Schweiz, Berna, PP-Präsentation, 2020.
- [81] I. Oberberger, "Aschen aus Biomassefeuerungen - Zusammensetzung und Verwertung", in Thermische Biomassenutzung: Technik und Realisierung; Tagung Salzburg, 23. und 24. Aprile 1997, Gesellschaft Energietechnik, Hrsg. Düsseldorf: VDI-Verl, 1997, S. 199-222.
- [82] A. Keel, "Auswertung Analyseberichte Holzaschen - unveröffentlicht". Holzenergie Schweiz, 2020.
- [83] R. Zürcher, "Entsorgung von Aschen und Filterstäuben aus Holzfeuerungen im Kanton Bern",

- Fachhochschule Nordwestschweiz Windisch, Masterthesis MAS, 2016.
- [84] B. Müller, "Einfluss von Brennstoff und Anlagenbetrieb auf die Aschequalität", gehalten auf der 1. Schweizer Holzaschen Fachtagung, Eschenz, 12 novembre 2020.
- [85] A. Keel, "Etablierung der Deponierung von Holzaschen nach VVEA und Ansätze zur Verwertung", gehalten auf der 15. Holzenergie-Symposium, ETH Zürich, 14 settembre 2018.
- [86] Società svizzera di assicurazione contro gli infortuni, regolamento per la creazione e la gestione degli impianti VVEA (Abfallverordnung), Bd. SR 814.600. 2015, S. 22. Zugegriffen: 19 gennaio 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20042593/index.html>
- [87] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz und Bundesamts für Justiz, Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung - AVV). 2001, S. 32. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.gesetze-im-internet.de/avv/BJNR337910001.html>
- [88] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz und Bundesamts für Justiz, Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (KrWG). 2012, S. 54. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/krwg/BJNR021210012.html>
- [89] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz und Bundesamts für Justiz, Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung - BioAbfV). 1998, S. 58. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/bio-abfv/BJNR295500998.html>
- [90] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz und Bundesamts für Justiz, Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV). 2009, S. 64. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.gesetze-im-internet.de/depv\\_2009/BJNR090010009.html](https://www.gesetze-im-internet.de/depv_2009/BJNR090010009.html)
- [91] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz und Bundesamts für Justiz, Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln1 (Düngemittelverordnung - DüMV). 2012, S. 117. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.gesetze-im-internet.de/d\\_mv\\_2012/BJNR248200012.html](https://www.gesetze-im-internet.de/d_mv_2012/BJNR248200012.html)
- [92] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz und Bundesamts für Justiz, Düngegesetz (DüngG). 2009, S. 13. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.gesetze-im-internet.de/d\\_ngg/BJNR005400009.html](https://www.gesetze-im-internet.de/d_ngg/BJNR005400009.html)
- [93] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz und Bundesamts für Justiz, Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüV). 2017, S. 46. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.gesetze-im-internet.de/d\\_v\\_2017/BJNR130510017.html](https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/BJNR130510017.html)
- [94] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz und Bundesamts für Justiz, Verordnung über die Nachweisführung bei der Entsorgung von Abfällen (Nachweisverordnung - NachwV). 2006, S. 22. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.gesetze-im-internet.de/nachwv\\_2007/BJNR229810006.html](https://www.gesetze-im-internet.de/nachwv_2007/BJNR229810006.html)
- [95] H. Reisinger, B. Winter, I. Szednyj, S. Böhmer e T. Janhsen, Abfallvermeidung und -verwertung. Aschen, Schlacken und Stäube in Österreich, Bd. 0003. Wien: Umweltbundesamt GmbH i.A. für Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2005. Zugegriffen: 09 aprile 2021. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.umweltbundesamt.at/studien-reports/publikationsdetail?pub\\_id=1581&cHash=38c7041b49115f2560a5558691a1a86c](https://www.umweltbundesamt.at/studien-reports/publikationsdetail?pub_id=1581&cHash=38c7041b49115f2560a5558691a1a86c)
- [96] H. Holzner, I. Obernberger, und K. Katzensteiner, Richtlinie für den sachgerechten Einsatz von Pflanzenaschen zur Verwertung auf land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen, 1. Auflage. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2011.
