

# **Energia e elettricità**

## **Basi e correlazioni**

RAVEL  
nel settore del calore  
Fascicolo 1

## «RAVEL nel settore del calore» in cinque fascicoli

Direzione generale: Hans Rudolph Gabathuler

In un prossimo futuro le tecniche efficienti sul piano energetico diventeranno viepiù importanti. Nei libri di testo odierni è possibile reperire ben poco materiale concernente questo tema. In tre corsi RAVEL – «Ricupero del calore ed utilizzazione del calore residuo», «Pompe di calore», nonché «Produzione combinata di forza e calore» – le progettiste ed i progettisti possono formarsi ulteriormente in questo settore promettente. La collana di pubblicazioni che apparirà a questo proposito «RAVEL nel settore del calore» è composta da cinque fascicoli. Essi possono essere ordinati presso l'Ufficio centrale federale degli stampati e del materiale, 3003 Berna.

Fascicolo 1: Elettricità e calore - Basi e correlazioni (n. d'ord. 724.357i)

Fascicolo 2: Ricupero del calore ed utilizzazione del calore residuo (n. d'ord. 724.355i)

Fascicolo 3: Pompe di calore (n. d'ord. 724.356i)

Fascicolo 4: Produzione combinata di forza e calore (n. d'ord. 724.358i)

Fascicolo 5: Circuiti standardizzati

## Autore, redazione e veste tipografica

Hans Rudolph Gabathuler, Gabathuler AG, Kirchgasse 23, 8253 Diessenhofen

## Grafica

Monica Ehrat, 8240 Thayngen

## Organizzazioni responsabili

INFEL	Centro d'informazione per l'utilizzazione dell'elettricità, Lagerstrasse 1, 8021 Zurigo
APSLI	Associazione padronale svizzera lattonieri e installatori, Auf der Mauer 11, 8023 Zurigo
SBHI	Società svizzera degli ingegneri consulenti per l'impiantistica e l'energia, Schermenwaldstrasse 10, 3063 Ittigen (Corso «Ricupero del calore ed utilizzazione del calore residuo»)
WKK	Schweizerischer Fachverband für Wärmekraftkopplung, Bodenackerstrasse 19, 4410 Liestal (Corso «Cogenerazione»)



*Osservazioni importanti*



*Indicazioni nell'ambito della collana «RAVEL nel settore del calore» (cfr. sopra)*



*Bibliografia specializzata*



*Indicazioni concernenti i programmi per PC*



*Esempi di calcolo*



*Denominazioni, simboli ed abbreviature a pagina 59*

*Indice analitico alle pagine 60/61*

ISBN 3-905233-31-2

Edizione originale: ISBN 3-905233-09-6

Copyright © Ufficio federale dei problemi congiunturali, 3003 Berna, giugno 1993.

La riproduzione parziale è autorizzata purché sia citata la fonte. Il presente manuale può essere ordinato presso l'Ufficio centrale federale degli stampati e del materiale (UCFSM), 3003 Berna (n. d'ord. 724.357 i)

Form. 724.356 i 11.94 700 U19657

# Prefazione

Il programma di promozione «Edilizia ed Energia», della durata totale di 6 anni (1990 - 1995), è composto dai tre programmi d'impulso seguenti:

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

Questi tre programmi d'impulso sono realizzati in stretta collaborazione con l'economia privata, le scuole e la Confederazione. Il loro scopo è quello di promuovere una crescita economica qualitativa. In tale ottica essi devono sfociare in un minor sfruttamento delle materie prime e dell'energia, con un maggiore ricorso al capitale costituito dalle capacità umane.

Il fulcro delle attività di RAVEL è costituito dal miglioramento della competenza professionale nell'impiego razionale dell'energia elettrica. Oltre agli aspetti della produzione e della sicurezza, che finora erano in primo piano, deve essere dato ampio risalto all'aspetto costituito dal rendimento. Sulla base di una matrice del consumo, RAVEL ha definito in modo esteso i temi da trattare. Oltre alle applicazioni dell'energia elettrica negli edifici vengono presi in considerazione anche i processi nell'industria, nel commercio e nel settore delle prestazioni di servizio. I gruppi mirati sono adeguatamente svariati: comprendono i professionisti di ogni livello, nonché i responsabili delle decisioni che si devono esprimere in merito a decorsi ed investimenti essenziali per quanto concerne il consumo dell'energia elettrica.

