

La progettazione di impianti automatici di combustione a legna

Organi direttivi

VHe Associazione svizzera per l'energia ricavata dal legno

Patrocinio

Infoenergia

SFIH Associazione svizzera dei fabbricanti di impianti e attrezzature per il riscaldamento a legna

SBHI Consulenti tecnici svizzeri nei settori del riscaldamento e della climatizzazione

SWKI Associazione svizzera degli ingegneri dei settori del riscaldamento e della climatizzazione

VSHL Associazione svizzera dei costruttori di impianti di riscaldamento e ventilazione

Assistenza al progetto per la direzione dei programmi PACER

dott. Arthur Wellinger
INFOENERGIA
Ettenhausen

Redazione

dott. Thomas Nussbaumer,
dott. Jürgen Good Verenum, Zurigo

Autori

dott. Thomas Nussbaumer, Verenum, Zurigo
dott. Jürgen Good capitoli 1 e 2

Andreas Jenni IEU AG, Liestal
capitoli 3, 4 e 8
esempi

Peter Koch Huwyler & Koch,
Zurigo
Capitoli 5, 6, 7
esempi

Christoph Rutschmann Vhe, Zurigo
capitolo 1

Fred Schneider Schneider & Aebi
Soletta
esempi

Philipp Steimann Xylon SA, Ginevra
capitolo 1

Traduzione

Waldo Morandi, Barbengo

ISBN 3-905232-82-0

Edizione originale: ISBN 3-905232-63-4

Copyright © Ufficio federale dei problemi congiunturali
3003 Berna, marzo 1995

La riproduzione di estratti con citazione della fonte è autorizzata.
Ottenibile presso l'Ufficio centrale federale degli stampati e del
materiale, 3000 Berna
(no. d'ordine 724.237 i).

Prefazione

Il programma d'azione «Edilizia e energia» si sviluppa sull'arco di sei anni (1990-1995) e si compone dei seguenti tre programmi d'impulso (PI):

- PI EDIL – Manutenzione e rinnovamento delle costruzioni
- RAVEL – Uso razionale dell'elettricità
- PACER – Energie rinnovabili.

Attraverso i programmi d'impulso, condotti in stretta collaborazione con l'economia, le scuole e la Confederazione, si intende sostenere il processo qualitativo di produzione di valore, contraddistinto dal ridotto impiego di materie prime ed energie non rinnovabili, da un ridotto carico ambientale e, quindi, da un maggiore impiego di capitale idoneità.

Al centro delle attività del programma PACER sta la promozione di un sempre maggiore sfruttamento delle energie rinnovabili, rimasto sino ad oggi, malgrado il suo considerevole potenziale e con l'eccezione dell'energia idrica, decisamente basso. Il programma PACER intende perciò:

- promuoverne l'impiego con il migliore rapporto costo/sfruttamento;
- trasmettere a ingegneri, architetti e installatori le conoscenze necessarie;
- introdurre una diversa considerazione economica che tenga conto dei costi esterni (carico ambientale, ecc.);
- informare e formare autorità e committenti.

Corsi, manifestazioni, pubblicazioni, video, ecc.

Gli obiettivi di PACER si traducono con la formazione, il perfezionamento e l'informazione. La trasmissione delle nozioni è orientata all'impiego nella prassi quotidiana ed è principalmente basata su pubblicazioni, corsi e manifestazioni. Il pubblico di destinazione è costituito in primo luogo da ingegneri, architetti, installatori e appartenenti a determinati rami specialistici del settore delle energie rinnovabili.

Altra componente fondamentale del programma è pure la diffusione di un'informazione più generale, allo scopo di stimolare i committenti, gli architetti, gli ingegneri e le autorità.

Gli interessati possono informarsi in merito all'ampia offerta orientata secondo i gruppi di destinazione attraverso la pubblicazione IMPULSO, che appare da due a quattro volte l'anno ed è ottenibile per abbonamento gratuito (anche in tedesco e

francese) presso l'Ufficio federale dei problemi congiunturali, 3003 Berna. Ogni partecipante a corsi o manifestazioni riceverà la relativa documentazione, composta principalmente delle pubblicazioni specializzate, elaborate in funzione del tema trattato. Queste pubblicazioni possono anche essere richieste, indipendentemente dalla partecipazione ai corsi, presso l'Ufficio centrale federale degli stampati e del materiale (UCFSM), 3000 Berna.

Competenze

Allo scopo di far fronte a questo ambizioso programma di formazione, è stato adottato un concetto di organizzazione e di elaborazione che, accanto alla competente trattazione da parte degli specialisti, garantisce anche la considerazione dei punti di incontro e il necessario sostegno da parte di scuole e associazioni. Una commissione composta da rappresentanti delle associazioni, scuole e organizzazioni interessate stabilisce i contenuti del programma e assicura il coordinamento con le altre attività di promozione delle energie rinnovabili. Le organizzazioni settoriali si assumono la messa in opera delle proposte di perfezionamento e informazione, della cui preparazione è responsabile il gruppo direttore del programma (dott. Jean-Bernard Gay, dott. Charles Filleux, Jean Graf, dott. Arthur Wellinger, Irene Wuillemin UFPC). L'elaborazione specifica è affidata a gruppi di lavoro, che devono risolvere singole questioni sotto gli aspetti dei contenuti, dei tempi e dei costi.

Documentazione

Nella progettazione di un impianto automatico di combustione a legna occorre accordare le esigenze del committente, dell'architetto, del fornitore di legname, delle autorità e del fornitore dell'impianto. Il progettista assume qui un importante ruolo di comunicazione e coordinamento.

La documentazione «La progettazione di impianti automatici di combustione a legna» si indirizza ai progettisti di riscaldamenti, ai titolari e ai collaboratori di uffici di progettazione nel settore della tecnica edile ed energetica. L'omonimo corso PACER trasmette le basi della progettazione di tali impianti automatici e ne presenta le più importanti componenti. Il corso, incentrato sui bruciatori a legna automatici con potenza da 100 kW a 5 MW, tratta impianti per lo sfruttamento della legna di bosco e propone consigli per l'impiego dei residui

legnosi in aziende che lavorano il legno. Vi si illustrano le varianti di costruzione dei silos, dei sistemi di caricamento e trasporto, di combustione, di depurazione dei gas e di regolazione, i cui vantaggi e svantaggi vengono infine discussi. Altri argomenti sono la descrizione delle catene di approvvigionamento della legna da ardere, la presentazione delle caratteristiche degli assortimenti di combustibili e la discussione sui metodi di conteggio del legname. Sono pure trattate le prescrizioni più importanti, tra cui l'Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico (OIA) e le direttive relative alla sicurezza e alla protezione antincendio, il cui significato nella progettazione di impianti automatici di combustione a legna è oggetto di discussione.

La documentazione percorre l'«iter» progettuale, dal progetto di massima, attraverso quello di dettaglio e l'esecuzione, sino alla messa in esercizio dell'impianto. I costi delle singole componenti e dell'insieme dell'impianto sono trattati sulla base di opere analoghe già realizzate. È quindi descritta l'influenza dei maggiori fattori di costo. Vi si illustra come i costi di investimento siano influenzati soprattutto dal concetto dell'impianto e dalle dimensioni del silo del combustibile. La documentazione tiene conto delle conoscenze più recenti e suggerisce nuovi sviluppi che potranno acquisire importanza nei prossimi anni.

La presente documentazione sostituisce la parte relativa ai bruciatori a legna automatici della pubblicazione «Riscaldamenti centrali a legna» del programma d'impulso «Impiantistica» (1988). Per contro, si è rinunciato a inserire nella nuova documentazione la trattazione degli impianti a legna alimentati manualmente, in quanto il percorso progettuale e il pubblico di destinazione degli impianti automatici e manuali sono decisamente diversi. Inoltre, la presente pubblicazione completa

la documentazione PACER «Energia dai residui di legna», del 1994, che si indirizzava ai gestori di riscaldamenti a legna in industrie per la lavorazione del legno.

Il sommario, con le indicazioni dei capitoli principali e dei relativi sottocapitoli, consente di orientarsi rapidamente nella struttura della pubblicazione. Per facilitare la consultazione, inoltre, prima di ogni capitolo principale o appendice, è stato inserito un indice specifico che ne illustra in dettaglio i contenuti.



Dopo una presa di posizione e il test di impiego di un impianto pilota, la presente documentazione è stata accuratamente rielaborata. Nondimeno, gli autori hanno avuto mano libera per valutare e considerare secondo il proprio giudizio i diversi punti di vista sulle singole questioni. Essi assumono pure la responsabilità dei test. Eventuali inadeguatezze che dovessero risultare dalle applicazioni pratiche potranno essere corrette in un'ulteriore rielaborazione. Suggerimenti in questo senso vanno indirizzati all'Ufficio federale dei problemi congiunturali o al redattore/capo corso (v. pag. 2).

Ringraziamo vivamente tutti coloro che hanno contribuito alla realizzazione della presente pubblicazione.

Prof. dott. B. Hotz-Hart
Vicedirettore dell'Ufficio federale
dei problemi congiunturali

Sommario

1.	La legna da ardere	7
1.1	Origini e potenziale	9
1.2	Il sostegno all'energia ricavata dal legno	11
1.3	Ragioni per l'energia ricavata dal legno	11
1.4	Catene di approvvigionamento	13
1.5	Tenore di acqua e umidità del legno	16
1.6	Classificazione della legna da ardere	17
1.7	Contenuto energetico	18
1.8	Conteggio della legna da ardere	20
1.9	Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico (OIAt 92) e altre ordinanze	22
2.	La produzione di calore	25
2.1	Il processo di combustione del legno naturale	27
2.2	Residui di legna	32
2.3	Panoramica sui combustibili lignei e non secondo l'Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico (OIAt)	34
2.4	Tecnica di combustione	35
2.5	Regolazione dei bruciatori a legna automatici	38
2.6	Depurazione dei gas di scarico	41
2.7	Valori di emissione tipici	45
2.8	Rendimenti energetici e grado di sfruttamento annuo	46
3.	I sistemi	49
3.1	Impianti per la produzione di calore e componenti accessorie	51
3.2	Teleriscaldamento	60
4.	Le componenti	63
4.1	Caricamento del silo	65
4.2	Sistemi di trasporto	77
4.3	Sistemi di combustione	80
4.4	Criteri di scelta del sistema di combustione	84
5.	Studi preliminari e progetti di massima	85
5.1	Definizioni preliminari	87
5.2	Legna di bosco e residui di legna: differenza di procedimento	89
5.3	Svolgimento degli studi preliminari e dell'avanprogetto	91
5.4	Definizione dei principi	93
5.5	Progetto di massima	95
5.6	Abbozzo della valutazione dei costi	98
5.7	Confronto delle varianti	99
5.8	Progetto di massima	101

6.	Il progetto di dettaglio	103
6.1	Sviluppo e organizzazione del progetto	105
6.2	Dimensionamento e scelta del bruciatore	107
6.3	Ubicazione e scelta del deposito di combustibile	111
6.4	Indicazioni per la progettazione dei sili	113
6.5	Collegamenti idraulici	115
6.6	Comandi e regolazioni	117
6.7	Dispositivi di sicurezza per impianto, locale riscaldamento e sili	119
6.8	Indicazioni per la progettazione di locali riscaldamento e sili	121
7.	La realizzazione del progetto	125
7.1	Punti critici durante la realizzazione	127
7.2	Preparazione della messa in esercizio	128
7.3	Preparazione per il collaudo	129
7.4	Documentazione e istruzioni per l'uso	130
8.	L'esercizio	133
8.1	Servizio ed esercizio	135
8.2	Collaudo	137
8.3	Contratto di servizio	138
9.	Appendice	139
A1	Esempi pratici	139
A2	Valori limite posti dall'Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico (OIAt) per combustibili lignei	164
A3	Determinazione del grado di sfruttamento annuo η_a	165
A4	Calcolo delle emissioni di ossidi d'azoto	167
A5	Formulari tipo	169
A6	Esempio di capitolato SFIH	
A7	Bibliografia	182
A8	Prescrizioni e regolamenti	183
A9	Indirizzi importanti	184
Pubblicazioni e video del programma d'impulso PACER		185

1. Legna da ardere

1.1	Origini e potenziale	9
1.2	Il sostegno all'energia ricavata dal legno	11
1.3	Ragioni per l'energia ricavata dal legno	11
1.4	Catene di approvvigionamento	13
	Legna di bosco	13
	Legna da ardere naturale proveniente dalla lavorazione del legno	15
	Residui lignei	15
1.5	Tenore di acqua e umidità del legno	16
1.6	Classificazione della legna da ardere	17
	Classificazione per la vendita	17
	Classificazione per impianti tecnici	17
1.7	Contenuto energetico	18
1.8	Conteggio della legna da ardere	20
1.9	Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico (OIAt 92) e altre ordinanze	22
	Prescrizioni anti inquinamento Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico (OIAt 92)	22

1. Legna da ardere

1.1 Origini e potenziale

Per l'umanità il legno è stato durante millenni l'unica fonte di energia. Solo con l'avvento dell'industrializzazione è stato via via soppiantato dal carbone, ed in seguito dall'olio combustibile e dal gas. Nei paesi industrializzati il legno non riveste più un ruolo di primaria importanza. Esso copre in Svizzera appena l'1.6% del fabbisogno energetico totale e il 3% del fabbisogno di energia calorica. Le varie crisi petrolifere, le discussioni sui carichi ambientali e la limitatezza delle risorse naturali hanno dato in questi ultimi anni un nuovo impulso al legno visto come fonte di energia. Concetti come la problematica del CO₂, l'effetto serra, l'energia grigia, i rischi tecnologici, i bilanci ecologici, ecc., nonché la nuova politica energetica federale e, in molti casi, cantonale (programma di azione Energia 2000) hanno riportato l'attenzione sull'utilizzo del legno nel senso di un approvvigionamento il più possibile autonomo e differenziato.

La legna da ardere utilizzata per il riscaldamento può essere suddivisa in più categorie:

- Legna di bosco:
circa il 60% della produzione dei boschi svizzeri va alle segherie come legname d'opera, il 17% è destinato alla produzione di carta, cellulosa e pannelli truciolari, il 19% rappresentato da legname minuto può essere utilizzato unicamente come fonte di energia.
- Legno naturale proveniente dalla lavorazione del legno:
i resti di legno naturale provengono principalmente dalla prima fase di lavorazione (segherie) e talvolta dalla seconda.
- Scarti lignei provenienti dall'industria, artigianato e cantieri:
dalla seconda fase di lavorazione (falegnamerie, fabbricazione di mobili ecc.) provengono spesso resti di lavorazione non più allo stato naturale.
- Legname vecchio:
è il risultato della fine di un ciclo produttivo, spesso composto da più fasi di varia funzione e durata.

Combustibili lignei

Legno di bosco

- Legno proveniente direttamente dal bosco, come tondelli, squarconi, minuzzoli.

Legno naturale proveniente dalla lavorazione del legno

- corteccia
- depezzatura di legno massiccio
- corteccia e frammenti
- trucioli da pialla
- segatura e polvere da levigatura di legno naturale
- trucioli di legno massiccio.

Resti e minuzzoli (di legno non più naturale)

- Resti di lavorazione di pannelli derivati dal legno
 - pannelli truciolari e pannelli in fibra
 - pannelli MDF
 - pannelli di legno compensato.
- Resti di elementi stratificati (senza PVC)
 - impiallaccature
 - rivestimenti con formica.
- Resti di lavorazione trattati
 - legno laccato o velato.
- Scarti di legno da cantiere (lavori di montaggio)
 - cassature, ponteggi
 - scarti di montaggio da lavori di finitura interni.

Legno non utilizzabile quale combustibile

Legname vecchio

- Legno proveniente da demolizioni o rinnovamenti
 - vecchie tavole, travi, finestre, porte
 - vecchi arredamenti interni.
- Oggetti di legno usati
 - vecchi mobili
 - vecchi imballaggi
 - vecchi oggetti di legno
 - palette.

Non è considerato legname vecchio

- legno rivestito con PVC o impregnato a pressione con pentaclorofenolo. Questi scarti di legno devono essere distrutti in un centro per smaltimento rifiuti.

Per la tematica dell'utilizzo del legname vecchio si rimanda alla documentazione seguente:

Emissionsarme Altholznutzung in 1-10 MW-Anlagen

DIANE, Energie aus Altholz + Altpapier
Ufficio del risparmio energetico, Berna 1994

Fonte: UCFSM, 3000 Berna
UCFSM no. 805.180 d

Numero dei bruciatori a legna

	potenza	numero
combustione di legna in pezzi	< 30 kW	490000
	> 30 kW	114800
combustione di legna in trucioli	< 70 kW	1410
	> 70 kW	2420
comb. di legna vecchia	> 350 kW	15

stato al 1993

Consumo di legna da ardere

	legna di bosco e resti m ³	legno vecchio m ³	Totale m ³
comb. di legna in trucioli	1310000		1310000
comb. di legna vecchia	670000	110000	780000
Totale	1980000	110000	2090000

stato al 1993

Potenziale della legna da ardere

Legna da ardere	Consumo 1993 mio m ³ /a	Potenziale a medio termine mio m ³ /a	Potenziale teorico mio m ³ /a
legno di campagna		0.3	
legno di bosco	0.9	1.5 ... 2.8	
scarti di legno	1.1	1.1	
legno vecchio	0.1	0.7	
Totale	2.1	3.6 ... 4.9	6

1 Mio m³/a ≈ 1'000 GWh/a

La ricrescita della vegetazione consente senz'altro il raddoppio dello sfruttamento del legno quale fonte di energia. Ciò permetterebbe la copertura del 6% del fabbisogno svizzero di energia termica senza uno sfruttamento eccessivo dei boschi e senza costituire concorrenza alla produzione di legname pregiato.

Unità di misura volumetriche comunemente utilizzate
 m³ = metri cubi o massa di legno compatta
 Sm³ = metri cubi di trucioli o di scarti
 Ster = legna accatastata di 1 x 1 x 1 m
 Conversione: 1 m³ ≈ 2.5 Sm³ ≈ 1.43 Ster

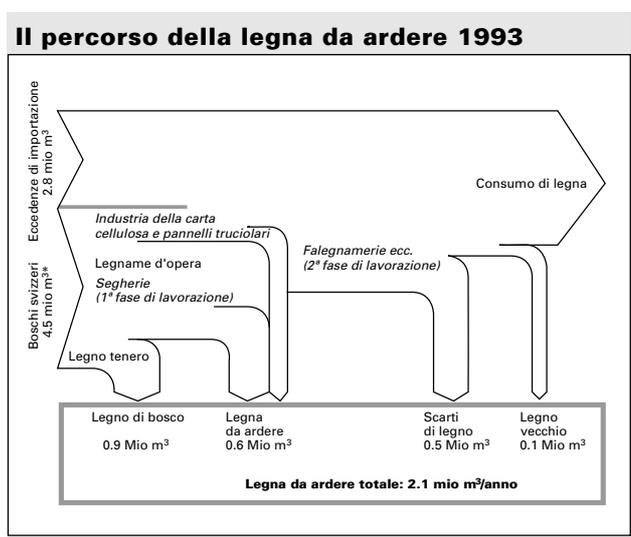
La presente documentazione tratta in primo luogo la legna di bosco e da ardere proveniente da segherie e, in alcuni punti, le particolarità degli scarti dell'industria e dell'artigianato. Questi combustibili sono considerati legna da ardere secondo l'Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico (OIA).

La legna vecchia non è considerata legna da ardere dall'OIA e non viene perciò trattata nella presente documentazione.

I dati riguardanti l'attuale potenziale energetico sono parzialmente sottostimati. È certo che la selvicoltura riscontra oggi problemi nello smaltimento del legname poco pregiato risultante da interventi forestali. Contemporaneamente, è sempre più difficile per le aziende che lavorano il legno smaltire gli scarti della loro produzione. Inoltre, molto legname al termine del ciclo produttivo, proveniente da demolizioni, mobili vecchi, imballaggi ecc., non viene sfruttato per la produzione di energia.

Il potenziale energetico disponibile a medio termine è stimato, con uno sfruttamento costante dei boschi, tra i circa 3.6 e i 4.9 mio m³/a. Un contemporaneo sfruttamento degli scarti di legno e del legno vecchio porta il potenziale teorico a circa 6 mio m³/a.

Il quantitativo di legname utilizzato per la produzione di energia dipende fortemente dal prezzo ottenibile. Un fabbisogno di legna da ardere sensibilmente in ascesa e la conseguente attrattiva finanziaria mettono la selvicoltura in condizioni di produrre quantitativi sempre maggiori.



* di cui 3.5 mio m³ destinati all'esportazione

1.2 Il sostegno all'energia ricavata dal legno

La Confederazione ed un numero sempre maggiore di cantoni sostengono con misure mirate lo sfruttamento di fonti energetiche rinnovabili. Sotto questo aspetto, visto il suo grande potenziale fra le energie rinnovabili, il legno ha un posto di primaria importanza che sarà rapidamente sfruttato fra il 1990 e il 2000 grazie a tecnologie collaudate con un investimento supplementare relativamente contenuto in confronto alle soluzioni convenzionali che utilizzano combustibili fossili.

La Confederazione sostiene gli impianti ben concepiti mediante contributi. Nella loro legislazione sull'energia, anche i cantoni prendono sempre più in considerazione quella derivata dal legno. In alcuni cantoni sono previsti aiuti finanziari per gli impianti. Ulteriori informazioni si possono ottenere presso l'Associazione svizzera per l'energia ricavata dal legno (VHe) e i rispettivi Istituti cantonali. Considerato che la situazione forestale migliora, sempre più comuni sono disposti ad incrementare gli investimenti a favore del riscaldamento a legna, sfruttando così in modo efficiente una fonte energetica propria.

Mediante un uso intensivo dell'energia derivata dal legno, la Svizzera può dare il suo contributo al problema sempre più urgente della riduzione del valore di CO₂ nell'atmosfera e del conseguente effetto serra.

1.3 Ragioni per l'energia ricavata dal legno

Sino alla metà del XIX secolo, la produzione industriale si basava sul consumo di energie rinnovabili, più precisamente il legno, il vento e la forza muscolare. Con l'industrializzazione, il ruolo principale fu assunto dapprima dal carbone, alla fine del XIX secolo dal gas e, nel nostro secolo, dal petrolio. Collegato a questo fenomeno si è constatato un enorme aumento del consumo energetico mondiale pari attualmente a 10¹⁰ t SKE (unità di misura per il carbonfossile) oppure circa 1,1 · 10¹⁴ kWh, che corrispondono ad un consumo medio annuo pro capite di 2 t SKE, rispettivamente di 23000 kWh o ad una potenza continua di circa 2,6 kW a persona.

La nostra industria attuale si basa quasi esclusivamente sul consumo di energie non rinnovabili.

Ragioni per l'energia ricavata dal legno

Ragioni politiche

- diversificazione delle fonti energetiche
- diminuzione della dipendenza dall'estero.

Ragioni economiche

- proventi per l'industria forestale e del legno
- valorizzazione locale e regionale.

Ragioni ecologiche

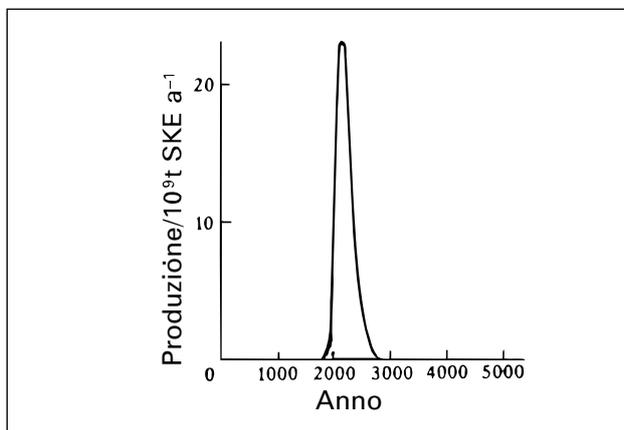
- neutro dal punto di vista della produzione di CO₂
- trasporto breve e senza rischi, preparazione e magazzinaggio esenti da rischi
- energia grigia limitata.

Ragioni pratiche

- alto livello tecnico raggiunto
- alto livello di comfort
- indicato per reti di riscaldamento vicine
- migliore rapporto con l'energia.

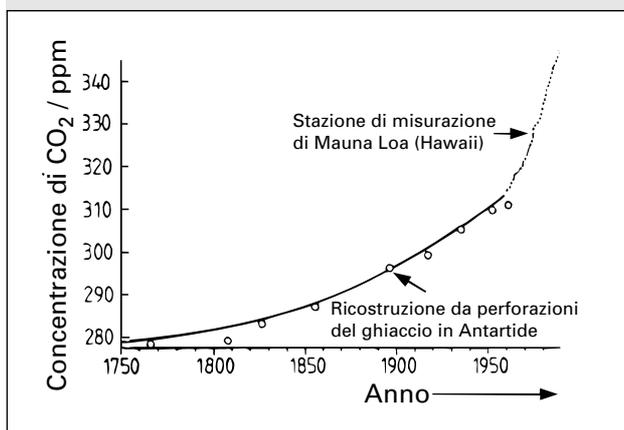
Ripartizione dei consumi energetici mondiali

Fonti energetiche non rinnovabili:	80%
Energia nucleare:	5%
Energia fossile:	75%
petrolio:	32%
carbone:	26%
gas:	17%
Fonti energetiche rinnovabili:	20%
Biomassa:	13%
Energia idroelettrica:	6%
Energia solare diretta e vento:	1%



Età dei carburanti fossili.

Aumentando il consumo le riserve si esauriranno nel corso di poche generazioni.

Sviluppo della concentrazione di biossido di carbonio nell'atmosfera


Solo il 20% del consumo energetico è coperto da fonti rinnovabili, in maggioranza (il 13%) dalla biomassa: legno, concime e rifiuti agricoli.

In Svizzera, l'energia ricavata dal legno copre circa l'1,6% del consumo e si situa al secondo posto, dopo l'energia idroelettrica, sia delle fonti energetiche indigene, sia di quelle rinnovabili.

Poiché le riserve di combustibili fossili sono limitate e, al ritmo di consumo attuale, saranno esaurite nel giro di poche generazioni, non è possibile prevedere una dipendenza unica da queste fonti energetiche a lungo termine. Inoltre l'utilizzo di combustibili fossili non fa che aumentare le concentrazioni di biossido di carbonio nella nostra atmosfera, che potrebbero causare variazioni climatiche tali da indurci a rinunciare a questi vettori energetici prima ancora dell'esaurimento delle riserve stesse.

Le fonti energetiche rinnovabili devono perciò essere valorizzate e maggiormente utilizzate in sostituzione di quelle non rinnovabili. In Svizzera, il legno può, in questo ambito, giocare un ruolo importante; infatti, grazie ad una cura costante del bosco, il consumo di energia ricavata dal legno potrebbe raddoppiare o triplicare.

L'argomento centrale a favore dell'impiego di impianti a combustione di legna è la sostituzione del combustibile fossile con il legno, neutro dal punto di vista della produzione di CO₂.

Il legno offre anche altri vantaggi: esso viene preparato all'interno del paese creando posti di lavoro nelle regioni più deboli di periferia. Inoltre, un impiego più vasto di legna facilita la necessaria manutenzione del bosco, favorendone altre funzioni quali la diminuzione del rischio di valanghe, di erosione e di frane e l'offerta alla popolazione di spazi di svago.

L'impiego di energia ricavata dal legno riduce il carico di trasporti lunghi, l'energia grigia è minore rispetto ai vettori energetici importati e i rischi ecologici legati a incidenti di trasporto o alla dispersione nell'ambiente di sostanze inquinanti sono eliminati.

1.4 Catene di approvvigionamento

Legno di bosco

Con il sistema della **catena di approvvigionamento diretta**, la legna tagliata viene ridotta in trucioli nel bosco e trasportata direttamente all'utilizzatore. Per una maggiore sicurezza di approvvigionamento, il fornitore può depositare la legna in tronchi in un luogo accessibile dal trituratore anche durante l'inverno (neve, ghiaccio).

La catena di approvvigionamento diretta è conveniente poiché richiede poca preparazione e nessun deposito intermedio di trucioli. Il fornitore di legna deve garantire l'approvvigionamento anche d'inverno, quando l'accessibilità al bosco è limitata. I trucioli hanno un contenuto di acqua al massimo del 60%.

Grazie al deposito nel bosco di alberi caduti e non sfronati durante alcune settimane o mesi, si raggiunge un buon essiccamento (contenuto di acqua < 50%). In tal modo restano al suolo la gran parte di foglie e aghi contenenti elementi minerali.

Con il sistema della **catena di approvvigionamento indiretta**, il legno viene immagazzinato sotto forma di trucioli in un deposito intermedio.

Raccomandazione: la catena indiretta è più costosa poiché necessita di un deposito intermedio. Ha comunque dei vantaggi, sia nel caso di cattiva accessibilità del bosco in inverno, sia nel caso di soluzioni regionali dove sono necessarie grosse quantità di trucioli (deposito tampone).



Truciolatrice mobile nel bosco

Catena di approvvigionamento diretta

- Taglio e trasporto sino a strade carrozzabili, eventuale deposito sottoforma di tronchi o di alberi interi nel bosco.
- Trasformazione in trucioli vicino alla strada forestale.
- Trasporto diretto dei trucioli all'utilizzatore.

Vantaggi:

- economicamente conveniente.

Osservazioni:

- garanzia di approvvigionamento in inverno
- alto contenuto di acqua.

Catena di approvvigionamento indiretta

Variante A:

- taglio e trasporto sino a strade carrozzabili
- trasformazione in trucioli vicino alla strada forestale
- trasporto al deposito intermedio di trucioli
- trasporto all'utilizzatore.

Variante B:

- taglio e trasporto sino a strade carrozzabili
- trasporto dei tronchi al deposito di trucioli
- magazzinaggio dei tronchi presso il deposito di trucioli
- trasformazione in trucioli e magazzinaggio
- trasporto all'utilizzatore.

Vantaggi:

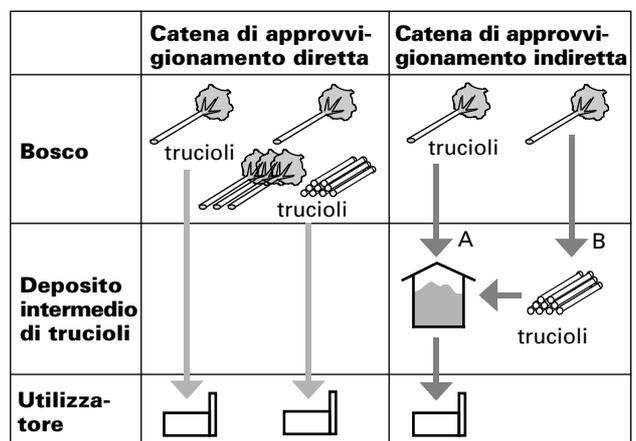
- grande garanzia di approvvigionamento
- contenuto di acqua nei trucioli generalmente basso e uniforme.

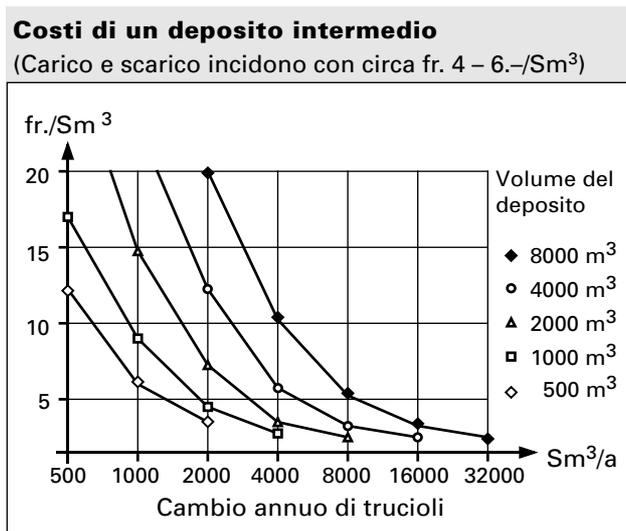
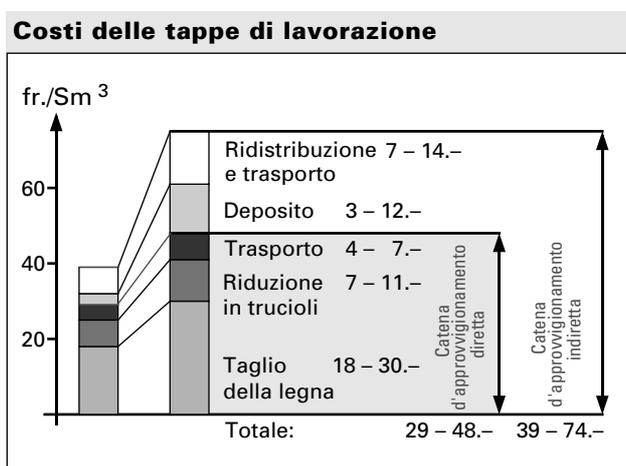
Svantaggi:

- sistema costoso.

Osservazioni:

- maneggevolezza dei trucioli complicata
- necessità di un deposito di trucioli intermedio.





Oltre alle catene di approvvigionamento diretta e indiretta vi è la catena di approvvigionamento mista, che combina le due varianti. Essa permette una certa sicurezza di approvvigionamento ed è più conveniente rispetto alla catena indiretta grazie a depositi di trucioli ridotti.

Il dispendio necessario alla preparazione della legna da ardere dipende dalle tappe di lavorazione:

- taglio del legno (abbattimento, sramatura, esbosco)
- riduzione in trucioli
- trasporto al silo (max. 10 Km), rispettivamente al deposito intermedio
- magazzinaggio intermedio
- redistribuzione, trasporto.

Poiché il dispendio per la preparazione di legna da ardere dipende dal volume lavorato e non dal peso, il prezzo per unità energetica della legna proveniente dalle conifere è circa del 10 - 15% superiore rispetto alla legna di latifoglie.

Esso ammonta, nel caso della catena diretta, da fr. 29.-/Sm³ a fr. 48.-/Sm³. A livello del mercato attuale (vedi capitolo 1.8), la catena diretta permette un esercizio economicamente neutro, mentre l'impiego della catena indiretta porta ad un bilancio deficitario con costi fra fr. 39.-/Sm³ e fr. 74.-/Sm³.

Il deposito intermedio di trucioli soddisfa due funzioni:

- essiccazione e omogeneizzazione
- miglioramento della disponibilità in inverno.

Per ridurre i costi, occorre tenere in considerazione quanto segue:

- la dimensione del deposito deve essere calcolata in modo da permettere il massimo di cambiamenti annuali del volume netto di trucioli;
- l'attrezzatura meccanica deve essere efficiente, conveniente e adatta al tipo di legname trattato.

Legna da ardere naturale proveniente dalla lavorazione del legno

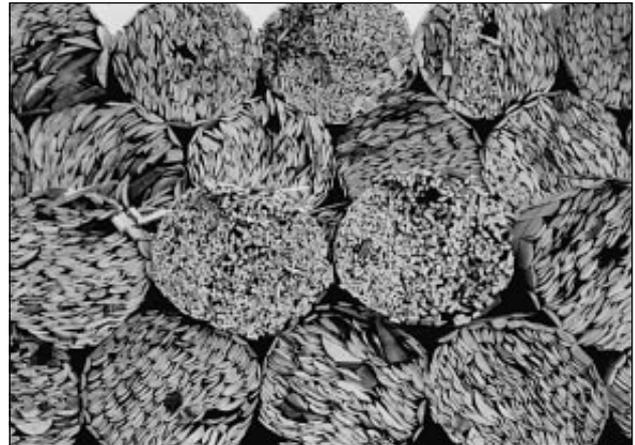
La lavorazione del legno in segheria (prima fase di lavorazione) produce scarti da ardere (corteccia, frammenti, scorza, trucioli). Questo materiale viene ridotto in trucioli sul luogo e immagazzinato in un deposito per essere usato quale combustibile. Altrimenti, la legna viene trasportata in un deposito di trucioli nelle vicinanze e lavorata sul posto.

Residui di legna

Dalla lavorazione del legno in falegnamerie, carpenterie e officine di piallatura (seconda fase di lavorazione), vengono prodotti residui in parte naturali, in parte trattati in diverse forme. Questi vengono ridotti in trucioli o bricchette (per esempio la polvere da levigatura) e spesso utilizzati quale combustibile proprio.

I residui di legna della seconda fase di lavorazione sono generalmente poveri di umidità (contenuto di acqua 7% - 20%) e presentano una percentuale di polvere fino al 20%. Ciò potrebbe generare alcuni problemi in fase di magazzinaggio e di combustione.

I resti di legni laminati con PVC o impregnati devono essere eliminati assieme ai rifiuti domestici negli impianti di smaltimento.



Legna da ardere prodotta dalla lavorazione del legno: corteccia e frammenti

$$\text{Tenore d'acqua } w (\%) = \frac{\text{Peso dell'acqua [kg]} \cdot 100}{\text{Peso del legno secco [kg]} [\text{kg}]}$$

$$\text{Umidità del legno } u (\%) = \frac{\text{Peso dell'acqua [kg]} \cdot 100}{\text{Peso del legno umido [kg]}}$$

Invece di w viene utilizzato anche x
 u è definito anche come %_{asse} (asse: assolutamente secco)

Conversione

$$\text{Tenore di acqua } w [\%] = \frac{u [\%]}{100 + u [\%]} \cdot 100$$

$$\text{Umidità del legno } u [\%] = \frac{w [\%]}{100 - w [\%]} \cdot 100$$

Tabella di conversione

w [%]	u [%]
0	0
25	33
40	67
50	100
60	150

Valori normali

Qualità	w [%]	u [%]
Trucioli di legno verdi	20 – 50	25 – 100
Trucioli di legno depositati al coperto	20 – 30	25 – 43
Trucioli di legno essiccati all'aria	15 – 20	18 – 25
Residui di legno da segheria	25 – 60	33 – 150
Residui di legno da carpenteria	13 – 20	15 – 25
Residui di legno da falegnameria	7 – 17	7 – 20

1.5 Tenore di acqua e umidità del legno

Per definire la quantità di acqua nel legno si utilizzano due unità di misura:

- il **tenore di acqua w** che corrisponde al rapporto fra il peso in kg di acqua rispetto al peso in kg della sostanza lignea umida
- l'**umidità del legno u** pari al rapporto fra il peso dell'acqua in kg e il peso del legno completamente esente da acqua.

La definizione del tenore di acqua avviene confrontando il peso di un campione umido con quello dopo l'essiccazione.

L'essiccazione avviene in un armadio di essiccazione (circa fr. 1'500) durante circa 24 ore a una temperatura di 102-05 °C. È possibile raggiungere l'essiccazione più velocemente mediante un deumidificatore ad aria calda oppure con l'irraggiamento.

Una determinazione sommaria può essere ottenuta anche utilizzando un forno a microonde (durata dell'essiccazione circa 15 min.; attenzione al pericolo di incendio) o con un forno da cucina la cui temperatura si possa regolare in modo preciso.

Il tenore di acqua non ha praticamente alcun influsso sul volume del legno, mentre il suo peso ne è fortemente determinato. Il legno viene considerato secondo il suo volume affinché il contenuto di acqua non influenzi il suo valore energetico.

Il valore energetico di un metro cubo di trucioli sciolti, tagliati di fresco, è inferiore solo di circa il 10% a quello di un metro cubo di trucioli essiccati all'aria. Se la fatturazione avviene in base al peso della legna, si deve assolutamente tenere conto dell'influsso del tenore di acqua.

Oltre all'acqua presente naturalmente nel legno, se il deposito di trucioli non è riparato dalle intemperie, vi può anche essere dell'acqua apportata dall'ambiente (acqua piovana e neve). L'acqua apportata può pregiudicare seriamente il processo di combustione. Il tenore di acqua non è quindi un valore sufficiente a determinare la qualità energetica del legno. Oltre al limite massimo di tenore d'acqua imposto dall'impianto di combustione, occorre anche verificare che la presenza di acqua apportata non sia eccessiva.

1.6 Classificazione della legna da ardere

Classificazione per la vendita

Il legno duro di latifoglie (**V1**) ha, rispetto al legno di conifere (**V2**), un peso specifico maggiore e quindi, a parità di volume, un peso ed un valore energetico maggiore.

Per la vendita di legna da ardere si distingue fra prezzo secondo il volume (V) e prezzo secondo il peso (G). Attualmente la vendita avviene principalmente secondo il volume.

Per la fatturazione è determinante la quantità di energia fornita sotto forma di legno. La classificazione seguente permette di compensare le differenze di peso specifico e contenuto energetico fra latifoglie e conifere.

Vendita secondo il volume (V)

La classe di legno V1 ha un valore energetico maggiore rispetto alla classe V2. Questa distinzione si utilizza per la vendita secondo il volume (Sm³, steri).

Vendita secondo il peso (G)

Le due classi di legno hanno praticamente lo stesso valore energetico a parità di peso del legno secco (asse). Per la vendita secondo il peso non si utilizza quindi la classificazione V1 e V2.

Classificazione per impianti tecnici

In vista dell'utilizzo quale combustibile, il legno viene classificato secondo le dimensioni dei trucioli e il contenuto di acqua.

Vendita secondo il volume

V1	Legno duro di latifoglie	quercia, faggio, frassino, olmo, castagno, robinia, carpine, betulla, nocciolo, alberi da frutta (escluso il ciliegio).
V2	Legno di conifere e legno tenero di latifoglie	abete, abete rosso, pino, pino douglas, larice, ontano, acero, ciliegio, pioppo, salice.

Vendita secondo il peso

G	Tutti i legni di conifere e latifoglie	
---	--	--

Classificazione della legna da ardere secondo criteri riferiti agli impianti tecnici

Qualità	Dimensione dei trucioli mm	% massima di dimensioni maggiori peso-%	% massima di trucioli fini fino a 3 mm* peso-%	% massima di corteccia peso-%	Tenore di acqua massimo w**	Umidità massima u**
Trucioli di legno asciutti fini	40/20/10	1 % > 80 mm	< 5 %	< 10 %	< 30 %	< 43 %
Trucioli di legno umidi fini	40/20/10	1 % > 80 mm	< 5 %	< 10 %	< 50 %	< 100 %
Trucioli di legno umidi grossi	60/20/10	1 % > 220 mm	< 5 %	< 10 %	< 50 %	< 100 %
Trucioli di legno bagnati con alta percentuale di corteccia	60/20/10	1 % > 220 mm	< 5 %	< 30 %	< 60 %	< 150 %

* Inoltre percentuale massima di aghi = 5%

** Tenore di acqua e umidità di legna appropriatamente depositata, senza acqua apportata.

$$\text{Potere calorico } H_u \text{ [kWh/kg]} = \frac{\text{Contenuto energetico [kWh]}}{\text{Peso del legno umido [kg]}}$$

Invece dei kWh/kg si possono usare i MJ/kg.
Conversione: 1 kWh = 3.6 MJ

Potere calorico H_u

(in precedenza potere calorico minimo)

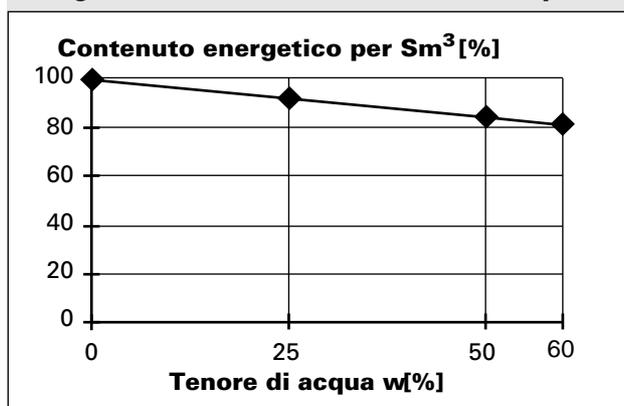
La quantità di energia ricavata dalla combustione di 1 kg di materiale e utilizzabile quale calore percepibile, quindi mediante raffreddamento dei gas di scarico alla temperatura di emissione dove l'acqua nei gas di scarico è presente sotto forma di vapore.

Valore di combustione H_o

(in precedenza potere calorico massimo)

La quantità di energia ricavata dalla combustione di 1 kg di materiale e utilizzabile quale calore percepibile ed energia di evaporazione, quindi mediante raffreddamento dei gas di scarico alla temperatura di emissione dove l'acqua nei gas di scarico è presente in forma liquida.

Variazione percentuale del contenuto energetico in funzione del tenore di acqua



1.7 Contenuto energetico

Il **contenuto energetico** del legno è determinato normalmente dal **potere calorico H_u** . Esso corrisponde all'energia ricavata dalla combustione di 1 kg di legna umida raffreddando i gas di scarico alla temperatura di emissione dove l'acqua nei gas di scarico è presente sotto forma di vapore.

I vari tipi di legno hanno praticamente lo stesso valore energetico a parità di peso del legno assolutamente secco. Questo corrisponde in media a 5,15 kWh/kg o 18,5 MJ/kg.

Aumentando il tenore di acqua in un metro cubo di legna sciolta, il potere calorico diminuisce leggermente, poiché durante la combustione l'acqua contenuta nel legno deve essere trasformata in vapore. Gli impianti a condensazione dei gas di scarico recuperano parte dell'energia di evaporazione (vedi capitolo 3.4).

Grazie al suo maggior peso specifico, il legno duro di latifoglie ha un contenuto energetico maggiore a parità di volume rispetto al legno di conifere. A parità di peso del legno assolutamente secco, la differenza di contenuto energetico fra legno di latifoglie e quello di conifere è minima.

In funzione della provenienza della legna da ardere lavorata, vi sono grosse differenze di tenore d'acqua. Il legno proveniente da segherie (prima fase di lavorazione) contiene normalmente un alto tenore di acqua, mentre il legno proveniente da falegnamerie e carpenterie (seconda fase di lavorazione) è generalmente molto secco. Vi possono essere grosse differenze di tenore di acqua anche in funzione del tipo di lavorazione, dimensione dei trucioli (legna in pezzi fino a polvere) e grado di accatastamento. Si possono rilevare differenze di contenuto energetico a parità di volume sino ad un fattore 10. La valutazione di un impianto di riscaldamento a legna deve quindi tenere conto dei relativi dati di funzionamento.

Un'analisi precisa del potere calorico può essere eseguita per esempio dall'EMPA.

Legna da ardere proveniente dalla lavorazione del legno	Potere calorico	
Segheria (legno naturale) (Tenore di acqua w 40%-60%)		
Trucioli di corteccia	850 – 1100	kWh/Sm ³
Segatura	600 – 800	kWh/Sm ³
Falegnameria e carpenteria (Residui di legno) (w 10%-15%)		
Legno massiccio	2250 – 2950	kWh/m ³
Pannelli truciolari	3000 – 4400	kWh/m ³
Bricchette	4400 – 7700	kWh/m ³
Trucioli di legno massiccio	900 – 1150	kWh/Sm ³
Trucioli di pannelli	1200 – 1750	kWh/Sm ³
Trucioli/segatura di legno massiccio	650 – 850	kWh/Sm ³
Trucioli/segatura di pannelli	1000 – 1400	kWh/Sm ³

Potere calorico per Sm³ (V1, V2) rispettivamente per tonnellata di legno assolutamente secco (G) in funzione del tenore di acqua

Tenore di acqua	Potere calorico in funzione del volume		Potere calorico in funzione del peso G kWh/tatro
	V1 kWh/Sm ³	V2 kWh/Sm ³	
w = 0%	950 – 1200	750 – 900	5150
w = 25%	910 – 1150	720 – 860	4920
w = 50%	820 – 1040	650 – 780	4450
w = 60%	770 – 970	600 – 730	4100

I valori medi per le categorie V1 e V2 si possono ottenere presso l'Associazione svizzera per l'energia del legno (ASEL).

Conteggio della legna da ardere

- Conteggio per metro cubo di legna sciolta Sm³
- Conteggio per tonnellata di legno ass. secco t_{asse}
- Conteggio per kWh di energia ricavata (energia utilizzata).

Conteggio per metro cubo di legna sciolta Sm³

- Vantaggio:
- facile determinazione del volume.
- Svantaggio:
- grande incertezza sul contenuto energetico.

Conteggio per tonnellata di legno assolutamente secco t_{asse}

- Vantaggi:
- indipendente dalla qualità del legno e dal grado di accatastamento
 - buona precisione sul contenuto energetico.
- Svantaggio:
- necessità della misurazione del peso e del tenore di acqua.

Determinazione del peso del legno assolutamente secco

$$Peso_{asse} = Peso_{umido} \cdot \left(1 - \frac{\text{Tenore di acqua } w [\%]}{100}\right)$$

Conteggio per kWh di energia ricavata

- Vantaggio:
- indipendente dalla qualità del legno e dal grado di accatastamento
 - indipendente dal tenore di acqua.
- Svantaggio:
- dipendente dal grado di utilizzazione annuo dell'impianto
 - stima del grado di utilizzazione annuo dell'impianto
 - limitazione ad un fornitore unico.

1.8 Conteggio della legna da ardere

La legna da ardere può essere conteggiata secondo il volume di legna sciolta, secondo il peso oppure secondo l'energia ricavata.

Il metodo più diffuso è il **conteggio per metro cubo di legna sciolta (Sm³)**. Non è un metodo molto preciso, poiché il peso specifico e il grado di accatastamento dei trucioli forniti, quindi il loro contenuto energetico, possono variare fortemente. In compenso, la misurazione del volume fornito è molto semplice e non costa praticamente nulla. Il prezzo di una fornitura viene stabilito in funzione del contenuto energetico di un metro cubo sciolto della stessa qualità di legno secondo il suo tenore di acqua (secco o verde).

Un metodo più preciso è la **vendita per tonnellata di legno assolutamente secco (t_{asse})**, poiché non entrano in gioco né la qualità del legno né il grado di accatastamento. È però necessario stabilire il peso e il tenore di acqua della partita. Il peso è determinato dalla differenza fra camion carico e scarico. Si possono utilizzare camion con sensori per determinare il peso del carico solo se essi garantiscono una certa precisione. Per definire il tenore di acqua di una partita si devono eseguire parecchie prove, oppure scegliere una serie di campioni rappresentativa. Il prezzo della fornitura è così determinato dal contenuto energetico per tonnellata di legna assolutamente secca.

La vendita secondo il peso avviene sia nell'industria che nei grossi impianti di sfruttamento della biomassa, come ad esempio negli Stati Uniti o in Scandinavia. A causa del grosso dispendio di tempo, questo metodo di conteggio non viene utilizzato praticamente mai negli impianti di combustione relativamente piccoli come quelli svizzeri.

La **vendita secondo l'energia ricavata in kWh** (energia utilizzata) è possibile se l'impianto è dotato di un contatore di calore che misura l'energia utilizzata (per esempio nel caso di teleriscaldamento a breve distanza). L'energia utilizzata risulta dal contenuto energetico del combustibile e dal grado di utilizzazione annuo dell'impianto (capitolo 2.8). Per il conteggio si stabilisce un prezzo in fr./MWh dell'energia fornita (energia finale, contenuto energetico nella legna fornita).

I gestori di impianti e i fornitori di legna da ardere devono concordare il procedimento per determinare la quantità di energia fornita. Consigli a questo proposito possono essere richiesti all'Associazione svizzera per l'energia dal legno (ASEL). Il grado di utilizzazione annuo dell'impianto è determinato da una formula che considera sia il rendimento sia le perdite per irraggiamento che per la messa a regime di un impianto. (vedi allegato 9.3)

I prezzi di mercato dei trucioli di legna da ardere verdi o provenienti da segherie vengono raccomandati all'inizio della stagione di riscaldamento dall'Associazione svizzera di economia forestale (SVW) e dall'Associazione svizzera delle segherie e industrie del legno (SHIV).

Per il prezzo dei residui dalla seconda fase di lavorazione del legno non vengono fatte raccomandazioni, bensì fa stato il mercato locale. Il prezzo è molto basso, addirittura chi ritira il legno può ottenere un bonifico di circa 20 – 40.– fr./t.

In alcune parti della Svizzera è allo studio un progetto di borsa della legna da ardere, dove offerenti e acquirenti tratterebbero le vendite. L'accesso alla borsa avverrebbe tramite una banca dati centrale; le forniture dovrebbero avvenire a livello regionale.

La borsa allargherebbe così l'offerta sul mercato della legna da ardere, aumenterebbe la sicurezza di approvvigionamento e la flessibilità del mercato e favorirebbe lo sfruttamento dell'energia ricavata dal legno.

Raccomandazioni di prezzo per il 1993/94 (WVS/SHIV)

Qualità	Prezzo * franco silo fr./Sm ³	Contenuto energ. relativo al Sm ³ **
Legno di latifoglie secco	45 – 52	1.10
Legno di latifoglie umido	35 – 43	1
Legno di conifere secco	33 – 38	0.73
Legno di conifere umido	26 – 34	0.66
Trucioli, segatura, corteccia	secondo accordo ca. 5	
Sciaveri, frammenti (sminuzzati)	15 – 20	

* Per il legno di conifere i prezzi dati superano, a parità di contenuto energetico, di circa il 10% - 15% quelli relativi al legno di latifoglie.

Prezzi confrontabili per contenuto energetico si ottengono prendendo, per il legno di latifoglie, il valore massimo dato e per il legno di conifere il valore minimo indicato.

Esempio: fr. 50.–/Sm³ legno di latifoglie secco corrispondono a fr. 33.–/Sm³ legno di conifere secco.

** Valore di riferimento: legno di latifoglie umido = 1

Raccomandazione PACER

Prezzo base fr. 36.–/MWh di energia finale

Qualità	V1 fr./Sm ³	V2 fr./Sm ³	G fr./t _{asse}
Trucioli di legno fini secchi	48	30	178
Trucioli di legno fini umidi	43	29	162
Trucioli di legno grossi umidi	43	29	162
Trucioli di legno grossi bagnati con alta % di corteccia	40	27	149

Tutti i prezzi franco silo.

I prezzi dati si basano su indicazioni provvisorie del contenuto energetico.

Definizioni dei combustibili lignei secondo l'Ordinanza federale contro l'inquinamento atmosferico (OIA 92) (Allegato 5 cifra 3)

- 1 Combustibili lignei sono:
- legna naturale in pezzi compresa corteccia aderente, p. es. sottoforma di scaglie o bricchette esenti da leganti, così come ramaglie e pigne;
 - legna naturale non in pezzi, per esempio trucioli, segatura, polvere da piallatura o corteccia;
 - residui della lavorazione industriale o artigianale del legno o provenienti da cantieri, purché non impregnati o laminati o contenenti leganti alogeno-organici.
- 2 Non sono combustibili lignei:
- legname vecchio proveniente da demolizioni di stabili, riattazioni, ristrutturazioni, legno di imballaggio oppure legno di mobili vecchi, così come miscele di legname vecchio e combustibile ligneo definito al paragrafo 1;
 - ogni altro materiale ligneo come:
 - legname vecchio o rifiuti di legno impregnati a pressione con prodotti protettivi o laminati con alogeno-organici (p. es. PVC);
 - rifiuti di legno trattati intensivamente con prodotti protettivi come il pentaclorofenolo (p. es. traversine delle ferrovie, pali del telegrafo, recinzioni da giardino) o legname vecchio;
 - miscele di questi rifiuti con combustibili lignei secondo il paragrafo 1 o legname vecchio come al paragrafo a).

1.9 OIA 92 e altre ordinanze

Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico (OIA 92)

L'Ordinanza federale contro l'inquinamento atmosferico definisce i combustibili lignei per la combustione mediante bruciatori a legna. Essa pone i valori limite di emissioni per gli impianti fissi e il carico massimo ammesso di immissioni nell'atmosfera (valore limite massimo di immissioni).

Contenuto di polvere (particelle solide)

Per impianti da 70 kW a 5 MW è ammesso un contenuto massimo di polvere di 150 mg/m³. Non vi sono prescrizioni per impianti di potenza inferiore ai 70 kW; per potenze superiori ai 5 MW è ammesso un valore limite massimo di 50 mg/m³.

Monossido di carbonio (CO)

Il valore limite massimo per il monossido di carbonio (indicatore della qualità della combustione) dipende dalla grandezza dell'impianto. Le prescrizioni sono più severe nel caso di combustione di residui lignei rispetto alla combustione di legna naturale. Questa differenza è notevole soprattutto per impianti di potenza inferiore a 200 kW.

Ossidi di azoto (NO_x)

Il limite di emissioni di ossidi di azoto entra in vigore solo se si supera un flusso di ossidi di azoto di 2500 g/h (allegato 1 paragrafo 6). Questo caso si presenta per impianti di potenza superiore a circa 1,5 MW; se si utilizza quale combustibile legna naturale, per impianti superiori ai 4 MW.

Idrocarburi

Vi sono valori limite per emissioni di sostanze organiche gassose per impianti superiori a 1 MW.

Ammoniaca

Vi sono valori limite per l'ammoniaca ed i composti di ammonio solo per gli impianti muniti di attrezzatura di denitrurazione di una certa importanza. Entrano in considerazione per impianti a partire da circa 1 MW di potenza.

I cantoni sono responsabili dell'applicazione dell'Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico e incaricano le persone preposte alle misurazioni.

Casi speciali

Nel caso in cui le emissioni rappresentino un carico importante dell'ambiente, l'autorità può pretendere una misurazione e registrazione continue di singoli fattori inquinanti e dei parametri di funzionamento di un impianto. È principalmente il caso di grossi impianti o di utilizzo di combustibili particolari.

Oltre all'OIA, altre ordinanze di una certa importanza regolano la gestione di un impianto di combustione a legna.

Ordinanza tecnica sui rifiuti (OTR)

Essa regola il trattamento o la riduzione dei rifiuti tramite il loro riciclaggio o la loro distruzione.

Uno dei principi fondamentali è il dovere di riciclaggio dei rifiuti. Esso entra in linea di conto laddove è tecnicamente e finanziariamente possibile. I residui della lavorazione del legno devono in prima linea venir riciclati (p. es. quale materiale per la fabbricazione di pannelli truciolari) o utilizzati quale combustibile. La distruzione tramite combustione senza recupero energetico o il deposito in discarica entra in linea di conto unicamente quando non è possibile alcun utilizzo.

Ordinanza sulle sostanze pericolose per l'ambiente (OSOST)

L'OSOST definisce la compatibilità e la relazione fra le sostanze e l'ambiente. Fra l'altro sono definite le esigenze qualitative dei concimi e dei fertilizzanti (p. es. valore nutritivo minimo, e limite massimo di contenuto di sostanze inquinanti).

L'utilizzo di cenere di impianti a combustione di legno quale concime o fertilizzante è possibile in agricoltura. I limiti di presenza di metalli pesanti si rifanno a quelli per il composto, dove il cromo, lo zinco e il cadmio potrebbero essere problematici.

Valori limite delle emissioni degli impianti di combustione a legna secondo l'Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico (OIA 92)

	Potenza calorica dell'impianto di combustione					
	da 20 kW a 70 kW	da 70 kW a 200 kW	da 200 kW a 500 kW	da 500 kW a 1 MW	da 1 MW a 5 MW	da 5 MW
<i>Combustibili lignei</i>						
- Grandezza di riferimento I valori limite si riferiscono ad un tenore di ossigeno dei gas di scarico di.....% vol.						
- Particelle solide in totale.....mg/m ³	13	13	13	13	11	11
- Monossido di carbonio (CO) - per i combustibili lignei secondo allegato 5, cifra 3, paragrafo 1, lettere a. e b. ....mg/m ³	4000 ¹⁾	2000	1000	500	250	250
- per i combustibili lignei secondo allegato 5, cifra 3, paragrafo 1, lettera c .....mg/m ³	1000	1000	800	500	250	250
- Ossidi di azoto (NO _x), indicati come biossido di azoto (NO ₂) .....mg/m ³	2)	2)	2)	2)	2)	2)
- Sostanze organiche gassose, indicate come carbonio totale (C).....mg/m ³	-	-	-	-	50	50
- Ammoniacale e composti di ammonio, indicati come ammoniacale ³⁾mg/m ³	-	-	-	-	30	30
<i>Indicazioni:</i>						
- Se nella tabella appare un trattino significa che non è prescritto alcun valore limite né nell'allegato 3 né nell'allegato 1.						
¹⁾ Vale solo per riscaldamenti centrali a stufa.						
²⁾ Vedere valore limite di ossido di azoto nell'allegato 1, cifra 6.						
³⁾ Questo valore limite ha significato solo per impianti dotati di attrezzature di denitrurazione.						

Principi dell'Ordinanza tecnica sui rifiuti (OTR)

Dovere di riciclaggio

I rifiuti devono venir riciclati quando ciò sia tecnicamente possibile ed economicamente sopportabile.

Divieto di miscela

È vietato mescolare rifiuti diversi o rifiuti con materiale inerte se ciò ha come scopo di diluire il contenuto di sostanze tossiche dei rifiuti stessi.

Dovere di combustione

I rifiuti che non possono essere riciclati devono essere utilizzati come combustibile per impianti adatti. Legna e residui di legno non possono essere depositati in discariche. In casi particolari dove non esistesse un impianto di combustione o di riciclaggio, il legno può essere depositato in un silo di compostaggio, purché siano rispettate le prescrizioni corrispondenti (vedi OTR, allegato 1, cifra 3).

Utilizzo delle ceneri quale concime

- Entra in considerazione solo per impianti che bruciano legno allo stato naturale.
- Le ceneri devono presentare un valore nutritivo minimo (potassio, eventualmente fosforo).
- Non possono essere superati i valori limite di presenza di metalli pesanti indicati per il composto (soprattutto cromo, cadmio e zinco).

2. La produzione di calore

2.1	Il processo di combustione del legno naturale	27
	Biossido di carbonio (CO ₂)	29
	Monossido di carbonio, idrocarburi gassosi, catrame e fuliggine	29
	Ossidi di azoto (NO _x)	30
	Polveri	31
	Diossina e furani	31
2.2	Residui di legna	32
	Emissioni nocive risultanti dalla combustione di legno non naturale	32
	Conseguenze per i residui di legno	32
2.3	Panoramica sui combustibili lignei e non secondo l'OIA	34
2.4	Tecnica di combustione	35
	Esigenze costruttive per un buon impianto di riscaldamento a legna	35
	Andamento della combustione nei vari tipi di impianto	36
2.5	Regolazione dei bruciatori a legna automatici	38
	Regolazione della depressione	38
	Regolazione della potenza	38
	Regolazione della combustione	39
2.6	Depurazione dei gas di scarico	41
	Separazione di polveri e metalli pesanti	41
	Ciclone	42
	Filtro elettrostatico	42
	Filtro in tessuto e filtri di ceramica	43
	Lavaggio	43
	Separazione dell'acido cloridrico	44
	Denitrurazione dei gas di scarico	44
2.7	Valori di emissione tipici	45
2.8	Rendimenti energetici e grado di sfruttamento annuo	46
	Rendimento energetico delle tecniche di combustione	46
	Rendimento energetico della caldaia	46
	Grado di sfruttamento annuo	47

2. La produzione di calore

2.1 Il processo di combustione del legno naturale

Con il riscaldamento, nel bruciatore il legno viene trasformato in gas e carbone di legna. I gas, non appena entrano in contatto con l'aria di combustione, bruciano generando una lunga fiamma. Perciò il legno è definito un combustibile **a fiamma lunga**. Al contrario, il carbone di legna brucia lentamente e con poca formazione di fiamma.

La parte liberata come gas durante il riscaldamento è, a dipendenza del tipo di legno, circa l'80-90% del peso del legno stesso. I gas combustibili del legno sono il monossido di carbonio (CO), l'idrogeno (H₂) e gli idrocarburi (IC). Questi gas devono essere bruciati nella camera di combustione, altrimenti raggiungono l'atmosfera come gas inquinanti.

Poiché il legno è trasformato dapprima in gas, che poi bruciano in una fiamma gassosa, la sua combustione è un processo in due fasi. Il primo stadio è la **trasformazione in gas**; il secondo, l'**ossidazione** dei gas e del carbone di legna. Gli agenti inquinanti della combustione del legno si possono di conseguenza suddividere in agenti inquinanti dalla **combustione incompleta** e dalla **combustione completa**.

Gli agenti inquinanti parzialmente incombusti, cioè il monossido di carbonio, gli idrocarburi, il catrame, la fuliggine e le particelle incombuste, possono essere evitati con l'aiuto di una combustione guidata. Per questo sono necessarie una temperatura sufficientemente elevata, un buon apporto di ossigeno e una buona miscelazione dei gas con l'aria di combustione.

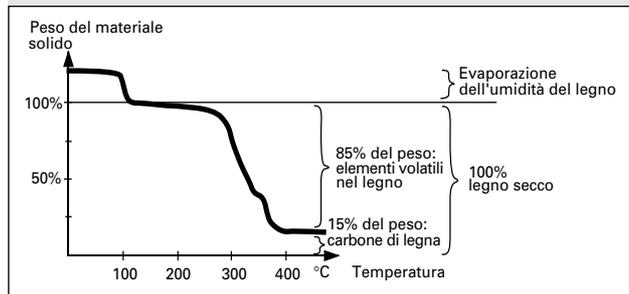
Gli ossidi di azoto provengono invece dall'azoto contenuto nel legno e possono solo essere limitatamente condizionati con il controllo della combustione. Particelle di cenere vengono generate anche da una combustione completa e compaiono come emissioni trasportate dai gas di scarico. Per le particelle sarà quindi da prevedere un sistema di separazione dalle polveri.

Di regola quando le emissioni di CO sono basse, lo sono pure quelle di idrocarburi, catrame e fuliggine. Per questo motivo, il CO viene utilizzato come sostanza di riferimento per la valutazione della qualità della combustione. Nell'Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico (OIA) viene perciò prescritto un valore limite per il monossido di carbonio

Il legno quale combustibile

- Il legno è un combustibile solido, a fiamma lunga, ricco di gas.
- La combustione del legno avviene in 2 fasi:
 1. la trasformazione del legno in gas e carbone di legna
 2. l'ossidazione dei gas (camera di combustione) e la combustione del carbone di legna (zona della brace).

Il comportamento del legno durante il riscaldamento



Durante l'ossidazione dei gas prodotti (85% del peso) vengono liberati circa i $\frac{2}{3}$ dell'energia; durante l'ossidazione del carbone di legna (15% del peso), circa $\frac{1}{3}$. L'ossidazione del carbone di legna ha una durata circa doppia rispetto a quella dei gas.