- [97] VDI-Fachbereich Technische Gebäudeausrüstung, VDI 2067 Blatt 1 - Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Grundlagen und Kostenberechnung. Düsseldorf: VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V., 2012. Zugegriffen: 18 novembre 2019. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-2067-blatt-1-wirtschaftlichkeit-gebauedetechnischer-anlagen-grundlagen-und-kostenberechnung-1>
- [98] "ÖKL-Merkblatt 67 Planung von Biomasseheizwerken und Nahwärmenetzen", Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung (ÖKL), Wien, 3. Auflage, 2016. Zugegriffen: März 18, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://oekl.at/publikationen/merkblaetter/mb67/>
- [99] C.A.R.M.E.N. e.V., SOPHENA - Software zur Planung von Heizwerken und Nahwärmenetzen. GreenDelta GmbH. Zugegriffen: 18 giugno 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.carmen-ev.de/service/sophena/>
- [100] J.-P. Thommen, Betriebswirtschaft und Management: Eine managementorientierte Betriebswirtschaftslehre, 10., Überarbeitete und Erweiterte Auflage. Zürich: Versus, 2016.
- [101] AGFW - Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V., "AVBFernwärmeV", Energiewirtschaft, Recht & Politik / Recht / AVB-FernwärmeV, 26 novembre 2019. <https://www.agfw.de/energiewirtschaft-recht-politik/recht/avbfernwaermev/> (zugegriffen 26 novembre 2019).

- [102] S. Thalmann, THENA. Zurigo: Verenum Dr. Thomas Nussbaumer und ARGE QM Fernwärme, 2019. [Online]. Verfügbar unter: [http://www.verenum.ch/Planungshandbuch\\_QMFW.html](http://www.verenum.ch/Planungshandbuch_QMFW.html)
- [103] S. Thalmann, DN-Sensi. Zurigo: Verenum AG e ARGE QM Fernwärme, 2021. [Online]. Verfügbar unter: [http://www.verenum.ch/Dokumente/FW\\_Tool\\_DN-Sensi\\_V1.3.xlsx](http://www.verenum.ch/Dokumente/FW_Tool_DN-Sensi_V1.3.xlsx)
- [104] QM Holzheizwerke, "Excel-Tabelle Situationserfassung QM Holzheizwerke", QM Holzheizwerke. <https://www.qmholzheizwerke.ch/de/situationserfassung.html> (zugegriffen Dez. 31, 2019).
- [105] M. Peters, T. Steidle, und H. Böhmisch, Kommunale Wärmeplanung - Handlungsleitfaden, 400. Aufl. Stuttgart: KEA Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH, 2020. Zugegriffen: März 19, 2021. [Online]. Verfügbar unter: [https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2\\_Presse\\_und\\_Service/Publikationen/Energie/Leitfaden-Kommunale-Waermeplanung-barrierefrei.pdf](https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Energie/Leitfaden-Kommunale-Waermeplanung-barrierefrei.pdf)
- [106] P. für S. EnergieSchweiz Gemeinden, Areale und Regionen, "Räumliche Energieplanung", Local Energy. <https://www.local-energy.swiss/info/box/raeumliche-energieplanung.html> (zugegriffen März 19, 2021).
- [107] "EN ISO 52016-1:2018-04: Energetische Bewertung von Gebäuden - Energiebedarf für Heizung und Kühlung, Innentemperaturen sowie fühlbare und latente Heizlasten - Teil 1: Berechnungsverfahren (ISO 52016-1:2017) Deutsche Fassung EN ISO 52016-1:2017; Schweizerische Fassung SN EN ISO 52016-1 \* SIA 380.211", Beuth Verlag GmbH. doi: 10.31030/2577376.
- [108] "EN 12831-1:2017-09: Energetische Bewertung von Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast - Teil 1: Raumheizlast, Modul M3-3; Deutsche Fassung EN 12831-1:2017; Schweizerische Fassung SN EN 12831-3 \* SIA 385.203", Beuth Verlag GmbH.