## **Corsi, manifestazioni, pubblicazioni, videocassette, ecc.**

Gli obiettivi di RAVEL saranno perseguiti mediante progetti di ricerca volti all'ampliamento delle conoscenze di base e - a partire dallo stesso principio - mediante la formazione, il perfezionamento e l'informazione. La divulgazione delle conoscenze è orientata verso l'impiego nella prassi quotidiana e si basa essenzialmente su manuali, corsi e manifestazioni. Si prevede di organizzare ogni anno un congresso RAVEL durante il quale, di volta in volta, si informerà, discutendone in modo esauriente, in merito ai nuovi risultati, sviluppi e tendenze della nuova ed affascinante disciplina costituita dall'impiego razionale dell'elettricità. Il bollettino «IMPULSO», pubblicato due o tre volte all'anno, fornirà dettagli concernenti queste attività ed informerà gli interessati in merito all'offerta di perfezionamento ampia ed orientata a seconda dei singoli gruppi d'interesse. Tale bollettino può essere ordinato in abbonamento (gratuito) presso l'Ufficio federale dei problemi congiunturali, 3003 Berna. Ogni partecipante ad un corso o ad una manifestazione organizzati nell'ambito del programma ri-

ceve una documentazione. Essa consiste essenzialmente della pubblicazione specializzata elaborata a questo scopo. Tutte queste pubblicazioni possono pure essere ordinate presso l'Ufficio centrale federale degli stampati e del materiale (UCFSM), 3003 Berna.

## **Competenze**

Per poter fronteggiare questo programma ambizioso di formazione è stato scelto un concetto di organizzazione e di elaborazione che, oltre alla collaborazione competente di specialisti, garantisce anche il rispetto dei punti d'interazione nel settore dell'impiego dell'energia elettrica, nonché dell'assistenza necessaria da parte di associazioni e scuole del ramo interessato. Una commissione composta dai rappresentanti delle associazioni, delle scuole e dei settori professionali interessati stabilisce i contenuti del programma ed assicura la coordinazione con le altre attività che perseguono l'uso razionale dell'elettricità. Le associazioni professionali si assumono anche l'incarico di organizzare i corsi di perfezionamento professionale e le campagne d'informazione. Della preparazione di queste attività è responsabile la direzione del progetto composta dai signori Dott. Roland Walthert, Werner Bihi, Dott. Eric Bush, Jean-Marc Chuard, Hans-Rudolf Gabathuler, Ruedi Messmer, Jürg Nipkow, Ruedi Spalinger, Dott. Daniel Spreng, Felix Walter, Dott. Charles Weinmann, Georg Züblin, nonché Eric Mosimann, UFCO. Nell'ambito delle proprie competenze l'elaborazione è eseguita da gruppi di progettazione che devono risolvere singoli problemi (progetti di ricerca e di trasformazione) per quanto concerne il contenuto, l'impiego del tempo ed i costi.

## **Documentazione**

Dopo una procedura di consultazione e la prova d'impiego nel corso di una manifestazione pilota, la presente documentazione è stata rielaborata con cura. Gli autori erano tuttavia liberi di valutare, tenendone conto secondo il proprio libero apprezzamento, i diversi pareri in merito a singoli problemi. Essi si assumono anche la responsabilità dei testi. Le lacune che venissero alla luce durante l'applicazione pratica potrebbero essere eliminate in occasione di un'eventuale rielaborazione. L'Ufficio federale dei problemi congiunturali, il redattore responsabile o il direttore del corso (cfr. p. 2) saranno lieti di ricevere suggestioni a tale proposito. In questa sede desideriamo ringraziare tutte le persone che hanno contribuito alla realizzazione della presente pubblicazione.