Emissioni nocive dovute alla combustione del legno

Emissioni dovute alla **combustione completa**:

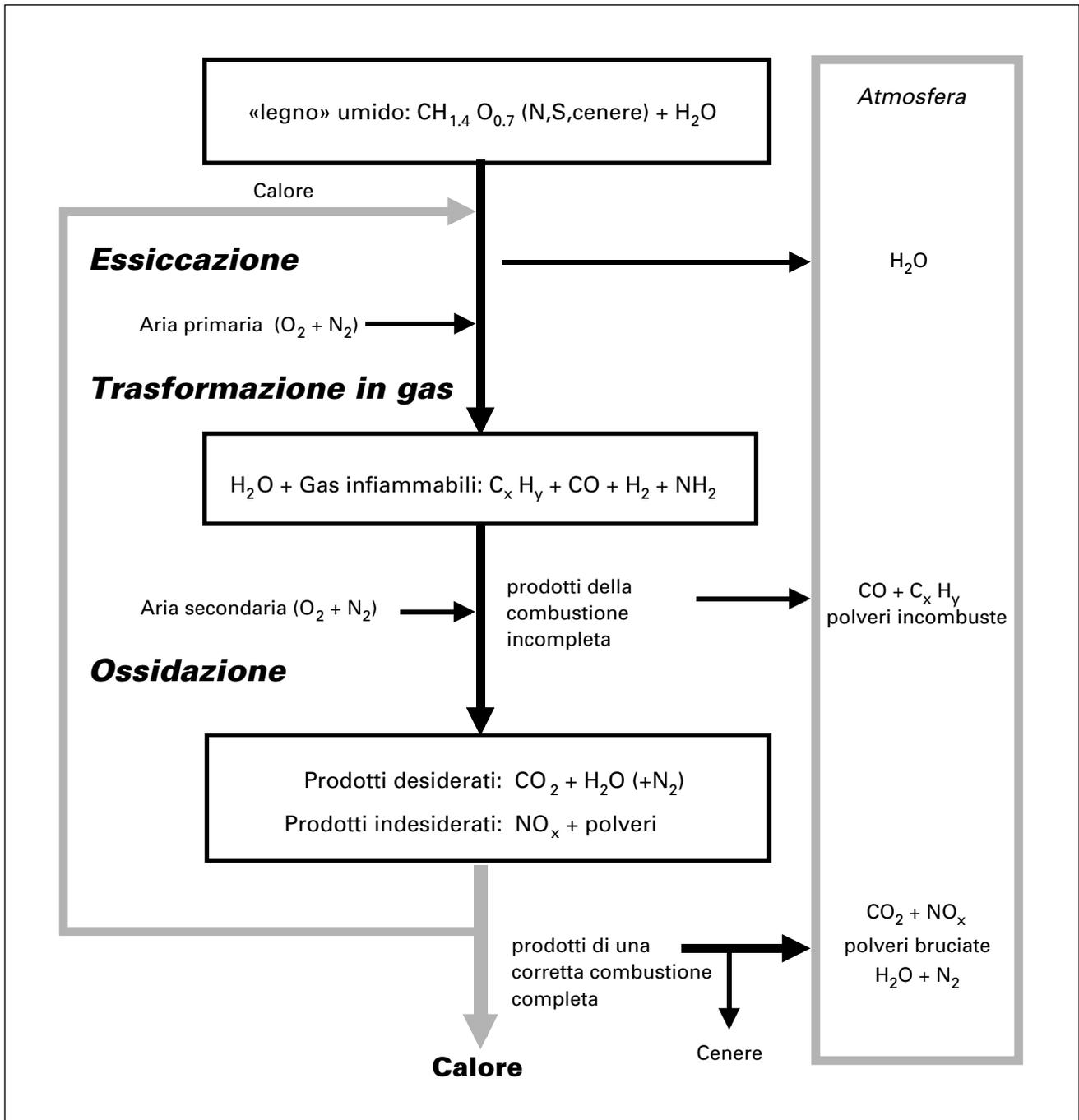
- monossido di carbonio CO
- idrati di carbonio (C_xH_y)
- catrame, fuliggine
- particelle incombuste (polvere combustibile)

Emissioni dovute alla **combustione incompleta**:

- ossidi d'azoto NO_x
- particelle di cenere (particelle di polvere incombustibili).

Contemporaneamente vengono emessi i seguenti prodotti innocui generati dalla combustione completa:

- biossido di carbonio CO₂
- vapore acqueo H₂O



anche per piccoli e medi impianti. Per le emissioni di idrocarburi il valore limite è prescritto solo per impianti di potenza superiore a 1 MW (capitolo 8).

Biossido di carbonio (CO₂)

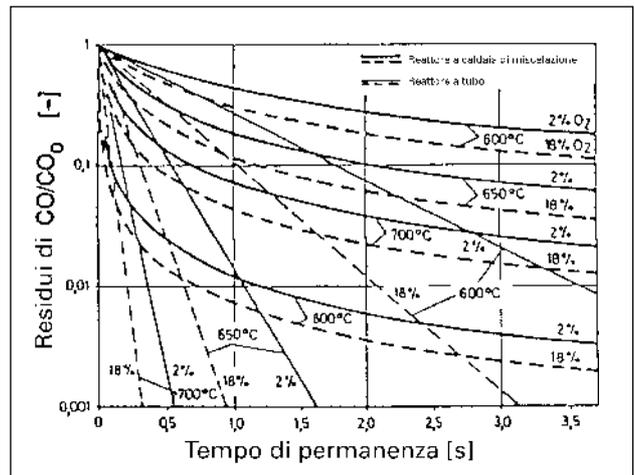
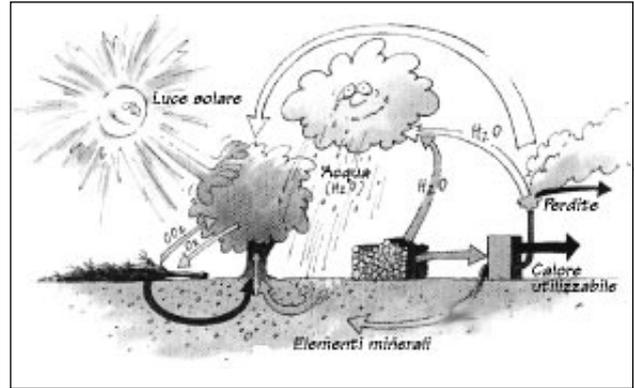
Il biossido di carbonio è il prodotto della combustione completa. Essendo un gas responsabile dell'effetto serra, che può dunque portare all'aumento globale della temperatura, bisognerebbe diminuire lo sfruttamento dei combustibili fossili. Al contrario, l'utilizzazione del legname prodotto dalla ricrescita dei boschi non porta ad un aumento del livello di CO₂ nell'atmosfera. Infatti per la crescita della nuova generazione di alberi è necessario il consumo del CO₂ liberato in precedenza. Se non viene bruciato più legno di quanto i boschi possano essere in grado di rigenerare, lo sfruttamento dell'energia del legno avviene con un ciclo neutro rispetto al CO₂.

Monossido di carbonio, idrocarburi gassosi, catrame e fuliggine

Per ottenere una buona combustione, e un conseguente basso livello di emissioni di monossido di carbonio, idrocarburi, catrame e fuliggine, occorre tenere in considerazione le caratteristiche della combustione del legno per la configurazione della camera di combustione nel modo qui descritto.

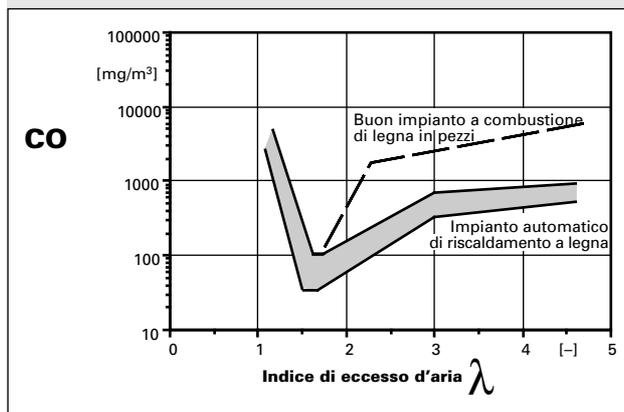
- La lunghezza della fiamma della combustione del legno richiede una grande camera di combustione.
- Dato che i gas e il carbone di legna bruciano separatamente, si definisce l'aria necessaria come aria primaria e aria secondaria. L'aria primaria serve per la produzione dei gas e per la combustione del carbone, l'aria secondaria per la combustione dei gas.
- L'ottenimento di una combustione completa richiede una buona miscelazione dell'aria secondaria con i gas infiammabili.
- Per una combustione completa sono necessarie una temperatura di almeno 800 °C e una permanenza sufficientemente lunga dei gas combustibili nella zona calda. Ciò significa nessun raffreddamento precoce della fiamma, p. es. contro le pareti fredde, e una corretta proporzione combustibile/aria, adattata all'umidità del legno.

Ciclo della generazione del legno



Residui di CO in funzione del tempo di permanenza, della temperatura e del contenuto d'ossigeno. Con l'aumento della temperatura e del tempo di permanenza si ottiene una migliore qualità di combustione. L'influsso della camera di combustione è perciò decisivo: nel reattore a tubo (fuoriuscita a innesto, nessuna rimiscelazione fra gas e aria di combustione) si ottiene, con un uguale tempo di permanenza, una migliore qualità di combustione che non nel reattore a caldaia di miscelazione (immediata rimiscelazione di tutti i gas nella camera di combustione). Per il riscaldamento a legna, ciò significa che i gas combustibili devono essere miscelati in modo ottimale con l'aria evitando vortici nella camera di combustione. Inoltre, la camera di combustione deve corrispondere a un reattore a tubo (precisa direzione della corrente, rapporto lunghezza/diametro maggiore possibile).

Emissioni di monossido di carbonio in funzione dell'indice di eccesso d'aria lambda



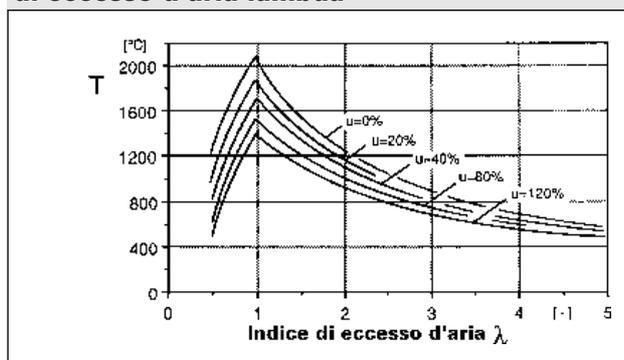
Il rapporto combustibile/aria è descritto come segue dall'indice di eccesso d'aria lambda:

$$\text{lambda } \lambda [-] = \frac{\text{quantità d'aria immessa}}{\text{quantità d'aria minima necessaria}}$$

Per una combustione completa lambda deve essere >1, altrimenti non è disponibile ossigeno sufficiente per la combustione dei gas. Se per contro l'eccesso d'aria è troppo grande, (lambda >2 o 3) la fiamma viene raffreddata dall'aria superflua, il che porta di nuovo a una combustione incompleta.

Nei moderni impianti di riscaldamento a legna l'indice di eccesso d'aria ottimale si situa attorno a 1.5-2.0.

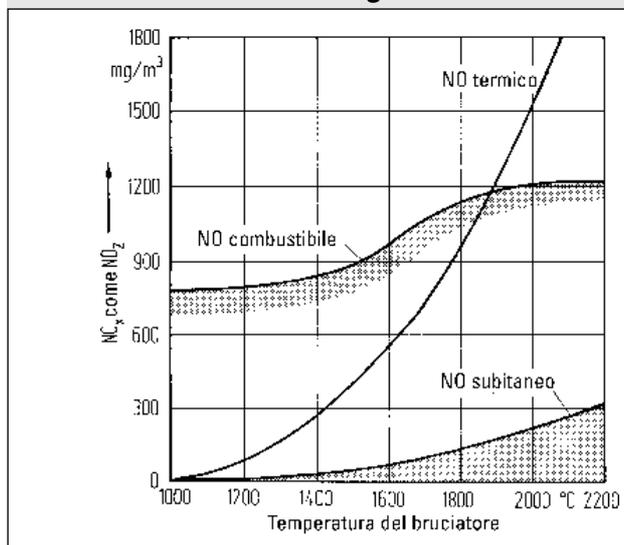
Temperatura di combustione adiabatica (massima teorica) in funzione dell'indice di eccesso d'aria lambda



Ossidi di azoto (NOx)

Gli ossidi di azoto possono aver origine sia dall'aria di combustione che dall'azoto contenuto nel combustibile. Gli ossidi di azoto che hanno origine dall'aria di combustione, chiamati ossidi di azoto termici, sono principalmente generati dall'ossidazione dell'azoto contenuto nell'aria, possibile a una temperatura molto elevata. Inoltre, specialmente durante la combustione dei gas, p. es. nelle turbine, si possono produrre i cosiddetti monossidi d'azoto subitanei.

Modalità di formazione degli ossidi di azoto



Negli impianti di riscaldamento a legna convenzionali la temperatura di combustione è inferiore ai 1300 °C e quindi l'importanza degli ossidi di azoto termici risulta minima. Il legno contiene però azoto in forma di ammine e proteine, necessarie per la crescita degli alberi. L'azoto contenuto nel legno di latifoglie corrisponde a circa 0.1-0.2% del peso. Il legno di conifera ha un minor contenuto di azoto, che corrisponde a 0.05-0.1% del peso. I pannelli truciolari e i materiali derivati dal legno, a causa dell'alto contenuto di azoto degli indurenti e delle colle impiegate, possono presentare un contenuto in azoto sensibilmente maggiore rispetto al legno naturale, fino a circa il 3% del loro peso.

Siccome parte dell'azoto contenuto nel combustibile viene ossidato e trasformato in NO durante la combustione, il contenuto in NO delle emissioni dipende dal contenuto di azoto del combustibile.

L'attuale ricerca è finalizzata alla riduzione delle emissioni di ossidi di azoto mediante una combustione a tappe che trasforma l'azoto in molecole

N₂. I primi risultati degli studi mostrano che, a certe condizioni, è possibile una riduzione di circa il 40 - 50%. Non si sa per il momento se sia possibile una applicazione pratica.

Contenuto di azoto e emissioni di ossidi di azoto dei diversi combustibili

Combustibile	Contenuto di azoto % del peso	Emissioni di ossidi di azoto mg/m ³ con 11% vol. di O ₂
Pino	0.07	173
Faggio	0.2	231
Pannelli truciolari	2.85	921

Polveri

Le emissioni di polveri comprendono particelle incombuste di catrame e fuliggine che è possibile eliminare grazie a una combustione completa. Inoltre, possono venir trascinate particelle di cenere che portano ad un aumento delle emissioni di polveri. Una parte della cenere viene separata dalla griglia nel bruciatore. La cenere trascinata deve invece essere trattenuta con un successivo dispositivo di separazione.

Diossina e furani

Diossina policlorata e furani (PCDD/PCDF) possono essere generati dai processi di combustione se sono soddisfatte le condizioni descritte qui di seguito.

- Cloro, che proviene in genere dai materiali combustibili (p. es. dal PVC o dai pannelli di legno truciolare contenenti cloruro di ammonio).
- Carbonio incombusto, p. es. sotto forma di catrame o di polveri contenenti carbonio.
- Ossigeno, sempre presente nelle combustioni con eccesso d'aria.
- Metalli pesanti, specialmente rame, che funge da catalizzatore nella formazione della diossina.
- Temperature comprese fra 180 °C e 500 °C.

Queste condizioni si possono verificare specialmente nelle parti raffreddanti, come p. es. negli scambiatori di calore, nei separatori di polvere o nelle canne fumarie. In Germania, per gli inceneri-

tori di rifiuti urbani, è prescritto un valore limite di diossina di 0.1 mg TE/Nm³. Nel caso il contenuto di diossina nelle emissioni superasse il limite di 0.5 mg TE/Nm³, saranno in futuro richieste misure anche per gli impianti di riscaldamento a legna. In Svizzera non è per contro prescritto alcun valore limite per le emissioni di diossina.

La combustione di legno naturale produce piccoli quantitativi di diossina (in genere 0.01-0.2 mg TE/Nm³). Al contrario, anche una buona combustione di pannelli truciolari contenenti induritori a base di cloruro d'ammonio o di legna vecchia può generare quantitativi di diossina sensibilmente più elevati. Le esigenze minime per evitare alte emissioni di diossina sono, ad esempio per gli impianti di riscaldamento a residui di legna, la combustione completa delle polveri volatili, un basso coefficiente di eccesso d'aria e il funzionamento dei dispositivi di separazione delle polveri a temperature inferiori ai 180 °C. Per evitare alte emissioni di diossina occorre in particolare introdurre il divieto di utilizzare rifiuti e legno vecchio quale combustibile per gli impianti di riscaldamento a legna.

Ulteriori possibili elementi nocivi nella combustione di legno non naturale

Nei gas di scarico

- NO_x
- SO₂
- HCl
- Cloruro di ammonio (NH₄Cl), sali
- metalli pesanti Pb, Zn, Cd, Cu
- diossina PCDD/F

Nei residui solidi

(cenere di ruggine, ciclone e del filtro)

- metalli pesanti Pb, Zn, Cd, Cu
- diossina PCDD/F

2.2 Residui di legna

Emissioni nocive risultanti dalla combustione di legno non naturale

Le colle ed i leganti del legno non naturale (pannelli truciolari, materiali a base di legno incollato ecc.) possono contenere azoto supplementare che, durante la combustione, causa un'emissione di diossina 2 - 3 volte maggiore rispetto al legno naturale.

In presenza di cloro proveniente da rivestimenti in PVC o da indurenti a base di cloruro d'ammonio, si formano durante la combustione acido cloridrico (HCl), sali e una quantità maggiore di diossina.

Metalli pesanti come piombo, zinco, cadmio o rame possono essere presenti in vernici, lacche o trattamenti protettivi e ciò porta, durante la combustione del legname così trattato, all'emissione di gas di scarico contenenti metalli pesanti e alla formazione di residui contaminati.

Le sostanze nocive citate, come l'acido cloridrico ed i metalli pesanti, hanno un grado di tossicità più alto rispetto al monossido di carbonio o alle particelle di cenere del legno naturale. Inoltre, anche i residui della combustione contengono metalli pesanti e diossina, e devono perciò essere smaltiti separatamente.

Conseguenze dei residui di legna

In un impianto di riscaldamento a residui di legna possono essere impiegati unicamente materiali che non hanno un contenuto significativo di cloro e metalli pesanti. Negli impianti di riscaldamento a legna di tipo convenzionale non può venir utilizzato *legname vecchio* (p. es. proveniente da demolizioni e da rifiuti ingombranti), dato che il legno vecchio è contaminato e la sua combustione richiede provvedimenti particolari per la depurazione dei gas di scarico. Inoltre, non possono essere utilizzati *rivestimenti in PVC o materiale impregnato come pali telefonici, traversine del treno o recinzioni di giardino*. Questo materiale è considerato rifiuto urbano e va quindi trattato negli impianti di smaltimento rifiuti.

Per la combustione di residui di legna si richiede la definizione delle esigenze dell'impianto di depurazione dei gas di scarico in funzione della composi-

zione dei combustibili e delle dimensioni dell'impianto.

– Residui di legno con alto tenore di azoto

Se il flusso degli ossidi di azoto supera i 2500 g/h, è da rispettare il limite di 250 mg/m³ imposto dall'Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico. Per un contenuto di ossidi di azoto di 500 mg/m³, tipico degli impianti a residui di legna, il limite sopra indicato deve essere rispettato dagli impianti con potenza superiore ai 2.5 MW circa.

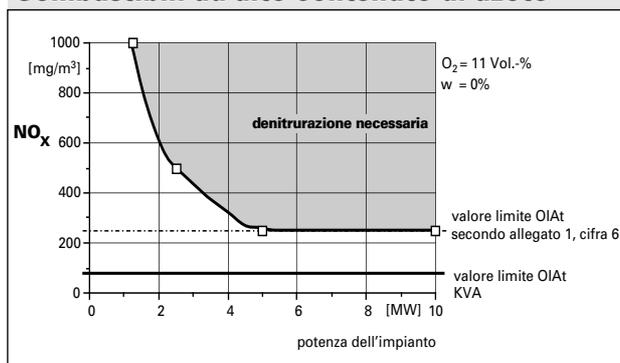
Conseguenza: procedimento per la denitrurazione dei gas di scarico.

– Residui di legno con un alto tenore di cloro

Nel legno naturale si riscontrano solo minime tracce di cloro e le emissioni in genere sono minime. Essendo il cloro l'elemento costitutivo principale del PVC, i pannelli truciolari rivestiti con questo materiale non possono essere impiegati come combustibili per impianti a residui di legno. Il cloro è inoltre presente quale indurente (cloruro d'ammonio, NH₄Cl) in certi tipi di pannelli truciolari che, durante la combustione, generano acido cloridrico (HCl) e cloruro di ammonio. Quest'ultimo, come deposito salino, può influenzare le misurazioni delle polveri e portare all'intasamento dei filtri in tessuto o in ceramica provocato dalla cristallizzazione dovuta all'accensione e allo spegnimento dell'impianto. Bisogna inoltre tenere in considerazione che un elevato tenore di cloro favorisce la formazione di diossina.

Conseguenza: separazione del cloro, p. es. mediante l'impiego di filtri in tessuto con aggiunta di calce. Evitare l'intasamento, p. es. con il preriscaldamento dei filtri al momento dell'accensione.

Combustibili ad alto contenuto di azoto



Tenore di NO_x in funzione della potenza di riscaldamento quale criterio per le misure di denitrurazione

- Calcolo del flusso di ossidi di azoto in g/h (vedi allegato A4).
- Se il flusso degli ossidi di azoto è ≥ 2500 g/h, il valore limite è di 250 mg/m³ (OIAt allegato 1, cifra 61/62).
- Se il valore limite viene superato è necessaria una denitrurazione dei gas di scarico.

Combustibili ad alto tenore di cloro

- Calcolo del flusso in g/h (vedi allegato A4).
- Se il flusso è ≥ 300 g/h, il valore limite per i composti di cloro è di 0 mg/m³ (OIAt allegato 1, cifra 61/62).
- Se il valore limite viene superato è necessario un impianto per la depurazione dal cloro.

2.3 Panoramica sui combustibili lignei e non secondo l'OIAAt 92

	Combustibili lignei (OIAAt allegato 5, cifra 3, cpv. 1) (OIAAt allegato 3, cifra 522)			Scarti di legna non combustibili (OIAAt allegato 5, cifra 3, cpv. 1) (OIAAt allegato 2, cifra 72 e 71)	
	Legno naturale a pezzi - scaglie - bricchette di legno - ramaglie - pigne	Legno naturale non a pezzi - trucioli - segatura - polvere di levigatura - scorza	Scarti di legno - industria - artigianato - cantieri	Legno vecchio - demolizioni di immobili - ristrutturazioni, rinnovamenti - imballaggi - mobili di legno	Scarti di legno - prodotti impregnanti a pressione - rivestimenti in PVC
Gas di scarico	CO e KW NO _x polvere				
	X		ev. + NO _x fino 3-4 volte ev. + HCl (ev. > 30 mg/m ³) ev. + SO ₂ (di regola minima) ev + diossina (i.d.R. gering)	+ NO _x (fino a 2-3 volte) + HCl + SO ₂ (di regola minima) + metalli pesanti + diossina	
Residui	di regola non contaminato		di regola contaminato ev. + sali ev. + diossina	contaminato + sali + metalli pesanti + diossina	

Nota: i resti di segheria consistono in *legno naturale non a pezzi*. Non rientrano quindi nella categoria degli *scarti di legno* secondo l'OIAAt.

2.4 Tecnica di combustione

Esigenze costruttive per un buon impianto di riscaldamento a legna

Il presupposto per una buona combustione è la combustione completa dei gas ad alte temperature. A questo scopo, la camera di combustione deve essere sufficientemente grande e non deve temperare la fiamma con pareti fredde. Per l'ottenimento di un'alta temperatura di combustione è necessario un corretto rapporto fra combustibile e aria: la combustione deve cioè aver luogo con un fattore d'eccesso d'aria ottimale.

Per bruciare nella camera di combustione, i gas devono entrare in contatto con l'aria ed avere una buona miscelazione. A tale scopo sono necessarie un'alta velocità di immissione dell'aria o specifici accorgimenti tecnici.

Per raggiungere le condizioni necessarie ad una combustione completa, si separa l'emissione dei gas a partire dal materiale solido dal luogo della combustione degli stessi. A questo scopo viene immessa aria primaria nella zona della brace e, in seguito, i gas combustibili mescolati con l'aria secondaria bruciano indisturbati e in modo completo nel bruciatore.

Gli impianti di riscaldamento a griglia possono essere suddivisi in tre tipi in funzione della direzione di movimento del combustibile e dei gas: a corrente omogenea, a corrente opposta (fiamma contraria), e a corrente mediana.

Se il combustibile è umido, una parte dell'energia liberata dalla combustione è impiegata per l'evaporazione dell'acqua. Un mantello radiante al di sopra del combustibile rende possibile la formazione dei gas ad alta temperatura. I bruciatori a griglia funzionanti con il principio della corrente opposta vengono preferiti per lo sfruttamento di combustibili ad alto tenore di umidità, mentre per i combustibili asciutti possono essere impiegati anche i bruciatori a corrente omogenea.

Un'asportazione automatica della cenere è necessaria per i combustibili che ne generano molta. La cenere del legno naturale ha una temperatura di ammolimento di circa 1400 °C, mentre la fusione della cenere ha luogo a temperature superiori ai 1600 °C circa.

Esigenze della tecnica di riscaldamento

- Suddivisione dell'aria di combustione in aria primaria e aria secondaria.
- Buona miscelazione dell'aria secondaria con i gas infiammabili.
- Sufficiente tempo di permanenza a temperatura elevata dei gas nella camera di combustione.
- Buon isolamento della camera di combustione (temperatura elevata).

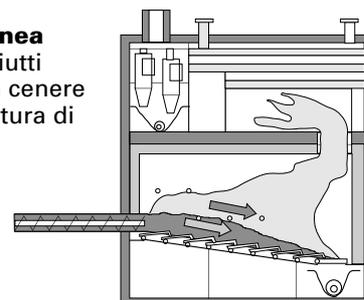
L'impiego di combustibili umidi richiede

- Calore per l'evaporazione dell'umidità, per cui la temperatura di combustione scende.
- Un mantello radiante o una camera di combustione a corrente opposta per l'essiccazione del combustibile.

Sistemi costruttivi e impianti di riscaldamento a griglia

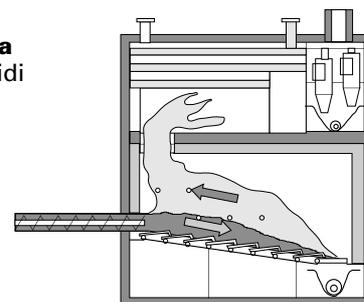
Corrente omogenea

- combustibili asciutti
- combustibili con cenere a bassa temperatura di ammolimento



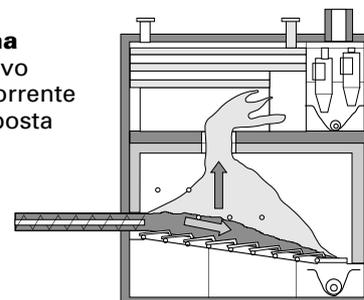
Corrente opposta

- combustibili umidi



Corrente mediana

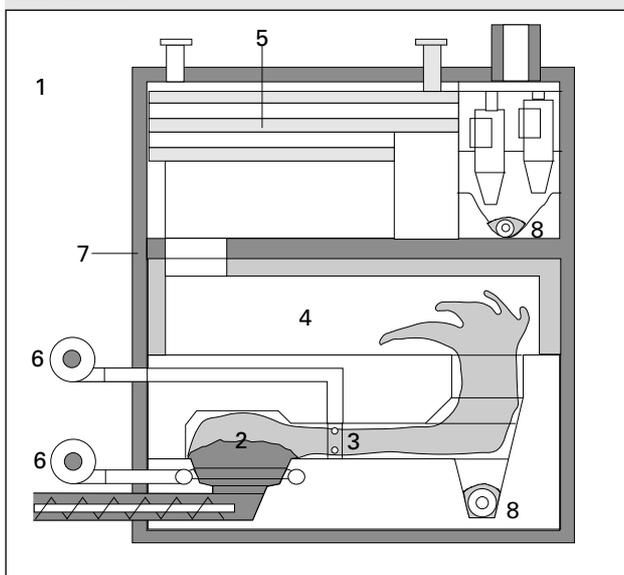
- sistema costruttivo intermedio fra corrente omogenea e opposta



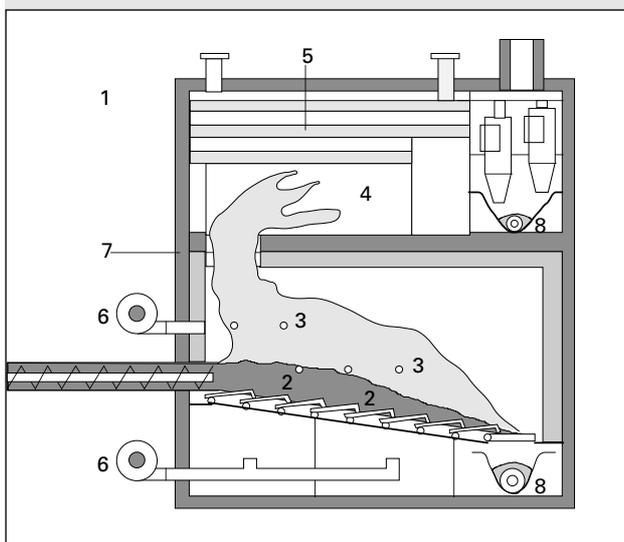
Combustibile ricco di cenere

- asportazione automatica della cenere
- diminuzione delle impurità temperatura di ammolimento della cenere → pericolo di scorificazione.

Impianto di riscaldamento a caricamento inferiore



Impianto di riscaldamento a caricamento frontale



Impurità nel combustibile dovuto a vernici, lacche o metalli causano un abbassamento della temperatura di ammolimento e di fusione della cenere, che porta ad una scorificazione e appiccature alla griglia, alle storte e sulle pareti. Le appiccature si vetrificano con il raffreddamento e sono quindi difficilmente asportabili.

Andamento della combustione nei vari tipi di impianto

Impianto di riscaldamento a caricamento inferiore

Un meccanismo di alimentazione trasporta e spinge dal basso il combustibile nella conca di combustione (storta). Una parte dell'aria di combustione viene immessa come aria primaria nella storta, dove avvengono l'essiccazione del combustibile, l'emissione dei gas e l'ossidazione del carbone di legna. Per ottenere l'ossidazione completa dei gas combustibili, essi vengono miscelati con l'aria secondaria prima dell'entrata nella camera di post-combustione ad alta temperatura. Qui i gas combusti cedono la loro energia allo scambiatore di calore, passano poi nel filtro antipolvere inerziale, raggiungendo l'atmosfera attraverso la canna fumaria.

Impianto di riscaldamento a caricamento frontale

Un meccanismo di alimentazione trasporta il combustibile su una griglia dove, con movimenti alternati della stessa, viene spinto verso il basso. Alla fine della griglia avviene l'asportazione automatica della cenere. Una parte dell'aria viene immessa attraverso la griglia quale aria di combustione primaria.

- 1 costruzione ermetica all'aria del bruciatore e del raccordo con la canna fumaria
- 2 zona calda con immissione di aria primaria per l'emissione dei gas e la combustione del carbone di legna
- 3 buona miscelazione dei gas combustibili con l'aria secondaria. Per ottenere una maggiore velocità di immissione, viene p. es. diminuita la sezione della camera di combustione in corrispondenza dell'immissione dell'aria
- 4 camera di post-combustione ad alta temperatura per la combustione completa dei gas. La fiamma non deve essere deviata verso le pareti più fredde
- 5 cessione del calore allo scambiatore dopo la camera di combustione
- 6 ventilatore per l'apporto dell'aria di combustione
- 7 buon isolamento termico per diminuire le perdite dovute all'irradiazione d'energia
- 8 asportazione automatica della cenere

Nella parte superiore della griglia avviene l'essiccazione del combustibile, in quella mediana l'emissione dei gas dal legno e in quella inferiore la combustione del carbone di legna. Il bruciatore a griglia permette un adattamento ottimale della combustione alle caratteristiche del combustibile con l'ubicazione differenziata, specialmente in grandi impianti, dell'immissione di aria primaria sotto la griglia. L'aria secondaria viene miscelata ai gas combustibili al di sopra della griglia. I gas bruciano completamente nella camera di post-combustione, cedono la loro energia allo scambiatore di calore, passano attraverso il separatore delle polveri e raggiungono l'atmosfera attraverso la canna fumaria.

La griglia ha la funzione di trasportare, di attizzare (variare lo spessore dello strato) e di rovesciare il combustibile. Ci sono diversi tipi di griglia che si differenziano principalmente per la pendenza e il tipo di movimento. Gli impianti di riscaldamento a griglia a caricamento frontale sono realizzati a corrente omogenea, mediana e opposta.

Avancrogiolo, precombustione

Un impianto a pre-combustione è basato su un'alimentazione di combustibile su griglia e su un apporto d'aria, combinato normalmente con un sistema di griglie a corrente omogenea. Le funzioni camera di post-combustione e scambiatore di calore sono assunte da una caldaia annessa.

Funzione della griglia

- trasporto del combustibile e della cenere
- attizzamento del combustibile e della brace
- rovesciamento del combustibile e della brace.

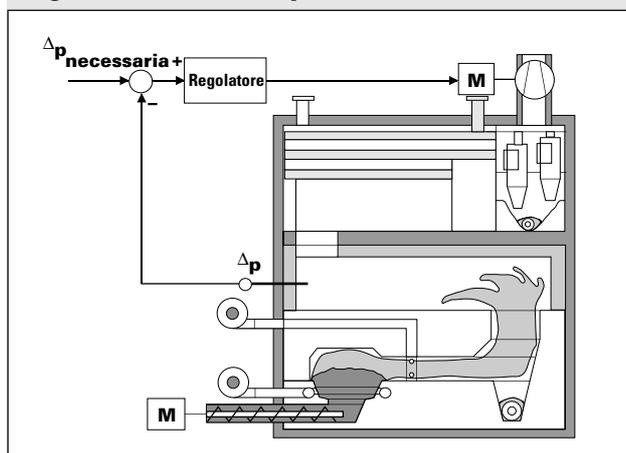
Tipi di griglia

- ubicazione: - orizzontale
 - in pendenza
- movimento: - nessun movimento
 - con movimento - a impulsi
 - continuo

Regolazioni importanti

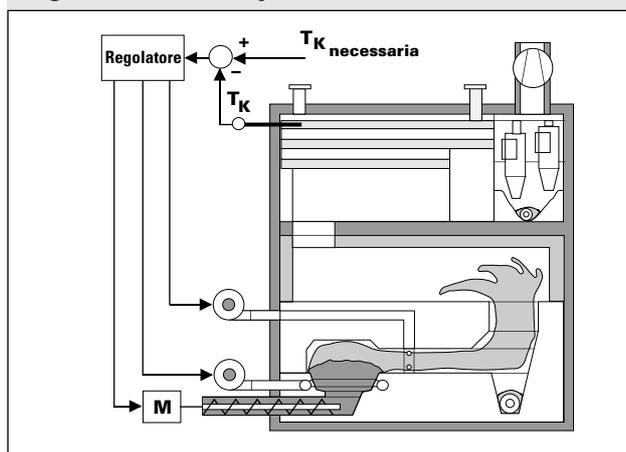
- regolazione della depressione
- regolazione della potenza
- regolazione della combustione

Regolazione della depressione



Misurazione della depressione nella camera di combustione p e regolazione del ventilatore per l'aspirazione dei gas di scarico per una depressione a livello costante.

Regolazione della potenza



Misurazione della temperatura della caldaia T_K (temperatura d'andata dell'acqua) e regolazione della quantità di combustibile e di aria in funzione del fabbisogno calorico.

2.5 La regolazione dei bruciatori a legna automatici

Il funzionamento di un impianto di riscaldamento a legna senza inconvenienti e con basse emissioni presuppone la presenza di alcune regolazioni.

Regolazione della depressione

La depressione D_p viene misurata nella camera di combustione con un sensore. La velocità di rotazione del ventilatore d'aspirazione dei gas di scarico compensa le differenze rispetto al valore necessario registrate dal sensore.

La regolazione della depressione permette una depressione costante nella camera di combustione, impedendo l'emissione di gas infiammabili e nocivi nel locale di riscaldamento, nonché il passaggio attraverso il braciere dell'aria primaria, garantendo inoltre condizioni costanti indipendentemente dal tiraggio della canna fumaria. Una depressione costante permette inoltre la regolazione della potenza e della quantità d'aria di combustione desiderata.

Regolazione della potenza

Con la variazione della potenza calorica necessaria aumenta o diminuisce la temperatura della caldaia T_K . La regolazione della potenza modifica la potenza dell'impianto, adattandola nell'arco di un certo tempo alla necessità.

Gli impianti di riscaldamento automatici dispongono della possibilità di modulare la potenza in modo scalare o lineare. Se vi è una differenza fra temperatura necessaria e temperatura effettiva della caldaia, si varia leggermente l'apporto di combustibile e di aria, in modo scalare o lineare. Nella maggior parte degli impianti di riscaldamento odierni è possibile una regolazione della potenza dal 100% al 50% (per impianti di potenza a partire da 100 kW dal 100% al 30%) a condizione che il combustibile impiegato non abbia un tenore d'umidità troppo elevato. Al di sotto di questo fabbisogno di potenza gli impianti vengono temporaneamente disattivati.

Grazie alla velocità di reazione dell'impianto, che riduce il tempo superfluo di attività e le conseguenti perdite, con un regolatore della potenza si ottiene un innalzamento del grado di sfruttamento annuo.

Regolazione della combustione

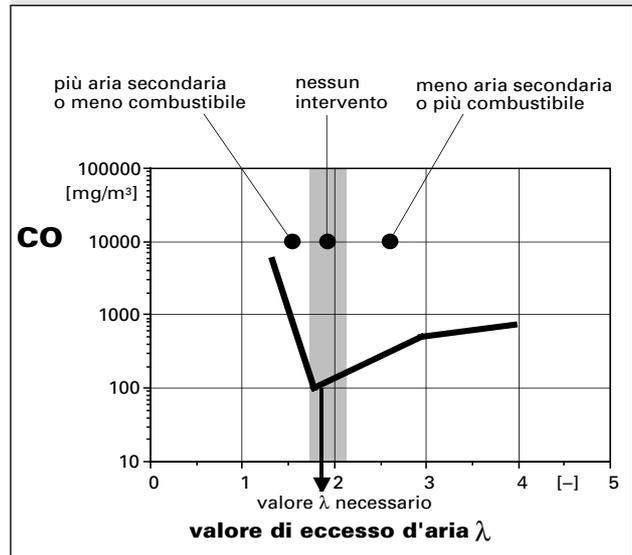
Accrescendo la qualità della combustione, la regolazione della combustione completa le regolazioni della depressionione e della potenza. In un impianto di riscaldamento a legna si ottiene una buona combustione unicamente con un rapporto ottimale tra combustibile e aria.

La variazione delle caratteristiche del combustibile, come la densità dei trucioli, il tenore d'umidità o il tipo di legna, richiederebbe di volta in volta una nuova regolazione. Dato che ciò non è in pratica quasi possibile, gli impianti automatici sono dotati di regolazioni che controllano ed ottimizzano la combustione. Oggi vengono utilizzati soprattutto la regolazione della temperatura o del valore lambda con le funzioni qui descritte.

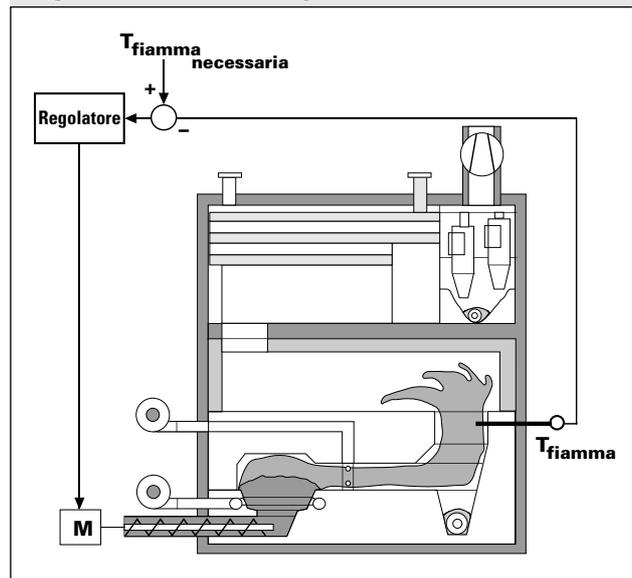
Regolazione della temperatura di combustione

Misurazione della temperatura della fiamma, rispettivamente della camera di combustione. Se la temperatura è troppo bassa viene aumentata la quantità di combustibile; se è troppo alta, viene diminuita.

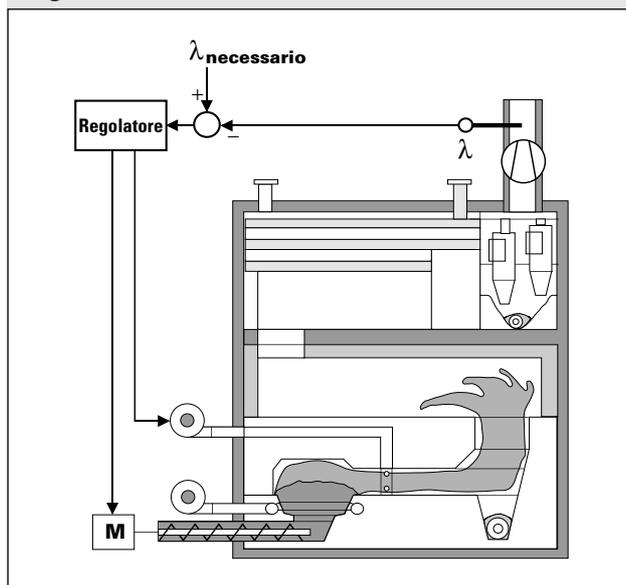
Principio funzionale della regolazione della combustione sulla base della caratteristica CO/lambda



Regolazione della temperatura di combustione



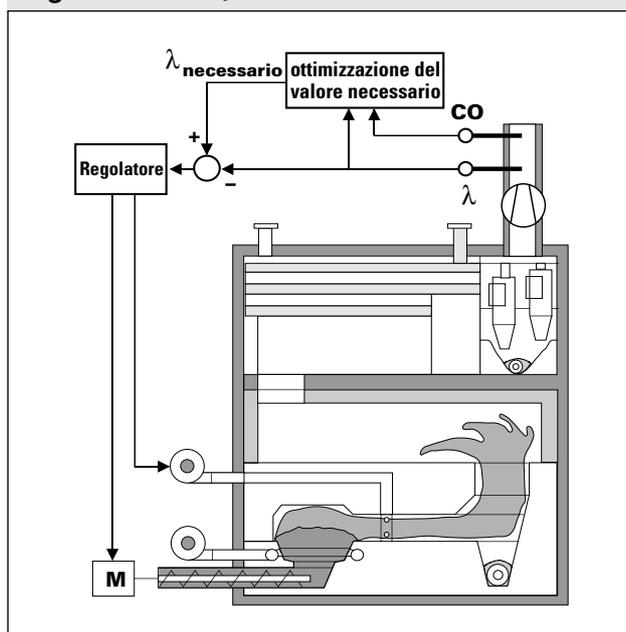
Regolazione del valore lambda



Regolazione del valore lambda

Misurazione del valore d'eccesso d'aria, p. es., con sonde lambda, regolazione della quantità di combustibile ed eventuale regolazione supplementare accurata dell'aria secondaria.

Regolazione CO/lambda



Regolazione dei valori CO/lambda

Misurazione del valore d'eccesso d'aria e del contenuto in monossido di carbonio, p. es. con sonde lambda e sonde CO. Si ottiene in questo modo un'ottimizzazione supplementare del valore lambda necessario nei confronti della regolazione lambda, per l'adattamento alle caratteristiche di qualunque combustibile.

Negli impianti a griglia, quale complemento alle regolazioni citate della potenza e della combustione, viene impiegata la **regolazione dello spessore dello strato di combustibile**. Numerosi sensori ottici misurano lo spessore della brace lungo le diverse parti della griglia. Con la regolazione dell'alimentazione di combustibile e il movimento di alcuni elementi della griglia lo spessore del combustibile viene mantenuto costante. Ciò permette una ripartizione più regolare dell'aria primaria ed una migliore separazione dei processi di emissione dei gas e di ossidazione.

2.6 Depurazione dei gas di scarico

Nel caso del legno naturale, per poter restare nel limite dei 150 mg/Nm^3 (fino a 5 MW), è in genere sufficiente una separazione delle polveri tramite ciclone. Al contrario, gli scarti di legno possono essere fonte di numerose impurità:

- pietre, sabbia
- indurenti
- chiodi, viti
- coloranti, lacche, sostanze protettive
- colle
- rivestimenti ecc.

Queste impurità possono contenere le sostanze tossiche seguenti:

- polveri
- acido cloridrico (HCl)
- metalli pesanti
- cloruro d'ammonio
- ossidi di azoto (NO_x)
- nel caso di cattiva combustione: idrocarburi.

Per gli scarti di legno, a dipendenza del tipo e della composizione, è necessaria una depurazione dei gas di scarico. Vengono prese in considerazione le tecniche per la separazione delle polveri, dei metalli pesanti, dell'acido cloridrico e per la riduzione degli ossidi di azoto.

Separazione di polveri e metalli pesanti

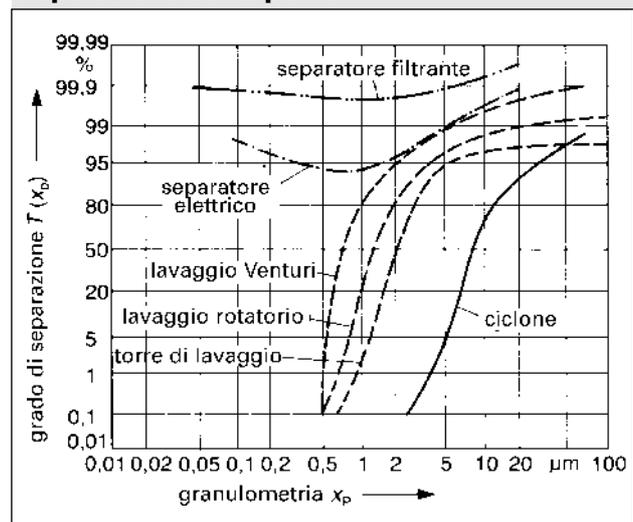
Le polveri emesse dalla combustione di legno naturale sono composte da particelle di cenere, da fuliggine e da sostanze incombuste. La fuliggine può essere evitata con una combustione completa.

La combustione di scarti di legno può portare inoltre all'emissione delle seguenti sostanze sotto forma di polveri o di materiali solidi:

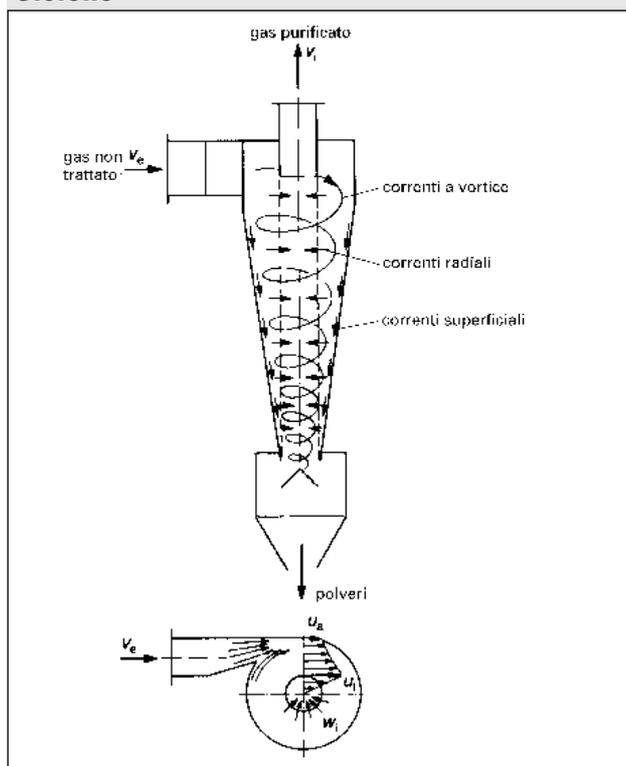
- metalli pesanti come piombo, zinco, cadmio, se nel combustibile sono presenti coloranti o sostanze protettive che contengono questi elementi;
- materiali solidi sotto forma di sali, come p. es. il cloruro di ammonio.

I metalli pesanti possono essere in gran parte separati da un efficiente separatore delle polveri. Il valore limite per i metalli pesanti è però severo e ciò rende necessario un impianto di separazione delle polveri più costoso rispetto a quello necessario per il legno naturale. Il limite è in genere rispettato se il contenuto di polveri rimane inferiore a 10 mg/m^3 . A questo scopo è necessario l'impiego di filtri elettrostatici, in tessuto o in ceramica. L'impiego di un ciclone non è per contro sufficiente.

Grado di separazione dei vari sistemi di depurazione dalle polveri



Ciclone

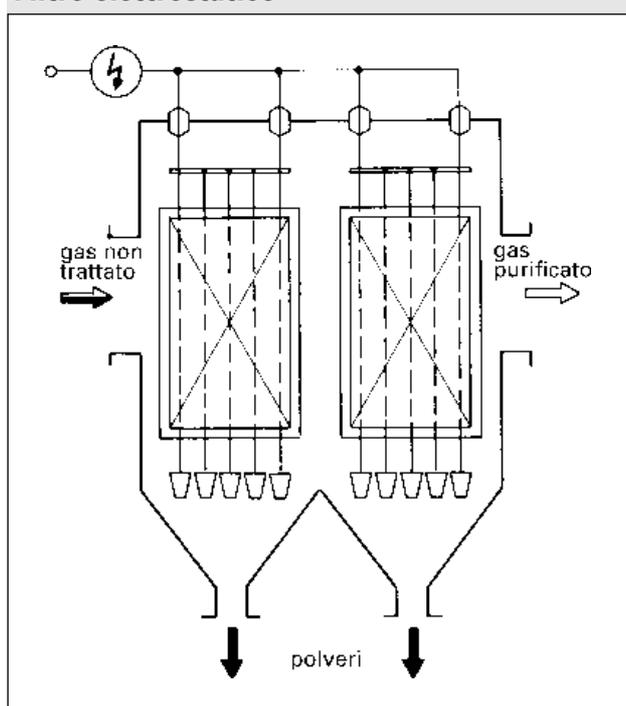


Ciclone

Principio separatore: il movimento rotatorio della corrente accelera le particelle verso la parete esterna del ciclone, dalla quale cadono nel contenitore delle polveri. Il gas purificato dalle polveri è condotto verso l'esterno da un tubo centrale. Il grado di separazione dipende dalla grandezza e dalla densità delle particelle, dalla geometria e dalla perdita di pressione attraverso il ciclone.

L'efficacia dei cicloni è limitata. A dipendenza della granulometria e del tipo di polveri, possono essere separate particelle a partire da circa 2 fino a 5 μm . Valori di purezza tipici degli impianti di riscaldamento a legna si aggirano attorno ai 50-200 mg/m^3 . L'ermeticità del ciclone è importante per il suo corretto funzionamento: l'aria estranea ne diminuisce l'efficacia. Il valore limite di 150 mg/m^3 può essere generalmente rispettato da buoni impianti a legna dotati di ciclone e alimentati da combustibile che non crea problemi. L'economicità d'impiego fa del ciclone il più importante mezzo di depurazione dei gas di scarico per impianti di riscaldamento a legna fino a 5 MW. Il suo rendimento risulta però insufficiente se il combustibile ha un contenuto troppo elevato di parti fini, come p. es. le polveri di levigatura.

Filtro elettrostatico



Filtro elettrostatico

Principio separatore: in un potente campo elettrostatico le particelle di polvere vengono caricate negativamente, mentre le pareti sono collegate a un elettrodo a bassa tensione di carica positiva. Le particelle aderiscono così alle pareti, che vengono ripulite da una testina meccanica.

Il filtro elettrostatico permette il raggiungimento di concentrazioni di polveri pari a circa 5-20 mg/m^3 . Il valore limite di 50 mg/m^3 per impianti fino a 5 MW può così essere rispettato. I filtri elettrostatici accusano, rispetto ai filtri in tessuto, una minore perdita di pressione e sono insensibili alle scintille. Come svantaggi hanno un grande ingombro e costi elevati.

Il campo elettrostatico di questi filtri favorisce la formazione di diossina. Per evitare il problema, il filtro dovrebbe avere una temperatura di funzionamento non superiore ai 130 $^{\circ}\text{C}$.

Filtri in tessuto e filtri di ceramica

Principio separatore: i gas contenenti le polveri passano attraverso un tessuto poroso o una struttura lamellare, depositando le particelle di polvere sulle pareti filtranti. La pulizia periodica dei filtri avviene per mezzo dei gas di scarico purificati o con aria ad alta pressione. L'aggiunta di calcio permette contemporaneamente la separazione dell'acido cloridrico (HCl).

I materiali filtranti impiegati sono da un lato tessuti o assorbenti e i filtri così ottenuti sono denominati filtri in tessuto. Sono inoltre impiegate fibre inorganiche di ceramica o metallo per la produzione di filtri denominati in ceramica o metallici.

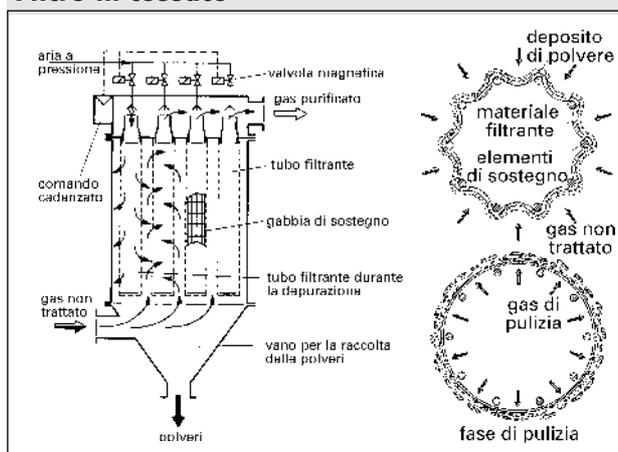
A dipendenza del tipo di filtro e della composizione delle polveri, si possono ottenere gradi di purificazione che si aggirano attorno ai 2-20 mg/m³. La scelta del materiale dei filtri determina la temperatura massima dei gas di scarico. Per i filtri in tessuto, essa è di circa 250 °C, mentre i filtri in ceramica consentono temperature superiori ai 400 °C (a volte fino a 800 °C).

Il pericolo per i filtri in tessuto causato dalle scintille può essere limitato dall'utilizzo di un ciclone o da deviatori di lamiera. Si evitano temperature troppo elevate grazie a by-pass o all'aggiunta di aria fresca. Il raggiungimento della temperatura di condensazione può essere evitato, al momento dell'accensione dell'impianto, con un by-pass o con un preriscaldamento elettrico. La temperatura di funzionamento dovrebbe essere inferiore ai 180 °C onde evitare la formazione di diossina.

Lavaggi

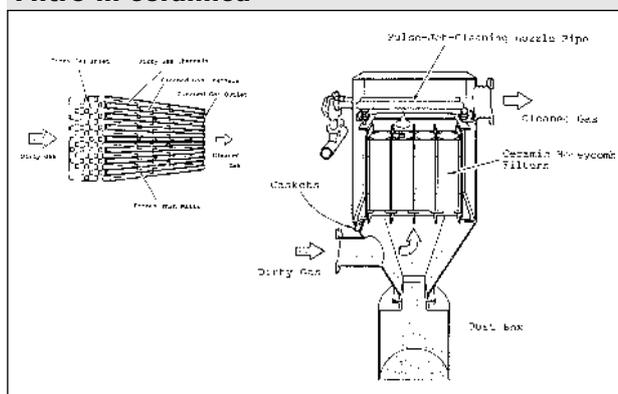
Principio separatore: la polvere viene centrifugata con le gocce del liquido detergente in modo da trattenere in un separatore anche le particelle più piccole. I lavaggi sono solo parzialmente utilizzabili per la separazione delle polveri prodotte dagli impianti di riscaldamento a legna, essendo la cenere del legno difficilmente annaffiabile. Il lavaggio è però ad esempio adatto alla separazione dell'acido cloridrico. In questo caso è tuttavia necessaria una preparazione del liquido detergente. Per gli impianti di riscaldamento a residui di legno, i lavaggi assumono una importanza di second'ordine a causa della necessità di una preparazione del liquido detergente e della limitata efficienza nella separazione della cenere del legno.

Filtro in tessuto



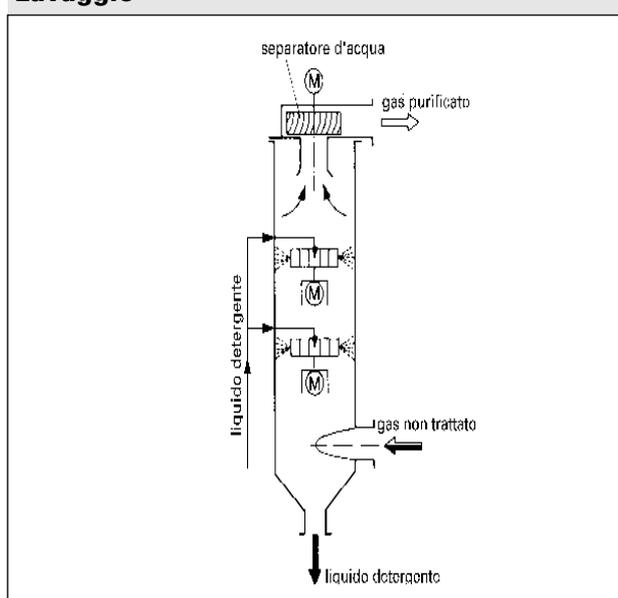
Struttura di un filtro a tubi con pulizia a impulsi; fasi di filtraggio e pulizia di un filtro a tubi.

Filtro in ceramica



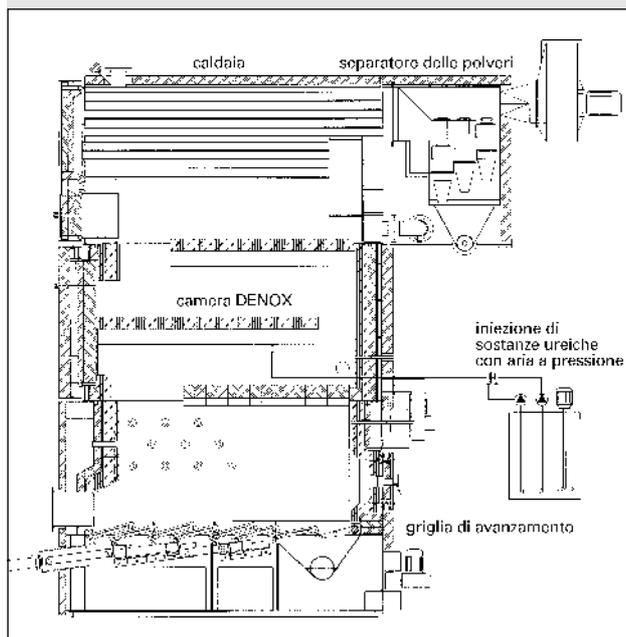
Filtro in ceramica con struttura cellulare sinistra: struttura cellulare del filtro, destra: unità filtrante.

Lavaggio



Lavaggio rotatorio a due fasi.

Procedimento SNCR



Riscaldamento da 450 kW con griglia di avanzamento, camera SNCR e iniezione di sostanze ureiche.

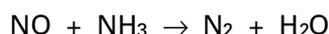
Separazione dell'acido cloridrico (HCl)

Nei gas di scarico, il cloro può presentarsi sotto forma di acido cloridrico, che può essere separato con il calcio in un filtro in tessuto.

L'acido cloridrico può però anche venir sciolto in una soluzione basica all'interno di un lavaggio. Siccome il liquido detergente deve essere trattato, il suo impiego per gli impianti a scarti lignei è raro.

Denitrurazione dei gas di scarico

L'OIAt prescrive un valore limite per gli ossidi di azoto di 250 mg/m³ se il flusso di ossidi di azoto supera i 2500 g/h (vedi Allegato A3). Nel caso della combustione di residui di pannelli truciolari con un tenore in ossidi di azoto di 500 mg/m³, è necessario un impianto di denitrurazione a partire da una potenza di circa 2.5 MW. A questo scopo viene iniettata una sostanza riducente (ammoniaca o sostanze ureiche) che permette la trasformazione degli ossidi di azoto (NO_x) in azoto atmosferico (N₂).



Nel caso di condizioni di reazione sfavorevoli può essere liberata ammoniaca o gas esilarante. I procedimenti seguenti sono attualmente impiegati in impianti piloti.

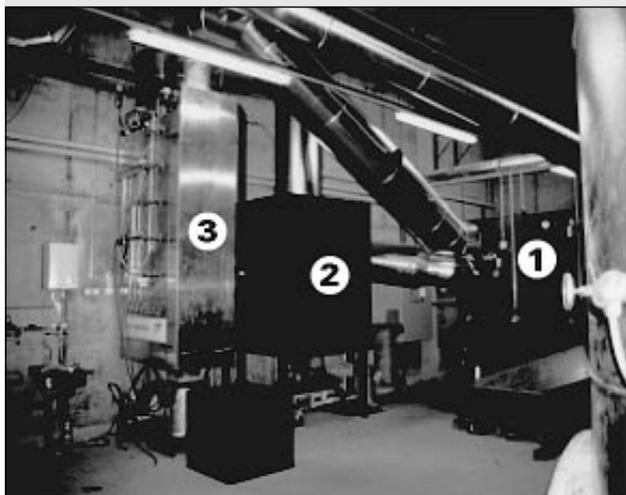
Procedimento SNCR (riduzione selettiva non catalitica):

- riduzione degli ossidi di azoto mediante iniezione di ammoniaca o sostanze ureiche nella camera di combustione ad alta temperatura a 850-950 °C. Questo procedimento è indicato principalmente per impianti nuovi, in quanto la riduzione degli ossidi di azoto richiede una camera ad alta temperatura. Ciò è vincolato a un grande volume (altezza) di cui bisogna tener conto.

Procedimento SCR (riduzione selettiva catalitica):

- riduzione degli ossidi di azoto mediante iniezione di ammoniaca o sostanze ureiche nei gas di scarico dopo la caldaia, e reazione in un catalizzatore alla temperatura di 250-450 °C. Questo procedimento è anche adatto ad essere impiegato in una seconda fase su impianti esistenti.

Procedimento SCR



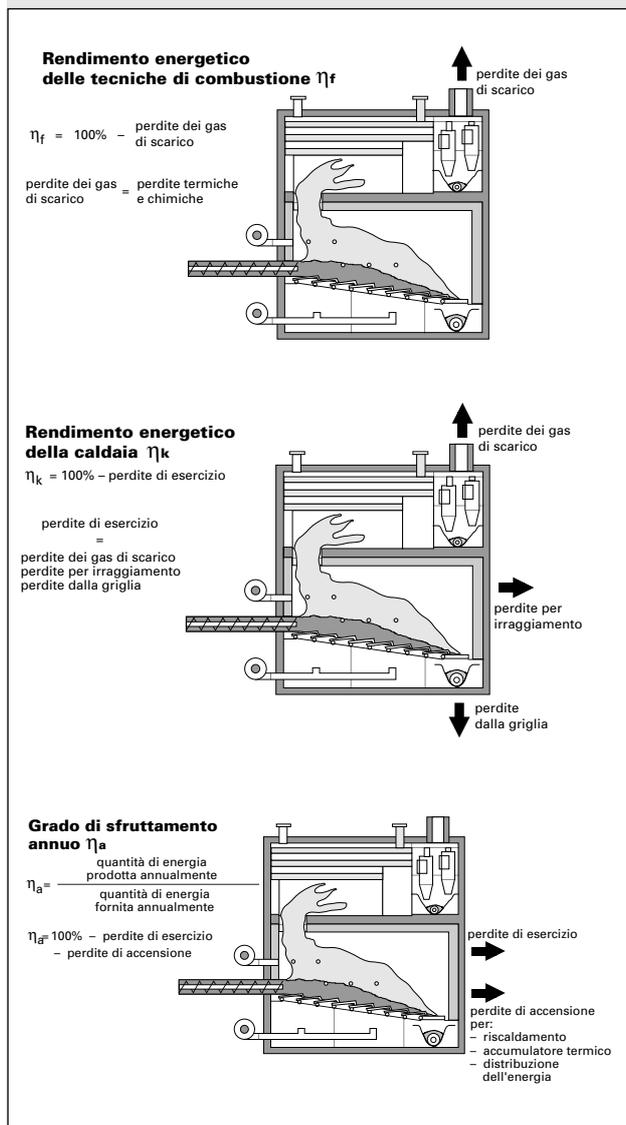
1 riscaldamento
2 multiciclone
3 catalizzatore

2.7 Valori di emissione tipici

Per gli impianti di riscaldamento automatici con ciclone valgono approssimativamente i seguenti valori tipici di combustione.

Impianti di riscaldamento automatici con ciclone misura di riferimento: 11 vol.-% O ₂			< 1 MW	1 MW – 5 MW
Lambda (eccesso d'aria)	obiettivo	–	1.5 – 1.8	
	tipico	–	1.5 – 2.5	
Temperatura dei gas di scarico	obiettivo	°C	< 160	
	tipico	°C	120 – 250	
Valore energetico dell'impianto	obiettivo	%	92	92
	tipico	%	80 – 90	80 – 93
CO	tipico	mg/Nm ³	< 100 ... 1000	< 100 ... 250
NO _x trucioli di bosco residui di legno	tipico	mg/Nm ³	150 – 300	
	tipico	mg/Nm ³	400 – 600	
Polveri	tipico	mg/Nm ³	50 – 150	

Rendimenti energetici e grado di sfruttamento annuo



2.8 Rendimenti energetici e grado di sfruttamento annuo

Rendimento energetico legato alle tecniche di combustione

Il rendimento energetico legato alle tecniche di combustione η_f tiene conto delle perdite energetiche dei gas di scarico, composte dalle perdite termiche dovute al calore verificabile dei gas di scarico, e dalle perdite chimiche dovute alla combustione incompleta.

I dati importanti sono:

- temperatura dei gas di scarico
- eccesso d'aria (O_2 - risp. CO_2 -tenore)
- tenore in CO dei gas di scarico.

Si raggiunge un alto rendimento energetico legato alle tecniche di combustione grazie ad una bassa temperatura dei gas di scarico, a un basso indice d'eccesso d'aria e alle ridotte emissioni di CO.

Rendimento energetico della caldaia

Il rendimento energetico della caldaia η_k è definito dal rapporto fra potenza, rispettivamente energia, prodotta e fornita.

Il rendimento energetico della caldaia tiene conto, oltre che dell'energia dissipata dai gas di scarico, dell'energia persa per irraggiamento e a causa della griglia. Le perdite di energia per irraggiamento sono dovute alla cessione energetica dell'impianto al locale tecnico. Le perdite della griglia sono dovute ai residui incombusti contenuti nella cenere. Il concetto di perdite di esercizio comprende le perdite dovute ai gas di scarico, all'irraggiamento e alla griglia.

Un alto rendimento energetico della caldaia è raggiungibile con un alto rendimento energetico legato alla tecnica di combustione, un buon isolamento dell'impianto e una combustione ottimale delle ceneri.

Grado di sfruttamento annuo

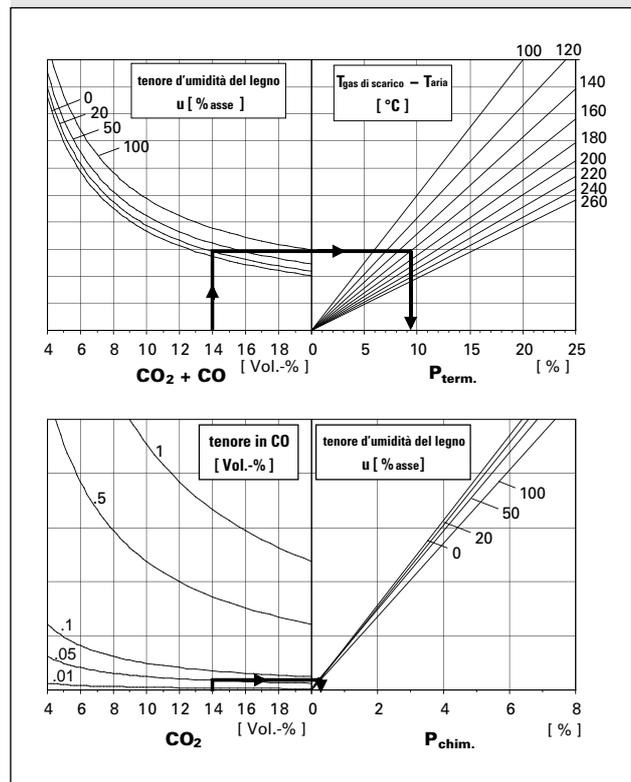
Il grado di sfruttamento annuo η_a è definito dal rapporto fra energia prodotta e energia fornita durante tutto un periodo di riscaldamento.