- [109] T. Nussbaumer, "NOX Reduction in Biomass Combustion. Biomass for Energy and Industry", in 10th European Conference and Technology Exhibition, Würzburg, Juni 1998, S. 1318-1321.
- [110] S. Thalmann, T. Nussbaumer, J. Good, und A. Jenni, "Analyse und Optimierung von Fernwärmenetzen - Ist-Analyse von Fernwärmenetzen und Bewertungs-Tool zur Netz-Optimierung", Bundesamt für Energie BfE, Zürich, Schlussbericht, 2013.
- [111] "Fernwärme in Kürze", Hochschule Luzern Technik und Architektur, Horw, März 2019.
- [112] Schweizerische Eidgenossenschaft, "Swiss Geportal, Wärme- und Kältenachfrage von Industrie, Wohnen und Dienstleistungen sowie bestehende thermische Netze", [geo.admin.ch](http://geo.admin.ch). <https://map.geo.admin.ch> (zugegriffen März 19, 2021).
- [113] J. Ködel und D. Hanggartner, "Fallbeispiele 'Thermische Netze'", Hochschule Luzern, Horw, Zusammenfassung, Feb. 2018.
- [114] Helge Averfalk u. a., Guida all'attuazione del teleriscaldamento a bassa temperatura. Allegato TS2 Implementazione di sistemi di teleriscaldamento a bassa temperatura. Stoccarda: Fraunhofer Verlag, 2021.
- [115] Bundesamt für Umwelt BAFU, "Faktenblatt Emissionsfaktoren Feuerungen". Giugno 2015. Zugegriffen: Mai 18, 2021. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/luft/fachinfo-da-ten/faktenblatt\\_emissionsfaktorenfeuerungen.pdf.download.pdf/faktenblatt\\_emissionsfaktorenfeuerungen.pdf](https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/luft/fachinfo-da-ten/faktenblatt_emissionsfaktorenfeuerungen.pdf.download.pdf/faktenblatt_emissionsfaktorenfeuerungen.pdf)
- [116] K. der B. L. der öffentlichen B. KBOB, "Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2016". Gennaio 2016. Zugegriffen: 18 maggio 2021. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/themen-leistungen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten\\_baubereich.html](https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/themen-leistungen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten_baubereich.html)
- [117] T. Nussbaumer, "Erntefaktor von Energiesystemen mit Holzverbrennung", in Wege zur Nachhaltigkeit und Massnahmen zur Emissionsminderung und Wirtschaftlichkeitsverbesserung, T. Nussbaumer, Hrsg. Zurigo: Bundesamt für Energie BfE, 2004, S. 7-27.
- [118] F. Kessler, N. Knechtle, und R. Frischknecht, "Heizenergie aus Heizöl, Erdgas oder Holz", Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 315, 2000.
- [119] L. Krebs und R. Frischknecht, "Life Cycle Assessment of GO based Electricity Mixes of European Countries 2018", treeze Ltd., Uster, aprile 2021. Zugegriffen: Mai 18, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://treeze.ch/projects/case-studies/energy/swiss-electricity-mixes>
- [120] C. Arpagaus, Hochtemperatur-Wärmepumpen: Marktübersicht, Stand der Technik und Anwendungspotenziale. Berlino Offenbach: VDE Verlag GmbH, 2019.
- [121] Bundesrat svizzero, regolamento per la riduzione dei rischi nell'uso di prodotti, sostanze e servizi diversi da quelli pericolosi (regolamento sulle sostanze chimiche, ChemRRV). 2005. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2005/478/de>
- [122] T. Nussbaumer, J. Good, A. Jenni, und R. Bühler, "Automatische Holzheizungen - Grundlagen und Technik", Verenum AG ardens GmbH i.A. für Bundesamt für Energie, Zürich, 2001.
- [123] "Schallschutz in Haustechnikanlagen", EDMZ, Berna, 1988.