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

# Indice

<b>1. RAVEL nel settore del calore</b> .....	<b>5</b>		
1.1 Elettricità - una forma d'energia pregiata .....	5		
1.2 Utilizzare le forme d'energia secondo la loro efficacia! .....	6		
1.3 Centrali termoelettriche e di riscaldamento compatte ed amplificatori elettrotermici .....	6		
1.4 Pubblicazioni del settore «calore».....	8		
<b>2. Trasformazione dell'energia</b> .....	<b>9</b>		
2.1 Processi ciclici .....	9		
Processo ciclico di Carnot .....	9		
Processo ciclico della pompa di calore, rispettivamente della macchina frigorifera .....	9		
2.2 Efficacia di diverse forme d'energia .....	11		
2.3 Calcolo esatto dell'efficacia dal punto di vista fisico .....	12		
Exergia, anergia .....	12		
Rendimento exergetico .....	13		
2.4 Regole empiriche sotto forma di fattori di valutazione .....	13		
Problemi concernenti l'utilizzazione pratica del concetto di exergia .....	13		
Stato della tecnica .....	14		
Fattori di valutazione .....	14		
2.5 Amplificatore elettrotermico .....	15		
<b>3. Tecniche energetiche efficienti</b> .....	<b>17</b>		
3.1 Ricupero del calore e utilizzazione del calore residuo .....	17		
Funzionamento .....	17		
Tipi d'impianti e settori di applicazione .....	17		
Caratteristiche importanti .....	19		
3.2 Pompe di calore .....	19		
Funzionamento .....	19		
Tipi d'impianti e settori di applicazione .....	20		
Caratteristiche importanti .....	21		
3.3. Produzione combinata di forza e di calore .....	22		
Funzionamento .....	22		
Tipi d'impianti e settori di applicazione .....	23		
Caratteristiche importanti .....	24		
3.4 Ripercussioni sul consumo d'energia e sulla produzione di anidride carbonica .....	25		
Strategie .....	25		
Misure di promovimento e di sostegno .....	27		
<b>4. Basi di progettazione</b> .....	<b>29</b>		
4.1 Principi idraulici .....	29		
Quale ruolo riveste l'idraulica nel risparmio di energia elettrica?.....	29		
Tre formule importanti .....	29		
I quattro circuiti idraulici fondamentali di distribuzione .....	29		
Valvole di regolazione.....	29		
Autorità della valvola.....	30		
Curva caratteristica della valvola .....	32		
Curva caratteristica delle pompe .....	32		
Curva caratteristica della rete.....	33		
Autorità dell'utilizzatore.....	33		
Obiettivo: un impianto stabile e silenzioso! .....	34		
4.2 Pompe di circolazione.....	35		
Consumo di corrente elettrica .....	35		
Pompe di circolazione con curve caratteristiche inclinate .....	37		
			Pompe di circolazione con curve caratteristiche piatte.....
			37
			Pompe di circolazione a numero di giri variabile con curva caratteristica piatta regolabile.....
			38
			Pompe di circolazione a numero di giri variabile con curva caratteristica «negativa».....
			38
			Apparecchi a numero di giri variabile .....
			38
			Regolazione della differenza di pressione negli impianti muniti di valvole termostatiche .....
			39
			Regolazione della differenza di pressione nelle tubazioni a distanza .....
			40
			Funzionamento della pompa nel caso di portata nulla .....
			40
			4.3 Misurazione dell'energia .....
			Elettricità .....
			41
			Gas naturale .....
			42
			Gasolio.....
			42
			Calore e freddo.....
			43
			Uscite ad impulsi .....
			44
			<b>5. Tecnica dei circuiti</b> .....
			<b>45</b>
			5.1 Problemi di collegamento .....
			45
			5.2 Circuiti standardizzati RAVEL .....
			46
			5.3 Produzione di calore, accumulatore e distributore decentralizzati .....
			46
			5.4 Equilibratura idraulica .....
			47
			È realmente necessaria un'equilibratura idraulica?.....
			47
			Equilibratura tratto per tratto .....
			48
			Equilibratura dal lato degli utilizzatori .....
			48
			5.5 Direttive concernenti il dimensionamento .....
			49
			<b>6. Garanzia della qualità durante le fasi della progettazione</b> .....
			<b>51</b>
			6.1 Garanzia della qualità .....
			51
			6.2 Norma di regolazione degli onorari SIA 108 .....
			53
			6.3 Il committente deve decidere... ..
			54
			<b>7. Redditività</b> .....
			<b>55</b>
			7.1 Problemi d'intesa .....
			55
			7.2 Redditività ragionevolmente esigibile .....
			55
			7.3 Procedimento.....
			56
			<b>Denominazioni, simboli, abbreviature</b> .....
			<b>57</b>
			<b>Indice analitico</b> .....
			<b>59</b>