Oltre alle perdite di esercizio, il grado di sfruttamento annuo tiene conto delle perdite dovute all'accensione dell'impianto, all'accumulatore e alla distribuzione d'energia. Le perdite di inattività si manifestano durante le fasi di esercizio con mantenimento del letto di brace.

Un alto grado di sfruttamento annuo si raggiunge grazie a:

- un alto rendimento energetico della tecnica di combustione
- un alto rendimento energetico della caldaia
- un corretto dimensionamento della potenza dell'impianto
- una eventuale suddivisione della potenza su due o più caldaie (impianto monovalente a più caldaie, impianti bivalenti)
- un buon isolamento termico dell'accumulatore e della distribuzione dell'energia
- una appropriata produzione estiva dell'acqua calda
- accensione automatica.

Nomogramma per la definizione dei rendimenti tecnici degli impianti



Esempio:

CO_2 = 14 Vol.-%
 CO = 0.05 Vol.-%
 u = 20%_{atmo}
 $T_{gas\ di\ scarico} - T_{aria} = 160\ ^\circ C$

Perdite termiche $P_{term.}$ = 9.3%
 Perdite chimiche $P_{chim.}$ = 0.2%

Perdite dei gas di scarico = 9.5%
 Rendimento energetico della tecnica di combustione = 90.5%

3. Sistemi

3.1	Impianti per la produzione di calore e componenti accessorie	51
	Impianti a caldaia unica con accumulatore	52
	Impianti bivalenti legno/olio combustibile, legno/gas	54
	Impianti monovalenti a più caldaie	55
	Scambiatori di calore supplementari	56
	Condensazione dei gas di scarico	57
	Ricavo di energia elettrica dal legno e centrali termiche a legna	59
3.2	Teleriscaldamento	60
	Scopo	60
	Principi	60
	Esercizio estivo e invernale	61

3. Sistemi

3.1 Impianti per la produzione di calore e componenti accessorie

Gli impianti per la produzione di calore possono essere realizzati con una o più caldaie ed essere mono o bivalenti. La scelta del tipo di impianto è da eseguire al fine di ottenere:

- il più alto grado di sfruttamento annuo possibile
- il giusto dimensionamento (evitare il sovradimensionamento)
- la riduzione delle fasi di avviamento e combustione
- la riduzione delle perdite mediante conservazione delle ceneri
- la riduzione dell'inquinamento ambientale mediante una qualità di combustione ottimale.

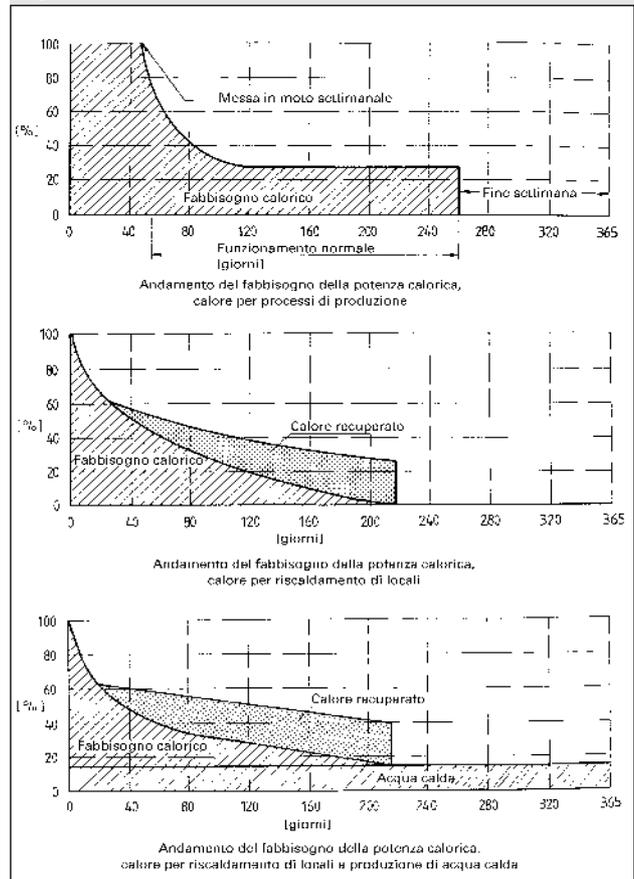
Rispetto ad un impianto a caldaia unica, un impianto a più caldaie copre meglio il diverso fabbisogno stagionale e resta più a lungo nel settore d'esercizio ottimale.

Il progetto di un impianto di produzione di calore deve tener conto della quantità e qualità del calore necessario e della sua destinazione:

- riscaldamento di locali per tutto il giorno durante il periodo di riscaldamento
- calore necessario a processi di produzione durante tutto l'anno lavorativo
- ambedue le necessità.

Le richieste di maggior potenza di breve durata (momenti di punta) devono essere soddisfatte, piuttosto che da un impianto a caldaia unica, dall'impiego di un impianto bivalente o da un accumulatore tecnico.

Fabbisogno di potenza calorica secondo il tipo di utilizzo



Calore recuperato: fonti interne + energia solare passiva

Punte di carico estremo di breve durata non dovrebbero essere coperte con legno.

Campo di impiego di impianti a caldaia unica

- edifici ad uso artigianale con poche esigenze di comfort
- edifici massicci nuovi con grande capacità di accumulo di calore
- sistemi di distribuzione del calore con temperatura di ritorno bassa (possibilmente < 50 °C)
- potenza fino a circa 500 kW.

Esecuzione di impianti a caldaia unica

- dimensionamento della caldaia senza riserve di potenza secondo la Norma SIA 384/2
- sistema di bruciatore con regolazione continua della potenza da 30 a 100%
- accumulatore tecnico di aiuto per almeno un'ora di esercizio a pieno carico
- servizio guasti rapido con picchetto presente 24 ore su 24 e manutenzione regolare.

Opzioni per un impianto a caldaia unica

- utilizzo di trucioli di legna molto secca, rispettivamente essiccata, durante la mezza stagione
- sorveglianza elettronica del sistema di alimentazione.

Funzionamento

- la caldaia dev'essere munita di sistema di mantenimento del livello della temperatura di ritorno
- la capacità dell'accumulatore è ottimale quando si mantiene la temperatura di andata alta e quella di ritorno bassa
- la preparazione di acqua calda sanitaria durante il periodo di riscaldamento aumenta notevolmente il carico durante la mezza stagione
- l'esercizio nel periodo estivo non è appropriato.

Impianti a caldaia unica con accumulatore

Gli impianti singoli sono particolarmente adatti a costruzioni nuove con un fabbisogno calorico ben definito e un involucro adeguatamente isolato e atto ad accumulare calore. Sono installati prevalentemente per piccole e medie potenze e richiedono una chiara definizione delle esigenze di impiego.

L'argomento principale a favore della scelta di un tale impianto risiede nella sua aumentata economicità data dall'eliminazione dei costi per una caldaia ad olio, serbatoio e camino aggiuntivi. In ogni caso, occorre verificare che gli investimenti risparmiati non siano compensati da maggiori costi d'esercizio (esercizio non efficiente).

Malgrado il buon livello delle regolazioni ottenibile oggi, un impianto a caldaia unica dovrebbe sempre essere attrezzato con un accumulatore. Piccoli accumulatori tecnici con una capacità di almeno un'ora di esercizio a pieno carico riducono in modo notevole il numero di fasi di messa in esercizio e combustione, e compensano le punte di carico dopo periodi di abbassamento. La regolazione della potenza si adatta più facilmente ai bisogni.

Accumulatori più grandi, con capacità di accumulo di alcune ore di esercizio a pieno carico, servono principalmente per superare eventuali disturbi all'impianto di combustione. L'installazione di grossi accumulatori è consigliabile anche in stabili di costruzione leggera o in vecchi stabili non isolati, che hanno una capacità di accumulazione di calore limitata.

Concetti per un impianto a caldaia unica

L'accumulatore e la caldaia sono comandati in parallelo. La caldaia è regolata secondo la potenza necessaria. L'accumulatore è caricato a quattro livelli di temperatura in funzione della temperatura esterna. Il fabbisogno energetico fornito dalla caldaia per il caricamento dell'accumulatore diminuisce già in presenza di una carica parziale dello stesso a temperatura esterna alta, così che la carica ulteriore avviene a potenza ridotta, mentre a temperatura esterna bassa l'accumulatore dev'essere caricato con la massima potenza della caldaia. Inoltre, la temperatura esterna determina il punto di partenza della carica e l'intensità della capacità di carica. L'impianto dev'essere progettato in modo che il contenuto calorico dell'accumulatore possa superare durante la mezza stagione alcune ore di esercizio senza ulteriore produzione di calore. In questo periodo l'impianto è spento. Scopo della regolazione:

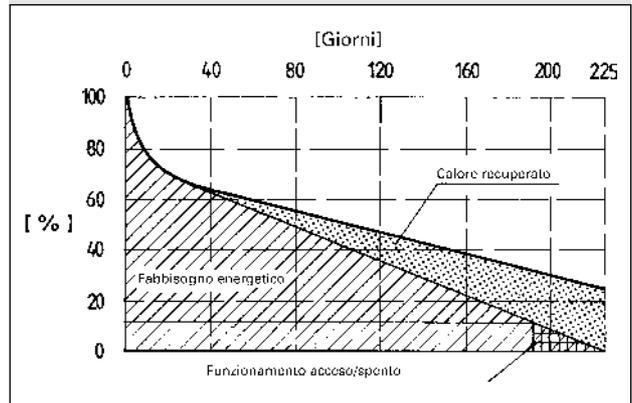
- periodi di funzionamento il più lunghi possibile; la caldaia funzionerà con il minimo di potenza di combustione così che questa corrisponda esattamente ai bisogni.
- in caso di funzionamento acceso/spento del bruciatore, l'accumulatore dev'essere scaricato prima dell'accensione e caricato prima dello spegnimento.

L'accensione automatica permette la continuità dello svolgimento del processo di riscaldamento. Nei seguenti casi l'accensione automatica è disinnestata:

- diminuzione sotto il minimo ammesso della temperatura della caldaia
- accumulatore vuoto
- temperatura di andata non raggiunta malgrado l'accumulatore.

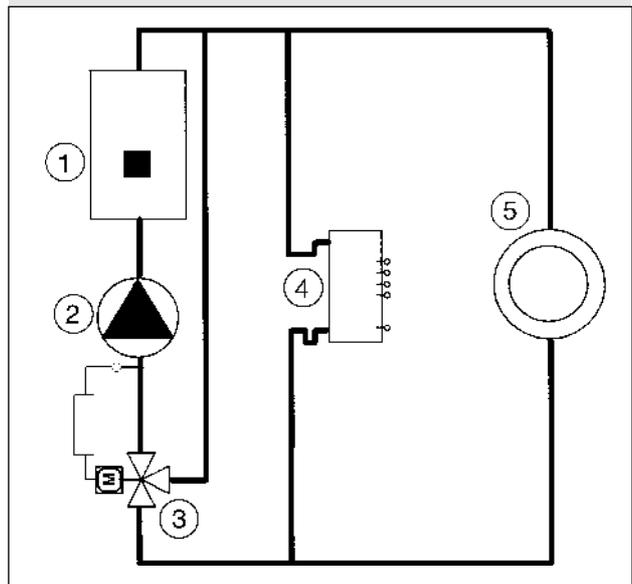
L'accensione automatica è problematica in presenza di trucioli di legno umidi.

Fabbisogno di potenza calorica con funzionamento acceso/spento di un impianto a caldaia unica dotata di accensione automatica



Funzionamento acceso/spento: la combustione è interrotta poi rimessa in funzione mediante accensione automatica. Il sistema acceso/spento con conservazione delle ceneri si regola, per contro, già a potenze superiori.

Schema idraulico di un impianto a caldaia unica con accumulatore



- | | |
|---|----------------|
| 1 Bruciatore automatico | 4 Accumulatore |
| 2 Pompa | 5 Utilizzatore |
| 3 Mantenimento del livello della temperatura di ritorno | |

Campo di applicazione di impianti bivalenti

- Praticamente ogni grandezza di impianto.

Esecuzione della caldaia a legna

- Dimensionamento pari a circa il 60-80% del fabbisogno calorico.
- Regolazione continua della potenza da 30 a 100%.
- Inserimento automatico della caldaia di punta (secondo il carico o in caso di guasto).
- Messa in funzione manuale della caldaia a legna.

Esecuzione della caldaia di punta

- Dimensionamento pari a circa il 50-60% del fabbisogno calorico.
- Bruciatore a due stadi o modulante.

Opzioni

- Accumulatore tecnico per la caldaia a legna.
- Accensione automatica della caldaia a legna.

Funzionamento

- La caldaia di punta dev'essere comandata in parallelo con quella a legna.
- Durante il periodo di riscaldamento è auspicabile la preparazione di acqua calda sanitaria.
- Esercizio estivo possibile mediante la caldaia di punta (olio combustibile/gas). A causa delle grandi perdite di calore, nel caso di grosse reti di distribuzione, l'esercizio estivo non è ragionevole.

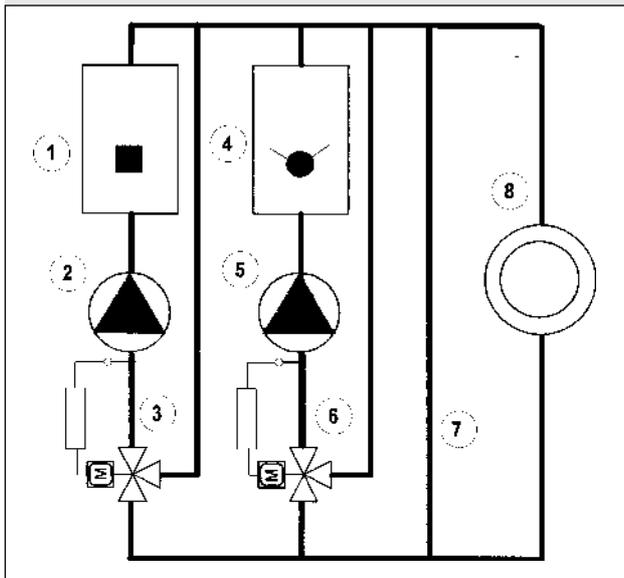
Impianti bivalenti legno/olio combustibile, legno/gas

Gli impianti di riscaldamento automatici più grossi vengono realizzati come impianti bivalenti a più caldaie, al fine di coprire le punte di carico con una caldaia ad olio combustibile o a gas. Le ragioni per l'impiego di una seconda caldaia sono le seguenti:

- alta sicurezza di esercizio
- funzionamento automatico
- impiego nei momenti di carico minimo o massimo (punte di carico)
- eventuale esercizio estivo per la preparazione di acqua calda sanitaria.

Un impianto bivalente consiste in almeno due caldaie con combustibili di tipo diverso. La caldaia a legna è l'unità principale atta a coprire il fabbisogno di base, utilizzata il più possibile sull'arco dell'intero periodo di riscaldamento, tranne che nella mezza stagione, dove il fabbisogno è debole e variabile. Per coprire il fabbisogno di base basta una caldaia con una potenza calorica pari al 60 - 80% di quella calcolata. L'unità ad olio combustibile o gas atta a coprire le punte di carico dovrebbe essere dimensionata per coprire il 50 - 60% del fabbisogno calorico ed essere munita di un bruciatore a due stadi o modulante. Con questa suddivisione delle potenze il fabbisogno annuo può essere coperto fino all'80-90% con la legna.

Schema idraulico di un impianto bivalente



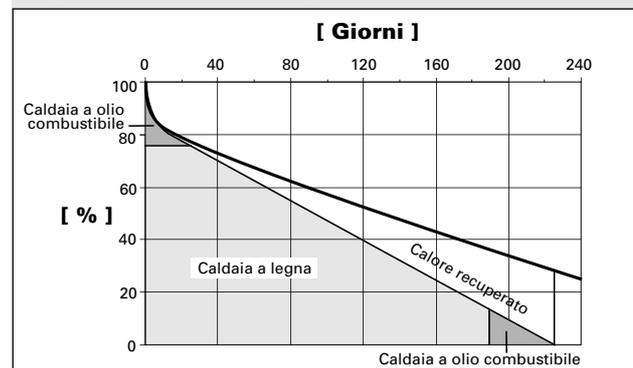
- | | |
|---|-------------------------------|
| 1 Caldaia automatica a legna | 4 Caldaia a olio combustibile |
| 2, 5 Pompe | 7 Troppo pieno |
| 3, 6 Dispositivi per il mantenimento della temperatura di ritorno | 8 Utilizzatore |

Concetti per un impianto bivalente

Le due caldaie sono comandate in parallelo. L'inserimento della caldaia di punta avviene manualmente oppure mediante comando della regolazione di carico della caldaia a legna, quando la temperatura di andata richiesta non è raggiunta.

Un impianto bivalente non trae praticamente alcun vantaggio dalla posa di un accumulatore, per cui è assai raro che impianti di questo tipo ne siano dotati. Nei periodi di mezza stagione e nei momenti di carico di punta si inserisce la relativa caldaia. In questo modo la caldaia a legna può operare in modo ottimale.

Andamento della potenza calorica di un impianto bivalente legno/olio combustibile



I momenti di carico debole o di punta sono coperti con olio combustibile.

Impianti monovalenti a più caldaie

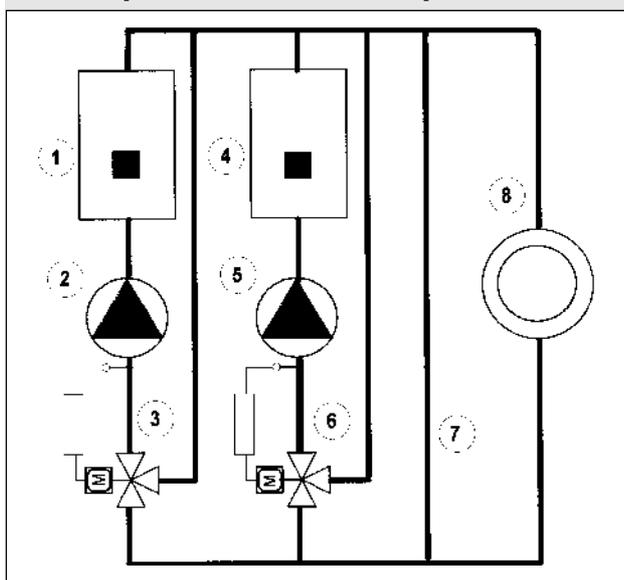
È possibile ottenere un andamento di esercizio simile a quello degli impianti bivalenti mediante la distribuzione della produzione di calore fra due o più caldaie a combustibile uguale. Ciò permette di ottenere un alto rendimento energetico della legna anche con grossi impianti. La suddivisione della potenza permette una regolazione più precisa e di conseguenza porta dei vantaggi sia energetici che di minor carico ambientale. Nel caso di un guasto ad una caldaia, essa viene sostituita automaticamente dalla seconda che garantisce in parte l'esercizio sino alla riparazione del guasto.

Per ragioni di costo, gli impianti per medie e grosse potenze sono normalmente a due unità e, tutto sommato, sono poco più costosi di impianti bivalenti.

Concetti

La messa in funzione delle singole caldaie avviene manualmente o mediante accensione automatica.

Schema idraulico di un impianto monovalente a più caldaie



- 1, 4 Caldaie automatiche a legna
- 2, 5 Pompe
- 3, 6 Mantenimento del livello della temperatura di ritorno
- 7 Troppo pieno
- 8 Utilizzatore

Ambito di utilizzo di impianti monovalenti a più caldaie

- Oggetti singoli di grande volume oppure impianti con teleriscaldamento a grande fabbisogno calorico (> circa 500 kW).
- Edifici nuovi o esistenti.

Esecuzione

- Suddivisione della potenza totale fra le due caldaie in ragione di $\frac{1}{3}$ - $\frac{2}{3}$.
- Regolazione continua della potenza fra 30-100% per le due caldaie.
- Assistenza professionale dell'impianto e servizio di picchetto su 24 ore indispensabili.

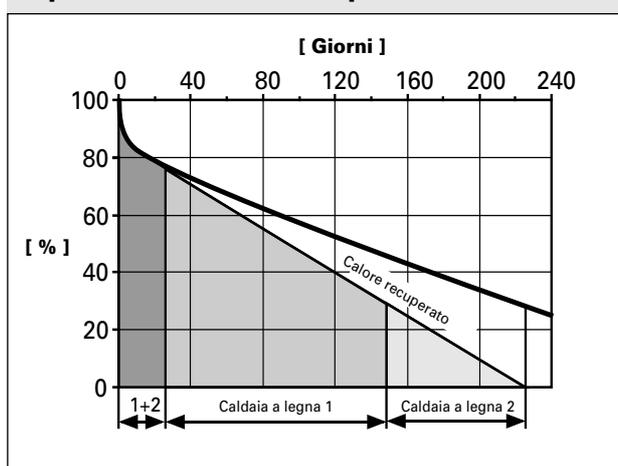
Opzioni

- Accensione automatica delle caldaie a legna.
- Essiccazione preliminare dei trucioli di legna umidi in locale di riscaldamento caldo.

Funzionamento

- Le caldaie sono attrezzate con sistema di mantenimento del livello della temperatura di ritorno.
- Inserimento a cascata mediante comando superiore.
- Allacciamento all'accumulatore delle due caldaie in parallelo.
- Preparazione dell'acqua sanitaria calda nel periodo di riscaldamento auspicabile.
- Esercizio estivo ragionevole solo in casi eccezionali.

Andamento della potenza calorica di un impianto monovalente a più caldaie



Funzionamento

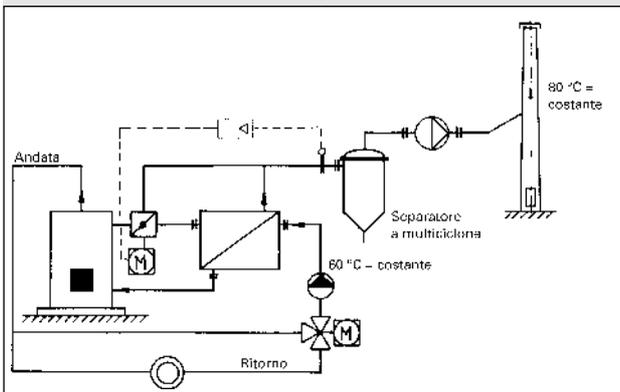
– Con il passaggio attraverso uno scambiatore di calore i gas di scarico vengono raffreddati fino ad una temperatura poco superiore al punto di condensazione.

Esecuzione

– Con un eccesso di aria $\lambda = 2$ si ottiene un raffreddamento dei gas di scarico di altri $10\text{ }^\circ\text{C}$ con un miglioramento del rendimento energetico pari all'1%.

Campo di applicazione

– Impianti superiori a 100 kW.

Scambiatori di calore supplementari per recupero di calore dai gas di scarico**Scambiatori di calore supplementari**

Il rendimento energetico può essere migliorato recuperando il calore dal raffreddamento dei gas di scarico attraverso il loro passaggio in uno scambiatore di calore supplementare, in modo che la loro temperatura sia costantemente pari a $80\text{ }^\circ\text{C}$. Il raffreddamento dei gas di scarico è ottenuto preriscaldando il flusso di ritorno.

Al momento dell'accensione dell'impianto oppure in caso di non raggiungimento della temperatura richiesta di $80\text{ }^\circ\text{C}$, una parte dei gas di scarico viene direttamente immessa nel camino attraverso una clappa fino al raggiungimento della temperatura richiesta.

Condensazione dei gas di scarico

Raffreddando i gas di scarico ad una temperatura inferiore al punto di condensazione si può recuperare l'energia consumata per l'evaporazione dell'acqua contenuta nel combustibile umido. Grazie al recupero dell'energia di evaporazione, anziché il solo potere calorico, si sfrutta il valore di combustione del combustibile. Impianti con condensatori di gas di scarico vengono perciò definiti caldaie a valore di combustione.

In tali impianti il rendimento non viene diminuito dall'utilizzo di combustibile umido.

Con un coefficiente di eccesso di aria $\lambda < 1,8$ e il raffreddamento dei gas di scarico a 50 °C, il rendimento energetico dei trucioli di legna umidi può aumentare del 10-20%. Un impianto di condensazione dei gas di scarico è ragionevole nel caso di alta umidità del combustibile (tenore di acqua fra 40% e 60%) e di una bassa temperatura media di ritorno dell'impianto (almeno 10 °C sotto il punto di condensazione dei gas di scarico).

Attualmente in Svizzera l'impiego di condensatori dei gas di scarico è limitato a impianti automatici pilota, mentre in Danimarca ed in Olanda vi sono numerosi impianti del genere in funzione da parecchi anni.

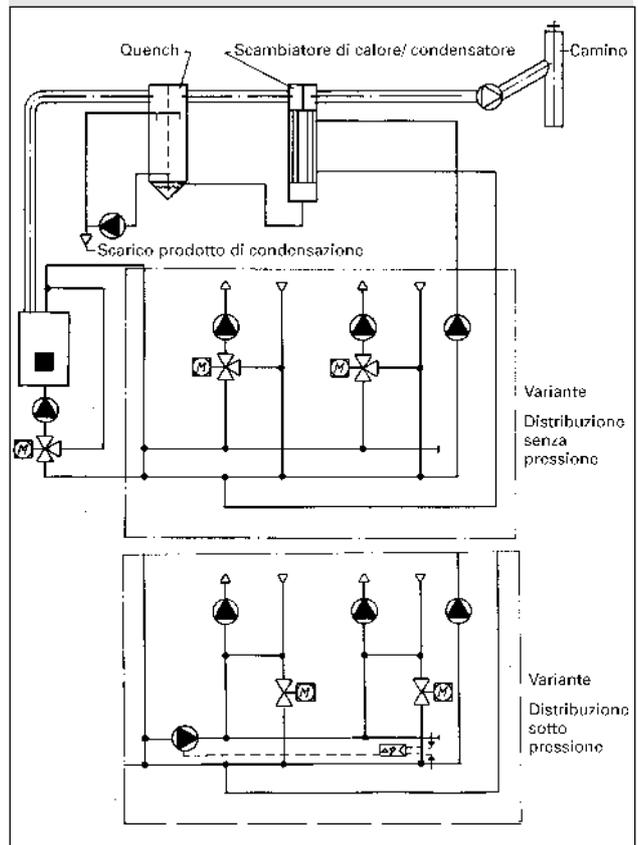
Funzionamento

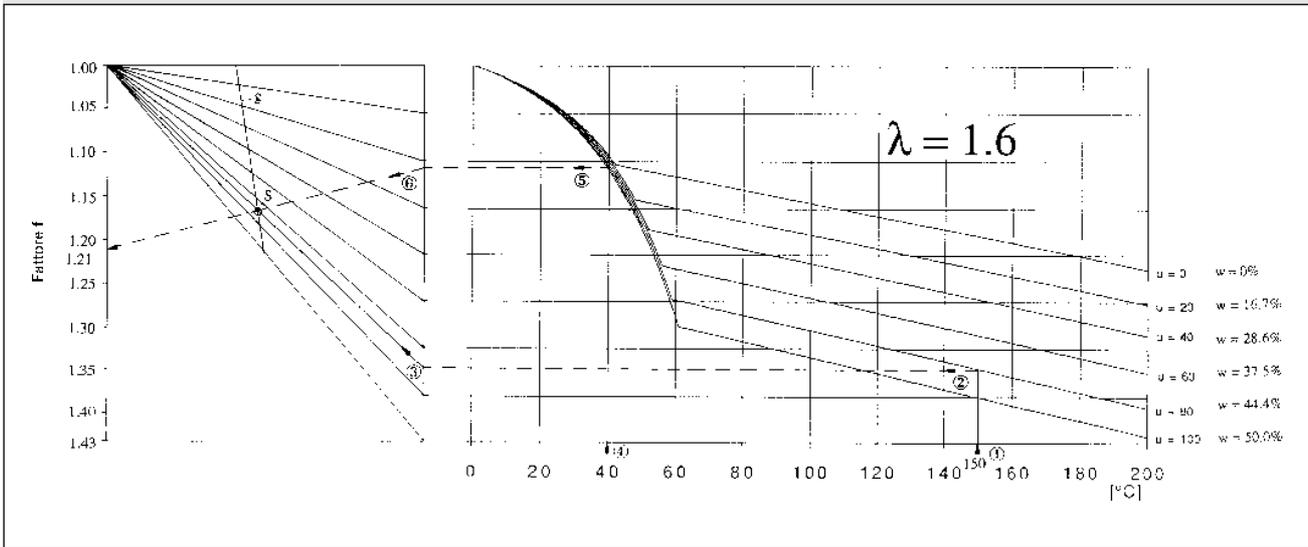
- Il prodotto di condensazione può essere eliminato nella canalizzazione senza trattamento nel caso di alta qualità di combustione ($CO < 250 \text{ mg/Nm}^3$ per 11 Vol. -% O_2).
- L'impianto dovrebbe essere dotato di regolazione della combustione e lavorare con un coefficiente di eccesso di aria $\lambda < 1,8$.

Campo di applicazione

- Il condensatore dei gas di scarico è adatto per impianti superiori a 500 kW che utilizzano combustibile con alto tenore di acqua.
- L'impianto non ha ragione di essere dotato di un condensatore di gas di scarico nel caso di utilizzo di combustibile secco.

Schema idraulico di un impianto di riscaldamento a legna con condensazione dei gas di scarico



Aumento percentuale del rendimento in funzione della temperatura dei gas di scarico con un eccesso di aria $\lambda = 1,6$


Esempio: Combustibile $u = 80\%$, $w = 44\%$, i gas di scarico possono essere raffreddati da 150°C ($\eta_f = 90\%$) a 40°C .

Determinazione: La determinazione del miglioramento del rendimento energetico si effettua come nel diagramma seguendo i punti da 1 a 6. Dal punto 6 si traccia una retta passante da S. S è sempre sulla retta g e si determina al punto 3.

Risultato: Raffreddando i gas di scarico si migliora il rendimento energetico di un fattore 1,21. Il rendimento dell'impianto a 40°C è quindi di $1,21 \cdot 90\% = 109\%$.

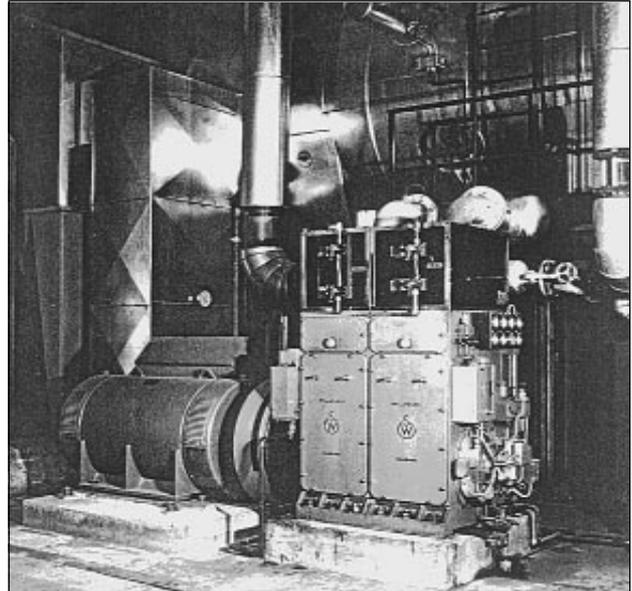
Ricavo di energia elettrica dal legno e centrali termiche a legna

Negli impianti comunali e nelle industrie della lavorazione del legno con grande consumo di elettricità vi è spesso un grande interesse a ricavare energia elettrica dal legno. In primo piano esiste la possibilità di ricavare calore ed energia elettrica da impianti combinati energia calorica/energia elettrica (WKK). Per ricavare energia elettrica dal legno entrano in linea di conto la sua gasificazione e il susseguente utilizzo del gas in un motore a combustione oppure la produzione di vapore per il funzionamento di turbine a vapore. L'energia elettrica ricavata dal legno è particolarmente costosa se confrontata con il costo dell'energia calorica, e un impianto economicamente sensato è possibile solo a certe condizioni.

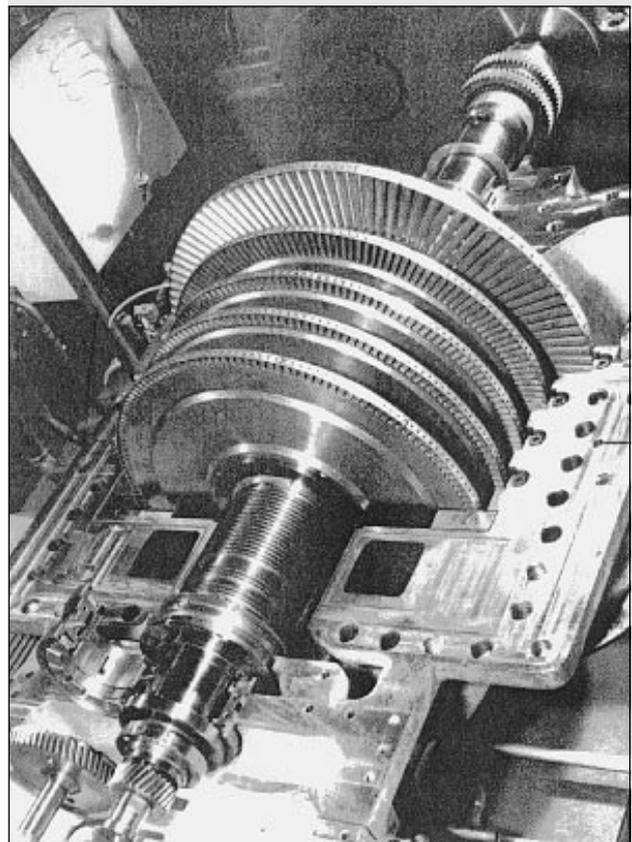
Esistono impianti fissi per la gasificazione del legno da alcuni kW ad alcuni MW di potenza termica. Il procedimento di gasificazione non è ancora perfettamente a punto dal profilo tecnico e sul mercato non esistono ancora sistemi di ricavo di energia elettrica tecnicamente maturi. Si può ottenere un esercizio a regola d'arte solo con qualità speciali di combustibile (p. es. cubetti di legno duro secco). Poiché oltre al gas di legna si accumula anche carbone, il rendimento è normalmente abbastanza basso. Inoltre, il gas di legna contiene particelle solide e catrame, di modo che per utilizzarlo in un motore è necessario depurarlo. L'impianto perciò è assai costoso e produce residui e condensati che devono essere smaltiti separatamente.

La tecnologia per il ricavo di vapore dal legno esiste, così come le relative macchine a vapore per la produzione di energia elettrica. In tutti i casi, per gli impianti piccoli, i costi d'investimento sono alti (fr./kWel). Nell'ambito delle potenze basse (fino a 3 MWel) si impiegano sia motori a vapore che turbine. Per gli impianti piccoli il rendimento è relativamente basso. Per impianti che producono esclusivamente corrente elettrica il rendimento normale è di circa 10 - 15%. Nel caso di impianti combinati calore/energia elettrica il rendimento complessivo (corrente e calore) è maggiore, ma quello parziale relativo alla produzione di energia elettrica diminuisce. Per potenze maggiori (fino a qualche centinaio di MWel) si utilizzano solo turbine a vapore. Nei grandi impianti, grazie all'installazione di turbine a più stadi o ad altri provvedimenti tecnici, si possono raggiungere rendimenti maggiori rispetto a quelli ottenuti nei piccoli impianti.

Esempio di un motore a vapore a due cilindri



Esempio di una turbina a vapore di piccola potenza



A causa degli alti costi e del rendimento relativamente basso, il campo di applicazione di impianti termoelettrici a legna è molto ristretto. La legna da ardere disponibile dovrebbe sostituire in massima misura altri vettori energetici non rinnovabili. In Svizzera, considerando la situazione attuale dell'approvvigionamento energetico, la legna potrebbe sostituire una parte del consumo di olio combustibile.

Per una rapida valutazione dell'economicità di un impianto per la produzione di energia elettrica dal legno con motori a vapore e turbine, con una potenza da 1 MW_{th} a 10 MW_{th}, si consiglia la seguente pubblicazione:

Stromerzeugung aus Holz

Grobbeurteilung der Wirtschaftlichkeit von Holzverstromungsanlagen

DIANE 8, Energie aus Altholz + Altpapier
Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern 1994
EDMZ Nr. 805.182 d
Bezugsquelle:
EDMZ, 3000 Bern

3.2 Teleriscaldamento

Scopo

Le ragioni per l'opzione del teleriscaldamento consistono nel fatto che con un impianto automatico più grande si raggiunge un grado di sfruttamento annuo più alto ed un costo del calore utilizzato minore. Contemporaneamente, il comfort per l'utente è maggiore e le emissioni nocive per l'ambiente sono ridotte.

Con collegamenti ideali, una buona distribuzione del carico e un'alta densità degli allacciamenti, grossi impianti di riscaldamento automatici a legna possono raggiungere un grado di sfruttamento annuo pari all'80-85%.

Progettazione

Il concetto di teleriscaldamento deve tener presente i seguenti punti:

- La rete di teleriscaldamento dev'essere progettata a forma di stella attorno all'impianto. La distanza massima fra impianto e utente non dovrebbe mai superare 1,5 km.
- Il passaggio di energia fra rete e utente può essere previsto in modo diretto (senza scambiatore di calore) oppure in modo indiretto (con scambiatore di calore per dividere il flusso della rete da quello dell'utente). Per motivi di costo, il passaggio diretto è preferibile.
- La densità di allacciamento dovrebbe ammontare a 1-2 kW/metro di scavo per motivi di economicità.
- La rete deve presentare una alta qualità dell'acqua.
- Per ridurre le perdite di calore, la temperatura di andata dovrebbe essere regolata in base alle condizioni atmosferiche e mai superare gli 80 °C. La differenza fra andata e ritorno dovrebbe essere di circa 25-30 °C.
- Le perdite di calore non dovrebbero superare il 5% nel periodo di riscaldamento e il 10% sull'arco dell'intero anno d'esercizio.
- La pompa per la distribuzione a distanza deve essere regolata secondo la differenza di pressione a fine condotta in modo da lavorare sempre secondo la propria caratteristica.
- Per l'eventuale preparazione di acqua calda durante l'estate si deve prevedere l'installazione di una piccola pompa adatta al volume del flusso.

Esercizio estivo e invernale

La produzione di acqua calda durante l'estate entra in linea di conto praticamente solo nel caso di grossi quantitativi come p. es. per impianti sportivi o stabili plurifamiliari. Le perdite devono essere ridotte da forniture scaglionate e da un funzionamento estivo speciale dell'impianto.

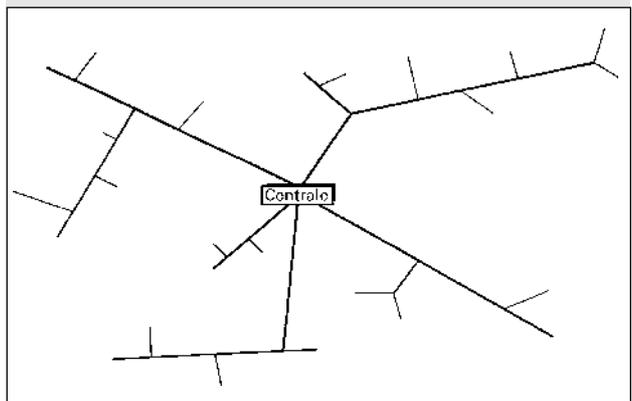
Nella maggioranza dei casi, non è comunque possibile la produzione di acqua calda in estate a causa delle grandi perdite dell'impianto e delle condotte. Spesso è maggiore il dispendio elettrico del teleriscaldamento che non quello necessario in caso di decentramento della produzione di acqua calda.

Esempio: Esercizio estivo per la produzione di acqua calda per un centro scolastico

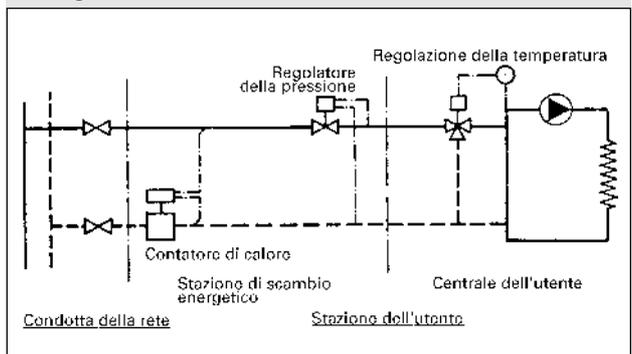
Condotta	400 m con DN 100
Fabbisogno calorico giorn.	300 kWh/giorno
Fabbisogno calorico giornaliero medio	200 kWh/giorno
(Apertura della scuola: 6 giorni/settimana e 14 settimane di vacanze)	
Perdite di calore della condotta	200 kWh/giorno
Perdite di calore dell'impianto	200 kWh/giorno
Fabbisogno di energia di apporto	30 kWh/giorno

Le perdite di calore sono addirittura maggiori del fabbisogno calorico. L'esercizio estivo del teleriscaldamento non ha senso.

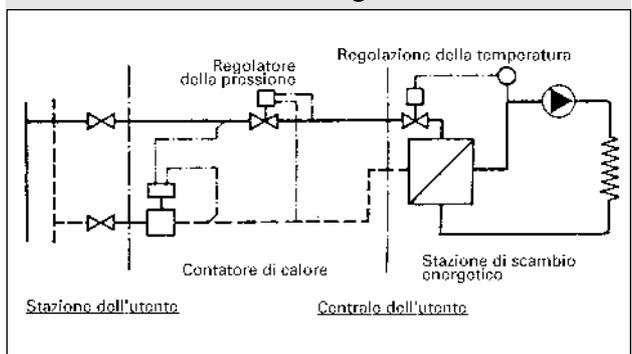
Rete di teleriscaldamento a forma di stella



Schema idraulico della stazione di scambio energetico diretto



Stazione di scambio energetico



4. Componenti

4.1	Silo, magazzino e sistemi di caricamento	65
	Caricamento del silo	65
	Coperchio del silo	65
	Trasporto su base scorrevole	67
	Distributore	68
	Contenitore a pompa per trucioli di legno	68
	Trasporto	69
	Trasporto a piano scorrevole	69
	Trasporto a palette raschianti	70
	Coclea centrale	70
	Coclea conica	71
	Coclea pendolare	72
	Contenitore con sistema di trasporto quale sostituto del silo	73
	Caricamento e trasporto nei magazzini di deposito	73
	Caricatore su gomma	73
	Gru da magazzino	74
	Trasporto a palette raschianti a catena	75
	Sistema di carico e scarico mediante trasportatore a palette raschianti a catena mobili	76
4.2	Sistemi di trasporto	77
	Trasporto pneumatico	77
	Trasporto a coclea	78
	Sistema a spinta	78
	Trasporto a palette raschianti a catena	79
4.3	Sistemi di combustione	80
	Impianto di combustione a carica inferiore	80
	Avancrogiolo a griglia	81
	Impianto di combustione con griglia ad avanzamento frontale	82
	Impianto di combustione a carica automatica	83
4.4	Criteri di scelta del sistema di combustione	84

4. Componenti

4.1 Silo, magazzino e sistemi di caricamento

Il tipo di magazzinaggio della legna da ardere dipende dall'utilizzo previsto del combustibile e dalla forma di consegna. Il volume di un deposito esterno di legna da ardere dovrebbe essere smerciato possibilmente almeno 10 volte all'anno. Per piccoli e medi impianti, normalmente, per il deposito della legna da ardere si utilizza un silo; per impianti superiori a 2 MW è molto più conveniente il deposito in magazzino. Per impianti funzionanti con minuzoli verdi provenienti da bosco può essere conveniente costruire un magazzino di deposito ed un silo per il consumo quotidiano.

Per l'approvvigionamento in regioni di alta quota, dove non è possibile il taglio su tutto l'arco dell'anno, la legna viene depositata in cataste basse e sminuzzata sul luogo secondo la necessità. Questo permette di costruire sili piccoli e perciò convenienti presso gli utilizzatori.

Per grandi fabbisogni e periodi di rotazione brevi, la legna può anche essere depositata in una discarica che, per evitare di sporcarla con sabbia e sassi, è allestita su una superficie asfaltata. Le esperienze in questo campo mostrano che la penetrazione dell'acqua piovana in grandi discariche è limitata e che il tenore di acqua non supera il 50%. Il deposito in discarica si presta particolarmente per la cortecchia. Si deve tuttavia tenere in considerazione il fatto che, in funzione del tipo di combustibile e dell'impianto di combustione, una grande quantità di acqua apportata può risultare problematica.

Caricamento del silo

Secondo il tipo e la frequenza della fornitura di combustibile vi sono diversi sistemi di alimentazione. Il sistema di caricamento dell'impianto di combustione deve essere semplice, solido, conveniente e richiedere poca manutenzione. Inoltre, il sistema di caricamento deve adattarsi alla situazione locale.

Coperchio del silo

Il coperchio di sili a pavimento piatto, caricati direttamente per mezzo di camion deve essere concepito secondo certi criteri.

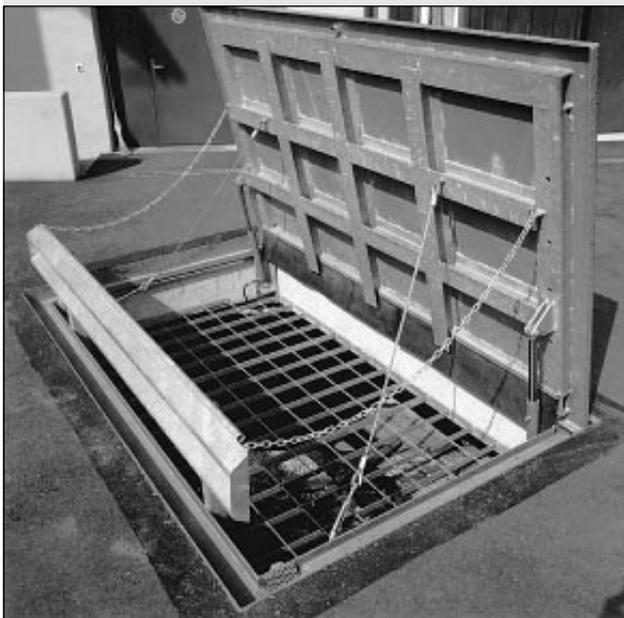
Magazzino per trucioli di legna



Catasta quale deposito intermedio



Coperchio di silo carrozzabile



Se è richiesto un coperchio carrozzabile, esso dev'essere eseguito in modo che la sua chiusura dopo il riempimento possa avvenire senza la necessità di pulire il canale di scarico dell'acqua e la zona delle cerniere. A causa dei problemi d'infiltrazione di acqua e dei relativi costi, è preferibile evitare coperchi carrozzabili.

Quando il coperchio non deve essere carrozzabile, viene posto su una cornice in calcestruzzo, rialzata di circa 20 cm. In questo modo non vi è pericolo di infiltrazione di acqua e si possono risparmiare alcuni costi.

Le dimensioni normali dei coperchi per sili sono, attualmente, di 2.0 x 3.0 m. In funzione dello svolgimento dello scarico, coperchi con dimensioni maggiori sono auspicabili poiché possono ridurre i seguenti lavori:

- tempi di scarico minori grazie al minor numero di manovre necessarie del camion e miglior flusso dei trucioli di legna
- pulizia della piazza di scarico non necessaria
- minori danni al coperchio del silo.

Coperchio di silo non carrozzabile



Il coperchio del silo può essere realizzato in più parti, così da aumentarne la stabilità e, grazie al minor peso di ogni sua parte, di facilitarne l'uso. Inoltre, con questa disposizione, i trucioli di legna non cadono a lato dell'apertura di riempimento e non vi è il pericolo che il coperchio venga sottoposto a carico eccessivo quando i trucioli slittano dal camion in un blocco compatto.

Secondo le prescrizioni dell'INSAI, l'apertura di riempimento dev'essere protetta da una rete o da una griglia. La maglia della rete deve avere dimensioni massime di 20 x 20 cm, mentre nel caso di una griglia, la distanza fra le sbarre dev'essere al massimo di 15 cm. Poiché i trucioli di legna tendono a formare ponti, in presenza di una griglia si arrestano e il flusso di materiale ne è rallentato.

Per un carico senza problemi è consigliato un coperchio che si possa aprire oltre i 90°, cioè oltre il punto morto verso l'alto. In questo modo si ottiene maggior spazio per il camion ribaltabile e si evita che il coperchio si richiuda da sé.

Trasporto su base scorrevole

Scopo: il trasporto su base scorrevole ha come funzione, nel caso di sili sotterranei, il trasporto di trucioli dal pozzo di riempimento al silo. Inoltre aumenta la densità di carica.

Funzionamento: pistoni idraulici muovono avanti e indietro stanghe che portano profili trasversali. Grazie alla forma a cuneo dei profili trasversali, il combustibile è sospinto nella direzione desiderata.

Osservazioni: le forze esercitate dai pistoni idraulici sono assai elevate e devono venir sopportate dall'edificio.

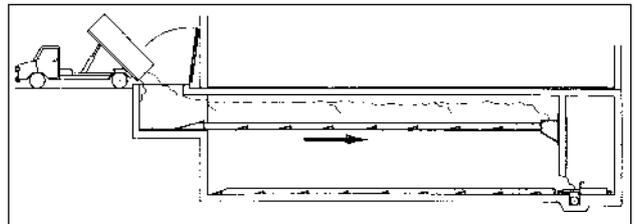
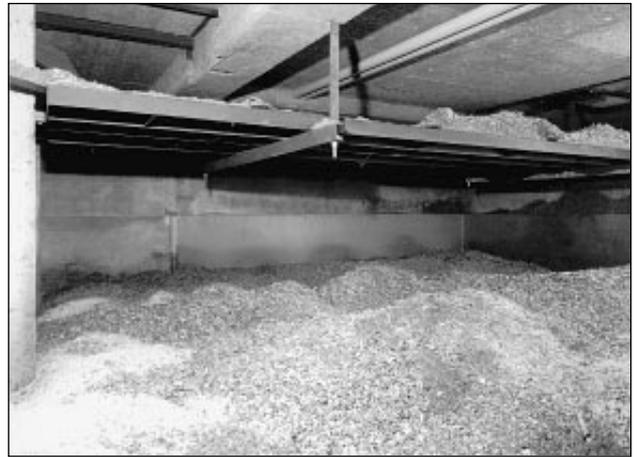
Trasporto su base scorrevole

Vantaggi:

- alta densità di carica del silo
- miglior sfruttamento dello spazio per l'impianto di riscaldamento.

Svantaggi:

- costi di investimento elevati
- tempo di carica maggiore (tempi morti per i fornitori di legna).



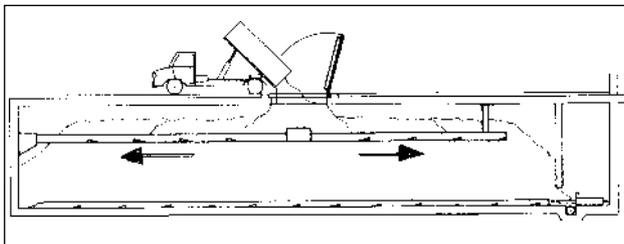
Distributore

Vantaggi:

- basso consumo energetico
- indipendente dalla qualità e tenore di acqua del combustibile
- insensibile ai corpi estranei più grossi
- possibilità di sili di forma allungata
- risparmia coperchi del silo supplementari.

Svantaggi:

- tempi di riempimento lunghi (tempi morti per i fornitori di legna)
- costi di investimento alti.



Contentitore a pompa per trucioli di legno

Vantaggi:

- nessuna necessità di attrezzature sul posto
- nessun imbrattamento per caduta di trucioli a lato del foro di riempimento
- costi di investimento per sistemi di trasporto e caricamento ridotti
- massima densità di carica del silo (fino al 98%).

Svantaggi:

- dipendenza dal fornitore di legna da ardere
- tempi di riempimento lunghi (circa 20 min. contro i 5 min. necessari per contenitori a ribalta)
- produzione di polvere in presenza di trucioli di legna secca, non adatto per polvere da levigatura e trucioli fini
- costi di fornitura maggiori di circa fr. 4.- / Sm³
- rumore prodotto dal sistema di pompa.



Distributore

Scopo: il distributore trasporta i trucioli di legno orizzontalmente in modo che il silo venga riempito uniformemente, indipendentemente dalla sua forma.

Funzionamento: il distributore funziona come il trasporto su base scorrevole, ma nelle due direzioni a partire dall'apertura di riempimento.

Osservazioni: costruzione semplice e stabile per il trasporto orizzontale. Le forze esercitate dai pistoni idraulici devono essere sopportate dall'edificio.

Indicazione: con questo sistema di distribuzione, se le premesse costruttive lo permettono, alla posa di un unico coperchio del silo è preferibile l'installazione di tre coperchi.

Contentitore a pompa

Scopo: assicura il riempimento di sili non accessibili direttamente dai camion.

Funzionamento: i trucioli di legna sono pompati direttamente nel silo da un contenitore (volume di carica di circa 25 m³). I trucioli sono poi distribuiti nel silo da un sistema interno di trasporto attraverso una condotta flessibile. Per vuotare il contenitore, esso viene ribaltato affinché i trucioli scivolino nella zona di trasporto per essere distribuiti nel silo.

Osservazioni: sistema mobile e flessibile, adatto soprattutto per trucioli di legna verde di bosco.

Trasporto

Trasporto a piano scorrevole

Scopo: trasporto continuo di legna da ardere in sili di grossa superficie.

Funzionamento: uno o più tiranti longitudinali portanti dei trascinatori vengono spostati orizzontalmente avanti e indietro da pistoni idraulici. Grazie alla forma a cuneo il combustibile viene spostato verso la coclea di carico. Nei sistemi più recenti, i tiranti vengono sospinti avanti tutti insieme e riportati indietro singolarmente per limitare le forze di taglio nei tiranti stessi.

Osservazioni: le forze sviluppate dai pistoni devono essere sopportate dall'edificio. Il peso del combustibile sul piano scorrevole determina forze di taglio. L'allestimento viene adattato al silo.

Impiego: adatto ad ogni tipo di carburante.

Trasporto a piano scorrevole

Vantaggi:

- trasporto di grande superficie
- esercizio sicuro e indipendente dal tenore di acqua
- nessun comando all'interno del silo
- indipendente da forma e grandezza della legna da ardere.

Svantaggi:

- grandi forze di taglio sull'edificio
- lunghezza di trasporto e quantità trasportate limitate
- possibilità di disposizione unicamente lineare.



Trasporto a piano scorrevole.



Pistoni idraulici per i tiranti longitudinali e profili di caricamento trasversali.

Trasporto a palette raschianti

Vantaggi:

- grande adattabilità dell'impianto alle caratteristiche del silo e al tipo di combustibile.

Svantaggi:

- comandi all'interno del silo
- alti costi di investimento
- necessità di controllo e manutenzione
- costruzione complessa.

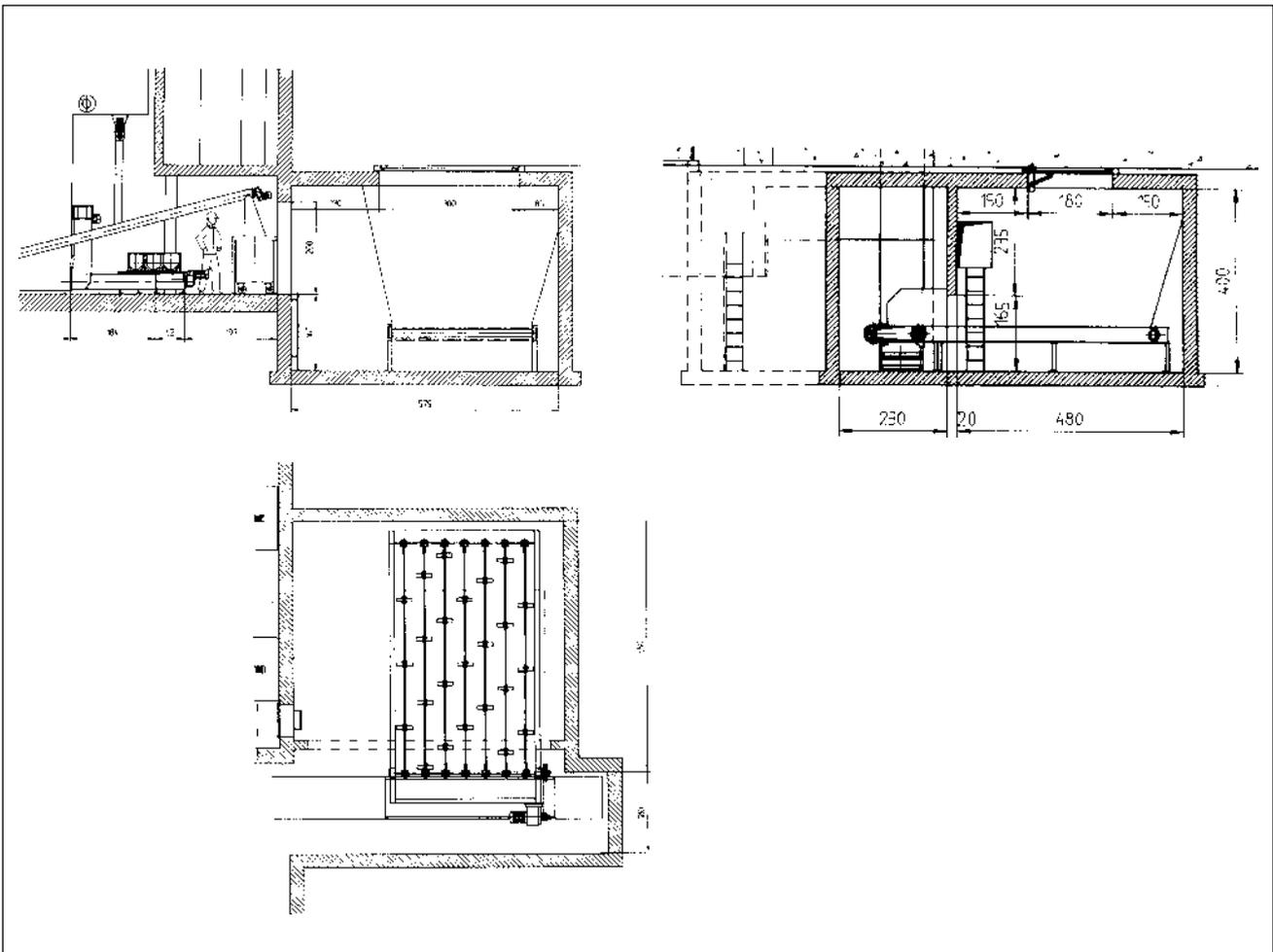
Trasporto a palette raschianti

Scopo: trasporto di combustibile nei silo di piccole dimensioni (pre-silo, silo giornalieri).

Funzionamento: il trasporto a palette raschianti funziona in modo simile ad un nastro trasportatore. Sulle catene di trasporto sono fissati profili trasversali che trascinano il combustibile. La disposizione può essere adattata alla situazione del silo. La larghezza e l'altezza del silo determinano il numero di catene di trasporto.

Osservazioni: per ottenere un'alta capacità di trasporto, si adatta l'impianto a palette raschianti al tipo di carburante ligneo.

Impiego: adatto a ogni tipo di carburante.



Coclea centrale

Scopo: per scaricare sili a pianta quadrata o rotonda.

Funzionamento: un trasportatore a coclea sistemato sul pavimento del silo si sposta con movimento circolare e spinge il combustibile orizzontalmente verso il centro del silo.

Osservazione: diametro utile da 4.0 m.

Impiego: adatto per trucioli di legna secca così come per minuzzoli e polvere provenienti dalle aziende della lavorazione del legno (esclusi pezzi finali e corpi estranei).

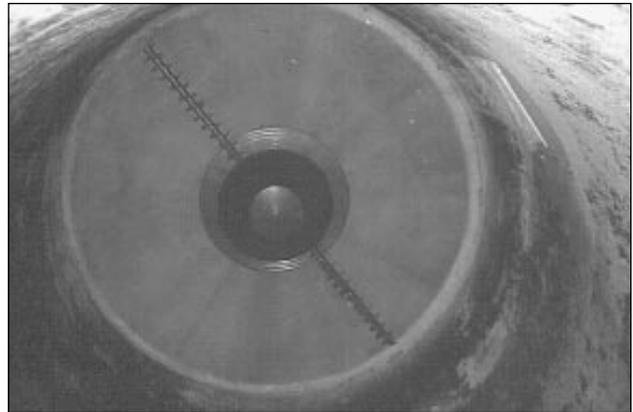
Coclea centrale

Vantaggi:

- costruzione semplice
- limitata tendenza alla formazione di ponti
- adatto a sili di grande altezza (purché siano previste aperture adeguate).

Svantaggi:

- sensibile ai pezzi grossi (pezzi finali e corpi estranei devono essere tolti)
- comandi all'interno del silo.



Coclea conica

Scopo: per lo scarico continuo di sili alti a pianta quadrata, rotonda o ottagonale.

Funzionamento: il sistema di trasporto a cono funziona in modo simile a quello di trasporto dal centro. La coclea è però posta in modo inclinato anziché orizzontale. Il combustibile viene spinto verso il dispositivo di trasporto situato al centro del silo.

Osservazioni: diametro effettivo da 1.5 a 5.0 m. Adatto a sili alti purché vi sia poco pericolo di formazione di ponti.

Impiego: adatto per trucioli di legna secca così come per minuzzoli e polvere provenienti dalle aziende della lavorazione del legno (esclusi pezzi finali e corpi estranei).

Coclea conica



Vantaggi:

- costruzione semplice
- limitata tendenza alla formazione di ponti
- adatto a sili di grande altezza (purché siano previste aperture adeguate).

Svantaggi:

- volume del silo non pienamente sfruttato, resta uno spazio inutilizzato alla base del silo
- superficie della base del silo limitata
- comandi all'interno del silo.

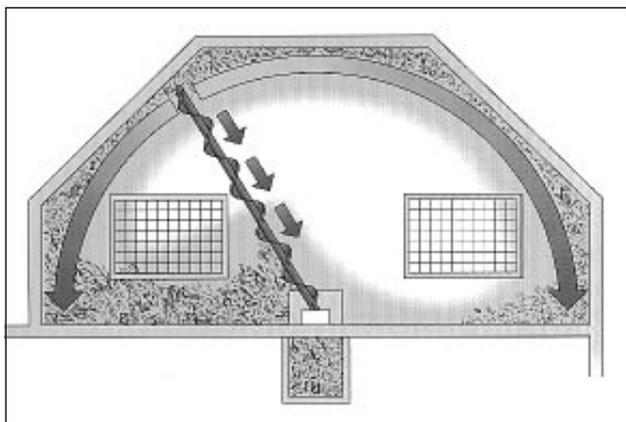
Coclea pendolare

Vantaggi:

- costruzione semplice
- poche formazioni di ponti
- grandi altezze dei silo (purché siano previste aperture adeguate)
- nessun comando all'interno del silo.

Svantaggi:

- superficie del silo non pienamente sfruttata, resta un volume inutilizzato
- sensibile alla presenza di grossi pezzi di combustibile (pezzi finali e corpi estranei devono essere tolti).



Coclea pendolare

Scopo: per lo scarico continuo di silo a pianta quadrata o rettangolare.

Funzionamento: il dispositivo di trasporto è sistemato ai bordi del silo. Il trasportatore a coclea di caricamento oscilla circolarmente entro un settore limitato del pavimento del silo e spinge il combustibile ligneo verso il sistema di trasporto.

Osservazioni: la coclea pendolare è utilizzata principalmente per silo a pianta quadrata o rettangolare. I comandi sono posti all'esterno del silo.

Impiego: adatto per trucioli verdi provenienti dal bosco, minuzzoli e polvere residui dalle aziende della lavorazione del legno, purché esenti da corpi estranei e pezzi finali.

Contenitore con sistema di trasporto quale sostituto del silo

Scopo: carico diretto di un impianto di riscaldamento mediante un sistema di contenitori mobili.

Funzionamento: il contenitore carico di trucioli di legna (volume di carica circa 30 m³) viene scaricato dal camion. Il sistema di trasporto interno è agganciato al sistema di carica dell'impianto di riscaldamento che regola il flusso di combustibile proveniente dal contenitore. Un altro contenitore carico è a disposizione per la sostituzione allo scopo di non interrompere l'apporto di carburante.

Osservazioni: nessuna infrastruttura fissa. La quantità dei contenitori di riserva dipende dalla potenza della caldaia. La fornitura continua di contenitori di trucioli dev'essere garantita. Questa forma di approvvigionamento di trucioli è ottenibile per intanto solo nella Svizzera nord-occidentale, dove è possibile il nolo dei contenitori.

Impiego: adatto per trucioli di bosco verdi.

Caricamento e trasporto nei magazzini di deposito

Caricatore su gomma

Scopo: carico e scarico di depositi e magazzini coperti o all'aperto.

Funzionamento: il caricatore trasporta la legna fornita o prodotta sul posto nel magazzino o la distribuisce nella discarica. Da qui si carica un pre-silo secondo il fabbisogno.

Osservazioni: grande dispendio di tempo ed energia. Il caricatore non può essere automatizzato; è però utilizzabile in modo polivalente.

Contenitore con sistema di trasporto quale sostituto del silo

Vantaggi:

- nessun investimento per un silo stazionario
- tempi di carico ridotti al momento della fornitura della legna.

Svantaggi:

- dipendenza dal fornitore di legna
- necessità di una superficie di deposito esterna al sistema di riscaldamento
- è vantaggiosa una semplice protezione visiva del contenitore (protezione dal vento in inverno)
- costi di esercizio maggiori a causa del noleggio dei contenitori (circa fr. 6.- / giorno).



Caricatore su gomma

Vantaggi:

- non legato a un luogo preciso e polivalente
- può essere adattato al tipo di carburante
- possibilità di separare diversi tipi di combustibili.

Svantaggi:

- grande impiego di personale
- grande consumo energetico
- rumoroso.



Gru da magazzino

Vantaggi:

- adattabile specialmente al tipo di combustibile
- possibilità di automazione, benché complessa.

Svantaggi:

- sensata solo per grosse superfici di deposito
- nella maggioranza dei casi a comando manuale
- esercizio dispendioso, dovere di manutenzione regolato dalla legge.



Gru da magazzino

Scopo: carico e scarico di magazzini.

Funzionamento: la gru a benna assume il carico e lo scarico del magazzino automaticamente o con comando manuale. La gru afferra la legna da ardere da una discarica o da un serbatoio dall'alto e carica un silo giornaliero.

Osservazioni: indipendente da altezza e superficie all'interno delle dimensioni dei binari della gru. Volume di carico orario: max. 60 m³.

Trasporto a palette raschianti a catena

Scopo: trasporta legna da ardere di tutte le dimensioni sia orizzontalmente che verticalmente.

Funzionamento: il trasporto a palette raschianti a catena funziona in modo analogo al nastro trasportatore. Due catene parallele scorrono in una costruzione a cassa chiusa. Fra di esse sono montati dei trascinatori che trasportano la legna nel luogo definito.

Osservazioni: il trasporto a palette raschianti a catena può essere utilizzato per diversi tipi di combustibile, indipendentemente dal loro tenore di acqua. Il trasporto è possibile sia orizzontalmente che a verticalmente, ma sempre solo in modo lineare. Con certi accorgimenti, è possibile caricare anche sili o depositi di grandi superfici (diverse aperture di scarico, trasporti trasversali mobili).

Trasporto a palette raschianti a catena

Vantaggi:

- grande capacità di carico
- possibilità di impiego multiforme.