- [124] A. Moser, Damit Grünschnitzsilos keine Gefahr sind - Sicheres Arbeiten, Überarbeitete Auflage. Luzern: SUVA, 2015. Zugegriffen: Juni 04, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.suva.ch/de-CH/material/Dokumentationen/damit-gruenschnitzsilos-keine-gefahr-sind-sicheres-arbeiten>

- [125] "Richtiges Lagern von Holzhackschnitzeln für Heizwerke: Vermeidung von Bränden durch Selbstentzündung.", C.A.R.M.E.N. e.V., Straubing, Merkblatt, 2007.
- [126] K. H. Weber, Inbetriebnahme verfahrenstechnischer Anlagen: Praxishandbuch mit Checklisten und Beispielen, 5. Aufl. Springer Vieweg, 2019. doi: 10.1007/978-3-662-59498-8.
- [127] S. Thalmann, Erneuerung Holzenergieanlagen. Zurigo: Holzenergie Schweiz e ARGE QM Holzheizwerke, 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.qmholzheizwerke.ch/de/downloads.html>
- [128] QM Holzheizwerke, "FAQ 8 Wie soll die Beurteilung und die Darstellung der Daten in der Betriebsoptimierung erfolgen?" 10 febbraio 2015. Zugriffen: Juni 18, 2021. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.qmholzheizwerke.ch/fileadmin/sites/qm/files/06\\_FAQ/FAQ08.pdf](https://www.qmholzheizwerke.ch/fileadmin/sites/qm/files/06_FAQ/FAQ08.pdf)
- [129] H. Schrammel, S. Metz, W. Tertschnig, und G. Lamers, "Effiziente Biomassenahwärme - Qualitätsmanagement für Heizwerke", klimaaktiv qm heizwerke, Gleisdorf, Broschüre, Dez. 2015. Zugriffen: Juni 18, 2021. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.klimaaktiv.at/erneuerbare/effiziente\\_heizwerke/qmheizwerke/broschuere.html](https://www.klimaaktiv.at/erneuerbare/effiziente_heizwerke/qmheizwerke/broschuere.html)
- [130] P. Küttel, QMH-Wirtschaftlichkeitsrechnung. Zürich: QM Holzheizwerke, 2018. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.qmholzheizwerke.ch/de/downloads.html>
- [131] S. Thalmann, Mehrverbrauch. Zurigo: Verenum AG e ARGE QM Fernwärme, 2021. [Online]. Verfügbar unter: [http://www.verenum.ch/Dokumente/Mehrverbrauch\\_V3.3\\_de.xlsx](http://www.verenum.ch/Dokumente/Mehrverbrauch_V3.3_de.xlsx)  
In inglese "Excess consumption" disponibile sotto: [http://www.verenum.ch/Dokumente/Mehrverbrauch\\_V3.3\\_en.xlsx](http://www.verenum.ch/Dokumente/Mehrverbrauch_V3.3_en.xlsx)
- [132] "DIN EN 14394:2008-12, Heizkessel - Heizkessel mit Gebläsebrennern - Nennwärmeleistung kleiner oder gleich 10 MW und einer maximalen Betriebstemperatur von 110 °C; Deutsche Fassung EN 14394:2005+A1:2008", Beuth Verlag GmbH. doi: 10.31030/1421646.
- [133] J. Good, T. Nussbaumer, J. Delcarte, und Y. Schenkel, "METODI DI DE-TERMINAZIONE DELL'EFFICIENZA PER IMPIANTI DI RISCALDAMENTO A BIOMASSA E INFLUENZA DEL MODO DI FUNZIONAMENTO SULL'EFFICIENZA DELL'IMPIANTO", Rom, Mai 2004, S. 4. Zugriffen: 29 settembre 2021. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.researchgate.net/publication/312308376\\_METHODS\\_FOR EFFICIENCY\\_DETERMINATION\\_FOR\\_BIOMASS\\_HEATING\\_PLANTS\\_AND\\_INFLUENCE\\_OF\\_OPERATION\\_MODE\\_ON\\_PLANT EFFICIENCY](https://www.researchgate.net/publication/312308376_METHODS_FOR EFFICIENCY_DETERMINATION_FOR_BIOMASS_HEATING_PLANTS_AND_INFLUENCE_OF_OPERATION_MODE_ON_PLANT EFFICIENCY)