# 1. RAVEL nel settore del calore

## 1.1 Elettricità - una forma d'energia pregiata

In Svizzera il 39% (398,6 PJ) dell'**energia primaria** totale (1019,4 PJ) è utilizzato per la produzione di corrente elettrica (figura 1, in alto). Di questa percentuale, tuttavia, soltanto il 43% (172,9 PJ) può essere trasformato in elettricità (figura 1, in mezzo, rispettivamente in basso). Per motivi fisici e tecnici non è possibile ottenere, nel corso di tale trasformazione, un rendimento migliore. L'elettricità costituisce quindi una forma d'energia che richiede una grande quantità d'energia primaria e che dovrebbe essere utilizzata solo laddove è veramente necessaria la sua elevata efficacia.

Oltre alle considerazioni sul piano energetico (unità: kWh, MJ, PJ), deve aver luogo anche una **valutazione per quanto concerne la potenza** (unità: kW, GW). La corrente elettrica deve quindi essere prodotta solo allorché è necessaria, poiché un'accumulazione è possibile soltanto in modo molto limitato. In questo ambito hanno un ruolo importante le differenze stagionali (il fabbisogno di potenza è maggiore in inverno di quanto non lo sia in estate) e le differenze giornaliere (in certe ore di punta il fabbisogno di potenza è sensibilmente più elevato che in altri momenti).

Il **riscaldamento mediante resistenze elettriche** sfrutta molto malamente l'efficacia elevata dell'elettricità – una pompa di calore elettrica è ad esempio tre volte migliore. Il Decreto sull'energia (RS 730.0) prevede, di conseguenza, un obbligo di autorizzazione per ogni nuovo impianto di riscaldamento elettrico fisso. Nella figura 1 in basso si nota che il fabbisogno per il riscaldamento di locali (pompe di calore comprese) mediante l'elettricità rappresenta oggi il 7,4% (12,1 PJ) del consumo finale di elettricità (163,8 PJ).

Una quantità di corrente elettrica pressoché uguale viene utilizzata per il **riscaldamento dell'acqua** (12,0 PJ). In questo caso la valutazione sarà tuttavia un po' più favorevole che non nel caso del riscaldamento tramite resistenze elettriche a causa del fatto che esistono alcuni vantaggi rispetto al sistema convenzionale di riscaldamento centralizzato dell'acqua (ad es. mediante caldaia combinata): non vi sono perdite di circolazione e neppure perdite dovute al rendimento della caldaia durante l'estate, mentre il conteggio è individuale.

Per quanto concerne la produzione di calore, il **calore di processo** crea uno dei più importanti fabbisogni di corrente elettrica con il 31% (50,0 PJ) del consumo finale di corrente elettrica (163,8 PJ). Poiché in questo caso i livelli di temperatura sono notevol-