Svantaggi:

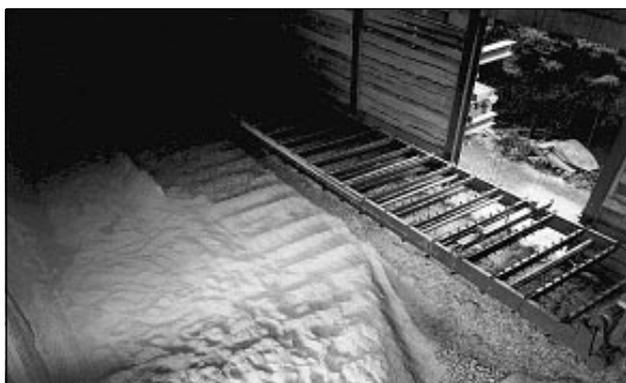
- costruzione costosa
- costi di investimento alti
- necessità di sorveglianza e manutenzione
- rumore.

Sistema di carico e scarico mediante trasportatore a palette raschianti a catena mobili, orizzontali e verticali**Vantaggi:**

- utilizzo ottimale del volume del silo
- adattabile al tipo di legna da ardere.

Svantaggi:

- ragionevole solo per grandi superfici di deposito
- costruzione costosa.

**Sistema di carico e scarico mediante trasportatore a palette raschianti a catena mobili, orizzontali e verticali**

Scopo: carico e distribuzione automatica in magazzini di deposito.

Funzionamento: un trasportatore a palette raschianti a catena con trascinatori trasversali è montato all'interno di un telaio regolabile in altezza e spostabile orizzontalmente. In questo modo, si adatta automaticamente il sistema di carico e scarico al grado di carica del magazzino. Durante il carico il sistema agisce da distributore, durante lo scarico esso trasporta la legna da ardere verso l'alimentazione della caldaia.

Osservazioni: si adatta sempre alla scorta presente nel magazzino. Lunghezza utile fino a circa 28 m.

4.2 Sistemi di trasporto

Trasporto pneumatico

Scopo: trasporto orizzontale o verticale.

Funzionamento: la legna da ardere secca e di piccole dimensioni viene trasportata nel silo da una corrente d'aria prodotta da un ventilatore a pressione. Grazie alla superficie della sezione di passaggio più grande nel silo stesso, la pressione diminuisce e i trucioli cadono nel silo. Un sistema automatico di pulizia filtra le piccole particelle dall'aria espulsa. Negli impianti centrali di aspirazione, un ciclone divide l'aria di trasporto dal combustibile. In funzione della quantità di particelle fini può essere necessario un secondo filtro per l'aria espulsa. Negli impianti isolati, l'aria di trasporto viene riutilizzata.

Osservazioni: è necessaria una progettazione precisa in funzione del tipo di legna da ardere. Sistema indipendente da altezza o lunghezza di trasporto. Più o meno rumoroso secondo il tipo di isolamento fonico.

Impiego: adatto per minuzzoli e polvere secchi residui dalla lavorazione del legno.

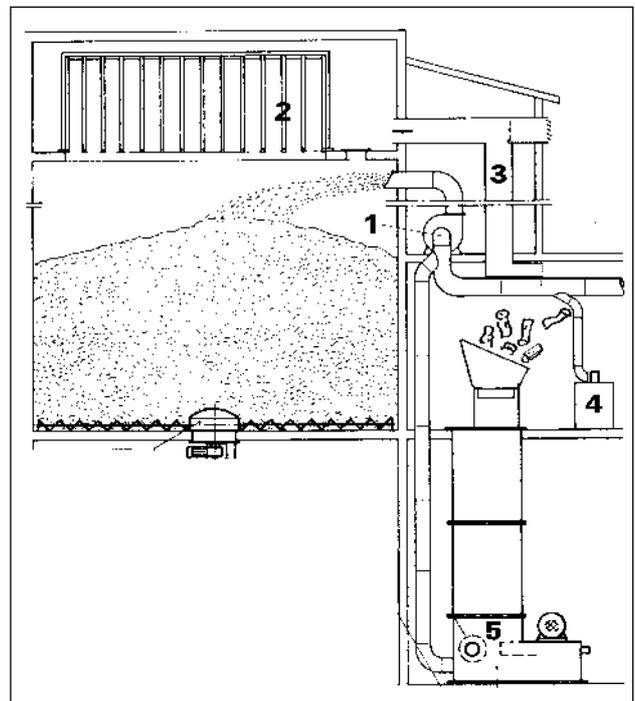
Trasporto pneumatico

Vantaggi:

- ben adattabile alla situazione dello stabile
- pulito
- adatto a superare senza problemi grandi distanze orizzontali o verticali.

Svantaggi:

- solo per combustibile di piccole dimensioni e secco
- sensibile ad un alto tenore di acqua
- rumoroso
- necessità di attrezzature del silo supplementari
- pericolo di esplosione a causa della presenza di polvere
- alto consumo energetico.



- 1 Ventilatore
- 2 Filtro
- 3 Canale di ritorno dell'aria
- 4 Impianto di preparazione della legna
- 5 Trituratore con apertura per residui di legna in pezzi di grandi dimensioni

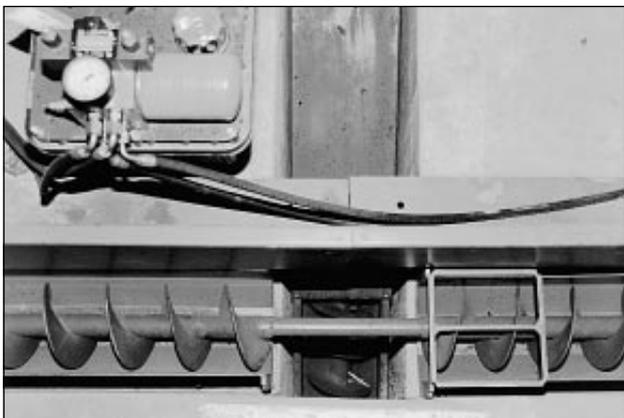
Trasporto a coclea

Vantaggi:

- rendimento elevato
- cubatura dell'impianto ridotta
- costruzione conveniente e semplice
- utilizzo semplice
- consumo di energia elettrica contenuto.

Svantaggi:

- possibilità di trasporto solo di combustibile ligneo di piccole dimensioni (esente da pezzi finali e corpi estranei)
- trasporto lineare senza curve
- pendenza di trasporto limitata.



Sistema a spinta

Vantaggi:

- poco soggetto a guasti
- indipendente da forma, dimensione e tenore di acqua della legna da ardere
- nessun comando all'interno del silo.

Svantaggi:

- forze di taglio importanti sull'edificio
- lunghezza e quantità di trasporto limitate
- possibilità di impiego unicamente lineare.



Trasporto a coclea

Scopo: trasporto orizzontale o leggermente inclinato.

Funzionamento: una spirale a coclea semplice o doppia trasporta la legna da ardere in un tubo chiuso o libero. Il movimento è generato da un motore elettrico regolabile. La spirale è a lamina intera oppure a griglia. Il diametro del fuso centrale è determinante per la dimensione della legna da ardere da trasportare.

Osservazioni: indipendente dal tenore di acqua del combustibile. Costruzione semplice e manipolazione non complicata.

Impiego: adatto per ogni tipo di combustibile.

Sistema a spinta

Scopo: trasporto orizzontale di legna da ardere.

Funzionamento: uno o più pistoni idraulici spostano avanti e indietro delle aste di spinta recanti dei profili trasversali quali trascinatori. Grazie alla forma a cuneo dei trascinatori, il combustibile viene spinto nella direzione desiderata. Il peso sul sistema di trasporto determina le forze di taglio.

Osservazioni: le forze prodotte dai pistoni idraulici devono essere sopportate dall'edificio.

Impiego: adatto per ogni tipo di combustibile.

Trasporto a palette raschianti a catena

Scopo: trasporto da orizzontale a verticale.

Funzionamento: il trasporto a palette raschianti a catena funziona in modo analogo al nastro trasportatore. Due catene parallele scorrono in una costruzione a cassa chiusa. Fra di esse sono montati dei trascinatori che trasportano la legna nel luogo definito.

Osservazioni: il trasporto è possibile sia orizzontalmente che a verticalmente, ma sempre solo in modo lineare. Con certi accorgimenti il sistema può venir utilizzato anche come distributore nel silo.

Impiego: adatto ad ogni tipo di combustibile.

Trasporto a palette raschianti a catena

Vantaggi:

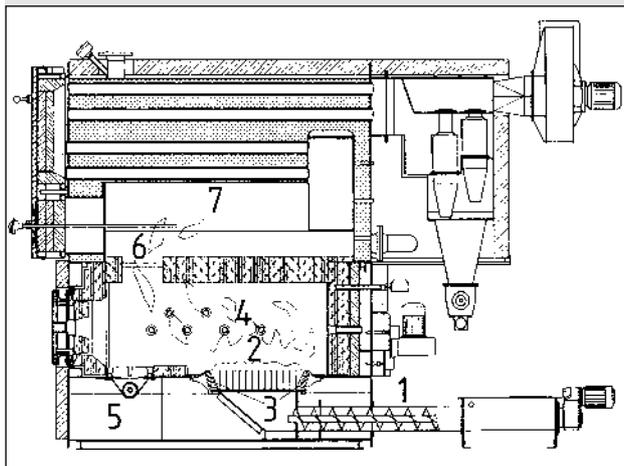
- grande capacità di carico
- possibilità di impiego multiforme.

Svantaggi:

- costruzione costosa
- costi di investimento alti
- necessità di sorveglianza e manutenzione
- rumore.



Impianto di combustione a carica inferiore



Schizzo di principio

- | | |
|----------------------------|-------------------------|
| 1 Apporto del combustibile | 5 Scarico della cenere |
| 2 Conca di combustione | 6 Zona di spegnimento |
| 3 Aria primaria | 7 Scambiatore di calore |
| 4 Aria secondaria | |

Dati di funzionamento

Potenza di riscaldamento	20 kW - 2.5 MW
Modo di funzionamento	Potenza erogata regolabile dal 30% al 100% Possibilità di regolazione della combustione
Carica	Automatica
Combustibile	Trucioli di campagna o di bosco Minuzzoli con al massimo 50% di polvere
Pulizia della caldaia	Tenore di acqua $w = 5-50\%$ L'asportazione delle ceneri avviene manualmente o automaticamente. È necessaria una pulizia manuale almeno ogni 4 settimane.

Da tenere presente in modo particolare

- La camera di post-combustione dev'essere adatta alla qualità del combustibile (in particolare al suo tenore di acqua).
- L'aria primaria dev'essere apportata in modo uniforme nella conca di combustione.
- Impianti a più stadi di potenza ottengono a ogni stadio un buon rendimento.

4.3 Sistemi di combustione

Il mercato offre numerosi sistemi di combustione che si differenziano principalmente per la tecnica di combustione, la potenza e il grado di automazione. Per un impianto di combustione a legna si deve innanzitutto prestare attenzione a che il sistema sia adatto al tipo di combustibile dato, che sia poco soggetto a guasti e si attenga ai limiti posti dall'Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico.

Impianto di combustione a carica inferiore

Processo di combustione

Il sistema di caricamento trasporta la legna da ardere dal silo o dal contenitore giornaliero nella conca (storta) in cui avviene la combustione. L'aria per la combustione è addotta mediante ventilatori sul pavimento della conca di combustione quale aria primaria e attraverso la conca stessa quale aria secondaria. Nella camera di post-combustione sovrastante bruciano i gas distillati a bassa temperatura. A combustione terminata essi sono portati allo scambiatore di calore.

Funzionamento

Il funzionamento del riscaldamento è automatico. In caso di fabbisogno termico vengono inseriti il trasportatore di combustibile e l'alimentazione dell'aria. Quando non v'è più fabbisogno essi vengono disinseriti. Per mantenere viva la fiamma l'impianto di combustione viene inserito periodicamente (mediante temporizzatori). La quantità di combustibile è regolata variando la velocità del sistema di trasporto oppure gli intervalli di lavoro del convogliatore. La regolazione deve adattarsi al tipo di combustibile utilizzato. Oggigiorno, queste funzioni sono programmabili in centrali di regolazione. Gli impianti attuali a più stadi di potenza sono progettati in modo che a ogni stadio si ottenga una buona combustione con un alto rendimento. L'eccesso di aria ottimale si situa intorno a $\lambda = 1.5-2.0$.

Osservazioni

Negli impianti di combustione a carica inferiore possono essere bruciati trucioli con tenore di acqua dal 5% al 50%. Focolare e camera di post-combustione devono tuttavia essere adeguati alla qualità del combustibile, in particolare al suo tenore di acqua. Un impianto previsto per la combustione di trucioli con tenore di acqua di 50% raggiungerebbe una temperatura troppo elevata del focolare nel caso si utilizzasse un combustibile secco. Questo potrebbe portare a problemi di materiale e alla formazione di scorie.

Avancrogiolo a griglia

Processo di combustione

Sono definiti avancrogioli i sistemi di combustione funzionanti in modo separato dalla caldaia. Il combustibile viene trasportato nell'avancrogiolo dalla zona di essiccazione alla zona dei gas distillati a bassa temperatura e quindi alla zona di combustione. Dopo aver attraversato un collo, i gas distillati a bassa temperatura si mescolano con l'aria secondaria e sono addotti alla camera di combustione della caldaia dove hanno luogo la post-combustione e il trasferimento del calore all'acqua per il riscaldamento.

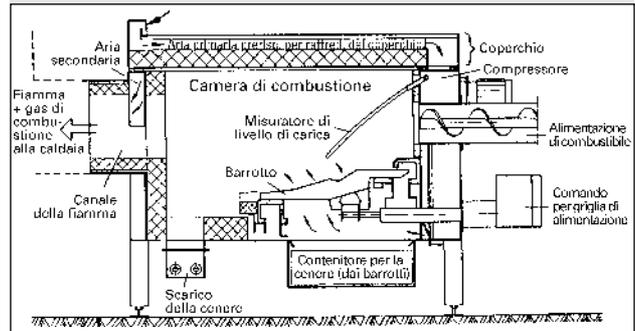
Funzionamento

Una coclea carica automaticamente l'avancrogiolo con trucioli di legna. La post-combustione dei gas distillati a bassa temperatura avviene nella camera di post-combustione della caldaia. La potenza dell'impianto è regolabile.

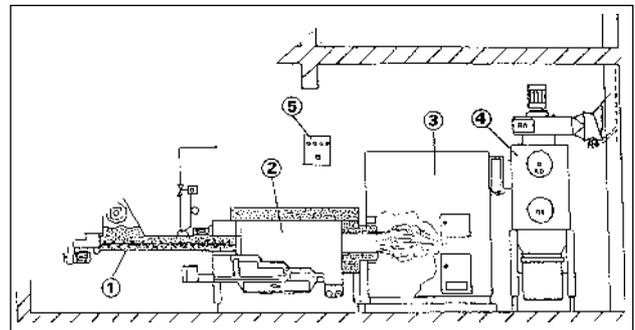
Osservazioni

Gli avancrogioli generano temperature elevate, il che costituisce un ottimo presupposto per una buona combustione con emissioni limitate. Tuttavia, si osserva che gli avancrogioli non isolati e non raffreddati ad acqua presentano grandi perdite di calore per irraggiamento.

Avancrogiolo



Avancrogiolo (senza caldaia)



Avancrogiolo (con caldaia e separatore di polveri)

- 1 Coclea dosatrice
- 2 Avancrogiolo con griglia di alimentazione
- 3 Caldaia
- 4 Separatore di polveri
- 5 Quadro di comando

Dati di funzionamento

Potenza di riscaldamento	Fino a 2 MW
Modo di funzionamento	Potenza erogata regolabile dal 30% al 100% regolazione della combustione
Carica	Automatica
Combustibile	Trucioli di campagna o di bosco, minuzzoli, residui di falegnameria e cantiere
Pulizia della caldaia	Tenore di acqua $w = 5-45\%$ L'asportazione di ceneri avviene manualmente o automaticamente. Almeno ogni 4 settimane è necessaria una pulizia manuale.

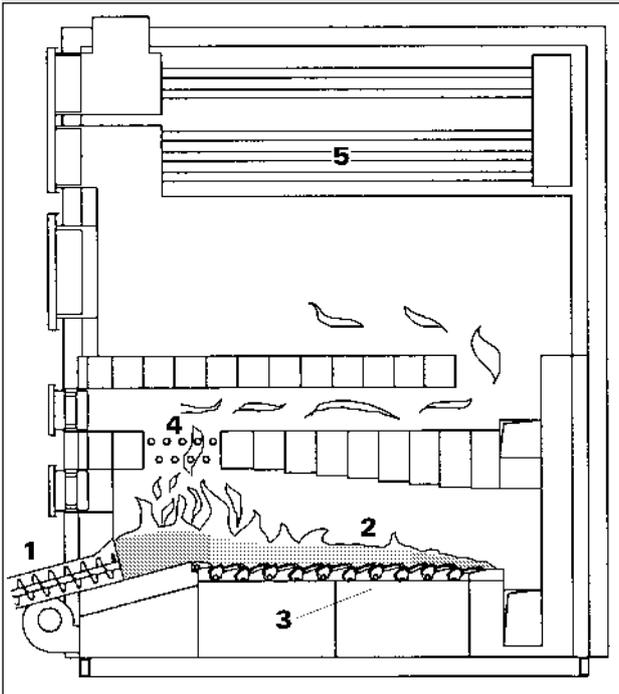
Varianti del sistema

- Griglia semplice (mobile o fissa)
- Griglia a gradini (mobile o fissa)
- Bruciatore a galleria
- A carica inferiore

Osservazioni particolari

- Avancrogiolo e caldaia devono essere adattati l'uno all'altro.

Impianto di combustione con griglia a avanzamento frontale



- | | |
|----------------------------------|-------------------------|
| 1 Alimentazione del combustibile | 3 Aria primaria |
| 2 Griglia | 4 Aria secondaria |
| | 5 Scambiatore di calore |

Dati di funzionamento

Potenza di riscaldamento	Da 150 kW
Modo di funzionamento	Potenza erogata regolabile dal 30% al 100% regolazione della combustione
Carica Combustibile	Automatica Residui lignei, minuzzoli, polvere fino al 10%, corteccia, trucioli di bosco e di campagna. Tenore di acqua $w = 5-60\%$
Pulizia della caldaia	L'asportazione di ceneri avviene manualmente o automaticamente. Almeno ogni 4 settimane è necessaria una pulizia manuale.

Impianto di combustione con griglia a avanzamento frontale

Processo di combustione

La legna da ardere è portata dal silo su una griglia fissa o mobile, normalmente da un trasportatore a coclea o a spinta. Mediante adduzione di aria primaria dalla griglia e secondaria sopra la zona di combustione, il combustibile passa dalle fasi di essiccazione, gasificazione e combustione. Al termine della griglia, le ceneri vengono asportate automaticamente.

Funzionamento

Il procedimento di riscaldamento avviene in modo completamente automatico. L'inserimento e il disinserimento in funzione del fabbisogno termico avvengono come per il sistema di combustione a carica inferiore. Secondo il sistema di griglia, alcuni fabbricanti offrono solo soluzioni monostadio. Impianti più attuali a più stadi sono per contro concepiti in modo che ad ogni stadio si ottenga una combustione ad alto rendimento. L'eccesso di aria ottimale si situa intorno a $\lambda = 1.5 - 2.0$.

Osservazioni

Gli impianti di combustione a griglia sono adatti in modo particolare per combustibili che producono molta cenere e scorie e combustibili ad alto tenore di acqua. In modo particolare negli impianti con griglia a avanzamento frontale con fiamma di ritorno (principio della controcorrente), nella prima parte della griglia ha luogo una pre-essiccazione, il che consente di bruciare del combustibile con tenore di acqua fino a 60%.

Variante del sistema a griglia con avanzamento frontale

- Griglia semplice
- Griglia scorrevole

Altre varianti del sistema a griglia

- Griglia a coclea
- Griglia mobile a catena

Osservazioni particolari

- Il sistema della griglia dev'essere adatto al tipo di combustibile.
- La camera di combustione dev'essere adatta alla qualità del combustibile (in particolare al suo tenore di acqua).
- Esistono impianti a più stadi di potenza, ma non tutti i fabbricanti li offrono. Ogni stadio di potenza dovrebbe ottenere un alto rendimento con emissioni ridotte. L'eccesso di aria ottimale si situa intorno a $\lambda = 1.5 - 2.0$.

Impianto di combustione a carica automatica

Processo di combustione

Una centrifuga trasporta la legna da ardere nel focolare e la distribuisce regolarmente su tutta la zona della brace. Il combustibile ligneo viene portato direttamente sulla brace, contrariamente a ciò che avviene negli impianti a carica inferiore. L'aria primaria è addotta attraverso la zona della brace, quella secondaria viene iniettata sopra quest'ultima.

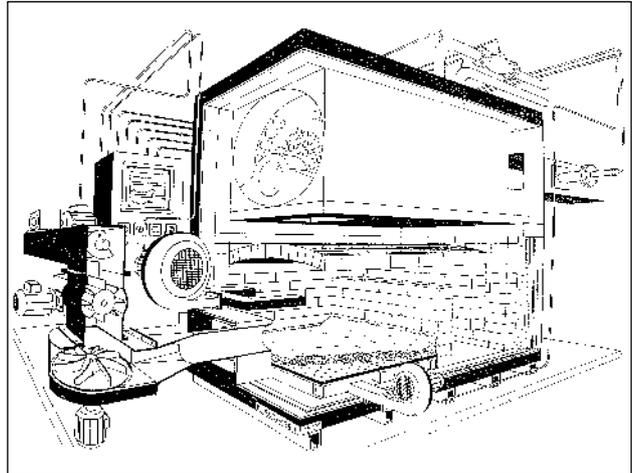
Funzionamento

Il procedimento di riscaldamento avviene in modo completamente automatico. La quantità d'aria necessaria alla combustione viene regolata da una sonda nei gas di scarico (sonda Oxi, che reagisce ai gas combustibili) per ridurre al minimo la parte di gas combustibili nei gas di scarico. L'apporto di combustibile è determinato sia dalla temperatura della caldaia che dal fabbisogno termico momentaneo.

Osservazioni

Questo sistema di combustione è particolarmente adatto a combustibile secco, di piccole dimensioni e che produce poca cenere. Un funzionamento stazionario con condizioni ottimali di combustione può raggiungere un alto rendimento della caldaia a ogni stadio di potenza. L'eccesso di aria si situa intorno a $\lambda = 1.5 - 2.0$.

Impianto di combustione automatico caricato mediante centrifuga



Dati di funzionamento

Potenza di riscaldamento	Da 150 kW
Modo di funzionamento	Potenza erogata regolabile dal 30% al 100% regolazione della potenza
Carica	Automatica
Combustibile	Residui lignei, minuzzoli, con alta percentuale di polvere
Pulizia della caldaia	L'asportazione di ceneri avviene manualmente o automaticamente. Almeno ogni 4 settimane è necessaria una pulizia manuale.

Svolgimento del processo decisionale

1° passo: POTENZA ⇒ OFFERTA DI COMBUSTIBILE LIGNEO
In funzione della potenza si determina l'assortimento della legna da ardere.
2° passo: ASSORTIMENTO DELLA LEGNA ⇒ SISTEMA DI COMBUSTIONE
Ad ogni assortimento di legna corrispondono ben precisi sistemi di combustione.
3° passo: SISTEMA DI COMBUSTIONE ⇒ FORNITORE
Per la scelta del fornitore della caldaia si devono prendere in considerazione diversi criteri.
<ul style="list-style-type: none"> • Confronto del grado di sfruttamento annuo. • Valori misurati del rendimento e delle emissioni (misurazioni ufficiali). • Tempo di combustione e dimensioni della caldaia. • Garanzia e condizioni di fornitura. • Prezzo e prestazioni di servizio.

4.4 Criteri di scelta del sistema di combustione

I diversi sistemi di combustione sono più o meno adatti ai diversi campi di applicazione. I criteri di scelta principali sono:

- l'assortimento della legna da ardere
- la potenza calorica

Anche all'interno della stessa categoria di impianti di combustione (p. es. griglia con avanzamento frontale) vi sono grosse differenze fra i diversi fornitori. La scelta dell'impianto di combustione dev'essere fatta dal fornitore dell'impianto o mediante discussione con il fornitore stesso. In ogni modo per orientarsi può essere di aiuto sapere quali sistemi di combustione sono più adatti in funzione del tipo di combustibile e della categoria di potenza.

Campo di applicazione dei più importanti sistemi di combustione

Sistema di combustione	Potenza [kW]	Assortimento di legna da ardere			
		A	B	C	D
A carica inferiore	20 – 2500	–	++	++	–
Avancrogiolo	< 2000	+	++*	+	–
A griglia con avanzamento frontale	>150	++	+	+	++

Assortimento di legna da ardere

- A = Trucioli residui da cantiere
- B = Trucioli e minuzzoli
Tenore di acqua w = 5-50%
- C = Trucioli e minuzzoli con al massimo 50% di polvere
Tenore di acqua w < 20%
- D = Trucioli e corteccia
Tenore di acqua w < 60%

Valutazione

- non adatto
- + adatto
- ++ adatto, campo di applicazione ottimale
- * tenore di acqua massimo 45%

5. Studi preliminari e progetti di massima

5.1	Definizioni preliminari	87
	Aspetti ecologici	87
	Aspetti economici	87
	Aspetti funzionali	88
	Interesse pubblico	88
<hr/>		
5.2	Legna di bosco e residui di legna: differenze di procedimento	89
	Differenze nella progettazione	89
	Legna da ardere di bosco	89
	Residui dalla lavorazione del legno	90
<hr/>		
5.3	Svolgimento degli studi preliminari e dell'avanprogetto	91
	Prese di contatto preliminari	91
	Procedimento per gradi	91
	Principi subordinanti di progettazione	92
<hr/>		
5.4	Definizione dei principi	93
	Premesse costruttive e di esercizio	93
	Provenienza e condizioni di fornitura della legna da ardere	93
	Teleriscaldamento	93
	Combinazione con altri vettori energetici	93
	Disposizioni legali	94
	Tipi di impianti di combustione	94
<hr/>		
5.5	Progetto di massima	95
	Valutazione della potenza calorica e del fabbisogno annuo di combustibile	95
	Dimensionamento del produttore di calore	95
	Denitrurazione e condensazione dei gas di scarico	95
	Dimensionamento del silo per il combustibile	96
	Deposito di trucioli intermedio stagionale	97
	Fabbisogno di spazio e dimensioni del locale riscaldamento	97
<hr/>		
5.6	Abbozzo della valutazione dei costi	98
	Scopo	98
	Valutazione del costo del calore utile	98
<hr/>		
5.7	Confronto delle varianti	99
	Forma e contenuto	99
	Confronto dell'economicità	99
	Struttura dei costi del prezzo del calore utile	100
	Influsso del prezzo dell'energia sull'economicità	100
	Influenza dei fattori più importanti	100
<hr/>		
5.8	Progetto di massima	101
	Punto di partenza in funzione della scelta del sistema	101
	Ubicazione dell'impianto di combustione, della canna fumaria e del silo	101
	Integrazione dell'attrezzatura di asportazione della cenere	101
	Attrezzature di sicurezza speciali	102

5. Studi preliminari e progetti di massima

5.1 Definizioni preliminari

Aspetti ecologici

Finché non si consuma più legno di quanto ne cresce, bruciandolo non si immette nell'atmosfera ulteriore CO₂. Lo sfruttamento dell'energia derivata dal legno è, in questo senso, neutrale, il che costituisce un grande vantaggio rispetto ai combustibili fossili.

Per confrontare le emissioni nocive di un impianto di combustione a legna con impianti a olio combustibile o gas, non si devono considerare unicamente le emissioni dal camino, ma tutto il bilancio ecologico della catena di approvvigionamento. In questo modo è possibile valutare i vantaggi di un vettore energetico indigeno e rinnovabile quale è il legno.

- Migliore cura del bosco e protezione dalle valanghe nelle regioni di montagna.
- Creazione di posti di lavoro in regioni economicamente deboli.
- Sostegno all'economia forestale, in modo particolare nelle regioni di montagna svantaggiate geograficamente.

Se il consumo odierno di legna da ardere aumentasse di 1 mio m³, quello di olio combustibile sarebbe ridotto di 200000 t e si creerebbero 1200 posti di lavoro in Svizzera. Con 90 milioni di fr. all'anno di maggiori costi economici si ridurrebbe l'immissione di CO₂ nell'atmosfera di 621000 t (UFAP pubblicazione 131).

Aspetti economici

I costi indotti dal consumo energetico dovuti a danni alla natura e all'ambiente, ai maggiori costi della salute ecc., non sono coperti dai responsabili, ma scaricati sulle generazioni future o sopportati dalla comunità.

Lo Stato ha elaborato delle direttive di calcolo per coprire i costi indotti mediante un supplemento del prezzo dell'energia. In questo modo i vantaggi dell'utilizzo del legno rispetto ad altri vettori energetici sono ancora più evidenti. Le scelte di investimento possono essere così meglio valutate e i diversi vettori energetici possono essere confrontati sulla base dei costi reali.

Emissioni di sostanze nocive dal camino

Sostanza nociva	Imp. di combustione a olio combustibile		Imp. di combustione a trucioli di legna*	
	mg/m ³	mg/kWh	mg/m ³	mg/kWh
Biossido di zolfo SO ₂	248	312	38	71
Monossido di carbonio CO	18	23	712	1317
Ossidi di azoto NO _x	72	90	232	429
Polvere	14	18	142	263
Biossido di carbonio CO ₂	215000	270000	0 **	0 **
Idrocarburi HC	24	30	6	10

Combustione di legna naturale

** La combustione di legna libera circa 300 mg di CO₂/m³ che tuttavia non caricano ulteriormente il ciclo del CO₂

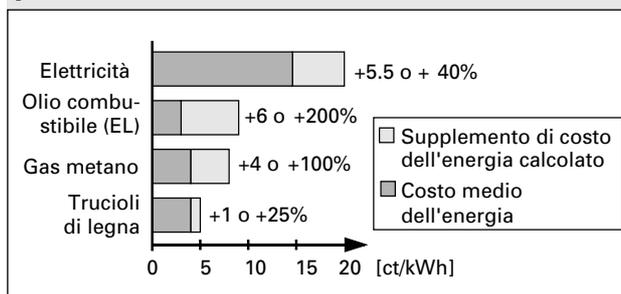
Carico ambientale di sostanze nocive dalla catena di approvvigionamento completa

Sostanza nociva	Imp. di combustione a olio combustibile		Imp. di combustione a trucioli di legna*	
	Indigeno	Globale	Indigeno	Globale
	mg/kWh	mg/kWh	mg/kWh	mg/kWh
Biossido di zolfo SO ₂	358	663	77	77
Monossido di carbonio CO	27	47	1412	1412
Ossidi di azoto NO _x	115	244	521	521
Polvere	19	24	271	271
Biossido di carbonio CO ₂	275000	300000	7	7
Idrocarburi HC	84	161	41	41

* Combustione di legna naturale

Fonte: UFAP pubblicazione 131, Energie aus Heizöl oder Holz, Berna 1990
Cifre convertite in kWh di energia finale

Costi dell'energia e calcolo del supplemento per costi indotti



Fonte: Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge im Strom- und Wärmebereich, UCFSM, no. 724.270 d, UCFSM, 3000 Berna, Berna 1994

Operazioni necessarie per il funzionamento dell'impianto

Giornalmente:

- controllo dell'aspetto della fiamma e della temperatura dei gas di scarico
- vuotatura del cassetto delle ceneri
- inoltre, all'inizio del periodo di riscaldamento: messa in funzione della combustione con accensione manuale.

Settimanalmente:

- pulizia della conca di combustione con aspiratore per la cenere
- ogni due o tre settimane pulizia con aspiratore dei canali del fumo
- vuotatura del contenitore delle ceneri da 90 l
- controllo del livello dell'olio delle installazioni idrauliche
- controllo del livello di carica di trucioli nel silo
- secondo necessità: ordinazione e controllo della fornitura di trucioli.

Semestralmente:

- pulizia generale (in accordo con lo spazzacamino)
- alla fine della stagione: pulizia del silo con la pala (togliere i resti di trucioli lasciati dal sistema di trasporto)
- cambio dell'olio delle attrezzature idrauliche.

L'ASEL quale punto di riferimento per informazioni

L'Associazione svizzera per l'energia del legno (ASEL) promuove un utilizzo della legna da ardere sensato, rispettoso dell'ambiente, moderno e efficiente. Essa mantiene un servizio di informazione e consulenza, comunica indirizzi, fornisce lavoro di pubblicità, conduce il progetto di promozione del legno del progetto di azione Energia 2000 e prende costantemente posizione sulle questioni di politica energetica.

L'ASEL è il punto di riferimento principale per ogni cerchia di persone che si interessa in qualsiasi forma all'energia ricavata dal legno.

Schweizerische Vereinigung für Holzenergie VHe
Falkenstrasse 26
8008 Zürich
Tel. 01/252 30 70

Association suisse pour l'énergie du bois ASEB
En Budron H6
1052 Le Mont-sur-Lausanne
Tel. 021/653 07 77

Aspetti funzionali

Gli impianti attuali automatici permettono di ridurre al minimo il servizio necessario. Ciò nonostante, il futuro proprietario deve sapere che, rispetto ad un impianto a gas o a olio combustibile, è necessario più impegno per il servizio e la manutenzione.

Il servizio per un impianto di combustione a legna richiede operazioni giornaliere, settimanali e semestrali.

Interesse pubblico

In molte regioni della Svizzera sussiste un interesse pubblico ad aumentare il consumo della legna da ardere indigena, per ragioni di economia forestale ed ecologiche. Questo interesse si oppone spesso alla ricerca di convenienza dei costi dell'impianto da parte del committente.

Per conciliare in parte questi interessi divergenti, la Confederazione ed alcuni cantoni favoriscono gli impianti di combustione a legna mediante aiuti all'investimento e contributi finanziari.

La ricerca delle possibilità di aiuti e sovvenzioni è di competenza del progettista. Una presa di contatto tempestiva con possibili sovvenzionatori è sempre vantaggiosa, anche quando lo stadio dell'avanprogetto non garantisce definitivamente l'assegnazione di contributi.

Inoltre, alcune banche offrono crediti a tassi d'interesse ridotti per impianti ecologici. Anche in questo caso vale la pena di informare il committente su queste opportunità di aiuto finanziario.

5.2 Legna di bosco e residui lignei: differenze di procedimento

Differenze nella progettazione

Il legno non è un combustibile omogeneo con caratteristiche fisiche e chimiche costanti. Forma, contenuto energetico e tenore di acqua cambiano da una fornitura all'altra e possono differire fortemente in funzione della provenienza e della preparazione. Queste differenze influenzano anche gli impianti tecnici necessari al trasporto, al magazzino e alla combustione.

Mentre per la legna da ardere proveniente dal bosco vi è una grande offerta di sistemi e componenti collaudati, per i residui provenienti dalle aziende di lavorazione del legno le condizioni sono nettamente più difficili. Spesso, oltre ai problemi termici, vi sono anche problemi di esercizio, come la raccolta di minuzzoli e polvere da piallatura dalle macchine che lavorano il legno, la preparazione successiva dei trucioli (ad es. la preparazione di bricchette) o l'acquisto di sminuzzatori adatti per i pezzi residui.

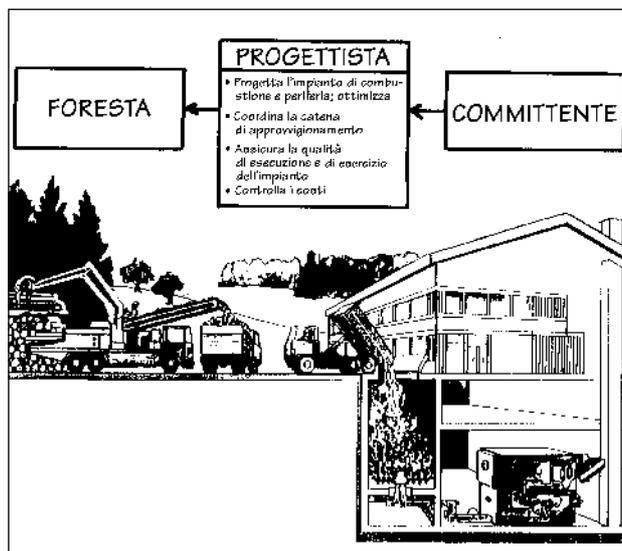
Legna da ardere di bosco

Per la legna da ardere di bosco si deve innanzitutto garantire un passaggio senza attrito dalla catena di approvvigionamento all'impianto di combustione. Occorre differenziare il caso in cui il responsabile dell'impianto è contemporaneamente anche fornitore della legna (p. es. un comune proprietario di un bosco) oppure se il combustibile viene fornito da terzi.

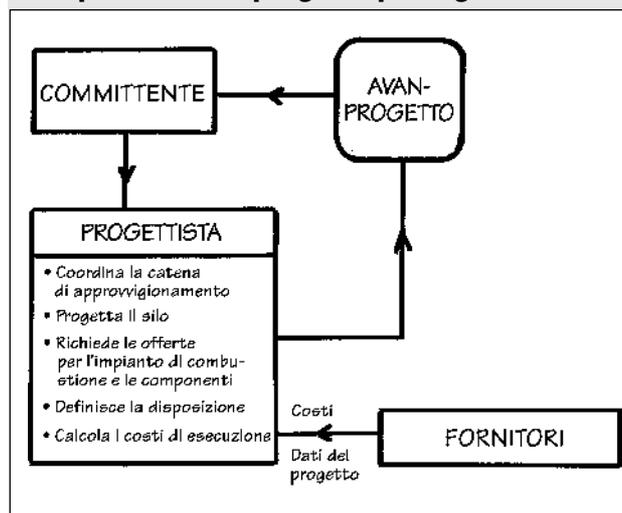
Il coordinamento con la catena di approvvigionamento è compito ulteriore del progettista. La Norma SIA sugli onorari non regola questa prestazione supplementare. Il progettista deve perciò accordarsi con il committente sulla retribuzione del caso.

Condizioni di progettazione per legna da ardere dal bosco

In primo luogo sono da considerare la preparazione, il magazzino e il trasporto della legna.

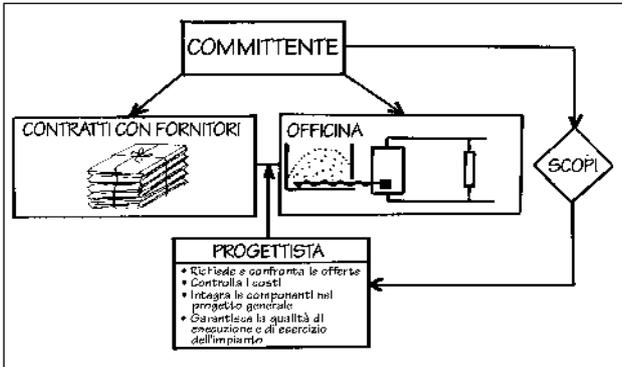


Compiti dell'avanprogetto per legna di bosco

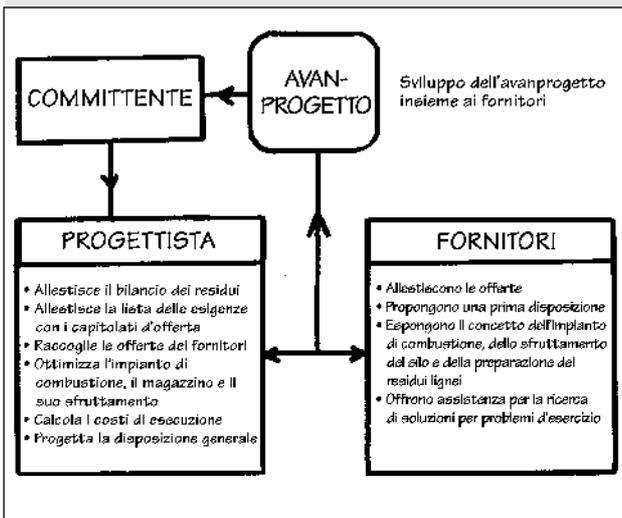


Condizioni di progettazione per aziende di lavorazione del legno:

In primo luogo sono da considerare i problemi di esercizio



Condizioni di progettazione per aziende di lavorazione del legno: in primo luogo sono da considerare i problemi di esercizio



Residui dalla lavorazione del legno

A causa delle particolarità di ogni azienda di lavorazione del legno è consigliabile affiancare al progettista senza conoscenze specifiche i relativi specialisti. Di regola, già in uno stadio precoce del progetto si devono contattare fornitori adatti di impianti di combustione e preparazione del legno. Il progettista indipendente deve fornire al committente l'aiuto necessario nella scelta del sistema e garantire la qualità di esecuzione dell'impianto e delle sue componenti.

La seguente pubblicazione dà una visione delle particolarità principali delle aziende di lavorazione del legno:

Energie aus Restholz
 Documentazione dell'omonimo corso PACER
 Ufficio federale dei problemi congiunturali
 Berna 1994
 UCFSM, no. 724.238 d

UCFSM, 3000 Berna

5.3 Svolgimento degli studi preliminari e dell'avanprogetto

Prese di contatto preliminari

Contrariamente ai sistemi convenzionali, la logistica del combustibile degli impianti a legna (provenienza, preparazione, trasporto, deposito intermedia) non è già determinata in precedenza. È compito centrale del progettista risolvere correttamente questo problema e presentare al committente le diverse possibilità di approvvigionamento. Per questo deve appoggiarsi ad alcuni specialisti, in particolare:

- fornitori di impianti adatti di combustione e trasporto di combustibile
- professionisti forestali con esperienza nel taglio della legna da ardere, nella preparazione della legna e nel trasporto di trucioli
- fornitori di legna da ardere con larga offerta di tecniche di caricamento del silo
- impresari con esperienza nella costruzione di sili.

Procedere per gradi

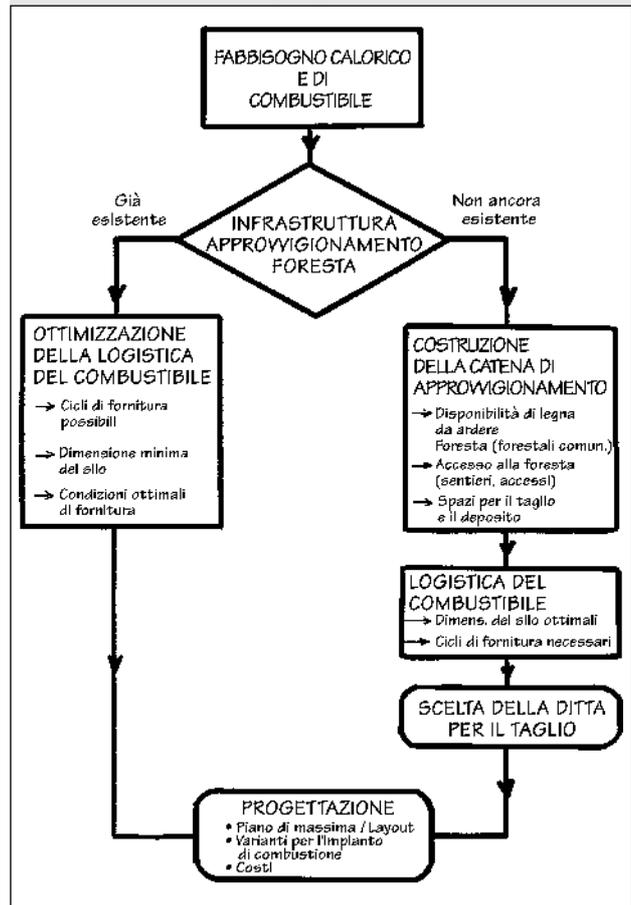
Per una realizzazione soddisfacente di un impianto automatico a combustione a legna occorre soddisfare determinate condizioni preliminari:

- devono essere date le condizioni di edificabilità
- l'ambiente della regione deve corrispondere
- il concetto di esercizio economico, compresa la struttura dei costi, deve reggere
- la struttura finanziaria dev'essere definita.

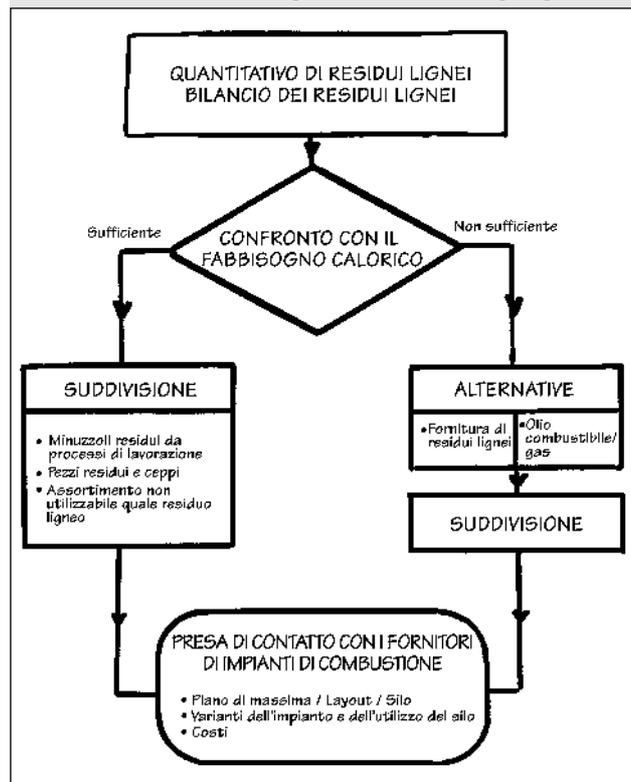
Prima dell'inizio della progettazione, il progettista deve chiarire una serie di punti e offrire il suo aiuto al committente nel processo decisionale per giungere infine alla proposta di soluzione. Un avanzamento solitario del progettista nella fase degli studi preliminari non può mai portare ad una soluzione soddisfacente. È necessario un procedimento per gradi, dove ad ogni passo del committente vengono preparate le basi adatte per la decisione successiva.

La fase degli studi preliminari si svolge come lavoro di gruppo formato da progettista, specialista forestale, fornitore dell'impianto di combustione e committente.

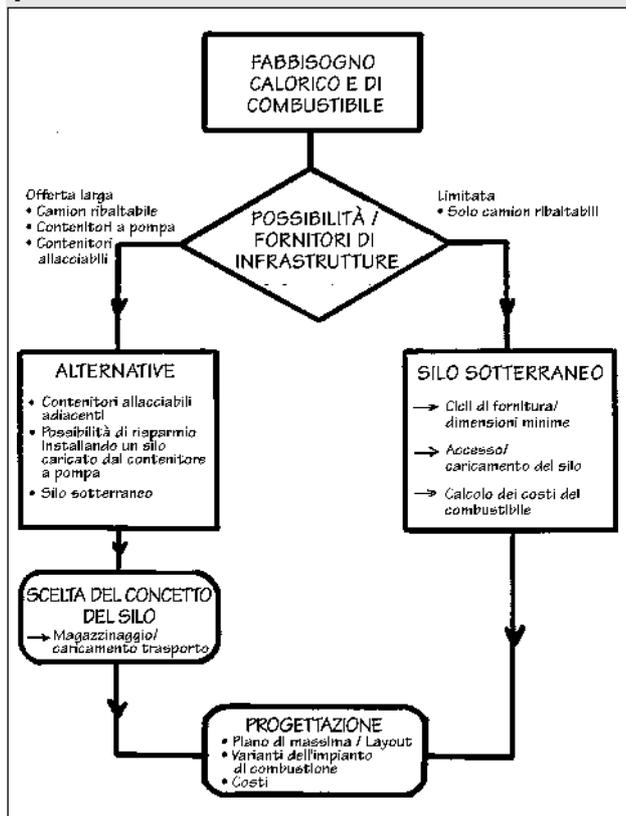
Caso N. 1: Comune proprietario di una foresta



Caso N. 2: Residui lignei in azienda propria



Caso N. 3: Fornitura di legna da ardere da parte di terzi



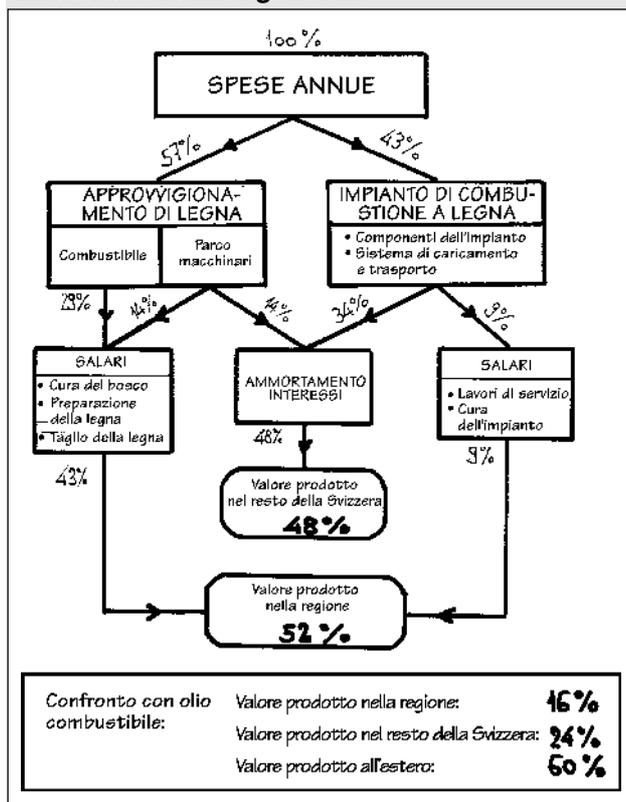
Principi subordinanti di progettazione

Prima dell'inizio degli studi preliminari si devono chiarire alcuni punti fondamentali. Oltre alla questione dell'ubicazione, dipendente dalla politica energetica e in materia di inquinamento atmosferico, devono essere esaminate anche le ricadute economiche nella regione e fissati gli obiettivi economici d'esercizio.

Politica regionale in materia di inquinamento atmosferico

Nell'ambito di agglomerazioni urbane, la diminuzione del carico degli ossidi di azoto ha la precedenza. Considerando la situazione locale delle emissioni si deve osservare che gli impianti di combustione a legna emettono maggiore quantità di ossidi di azoto rispetto a quelli a olio combustibile. Per questo motivo, dal punto di vista del carico ambientale, in zone a forte presenza di ossidi di azoto l'utilizzo di legna da ardere in grandi quantità è da evitare. È compito del progettista informarsi sulla politica in materia di inquinamento atmosferico in vigore al momento degli studi preliminari.

Effetti economici generali



Effetti economici generali

I grossi impianti (p. es. associazioni termiche) hanno una sicura importanza economica regionale. Un impianto di combustione a legna di 500 kW ha una ricaduta economica sulla regione di circa fr. 70'000.- all'anno di cui beneficiano sia il commercio locale che i fornitori di legna da ardere. Nelle zone di campagna, questa somma rappresenta circa un posto di lavoro, fatto questo importante in regioni economicamente deboli. Il progettista, nella sua veste di consulente, deve rendere attenti in modo particolare i comuni sulle ricadute economiche positive.

Obiettivi economici di esercizio

L'efficace concetto di esercizio di un impianto automatico di combustione a legna deve soddisfare certe condizioni. Le analisi dei costi di numerose reti termiche hanno dimostrato che sistemi efficaci possono produrre energia al costo di 8 - 12 ct/kWh di energia finale. Costi maggiori significano uno sfruttamento sfavorevole dell'impianto o costi di investimento troppo alti. Il progettista ha il compito, già nelle prime fasi del progetto, di esprimere valutazioni qualitative sui costi dell'energia.

Fonte: UFAP pubblicazione no. 131

5.4 Definizione dei principi

Premesse costruttive e di esercizio

All'inizio della progettazione si devono definire le premesse per l'impiego di un impianto automatico di combustione a legna. Oltre ai problemi di esercizio occorre chiarire anche la disponibilità a costi di investimento maggiori e la possibilità di sovvenzioni e di crediti convenienti.

Provenienza e condizioni di fornitura della legna da ardere

Al fine di definire il tipo di impianto da installare, occorre definire in modo preciso le caratteristiche della legna da ardere e le condizioni della sua fornitura. Si deve osservare che le direttive delle associazioni cantonali delle assicurazioni contro il fuoco (VKF) e i valori limite dell'Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico (OIA) sono più severi per i residui lignei che per la legna di bosco.

Teleriscaldamento

I sondaggi hanno dimostrato che l'utilizzo di un impianto automatico di combustione a legna ha un influsso decisivo sul prezzo dell'energia finale. È quindi importante esaminare la possibilità di creare un teleriscaldamento, particolarmente nel caso di grossi impianti. Grazie alla grande produzione di energia si ottiene una migliore distribuzione dei costi. L'obiettivo dovrebbe essere la seguente struttura di costi:

- 50% costi fissi (capitale e costi secondari)
- 50% costi di esercizio (costi dell'energia)

Per conseguire questo obiettivo, la densità di collegamento dovrebbe normalmente raggiungere il valore di 1.0-2.0 kW per metro di scavo della rete di distribuzione.

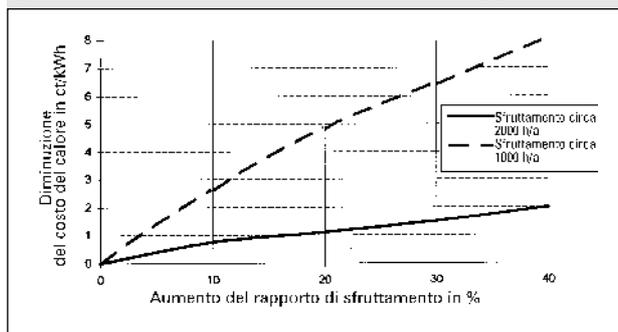
Combinazione con altri vettori energetici

La combinazione di un impianto automatico di combustione a legna con altri vettori energetici ha senso per la copertura di carichi di punta o di momenti di carico minimo. L'impianto a legna deve però fornire la parte principale dell'energia prodotta (carico di base).

Definizione delle premesse

- Esiste lo spazio sufficiente per un impianto automatico di combustione a legna?
- Dove si possono ubicare la centrale di riscaldamento e il magazzino di combustibile?
- Come sono le possibilità di accesso al deposito di combustibile?
- È possibile esaminare la soluzione «triturare presso il silo»?
- Quale assortimento di legna è contemplato in primo luogo?
- Quali infrastrutture per legna da ardere sono già esistenti e quali sono i possibili fornitori di legna?
- Quali sono le condizioni del vicinato (Ordinanze contro l'inquinamento fonico e contro l'inquinamento atmosferico)?
- Quale è la disponibilità del committente a maggiori costi di investimento, e quali sono le possibilità di aiuto all'investimento rispetto ad impianti convenzionali?

Diminuzione dei costi di produzione dell'energia attraverso uno sfruttamento maggiore



Costi di produzione dell'energia calorica. La progettazione di un impianto automatico di combustione a legna deve tendere al raggiungimento dei seguenti costi di produzione dell'energia. I valori massimi si riferiscono ad impianti di potenza intorno a 500 kW, quelli minimi a impianti sopra i 100 kW.

	Impianto di combustione a trucioli di legno	Confronto con impianto a olio combustibile
Produzione di calore	8 fino 12 ct/kWh	7 fino 10 ct/kWh
Teleriscaldamento a breve distanza	2 fino 4 ct/kWh	2 fino 4 ct/kWh

Fonte: Wirtschaftlichkeit der Holzenergienutzung in der Gemeinde, Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern 1994

Direttive e norme importanti

Direttive INSAI:

- Sili per trucioli verdi,
no. d'ordine: 66050; 1993
- Sili per minuzzoli di legno,
no. d'ordine: 1875;1976
- Impianti di trasporto stazionari,
no. d'ordine: 1545; 1972

Direttive dell'associazione delle assicurazioni contro il fuoco (VKF):

- Impianti di produzione di calore,
1993; cap. 2.3, 2.4, 4.3, 4.5

Direttive della SWKI:

- 93-1 Installazioni di sicurezza per impianti di riscaldamento
- 91-1 Aerazione e sfiato dei locali di riscaldamento

Un sistema dimensionato in tal modo permette la realizzazione di un impianto di combustione più piccolo con un periodo di funzionamento più lungo. È da osservare che un impianto di combustione a legna automatico dimensionato per coprire i carichi di punta non è sensato anche a causa dei suoi alti costi. I costi del capitale per una centrale di riscaldamento più grande possono essere ridotti combinando un impianto a olio combustibile per coprire i carichi di punta. I periodi di esercizio a carico inferiore della potenza minima della caldaia possono essere coperti anche da accumulatori di calore.

Disposizioni legali

Oltre alle disposizioni dell'OIA, vi è una serie di altre prescrizioni che riguardano la produzione delle componenti degli impianti di combustione. Questi documenti pongono in primo piano la sicurezza.

- Direttive INSAI per la progettazione di sili e impianti di trasporto nell'ottica della prevenzione degli incidenti.
- Direttive dell'Associazione delle assicurazioni contro il fuoco (VKF) per i locali riscaldamento e depositi di combustibile sotto l'aspetto della prevenzione degli incendi.
- Direttive del SWKI per reti idrauliche e ventilazione dei locali riscaldamento.

In relazione alla fornitura del combustibile ligneo e agli impianti di tritatura stazionari o mobili, si devono esaminare anche le direttive dell'Ordinanza contro l'inquinamento fonico. Da osservare pure la produzione di rumore di sistemi di trasporto come catene di trasporto o coclee.

Tipi di impianti di combustione

Nella fase degli studi preliminari non si tratta di differenziare ogni singolo sistema di combustione nei dettagli quanto, in primo luogo, di avere una rapida visione generale dei sistemi possibili con le indicazioni delle principali differenze.

Ogni tipo di impianto di combustione è adatto a un preciso assortimento di combustibile, che dev'essere preparato in modo adeguato. Dimensioni, tenore di acqua, peso specifico, quota di polvere o di cortecchia del combustibile determinano sia la scelta dell'impianto che l'esecuzione del deposito e del sistema di trasporto.

5.5 Progetto di massima

Valutazione della potenza calorica e del fabbisogno annuo di combustibile

Una prima valutazione approssimativa della potenza e del fabbisogno di combustibile può essere dedotta dalla superficie energetica di riferimento. Inoltre, poiché sono da considerare brevi punte di fabbisogno, non sono contemplati dalla sola superficie di riferimento:

- impianti di ventilazione
- produzione di acqua calda
- riscaldamento dopo periodo di abbassamento (p. es. falegnameria dopo le vacanze di Natale).

In caso di ristrutturazione, si hanno normalmente informazioni sufficienti sul consumo annuo di combustibile tali da determinare facilmente il fabbisogno calorico e la conseguente potenza di riscaldamento.

Nella fase del progetto di dettaglio (capitolo 6), queste valutazioni vanno precisate sulla base della Norma SIA 384/2.

Dimensionamento del produttore di calore

Tutti gli impianti di combustione automatici richiedono un dimensionamento il più possibile preciso in funzione del fabbisogno calorico massimo. Gli impianti sovradimensionati sono sfruttati male, hanno costi maggiori e soffrono più spesso di guasti d'esercizio.

Denitrurazione e condensazione dei gas di scarico

Gli impianti di denitrurazione sono per lo più indicati per assortimenti di combustibile ad alto contenuto di azoto (legno vecchio, manufatti di legno incollato, pannelli truciolari). L'impiego del processo di denitrurazione è attualmente in fase di esame in impianti pilota.

La condensazione dei gas di scarico offre un notevole miglioramento del rendimento dell'impianto nel caso di utilizzo di combustibile ad alto tenore di acqua. In Svizzera, anche questa tecnica è ancora in fase di sperimentazione in impianti pilota.

I processi di denitrurazione e condensazione dei gas di scarico prenderanno importanza nei prossimi anni, in modo particolare per grossi impianti e in condizioni particolari. Tuttavia, queste tecniche sono particolarmente costose e ancora manca l'esperienza della loro applicazione su periodi di parecchi anni.

Valori di riferimento per la valutazione della potenza calorica e del fabbisogno annuo di combustibile

Base: superficie di riferimento energetica secondo la Norma SIA 384/2

Fabbisogno annuo di combustibile per m² di superficie di riferimento

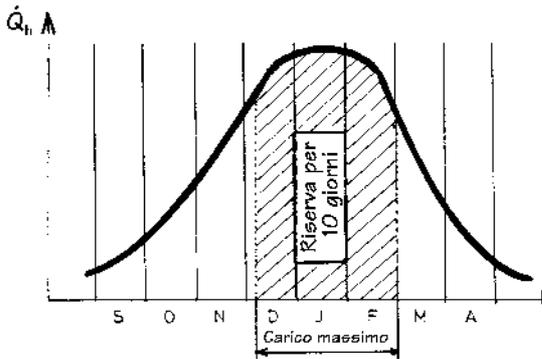
Combustibile	Costruzioni nuove	Costruzioni esistenti	Dimensioni
Truciolari di legno duro	0.08	0.09 – 0.13	Sm ³ / m ² a
Truciolari di legno di conifere	0.10	0.11 – 0.16	Sm ³ / m ² a
Olio combustibile	8	9 – 14	kg/m ² a

Fabbisogno di potenza calorica per m² di superficie di riferimento

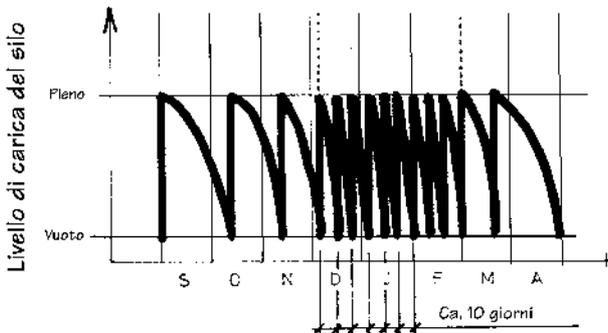
Combustibile	Costruzioni nuove	Costruzioni esistenti	Dimensioni
Riscaldamento locali	30	40 – 60	W/m ²
Acqua calda	10	10	W/m ²
Carichi di punta	10	20	Sm ³ / m ² a
Totale	50	70 – 90	W/m ²

Progettazione del silo

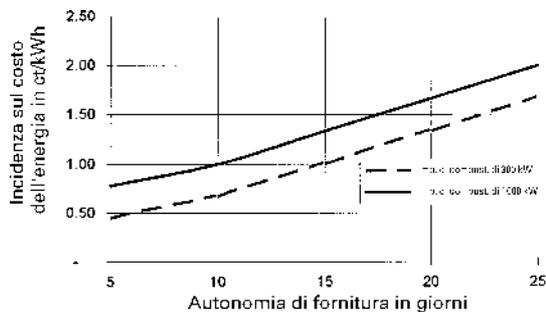
Distribuzione del carico energetico



Ciclo di caricamento del silo



La dimensione del silo incide drasticamente sul costo dell'energia



Raccomandazione per la capienza del silo

Contenuto netto = 5 x fabbisogno giornaliero massimo + 30 m³

Dimensionamento del silo per il combustibile

Il silo per il combustibile è la parte dell'impianto la cui progettazione influenza maggiormente il costo finale. Per questo motivo è indispensabile che il progettista dell'impianto esegua uno studio dettagliato per l'ottimizzazione del silo. Per motivi economici, il silo dev'essere progettato il più piccolo possibile; tuttavia, il dimensionamento non può essere slegato dalla logistica del combustibile, bensì è parte integrante del concetto di approvvigionamento.

Normalmente, i costi possono essere contenuti entro valori ragionevoli se il silo viene dimensionato per un'autonomia media di 10 giorni. In un inverno normale ciò corrisponde a 10 cicli di caricamento.

Esempio dell'incidenza della grandezza del silo sui costi dell'energia:

per un impianto di combustione a legna di 300 kW di potenza, il costo dei trucioli aumenta da fr. 9.- a fr. 10.- /Sm³ per un silo di 10 giorni di autonomia. Con la costruzione di un silo di 30 giorni di autonomia il costo finale dei trucioli sorpasserebbe fr. 20.- /Sm³!

Il numero di trasporti mediante camion per il caricamento del silo non dipende dalla capienza del silo, bensì dal fabbisogno annuo di combustibile e dal volume di trasporto del camion. Un camion può trasportare circa 40 m³ di trucioli.

Deposito di trucioli intermedio stagionale

L'approvvigionamento di legna da ardere di bosco più conveniente è quello diretto, senza deposito intermedio, cioè il trasporto diretto al silo del consumatore dopo tritatura con impianto mobile.

Il deposito intermedio stagionale aumenta notevolmente i costi del combustibile: perciò, nel limite del possibile, la sua costruzione è da evitare. Se sussiste la necessità di un deposito intermedio (per esempio nelle regioni ad alta quota) è più conveniente costruirne uno grosso che serva più impianti.

Presso il deposito intermedio è pure possibile immagazzinare legname d'opera in piccole quantità in un punto di raccolta, che potrà essere tritato secondo il bisogno da un impianto stazionario o mobile.

Il maggior costo dei trucioli causato dal deposito intermedio non dovrebbe superare i fr. 5.-/Sm³.

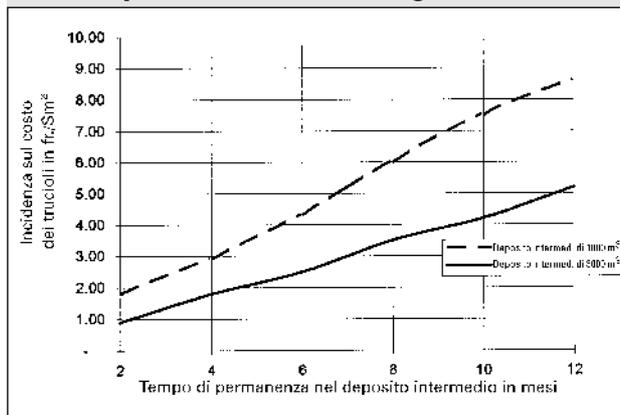
Fabbisogno di spazio e dimensioni del locale riscaldamento

Il locale riscaldamento deve avere un'altezza libera sufficiente per l'installazione di un impianto di combustione automatico. Anche gli impianti di piccola potenza hanno bisogno di un'altezza di 3 m per poter installare il separatore di cenere sospesa e il sistema di asportazione della cenere così da permettere i lavori di servizio e manutenzione senza problemi.

Se, nel caso di impianti più importanti, fossero previste installazioni di condensazione dei gas di scarico o di denitrurazione, l'altezza minima del locale dovrebbe essere di 4,5 m.

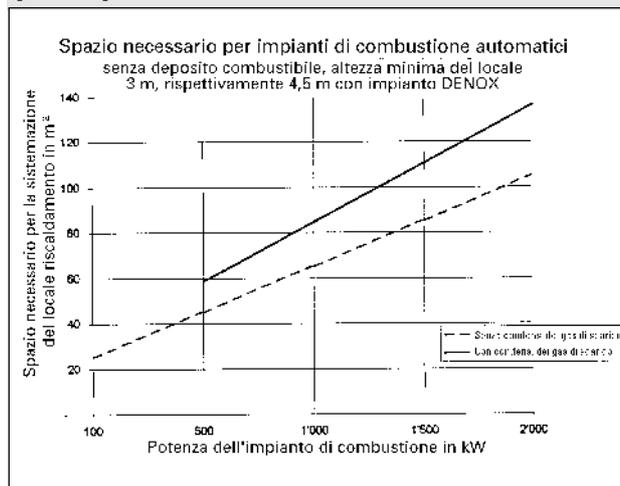
La disposizione dell'impianto all'interno del locale riscaldamento deve tenere conto del fatto che la camera di combustione e i tiraggi dello scambiatore di calore necessitano di una pulizia periodica. Lo spazio attorno alla caldaia e al separatore delle ceneri deve perciò essere abbondante. Inoltre, nel locale riscaldamento devono trovar posto sia un contenitore delle ceneri di riserva (per grossi impianti un contenitore di riserva di 600 l), che l'aspiratore per la cenere.

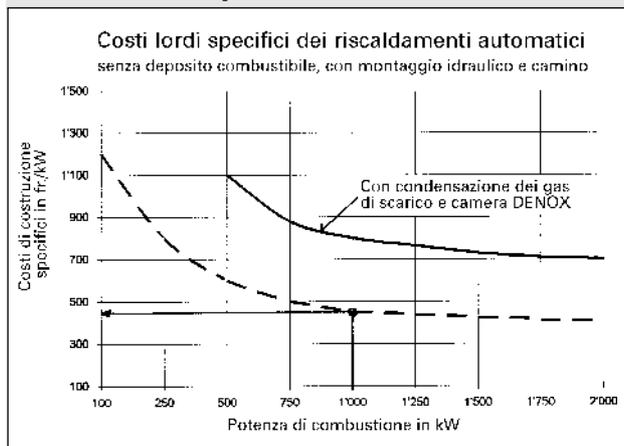
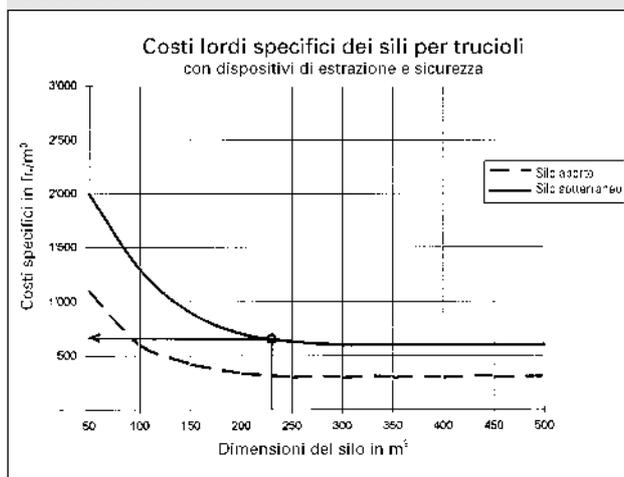
Incidenza sul costo dei trucioli dell'utilizzo di un deposito intermedio stagionale



Conclusione: l'incidenza sui costi dei trucioli è accettabile solo nel caso di depositi intermedi regionali con tempi di permanenza ridotti.

Fabbisogno di spazio per impianti di combustione automatici



Potenza dell'impianto di combustione in kW

Costi dei silo

Esempio

Costo del calore utile per gli assunti seguenti

Potenza di combustione: 1000 kW

Sfruttamento: 2000 ore annue a pieno regime

Durata dell'ammortamento: 15 anni

Interessi sul capitale: 5%

(fattore di rendita annuale 9.63%)

Calore utile: 2000 MWh/a

Costi di combustione: fr. 450'000.-

Costi del silo (230 m³): fr. 150 000.-

Costi del capitale: fr. 58'000.-/a

Costi energetici (ca. 4 ct/kWh): fr. 80'000.-/a

Servizio e manutenzione
(ca. 3.5% dei costi di investimento): fr. 21'000.-/a

Costo del calore utile: 8.0 ct/kWh

5.6 Costi lordi

Scopo

Un fondato paragone delle varianti nell'ambito del progetto preliminare dovrebbe sempre basarsi sulle diverse offerte riguardanti le componenti principali. È inoltre necessario fornire al committente, all'inizio del progetto preliminare, un quadro dei costi e un confronto con i sistemi di riscaldamento convenzionali, in modo da chiarire la disponibilità all'installazione di un riscaldamento a legna automatico.

I diagrammi qui rappresentati possono servire a una valutazione semplificata dei costi. Contemporaneamente, aiutano anche a valutare la sensibilità finanziaria del proprio progetto e di ottimizzare conseguentemente la combustione e il silo.

Valutazione del costo del calore utile

L'economicità dell'approvvigionamento calorico si lascia valutare al meglio in base ai costi annui complessivi, rispettivamente al costo del calore utile. Qui, oltre agli investimenti, un ruolo molto importante è assunto anche dallo sfruttamento.

Il costo del calore utile in un impianto a legna automatico sino a 500 kW non dovrebbe superare i 14 ct/kWh. Per impianti di potenza superiore, tale costo dovrebbe essere inferiore ai 10 ct/kWh.

Una prima valutazione lorda dei costi può essere desunta dai diagrammi a margine.

5.7 Confronto tra le varianti

Forma e contenuto

Il risultato più importante del confronto tra le varianti è la scelta del sistema, che va fatta tenendo conto di tutti gli aspetti tecnici, economici ed ecologici e dell'opinione del committente. Il progettista elabora le basi decisionali; la decisione è presa dal committente.

L'inclusione di tutti gli aspetti nel processo decisionale è importante in quanto, dal punto di vista dell'economia dell'esercizio, i fatti parlano spesso a sfavore del riscaldamento a legna. La valutazione dei criteri ecologici e dell'economia globale assumono dunque un importante significato.

Confronto dell'economicità

Il confronto dell'economicità è fatto sulla base dei costi globali annui, che si compongono a loro volta dei costi del capitale e dell'esercizio.

I costi del capitale sono ricavati con il metodo della rendita annua e, assieme ai costi energetici, di manutenzione e di servizio, danno come risultato il costo annuo globale della produzione di calore.

Oltre a un confronto con gli attuali costi energetici, andrebbe anche eseguito un calcolo di paragone che includa i costi esterni. A questo scopo, è possibile applicare il metodo calcolatorio dei sovracosti energetici (capitolo 5.1).

Obiettivi del confronto tra le varianti

- Definizione delle basi e dei fondamenti.
- Descrizione delle varianti con schemi di principio e proprietà.
- Accertamento di eventuali contributi all'investimento da parte della Confederazione e/o del cantone.
- Composizione dei costi di investimento con calcolo dei costi del capitale.
- Composizione delle cifre di consumo annuo con i costi energetici annui medi.
- Uso, servizio e manutenzione con indicazione dei relativi costi medi annui.
- Confronto dell'economicità sulla base dei costi globali e d'esercizio annui.
- Valutazione dell'impatto ambientale e dei rischi tecnici.
- Effetti sull'economia regionale.
- Raccomandazioni e motivazioni.

Costi annui = costi del capitale + costi d'esercizio

Fattore di rendita annua per la determinazione dei costi del capitale

Interesse Anni	4%	5%	6%	7%
5	0.225	0.231	0.237	0.244
10	0.123	0.130	0.136	0.142
15	0.090	0.096	0.103	0.110
20	0.074	0.080	0.087	0.094
30	0.058	0.065	0.073	0.080

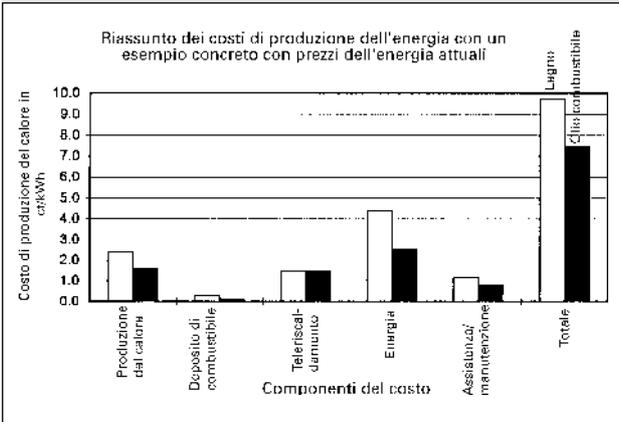
Costi d'esercizio = costi energetici +
costi d'uso +
costi di servizio e manutenzione

Costi energetici =
fabbisogno annuo di combustibile x costo del combustibile

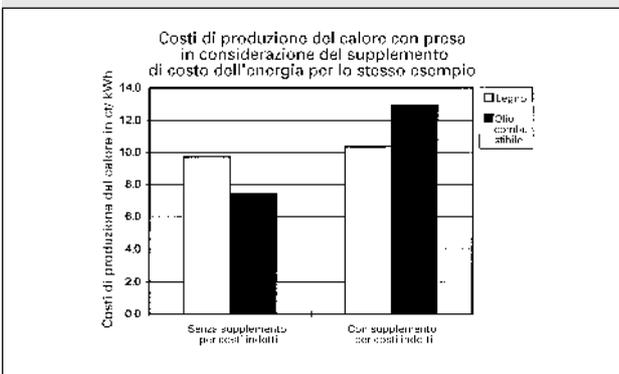
Costi d'uso =
ore di servizio x aliquota oraria

Costi di servizio e manutenzione =
3-4% dei costi d'investimento

Struttura dei costi del prezzo del calore utile (costi di produzione del calore)

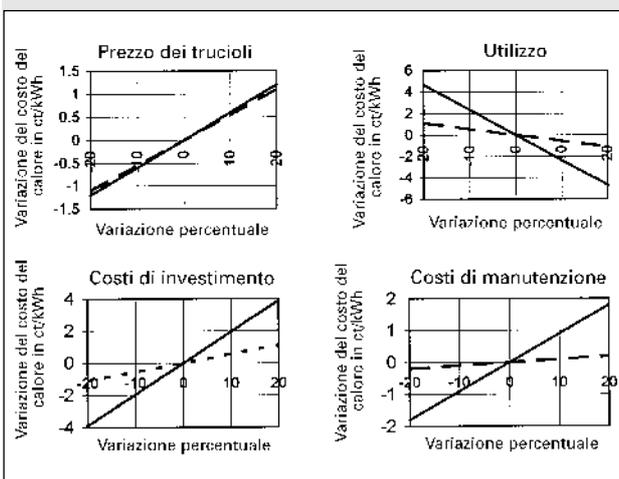


Influsso dei costi indotti mediante calcolo del supplemento di costo dell'energia



Calcolo come al capitolo 5.1

Influsso delle condizioni quadro sul costo del calore utile



Fonte: Economicità dell'utilizzo dell'energia ricavata dal legno nei comuni, Dipartimento federale per l'energia, Berna 1994

Struttura dei costi del calore utile

La struttura dei costi di produzione del calore può essere desunta dai costi complessivi annui. La struttura dei costi può essere suddivisa ulteriormente in funzione di un utilizzatore unico oppure di un teleriscaldamento:

- investimento per la produzione di calore
- investimento per il teleriscaldamento e la preparazione del calore
- costi per il deposito di combustibile
- costi dell'energia
- costi di servizio, controllo e manutenzione.

Influsso del prezzo dell'energia sull'economicità

Malgrado un'accurata preparazione dei dati numerici, il calcolo della convenienza presenta sempre una certa imprecisione. In primo luogo, nel caso di avvenimenti vicini, i valori devono essere interpretati con molta prudenza. In questi casi il fattore di correzione del costo dell'energia può influenzare fortemente il confronto dell'economicità. (Capitolo 5.1)

Influenza dei fattori più importanti

I fattori più importanti che influiscono sull'economicità sono:

- il costo dei trucioli
- i costi di manutenzione
- i costi d'investimento
- l'utilizzo.

L'importanza di questi fattori dev'essere valutata dal progettista.

5.8 Progetto di massima

Punto di partenza in funzione della scelta del sistema

Prima dell'inizio del progetto di massima devono essere definiti il sistema di combustione, le dimensioni del silo, la sua gestione e la catena di approvvigionamento. Si devono inoltre conoscere lo spazio necessario, l'ubicazione del locale riscaldamento e del silo, il fabbisogno di combustibile e la potenza dell'impianto, così come le direttive determinanti dell'INSAI, VKF e dell'OIAI. Dovrebbe essere stata eseguita anche una prima valutazione dei costi di produzione del calore. Il progetto di massima definisce una disposizione spaziale ottimale dell'impianto di combustione e del combustibile. A questo livello viene considerata e chiarita l'installazione di altre attrezzature quali l'impianto di asportazione della cenere o quello di sicurezza.

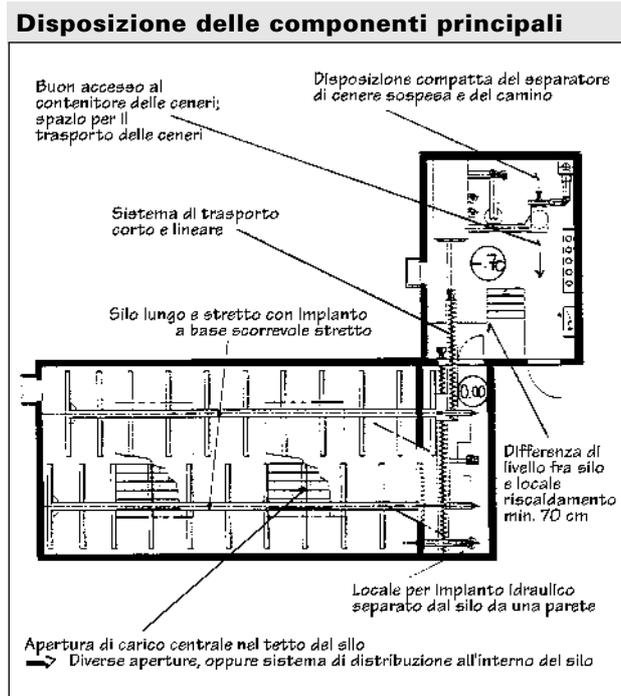
Ubicazione dell'impianto di combustione, della canna fumaria e del silo

L'impianto di combustione ed il deposito di combustibile dovrebbero essere posizionati il più vicino possibile. Fra i due locali ci deve essere una differenza di livello di 70 cm per permettere la caduta di combustibile.

Nel caso in cui non sia possibile realizzare questo gradino o il pavimento del silo si trovi addirittura ad una quota inferiore rispetto a quello del locale tecnico occorre prevedere un trasportatore a cecia in pendenza che porti il combustibile al livello del gradino di caduta.

L'utilizzo di residui lignei richiede la posa di una chiusa con ruota a palette nel gradino di caduta. Per questo motivo il gradino dev'essere, in questo caso, di 80 - 90 cm.

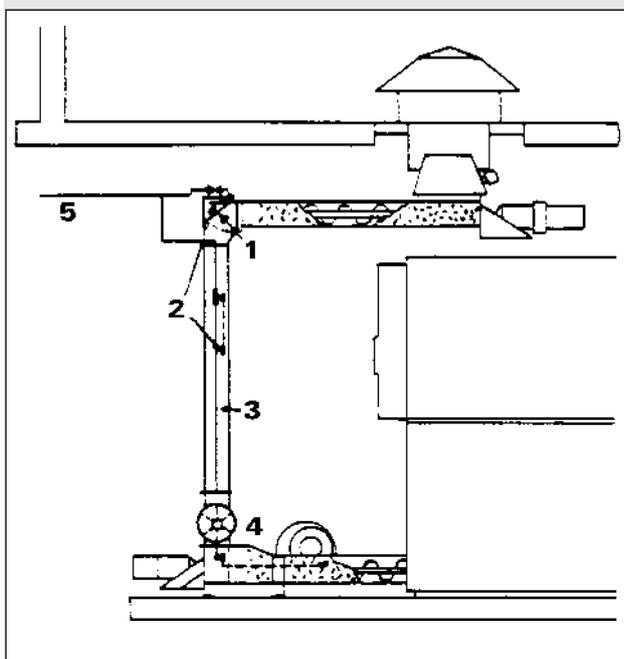
La canna fumaria dev'essere situata il più vicino possibile al separatore di cenere. Il pericolo di oltrepassare il punto di rugiada è maggiore negli impianti a legna che non in quelli a olio combustibile. Il punto di rugiada, nel caso di combustione di trucioli umidi di bosco (60 °C), è notevolmente più alto di quello dell'olio combustibile, perciò, particolarmente in caso di ristrutturazione con il riutilizzo della canna fumaria esistente, è raccomandata la massima attenzione. Vale la pena eseguire una perizia insieme al fornitore del camino e allo spazacamino.



Integrazione dell'attrezzatura di asportazione della cenere

La combustione di legno produce al massimo circa l'1% del peso del combustibile di cenere non combustibile, la corteccia può produrre una percentuale maggiore a causa della presenza di sassi e sabbia. I rifiuti di cenere devono essere allontanati dalla camera di combustione e dai tiraggi dello scambiatore di calore e depositati in appositi contenitori. Impianti di combustione più grandi (da circa 150 kW) possono essere forniti di un sistema automatico di asportazione della cenere che utilizza contenitori da 600 l.

Catena di sicurezza nell'esempio: residui lignei



- 1 Clappa di protezione del fuoco
- 2 Doccia di acqua con interruttore termico
- 3 Tubo di caduta
- 4 Chiusa con ruote a palette
- 5 Allacciamento dell'acqua di spegnimento

Per trucioli di bosco con un tenore di acqua minore del 20% cadono le posizioni 1 e 4.

Attrezzature di sicurezza speciali

Oltre alle attrezzature di sicurezza usuali nelle reti idrauliche (valvole di sicurezza e impianto di espansione), negli impianti automatici di combustione a legna devono essere prese misure di sicurezza particolari per evitare lo scoppio di incendi e incidenti dovuti ai gas di fermentazione. Normative e leggi (INSAI, VKF) prescrivono vari stadi di sicurezza in funzione dell'assortimento di legna da ardere.

6. Progetto di dettaglio

6.1	Sviluppo e organizzazione del progetto	105
	Centrale termica e periferia	105
	Numerosi partner contrattuali	105
	Obblighi di garanzia	106
	Particolarità durante lo sviluppo del progetto	106
6.2	Dimensionamento e scelta del bruciatore	107
	Potenza nominale, rendimento energetico, grado di sfruttamento annuo	107
	Scelta della caldaia	107
	Progettazione del sistema di alimentazione	108
	Particolarità nel trasporto dei trucioli	108
	Pulizia della caldaia e asportazione della cenere	109
	Denitrurazione dei gas di scarico	110
6.3	Ubicazione e scelta del deposito di combustibile	111
	Dimensione ottimale del silo: un enorme potenziale di risparmio	111
	Alternative al silo interrato	111
	Contenitore mobile di trucioli	112
	Approvvigionamento da depositi coperti di trucioli	112
	Disposizione del silo per trucioli	112
6.4	Indicazioni per la progettazione dei silii	113
	Dimensionamento dei silii per trucioli	113
	Indicazioni riguardanti i silii per trucioli	114
6.5	Collegamenti idraulici	115
	Principi conosciuti	115
	Resa di calore con il mantenimento del braciere	115
	Impianti monovalenti a più caldaie	116
	Impianti a più caldaie	116
	Accumulatore per la compensazione dell'esercizio a carico ridotto	116
6.6	Comandi e regolazioni	117
	Adattamento della potenza dell'impianto al carico di calore	117
	Combustione ottimale lungo tutta la gamma della potenza	117
	Future strategie di regolazione	118
	Quadro di comando	118
6.7	Dispositivi di sicurezza per impianto, locale riscaldamento e silii	119
	Aspetti particolari degli impianti di riscaldamento a legna	119
	Evitare la formazione di pericolosi gas di fermentazione	119
	Equipaggiamenti antincendio	120
	Vasi di espansione	120
6.8	Indicazioni per la progettazione di locali riscaldamento e silii	121
	Immissione dell'aria di combustione	121
	Canna fumaria	122
	Misurazione delle emissioni secondo la OIAt	123
	Misure costruttive antincendio nel locale riscaldamento	123
	Prescrizioni per i silii	124

6. Progetto di dettaglio

6.1 Sviluppo e organizzazione del progetto

Centrale termica e periferia

Contrariamente a quanto accade per gli impianti tradizionali, il progettista di un impianto automatico di riscaldamento a legna deve progettare o quanto meno organizzare anche gli impianti periferici.

Nella catena di approvvigionamento del legno di bosco si presenta una necessità di coordinamento supplementare:

- direzione nella progettazione di accessi per il trasporto dei trucioli;
- collaborazione nell'organizzazione di depositi intermedi di legno duro nel caso di legname «tagliato presso l'impianto»;
- coordinamento fra statico, capomastro e fornitore del sistema nella costruzione del silo;
- organizzazione e controllo dei piani cassero e d'armatura per silo e centrale idraulica.

La periferia delle aziende che lavorano il legno può essere molto complessa:

- integrazione dell'impianto di aspirazione dei trucioli e della polvere di levigatura con il sistema di caricamento del silo;
- progettazione e scelta dell'impianto fisso di truciolatura di residui di legna e collegamento con l'alimentazione del silo;
- organizzazione degli allacciamenti dell'acqua di spegnimento per gli impianti di sicurezza;
- organizzazione degli allacciamenti elettrici per impianti di alimentazione, truciolatura e sicurezza;
- coordinamento fra ingegnere e fornitore nel dimensionamento del silo;
- coordinamento per i problemi logistici (ubicazione del silo e dell'impianto di riscaldamento, tecnica di caricamento ecc.);
- collaborazione al concetto di smaltimento di residui di legno problematici e delle ceneri.

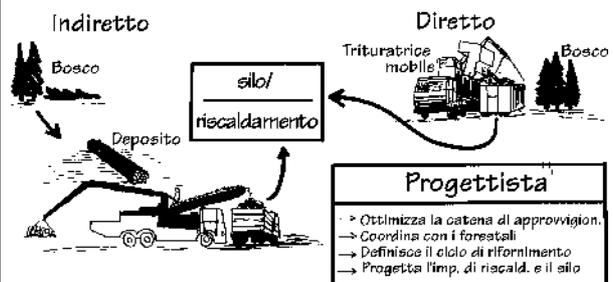
Numerosi partner contrattuali

In genere l'impianto completo è realizzato da diversi partner contrattuali. Ciò obbliga il progettista a stipulare con ogni subappaltante un contratto d'appalto corredato da un modulo e preceduto da una gara d'offerta.

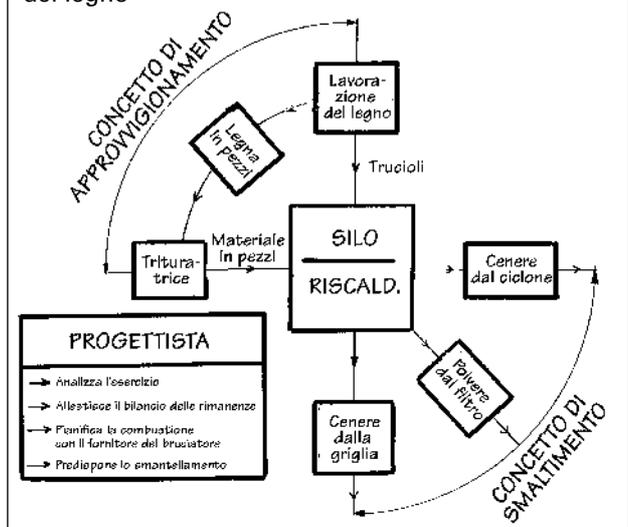
I compiti del progettista comprendono anche il coordinamento tecnico e organizzativo dei subappaltanti.

Posizione del progettista nell'ambito dell'intero incarico

Catena di approvvigionamento per legno di bosco: questioni logistiche nel caso di approvvigionamento forestale



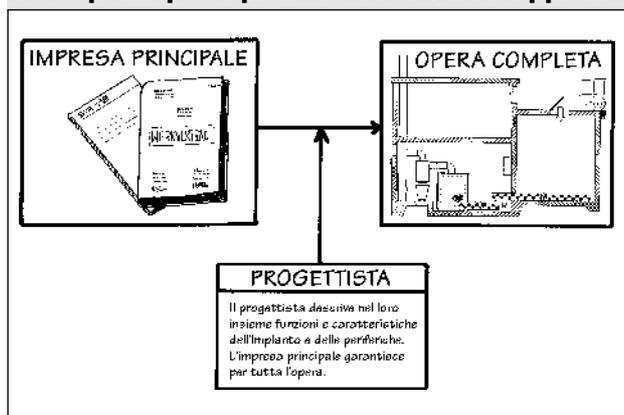
Catena di approvvigionamento per residui di legno: decorsi complessi in un'azienda per la lavorazione del legno



L'opera è un lavoro d'équipe

- Il fornitore dell'impianto di riscaldamento costruisce gli impianti di riscaldamento, di alimentazione e di trasporto.
- L'installatore allaccia la caldaia al sistema idraulico.
- Al capomastro compete la costruzione del silo.
- Il costruttore di camini allaccia l'impianto di scarico e fornisce la canna fumaria.

Un'impresa principale - un contratto d'appalto

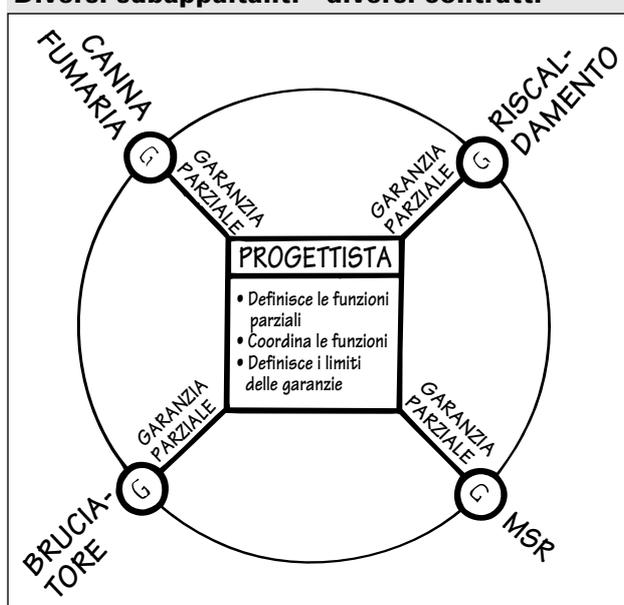


sieme, escluso il silo, ma con tutta la logistica del combustibile, gli impianti di combustione e di regolazione. I fornitori del bruciatore e del camino saranno i suoi subappaltanti.

Per il committente, avere un solo partner contrattuale per l'intero impianto chiarisce i rapporti giuridici. Il fatto che l'impresa principale benefici di un margine di guadagno su ogni subappaltante causa però un innalzamento considerevole dei costi. Il ricorso a un progettista porta il committente ad avvalersi di più partner contrattuali e di richiedere all'ingegnere specialista di regolare contrattualmente le garanzie.

Per il progettista, questo significa dover preparare un preciso descrittivo delle funzionalità dell'impianto e delle sue periferiche, nonché coordinarne le diverse parti. In ogni contratto d'appalto devono essere chiariti sia il funzionamento dell'impianto nel suo insieme che la parte d'impianto interessata dall'appalto.

Diversi subappaltanti - diversi contratti



Particolarità durante lo sviluppo del progetto

Durante la progettazione di dettaglio è necessario avvalersi per tempo della collaborazione di un capomastro esperto. In genere, è pure necessaria la collaborazione di un ingegnere civile per il dimensionamento statico del silo e l'esecuzione dei piani casseri e d'armatura.

Il progettista ha il compito di assicurarsi che lo scambio di piani e informazioni fra il costruttore del silo ed il fornitore dell'impianto di riscaldamento avvenga in modo corretto e che il lavoro di ognuno sia chiaramente definito:

- chi posa le guide per l'alimentazione del e dal silo
- chi fornisce e posa i profili di ancoraggio per gli aggregati idraulici ed i motori
- chi e quando posa il coperchio del silo
- chi fornisce i dati relativi ai carichi statici e dinamici.

Obblighi di garanzia

Le funzioni e caratteristiche dell'impianto automatico di riscaldamento a legna completo non sono garantite da un singolo impresario, ma ogni subappaltante garantisce per la sua parte di impianto. Ciò significa che il progettista deve stabilire fin dalla stesura del contratto d'appalto le caratteristiche dell'intero impianto.

Una possibilità consiste nel considerare l'installatore dell'impianto di riscaldamento come impresa principale. Egli fornisce l'impianto nel suo in-

6.2 Dimensionamento e scelta del bruciatore

Potenza nominale, rendimento energetico, grado di sfruttamento annuo

Per gli impianti automatici di riscaldamento a legna, il dimensionamento della caldaia ha un influsso maggiore sul grado di sfruttamento annuo che non negli impianti a olio combustibile. I motivi sono:

- temperatura media della caldaia più alta (maggiore di 70°C; perdite per irraggiamento circa 2%, nelle caldaie a gasolio inferiori a 1%);
- maggiori perdite per l'accensione, conseguenza della camera di combustione ad alta temperatura rivestita con elementi refrattari (perdite termiche per il mantenimento della brace).

Le perdite per l'accensione aumentano vertiginosamente negli impianti sovradimensionati, poiché l'impianto si trova sovente nella fase di mantenimento della brace.

Il fabbisogno massimo di potenza di un impianto monovalente a caldaia unica deve essere il più vicino possibile alla potenza nominale. Questa necessità è difficilmente realizzabile nel caso di un impianto per più utenti, che vengono allacciati a tappe in tempi diversi. Un adattamento al piano di allacciamento è realizzabile con una suddivisione ponderata delle caldaie. Proprio in questi casi può essere vantaggioso un impianto monovalente a più caldaie o un impianto bivalente, p. es. combinato con olio combustibile.

Il riscaldamento estivo dell'acqua calda non dovrebbe avvenire con un impianto di riscaldamento a legna. Anche per un impianto a più utenti il consumo estivo dovrebbe essere risolto autonomamente.

Scelta della caldaia

I moderni impianti automatici di combustione a legna permettono, entro una certa gamma di potenza, l'adeguamento della combustione al carico calorico momentaneo. Tale gamma dipende dal principio di combustione e dal tenore d'acqua del combustibile.

Rilevante per ogni regolazione di potenza è la premessa che i rapporti di combustione siano adeguati a tutti i gradi di carico.

Grado di sfruttamento annuo η_a per impianti automatici di combustione a legna

Dettagli per la determinazione del grado di sfruttamento annuo vedi capitolo 2.8 e appendice A3

$$\eta_a = \eta_k \frac{L - q_b / \alpha}{L - q_b}$$

con:

α carico
 η_k rendimento energetico di caldaia
 q_b perdite di accensione
 L carico medio

Valori auspicati per buoni impianti automatici di combustione a legna:

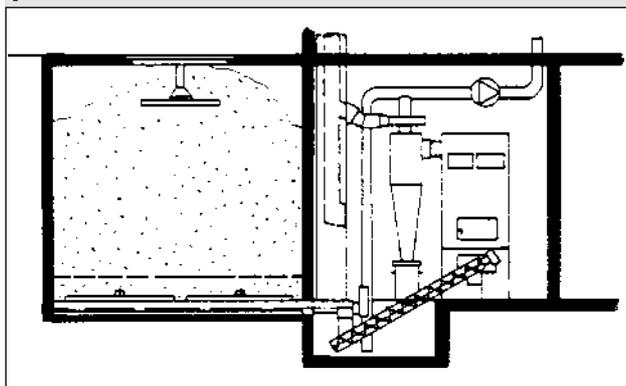
α > 0.70
 η_k > 0.90
 q_b < 0.02
 L 0.50
 η_k 0.75 ... 0.85

→ Criteri decisivi per la scelta del modello sono la gamma della regolazione della potenza e la qualità della regolazione della combustione.

Adeguamento del carico dei diversi impianti di riscaldamento

Per i moderni impianti di riscaldamento a legna automatici, l'adeguamento del carico avviene di regola da 30-100%.

Impianto di ventilazione forzato per un pozzo di distribuzione ubicato in basso



Durante la fermentazione di legno umido si forma CO_2 , che si raccoglie nei punti più bassi. Se non è possibile un'altra disposizione è assolutamente necessaria l'installazione di un impianto di ventilazione forzata.

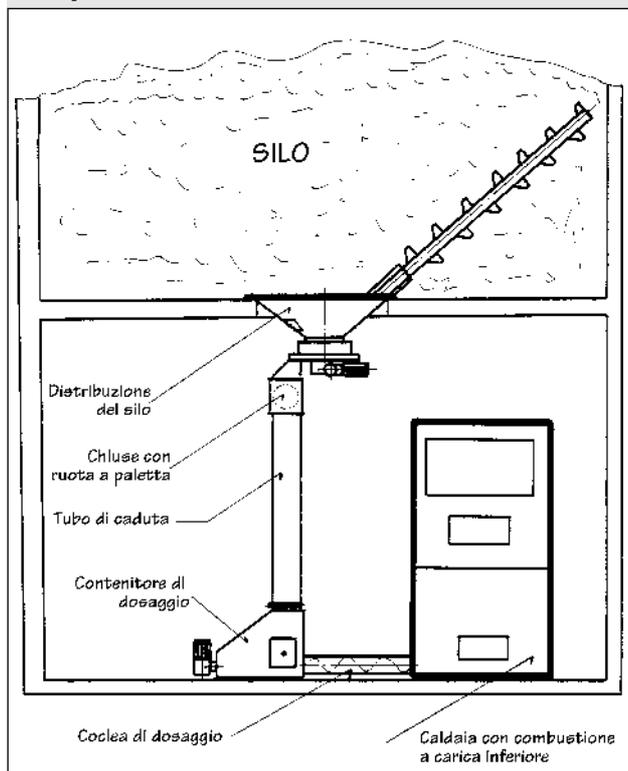
Progettazione del sistema di alimentazione

Il progettista può influire solo limitatamente sul dimensionamento degli impianti di distribuzione e di trasporto. Il principio di trasporto dipende dal combustibile. Grandezza e dimensioni degli impianti di trasporto sono determinate dal fornitore dell'impianto di riscaldamento in base alla potenza della caldaia e alla capienza del silo.

Il progettista influisce in modo decisivo sulla disposizione del silo e della caldaia. Oltre all'esigenza che deposito del combustibile e caldaia siano più vicini possibile sono da osservare i seguenti punti:

- quando il legno è di tipo umido e con un sistema di alimentazione in pendenza è necessario prevedere un'espulsione d'aria nei punti più bassi per evitare l'accumulo di gas di fermentazione;
- per impianti a più caldaie, ogni unità di combustione deve disporre del proprio impianto di trasporto;
- l'accessibilità alla caldaia, al separatore delle ceneri dei gas di scarico e alla canna fumaria non deve essere ostacolata da impianti di trasporto.

Trasporto meccanico dei trucioli



Particolarità nel trasporto dei trucioli

Il trasporto di trucioli può avvenire meccanicamente o pneumaticamente. Negli impianti pneumatici il trasporto avviene tramite ventilatori, mentre in quelli meccanici ha luogo grazie al principio della coclea.

Se la situazione lo consente, gli impianti di trasporto meccanici sono da preferire a quelli pneumatici, per esempio nel caso di collegamenti brevi.

Vantaggi degli impianti di trasporto meccanici:

- meno soggetti a guasti
- necessitano meno energia motoria
- più economici.

Pulizia della caldaia e asportazione della cenere

Le particelle di cenere che si accumulano durante il processo di combustione si separano nei seguenti punti:

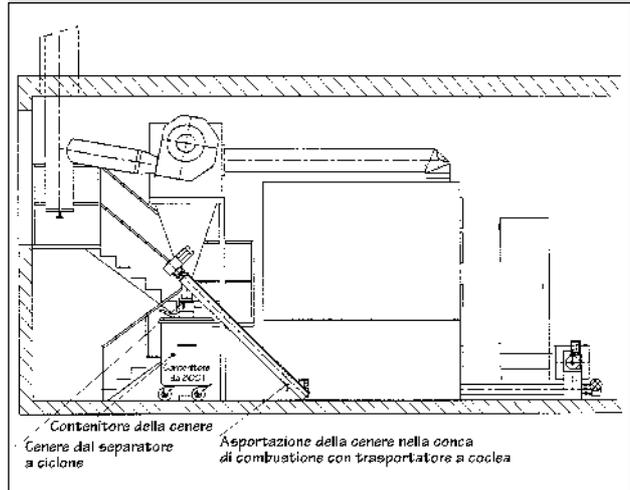
1. nella conca di combustione sotto la griglia (cenere da griglia)
2. nella camera di combustione vera e propria (cenere da griglia)
3. nelle condutture dello scambiatore di calore della caldaia (cenere sospesa nell'aria)
4. al punto inferiore di separazione del ciclone (cenere da ciclone).

Queste zone sono da pulire periodicamente dal custode dell'impianto (asportazione della fuliggine) mediante attrezzi di aspirazione simili ad aspirapolvere con pre-separatori metallici che possono contenere particelle di cenere roventi.

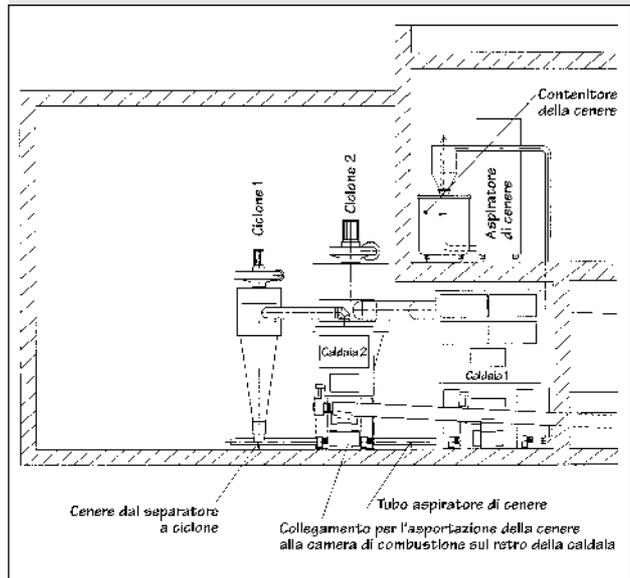
Per impianti più grandi (a partire da circa 150 kW di potenza nominale) vengono utilizzati sempre più frequentemente dei dispositivi automatici per l'asportazione della cenere che riducono in modo considerevole il lavoro di pulizia. Oltre ai congegni pneumatici per l'asportazione della cenere, conosciuti da tempo, si sono imposti sempre più i sistemi meccanici di distribuzione della cenere. Se lo spazio e il tipo di caldaia lo permettono sono da preferire i congegni meccanici per i seguenti motivi:

- più efficaci nella pulizia
- meno soggetti a guasti
- più economici.

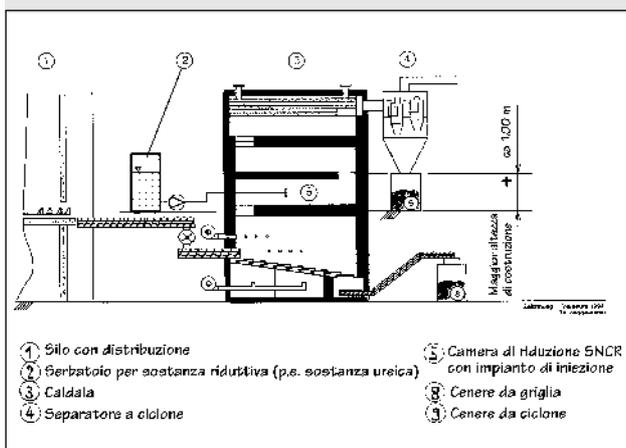
Asportazione meccanica della cenere



Asportazione pneumatica della cenere



Denitrurazione dei gas di scarico con il procedimento SNCR



Con costi da fr. 20.– fino fr. 30.– per ogni kg di NO_x ridotto, questi accorgimenti risultano più costosi rispetto alla riduzione del NO_x mediante la tecnologia Low-NO_x impiegata per impianti a olio combustibile o gas.

Denitrurazione dei gas di scarico

I procedimenti SNCR e SCR sono attualmente utilizzati in impianti pilota, dove si sono ottenuti risultati promettenti nell'ambito della riduzione di NO_x.

Il procedimento SNCR consiste nell'installazione di una camera DENOX fra la griglia della camera di combustione e parte della canna fumaria della caldaia. Nella camera viene introdotta, mediante un apposito iniettore, una sostanza ureica proveniente da un serbatoio. Essa reagisce con gli ossidi d'azoto a temperature comprese fra 850°C e 950°C causando una diminuzione delle emissioni di NO_x di circa il 60-80%.

Camera di reazione, impianto di dosaggio e serbatoio della sostanza ureica necessitano di spazio sufficiente. Per un impianto di riscaldamento della potenza di 500 kW, un simile dispositivo costa circa da fr. 80'000.– fino fr. 90'000.–. La sostanza ureica utilizzata si trova in forma di granulato in sacchi da 50 kg. Data la sua economicità, il consumo della sostanza ureica non incide praticamente sui costi di esercizio.

6.3 Ubicazione e scelta del deposito di combustibile

Dimensione ottimale del silo: un enorme potenziale di risparmio

Già durante la fase di studio preliminare sono da ottimizzare l'ubicazione e le dimensioni del silo e l'accesso per la fornitura del combustibile. Il progetto di dettaglio comprende lo studio accurato dello spazio di deposito, dell'accesso per la fornitura e i mezzi ausiliari di riempimento. Le indicazioni più importanti sono:

- la dimensione del silo per un periodo di approvvigionamento medio di 10 giorni;
- il numero di rifornimenti annui, determinato dalla capacità del mezzo di trasporto e dal fabbisogno annuo, ma non dalle dimensioni del silo;
- nella catena di approvvigionamento sono da evitare depositi intermedi stagionali.

È pure possibile ridurre i costi della costruzione del silo, delle necessarie attrezzature ausiliarie per il riempimento, della ripartizione del combustibile e dell'impianto di ventilazione.

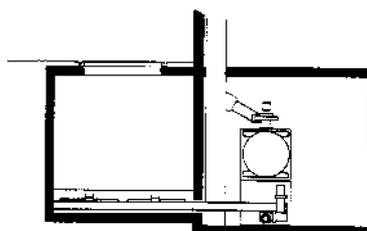
Alternative al silo interrato

Alcuni fornitori di trucioli dispongono, oltre che di contenitori con capienza di circa 30 m³, anche di contenitori dotati di pompe pneumatiche con una capienza di 28 m³. I contenitori a pompa consentono il riempimento di capannoni aperti per trucioli, come pure il riempimento di sili con ubicazione sfavorevole. Non è indispensabile prevedere una copertura transitabile del silo o una dispendiosa apertura di riempimento all'esterno dell'edificio. Oggi, in Austria, è piuttosto diffuso l'approvvigionamento con veicoli a pompaggio. Il caricamento pneumatico necessita di uno sfiato dell'aria contenuta nel silo, che va possibilmente ubicato accanto all'apertura di caricamento. I maggior costi per il caricamento pneumatico ammontano a circa fr. 4.-/Sm³ e il tempo di riempimento è di circa 15 minuti.

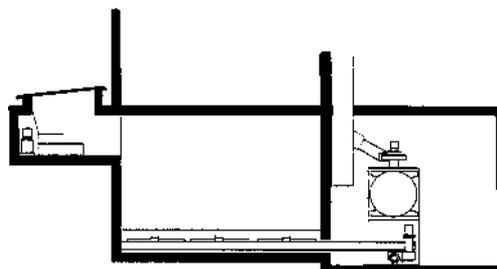
Se malgrado tutto il caricamento avviene con veicoli a ribalta occorre prevedere un distributore idraulico dei trucioli presso l'apertura di riempimento. Se possibile, il silo va eseguito con copertura non carrozzabile e deve essere munito di gronda per le acque meteoriche.

Tipi di esecuzione di silo per trucioli

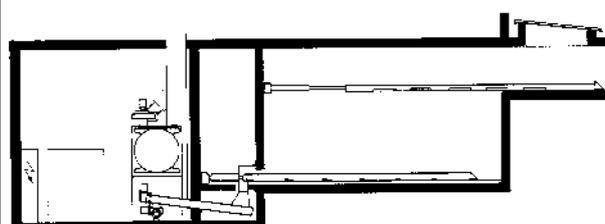
- Silo all'esterno dell'edificio



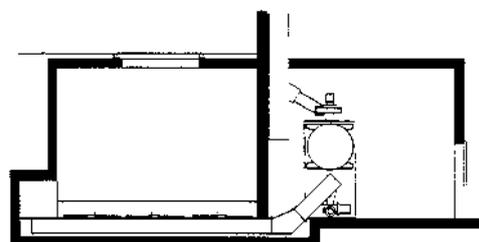
- Silo sotto l'edificio



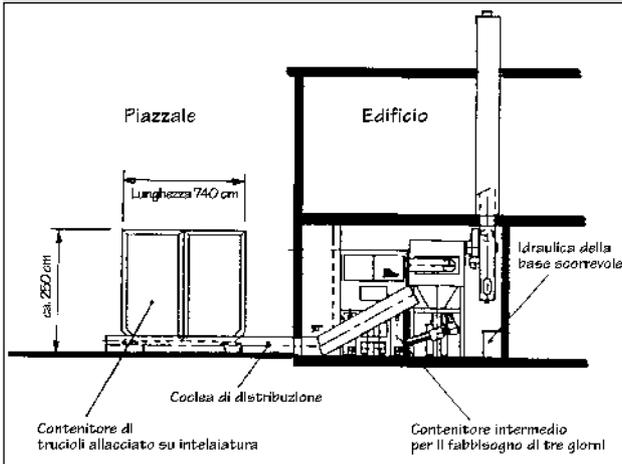
- Silo con apertura di caricamento esterna



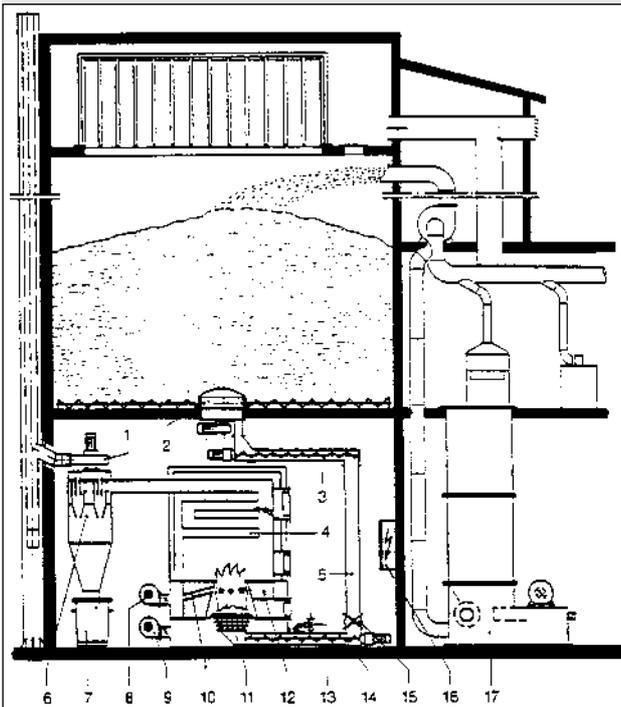
- Caricamento da silo sotto il livello del locale del riscaldamento



Contenitori mobili di trucioli



Silo per trucioli, locale riscaldamento e riempimento del silo



- | | |
|----------------------------------|---|
| 1 Ventilatore dei gas fumogeni | 10 Condotte d'aria secondaria |
| 2 Distributore del silo tipo ZDA | 11 Storta di combustione con griglia in ghisa |
| 3 Coclea di dosaggio | 12 Rivestimento ignifugo ad alta resistenza termica |
| 4 Caldaia ad alto rendimento | 13 Sicurezza per il ritorno di fiamma |
| 5 Tubo di caduta | 14 Congegno a carica inferiore |
| 6 Separatore a multiciclone | 15 Chiuse con ruota a paletta |
| 7 Contenitore della cenere | 16 Comandi elettrici |
| 8 Ventilatore secondario | 17 Macchina per la tritatura |
| 9 Ventilatore primario | |

Contenitore mobile di trucioli

Nella maggior parte delle ristrutturazioni, la costruzione di un silo per trucioli è troppo costosa o resa impossibile dalle condizioni esistenti. In questi casi, è auspicabile un approvvigionamento con contenitori mobili da 30 m³, con distribuzione a base scorrevole integrata. In un piazzale adatto, uno o più contenitori vengono allacciati all'edificio. Il collegamento è costituito da un trasportatore trasversale fisso che trasporta i trucioli distribuiti al gradino di caduta situato all'interno dell'edificio. È importante che prima della coclea di trasporto sia installato un contenitore intermedio in grado di soddisfare il fabbisogno di tre giorni (approvvigionamento durante il fine settimana). Il meccanismo per muovere la base scorrevole dei contenitori è ubicato nel locale riscaldamento.

I costi di noleggio di un contenitore da 30 m³ ammontano a circa fr. 6.- al giorno. Il noleggio di questo genere di contenitore è possibile sia per il fornitore del legno da ardere che per le associazioni forestali o i comuni.

Approvvigionamento da depositi coperti

Quali depositi di trucioli per grandi impianti, invece dei costosi sili interrati, sono possibili anche tettoie aperte. Il caricamento è possibile sia pneumaticamente che con nastri trasportatori. Per il caricamento pneumatico, il contenitore con la pompa viene allacciato ad un tubo di distribuzione stabilmente installato sotto la tettoia.

Nelle grandi tettoie, il combustibile viene pompato con un impianto di pompaggio stazionario da un pozzo di riempimento. Occorre in questi casi prestare attenzione alla formazione di polvere a partire da trucioli secchi. I grandi impianti sono solo parzialmente attrezzati con meccanismi di distribuzione. Il trasporto all'interno del deposito viene eseguito da una gru a cabina sospesa sotto il tetto del capannone.

Disposizione del silo per trucioli

Il sistema di caricamento di un silo per trucioli viene sempre combinato con l'impianto di aspirazione di trucioli utilizzato per l'esercizio. All'impianto di aspirazione si può anche collegare una macchina di tritatura. A questo scopo, il silo deve sempre trovarsi sopra il locale riscaldamento. Nella disposizione del silo bisogna assicurarsi che, dopo il rifornimento, il trasporto del combustibile non sia laborioso.

6.4 Indicazioni per la progettazione dei silo

Dimensionamento dei silo per trucioli

Distribuzione e qualità dei trucioli

Per trucioli di tritatura da bosco, trucioli provenienti da segherie e corteccia si consiglia una distribuzione a base scorrevole. La base scorrevole è insensibile a grandi pezzi e corpi estranei quali i sassi. Ciò nonostante, al fornitore di trucioli bisogna richiedere la qualità «vagliata», in quanto le coclee trasversali che servono al trasporto possono incepparsi. Dove ciò non è possibile, p. es. con corteccia o frammenti, sono da impiegare sistemi di trasporto a spinta.

Dimensioni e geometria del silo

Dimensioni e geometria del silo sono determinati dai seguenti fattori:

- livello minimo dei costi. Capacità del silo necessaria per un periodo di 5 giorni più 30 m³ di riserva, nel caso la continuità dell'approvvigionamento non sia garantita;
- larghezza massima di 2 m per una singola unità di stanghe di spinta. Per silo più larghi sono da prevedere più stanghe di spinta (costi!);
- preferenza per silo stretti e snelli;
- grado di riempimento più alto possibile (angolo di spargimento dei trucioli 45°);
- pericolo di intasamento per trucioli di tritatura da bosco: altezza massima 5 m.

Copertura del silo

Per motivi economici una copertura non carrozzabile è da preferire ad una carrozzabile. A volte, l'argomento del minor pericolo di danneggiamento da parte degli autocarri in manovra ha maggior peso per la scelta di un coperchio carrozzabile più costoso (accordo con il fornitore della legna prima di iniziare il progetto dettagliato).

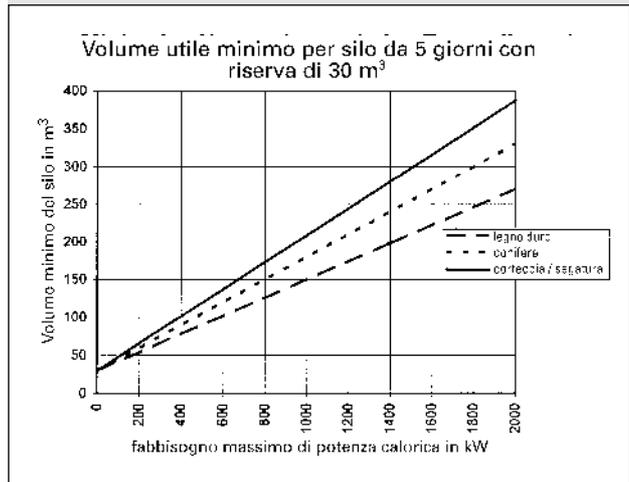
Carico statico del contenuto

Il carico statico delle pareti perimetrali dipende dal tenore d'acqua dei trucioli di legno. Per trucioli di legno secchi si può supporre una densità di spargimento di 300 kg/Sm³, per legna di bosco verde vanno calcolati 500 kg/Sm³. Le pareti del silo sono da eseguire nel modo più liscio possibile.

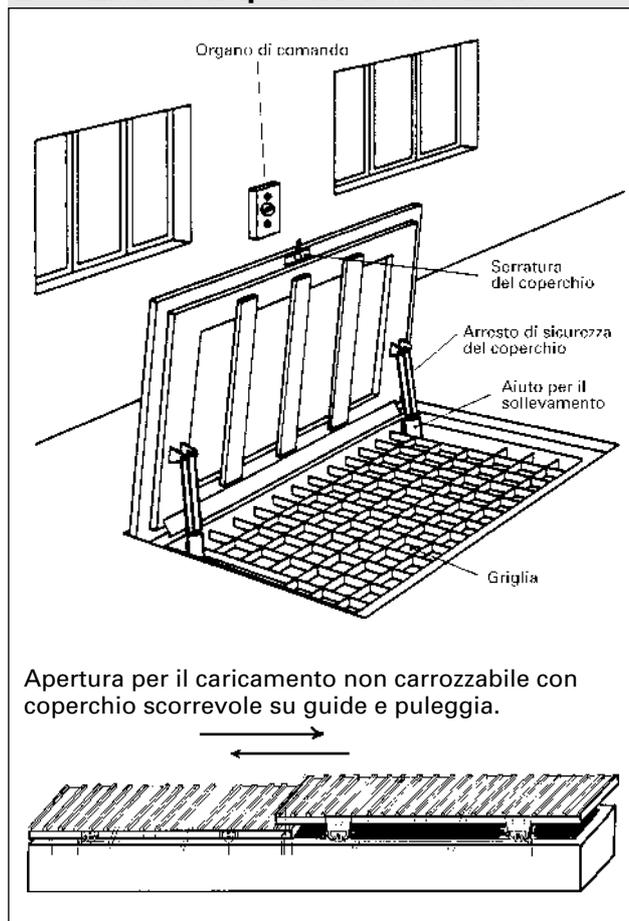
Portelli di montaggio e servizio

Nel telaio dei portelli di montaggio e di servizio sono da prevedere lamelle estraibili verso l'alto in direzione obliqua, così che sia possibile aprirli per controllo in qualsiasi momento.

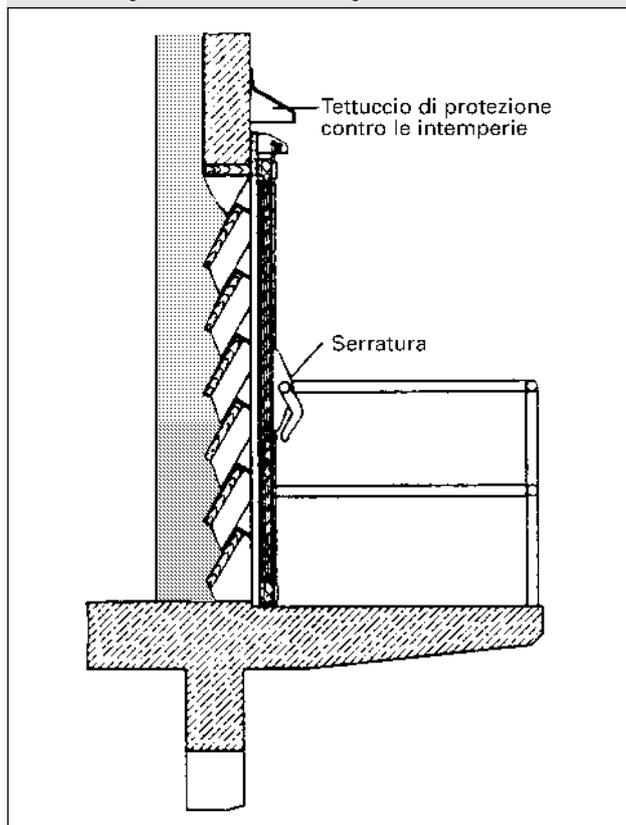
Valori indicativi per le dimensioni dei silo:
grandezza silo = 5 * fabbisogno giornaliero
massimo + 30 m³



Esecuzione dell'apertura di caricamento



Porta di prelievo nei silo per trucioli



- 1 telaio della porta
- 2 lamelle estraibili
- 3 porta con serratura
- 4 protezione contro le intemperie

Indicazioni riguardanti i silo per trucioli

Distribuzione e forma del silo

Trucioli secchi e altri trucioli con tenore d'acqua fino al 20% vengono depositati in silo per trucioli. Per silo rotondi e quadrati sono adatte le coclee centrali che trasportano il combustibile verso il centro. Sistemi a cono o a pendolo sono meno adatti.

Nei silo di forma rettangolare (ristrutturazione) va impiegato un sistema con stanghe di spinta.

Grandezza del silo

La grandezza del silo viene calcolata in funzione del bilancio fra fabbisogno giornaliero di legna da ardere e produzione giornaliera di legname residuo. In questi casi, il silo per trucioli ha la funzione di deposito di combustibile e contemporaneamente assorbe l'afflusso del materiale eccedente. Il progettista deve calcolare quanto legname residuo si accumula in un certo lasso di tempo e che parte può essere utilizzata come combustibile. Il materiale eccedente può essere fornito a terzi.

Aziende che sottostanno alle direttive INSAI devono applicare per silo con un'altezza di riempimento di oltre 3 m la direttiva INSAI form. 1875 (direttiva per silo per trucioli di legno). Oltre alle indicazioni per l'utilizzo di un silo per trucioli esente da pericoli, la direttiva INSAI contiene numerose prescrizioni costruttive come il posizionamento dei portelli per l'attizzaggio, l'esecuzione di aperture per il rifornimento e l'attrezzatura ausiliaria che permette l'accesso in caso di ispezioni del silo vuoto.

6.5 Collegamenti idraulici

Principi conosciuti

Per il collegamento alla rete idraulica degli impianti automatici di riscaldamento a legna valgono gli stessi principi degli impianti a olio combustibile o a gas:

1. separazione netta del campo d'influenza idraulico dall'effetto della pompa;
2. distacco definito di circuiti variabili rispetto a quelli costanti;
3. creazione di una sufficiente articolazione di comando nella parte idraulica della tratta di regolazione;
4. salvaguardia delle funzioni protettive e di sicurezza per l'impianto e sue parti.

Necessario mantenimento normale del livello della temperatura di ritorno

Per assicurare una buona combustione, la temperatura dell'acqua della caldaia deve situarsi fra 70 °C e 80 °C. La temperatura di ritorno non deve essere inferiore a 60 °C per evitare di trovarsi sotto la temperatura di condensazione dei gas di scarico.

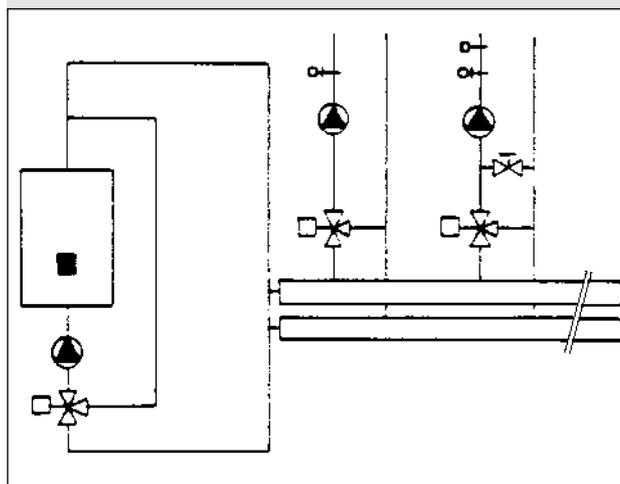
Flusso costante attraverso la caldaia

Un'ulteriore conseguenza derivante dalle caratteristiche tecniche delle caldaie a legna è la necessità di avere un flusso di attraversamento continuo. Ogni impianto automatico di riscaldamento a legna ha un limite inferiore di resa di potenza. Non raggiungendo quest'ultimo, la caldaia cade nella fase di mantenimento del braciere. Anche in questo stato l'impianto produce una certa quantità di calore che deve essere assorbita dalla rete.

Resa di calore con il mantenimento del braciere

Se l'impianto di riscaldamento giunto al limite inferiore di rendimento produce ancora più calore di quanto possa venir assorbito dalla rete (quasi sempre alla fine del periodo di riscaldamento), esso cade nella fase di mantenimento del braciere. A questo punto viene immessa una quantità minima di combustibile atta a mantenere il braciere pronto a riprendere la combustione. In questo stato, l'impianto immette nella rete una potenza corrispondente al 5% della potenza nominale. Se questa potenza residua non può essere assorbita dalla rete, la caldaia va in sovratemperatura e l'impianto di riscaldamento si spegne. In seguito è necessaria la riaccensione. Per evitare questo, le valvole degli utilizzatori non dovrebbero chiudersi completamente durante la fase di mantenimento del braciere.

Sistema senza accumulatore con valvola di miscela



Esigenze

- Perdite di pressione più basse possibile nella distribuzione e nel collettore.
- L'assorbimento del calore residuo deve essere garantito a impianto spento. Nel caso di eccessivo innalzamento della temperatura della caldaia devono aprirsi le valvole degli utilizzatori.
- Portata della pompa di circuito della caldaia (lato primario) > somma delle portate degli utilizzatori.
- Valvola di miscela con arresto ermetico.

Condizioni

Adeguamento della potenza tramite l'alimentazione di combustibile.

Applicazione

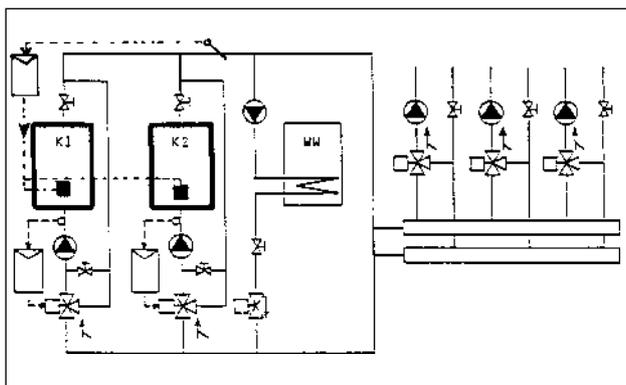
Come principio per tutti i sistemi senza accumulatore.

Impianti monovalenti a più caldaie

Per migliorare la resa degli impianti più grandi (a partire da circa 1000 kW) si impone la ripartizione della produzione calorica su due o più caldaie. Quando il fabbisogno di potenza è alto sono attive entrambe le caldaie in parallelo; quando è basso, ne è attiva una sola.

La temperatura di andata è quella che comanda la regolazione successiva, che dà il segnale per l'accensione o lo spegnimento della seconda caldaia. L'accensione può essere effettuata in modo manuale dal custode dell'impianto o automaticamente, con l'ausilio di un ventilatore ad aria calda. L'automatismo di accensione è costoso e genera un elevato consumo di energia elettrica.

Bisogna considerare che, come per ogni regolazione successiva, la temperatura di andata si abbassa con l'aumento del fabbisogno di potenza e si alza con la sua diminuzione. Determinante per la gamma di oscillazione della temperatura d'andata sono il distacco del comando dell'ordine successivo e la banda p della regolazione di potenza dell'impianto automatico di riscaldamento.



Vantaggi:

- alta affidabilità di esercizio
- miglior carico
- grado di sfruttamento annuo più alto
- minori emissioni.

Svantaggi:

- più costoso di un impianto a caldaia unica
- maggior fabbisogno di spazio.

Impianti a più caldaie

Per grandi potenze (a partire da circa 1 MW) è auspicabile la distribuzione della potenza su più caldaie.

Il limite inferiore della regolazione di potenza di impianti automatici di riscaldamento a legna varia dal 20% al 30%, secondo il tipo di impianto. Di conseguenza, nei periodi di transizione, accade che una singola caldaia si trovi sovente nella fase di mantenimento del braciere. Utilizzando legna di tipo umido possono sorgere problemi in quanto la brace tende a spegnersi malgrado lo stato di mantenimento del braciere, intralciando così il corretto funzionamento dell'impianto. Dopo i fine settimana la caldaia deve essere riaccesa. L'accumulatore di acqua calda e i corpi riscaldanti sono freddi.

Per coprire i bassi carichi o le punte di carico è ragionevole la combinazione con una caldaia a olio combustibile.

Accumulatore per la compensazione dell'esercizio a carico ridotto

Se non può entrare in considerazione una distribuzione su più caldaie (troppo costosa, impianto troppo piccolo), esiste la possibilità di migliorare il comportamento dell'esercizio a carico ridotto con l'installazione di un accumulatore tecnico. La resa calorica è così garantita anche nello stato di mantenimento del braciere. Se la brace si spegne quando l'accumulatore è carico non si verifica un'interruzione immediata del riscaldamento.

Ogni accumulatore provoca perdite di calore supplementari. Le perdite dello stato di attesa della produzione di calore aumentano e il grado di sfruttamento annuo peggiora. Per questo motivo un accumulatore va installato solo se necessario.

6.6 Comandi e regolazioni

Adattamento della potenza dell'impianto al carico di calore

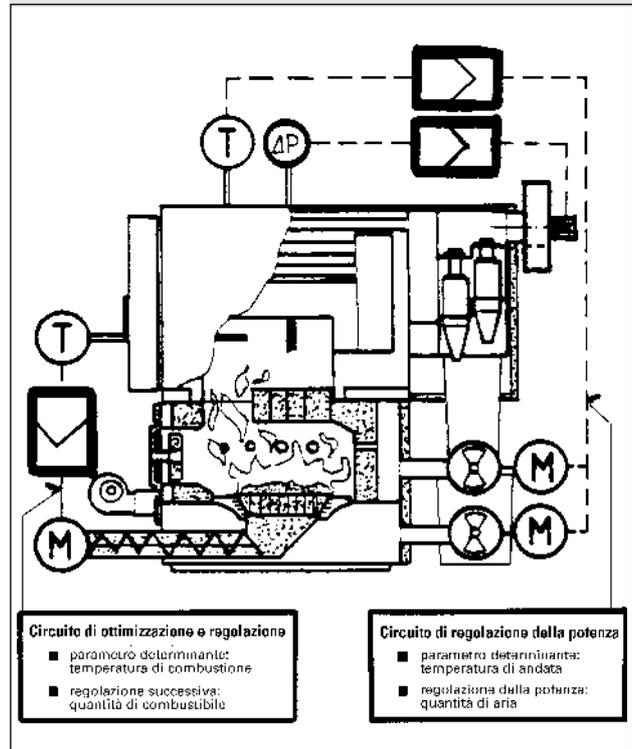
La resa calorica di un impianto automatico di riscaldamento a legna può essere adeguata al fabbisogno momentaneo modificando il dosaggio dell'alimentazione di combustibile. Per impianti di riscaldamento a carica inferiore, questo avviene con la variazione scalare o graduale della velocità di rotazione della coclea di alimentazione o con l'adeguamento dell'intervallo esercizio/attesa. Negli impianti di combustione a griglia si ottiene un adeguamento supplementare con i movimenti della griglia. Parametro determinante è la temperatura dell'acqua della caldaia. Va considerato che la gamma di regolazione della temperatura dell'acqua della caldaia oscilla di circa 6 °C. Conseguenza: un alto carico significa bassa temperatura dell'acqua della caldaia; basso carico significa alta temperatura.

Combustione ottimale lungo tutta la gamma della potenza

Nella scelta dei prodotti occorre verificare che le funzioni di regolazione e comando svolgano effettivamente i compiti previsti, oggi in genere raggruppati in una centralina (comando programmabile dell'accumulatore). Le seguenti funzioni sono da differenziare chiaramente all'interno della centralina:

1. funzioni d'esercizio:
accensione, esercizio normale e revisione
2. funzioni di comando e regolazione:
alimentazione dal silo, impianto di dosaggio della combustione, impianto di trasporto trasversale (per coclee di trasporto, se possibile con comando manuale «avanti/indietro»)
3. funzioni di sicurezza:
termostato di sicurezza della caldaia, sicurezza contro ritorni di fiamma, sorveglianza per meccanismi idraulici a olio, ulteriore segnalazione, allacciamenti per comandi di emergenza esterni.