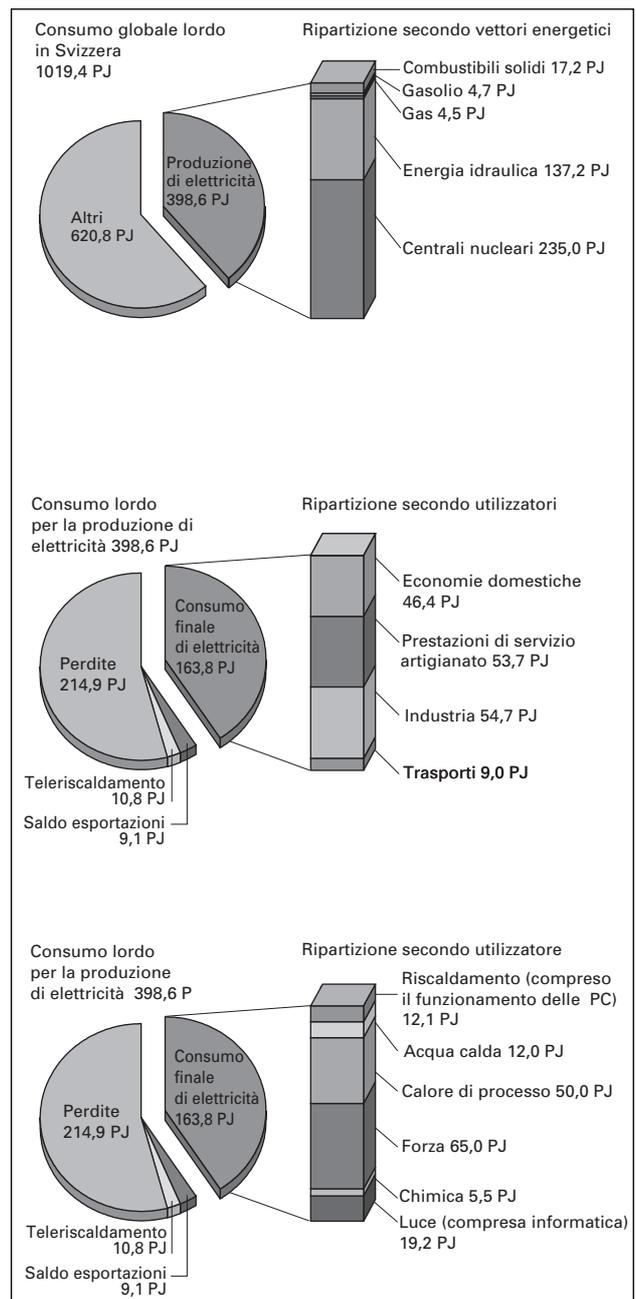


Figura 1: bilancio energetico della Svizzera per l'anno 1989 (base: statistica globale svizzera dell'energia; 1 PJ = 278'000'000 kWh). La percentuale dei «rimanenti» 620,8 PJ non utilizzata per la produzione di corrente elettrica è composta come segue: 721,7 PJ per il gasolio, 66,4 PJ per il gas e 32,7 PJ per i combustibili solidi.