Riassunto delle funzioni di comando e regolazione con l'esempio di una regolazione di potenza di un impianto di riscaldamento a carica inferiore:



Messaggi di esercizio:

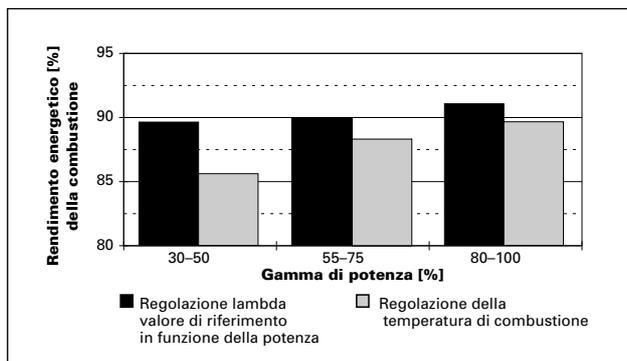
- accensione
- esercizio normale con combustione automatica
- revisione (asportazione della cenere).

Messaggi di anomalie o guasti:

- temperatura dei gas di scarico troppo bassa
- sovratemperatura della caldaia
- fusibile del motore degli impianti di alimentazione
- livello olio dei meccanismi idraulici
- sicura contro ritorno di fiamma attivata.

Rendimento energetico della combustione in funzione della gamma di potenza

Valori medi durante un periodo plurisettimanale in un impianto di riscaldamento a legna di 1 MW



Confronto fra regolazione *della temperatura di combustione* e *regolazione lambda con valore di riferimento in funzione della potenza*.

Quadro di comando

Il fornitore dell'impianto di riscaldamento fornisce il quadro di comando completo di tutti gli apparecchi di regolazione e di comando necessari per l'impianto.

Il progettista deve assicurarsi che anche altri apparecchi di regolazione e di comando non compresi nella fornitura possano trovare spazio nel quadro di comando ed essere integrati nello schema generale:

- regolazione entrata caldaia e regolazione di ulteriori caldaie per impianti a più caldaie
- comando successione caldaie per impianti a più caldaie
- eventuali regolazioni a distanza per impianti con più utenti
- misurazione di potenza e contatori di calore
- messaggi esterni di guasto e esercizio
- comunicazione di messaggi di guasto e esercizio (ricerca persone, comando centrale, sistema di conduzione).

Future strategie di regolazione

Per garantire un esercizio povero di emissioni e ad alto rendimento energetico, un impianto automatico di riscaldamento a legna deve essere munito di una regolazione della combustione. In genere si fa capo alla regolazione della temperatura di combustione o del fattore lambda.

La temperatura, rispettivamente l'eccesso d'aria, permettono solo una valutazione indiretta della qualità di combustione. Recenti strategie di regolazione utilizzano sensori che sorvegliano direttamente la qualità di combustione. Fra questi, la regolazione CO/lambda che è attualmente sperimentata in un impianto pilota. Le esperienze finora acquisite dimostrano una considerevole riduzione delle emissioni di CO. Inoltre questa regolazione migliora il rendimento energetico dell'impianto, in particolare nell'esercizio a carico parziale.

Gli apparecchi di regolazione degli utenti, nella maggior parte dei casi, non trovano spazio nel quadro di comando principale e devono essere quindi sistemati separatamente.

Spesso il fornitore dell'impianto di riscaldamento non è specializzato nell'allestimento di schemi generali. Esiste sovente solo una documentazione base della centralina di comando, adattata all'impianto fornito. È quindi opportuno che il progettista faccia allestire lo schema generale dallo specialista responsabile delle regolazioni, che integra la centralina in modo adeguato nello schema generale.

6.7 Dispositivi di sicurezza per impianto, locale riscaldamento e sili

Aspetti particolari degli impianti di riscaldamento a legna

Oltre ai seguenti dispositivi di sicurezza che fanno parte di ogni impianto di riscaldamento:

- impedimento di un aumento di pressione inammissibile nella rete idraulica;
- impedimento della propagazione d'incendi verso i locali contigui (in particolare verso il deposito del combustibile);
- impedimento della formazione di alte e pericolose concentrazioni di gas nel locale riscaldamento (gas di scarico e trasportatore del calore);

per gli impianti di riscaldamento a legna automatici occorre prendere delle misure di sicurezza supplementari:

- impedimento della formazione di pericolose concentrazioni di gas di fermentazione nel silo;
- provvedimenti di sicurezza supplementari per prevenire la propagazione del fuoco dall'impianto di combustione verso il deposito del combustibile;
- impedimento dello sviluppo del fuoco nel silo contenente materiale asciutto e facilmente infiammabile (trucioli).

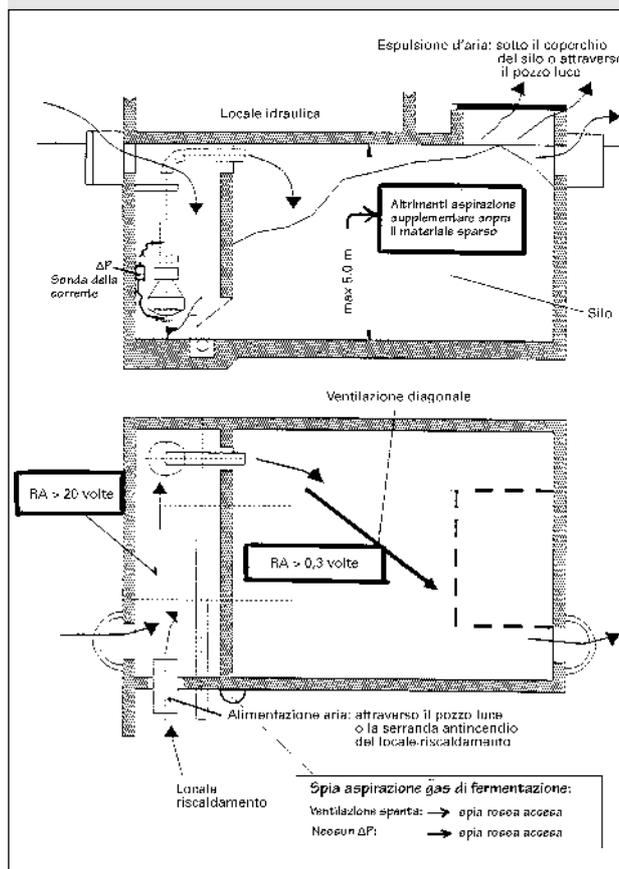
Evitare la formazione di pericolosi gas di fermentazione

Sia nel silo sia nel locale riscaldamento possono propagarsi gas di fermentazione pesanti che si formano con il deposito di trucioli di legno umidi. Entrambe le zone sono da proteggere con impianti di ventilazione adatti. Sovente è possibile combinarli con l'impianto di ventilazione.

Ventilazione combinata per locale riscaldamento e silo

L'aria esterna scorre attraverso una persiana di protezione contro le intemperie nel locale di riscaldamento. Parte dell'aria viene assorbita dai ventilatori che alimentano il bruciatore, il resto, attraverso la serranda antincendio, scorre nel vano dell'idraulica e viene portato nel silo dei trucioli grazie a un impianto di ventilazione meccanico. Vantaggio: l'aria viene preriscaldata nel locale di riscaldamento ed aiuta al procedimento di essiccazione dei trucioli.

Attenzione in presenza di gas di fermentazione → ventilazione del silo necessaria



Accesso al locale idraulica solo quando la ventilazione è in funzione

La spia accesa è rossa a ventilazione spenta e verde a ventilazione in funzione.

Dimensionamento dell'impianto di ventilazione

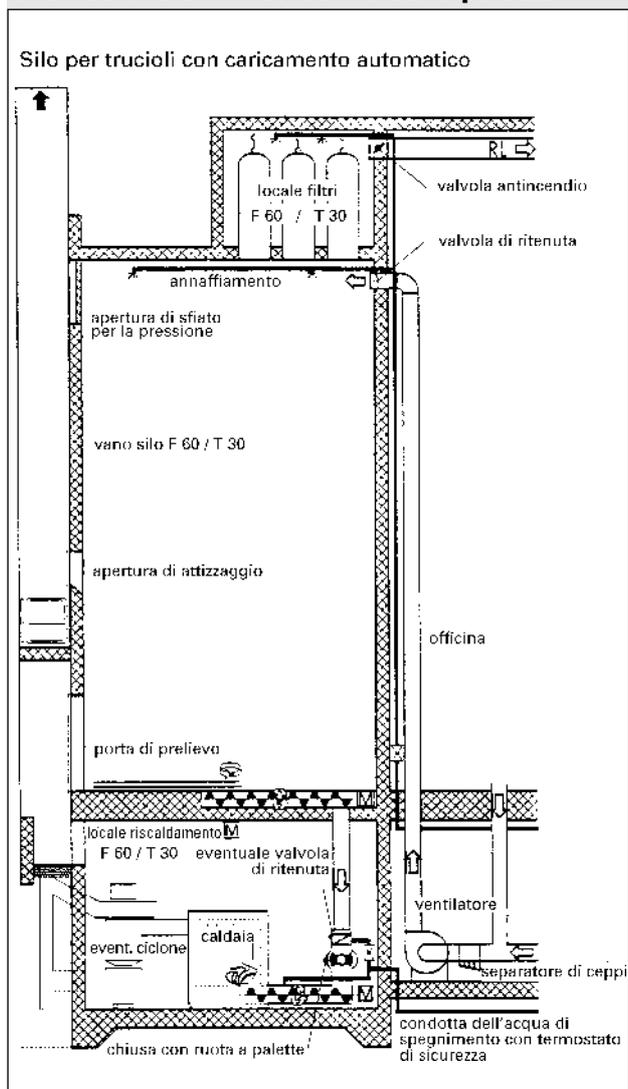
Aria di alimentazione del silo:

$$\dot{V} = V \times LW \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

V: contenuto del silo in m³

RA: ricambio d'aria nel silo minimo 0.3/ora

ricambio d'aria nel locale idraulica minimo 20/ora

Sicurezza contro il ritorno di fiamma, valvola antincendio e chiusa con ruota a palette


La scelta dell'ubicazione dell'apertura di espulsione deve considerare che i gas di fermentazione hanno un odore sgradevole. È quindi consigliabile condurre l'aria espulsa dal silo fino fuori tetto con un impianto di aspirazione separata.

Equipaggiamenti antincendio
Chiusa con ruota a palette

La chiusa con ruota a palette è costituita da una chiusa a ruota con più palette assemblata in una scatola metallica. Di regola viene posizionata nel pozzo di caduta dell'alimentazione del combustibile. La trazione avviene per mezzo di un motore elettrico collegato ai motori di trasporto. Quando l'impianto è fermo, le palette della ruota bloccano il passaggio del combustibile e impediscono un eventuale ritorno di fiamma.

Nel silo a pressione la chiusa con ruota a palette separa il silo dal sistema di trasporto privo di pressione

Sicurezza contro il ritorno di fiamma

La sicurezza contro il ritorno di fiamma è un dispositivo sensibile alla temperatura che inietta acqua di rete nel canale di trasporto del combustibile e che, in caso di funzionamento, ostacola la propagazione delle fiamme in direzione del contenitore di riserva o del silo. La valvola dell'acqua di spegnimento e il relativo termostato fanno parte della fornitura dell'impianto di riscaldamento. Il progettista ha il compito di organizzare l'allacciamento idraulico secondo le relative indicazioni rilasciate dal fornitore dell'impianto di riscaldamento.

Valvole antincendio

Le valvole antincendio si installano nel pozzo di caduta del combustibile. Sono costituite da un pezzo di tubo con clappe di chiusura azionate meccanicamente. Se il limite di temperatura fissato dalla regolazione viene sorpassato, un termostato aziona il meccanismo di chiusura che blocca l'alimentazione di combustibile.

Vasi di espansione

Gli impianti automatici di riscaldamento a legna sono regolabili in modo veloce e pertanto non necessitano di un vaso di espansione aperto ma possono essere progettati come sistemi chiusi. La regolazione minima del sistema di combustione deve essere comprovata mediante un attestato EMPA.

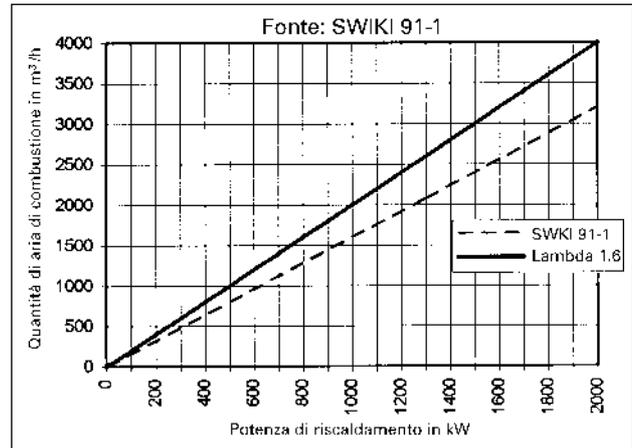
6.8 Indicazioni per la progettazione di locali riscaldamento e sili

Immissione dell'aria di combustione

L'aria di combustione è da prelevare direttamente dall'esterno. Si applicano le direttive SWIKI 91-1 «alimentazione e espulsione di aria nei locali di riscaldamento». È da osservare che gli impianti di riscaldamento e di trasporto sviluppano più rumore rispetto agli impianti di combustione a olio combustibile o a gas. L'apertura di aspirazione per il locale di riscaldamento deve essere provvista di accorgimenti afonici (apposita griglia afonica contro le intemperie, o meglio principio dello snorkel con ammortizzatore sonoro per canale integrato).

Necessaria quantità di aria di combustione

Quantità di aria di combustione per impianti di riscaldamento a legna in funzione della potenza di combustione



Osservazione:

dalla curva secondo SWIKI 91-1 risulta una quantità d'aria di combustione troppo bassa. Con gli eccessi d'aria attuali di 1.6 fino 2.0 risultano quantità maggiori d'aria di combustione (curva superiore).

Dimensionamento di canne fumarie per caldaie con ventilatore per gas di scarico

Il dimensionamento deve essere concordato con il produttore. Sul dimensionamento influiscono:

- la resistenza d'attrito della canna fumaria e camino;
- le singole resistenze dovute a deviazioni e cambiamento di sezione (vedi SIA 384/4);
- la velocità minima dei gas di scarico all'uscita del camino: 6 m/s;
- il flusso dei gas di scarico (dipende dal potere calorico del combustibile, dall'eccesso d'aria e dalla temperatura dei gas di scarico);
- la caratteristica del ventilatore utilizzato.

Altezza del camino fuori tetto: vincolanti sono le direttive UFAP del 15 dicembre 1989 in merito alle altezze minime di camini con la modifica aggiunta cifra 32 del 25 novembre 1993. Sono valide:

potenza di combustione	altezza sopra il livello di immissione
71 fino 150 kW	1 m
151 fino 250 kW	2 m
251 fino 500 kW	3 m
501 fino 1000 kW	4 m
1001 fino 2000 kW	5 m
oltre i 2000 kW	6 m

Per tetti piani agibili va considerata la direttiva VKF «Impianti tecnici di calore 1993 capitolo 3.1.3»

Canna fumaria*Dimensionamento*

Il dimensionamento della canna fumaria va eseguito secondo la norma SIA 384/4 diagramma 4. Il fornitore della canna fumaria applica sovente per la determinazione della sezione la norma tedesca DIN no. 4705. Ne risultano così diametri inferiori e camini più economici. Il progettista deve assicurarsi del corretto dimensionamento della canna fumaria indicando le seguenti basi di calcolo:

- temperatura dei gas di scarico e pressione all'entrata della canna fumaria;
- altezza della canna fumaria e temperatura prevista all'uscita della stessa;
- grado d'umidità del combustibile.

e controllare la canna fumaria offerta in accordo con il fornitore dell'impianto.

Costruzione della canna fumaria

Il punto di rugiada con utilizzo di legname umido è situato a circa 60 °C: ciò significa che la condensazione avviene a temperature inferiori rispetto all'utilizzo di olio combustibile. In linea di principio, i camini inossidabili ben isolati sono i più adatti a queste condizioni.

Si deve prestare particolare attenzione nel caso di ristrutturazioni di canne fumarie. Sovente l'unica soluzione è l'inserimento di una canna inossidabile con relativo riempimento di isolamento sciolto perimetrale nella canna fumaria esistente. Il progettista deve controllare che il riempimento di isolamento sciolto sia eseguito a regola d'arte. Si consiglia perciò di interpellare un fornitore di camini con esperienza negli impianti di riscaldamento a legna.

Misurazione delle emissioni secondo la OIA

Per la misurazione delle emissioni di impianti che sottostanno all'obbligo di collaudo (impianti di riscaldamento a legna a partire da 70 kW) è da installare nella parte verticale della canna fumaria un tappo standardizzato EMPA. Prima del tappo deve esserci una tratta stabilizzante pari a 5 diametri di camino, e dopo il tappo di almeno tre diametri.

Misure costruttive antincendio nel locale riscaldamento

Locale riscaldamento all'interno dell'edificio

Impianto di riscaldamento e depositi di combustibile devono essere sistemati in locali F60/T30. Le porte verso altri locali devono aprirsi in direzione di fuga.

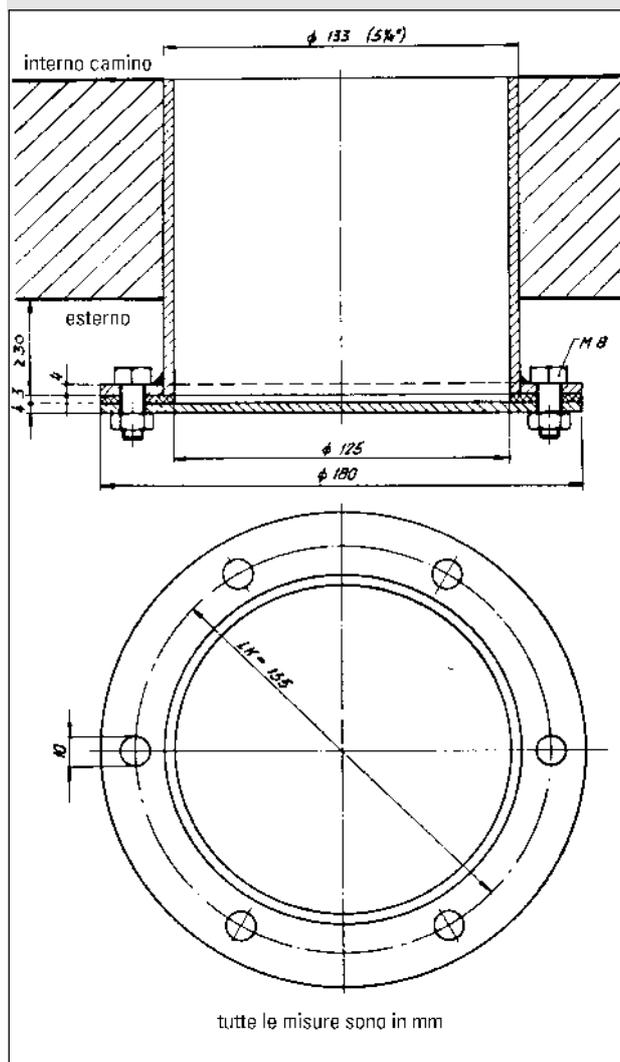
Locale riscaldamento nel 2° piano interrato

Impianti di riscaldamento superiori a 600 kW devono essere muniti di accesso diretto dall'esterno.

Locale riscaldamento fuori dall'edificio

Per centrali di riscaldamento di un piano d'altezza disposte singolarmente o separate da altri elementi costruttivi con protezione F60 è sufficiente un'esecuzione non infiammabile.

Tappo standard EMPA per la misurazione delle emissioni



Prescrizioni per sili per combustibili*Protezione antincendio*

I sili per combustibili devono essere protetti contro gli incendi. Oltre alle disposizioni VKF cifre 2.3.2, 4.3.1, 4.3.2, e 4.3.4, sono da considerare tutte le disposizioni antincendio cantonali.

Protezione contro gli incidenti

Oltre alle prescrizioni antincendio VKF si applicano le direttive INSAI 66050 sui sili per trucioli verdi e il form. 1875 sui sili per trucioli. Le disposizioni contenute hanno lo scopo di prevenire gli incidenti. Anche impianti di silo per aziende che non sottostanno alle prescrizioni INSAI devono rispettare le disposizioni contenute nelle direttive!

Anche in merito alla prevenzione degli incidenti per impianti di trasporto per combustibili, l'INSAI ha emesso le direttive corrispondenti. Così nel form. 1545 sono descritti il comportamento e la prevenzione riguardanti impianti di trasporto continuo.

Sono da osservare i seguenti punti:

- rivestimenti di coclee di trasporto;
- esecuzione di passerelle e passaggi sopra gli impianti di trasporto.

Prescrizioni per i sili

Le prescrizioni per i sili sono riassunte in modo dettagliato nell'appendice. Qui i punti più importanti:

- i sili per combustibile e i locali filtri non possono essere attraversati da camini, acqua calda, condutture d'acqua ad alta temperatura e di vapore;
- i filtri contro la polvere sono da installare in un locale separato F60;
- le aperture per aria di ritorno o per MSR nel silo o locale filtri devono essere munite di valvole antincendio che si chiudono automaticamente in caso d'incendio;
- i sili per trucioli e i vani filtro devono essere dotati di impianti di spegnimento stazionari (impianti sprinkler o a spruzzo). Fanno eccezione i sili per trucioli eseguiti in acciaio. I singoli provvedimenti sono da concordare con la locale polizia del fuoco;
- alla fine di condutture di trasporto pneumatico devono essere installate valvole antincendio.

7. Realizzazione del progetto

7.1	Punti critici durante la realizzazione	127
	Messa in opera degli elementi di posa nel silo	127
	Allacciamento dell'impianto dei gas di scarico al camino	127
7.2	Preparazione della messa in esercizio	128
	Prima accensione	128
	Primo caricamento del silo	128
	Accertamento della produzione di energia calorica	128
7.3	Preparazione per il collaudo	129
	Regolazione dell'impianto di combustione	129
	Misurazione ufficiale delle emissioni	129
7.4	Documentazione e istruzioni per l'uso	130
	Esercizio di prova	130
	Collaudo	131

7. Realizzazione del progetto

7.1 Punti critici durante la realizzazione

Messa in opera degli elementi di posa nel silo

Già nelle prime fasi di costruzione devono essere posati i profili di ancoraggio e le guide per la distribuzione dal silo. Di regola, il responsabile della costruzione statica del silo allestisce i necessari piani cassero e la lista dei ferri d'armatura, nei quali integra anche questi elementi del sistema di distribuzione. Il progettista coordina la fornitura del capomastro e del fornitore dell'impianto di combustione e controlla i piani allestiti dallo statico responsabile del silo.

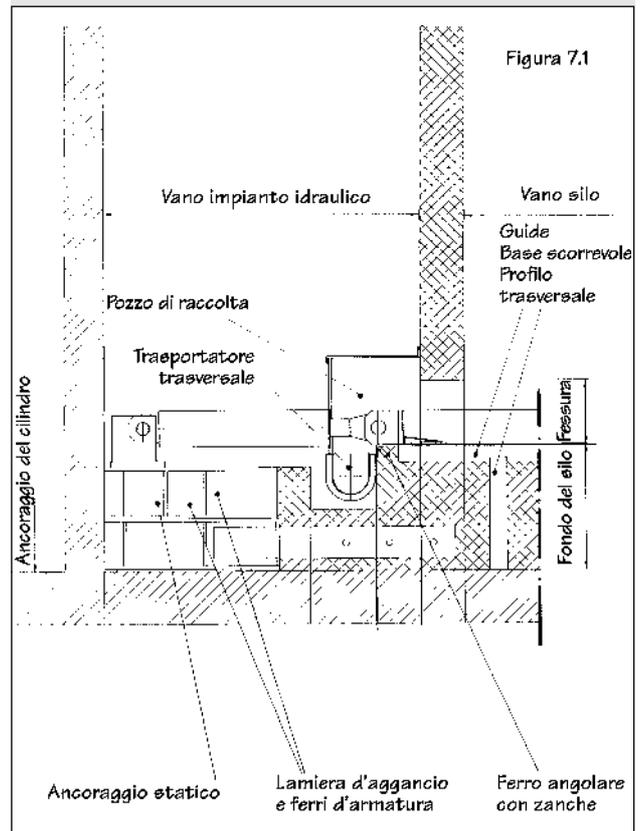
La messa in opera degli elementi della distribuzione dal silo viene eseguita dal fornitore dell'impianto di combustione, che ne concorda i termini di montaggio con il capomastro. In questa fase esecutiva piuttosto delicata, il progettista deve assicurare la buona collaborazione in cantiere fra capomastro e fornitore dell'impianto di combustione.

Allacciamento dell'impianto dei gas di scarico al camino

Un ulteriore punto di collegamento critico si trova fra l'impianto di combustione e il camino. Il camino va posato prima dell'impianto di combustione. Dopo il montaggio della caldaia, il fornitore dell'impianto di combustione collega il separatore della cenere sospesa nell'aria con degli appositi tubi per il fumo appropriatamente isolati al camino. L'ubicazione e la competenza di fornitura del tappo di misurazione EMPA sono da stabilire già nella fase di progettazione di dettaglio. Il progettista controlla in cantiere la corretta installazione e fornitura:

- controllo di ermeticità del collegamento dei tubi del fumo. Di frequente i punti di collegamento non sono sufficientemente ermetici. Risultato: baffi di pece dopo poche ore di esercizio;
- controllo della quota della bocca del camino che deve corrispondere alle prescrizioni;
- controllo della completezza della fornitura: contenitore di raccolta, valvola d'arresto sferica inossidabile alla base del camino, accessori per la pulizia, dispositivo d'aria secondario.

Posa degli elementi statici della base scorrevole



Promemoria delle pre-regolazioni più importanti

1. Punto di accensione dell'impianto di combustione: acceso:..... / spento:.....
2. Ciclo di manutenzione della combustione.
3. Ciclo della coclea di dosaggio.
4. Ciclo della base scorrevole.
5. Regolazione del ritardo sonda.
6. Regolazione del termostato gas di scarico.
7. Valore richiesto della depressione nella camera di combustione.
8. Valore richiesto della temperatura di combustione.
9. Valore richiesto della temperatura di andata.

Scheda di controllo prima della messa in esercizio

- Sistema di riscaldamento e vaso di espansione riempiti (produzione di calore in funzione)?
- Collegamenti delle condutture eseguiti correttamente?
- Pompa della caldaia pronta a funzionare?
- Mantenimento del livello della temperatura di ritorno pronto a funzionare?
- Disposizione sonde corretta?
- Termostato di sicurezza regolato correttamente?
- Allacciamenti idraulici, sicura ritorno di fiamma, sicura di scarico installate e pronte a funzionare?
- Prova di funzione degli allacciamenti elettrici compreso catena di sicurezza eseguita?
- Camino e raccordo camino eseguiti correttamente?
- Tiraggio camino rispettivamente depressione nella camera di combustione sufficiente?
- Prova di funzione dell'impianto di trasporto eseguita?

7.2 Preparazione della messa in esercizio

Prima accensione

Prima di provvedere alla prima accensione di un impianto di combustione con legna di bosco occorre provvedere una quantità sufficiente di trucioli asciutti. Si possono riscontrare problemi se i trucioli sono troppo umidi in quanto il rivestimento ignifugo dell'impianto di combustione non è ancora essiccato a sufficienza e l'impianto dei gas di scarico e il camino sono freddi: in tal caso, il termostato dei gas di scarico spegne l'impianto di combustione con il messaggio «temperatura dei gas di scarico troppo bassa».

Primo caricamento del silo

All'inizio, il silo del combustibile è da caricare al massimo a un terzo della sua capacità. Se si riscontrano dei problemi con il sistema di distribuzione, non bisognerà spalare tutto il contenuto del silo.

Per evitare la formazione di ponti è da prevedere un sufficiente periodo di essiccazione del calcestrutto del silo. Una fase di essiccazione di due settimane è considerato il minimo. Prima di procedere al riempimento occorre che il fornitore dell'impianto di combustione controlli la funzione e l'esecuzione del sistema di distribuzione e la qualità del fondo del silo. Il fornitore dell'impianto di combustione dà in seguito il nullaosta al progettista per il primo riempimento. Prima del riempimento, si deve eseguire la pulizia interna del silo.

Accertamento della produzione di energia calorica

Negli impianti di combustione a legna, durante la messa in esercizio, deve essere garantita una sufficiente portata calorica ai gruppi di consumo. Lo specialista della messa in esercizio, delle unità di regolazione periferiche e l'elettricista devono essere presenti alla messa in esercizio.

Per la messa in esercizio occorre prevedere tempo a sufficienza. Secondo la dimensione dell'impianto, occorreranno da mezza giornata sino a un intero giorno. Dopo la messa in esercizio, il progettista deve accertarsi che l' esercente dell'impianto sia stato istruito in modo completo dal fornitore dell'impianto di combustione per la seguente fase di prova e che sia stata consegnata una bozza del manuale d'esercizio.

7.3 Preparazione per il collaudo

Regolazione dell'impianto di combustione

Con l'ausilio di strumenti di misurazione adeguati, il fornitore dell'impianto di combustione è tenuto ad eseguire una ottimizzazione dell'impianto. La qualità dell'assortimento della legna da ardere ha una grande influenza sul processo di combustione e sulle emissioni che ne derivano. La dipendenza del valore CO dall'eccesso d'aria deve essere misurata e regolata per ogni singolo impianto dal fornitore dell'impianto di combustione. Negli impianti di regolazione della combustione attuali questo avviene con l'impostazione dei valori richiesti dell'aria primaria e secondaria nel SPS.

Certi passi dell'ottimizzazione possono essere effettuati anche dallo stesso esercente dell'impianto, come ad esempio l'ottimizzazione del rapporto di durata di funzionamento e di intervallo del congelamento di dosaggio per un migliore mantenimento del braciere. Questo dipende dal potere calorico e dalla umidità del combustibile.

In ogni caso, però, questo tipo di interventi di ottimizzazione sono da concordare con il fornitore dell'impianto di combustione e vanno verbalizzati secondo le regole.

Misurazione ufficiale delle emissioni

Impianti di combustione a legna a partire da 70 kW necessitano prima della messa in esercizio regolare un permesso di esercizio ufficiale. Quest'ultimo viene rilasciato in caso di superamento della misurazione di collaudo.

In seguito alla fase di prova dell'impianto di combustione, quando esso è regolato in modo ottimale e sono disponibili le misurazioni dei gas di scarico effettuate dal fornitore dell'impianto di combustione, è possibile annunciare l'impianto alla misurazione ufficiale secondo l'OIA. Le autorità competenti stabiliscono la data e eseguono le misurazioni, oppure incaricano un ente neutrale autorizzato ad eseguirle.

Le necessarie misurazioni delle emissioni sono basate sull'OIA e dipendono dalla scelta del tipo di legna e della potenza di combustione. Dopo le misurazioni di collaudo, ogni due anni si eseguono misurazioni controllo.

Valutazione approssimativa da parte dell'esercente dell'impianto

Senza strumenti di misurazione adeguati la qualità della combustione non può essere valutata in modo sufficiente. Malgrado questo, l'esercente di un impianto di combustione a legna automatico deve poter riconoscere errori grossolani nel processo di combustione:

- constatazione sul display della temperatura di combustione troppo elevata confrontando il valore di riferimento con quello effettivo;
- formazione di fumo all'imbocco del camino;
- constatazione di una temperatura di gas di scarico troppo bassa (frequente messaggio di guasto «temperatura gas di scarico troppo bassa»);
- residui di pece nel contenitore di raccolta del camino o agli allacciamenti della canna fumaria;
- confronto dell'aspetto della fiamma con immagini di regolazioni ottimali.

Valutazione ottica della fiamma

- Una fiamma lunga e sfumata indica un eccesso d'aria insufficiente.
- Una fiamma corta e pronunciata indica un eccesso d'aria sovrabbondante.
- Tante singole punte di fiamma al posto di una compatta indicano un eccesso d'aria sovrabbondante.
- Una fiamma di colore giallo chiaro indica un'elevata temperatura di combustione.

Con l'ausilio della valutazione ottica sono individuabili solo disfunzioni grossolane. La qualità della combustione non può essere valutata otticamente.

Cosa comprende la misurazione ufficiale

Nella gamma di potenze di combustione fra 70 kW e 1 MW si effettuano le seguenti misurazioni:

potenze di combustione fino a 1 MW

1. concentrazione di CO nel gas di scarico
 2. contenuto di polvere nel gas di scarico.
- Qualora dalla misurazione di controllo risultasse che il valore limite del CO è rispettato si rinuncia alla misurazione della polvere

inoltre, per potenze di combustione, da 1 MW fino 5 MW

1. concentrazione NO_x nel gas di scarico
2. contenuto di idrocarburi nel gas di scarico.

La tassa per la misurazione dipende dalla dimensione della combustione e va da fr. 800.- a fr. 1'500.-. Essa è a carico dell'esercente dell'impianto.

Istruzioni particolari da comunicare nella fase di messa in esercizio

- Accensione della caldaia nella fase di avviamento.
- Passaggio all'esercizio normale, possibili fonti di guasti.
- Evitare temperature di gas di scarico troppo basse.
- Esercizio durante il procedimento di pulizia.
- Quando va spenta la caldaia e come disinserire gli utenti di calore.

Esercizio degli impianti di trasporto

- Evitare incidenti, disposizioni di sicurezza.
- Funzionamento e possibili fonti di guasti.

Deposito di combustibile

- Funzionamento dell'alimentazione, intervalli dell'alimentazione e procedimento di caricamento.
- Evitare incidenti dovuti ai gas di fermentazione.
- Evitare incidenti con impianti di trasporto e caricamento.

Comportamento in caso di guasti

- Concetto di guasto e allarme.
- Guasti eliminabili dall'esercente.
- Chi va avvertito quando.

7.4 Documentazione e istruzioni per l'uso

Esercizio di prova

Immediatamente dopo la messa in esercizio, segue generalmente una fase di regolazione e di prova, durante la quale si ottimizza la regolazione della combustione e dell'impianto. L'esercente dell'impianto ha qui l'occasione di prendere confidenza con il sistema di combustione a legna. È molto importante che l'esercente sia assistito durante questa fase dal fornitore dell'impianto di combustione e dal progettista, che gli forniscono l'istruzione preliminare immediatamente dopo la prima messa in servizio eseguita con successo. L'istruzione preliminare deve avvenire con l'ausilio del manuale d'esercizio. Nella maggior parte dei casi il manuale d'esercizio non si presenta in modo definitivo (manca lo schema di revisione, il concetto di manutenzione è descritto in forma di bozza, ecc.). La bozza è comunque sufficiente per fornire le istruzioni necessarie. Prioritariamente devono essere chiari la manipolazione degli impianti di accensione, il rispetto delle misure di sicurezza e il comportamento in caso di guasti.

Condizione indispensabile per un'efficiente presa in consegna dell'impianto di riscaldamento è la designazione di un responsabile dell'impianto che sia stato istruito in modo adeguato.

Nella maggior parte dei casi, in questa difficile fase, l'esercente dell'impianto è assistito in modo insufficiente e si comporta in modo sbagliato. Ne conseguono unicamente inutili pregiudizi.

Collaudo

Il manuale di esercizio definitivo dev'essere consegnato al più tardi al momento del collaudo. Le modifiche della regolazione base effettuate durante il periodo di prova vanno documentate e sono da aggiornare all'ultimo stato. Quando si installano impianti convenzionali, nella maggior parte dei casi i documenti di revisione e di esercizio vengono consegnati dopo il collaudo. Si dimentica che la responsabilità dopo il collaudo passa al committente e, qualora costui possa dimostrare di essere stato istruito in modo insufficiente circa le sue responsabilità e i suoi compiti, potrebbero insorgere questioni di ordine legale. Uno di questi casi è costituito dalla mancanza delle istruzioni di servizio.

Negli impianti di combustione a legna automatici, la catena di sicurezza è più ampia rispetto agli impianti convenzionali. Le istruzioni di servizio devono dare particolare importanza alla prevenzione di incidenti, soprattutto nel silo o negli impianti di distribuzione.

Informazioni supplementari del manuale di esercizio

Comportamento in caso di guasti

- Concetto di guasti e di allarme.
- Comportamento in caso di guasti e lista delle comunicazioni.
- Verbale di comunicazione guasti in forma di tabella.

Impianto di sicurezza

- Attrezzature tecniche di sicurezza.
- Disposizioni di sicurezza.
- Evitare incidenti con gas di fermentazione.
- Evitare incidenti con impianti di trasporto.

Esercizio dell'impianto di combustione

- Controlli prima della messa in servizio.
- Posizioni degli interruttori e loro effetti.
- Modi di combustione e di revisione dell'impianto.

Piano di manutenzione

- Piano delle pulizie e dell'asportazione della cenere.
- Delimitazione di lavori di revisione eseguiti da terzi.

8. Esercizio

8.1	Servizio ed esercizio	135
	Controlli	135
	Messa in esercizio	135
	Esercizio di un impianto di combustione a legna automatico	135
	Manutenzione dell'impianto	135
	Procedimento in caso di guasti	136
8.2	Collaudo	137
	Scopo	137
	Responsabilità e partecipanti	137
	Svolgimento	137
	Documentazione necessaria e mezzi d'ausilio	137
	Interpretazione e decisioni	137
	Verbali di collaudo	138
	Inizio	138
	Conseguenze	138
8.3	Contratto di servizio	138

8. Esercizio

8.1 Servizio ed esercizio

Controlli

Prima della messa in esercizio della caldaia occorre controllare le seguenti funzioni:

1. la ventilazione del silo
2. la qualità dell'assortimento della legna da ardere e riserva
3. l'impianto antincendio
4. le funzioni di sicurezza (arresto d'emergenza)
5. che l'impianto di riscaldamento e il vaso d'espansione siano riempiti d'acqua
6. gli organi di sicurezza
7. la pompa di circolazione e il senso di rotazione
8. che tutte le valvole d'arresto della caldaia e dell'impianto siano aperte
9. che tutti i tappi non utilizzati della caldaia siano ermeticamente sigillati con chiusure o flange
10. l'ermeticità della rete di condutture a distanza, piena e priva di aria.

Messa in esercizio

Per l'accensione dell'impianto di combustione a legna automatico sono da osservare le prescrizioni contenute nel manuale del fornitore.

Esercizio di un impianto di combustione a legna automatico

Le premesse più importanti per l'esercizio impeccabile di un impianto di combustione a legna automatico sono:

1. l'utilizzo di assortimenti di legna da ardere adatti all'impianto di combustione, per i quali è stato regolato
2. la costante qualità del combustibile, possibilmente in assenza di corpi estranei
3. la necessaria e regolare manutenzione dell'impianto come da istruzioni del fornitore (ev. contratto di servizio).

Manutenzione dell'impianto

I lavori di manutenzione più importanti per un impianto di combustione a legna automatico sono:

- l'asportazione della cenere
- la pulizia delle superfici dello scambiatore di calore e della camera di combustione
- il servizio periodico da parte del fornitore della caldaia.

Asportazione della cenere

Una quantità compresa tra lo 0.5 e l'1% del peso del combustibile deve essere asportata sotto forma di cenere. Per la corteccia, tale quantità è maggiore (circa 2-3%). Indicativamente, per ogni 100 m² di superficie energetica di riferimento vengono prodotti dai 50 ai 100 kg di cenere per periodo di riscaldamento.

Nei grandi impianti è di regola prevista l'asportazione automatica della cenere. I fornitori di caldaie offrono i mezzi ausiliari necessari.

Pulizia delle superfici dello scambiatore di calore e della camera di combustione

Le superfici sporche dello scambiatore di calore diminuiscono la trasmissione calorica dell'impianto di riscaldamento all'acqua. Le conseguenze sono un'elevata temperatura dei gas di scarico e perciò elevate perdite caloriche attraverso gli stessi.

Nei manuali di esercizio del fornitore di caldaie è descritto il procedimento di pulizia della caldaia e la sua frequenza, che dipende dal combustibile e dalle condizioni dell'impianto. Di regola, tale frequenza varia da due a tre settimane. Un buon indicatore della condizione dell'impianto è la temperatura dei gas di scarico, che va perciò controllata regolarmente.

Per la manutenzione di un impianto di combustione con asportazione della cenere automatica ed una potenza di 500 kW - 1000 kW, si può calcolare un impiego medio di lavoro da 1 a 2 ore settimanali. Un controllo regolare e quotidiano dell'impianto è necessario in quanto, a causa della qualità variabile del combustibile, non si possono escludere guasti.

Lavori di servizio

Ogni impianto necessita di un servizio regolare.

Per piccoli impianti a combustione automatica la maggior parte dei lavori di manutenzione può essere eseguita dall' esercente dell'impianto, premesso che il manuale di esercizio del fornitore contenga le indicazioni necessarie. Una regolazione dell'impianto di combustione (punto d'esercizio ottimale) e un controllo delle funzioni va comunque eseguito ogni 2 o 3 anni dal suo fornitore.

Gli impianti a combustione automatica devono essere controllati annualmente. Un contratto di servizio garantisce la continuità di questo lavoro. D'estate si procede alla revisione e alla manutenzione dell'impianto di trasporto. L'impianto di combustione va controllato e regolato durante il periodo di riscaldamento, in modo da poter ridurre al minimo i guasti.

Procedimento in caso di guasti

Il procedimento in caso di guasti è descritto nel manuale di esercizio del fornitore. Con la comprensione dei guasti e le conoscenze necessarie alla loro eliminazione si possono prevenire alcune difficoltà.

Esempi pratici

Temperatura troppo elevata della caldaia durante la notte

All'abbassamento o spegnimento della caldaia non è stato considerato il calore residuo del braciere.

Rimedio:

- meno materiale per il mantenimento della brace
- regolare il consumo di calore, ev. caricare l'accumulatore.

Il ventilatore del gas di scarico ha un regime troppo elevato

I giri del ventilatore dei gas di scarico sono al massimo e non si possono ridurre.

Rimedio:

- tubo del gas di scarico difettoso (falsa entrata di aria): deve essere reso ermetico
- caldaia molto sporca (grande perdita di pressione, alta velocità del gas di scarico), deve essere pulita.

La caldaia ha una resa insufficiente

Rimedio:

- il sistema è tarato male dal lato idraulico; la pompa di trasporto della caldaia non è dimensionata correttamente.

Emissioni elevate

La causa è la cattiva combustione dovuta ad una manutenzione insufficiente o ad un combustibile non adatto.

Rimedio:

- pulizia della caldaia
- controllo dell'assortimento del combustibile
- nuova regolazione della combustione.

Formazione di scorie e colatura del rivestimento ignifugo

Dalla cenere del legno si formano scorie a una temperatura di oltre 900 °C. La colatura del rivestimento ignifugo è la conseguenza di una temperatura troppo elevata. Ciò può ad esempio accadere in un impianto di combustione a volta, previsto per trucioli di legno umidi, in cui sono combusti residui di legna asciutti. Combustibile e sistema di combustione devono essere accordati.

Rimedio:

- evitare temperature troppo elevate
- scegliere accuratamente l'assortimento del combustibile
- adeguare il rapporto aria primaria/aria secondaria.

8.2 Collaudo

Scopo

Dopo la positiva conclusione della messa in esercizio, il fornitore deve consegnare l'impianto al committente. Questa consegna da parte del fornitore, rispettivamente il collaudo da parte del committente, permette il controllo dell'impianto in base al contratto e a regola d'arte.

Responsabilità e partecipanti

I lavori di messa in esercizio svolti in precedenza sono di competenza del fornitore e devono essere conclusi prima del collaudo. Il controllo comune viene condotto dalla direzione lavori.

Partecipano al controllo comune:

- la direzione lavori (ingegnere consulente), l'architetto, i consulenti tecnici (se necessario)
- il fornitore e, se necessario, il subappaltante
- il personale di esercizio.

A dipendenza della dimensione dell'opera, possono essere chiamati in causa diversi impresari, in modo che per ogni singola componente e gruppo di apparecchi si debba effettuare un collaudo a parte.

Il controllo comune è da effettuare entro un mese dalla notifica dell'ultimazione dei lavori (in seguito alla messa in esercizio svolta con successo). I controlli comuni hanno il fine di ottenere un verbale firmato da tutte le parti coinvolte che funge da prova per tutti i partecipanti (SIA 118, Art. 158).

Svolgimento

Di seguito sono elencati solo i punti importanti per un impianto di combustione a legna automatico:

1. controllo della fornitura (tipo, controllo della potenza, misurazioni)
2. controllo dell'esecuzione (qualità del materiale, precisione delle dimensioni)
3. controlli di sicurezza (protezione ritorno di fiamma, sovraccarico)
4. controllo delle funzioni dei comandi (limite di fornitura)
5. controllo del comportamento dinamico (ancoraggio della base scorrevole, sistema idraulico).

Documentazione necessaria e mezzi d'ausilio

- Contratto
- Valori limite del legislatore (valori dei gas di scarico)
- Strumenti di misurazione
- Prova della potenza.

Interpretazione e decisioni

Il controllo comune spesso porta alla luce piccoli errori e piccoli lavori parziali non ultimati. Esso può portare a tre decisioni diverse:

1. l'impianto può essere collaudato
2. l'impianto può essere collaudato con riserve (difetti di poco conto)
3. l'impianto non può essere collaudato (difetti di rilievo).

Il collaudo viene differito quando il controllo comune rivela uno o più difetti di rilievo. Il committente, rispettivamente la direzione lavori, concede un periodo di tempo accettabile per l'eliminazione dei difetti riscontrati.

Quando l'impresario ha eliminato i difetti e ha notificato l'ultimazione dei lavori, si riavvia la procedura di collaudo. A tale scopo, il verbale del primo collaudo contiene una distinta dei controlli svolti in precedenza, che non sono da rifare.

La prassi stabilisce la distinzione fra difetti di poco conto e difetti di rilievo. Un difetto è considerato di rilievo quando per il committente ci sono ragioni urgenti per la sua eliminazione. Sono considerati difetti di questo genere l'impedimento dell'esercizio, la messa in esercizio pericolosa per la vita o l'incolumità delle persone, il rischio di danni alla proprietà del committente e la messa in pericolo di terzi. Difetti estetici non sono di rilievo. In ogni caso, la valutazione di un difetto va considerata in base ad un effetto sull'insieme dell'impianto.

Durante il controllo comune non è possibile eseguire alcune misurazioni delle prestazioni, più precisamente: il grado di utilizzo annuo, il comportamento in situazioni climatiche estreme, le misurazioni delle emissioni acustiche nello stabile regolarmente occupato. Queste riserve sulle prestazioni sono da definire in modo preciso e da elencare nel verbale di collaudo.

Verbal di collaudo

La norma SIA 118, art. 158, cpv. 3 consiglia ai presenti di allestire e firmare in ogni caso un verbale di collaudo, che costituisce la miglior prova delle eventuali riserve fatte. Il verbale deve contenere i seguenti punti:

- distinta dei documenti d'esercizio
- distinta dei documenti mancanti con relativo termine di consegna
- distinta delle riserve su difetti e clausole, con relativi termini per la loro eliminazione
- contratto di garanzia
- contratti di servizio ed esercizio
- data, nome e firma legale dell'impresario, del committente e della direzione lavori.

Inizio

Al termine dei lavori, l'opera eseguita viene consegnata dall'impresario al committente. Questo procedimento è denominato collaudo, rispettivamente consegna. L'opera è ultimata: l'impresario ha notificato il termine dei lavori e il controllo comune non ha messo in evidenza nessun difetto di rilievo. Questo è considerato come caso ideale.

Conseguenze

- Passaggio della sorveglianza
Dal momento della consegna compete al committente prendere tutti i provvedimenti atti a proteggere la vita e la salute delle persone, i propri beni e quelli di terzi. Fino alla consegna questi obblighi sono sotto la responsabilità dell'impresario (SIA 118, art. 103).
- Passaggio dei rischi
L'impresario non sopporta più alcun rischio per incidenti che danneggino o comportino la perdita dell'opera.
- Iniziano i periodi di garanzia e prescrizione (SIA 118, art. 172 cpv. 2 e art. 180 cpv. 1).
- L'impresario deve presentare la sua fattura finale entro due mesi (SIA 118, art. 154).

8.3 Contratto di servizio

A dipendenza della dimensione e complessità dell'impianto e dal numero degli impresari principali possono essere necessari più contratti di servizio.

Possibili stipulanti sono:

- il fornitore della caldaia con i comandi
- il fornitore degli aggregati del silo (caricamento e vuotatura)
- il fornitore dell'impianto di trattamento dei gas di scarico
- il fornitore dell'impianto sanitario
- il fornitore dei comandi elettrici e del sistema di guida.

In taluni casi, ogni fornitore elencato deve stipulare un contratto di servizio. Le prestazioni incluse dovrebbero essere simili o uguali per tutti i contratti.

Un contratto di servizio deve regolare i seguenti punti:

- scopo del contratto
- descrizione dei limiti di fornitura e di prestazione (possibilità di garanzie!)
- descrizione di esclusioni ed eccezioni
- elenco di tariffe orarie, supplementi e spese
- costo del contratto
- validità e durata del contratto
- disdetta del contratto
- proroga del contratto
- indirizzi di contatto e di organizzazioni per esigenze di prestazioni di servizio in caso di emergenza
- obblighi dell'esercente
- diritti dell'impresario
- luogo, data e firma del committente e dell'impresario.

È generalmente vantaggioso stipulare un contratto annuale che possa essere adattato e aggiornato annualmente.

9. Appendice

A1	Esempi pratici	139
	Esempio 1: legna di bosco, 150 kW, bivalente, teleriscaldamento a breve distanza	140
	Esempio 2: residui di falegnameria, 450 kW, monovalente	144
	Esempio 3: legna di bosco e residui, 150 kW, monovalente, caldaia unica con accumulatore e scambiatore di calore supplementare dei gas di scarico	148
	Esempio 4: legna di bosco e residui, 6.6 MW, monovalente, impianto a più caldaie, teleriscaldamento, condensazione dei gas di scarico	152
	Esempio 5: legna di bosco, 1.4 MW, monovalente, impianto a più caldaie, teleriscaldamento	156
	Esempio 6: legna di bosco, 800 kW, bivalente, impianto a più caldaie, teleriscaldamento a breve distanza	160
A2	Valori limite posti dall'OIAAt per combustibili lignei	164
A3	Determinazione del grado di sfruttamento annuo η_a	165
A4	Calcolo del flusso di ossido d'azoto	167
A5	Formulari tipo	169
	Scheda d'impianto	
	Nomogramma per la determinazione del rendimento energetico della tecnica di combustione	171
A6	Esempio di capitolato SFIH	172
A7	Bibliografia	182
A8	Prescrizioni e regolamenti	183
A9	Indirizzi importanti	184

A1 Esempi pratici

Nelle pagine seguenti vengono descritti sei esempi di impianti realizzati.

I dati caratteristici importanti sono riassunti per ogni esempio su una scheda d'impianto di due pagine. Alcune schede sono documentate con piani generali e foto.

Esempio 1 - Legna di bosco, 150 kW, bivalente, teleriscaldamento a breve distanza
Scheda d'impianto

Oggetto

Ubicazione: Juchhof, Zürich altitudine: 650 m.s.m.

Scopo: Calore per locali Acqua calda Calore per processi di produzione

Utente del calore: Scuola Casa unifamiliare Casa plurifamiliare 1 Azienda agricola

Indice energetico 414 MJ/m²a Superficie di riferimento energetico 2000 m²

Fabbisogno di potenza calorica: installazione di base 150 kW Installazione finale kW

Fabbisogno di energia calorica: installazione di base 230 MWh/a Installazione finale MWh/a

Produzione calore: caldaia a legna 1 120 kW Caldaia a legna 2 kW Caldaia a legna 3 kW

caldaia a olio combustibile 36 kW Caldaia a gas kW

Rete di distribuzione calorica a breve distanza: potenza 156 kW Lunghezza tracciato m

Combustibile

Approvvigionamento: Acquisto di legna da ardere

Approvvigionamento proprio, (p. es. segheria), denominazione esatta: Bosco proprio

Combinazione acquisto e approvvigionamento proprio % approvvigionamento proprio

Trucioli di bosco Residui

.....% direttamente dal bosco al silo% da segheria

100% indiretto (da deposito intermedio)% da falegnameria

.....% combinazione (diretto e indiretto)% da carpenteria

.....% da fabbrica di pannelli truciolari

Assortimento: Legno duro di latifoglie Tenore di acqua w = 10 - 25%

Legno tenero di latifoglie o di conifere 25 - 40%

Corteccia 40 - 50%

Residui lignei 50 - 60%

> 60%

Fatturazione: al Sm³ Prezzo 13 fr./Sm³ per il combustibile con w = %

al kWh Solo fr./kWh

alla t_{asse} tritatura fr./t_{asse}

Impianto di combustione

Tipo dell'impianto A carica inferiore Con griglia a spinta

Regolazione: Potenza A uno stadio Combustione Regolazione della temperatura

A più stadi (p.e. 100/80/60%) Regolazione del valore lambda

Variabile (p.e. 100% - 30%) Regolazione del valore lambda e di CO

Altro Altri

Depurazione dei gas di scarico Ciclone Filtro elettrico Filtro in tessuto

Filtro DENOX SCR SNCR

Silo

Capacità lorda 80 m³ Capacità netta 50 m³

Sistema di alimentazione: Trasporto su base scorrevole Distributore nel silo Pompe Altro Kran

Sistema di trasporto: Piano scorrevole Trasporto dal centro Altro Kran

Autonomia: < 1 settimana 1-2 settimane 2-4 settimane

(nel periodo più freddo dell'anno) 4-8 settimane > 8 settimane

Numero di volumi netti consumati: Numero di volumi netti del silo consumati all'anno

Dati d'esercizio

Ore d'esercizio a pieno regime: Legno 2000 h/a Olio combustibile h/a

Consumo annuo: Legno 250 Sm³/a t_{asse}/a 230 MWh/a con η_a = 85%

Olio combustibile l/a t/a

Consumo di energia elettrica per l'esercizio dell'impianto di combustione a legna kWh/a

Calore utile: 195 MWh/a

Investimenti		Investimenti	Durata di utilizzo	Fattore di annualità	Costi del capitale	Servizio e manutenzione	Costi di servizio e manutenzione
Ristrutturazione							
Costi di costruzione locale riscaldamento:		20 fr.	30 anni	6,5 %	1'300 fr/a	1 %	300 fr/a
Costi di costruzione del silo (compresi gli accessi):		35'300 fr.	30 anni	0 %	2'295 fr/a	1 %	350 fr/a
Sistema di caricamento del silo:		26'000 fr.	15 anni	9,6 %	2'500 fr/a	3 %	790 fr/a
Costi di costruzione locale serbatoio:		- fr.	- anni	- %	- fr/a	- %	- fr/a
Installazioni elettriche e sanitarie:		29'000 fr.	15 anni	9,6 %	2'800 fr/a	3 %	870 fr/a
Impianto di combustione con collegamenti idraulici fino alla batteria principale:		96'000 fr.	15 anni	9,6 %	9'200 fr/a	3 %	2'900 fr/a
Canna fumaria:		5'000 fr.	15 anni	9,6 %	482 fr/a	1 %	50 fr/a
Trituratore:		- fr.	- anni	- %	- fr/a	- %	- fr/a
Rete di distribuzione del calore:		110'000 fr.	30 anni	6,5 %	7'150 fr/a	1 %	1'100 fr/a
Onorari di progettazione:		80'000 fr.	15 anni	9,6 %	7'700 fr/a		
Sussidi:	<input type="checkbox"/> Confederazione	fr.	anni	%	fr/a		
	<input type="checkbox"/> Cantone	fr.	anni	%	fr/a		
	<input type="checkbox"/>	fr.	anni	%	fr/a		

Costi annui (senza rincaro)			Totale	
Costo del capitale (vedi investimenti)			33'400 fr/a	
Costi dell'energia:	Legno	3'300 fr/a		
	Corrente elettrica	fr/a		
	Olio combustibile	fr/a		
	Totale		3'300 fr/a	
Costi di servizio e manutenzione:	Personale, Assistenza, Spazzacamino, Controlli	6'250 fr/a 300 fr/a		
	Totale		6'500 fr/a	
Costi accessori:	Amministrazione, Assicurazione, Tasse	- fr/a - fr/a		
	Totale		- fr/a	
Costi annui totali:			43'200 fr/a	

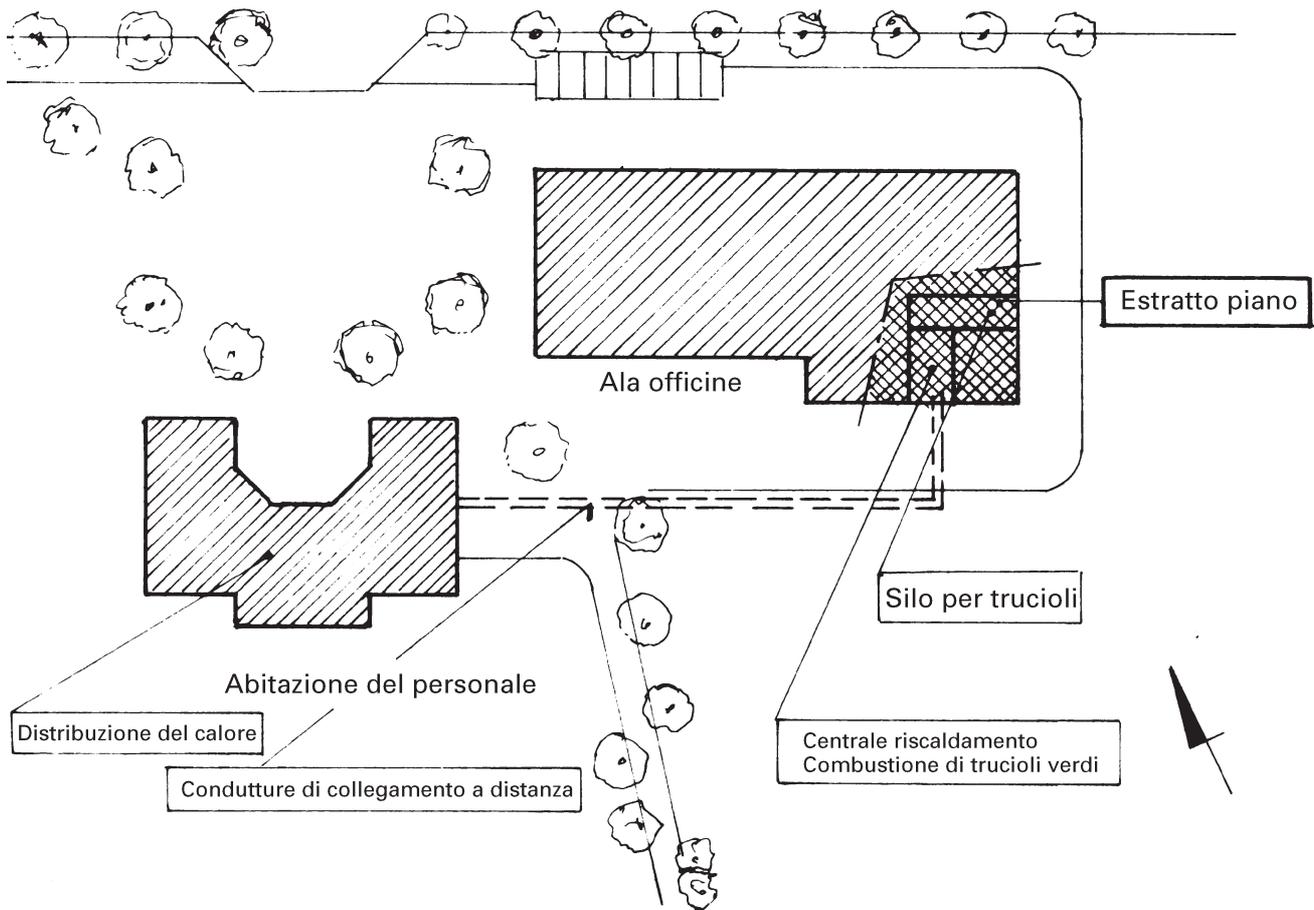
Dati caratteristici specifici (riassunto)			
Calore utile:	1900 MWh/a	Costo del calore escl. rete di distribuzione	17,1 ct/kWh
Ore di esercizio a pieno regime	2000 h/a	Costo del calore incl. rete di distribuzione	22,7 ct/kWh
Costi dell'impianto:	2'200 fr./kW		
Costi della rete di distribuzione del calore	400 fr./m		

Conteggio per teleriscaldamento a breve distanza —> Edifici di proprietà dell'azienda agricola			
Prezzo del calore:	- ct/kWh	Tassa di allacciamento forfettaria	
Tassa base:	- fr./kW anno		- fr./kW anno

Documentazione supplementare	
<input type="checkbox"/> Schema dell'impianto di combustione	Indicazioni su: <input type="checkbox"/> Fase degli studi preliminari
<input type="checkbox"/> Disposizione nel locale riscaldamento/edificio	<input type="checkbox"/> Fase dell'avanprogetto
<input type="checkbox"/> Schema del teleriscaldamento	<input type="checkbox"/> Fase del progetto
<input type="checkbox"/> Misurazione di collaudo	<input type="checkbox"/> Fase esecutiva e della direzione lavori specialistica
	<input type="checkbox"/> Messa in funzione e collaudo

Particolarità	
-	L'esercente dell'impianto ha un bosco di sua proprietà; paga i costi della tritatura.
-	Costi di ristrutturazione: —> più alti rispetto a costruzione nuova.
-	Teleriscaldamento a breve distanza per edifici di proprietà dell'azienda agricola: —> nessuna vendita di energia.

Piano generale Juchhof 1:800



Piano esecutivo

Juchhof, Azienda agricola della città di Zurigo	Piano numero: 92.340-06
Centrale riscaldamento con combustione di trucioli verdi e silo per trucioli nell'ala officine Sistema di riscaldamento: Riscaldamento - PWW 60 / 45 °C	Data: 16.10.92 Disegnato: P. Koch Scala: 1: 20 / 1: 50 Dimensioni disegno: 60 x 126 cm
H + K Huwyler & Koch Beratende Ingenieure HTL Lindenstrasse 38, 8008 Zürich; Tel. 01 / 422'34'88 Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik	Modifiche 27.4.93 29.4.93

Confronto e paragone con variante a olio combustibile
Costi d'investimento I senza rete di distribuzione calorica a breve distanza

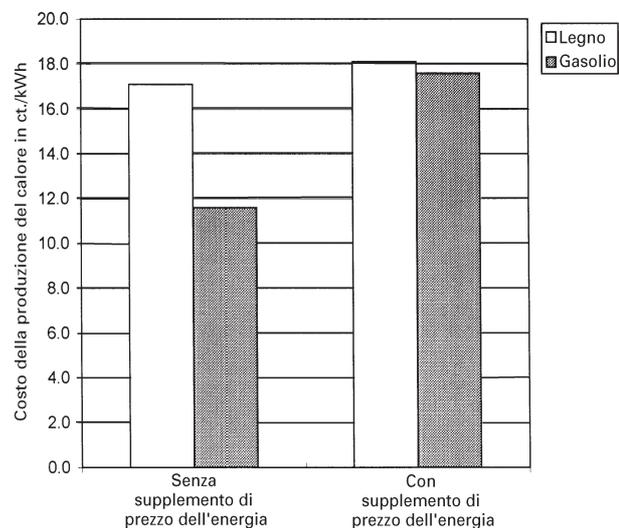
Parte d'impianto	Variante olio comb. Olio comb. Low-Nox	Variante imp. automa- tico di comb. di trucioli	Annualità	Costi del capitale	
				Olio combustibile	Trucioli di legno
Canna fumaria	fr. 5'000.00	fr. 5'000.00	9.63%	fr. 481.50	fr. 481.50
Produzione del calore	fr. 25'000.00	fr. 81'000.00	9.63%	fr. 2'407.50	fr. 7'800.30
Allacciamento idraulico	fr. 20'000.00	fr. 16'000.00	9.63%	fr. 1'926.00	fr. 1'540.80
Impianto di espansione e di sicurezza	fr. 5'000.00	fr. 10'000.00	9.63%	fr. 481.50	fr. 963.00
Allacciamento alla rete di distribuzione	fr. 15'000.00	fr. 15'000.00	9.63%	fr. 975.00	fr. 975.00
Smontaggi	fr. 5'000.00	fr. 5'000.00	9.63%	fr. 481.50	fr. 481.50
Silo per trucioli		fr. 35'300.00	6.50%		fr. 2'294.50
Serbatoio gasolio	fr. 20'000.00		6.50%	fr. 1'300.00	
Opere da capomastro per locale riscald.	fr. 25'000.00	fr. 20'000.00	6.50%	fr. 1'625.00	fr. 1'300.00
Elettricista	fr. 10.000.00	fr. 27'000.00	9.63%	fr. 963.00	fr. 2'600.00
Sanitario		fr. 2'000.00	9.63%	fr. 0.00	fr. 192.60
Ingegnere specialista	fr. 40'000.00	fr. 50'000.00	9.63%	fr. 3'852.00	fr. 4'815.00
Sussidi		fr. -16'000.00	9.63%	fr. 0.00	fr. -1'540.80
Totale costi d'investimento	fr. 170'000.00	fr. 250'300.00		fr. 14'493.00	fr. 21'903.50

Costi del capitale K:	fr. 14'493.00	fr. 21'903.50
------------------------------	----------------------	----------------------

Servizio/Manutenzione WK:

Parte d'impianto	Variante olio comb. Olio comb. Low-Nox	Variante imp. automa- tico di comb. di trucioli	In % di I	Servizio / manutenzione	
				Olio combustibile	Trucioli di legno
Canna fumaria	fr. 5'000.00	fr. 5'000.00	1.00%	fr. 50.00	fr. 50.00
Produzione del calore	fr. 25'000.00	fr. 81'000.00	3.00%	fr. 750.00	fr. 2'430.00
Allacciamento idraulico	fr. 20'000.00	fr. 16'000.00	1.00%	fr. 200.00	fr. 160.00
Impianto di espansione e di sicurezza	fr. 5'000.00	fr. 10'000.00	3.00%	fr. 150.00	fr. 300.00
Allacciamento alla rete di distribuzione	fr. 15'000.00	fr. 15'000.00	1.00%	fr. 150.00	fr. 150.00
Smontaggi	fr. 5'000.00	fr. 5'000.00			
Silo per trucioli		fr. 35'300.00	1.00%		
Serbatoio gasolio	fr. 20'000.00		1.00%	fr. 200.00	fr. 353.00
Opere da capomastro per locale riscald.	fr. 25'000.00	fr. 20'000.00	1.00%	fr. 250.00	fr. 0.00
Elettricista	fr. 10.000.00	fr. 27'000.00	3.00%	fr. 300.00	fr. 200.00
Sanitario		fr. 2'000.00	3.00%		fr. 810.00
Ingegnere specialista	fr. 40'000.00	fr. 50'000.00			fr. 60.00
Sussidi		fr. -16'000.00			
Totale costi d'investimento	fr. 170'000.00	fr. 250'300.00		fr. 2'050.00	fr. 4'513.00

Costi di servizio e manutenzione WK+A21	fr. 2'050.00	fr. 4'513.00
--	---------------------	---------------------

Costo della produzione del calore con e senza supplemento di prezzo dell'energia per l'esempio Juchhof


Esempio 2 - Residui di falegnameria, 450 kW, monovalente
Scheda d'impianto

Oggetto

Ubicazione: Pratteln, BL altitudine: 278 m.s.m.