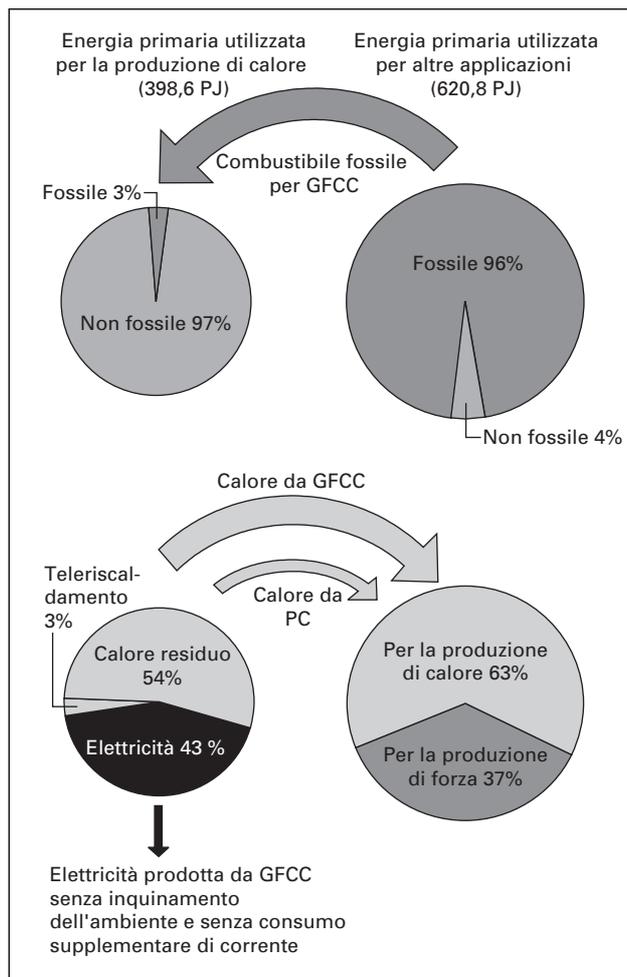


Figura 2: i diagrammi circolari a sinistra indicano che l'energia primaria utilizzata attualmente è quasi unicamente di origine non fossile e che il calore residuo che si forma inevitabilmente durante la produzione di corrente elettrica viene utilizzato solo in una piccola percentuale. Sul lato destro è rappresentata l'energia primaria utilizzata per le applicazioni rimanenti. Contrariamente a quella del lato sinistro, essa è quasi esclusivamente di origine fossile. Il 63% della stessa viene utilizzato per la produzione di calore. Se una maggiore quantità di carburante fossile potesse essere trasferita dal lato destro al lato sinistro negli impianti per la produzione di calore ed energia elettrica e si potesse trasferire al lato sinistro il loro calore residuo, nonché il calore proveniente dalle pompe di calore, una quantità importante di corrente elettrica potrebbe essere prodotta senza sovraccarico per l'ambiente e senza consumo supplementare d'energia!

Osservazione: i diagrammi circolari indicano lo stato attuale e le frecce significano soltanto uno scambio possibile; la figura 3 fornisce una panoramica quantitativa.

mente più elevati che non in quello del riscaldamento tramite resistenze elettriche, la perdita di efficacia è corrispondentemente minore. Anche in questo settore si applicano inoltre i metodi di produzione del calore molto più potenti (archi elettrici, alta frequenza, infrarosso, induzione).

## 1.2 Utilizzare le forme d'energia secondo la loro efficacia!

Nuove applicazioni necessitano sempre maggiormente d'energia pregiata sotto forma di elettricità. Anche le nuove tecniche energetiche efficienti hanno parimenti bisogno di corrente elettrica, ad esempio per il funzionamento delle pompe di calore oppure sotto forma d'energia ausiliaria per gli impianti di recupero del calore e per gli impianti per l'utilizzazione del calore residuo. Non è possibile formulare critica alcuna a questo proposito, finché ciò possa permettere un risparmio sostanziale di altre forme d'energia. In fin dei conti è determinante non soltanto il consumo di corrente elettrica, ma anche il consumo globale di energia.

➔ L'obiettivo deve quindi essere quello di diminuire il consumo globale d'energia. Ciò significa naturalmente in primo luogo evitare un dispendio inutile d'energia, nonché diminuire le perdite. Un progresso decisivo può tuttavia essere ottenuto solo se in futuro si riuscirà ad utilizzare le forme pregiate d'energia quali l'elettricità, il gas ed il gasolio in modo adeguato alla loro efficacia reale.

## 1.3 Centrali termoelettriche e di riscaldamento compatte ed amplificatori elettrotermici

Oggi in Svizzera la percentuale d'energia fossile primaria (gasolio, gas, carbone) utilizzata per la produzione di corrente elettrica è molto esigua, mentre è molto forte per le altre applicazioni (figura 2, in alto). Inoltre, al livello della produzione di corrente elettrica, il calore residuo viene utilizzato soltanto per una piccola percentuale, mentre, d'altro canto, deve essere consumata una quantità enorme di vettori energetici fossili allo scopo di poter produrre il calore necessario (figura 2, in basso). Sarebbe possibile conseguire un miglioramento utilizzando in **reti di teleriscaldamento** una maggiore quantità di calore prodotto dalle centrali elettriche. Tenendo conto

anche del calore proveniente dalle centrali di riscaldamento (figura 2, in basso) ciò rappresenta oggi soltanto una piccola percentuale del 3% della produzione d'energia primaria. In un prossimo futuro, non ci si può neppure attendere che si realizzino progressi nel settore dell'utilizzazione del calore residuo, poiché il trasporto del calore dalla centrale elettrica fino all'utilizzatore è molto costoso e, di conseguenza, non è redditizio. Oltre a ciò manca anche l'accettazione sul piano politico.