Scopo: Calore per locali Acqua calda Calore per processi di produzione

Utente del calore: Scuola Casa unifamiliare Casa plurifamiliare Officina, deposito

Indice energetico MJ/m²/a Superficie di riferimento energetico m²

Fabbisogno di potenza calorica: installazione di base 450 kW Installazione finale kW

Fabbisogno di energia calorica: installazione di base 850 MWh/a Installazione finale MWh/a

Produzione calore: caldaia a legna 1 450 kW Caldaia a legna 2 kW Caldaia a legna 3 kW

caldaia a olio combustibile kW Caldaia a gas kW

Rete di distribuzione calorica a breve distanza: potenza 450 kW Lunghezza tracciato m

Combustibile

Approvvigionamento: Acquisto di legna da ardere

Approvvigionamento proprio, (p. es. segheria), denominazione esatta: Truciolini, minuzzoli

Combinazione acquisto e approvvigionamento proprio % approvvigionamento proprio

Truciolini di bosco% direttamente dal bosco al silo

.....% indiretto (da deposito intermedio)

.....% combinazione (diretto e indiretto)

Residui% da segheria

.....% da falegnameria

.....% da carpenteria

.....% da fabbrica di pannelli truciolari

Assortimento: Legno duro di latifoglie

Legno tenero di latifoglie o di conifere

Corteccia

Residui lignei

Tenore di acqua w = 10 - 25%

25 - 40%

40 - 50%

50 - 60%

> 60%

Fatturazione: al Sm³ Prezzo: fr./Sm³ per il combustibile con w = %

al kWh fr./kWh

alla t_{asse} fr./t_{asse}

Impianto di combustione

Tipo dell'impianto A carica inferiore Con griglia a spinta

Regolazione: Potenza A uno stadio Combustione Regolazione della temperatura

A più stadi (p.e. 100/80/60%) Regolazione del valore lambda

Variabile (p.e. 100% - 30%) Regolazione del valore lambda e di CO

Altro Altri

Depurazione dei gas di scarico Ciclone Filtro Filtro elettrico Filtro in tessuto

DENOX SCR SNCR

Silo

Capacità lorda180... m³ Capacità netta150... m³

Sistema di alimentazione: Trasporto su base scorrevole Distributore nel silo Pompe Altro pneumatico

Sistema di trasporto: Piano scorrevole Trasporto dal centro Altro trasportatore a viavai.....

Autonomia: < 1 settimana 1-2 settimane 2-4 settimane deposito intermedio supplementare

(nel periodo più freddo dell'anno) 4-8 settimane > 8 settimane per residui lignei in pezzi

Numero di volumi netti consumati: ~3... Numero di volumi netti del silo consumati all'anno

Dati d'esercizio

Ore d'esercizio a pieno regime: Legno1900 h/a Olio combustibile h/a

Consumo annuo: Legno 430 Sm³/a t_{asse}/a 850 MWh/a con η = 85 %

Olio combustibile l/a t/a

Consumo di energia elettrica per l'esercizio dell'impianto di combustione a legna10000 kWh/a

Calore utile:720 MWh/a

Investimenti	Investimenti	Durata di utilizzo	Fattore di annualità	Costi del capitale	Servizio e manutenzione	Costi di servizio e manutenzione
Costi di costruzione locale riscaldamento:	fr.	anni	%	fr./a	%	fr./a
Costi di costruzione del silo (compresi gli accessi):	Esistente fr.	anni	%	fr./a	%	fr./a
Sistema di caricamento del silo:	fr.	anni	%	fr./a	%	fr./a
Costi di costruzione locale serbatoio:	Filtro in tessuto 78'000 fr.	15 anni	9,63 %	7510 fr./a	3 %	2'340 fr./a
Installazioni elettriche e sanitarie:	14'000 fr.	15 anni	9,63 %	1'350 fr./a	1,5 %	210 fr./a
Impianto di combustione con collegamenti idraulici fino alla batteria principale:	171'000 fr.	15 anni	9,63 %	16'470 fr./a	2,5 %	4'280 fr./a
Canna fumaria:	10'000 fr.	15 anni	9,63 %	960 fr./a	3,5 %	350 fr./a
Trituratore:	Esistente fr.	— anni	— %	— fr./a	— %	— fr./a
Rete di distribuzione del calore:	Esistente fr.	— anni	— %	— fr./a	— %	— fr./a
Onorari di progettazione:	8'500 fr.	15 anni	9,63 %	820 fr./a		
Sussidi:						
<input type="checkbox"/> Confederazione	fr.	anni	%	fr./a		
<input checked="" type="checkbox"/> Cantone	32'000 fr.	15 anni	9,63 %	3'130 fr./a		
<input type="checkbox"/>	fr.	anni	%	fr./a		

Costi annui (senza rincaro)		Totale	
Costo del capitale (vedi investimenti)		23'980	fr./a
Costi dell'energia: Legno	— fr./a		
Corrente elettrica	1'700 fr./a		
Olio combustibile	— fr./a		
		Totale	1'700 fr./a
Costi di servizio e manutenzione: Personale, Assistenza, Spazzacamino, Controlli	7'180 fr./a		
		Totale	7'180 fr./a
Costi accessori: Amministrazione, Assicurazione, Tasse	— fr./a		
		Totale	— fr./a
Costi annui totali:		32'860	fr./a

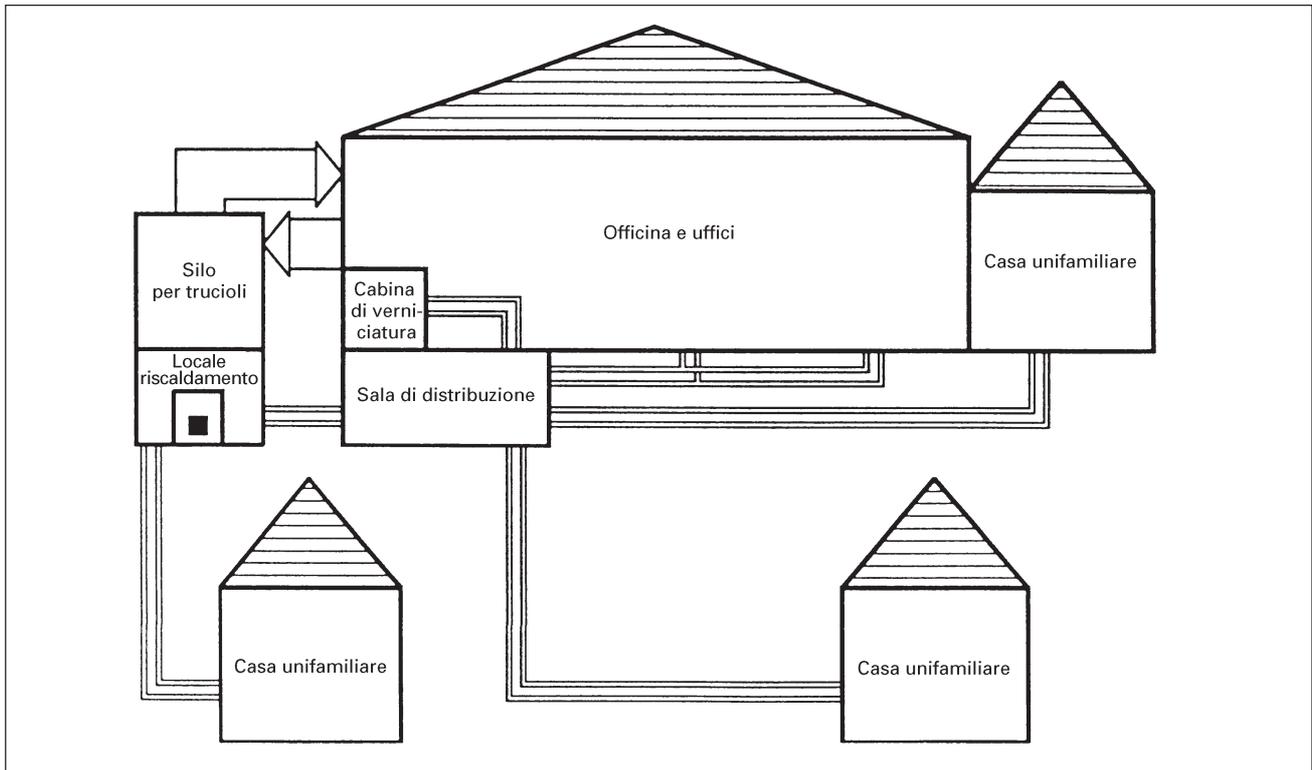
Dati caratteristici specifici (riassunto)			
Calore utile:	720 MWh/a	Costo del calore escl. rete di distribuzione	4,6 ct/kWh
Ore di esercizio a pieno regime	1900 h/a	Costo del calore incl. rete di distribuzione	— ct/kWh
Costi dell'impianto:	380 fr./kW		
Costi della rete di distribuzione del calore	— fr./m		

Conteggio per teleriscaldamento a breve distanza			
Prezzo del calore:	..... ct/kWh	Tassa di allacciamento forfettaria	..... fr./kW anno
Tassa base:	..... fr./kW anno		

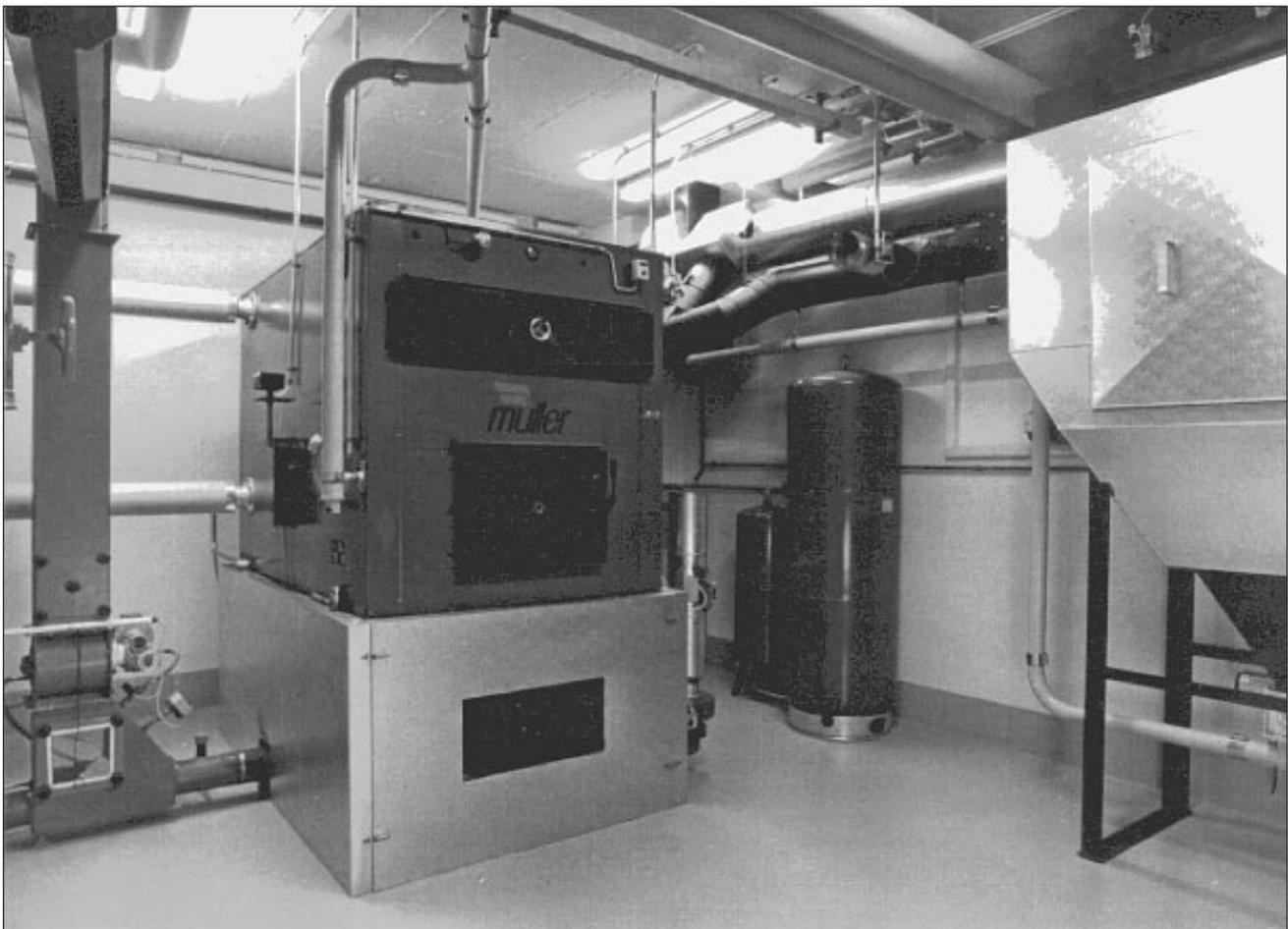
Documentazione supplementare	
<input type="checkbox"/> Schema dell'impianto di combustione	Indicazioni su: <input type="checkbox"/> Fase degli studi preliminari
<input type="checkbox"/> Disposizione nel locale riscaldamento/edificio	<input type="checkbox"/> Fase dell'avanprogetto
<input type="checkbox"/> Schema del teleriscaldamento	<input type="checkbox"/> Fase del progetto
<input type="checkbox"/> Misurazione di collaudo	<input type="checkbox"/> Fase esecutiva e della direzione lavori specialistica
	<input type="checkbox"/> Messa in funzione e collaudo

Particolarità
- Il bruciatore a legna è stato sostituito da un impianto nuovo (silo, trituratore e condotte di distribuzione erano già in opera).
- Poiché non erano rispettati i valori limite dell'OIA, è stato installato un filtro in tessuto.

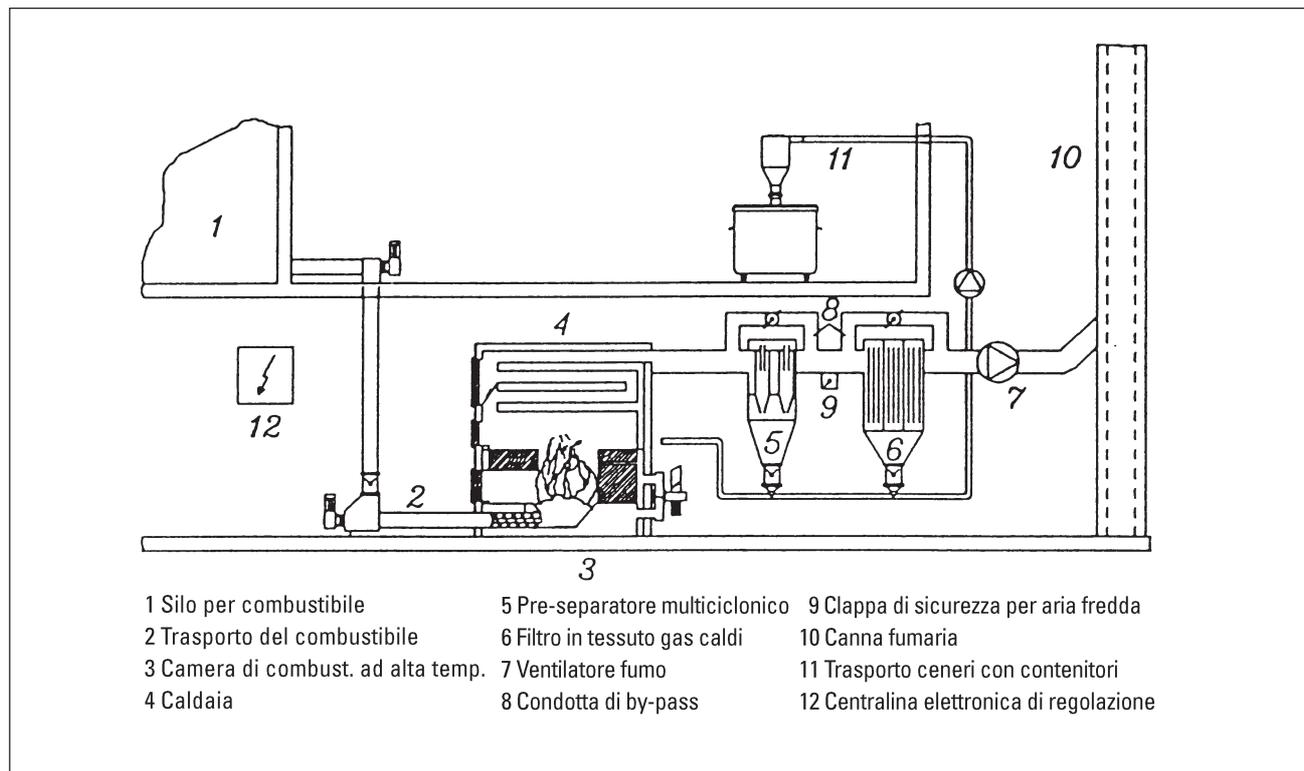
Piano generale del teleriscaldamento: falegnameria con case unifamiliari



Locale riscaldamento falegnameria



Piano generale impianti di combustione automatici a legna



Misurazione dei gas di scarico prima e dopo il filtro in tessuto

Rapporto
 delle misurazioni dei valori di
emissione nell'atmosfera

C:\WP51\PENTONAG_BRP\SCRIP02.128

PENTONAG AG
 Mauenstrasse 63A
 4002 Basel
 Tel. 061-272'93'90
 Fax. 061-272'93'94

PENTONAG AG
 im Riefenbrönnen
 Unterschötlitiko
 8352 Rätterschen
 Tel. 052-36'15'04
 Fax. 052-36'15'04

Esercente dell'impianto SCHNEIDER AG
4133 PRATELN

Risultati delle misurazioni
 Le misurazioni da noi effettuate hanno dato i seguenti risultati:

	Particelle solide (mg/m ³)	Temperatura gas di scarico (°C)	Contenuto C ₂ (Vol.-%)	Contenuto CO (mg/m ³)	Contenuto NO (sotto forma di NO ₂) (mg/m ³)	Velocità gas di scarico (m/sec)
Dopo ciclone + filtro in tessuto (tappo di misurazione no. 10)						
Potenza caldaia 100%	misurazione 1 < 10	124+/-6	15,4+/-0,2	523+/-52	219+/-22	8,9+/-2
	misurazione 2 < 10	130+/-7	15,2+/-0,2	288+/-29	294+/-29	8,9+/-2
	media < 10	127+/-7	15,3+/-0,2	406+/-41	257+/-26	8,9+/-2
Potenza caldaia 60%	misurazione 3 < 10	118+/-6	15,5+/-0,2	240+/-24	267+/-27	5,7+/-1
	misurazione 4 < 10	110+/-6	15,8+/-0,2	353+/-35	277+/-28	5,7+/-1
	media < 10	114+/-6	15,7+/-0,2	297+/-30	272+/-27	5,7+/-1
Potenza caldaia 30%	misurazione 5 < 10	98+/-5	16,6+/-0,2	173+/-17	294+/-29	4,2+/-0,9
	misurazione 6 < 10	96+/-5	16,7+/-0,2	335+/-34	277+/-26	4,2+/-0,9
	media < 10	94+/-5	16,7+/-0,2	254+/-25	286+/-29	4,2+/-0,9
Dopo ciclone senza filtro in tessuto (tappo di misurazione no. 9 alla fine della canna fumaria)						
Potenza caldaia 100%	misurazione 9 114+/-18	124+/-6	15,2+/-0,2	210+/-21	333+/-33	5,1+/-1
	misurazione 10 118+/-20	130+/-7	15,3+/-0,2	149+/-15	347+/-35	5,2+/-1
	media 116+/-20	127+/-7	15,3+/-0,2	180+/-18	340+/-34	5,2+/-1

Osservazioni:

Data: 14.4.93

Responsabile delle misurazioni: U. Prüt
ppa U. Prüt

Esempio 3 - Legna di bosco e residui, 150 kW, monovalente, caldaia unica con accumulatore e scambiatore di calore supplementare dei gas di scarico
Scheda d'impianto

Oggetto	
Ubicazione:	Grüningen, ZH altitudine: 492 m.s.m.
Scopo:	<input checked="" type="checkbox"/> Calore per locali <input checked="" type="checkbox"/> Acqua calda <input type="checkbox"/> Calore per processi di produzione
Utente del calore:	<input checked="" type="checkbox"/> Scuola <input checked="" type="checkbox"/> Casa unifamiliare <input type="checkbox"/> Casa plurifamiliare
Fabbisogno di potenza calorica:	installazione di base 170 kW Superficie di riferimento energetico..... m²
Fabbisogno di energia calorica:	installazione di base 350 MWh/a Installazione finale..... kW
Produzione calore:	caldaia a legna 1 170 kW Caldaia a legna 2..... kW
	caldaia a olio combustibile..... kW Caldaia a gas..... kW
Rete di distribuzione calorica a breve distanza:	potenza 170 kW Lunghezza tracciato 210 m

Combustibile	
Approvvigionamento:	<input checked="" type="checkbox"/> Acquisto di legna da ardere
	<input type="checkbox"/> Approvvigionamento proprio, (p. es. segheria), denominazione esatta:
	<input type="checkbox"/> Combinazione acquisto e approvvigionamento proprio % approvvigionamento proprio
	<input checked="" type="checkbox"/> Trucioli di bosco <input type="checkbox"/> Residui <input type="checkbox"/>
	75% direttamente dal bosco al silo 25% da segheria
	.....% indiretto (da deposito intermedio)% da falegnameria
	.....% combinazione (diretto e indiretto)% da carpenteria
	.....% da fabbrica di pannelli truciolari
Assortimento:	<input checked="" type="checkbox"/> Legno duro di latifoglie Tenore di acqua w = <input type="checkbox"/> 10 - 25%
	<input checked="" type="checkbox"/> Legno tenero di latifoglie o di conifere <input checked="" type="checkbox"/> 25 - 40%
	<input type="checkbox"/> Corteccia <input type="checkbox"/> 40 - 50%
	<input type="checkbox"/> Residui lignei <input type="checkbox"/> 50 - 60%
	<input type="checkbox"/> > 60%
Fatturazione:	<input checked="" type="checkbox"/> al Sm ³ Prezzo: 45 fr./Sm³ per il combustibile..... con w =..... %
	<input checked="" type="checkbox"/> al kWh fr./kWh 2 anni dopo la messa in esercizio
	<input type="checkbox"/> alla t _{asse} fr./t_{asse}

Impianto di combustione	
Tipo dell'impianto	<input checked="" type="checkbox"/> A carica inferiore <input type="checkbox"/> Con griglia a spinta <input type="checkbox"/>
Regolazione:	<input checked="" type="checkbox"/> Potenza <input type="checkbox"/> A uno stadio <input checked="" type="checkbox"/> Combustione <input checked="" type="checkbox"/> Regolazione della temperatura
	<input type="checkbox"/> A più stadi (p.e. 100/80/60%) <input type="checkbox"/> Regolazione del valore lambda
	<input checked="" type="checkbox"/> Variabile (p.e. 100% - 30%) <input type="checkbox"/> Regolazione del valore lambda e di CO
	<input type="checkbox"/> Altro
Depurazione dei gas di scarico	<input checked="" type="checkbox"/> Ciclone <input type="checkbox"/> Filtro elettrico <input type="checkbox"/> Filtro in tessuto
	<input type="checkbox"/> Filtro <input type="checkbox"/> SCR <input type="checkbox"/> SNCR
	<input type="checkbox"/> DENOx <input type="checkbox"/> SCR <input type="checkbox"/> SNCR

Silo	
Capacità lorda .....111... m ³	Capacità netta .....95... m ³
Sistema di alimentazione:	<input checked="" type="checkbox"/> Trasporto su base scorrevole <input type="checkbox"/> Distributore nel silo <input type="checkbox"/> Pompe <input type="checkbox"/> Altro
Sistema di trasporto:	<input checked="" type="checkbox"/> Piano scorrevole <input type="checkbox"/> Trasporto dal centro <input type="checkbox"/> Altro
Autonomia:	<input type="checkbox"/> < 1 settimana <input type="checkbox"/> 1-2 settimane <input checked="" type="checkbox"/> 2-4 settimane
(nel periodo più freddo dell'anno)	<input type="checkbox"/> 4-8 settimane <input type="checkbox"/> > 8 settimane
Numero di volumi netti consumati:	4 Numero di volumi netti del silo consumati all'anno

Dati d'esercizio	
Ore d'esercizio a pieno regime:	Legno .....1700 h/a Olio combustibile..... h/a
Consumo annuo:	Legno <input checked="" type="checkbox"/> 370 Sm ³ /a <input type="checkbox"/> t _{asse} /a <input checked="" type="checkbox"/> 350 MWh/a con η _a =85%
	Olio combustibile <input type="checkbox"/> l/a <input type="checkbox"/> t/a
	Consumo di energia elettrica per l'esercizio dell'impianto di combustione a legna 3000 kWh/a
Calore utile:	295 MWh/a

Investimenti	Investimenti	Durata di utilizzo	Fattore di annualità	Costi del capitale	Servizio e manutenzione	Costi di servizio e manutenzione
Costi di costruzione locale riscaldamento:						
Costi di costruzione del silo (compresi gli accessi):	86'000 fr.	50 anni	6,34 %	5'450 fr/a	1 %	860 fr/a
Sistema di caricamento del silo:	58'000 fr.	20 anni	8,77 %	5'060 fr/a	2 %	1'160 fr/a
Costi di costruzione locale serbatoio:	- fr.	- anni	- %	- fr/a	- %	- fr/a
Installazioni elettriche e sanitarie:	27'000 fr.	25 anni	7,82 %	2'110 fr/a	1,5 %	410 fr/a
Impianto di combustione con collegamenti idraulici fino alla batteria principale:	136'500 fr.	20 anni	8,72 %	11'900 fr/a	2,5 %	3'410 fr/a
Canna fumaria:	9'000 fr.	15 anni	10,3 %	930 fr/a	3,5 %	320 fr/a
Trituratore:	- fr.	- anni	- %	- fr/a	- %	- fr/a
Rete di distribuzione del calore:	25'500 fr.	12 anni	11,93 %	1'190 fr/a	1,5 %	380 fr/a
Onorari di progettazione:	165'000 fr.	25 anni	7,82 %	12'900 fr/a		
Sussidi:						
<input checked="" type="checkbox"/> Confederazione	50'000 fr.	20 anni	8,72 %	4'360 fr/a		
<input checked="" type="checkbox"/> Cantone	76'000 fr.	20 anni	8,72 %	6'630 fr/a		
<input type="checkbox"/>						

Costi annui (senza rincaro)		Totale	
Costo del capitale (vedi investimenti)		28'550	fr/a
Costi dell'energia: Legno	16'650 fr/a		
Corrente elettrica	540 fr/a		
Olio combustibile			
		Totale	17'190 fr/a
Costi di servizio e manutenzione: Personale, Assistenza, Spazzacamino, Controlli	6'540 fr/a	Totale	6'540 fr/a
Costi accessori: Amministrazione, Assicurazione, Tasse		Totale	- fr/a
Costi annui totali:		52'280	fr/a

Dati caratteristici specifici (riassunto)			
Calore utile:	295 MWh/a	Costo del calore escl. rete di distribuzione	17 ct/kWh
Ore di esercizio a pieno regime	1700 h/a	Costo del calore incl. rete di distribuzione	- ct/kWh
Costi dell'impianto:	fr/kW		
Costi della rete di distribuzione del calore	fr/m		

Conteggio per teleriscaldamento a breve distanza			
Prezzo del calore:	ct/kWh	Tassa di allacciamento forfettaria	
Tassa base:	fr/kW anno		fr/kW anno

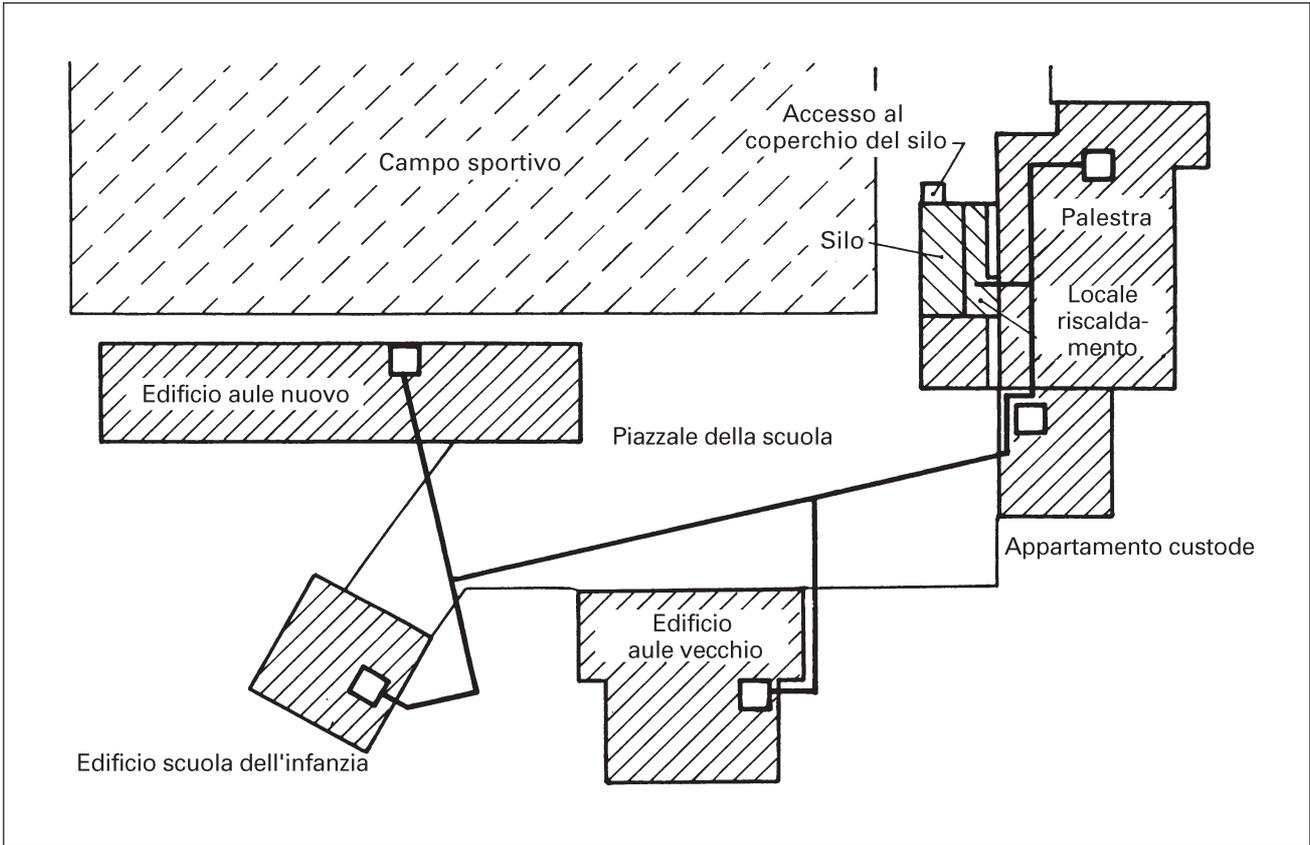
Documentazione supplementare	
<input type="checkbox"/> Schema dell'impianto di combustione	Indicazioni su: <input type="checkbox"/> Fase degli studi preliminari
<input type="checkbox"/> Disposizione nel locale riscaldamento/edificio	<input type="checkbox"/> Fase dell'avanprogetto
<input type="checkbox"/> Schema del teleriscaldamento	<input type="checkbox"/> Fase del progetto
<input type="checkbox"/> Misurazione di collaudo	<input type="checkbox"/> Fase esecutiva e della direzione lavori specialistica
	<input type="checkbox"/> Messa in funzione e collaudo

Particolarità

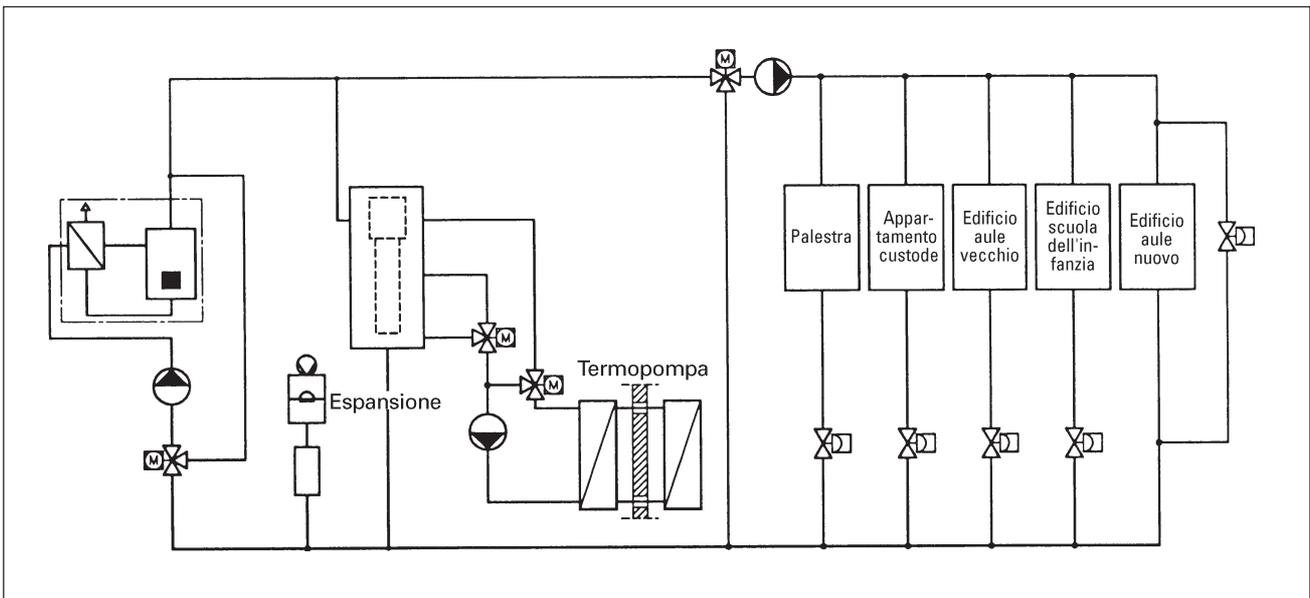
- Bruciatore monovalente a legna con accensione automatica, accoppiato con scambiatore di calore dei gas di scarico e munito di accumulatore con serpentine interne per la produzione di acqua calda (durante il periodo di riscaldamento).
- D'estate, l'accumulatore di acqua calda sanitaria è caricato mediante una termopompa aria-acqua split.

In funzione del fabbisogno giornaliero si procede alla carica dell'accumulatore in diverso modo:
 fabbisogno di acqua calda ridotto: accumulatore caricato a metà
 fabbisogno di acqua calda elevato: accumulatore caricato completamente.

Piano generale del teleriscaldamento: complesso scolastico



Schema idraulico



Esempio 4 - Legna di bosco e residui, 6.6 MW, monovalente, impianto a più caldaie, teleriscaldamento, condensazione dei gas di scarico
Scheda d'impianto

Oggetto	
Ubicazione:	Affoltern a. A. altitudine: 493 m.s.m.
Scopo:	<input checked="" type="checkbox"/> Calore per locali <input checked="" type="checkbox"/> Acqua calda <input type="checkbox"/> Calore per processi di produzione
Utente del calore:	<input type="checkbox"/> Scuola <input type="checkbox"/> Casa unifamiliare <input type="checkbox"/> Casa plurifamiliare
Fabbisogno di potenza calorica:	installazione di base 6600 kW Superficie di riferimento energetico m²
Fabbisogno di energia calorica:	installazione di base 16000 MWh/a Installazione finale kW
Produzione calore:	caldaia a legna 1 2400 kW Caldaia a legna 2 2400 kW Caldaia a legna 3 1200 kW
	caldaia a olio combustibile kW Caldaia a gas kW
Rete di distribuzione calorica a breve distanza:	potenza 6600 kW Lunghezza tracciato 4900 m

Combustibile	
Approvvigionamento:	<input checked="" type="checkbox"/> Acquisto di legna da ardere <input type="checkbox"/> Approvvigionamento proprio, (p. es. segheria), denominazione esatta: <input type="checkbox"/> Combinazione acquisto e approvvigionamento proprio % approvvigionamento proprio
	<input checked="" type="checkbox"/> Trucioli di bosco <input type="checkbox"/> Residui <input type="checkbox"/>
	63% direttamente dal bosco al silo% da segheria
	.....% indiretto (da deposito intermedio)% da falegnameria
	.....% combinazione (diretto e indiretto)% da carpenteria
	.....% da fabbrica di pannelli truciolati
Assortimento:	<input checked="" type="checkbox"/> Legno duro di latifoglie Tenore di acqua w = <input type="checkbox"/> 10 - 25%
	<input checked="" type="checkbox"/> Legno tenero di latifoglie o di conifere <input checked="" type="checkbox"/> 25 - 40%
	<input type="checkbox"/> Corteccia <input type="checkbox"/> 40 - 50%
	<input type="checkbox"/> Residui lignei <input type="checkbox"/> 50 - 60%
	<input type="checkbox"/> > 60%
Fatturazione:	<input checked="" type="checkbox"/> al Sm ³ Prezzo 35 fr./Sm ³ per il combustibile con w = %
	<input checked="" type="checkbox"/> al kWh fr./kWh
	<input type="checkbox"/> alla t _{asse} fr./t_{asse}

Impianto di combustione	
Tipo dell'impianto:	<input checked="" type="checkbox"/> A carica inferiore <input type="checkbox"/> Con griglia a spinta <input type="checkbox"/>
Regolazione:	<input checked="" type="checkbox"/> Potenza <input type="checkbox"/> A uno stadio <input checked="" type="checkbox"/> Combustione <input checked="" type="checkbox"/> Regolazione della temperatura
	<input type="checkbox"/> A più stadi (p.e. 100/80/60%) <input type="checkbox"/> Regolazione del valore Lambda
	<input checked="" type="checkbox"/> Variabile (p.e. 100% - 30%) <input type="checkbox"/> Regolazione del valore Lambda e di CO
	<input type="checkbox"/> Altro <input type="checkbox"/> Altri
Depurazione dei gas di scarico:	<input checked="" type="checkbox"/> Ciclone <input type="checkbox"/> Filtro <input type="checkbox"/> Filtro elettrico <input type="checkbox"/> Filtro in tessuto
	<input type="checkbox"/> DENOX <input type="checkbox"/> SCR <input type="checkbox"/> SNCR

Silo	
Capacità lorda 1300 m ³	Capacità netta 980 m ³
Sistema di alimentazione:	<input type="checkbox"/> Trasporto su base scorrevole <input checked="" type="checkbox"/> Distributore nel silo <input type="checkbox"/> Pompe <input type="checkbox"/> Altro
Sistema di trasporto:	<input checked="" type="checkbox"/> Piano scorrevole <input type="checkbox"/> Trasporto dal centro <input type="checkbox"/> Altro
Autonomia:	<input type="checkbox"/> < 1 settimana <input checked="" type="checkbox"/> 1-2 settimane <input type="checkbox"/> 2-4 settimane
(nel periodo più freddo dell'anno)	<input type="checkbox"/> 4-8 settimane <input type="checkbox"/> > 8 settimane
Numero di volumi netti consumati:	...16... Numero di volumi netti del silo consumati all'anno

Dati d'esercizio	
Ore d'esercizio a pieno regime:	Legno 2200 h/a Olio combustibile h/a
Consumo annuo:	Legno <input checked="" type="checkbox"/> 16000 Sm ³ /a <input type="checkbox"/> t _{asse} /a <input type="checkbox"/> 16000 MWh/a con η _a =90%
	Olio combustibile <input type="checkbox"/> l/a <input type="checkbox"/> t/a
	Consumo di energia elettrica per l'esercizio dell'impianto di combustione a legna 150000 kWh/a
Calore utile:	..... 14500 MWh/a

Investimenti	Investimenti	Durata di utilizzo	Fattore di annualità	Costi del capitale	Servizio e manutenzione	Costi di servizio e manutenzione
Costi di costruzione locale riscaldamento:		fr. anni	..... %		fr./a	fr./a
Costi di costruzione del silo (compresi gli accessi):	1'370'000	fr. 50 anni	5,48 %	75'070	fr./a 1,0 %	13'700 fr./a
Sistema di caricamento del silo:		fr. anni	..... %		fr./a	fr./a
Costi di costruzione locale serbatoio:		fr. anni	..... %		fr./a	fr./a
Installazioni elettriche e sanitarie:	120'000	fr. 25 anni	7,10 %	8'520	fr./a 1,5 %	1'800 fr./a
Impianto di combustione con collegamenti idraulici fino alla batteria principale:	1'300'000	fr. 23 anni	7,48 %	97'260	fr./a 3,0 %	39'500 fr./a
Canna fumaria:	730'000	fr. 20 anni	7,96 %	58'110	fr./a 2,8 %	20'550 fr./a
Trituratore:	450'000	fr. 25 anni	7,10 %	31'930	fr./a 1,0 %	4'500 fr./a
Rete di distribuzione del calore:	4'060'000	fr. 27 anni	6,94 %	281'790	fr./a 0,94 %	38'100 fr./a
Onerari di progettazione:	1'270'000	fr. 25 anni	7,10 %	90'110	fr./a	
Misurazioni e valutazioni (P+D - progetto)						15'000 fr./a
Sussidi:						
<input checked="" type="checkbox"/> Confederazione	1'080'000	fr. 25 anni	7,10 %	76'680	fr./a	
<input checked="" type="checkbox"/> Cantone	150'000	fr. 25 anni	7,10 %	16'650	fr./a	
<input checked="" type="checkbox"/> Tasse di allacciamento	2'310'000	fr. 25 anni	7,10 %	163'900	fr./a	

Costi annui (senza rincaro)		Totale	
Costo del capitale (vedi investimenti)		385'560	fr./a
Costi dell'energia: Legno	560'000 fr./a		
Corrente elettrica	27'000 fr./a		
Olio combustibile			
		Totale	587'000 fr./a
Costi di servizio e manutenzione: Personale, Assistenza, Spazzacamino, Controlli	116'370 fr./a 15'000 fr./a	Totale	131'370 fr./a
Costi accessori: Amministrazione, Assicurazione, Tasse	fr./a fr./a	Totale	- fr./a
Costi annui totali:			1'103'930 fr./a

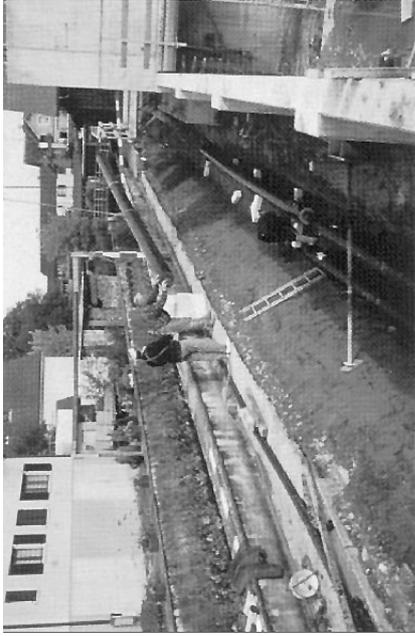
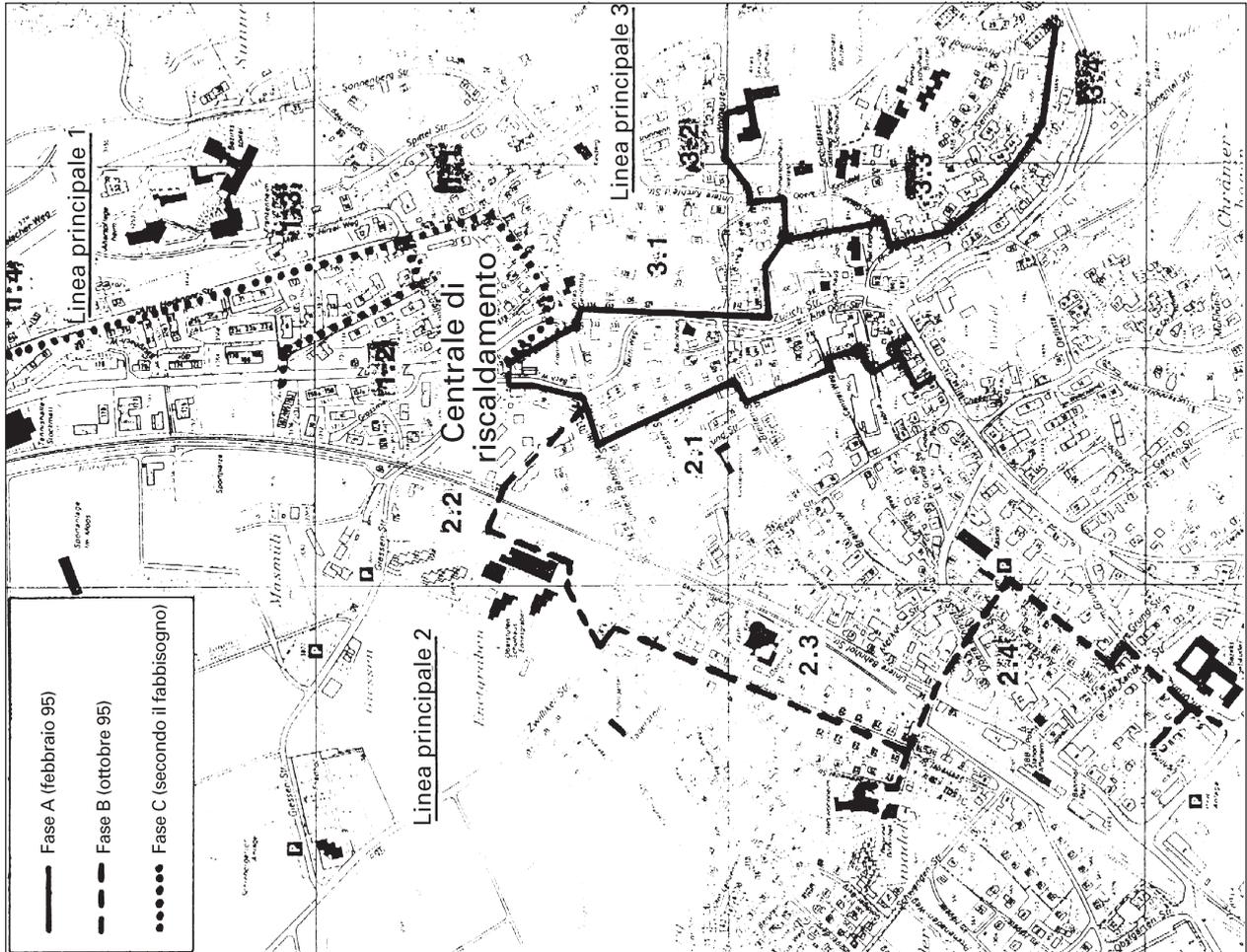
Dati caratteristici specifici (riassunto)			
Calore utile:	14500 MWh/a	Costo del calore escl. rete di distribuzione	5,7 ct/kWh
Ore di esercizio a pieno regime	2200 h/a	Costo del calore incl. rete di distribuzione	7,6 ct/kWh
Costi dell'impianto:	1'410 fr./kW		
Costi della rete di distribuzione del calore	830 fr./m		

Conteggio per teleriscaldamento a breve distanza			
Prezzo del calore:	6,3 ct/kWh	Tassa di allacciamento forfettaria	350 fr./kW anno
Tassa base:	30 fr./kW anno		

Documentazione supplementare	
<input type="checkbox"/> Schema dell'impianto di combustione	Indicazioni su: <input type="checkbox"/> Fase degli studi preliminari
<input type="checkbox"/> Disposizione nel locale riscaldamento/edificio	<input type="checkbox"/> Fase dell'avanprogetto
<input type="checkbox"/> Schema del teleriscaldamento	<input type="checkbox"/> Fase del progetto
<input type="checkbox"/> Misurazione di collaudo	<input type="checkbox"/> Fase esecutiva e della direzione lavori specialistica
	<input type="checkbox"/> Messa in funzione e collaudo

Particolarità
- Impianto con condensazione dei gas di scarico.
- Conteggio finale 2 anni dopo la messa in esercizio in base ai contatori di calore.

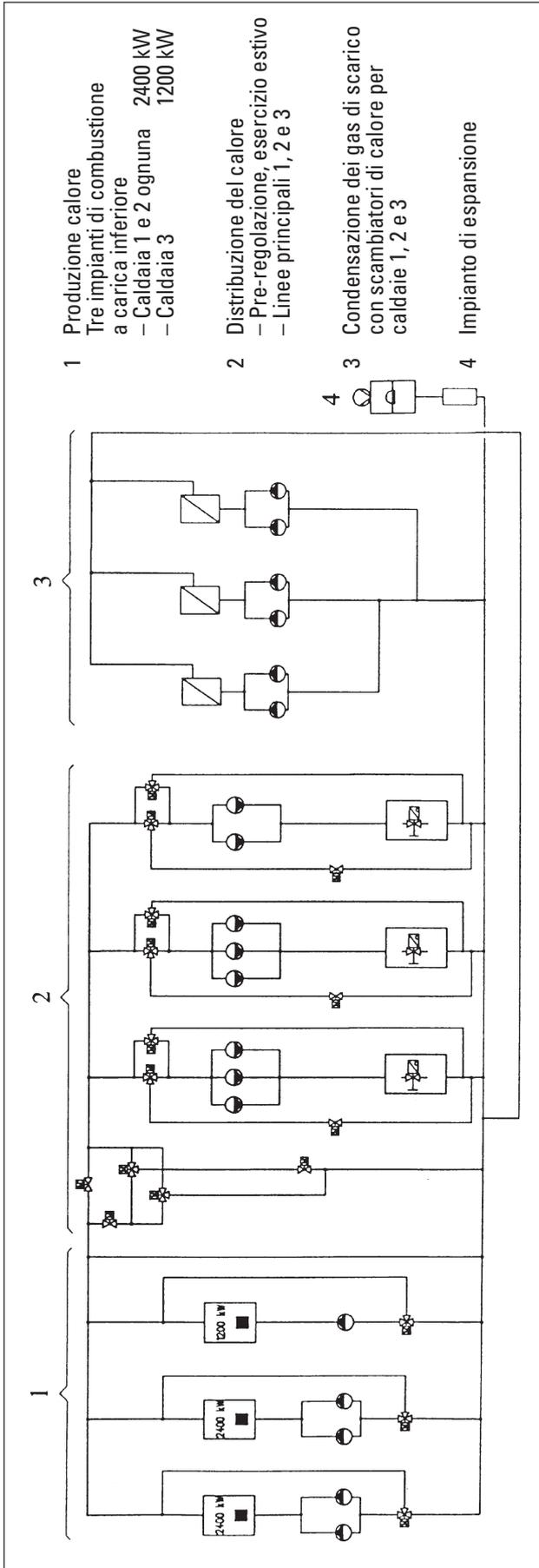
Rete di distribuzione calorica a distanza del teleriscaldamento di Affoltern a. A.



Posa delle condotte nella trincea.



Successiva posa dell'isolamento termico in cantiere in corrispondenza delle saldature.



Posa delle componenti delle caldaie mediante autogrù.



Impianto di combustione a carica inferiore nella centrale di riscaldamento (montaggio grezzo).

Esempio 5 - Legna di bosco, 1.4 MW, monovalente, impianto a più caldaie, teleriscaldamento Scheda d'impianto

Oggetto

Ubicazione: Linthal altitudine: 650 m.s.m.

Scopo: Calore per locali Acqua calda Calore per processi di produzione

Utente del calore: 2 Scuola 2 Casa unifamiliare 3 Casa plurifamiliare 1 Palestra 1 Ospizio per anziani

Indice energetico MJ/m²/a Superficie di riferimento energetico m²

Fabbisogno di potenza calorica: installazione di base 985 kW Installazione finale 1400 kW

Fabbisogno di energia calorica: installazione di base MWh/a Installazione finale MWh/a

Produzione calore: caldaia a legna 1 1000 kW Caldaia a legna 2 400 kW Caldaia a legna 3 kW

caldaia a olio combustibile kW Caldaia a gas kW

Rete di distribuzione calorica a breve distanza: potenza kW Lunghezza tracciato m

Combustibile

Approvvigionamento: Acquisto di legna da ardere
 Approvvigionamento proprio, (p. es. segheria), denominazione esatta:
 Combinazione acquisto e approvvigionamento proprio % approvvigionamento proprio

Trucioli di bosco Residui

100 % direttamente dal bosco al silo % da segheria
 % indiretto (da deposito intermedio) % da falegnameria
 % combinazione (diretto e indiretto) % da carpenteria
 % da fabbrica di pannelli truciolari

Assortimento: Legno duro di latifoglie Tenore di acqua w = 10 – 25%
 Legno tenero di latifoglie o di conifere 25 – 40%
 Corteccia 40 – 50%
 Residui lignei 50 – 60%
 > 60%

Fatturazione: al Sm³ Prezzo: fr./Sm³ per il combustibile con w = %
 al kWh 0.11 fr./kWh
 alla t_{asse} fr./t_{asse}

Impianto di combustione

Tipo dell'impianto A carica inferiore Con griglia a spinta

Regolazione: Potenza A uno stadio Combustione Regolazione della temperatura
 A più stadi (p.e. 100/80/60%) Regolazione del valore lambda
 Variabile (p.e. 100% - 30%) Regolazione del valore lambda e di CO
 Altro Altri

Depurazione dei gas di scarico Ciclone Filtro elettrico Filtro in tessuto
 Filtro DENOX SCR SNCR

Silo

Capacità lorda 2560 m³ Capacità netta 2000 m³

Sistema di alimentazione: Trasporto su base scorrevole Distributore nel silo Pompe Altro Kran
 Sistema di trasporto: Piano scorrevole Trasporto dal centro Altro Kran

Autonomia: < 1 settimana 1-2 settimane 2-4 settimane
 (nel periodo più freddo dell'anno) 4-8 settimane > 8 settimane

Numero di volumi netti consumati: 1-2 Numero di volumi netti del silo consumati all'anno

Dati d'esercizio

Ore d'esercizio a pieno regime: Legno h/a Olio combustibile h/a

Consumo annuo: Legno ~2500 Sm³/a t_{asse}/a MWh/a con ηa = %
 Olio combustibile l/a t/a

Consumo di energia elettrica per l'esercizio dell'impianto di combustione a legna kWh/a

Calore utile: MWh/a

Investimenti	Investimenti	Durata di utilizzo	Fattore di annualità	Costi del capitale	Servizio e manutenzione	Costi di servizio e manutenzione
Costi di costruzione locale riscaldamento:	275'093	fr. 60 anni	5,28 %	14'525	fr./a 0,25 %	687
Costi di costruzione del silo (compresi gli accessi):	345'008	fr. 60 anni	5,28 %	18'217	fr./a 0,25 %	862
Sistema di caricamento del silo:	77'500	fr. 20 anni	8,02 %	6'215	fr./a 2 %	1'550
Costi di costruzione locale serbatoio:	—	fr. — anni	— %	—	fr./a — %	—
Installazioni elettriche e sanitarie:	77'205	fr. 12 anni	11,28 %	8'708	fr./a 2,5 %	1'930
Impianto di combustione con collegamenti idraulici fino alla batteria principale:	234'000	fr. 15 anni	9,63 %	22'534	fr./a 1 %	2'340
Canna fumaria:	22'849	fr. 20 anni	8,02 %	1'833	fr./a — %	—
Trituratore:	—	fr. — anni	— %	—	fr./a — %	—
Rete di distribuzione del calore:	409'265	fr. 30 anni	6,51 %	26'643	fr./a 1 %	4'092
Onerari di progettazione:	264'338	fr. anni	.... %	....	fr./a	....
Sussidi:	125'000	fr. anni	.... %	....	fr./a	....
<input checked="" type="checkbox"/> Confederazione	....	fr. anni	.... %	....	fr./a	....
<input type="checkbox"/> Cantone	....	fr. anni	.... %	....	fr./a	....
<input type="checkbox"/>	fr. anni	.... %	....	fr./a	....

Costi annui (senza rincaro)		Totale	
Costo del capitale (vedi investimenti)		98'676	fr./a
Costi dell'energia: Legno	100'000 fr./a		
Corrente elettrica	..... fr./a		
Olio combustibile	..... fr./a		
		Totale	..... fr./a
Costi di servizio e manutenzione: Personale, Assistenza, Spazzacamino, Controlli	4'000 fr./a 1'000 fr./a	Totale	5'000 fr./a
Costi accessori: Amministrazione, Assicurazione, Tasse	1'000 fr./a 2'000 fr./a	Totale	3'000 fr./a
Costi annui totali:			..... fr./a

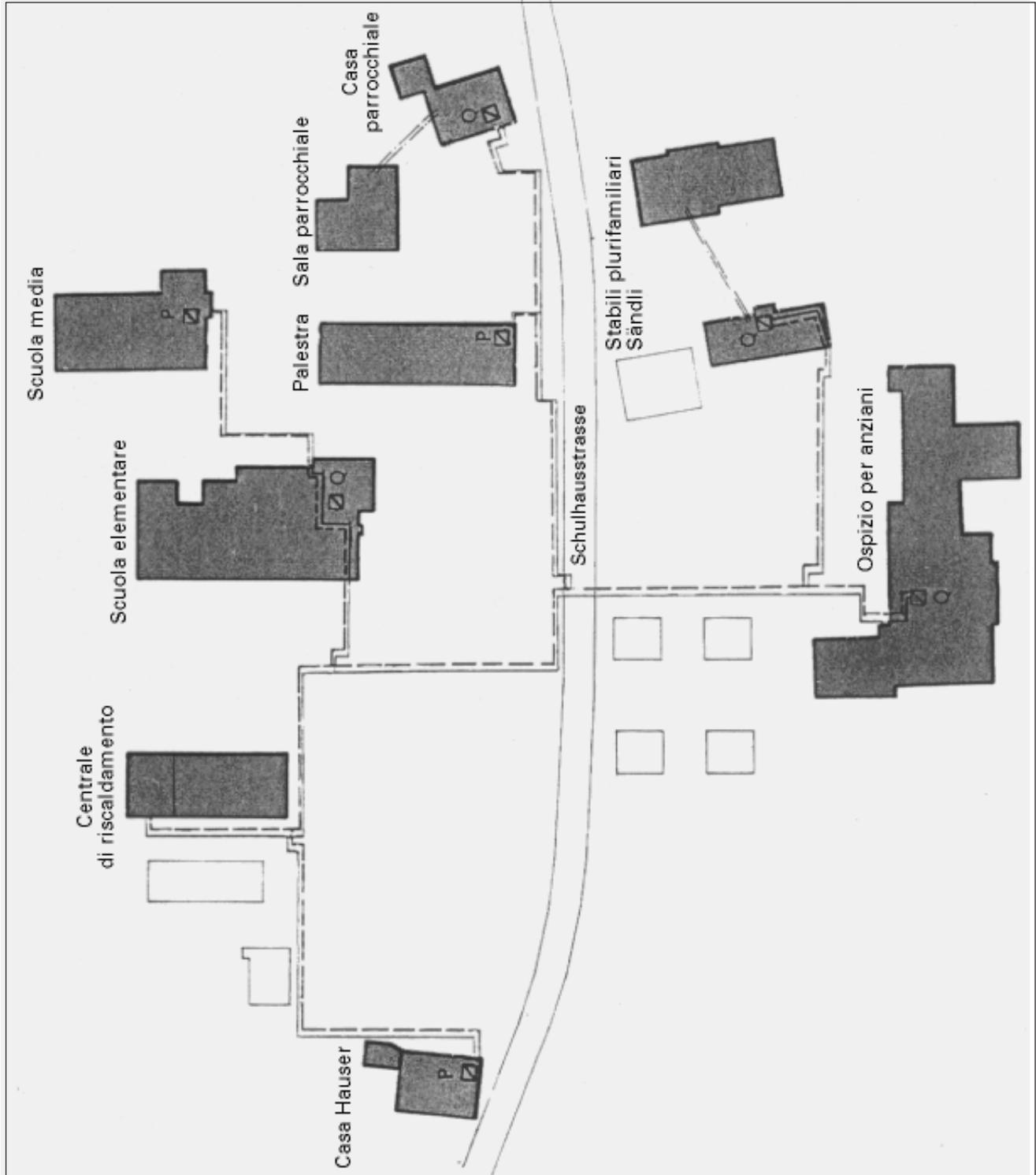
Dati caratteristici specifici (riassunto)			
Calore utile:	..... MWh/a	Costo del calore escl. rete di distribuzione	..... ct/kWh
Ore di esercizio a pieno regime	..... h/a	Costo del calore incl. rete di distribuzione	..... ct/kWh
Costi dell'impianto:	1'218 fr./kW		
Costi della rete di distribuzione del calore	889 fr./m		

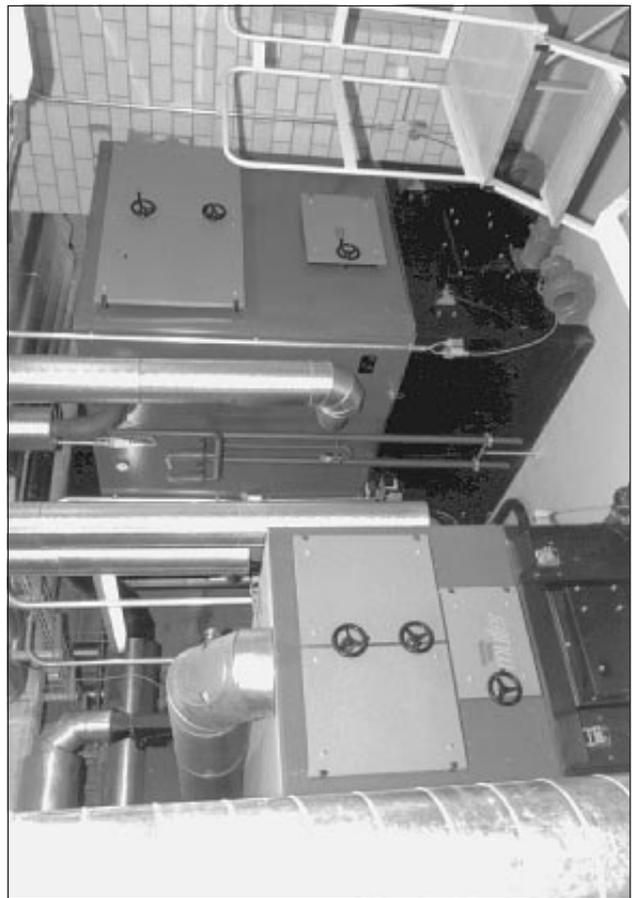
Conteggio per teleriscaldamento a breve distanza		Tassa di allacciamento forfettaria	
Prezzo del calore:	11,5 ct/kWh		
Tassa base:	..... fr./kW anno		..... fr./kW anno

Documentazione supplementare	
<input type="checkbox"/> Schema dell'impianto di combustione	Indicazioni su: <input type="checkbox"/> Fase degli studi preliminari
<input type="checkbox"/> Disposizione nel locale riscaldamento/edificio	<input type="checkbox"/> Fase dell'avanprogetto
<input type="checkbox"/> Schema del teleriscaldamento	<input type="checkbox"/> Fase del progetto
<input type="checkbox"/> Misurazione di collaudo	<input type="checkbox"/> Fase esecutiva e della direzione lavori specialistica
	<input type="checkbox"/> Messa in funzione e collaudo

Particolarità	
—	Sussidio Confederazione: 349'000.—
—	Misurazione OIAt il 1/2/1995.

Piano generale del teleriscaldamento







Esempio 6 - Legna di bosco, 800 kW, bivalente, imp. a più caldaie, teleriscal. a breve distanza Scheda d'impianto

Oggetto	
Ubicazione:	Neftenbach, ZH altitudine: 650 m.s.m.
Scopo:	<input checked="" type="checkbox"/> Calore per locali <input checked="" type="checkbox"/> Acqua calda <input type="checkbox"/> Calore per processi di produzione
Utente del calore:	<input checked="" type="checkbox"/> Scuola <input checked="" type="checkbox"/> Casa unifamiliare <input checked="" type="checkbox"/> Casa plurifamiliare 2 palestre > Acqua per piscina <input type="checkbox"/> Biblioteca
Fabbisogno di potenza calorica:	installazione di base 800 kW Installazione finale 800 kW
Fabbisogno di energia calorica:	installazione di base 1'500 MWh/a Installazione finale 2'000 MWh/a
Produzione calore:	caldaia a legna 1 400 kW Caldaia a legna 2 400 kW Caldaia a legna 3 kW caldaia a olio combustibile 325 kW Caldaia a olio 2 313 kW kW
Rete di distribuzione calorica a breve distanza:	potenza 500 kW Lunghezza tracciato 600 m

Combustibile	
Approvvigionamento:	<input checked="" type="checkbox"/> Acquisto di legna da ardere <input type="checkbox"/> Approvvigionamento proprio, (p. es. segheria), denominazione esatta: <input type="checkbox"/> Combinazione acquisto e approvvigionamento proprio % approvvigionamento proprio
	<input checked="" type="checkbox"/> Trucioli di bosco <input type="checkbox"/> Residui <input type="checkbox"/>
	100% direttamente dal bosco al silo% da segheria% indiretto (da deposito intermedio)% da falegnameria% combinazione (diretto e indiretto)% da carpenteria% da fabbrica di pannelli truciolari
Assortimento:	<input checked="" type="checkbox"/> Legno duro di latifoglie Tenore di acqua w = <input type="checkbox"/> 10 - 25% <input checked="" type="checkbox"/> Legno tenero di latifoglie o di conifere <input checked="" type="checkbox"/> 25 - 40% <input type="checkbox"/> Corteccia <input type="checkbox"/> 40 - 50% <input type="checkbox"/> Residui lignei <input type="checkbox"/> 50 - 60% <input type="checkbox"/> > 60%
Fatturazione:	<input type="checkbox"/> al Sm ³ Prezzo: fr./Sm³ per il combustibile con w = % <input checked="" type="checkbox"/> al kWh 0,0437 fr./kWh <input type="checkbox"/> alla t _{asse} fr./t_{asse}

Impianto di combustione	
Tipo dell'impianto	<input checked="" type="checkbox"/> A carica inferiore <input type="checkbox"/> Con griglia a spinta <input type="checkbox"/>
Regolazione:	<input checked="" type="checkbox"/> Potenza <input type="checkbox"/> A uno stadio <input checked="" type="checkbox"/> Combustione <input checked="" type="checkbox"/> Regolazione della temperatura <input type="checkbox"/> A più stadi (p.e. 100/80/60%) <input type="checkbox"/> Regolazione del valore lambda <input checked="" type="checkbox"/> Variabile (p.e. 100% - 30%) <input type="checkbox"/> Regolazione del valore lambda e di CO <input type="checkbox"/> Altro <input type="checkbox"/> Altri
Depurazione dei gas di scarico	<input checked="" type="checkbox"/> Ciclone <input type="checkbox"/> Filtro elettrico <input type="checkbox"/> Filtro in tessuto <input type="checkbox"/> Filtro <input type="checkbox"/> DENOX <input type="checkbox"/> SCR <input type="checkbox"/> SNCR

Silo	
Capacità lorda 380 m ³	Capacità netta 310 m ³
Sistema di alimentazione:	<input type="checkbox"/> Trasporto su base scorrevole <input checked="" type="checkbox"/> Distributore nel silo <input type="checkbox"/> Pompe <input type="checkbox"/> Altro
Sistema di trasporto:	<input checked="" type="checkbox"/> Piano scorrevole <input type="checkbox"/> Trasporto dal centro <input type="checkbox"/> Altro
Autonomia:	<input type="checkbox"/> < 1 settimana <input type="checkbox"/> 1-2 settimane <input checked="" type="checkbox"/> 2-4 settimane (nel periodo più freddo dell'anno) <input type="checkbox"/> 4-8 settimane <input type="checkbox"/> > 8 settimane
Numero di volumi netti consumati:	7-8 Numero di volumi netti del silo consumati all'anno

Dati d'esercizio	
Ore d'esercizio a pieno regime:	Legno h/a Olio combustibile h/a
Consumo annuo:	Legno <input checked="" type="checkbox"/> 2100 Sm ³ /a <input type="checkbox"/> t _{asse} /a <input type="checkbox"/> 1570 MWh/a con η _a = 89% Olio combustibile <input type="checkbox"/> 30000 l/a <input type="checkbox"/> t/a
Calore utile:	..... ~1300 MWh/a Consumo di energia elettrica per l'esercizio dell'impianto di combustione a legna ~10000 kWh/a

Investimenti	Investimenti	Durata di utilizzo	Fattore di annualità	Costi del capitale	Servizio e manutenzione	Costi di servizio e manutenzione
Costi di costruzione locale riscaldamento:	100'000 fr.	50 anni	5,91 %	5'910 fr./a	..... %	..... fr./a
Costi di costruzione del silo (compresi gli accessi):	250'000 fr.	50 anni	5,91 %	14'780 fr./a	..... %	..... fr./a
Sistema di caricamento del silo:	80'000 fr.	25 anni	7,45 %	5'960 fr./a	..... %	..... fr./a
Costi di costruzione locale serbatoio:	esistente fr.	- anni	- %	- fr./a	..... %	..... fr./a
Installazioni elettriche e sanitarie:	40'000 fr.	20 anni	8,37 %	3'350 fr./a	..... %	..... fr./a
Impianto di combustione con collegamenti idraulici fino alla batteria principale:	250'000 fr.	25 anni	7,45 %	11'180 fr./a	..... %	..... fr./a
Canna fumaria:	18'000 fr.	25 anni	7,45 %	1'340 fr./a	..... %	..... fr./a
Trituratore:	..... fr.	..... anni	..... %	11'600 fr./a	..... %	..... fr./a
Rete di distribuzione del calore:	372'000 fr.	30 anni	6,88 %	18'410 fr./a	..... %	..... fr./a
Onorari di progettazione:	120'000 fr.	25 anni	7,45 %	8'940 fr./a	..... %	..... fr./a
Sussidi:	110'000 fr.	25 anni	7,45 %	8'200 fr./a	..... %	..... fr./a
<input checked="" type="checkbox"/> Confederazione	..... fr.	..... anni	..... %	..... fr./a	..... %	..... fr./a
<input type="checkbox"/> Cantone	..... fr.	..... anni	..... %	..... fr./a	..... %	..... fr./a
<input type="checkbox"/> fr.	..... anni	..... %	..... fr./a	..... %	..... fr./a

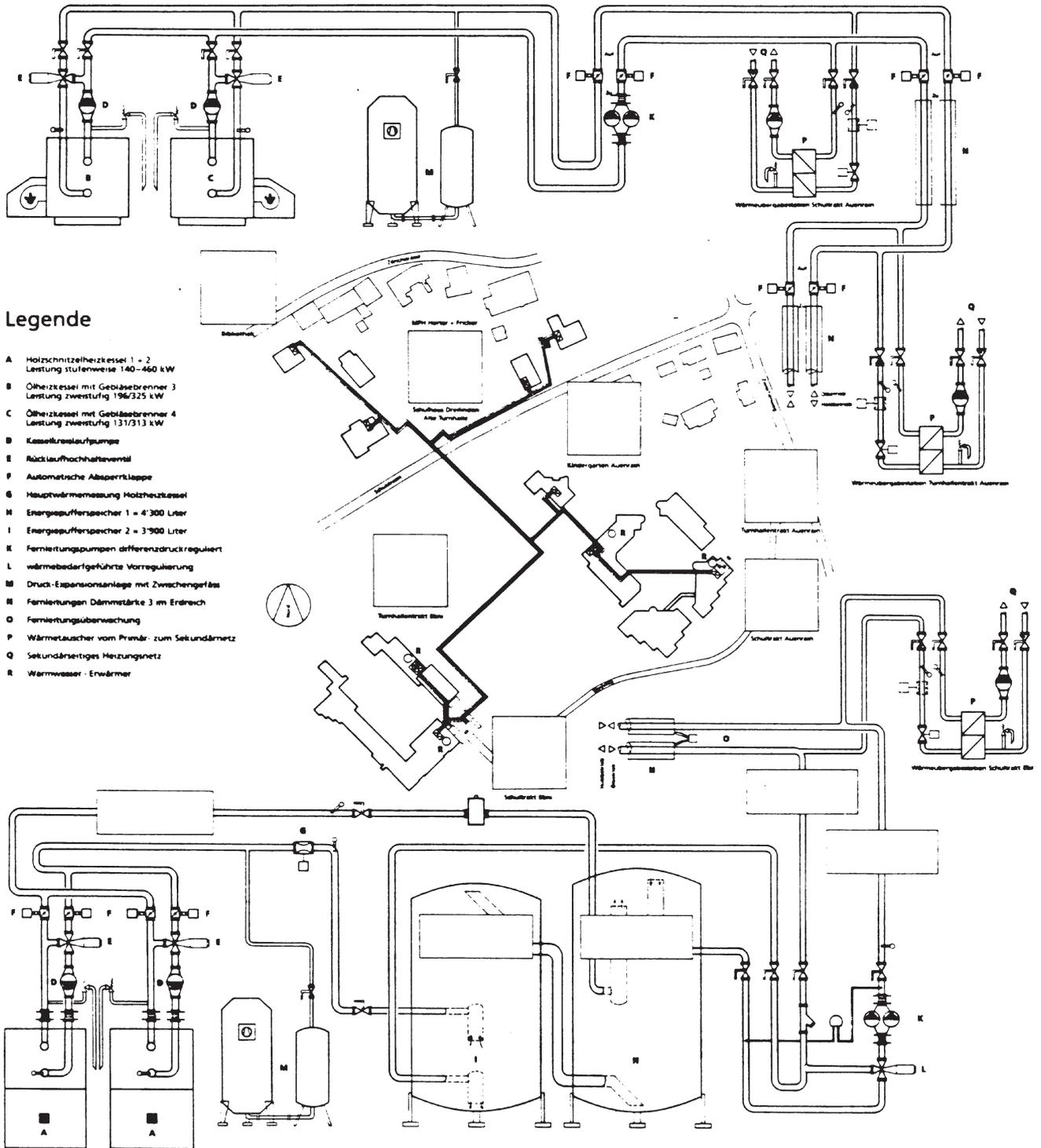
Costi annui (senza rincaro)		Totale	
Costo del capitale (vedi investimenti)		91'170	fr./a
Costi dell'energia: Legno	57'400 fr./a		
Corrente elettrica	2'100 fr./a		
Olio combustibile	7'500 fr./a		
		Totale	67'000 fr./a
Costi di servizio e manutenzione: Personale, Assistenza, Spazzacamino, Controlli	12'000 fr./a 3'000 fr./a		
		Totale	15'000 fr./a
Costi accessori: Amministrazione, Assicurazione, Tasse	1'500 fr./a 1'500 fr./a		
		Totale	3'000 fr./a
Costi annui totali:		176'170	fr./a

Dati caratteristici specifici (riassunto)			
Calore utile:	1300 MWh/a	Costo del calore escl. rete di distribuzione	11,22 ct/kWh
Ore di esercizio a pieno regime:	..... h/a	Costo del calore incl. rete di distribuzione	13,55 ct/kWh
Costi dell'impianto:	1'400 fr./kW		
Costi della rete di distribuzione del calore	620 fr./m		

Conteggio per teleriscaldamento a breve distanza			
Prezzo del calore:	6,5 ct/kWh	Tassa di allacciamento forfettaria	0 fr./kW anno
Tassa base:	0 fr./kW anno		

Documentazione supplementare	
<input type="checkbox"/> Schema dell'impianto di combustione	Indicazioni su: <input type="checkbox"/> Fase degli studi preliminari
<input type="checkbox"/> Disposizione nel locale riscaldamento/edificio	<input type="checkbox"/> Fase dell'avanprogetto
<input type="checkbox"/> Schema del teleriscaldamento	<input type="checkbox"/> Fase del progetto
<input type="checkbox"/> Misurazione di collaudo	<input type="checkbox"/> Fase esecutiva e della direzione lavori specialistica
	<input type="checkbox"/> Messa in funzione e collaudo

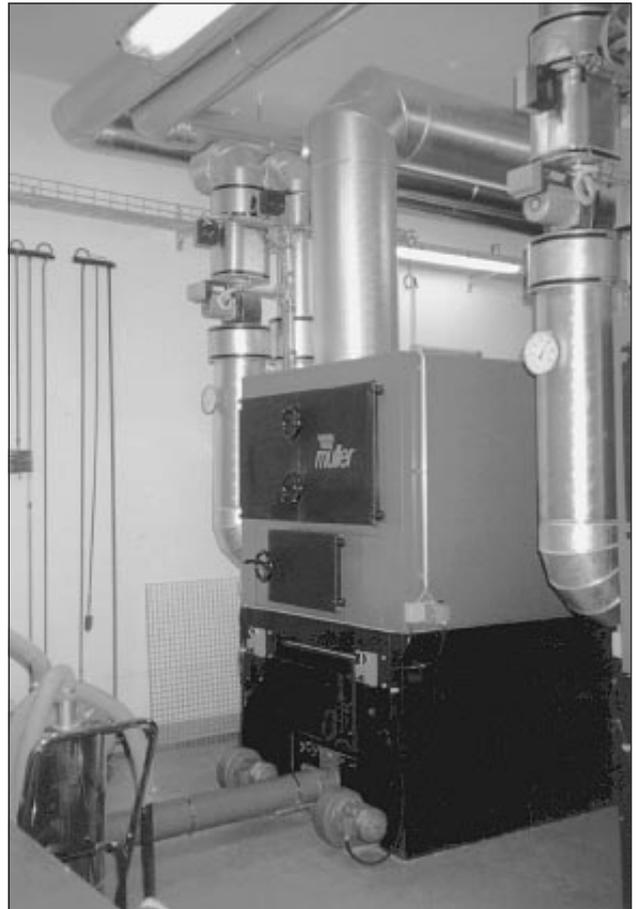
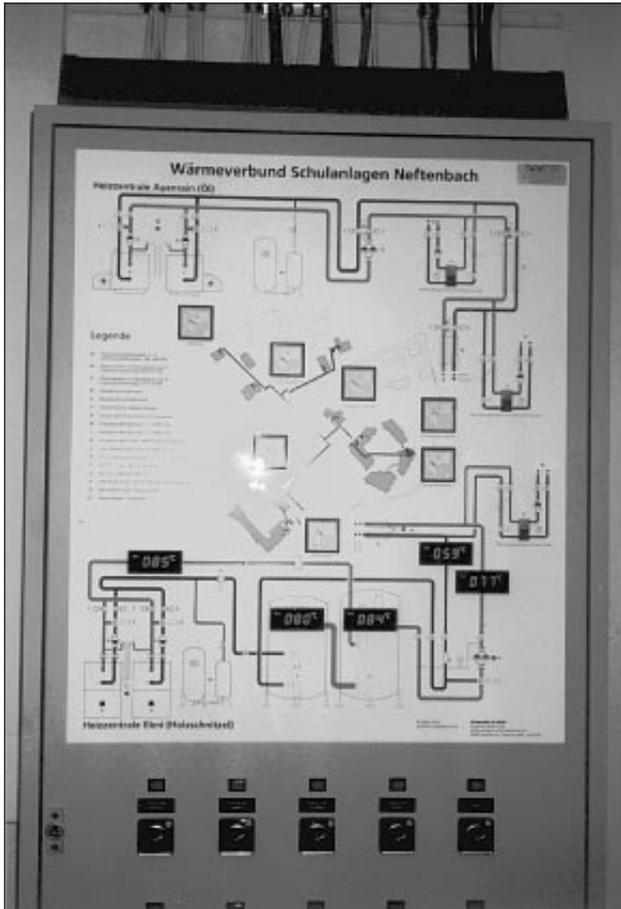
Particolarità	
-	Pre-regolazione della condotta a distanza in base al fabbisogno delle sottocentrali.
-	Asportazione automatica delle ceneri di entrambe le caldaie e separatore multiciclonico in contenitori mobili per la cenere.
-	Sollevatore delle ceneri idraulico.
-	Riciclaggio della cenere accumulata, rispettivamente possibilità di distribuzione semiautomatica nei campi mediante veicoli agricoli.



Legende

- A Holzschrottelheizkessel 1 + 2
Leistung stufenweise 140-460 kW
- B Ölheizkessel mit Gebläsebrenner 3
Leistung zweistufig 196/325 kW
- C Ölheizkessel mit Gebläsebrenner 4
Leistung zweistufig 131/313 kW
- D Kesselkreislaufpumpe
- E Rücklaufhochhalteventil
- F Automatische Absperrklappe
- G Hauptwärmemessung Holzheizkessel
- M Energiespeufferspeicher 1 = 4'300 Liter
- I Energiespeufferspeicher 2 = 3'900 Liter
- K Fernleitungs-pumpen differenzdruckreguliert
- L wärmebedingeführte Vorregulierung
- N Druck-Expansionsanlage mit Zwischengerät
- H Fernleitungen Dämmstärke 3 im Erdreich
- O Fernleitungsüberwachung
- P Wärmetauscher vom Primär- zum Sekundärnetz
- Q Sekundärseitiges Heizungsnetz
- R Warmwasser- Erwärmer

Projekt und
Ausführungsplanung: **Schämsler & Aebi**
Ingenieurbüro für
Holzenergie und Haustechnik
4500 Solothurn Telefon 065-23 69 07



A2 Valori limite posti dall'Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico (OIAt) per combustibili lignei

	Potenza calorica dell'impianto di combustione					
	da 20 kW a 70 kW	da 70 kW a 200 kW	da 200 kW a 500 kW	da 500 kW a 1 MW	da 1 MW a 5 MW	oltre 5 MW
<i>Combustibili lignei</i>						
– Valori di riferimento I valori limite si riferiscono ad un tenore di ossigeno nei gas di scarico di% vol.	13	13	13	13	11	11
– Particelle solide complessivamente.....mg/m ³	–	150	150	150	150	50
– Monossido di carbonio (CO) Per combustibili lignei secondo allegato 5 cifra 3 paragrafo 1 lettere a, b .....mg/m ³	4000 ¹⁾	2000	1000	500	250	250
Per combustibili lignei secondo allegato 5 cifra 3 paragrafo 1 lettera c .....mg/m ³	1000	1000	800	500	250	250
– Ossidi di azoto (NO _x) indicati come biossido di azoto (NO ₂) .....mg/m ³	2)	2)	2)	2)	2)	2)
– Sostanze organiche gassose indicate come carbonio complessivo (C) .....mg/m ³	–	–	–	–	50	50
– Ammoniaca e composti di ammonio indicati come ammoniaca ³⁾mg/m ³	–	–	–	–	30	30
<i>Indicazioni</i>						
– L'indicazione di un trattino nella tabella significa che gli allegati 3 e 1 non prescrivono limitazioni						
1) Non è considerata stufa del riscaldamento centrale						
2) Vedi valori limite di ossido d'azoto, allegato 1 cifra 6						
3) Questa limitazione di emissione ha significato solo per impianti di combustione con impianto di denitrurazione						

² I valori limite delle emissioni di composti di cloro secondo l'allegato 1 cifra 6, così come quelli di sostanze organiche secondo l'allegato 1 cifra 7, non sono applicabili.

A3 Determinazione del grado di sfruttamento annuo η_a

Con le seguenti indicazioni di calcolo è possibile individuare il grado di sfruttamento annuo η_a con una precisione di $\pm 5\%$. Esso dipende dalle perdite dell'impianto di combustione, dalla distribuzione del carico α e dal grado di carico medio L . Il calcolo si basa su parametri relativi a un esercizio medio, per un impianto di combustione con un rendimento della caldaia η_k . Per impianti con parametri di esercizio diversi, il rendimento energetico di caldaia η_k viene adeguato con l'aiuto di termini di correzione. Il grado di sfruttamento annuo η_a si calcola con il valore di distribuzione del carico α , il rendimento energetico di caldaia η_k e il carico medio L .

Si suppone che il rendimento energetico di caldaia η_k sia costante per l'intera gamma di carico. La parte relativamente più alta di perdite per irradiazione durante l'esercizio con carico parziale viene compensata da una temperatura dei gas di scarico più bassa.

Valore della distribuzione del carico α

$$\alpha = \frac{\text{Tempo d'esercizio dell'impianto di combustione}}{\text{Durata dell'inserimento della combustione}}$$

La durata dell'inserimento dell'impianto corrisponde al tempo fra la sua accensione e lo spegnimento, e si compone di tempo di combustione e tempo di attesa. Il tempo di esercizio viene normalmente registrato con un contatore di ore di esercizio o dalla centralina di comando SPS.

Rendimento energetico di caldaia η_k

Il rendimento energetico della caldaia η_k per un impianto di combustione automatico di trucioli di legno con i seguenti parametri d'esercizio corrisponde all'83%.

Parametri di esercizio:

Perdita per irradiazione q_s	=	1.5%
Umidità del legno u	=	60%
Temperatura dei gas di scarico T_{AG}	=	200 °C
Eccesso d'aria λ *	=	2

* L'eccesso d'aria λ può essere definito con il valore di CO_2 in % vol. desunto dal verbale delle misurazioni periodiche OIAT: $\lambda = 20.4 / CO_2$.

La differenza data dalla perdita per irradiazione di 1.5% può essere sommata o dedotta direttamente dal rendimento energetico della caldaia η_k . Nel caso non fosse nota la perdita per irradiazione q_s , si può supporre che quest'ultima ammonti approssimativamente alla metà delle perdite dell'esercizio in posizione di attesa q_b . Per gli altri parametri di esercizio valgono i seguenti fattori di correzione:

simativamente alla metà delle perdite dell'esercizio in posizione di attesa q_b . Per gli altri parametri di esercizio valgono i seguenti fattori di correzione:

per Δu	=	10% di maggiore umidità del legno
	→	0.4% di diminuzione del rendimento energetico della caldaia η_k
per $\Delta \lambda$	=	0.1 di maggior eccesso d'aria
	→	0.6% di diminuzione del rendimento energetico della caldaia η_k
per ΔT_{AG}	=	10 °C di maggior temperatura dei gas di scarico
	→	1.0 % di diminuzione del rendimento energetico della caldaia η_k

Questi valori possono essere applicati anche in senso opposto

Carico medio L

Il carico medio L con il quale il bruciatore funziona durante il tempo d'esercizio può essere calcolato in modo seguente:

$$L = \frac{\Delta WZ}{\text{Potenza nominale} \times t_B} \times 100\% \quad [\%]$$

ΔWZ = valore finale del contatore di calore - valore iniziale [kWh]

t_B = tempo d'esercizio dell'impianto di combustione [h]

Perdite durante l'esercizio in posizione di attesa q_b

Per un moderno impianto di medie dimensioni le perdite durante l'esercizio in posizione di attesa q_b ammontano a circa 3%. Per impianti di altre dimensioni valgono i seguenti valori indicativi:

> 300 kW: $q_b \leq 3\% - 1\%$ (< 4%-1.5%)

< 300 kW: $q_b \geq 3\% - 5\%$ (> 4%-6%)

I valori fra parentesi si riferiscono a vecchi impianti.

Grado di sfruttamento annuo η_a

Il grado di sfruttamento annuo si calcola avendo il valore di distribuzione del carico α , il rendimento energetico della caldaia η_k , le perdite durante l'esercizio in posizione di attesa q_b e il carico medio L , con la formula seguente:

$$\eta_a = \eta_k \frac{L - (q_b / \alpha)}{L - q_b} \quad [\%]$$

con:

- α valore di distribuzione del carico [-]
- η_k rendimento energetico della caldaia [%]
- q_b perdite durante l'esercizio in posizione di attesa [%]
- L carico medio [%]

Esempio
Dati

Contatore di calore:
 differenza di lettura al contatore di calore $\Delta WZ = 99'764$ kWh nel periodo di riscaldamento

Impianto di combustione:
 70 kW potenza nominale \rightarrow impianto piccolo \rightarrow
 Perdite durante il
 funzionamento in posizione
 di attesa $q_b = 4\%$
 Perdite per irradiazione = 2%
 Temperatura dei gas
 di scarico $T_{AG} = 180$ °C
 Eccesso d'aria $\lambda = 1.8$

Calcolo del valore di distribuzione del carico α :

Periodo di riscaldamento:
 15. settembre a 4. aprile = 202 giorni = 4848 h
 Valore di distribuzione del carico $\alpha = \frac{2036 \text{ h}}{4848 \text{ h}} = 0.42$

Determinazione del rendimento energetico della caldaia η_k :

presunto $\eta_k = 83\%$
 Termini di correzione:
 perdite per irradiazioni $q_s = -0.5\%$
 umidità del legno $u =$
 eccesso d'aria $\lambda = +1.2\%$
 temperatura dei gas
 di scarico $T_{AG} = +2.0\%$
 Totale = +2.7%

Rendimento energetico della caldaia η_k
 $= 83\% + 2.7\% = 85.7\%$

Calcolo del carico medio L:

$$\begin{aligned} \text{Carico medio } L &= \frac{\Delta WZ}{\text{Potenza nominale} \times t_B} \times 100\% \\ &= \frac{99\,764 \text{ kWh}}{70 \text{ kW} \times 2036 \text{ h}} \times 100\% \end{aligned}$$

Carico medio $L = 70\%$

Calcolo del grado di sfruttamento annuo η_a

$$\begin{aligned} \text{Grado di sfruttamento annuo } \eta_a &= \eta_k \frac{L - (q_b / a)}{L - q_b} \\ &= 86 \times \frac{70 - (4 / 0.42)}{70 - 4} \% \end{aligned}$$

Grado di sfruttamento annuo $\eta_a = \underline{\underline{78.8\%}}$

A4 Calcolo del flusso di ossido di azoto

Il flusso di ossido di azoto \dot{m}_{NO_x} può essere determinato come segue:

$$\dot{m}_{NO_x} = \dot{V}_{\text{gas di scarico}} NO_x / 1000 \quad [\text{g/h}]$$

$\dot{V}_{\text{gas di scarico}}$: corrente del volume del gas di scarico (secco)
[m³/h] con λ_{norm} e 0 °C

NO_x : concentrazione di ossido d'azoto [mg/m³] con λ_{norm} e gas di scarico secchi

La corrente del volume del gas di scarico corrisponde approssimativamente alla corrente del volume dell'aria di combustione secca. Con il rapporto fra potenza dell'impianto di combustione, flusso del legno e contenuto energetico, la corrente di volume del gas di scarico e il flusso di ossido d'azoto possono essere stimate come segue in base alla potenza di combustione:

$$\dot{V}_{\text{gas di scarico}} \approx \dot{V}_{\text{aria di combustione}}$$

$$\dot{V}_{\text{gas di scarico}} = \dot{m}_{\text{legna}} V_{\text{th}} \lambda_{\text{norm}} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

$$\text{inoltre vale } \dot{Q} = \dot{m}_{\text{legna}} H_u$$

dunque:

$$\dot{V}_{\text{gas di scarico}} = \frac{\dot{Q} V_+ \lambda_{\text{norm}} 3.6}{18\,500 - 25 u} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

\dot{m}_{legna} : flusso di legno secco in kg/h

V_+ : volume teorico di aria di combustione per kg di legno secca = 4.58 m³/kg

λ_{norm} : eccesso di aria per $O_{2 \text{ norm}}$; per $O_{2 \text{ norm}} = 11 \text{ Vol.-%}$: $\lambda_{\text{norm}} = 2.1$

\dot{Q} : potenza dell'impianto di combustione in MW

H_u : contenuto calorico in kJ/kg

u : tenore di acqua del legno in % asse

Calcolo del flusso di ossido di azoto con impianti a più caldaie

Per impianti a più caldaie, l'allegato 3, cifra 3 dell'OIAI regola il calcolo del flusso come segue.

- 1 Se un'unità di esercizio è formata da più impianti di combustione, per ogni singolo impianto sono determinanti i valori di emissione della potenza calorica complessiva di tutta l'unità di esercizio (potenza calorica di combustione complessiva).
- 2 Per potenza calorica di combustione complessiva si intende la somma di tutte le potenze delle singole unità di combustione che fanno parte del complesso di esercizio.
- 3 Dai capoversi 1 e 2 sono esclusi:
 - a gli impianti di combustione singoli fino 1 MW, se altri impianti singoli di combustione dell'unità di esercizio funzionano con lo stesso combustibile;
 - b gli impianti di combustione singoli fino 5 MW, nel caso nessun altro impianto singolo di combustione funzioni con lo stesso combustibile.

Esempio 1

Caldaia a legna 1	1.0 MW
Caldaia a legna 2	1.0 MW
Caldaia a olio combustibile	0.9 MW

Ogni caldaia viene considerata separatamente.

Esempio 2

Caldaia a legna 1	1.1 MW
Caldaia a legna 2	1.1 MW
Caldaia a olio combustibile	1.5 MW

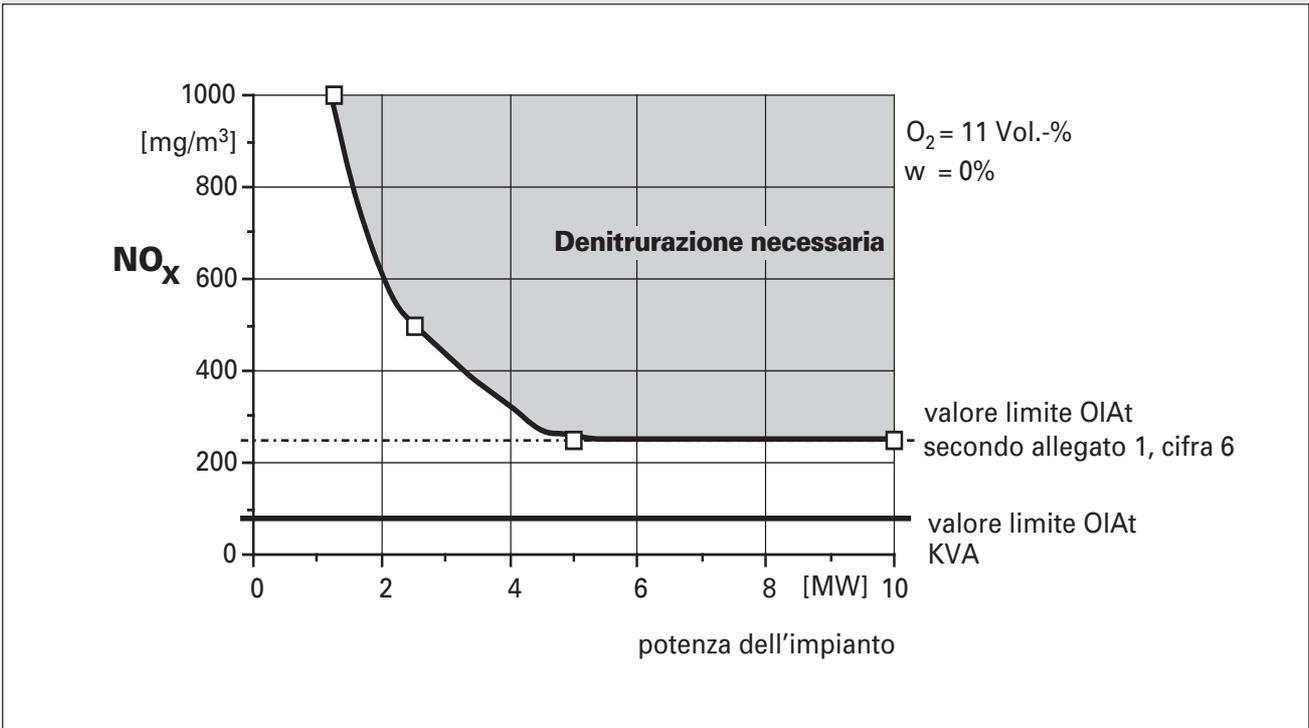
La caldaia a gasolio viene considerata separatamente. Per le caldaie a legna è determinante la somma delle emissioni di ossido d'azoto e la somma delle potenze.

Esempio 3

Caldaia a legna	5.1 MW
Caldaia a olio combustibile	5.1 MW

Per il flusso di ossido d'azoto, le due caldaie saranno considerate come un unico impianto.

Contenuto di NOx in relazione alla potenza di combustione quale criterio per provvedimenti di denitrurazione



A5 Formulari tipo Scheda dell'impianto

Oggetto

Ubicazione: altitudine: m.s.m.

Scopo: Calore per locali Acqua calda Calore per processi di produzione

Utente del calore: Scuola Casa unifamiliare Casa plurifamiliare

Indice energetico MJ/m²/a Superficie di riferimento energetico m²

Fabbisogno di potenza calorica: installazione di base kW Installazione finale kW

Fabbisogno di energia calorica: installazione di base MWh/a Installazione finale MWh/a

Produzione calore: caldaia a legna 1 kW Caldaia a legna 2 kW Caldaia a legna 3 kW

caldaia a olio combustibile kW Caldaia a gas kW

Rete di distribuzione calorica a breve distanza: potenza kW Lunghezza tracciato m

Combustibile

Approvvigionamento: Acquisto di legna da ardere
 Approvvigionamento proprio, (p. es. segheria), denominazione esatta:
 Combinazione acquisto e approvvigionamento proprio % approvvigionamento proprio

Trucioli di bosco % direttamente dal bosco al silo
 % indiretto (da deposito intermedio)
 % combinazione (diretto e indiretto)

Residui % da segheria
 % da falegnameria
 % da carpenteria
 % da fabbrica di pannelli truciolari

Assortimento: Legno duro di latifoglie
 Legno tenero di latifoglie o di conifere
 Corteccia
 Residui lignei

Tenore di acqua w = 10 – 25%
 25 – 40%
 40 – 50%
 50 – 60%
 > 60%

Fatturazione: al Sm³ Prezzo: fr./Sm³ per il combustibile con w = %
 al kWh fr./kWh
 alla t_{asse} fr./t_{asse}

Impianto di combustione

Tipo dell'impianto A carica inferiore Con griglia a spinta

Regolazione: Potenza A uno stadio Combustione Regolazione della temperatura
 A più stadi (p.e. 100/80/60%) Regolazione del valore lambda
 Variabile (p.e. 100% - 30%) Regolazione del valore lambda e di CO
 Altro Altri

Depurazione dei gas di scarico Ciclone Filtro elettrico Filtro in tessuto
 Filtro SCR SNCR
 DENOX

Silo

Capacità lorda m³ Capacità netta m³

Sistema di alimentazione: Trasporto su base scorrevole Distributore nel silo Pompe Altro

Sistema di trasporto: Piano scorrevole Trasporto dal centro Altro

Autonomia: < 1 settimana 1-2 settimane 2-4 settimane
 (nel periodo più freddo dell'anno) 4-8 settimane > 8 settimane

Numero di volumi netti consumati: Numero di volumi netti del silo consumati all'anno

Dati d'esercizio

Ore d'esercizio a pieno regime: Legno h/a Olio combustibile h/a

Consumo annuo: Legno Sm³/a t_{asse}/a MWh/a con η_a = %
 Olio combustibile l/a t/a

Consumo di energia elettrica per l'esercizio dell'impianto di combustione a legna kWh/a

Calore utile: MWh/a

Investimenti	Investimenti	Durata di utilizzo	Fattore di annualità	Costi del capitale	Servizio e manutenzione	Costi di servizio e manutenzione
Costi di costruzione locale riscaldamento:	..... fr.	..... anni	..... %	..... fr/a	..... %	..... fr/a
Costi di costruzione del silo (compresi gli accessi):	..... fr.	..... anni	..... %	..... fr/a	..... %	..... fr/a
Sistema di caricamento del silo:	..... fr.	..... anni	..... %	..... fr/a	..... %	..... fr/a
Costi di costruzione locale serbatoio:	..... fr.	..... anni	..... %	..... fr/a	..... %	..... fr/a
Installazioni elettriche e sanitarie:	..... fr.	..... anni	..... %	..... fr/a	..... %	..... fr/a
Impianto di combustione con collegamenti idraulici fino alla batteria principale:	..... fr.	..... anni	..... %	..... fr/a	..... %	..... fr/a
Canna fumaria:	..... fr.	..... anni	..... %	..... fr/a	..... %	..... fr/a
Trituratore:	..... fr.	..... anni	..... %	..... fr/a	..... %	..... fr/a
Rete di distribuzione del calore:	..... fr.	..... anni	..... %	..... fr/a	..... %	..... fr/a
Onorari di progettazione:	..... fr.	..... anni	..... %	..... fr/a	..... %	..... fr/a
Sussidi:						
<input type="checkbox"/> Confederazione	..... fr.	..... anni	..... %	..... fr/a		
<input type="checkbox"/> Cantone	..... fr.	..... anni	..... %	..... fr/a		
<input type="checkbox"/> fr.	..... anni	..... %	..... fr/a		

Costi annui (senza rincaro)		Totale	fr/a
Costo del capitale (vedi investimenti)			.....
Costi dell'energia: Legno	..... fr/a		
Corrente elettrica	..... fr/a		
Olio combustibile	..... fr/a	Totale	..... fr/a
Costi di servizio e manutenzione: Personale, assistenza, Spazzacamino, controlli	..... fr/a	Totale	..... fr/a
Costi accessori: Amministrazione, Assicurazione, tasse	..... fr/a	Totale	..... fr/a
Costi annui totali:			..... fr/a

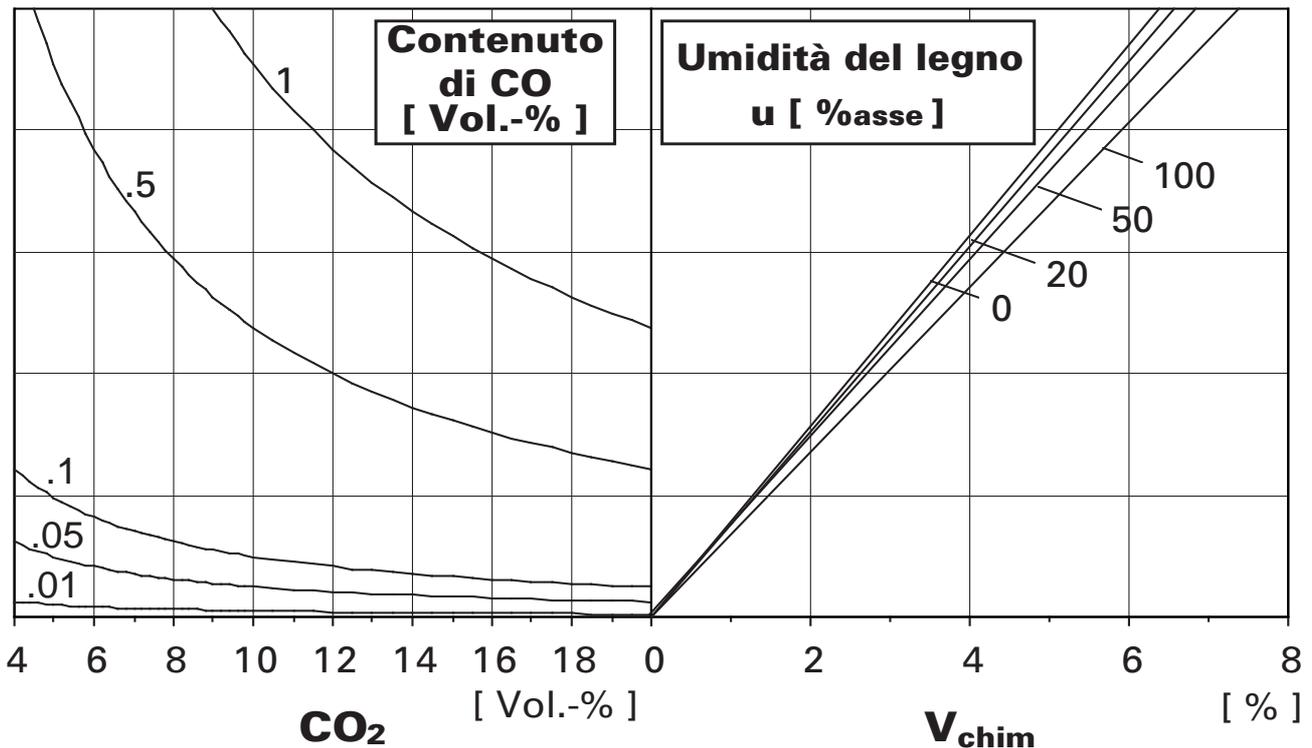
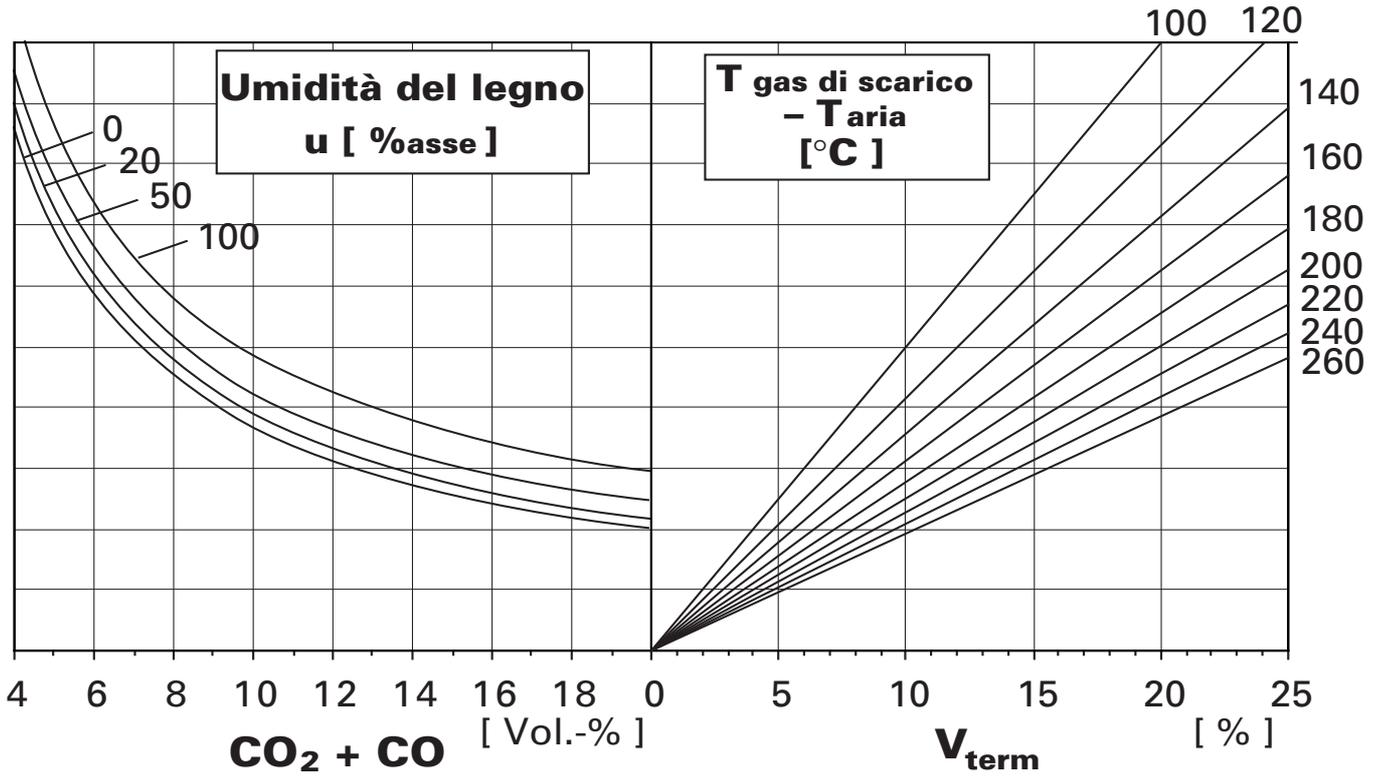
Dati caratteristici specifici (riassunto)			
Calore utile:	..... MWh/a	Costo del calore escl. rete di distribuzione	..... ct/kWh
Ore di esercizio a pieno regime	..... h/a	Costo del calore incl. rete di distribuzione	..... ct/kWh
Costi dell'impianto:	..... fr/kW		
Costi della rete di distribuzione del calore	..... fr/m		

Conteggio per teleriscaldamento a breve distanza —>			
Prezzo del calore:	..... ct/kWh	Tassa di allacciamento forfettaria	..... fr./kW anno
Tassa base:	..... fr./kW anno		

Documentazione supplementare	
<input type="checkbox"/> Schema dell'impianto di combustione	Indicazioni su: <input type="checkbox"/> Fase degli studi preliminari
<input type="checkbox"/> Disposizione nel locale riscaldamento/edificio	<input type="checkbox"/> Fase dell'avanprogetto
<input type="checkbox"/> Schema del teleriscaldamento	<input type="checkbox"/> Fase del progetto
<input type="checkbox"/> Misurazione di collaudo	<input type="checkbox"/> Fase esecutiva e della direzione lavori specialistica
	<input type="checkbox"/> Messa in funzione e collaudo

Particolarità

Nomogramma per la determinazione del rendimento energetico della tecnica di combustione



A6 Esempio di capitolato SFIH

Standard SFIH per la messa a concorso di un impianto di combustione a trucioli

Oggetto	.....	.....	.....
Committente	.....	.....	.....
Numero telefonico	.....	Numero fax	.....
Architetto	.....	.....	.....
Numero telefonico	.....	Numero fax	.....
Progettista	.....	.....	.....
Numero telefonico	.....	Numero fax	.....
Imprenditore	.....	.....	.....
Numero telefonico	.....	Numero fax	.....
<hr/>			
Genere di opera:	CCC 242. PRODUZIONE DI CALORE LEGNO		
Termine d'inoltro	.....	.....	.....
Base prezzi	.....	.....	.....
Termine d'esecuzione	.....	.....	.....
<hr/>			
Validità offerta	.....	Importo offerta netto	.....
Luogo, data	.....	
Firma	.....	
Con/senza proposta imprenditore			

Condizioni generali per l'offerta dell'impianto di combustione a legna

Allestimento dell'offerta

Sono da inserire i prezzi complessivi richiesti. I dati tecnici sono da compilare in ogni caso.

L'offerente deve allegare un capitolato d'offerta dettagliato in cui siano elencati tutti i particolari, quali materiali, quantità, dimensioni e pesi.

La presentazione dell'offerta e la suddivisione delle singole posizioni non devono necessariamente corrispondere a quelle dell'offerta del prezzo complessivo. Il capitolato può essere allestito con il proprio sistema informatico. Il prezzo totale dell'impianto deve però corrispondere alla somma della distinta dei prezzi.

Proposte di alternative o aggiunte ritenute auspicabili o necessarie dal produttore

Allegare all'offerta dettagliata la descrizione completa di queste esecuzioni supplementari e le spiegazioni dei vantaggi che ne derivano.

PRESCRIZIONI

L'impianto deve rispettare le esigenze di legge, le prescrizioni federali e cantonali, in particolare:

- esigenze INSAI
- prescrizioni della polizia del fuoco
- numero VKF
- ordinanza contro l'inquinamento atmosferico (OIAt 92)
- norme e raccomandazioni della SIA e associazioni professionali che hanno un nesso con l'impianto descritto.

GARANZIE

- 2 anni sulla caldaia
- 1 anno sugli impianti di trasporto e di caricamento (distribuzione, coclea e catene di trasporto), sul sistema di caricamento del silo, sui ventilatori, ecc.
- 1 anno sulle componenti elettriche (armadio principale, termostati, sonde, ecc.)
- mantenimento dei valori di potenza e di garanzia indicati
- la garanzia non si estende alle parti d'impianto sottoposte ad usura naturale.

PRESTAZIONI DEL FORNITORE DELL'IMPIANTO

- Piano con disposizione dell'impianto di combustione a legna
- Piano con disposizione delle parti all'interno del silo (senza calcolo statico)
- Schema elettrico
- Manuale d'esercizio, piani di manutenzione e di assistenza.

ESECUZIONI DEL FORNITORE DELLA CALDAIA

- Fornitura di tutto il materiale franco cantiere
- Messa a disposizione di ev. attrezzi di lavoro necessari
- Esecuzione dell'installazione e montaggio dell'impianto
- Verniciatura completa dell'impianto e ritocchi dopo il montaggio
- Regolazione e messa in funzione dell'impianto con istruzioni al personale di servizio
- Regolazione successiva dopo circa due mesi di esercizio dell'impianto.

FORNITURE ED ESECUZIONI DA PARTE DEL COMMITTENTE

- Edificio:**
- tutti i lavori da capomastro
 - apporto di aria fresca nel locale di riscaldamento
 - tutti i lavori da carpentiere e da falegname
 - tutti i lavori da pittore escluso l'impianto fornito
 - posa degli ancoraggi dei cilindri ed elementi in getto
- Installazioni:**
- allacciamento idraulico alla caldaia e all'impianto di riscaldamento
 - installazioni di sicurezza idrauliche necessarie
- Sanitario:**
- allacciamento del dispositivo antincendio alla rete idrica e montaggio delle valvole delle armature fornite dall'imprenditore
- Elettrico:**
- posa e fissaggio dell'armadio principale
 - tutti gli allacciamenti elettrici dall'armadio principale dei diversi motori ed apparecchi
 - messa a disposizione di un allacciamento elettrico per i lavori di montaggio e saldatura
 - presenza del montatore elettrico alla messa in esercizio
- Isolamento:**
- isolamento termico dei tubi dei gas di scarico dalla caldaia alla canna fumaria
- Cantiere:**
- messa a disposizione di locali provvisti di serratura per i depositi di materiale dell'impresa
 - messa a disposizione di una gru per lo scarico e trasporto della caldaia ed accessori
 - aiuti per la posa di parti pesanti
- Accesso:**
- deve essere garantito
- Misurazione ufficiale:**
- prima misurazione ufficiale da parte di un istituto riconosciuto e neutrale (se i valori limite non sono rispettati a causa di un errore del produttore, le misurazioni successive sono a suo carico).

PREZZO DELL'IMPIANTO

I prezzi s'intendono per un impianto completo che rispetti tutte le prescrizioni in vigore e la posa accurata di tutte le parti, pronte per la messa in esercizio, compreso l'imballaggio e il trasporto.

Sono da comprendere tutti i lavori di montaggio necessari per il funzionamento a regola d'arte dell'impianto, anche se non richiesti in dettaglio nel capitolato. Il montaggio comprende la messa in esercizio dell'impianto e l'istruzione dell'esercente. Nel prezzo devono pure essere comprese tutte le spese di montaggio e i costi di trasferta d'andata e di ritorno.

In assenza di altri accordi, i prezzi s'intendono per il montaggio in un'unica fase. Se i lavori di montaggio devono essere interrotti più volte a causa di esigenze di cantiere, le spese derivanti possono essere fatturate producendone tutte le relative prove.

Eventuali adeguamenti dei prezzi, come penali o richieste di risarcimento, che possono essere avanzati anche nei confronti dell'impresario, devono essere regolate dal contratto.

CONDIZIONI DI PAGAMENTO

- 30% pagabile entro 30 gg. dall'ordine
 - 30% al montaggio grezzo dell'impianto
 - 30% ad ultimazione dei lavori di montaggio, con fattura pagabile entro 30 gg.
 - 10% al collaudo dell'impianto e contro presentazione garanzia bancaria solidale della durata di 2 anni, ma al più tardi a 6 mesi dall'ultimazione dei lavori di montaggio, supponendo che il produttore non sia responsabile di una posticipazione della data di messa in esercizio.
- Eventuali altre condizioni di pagamento sono da concordare in forma scritta

CONDIZIONI GENERALI DI FORNITURA

Sono valide le condizioni di fornitura generali per i produttori e fornitori del ramo riscaldamento, ventilazione e clima come da allegato.

DATI SPECIFICI DELL'INGEGNERE PER IL FORNITORE**242.0****Base**

Descrizione dei principi dell'impianto (utilizzo, ampliamenti successivi, allacciamento a sistemi di riscaldamento, fornitura dei trucioli, veicoli di trasporto ecc.).

INDICAZIONI GENERALI ED ESIGENZE PER IMPIANTI DI COMBUSTIONE AUTOMATICI A LEGNA**242.01.1****Produzione del calore**

Potenza della caldaia kW Temperatura di andata max. °C
 Pressione di esercizio bar Temperatura di ritorno min. °C

Combustibili

Legna di bosco e residui della lavorazione / naturali

Classificazione della legna da ardere in base ai criteri dell'impianto

Legno di conifere	..... %	Legno di bosco %
Legno di latifoglie	..... %	Residui lignei %
Corteccia %		

Assortimento	Dimensione dei trucioli mm	Massima parte di pezzi di dimensioni > 80 mm % del peso	Massima parte di particelle piccole fino a 3 mm % del peso	Massima parte di corteccia % del peso	Tenore di acqua massima w**	Umidità del legno massima u**
Trucioli fini di legno secco	40/20/10	1 % > 80 mm	< 5 %	< 10 %	< 30 %	< 43 %
Trucioli fini di legno umido	40/20/10	1 % > 80 mm	< 5 %	< 10 %	< 50 %	< 100 %
Trucioli grossi di legno umido	60/20/10	1 % > 220 mm	< 5 %	< 10 %	< 50 %	< 100 %
Trucioli grossi di legno bagnato con alta percentuale di corteccia	60/20/10	1 % > 220 mm	< 5 %	< 10 %	< 60 %	< 150 %

* compresa parte massima di aghi del 5%

** tenore d'acqua rispettivamente umidità del legno depositato in modo adeguato senza apporto di acqua esterna

Combustibili supplementari (indicare la parte in %)

.....

242.01.2**Asportazione della cenere**

- Esecuzione standard secondo la dimensione della caldaia prevista
 Descrizione dettagliata nell'offerta dell'impresaio
- Asportazione manuale della cenere
- Asportazione meccanica automatica della cenere
- secchi per la cenere da 100 litri
 - contenitori per la cenere da 600 litri
 - contenitori per la cenere da 800 litri
 - litri
- Asportazione pneumatica automatica della cenere
- contenitori per la cenere da 600 litri
 - contenitori per la cenere da 800 litri
 - contenitori per la cenere da litri
- Asportazione della cenere ad un livello superiore rispetto al locale riscaldamento

242.01.3
Trasporto del combustibile

- Dimensione dei trucioli: 40x20x10 mm
1% di dimensioni maggiori fino a 80 mm
- 80x20x10 mm
1% di dimensioni maggiori fino a 220 mm
-

242.01.4
Distribuzione dal silo

- Dimensioni del silo: lunghezza m
 larghezza m
 altezza m

242.01.5
Comando

- Esecuzione standard secondo la dimensione della caldaia prevista
Descrizione dettagliata nell'offerta dell'impresario
- Comando con le seguenti esigenze minime
- Regolazione secondo il carico
 - Ottimizzazione della combustione
 - Regolazione della depressione
 -
 -
 -
- Vicino all'impianto di combustione a legna sono da integrare
nell'armadio principale le seguenti componenti di regolazione
e comando
-
.....
.....
- (Nel caso di ampliamenti importanti allegare lo schema,
altrimenti il prezzo è da inserire come indicativo)
- Ampliamenti dell'armadio principale in base allo schema allegato
- Allestimento dello schema complessivo nel caso
di ampliamento dell'armadio principale

242.06
OPZIONI
242.06.1

- Fornitura degli elementi di posa per il dispositivo di distribuzione
del silo comprese istruzioni di montaggio
(fornitura degli elementi di posa sul cantiere senza montaggio
e loro posa da parte del muratore)

242.06.2

- Commutazione d'emergenza dell'impianto su olio combustibile o gas

242.06.3

- Aspiratore della cenere per facilitare la pulizia della caldaia,
se richiesto
- dimensione circa - secchi per la cenere da 100 litri
 - contenitori per la cenere da 600 litri
 - contenitori per la cenere da 800 litri
 -

242.06.4

- Meccanismo di caricamento e distribuzione per un miglior
sfruttamento del volume del silo
- esecuzione per coperchio di caricamento
posto al centro del silo
 - esecuzione per coperchio di caricamento
all'estremità del silo

242.06.5
Coperchi di riempimento del silo

..... Numero

- Esecuzione: Carrozzabile (pressione ruota 8 t)
 Non carrozzabile

- Dimensione 1600 x 2600 mm
 1800 x 3000 mm
 2000 x 3000 mm
 2200 x 3200 mm

Richieste particolari:
.....

242.06.7

Richieste di opzioni supplementari

(canne fumarie, silenziatori, tubi gas di scarico V4A, ventilazione del silo, sollevatore per le ceneri, tappi di misurazione EMPA, ecc.)

242.06.8

.....
.....
.....

242.06.9

.....
.....
.....

Esigenze supplementari dell'ingegnere

242.0

Principi di progettazione**Disposizione del locale riscaldamento**

(Schizzo del locale riscaldamento / silo con le indicazioni necessarie delle misure, ubicazione, canna fumaria, accesso al silo, asportazione della cenere, ecc., oppure i rispettivi piani esecutivi della costruzione.)

Pianta**Sezione**

Sistema di trasporto su base scorrevole

Diametro del cilindro mm
 Numero di stanghe di spinta pz.
 Forza massima di trazione t
 Forza massima di compressione t

Sistema di asportazione della cenere

Asportazione della cenere
 dalla camera di combustione si no
 Sistema: pneumatico meccanico

Capienza del contenitore litri

Controllo / regolazione

Regolazione del carico / numero di stadi di carico

Display si no

Ottimizzazione si no

.....

Allacciamenti elettrici

Ventilatore di aspirazione kW

Ventilatore di alimentazione kW

Trasporto su base scorrevole kW

Asportazione della cenere kW

Impianto di trasporto completo kW

Consumo medio di corrente/h al 100% del carico kW

al 50% del carico kW

Indicazioni particolari dell'offerente

.....

242.01**Produzione di calore**Osservazioni

Il fornitore dovrà allegare una descrizione dettagliata contenente tutte le indicazioni in merito a potenza e pesi.

242.01.1**Produzione di calore / Depolverazione dei gas di scarico**

Caldaia in acciaio

Unità dell'impianto rivestita con muratura ignifuga, con impianto di combustione a carica inferiore o impianto di combustione con griglia a spinta frontale integrati.

Ventilatori di alimentazione necessari.

Spessore complessivo dell'isolamento 100 mm; mantello esterno in acciaio laccato.

Depolverazione con contenitore come da indicazioni richieste.

Rivestimento depolverazione dei gas di scarico con rivestimento in lamiera d'acciaio o alluminio.

Ventilatore dei gas di scarico.

Conduttura dei gas di scarico sino alla canna fumaria senza isolamento.

fr. _____

242.01.2**Asportazione della cenere.**

Asportazione della cenere dalla camera di combustione.

Asportazione della cenere proveniente dalla depolverazione dei gas di scarico.

Unità di trasporto necessarie come:

coclea per la cenere,

chiuse con ruote a palette e unità di trasporto pneumatiche in base alla variante richiesta nella documentazione di base.

Le singole unità di controllo sono da comprendere nel capitolo relativo al controllo.

fr. _____

242.01.3 Trasporto del combustibile dal silo alla caldaia

Trasporto trasversale in base al sistema di distribuzione del silo.

Unità di trasporto fino al trasportatore a coclea.

Trasportatore a coclea.

Attrezzature antincendio secondo prescrizioni VFK.

(Le dimensioni delle unità di trasporto sono da specificare in modo completo nell'offerta dettagliata)!

fr. _____

242.01.4 Sistema di trasporto del silo

Le dimensioni e disposizioni del silo secondo il piano allegato comprendono:

stanghe di spinta con trascinatore
(quantità da specificare nell'offerta dettagliata)

cilindri idraulici
(quantità da specificare nell'offerta dettagliata)

aggregato idraulico
allacciamento idraulico fra cilindro e aggregato idraulico, elementi per comandi e base scorrevole

fr. _____

242.01.5 Armadio principale con comandi / Regolazione

Armadio di metallo con porta frontale grande, ermetico alla polvere, contenente:

dispositivo completo di comando e sorveglianza di tutto l'impianto come da impostazioni di base, compresa l'ottimizzazione del processo di combustione (descrizione della regolazione nell'offerta dettagliata)

tutti gli apparecchi, valvole, contatti e relais necessari per il funzionamento dell'impianto

sistema di informazione e sorveglianza su tutte le funzioni e guasti

fr. _____

242.01.6 Trasporto, montaggio, messa in esercizio e regolazione di base

Comprendente:

trasporto in cantiere di tutto il materiale

montaggio completo dell'impianto eccetto l'armadio principale e gli allacciamenti elettrici dei singoli apparecchi

messa in esercizio dell'impianto, registrazione e regolazione base, istruzioni al personale di esercizio

ulteriore regolazione dopo due mesi di esercizio

fr. _____

242.07	<u>Opzioni</u>	
242.07.1	<u>Fornitura degli elementi di posa del sistema di distribuzione del silo</u>	
	Sistema di ancoraggio delle stanghe di spinta per i cilindri idraulici Binari di scorrimento per stanga di spinta Ferro finale all'uscita del silo	
	Fornitura degli elementi di posa in cantiere senza montaggio Piano di posa per il muratore	fr. _____
242.07.2	<u>Impianti di combustione d'emergenza a olio combustibile o gas</u>	
	Per esercizio d'emergenza (non Low-Nox)	
	Muniti di un portello per il montaggio del bruciatore	
	Comando elettrico per bruciatore a olio combustibile o gas	fr. _____
242.07.3	<u>Aspiratore della cenere</u>	
	Comprendente: aspiratore mobile, con filtro facilmente sostituibile contenitore o container con pre-separatore per accogliere la cenere serie di tubi per aspirapolvere fissi e flessibili resistenti al calore (cenere ardente) comparto nell'armadio principale e cavo di allacciamento elettrico fornitura completa e messa in esercizio dell'apparecchio	fr. _____

242.07.4	<u>Distributore del silo</u>	
	..... sistema/i di caricamento e distribuzione per lo sfruttamento ottimale del volume del silo	
	– Descrizione come da offerta specifica del fornitore con indicazioni sulla capacità di distribuzione e grado di riempimento – Aggregato idraulico necessario – Ampliamento dell'armadio principale – Montaggio e messa in esercizio	fr. _____
242.07.5	<u>Coperchio di caricamento del silo</u>	
	..... coperchio/i di caricamento, esecuzione come richiesto	
	Completo compreso telaio da murare, scarico dell'acqua, griglia protettiva contro le cadute, impianto idraulico o aiuto per l'apertura	
	– Come da offerta specifica del fornitore – Ampliamento dei comandi elettrici – Montaggio e messa in esercizio	fr. _____

242.0	<u>Prezzo dell'impianto descritto</u>	
242.0.1	Produzione di calore	
242.01.1	Produzione di calore / depolverazione	fr.
242.01.2	Asportazione della cenere	fr.
242.01.3	Trasporto per il combustibile	fr.
242.01.4	Sistema di distribuzione	fr.
242.01.5	Armadio principale / comandi	fr.
242.01.6	Trasporto, montaggio e messa in esercizio	fr.
242.0.3	<u>Opzioni richieste</u>	
	In seguito indicare solo il prezzo delle opzioni richieste!	
242.07.1	Elementi di posa	fr.
242.07.2	Commutazione su olio combustibile	fr.
242.07.3	Aspiratore della cenere	fr.
242.07.4	Distributore nel silo	fr.
242.07.5	Coperchio di caricamento del silo	fr.
242.07.6	.....	fr.
242.07.8	.....	fr.
242.07.9	.....	fr.
242.0.3.9	.....	fr. <u>.....</u>
	Prezzo dell'impianto di riscaldamento a legna	fr.
	./..... % sconto	fr. <u>.....</u>
	Prezzo dell'impianto escl. IVA	fr.
	IVA 6,5%	fr. <u>.....</u>
	Prezzo dell'impianto IVA compresa	fr. =====
	..... % sconto per rispetto delle condizioni di pagamento	

Esecuzioni supplementari ritenute auspicabili o indispensabili rispetto al capitolato sono da offrire separatamente

in allegato: variante supplementare del fornitore

A7 Bibliografia

Riscaldamenti centrali a legna

Nozioni fondamentali per la pianificazione, la progettazione e l'esecuzione
Programma d'impulso per l'impiantistica
Ufficio federale dei problemi congiunturali,
Berna 1988
Ordinazione presso UCFSM,
3000 Berna, no. 724.623 i

Energie aus Restholz

Un filo conduttore per l'industria della lavorazione del legno
Ufficio federale per le questioni congiunturali,
Berna 1994
Ordinazione presso UCFSM,
3000 Berna, no. 724.238 d

Costi esterni e supplementi calcolati dei prezzi dell'energia nel settore dell'elettricità e del calore

Ufficio federale dei problemi congiunturali,
Berna 1994
Ordinazione presso UCFSM,
3000 Berna, no. 724.270 i

Energie aus Heizöl oder Holz

Bilanci ecologici a confronto
Schriftenreihe Umwelt Nr. 131 – Holz
Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio 1990
Ordinazione presso UFAFP, 3003 Berna

Wirkungsgradbestimmung bei Holzfeuerungen

Diane 7, Piccoli impianti di combustione a legna
Ufficio federale dell'energia, Berna 1993
Ordinazione presso ENET,
Casella postale 142, 3006 Berna

Stromerzeugung aus Holz

Valutazioni generali economiche sulla produzione di elettricità dalla legna
Diane 8, Energia da legna e carta vecchi
Ufficio federale dell'energia, Berna 1994
Ordinazione presso UCFSM, 3000 Berna, no. 805.182 d

Wirtschaftlichkeit der Holzenergienutzung in der Gemeinde

Programma impulso legno
Ufficio federale dell'energia, Berna 1994
Ordinazione presso Vhe, Falkenstrasse 26,
8008 Zurigo

Emissionsarme Altholznutzung in 1 – 10 MW Anlagen

Diane 8, Energia da legna e carta vecchi
Ufficio federale dell'energia, Berna 1994
Ordinazione presso UCFSM, 3000 Berna, no. 805.180 d

SNCR-Verfahren zur Stickoxidminderung bei einer Holzfeuerung

Ufficio federale dell'energia, Berna 1994
Ordinazione presso ENET, Casella postale 142,
3006 Berna

Schadstoffbildung bei der Verbrennung von Holz

Thomas Nussbaumer, Diss ETH Nr. 8838,
Zurigo 1989

Verbrennungsregelung bei automatischen Holzschneitzfeuerungen

Jürgen Good, Diss ETH Nr. 9771, Zurigo 1992

Energetische Nutzung von Holz, Holzreststoffen und Altholz

Thomas Nussbaumer (edit.)
Ufficio federale dell'energia, Berna 1990
Ordinazione presso ENET, Casella postale 142,
3006 Berna

Neue Konzepte zur schadstoffarmen Holzenergie- Nutzung

Thomas Nussbaumer (edit.)
Ufficio federale dell'energia, Berna 1992
Ordinazione presso ENET, Casella postale 142,
3006 Berna

Neue Erkenntnisse zur thermischen Nutzung von Holz

Thomas Nussbaumer (edit.)
Ufficio federale dell'energia, Berna 1994
Ordinazione presso ENET, Casella postale 142,
3006 Berna

Energietechnik in der Holzverarbeitung

Manuale per l'industria e artigianato del legno
Klaus Seeger, DRW-Verlag,
Leinfelden-Echterdingen(D) 1989,
ISBN 3-87181-317-6

Reinigung von Abgasen

Wolfgang Fritz und Heinz Kern, 2a edizione, Vogel-Verlag Würzburg (D) 1990 ISBN 3-8023-0244-3

Energietechnik - Technische, ökonomische und ökologische Grundlagen

Kurt Kugeler und Peter-WPhilipp, Springer-Verlag Berlin 1990 ISBN 3-540-52865-2

A8 Prescrizioni e regolamenti

Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico (OIAAt)

Aggiornata al 1.1.1992
Ordinazione presso UFAP 3003 Berna
Form. 814.318.142.1

Ordinanza tecnica sui rifiuti (OTR)

Aggiornata 1.1.1993
Ordinazione presso UFAP 3003 Berna
Form. 814.015

Raccomandazioni sulle altezze minime delle canne fumarie sopra il tetto

Ordinazione presso UFAP 3003 Berna
Riedizione in elaborazione

Silo per trucioli verdi

Contenuto: Esigenze tecniche di sicurezza, comportamento all'accesso nel silo

Ordinazione presso: INSAI, CP, 6002 Lucerna
Numero d'ordine: 66050.i

Silo per minuzzoli di legno

INSAI - Fogli svizzeri sulla sicurezza sul lavoro
Contenuto: trucioli, vuotatura di sili e pericoli del prelievo di trucioli, incidenti nei sili per trucioli, cause di incidenti
Ordinazione presso: INSAI, CP, 6002 Lucerna
Numero d'ordine: SBA - no. 126

Direttive sugli impianti di trasporto continuo

INSAI - Sicurezza sul lavoro
Contenuto: prescrizioni costruttive e provvedimenti di sicurezza
Ordinazione presso: INSAI, CP, 6002 Lucerna
Numero d'ordine: 1545.i

Immissione ed espulsione di aria in locali riscaldamento

Direttive SWKI 91-1, 11/1992
Contenuto: determinazione della quantità di aria, ventilazione naturale e forzata, indicazioni pratiche, esempi
Ordinazione presso: Associazione svizzera di ingegneri di calore e clima, CP, CH- 3001 Berna

Direttive sulla protezione dal fuoco Impianti di produzione di calore

edizione 1993
Associazione assicurazioni cantonali contro l'incendio (VKF)
Contenuto: Installazione di aggregati di combustione, evacuazione dei gas di scarico, magazzinaggio di combustibili
Ordinazione presso: Associazione assicurazioni cantonali contro l'incendio (VKF), Bundesgasse 20, 3011 Berna

A9 Indirizzi importanti

BfK

Bundesamt für Konjunkturfragen
Belpstr. 53, 3003 Bern
Tel. 031-322 21 29, Fax 031-372 41 02

Informazioni sui programmi d'impulso RAVEL/Utilizzo razionale dell'energia elettrica, PACER/Energie rinnovabili e PI EDIL/Manutenzione e rinnovamento delle costruzioni

BUWAL

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
Hallwylstr. 4, 3003 Bern
Tel. 031-322 93 11, Fax 031-322 99 81

Informazioni sull'Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico (OIA) e Ordinanza tecnica sui rifiuti (OTR)

BEW

Bundesamt für Energiewirtschaft
Kapellenstr. 14, 3003 Bern
Tel. 031-322 56 11, Fax 031-382 43 07

Informazioni sul programma di sviluppo dell'Ufficio federale per l'energia nell'ambito di Energia 2000

Centrale del legno

Casella postale 432, 6802 Rivera
Tel. 091 - 946 42 12

Förderprogramm Holz

c/o Schweizerische Vereinigung für Holzenergie
Falkenstr. 26, 8008 Zürich
Tel. 01-252 30 70, Fax 01-251 41 26

Servizi: consulenza e informazioni, consulenza per procedure per ogni tipo di impianto di combustione a legna, possibilità di aiuti federali e cantonali

VKF

Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen
Bundesgasse 20, 3011 Bern
Tel. 031-320 22 22, Fax 031-320 22 99

Informazioni sulle prescrizioni antincendio per la lavorazione, magazzinaggio e sfruttamento di residui lignei, indirizzi delle assicurazioni cantonali contro l'incendio e autorità della polizia del fuoco

SUVA

Schweizerische Versicherungsanstalt
Postfach, 6002 Luzern
Tel. 041-21 51 11, Fax 041-21 58 28

Informazioni su prescrizioni di sicurezza elementari, in particolare per il magazzinaggio di residui lignei

EFS

Verband Energiefachleute Schweiz
c/o INFOENERGIE
FAT, 8356 Tänikon
Tel. 052-62 34 70, Fax 052-62 34 89

L'Associazione svizzera degli specialisti dell'energia è l'organizzazione mantello dei consulenti per problemi energetici attivi e delle associazioni specialistiche in questo campo. Qui si trovano ulteriori indirizzi dei diversi uffici di consulenza energetica e degli uffici cantonali specializzati in energia. Inoltre, è possibile ottenere indirizzi e brevi descrizioni di impianti pilota o di dimostrazione con uno sfruttamento energetico esemplare.