Le figure 2 e 3 indicano tuttavia ancora una possibile soluzione particolarmente interessante, proposta piuttosto dal settore della tecnologia minore, ossia la **produzione combinata di forza e di calore (PCFC)**: per quanto concerne la produzione di calore sarebbe razionale utilizzare una percentuale dell'energia fossile (che attualmente viene ancora bruciata nelle caldaie) nei **generatori di forza e di calore compatti (GFCC)** per la produzione di corrente, decentralizzando in tal modo l'utilizzazione del calore? Tale strategia offre il vantaggio di non sovraccaricare l'ambiente, qualora venga rispettata una condizione: almeno un terzo della corrente elettrica prodotta deve essere utilizzata in amplificatori elettrotermici (cfr. qui di seguito), per la compensazione dell'energia fossile impiegata per la produzione di corrente elettrica, che a questo punto non è più a disposizione per la produzione di calore. Se oltre un terzo della corrente prodotta viene destinata all'amplificazione elettrotermica, ne consegue una notevole diminuzione dell'inquinamento ambientale, malgrado la produzione di corrente elettrica «fossile»!

Gli **amplificatori elettrotermici (AET)** sono costituiti ad esempio dalle pompe di calore e dagli impianti per l'utilizzazione del calore residuo: da una percentuale di corrente essi producono un multiplo di calore per il riscaldamento. La figura 3 presenta un'amplificazione elettrotermica di 3,0, ciò che in pratica costituisce il valore medio che dovrebbe essere ottenuto in tutti gli impianti.

 *La strategia descritta nelle figure 2 e 3 presenta il grande vantaggio che i generatori di forza e di calore compatti e l'amplificatore elettrotermico (ad es. le pompe di calore) non devono necessariamente trovarsi nello stesso luogo: i generatori di forza e di calore compatti devono essere costruiti laddove possa essere riunito un numero sufficiente ed adeguato di utenti del calore, mentre le pompe di calore devono essere sistemate laddove fonte di calore e sistema di erogazione del calore sono ottimali.*

 *Panoramica dettagliata e descrizione di tecniche e strategie energetiche efficienti vengono presentate al capitolo 3*

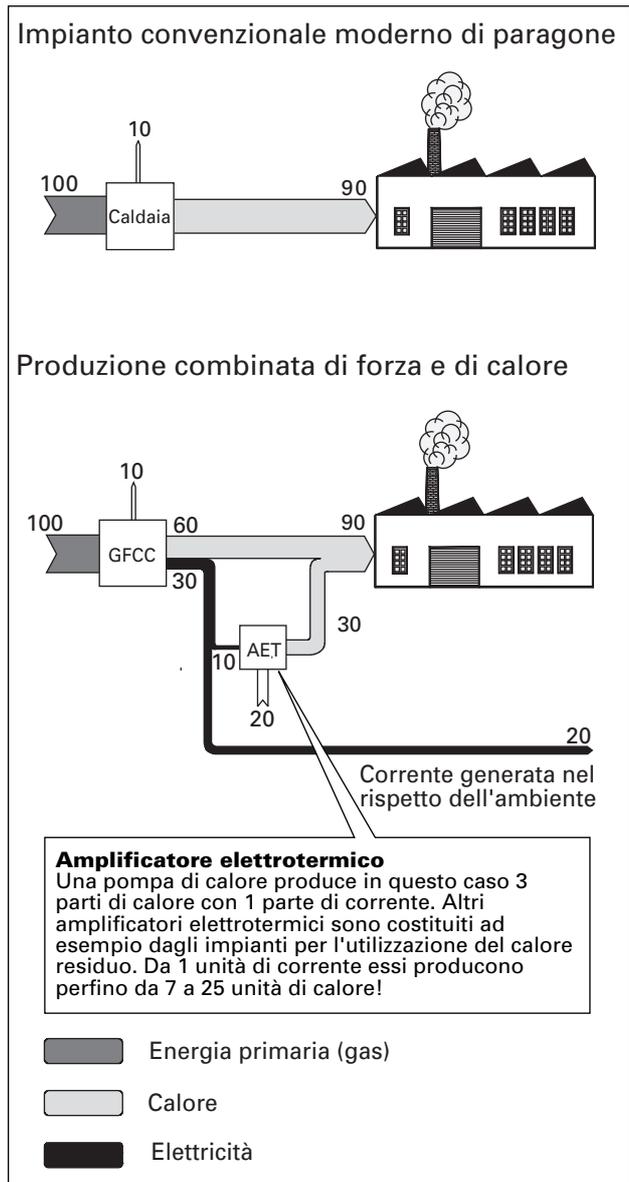


Figura 3: la produzione combinata di forza e di calore in combinazione con gli amplificatori elettrotermici permette di produrre elettricità senza inquinamento ambientale: in confronto ad un impianto moderno convenzionale è possibile, con 100 unità di gas, produrre 20 unità di corrente nel pieno rispetto dell'ambiente! Nel presente caso è stata supposta un'amplificazione elettrotermica di 3, come è spesso possibile ottenere in buoni impianti di pompe di calore. Altri amplificatori elettrotermici, come ad esempio gli impianti di utilizzazione del calore residuo, permettono di raggiungere valori ancora notevolmente migliori.

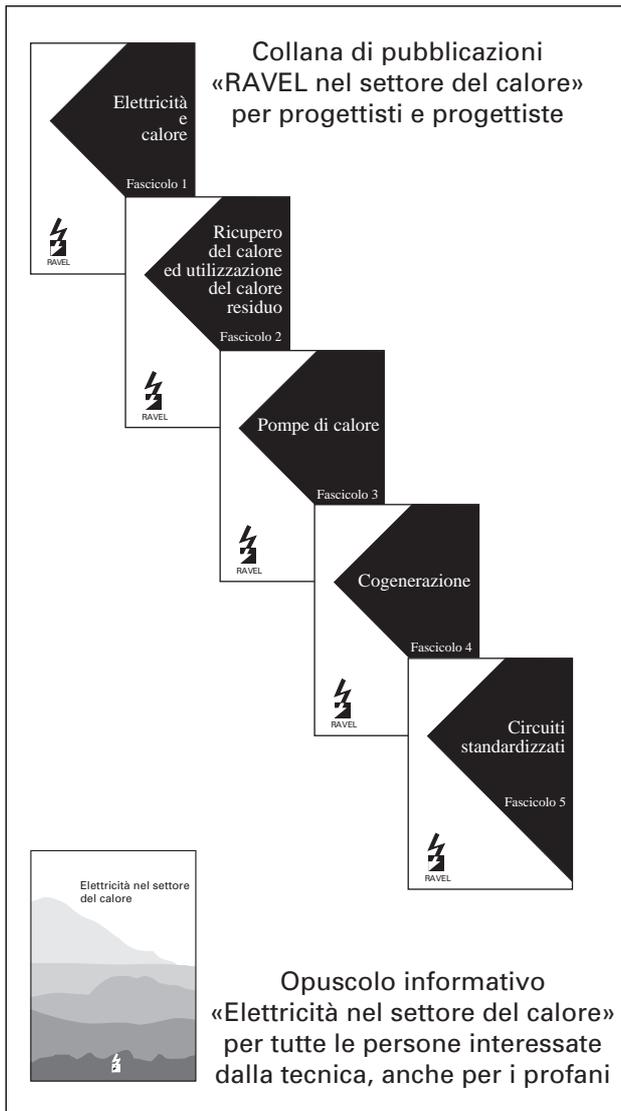


Figura 4: pubblicazioni del settore «calore». Esse possono essere ordinate all'Ufficio centrale federale degli stampati e del materiale (UCFSM), 3000 Berna. I numeri di ordinazione dei cinque fascicoli della collana sono reperibili a pagina 2. Il numero di ordinazione del fascicolo informativo è 724.354.

## 1.4 Pubblicazioni del settore «calore»

In un prossimo futuro l'importanza delle tecniche energetiche efficienti aumenterà in modo considerevole. Oggi la bibliografia a disposizione su questo tema è tuttavia ancora scarsa. In tre corsi RAVEL «Ricupero del calore ed utilizzazione del calore residuo», «Pompe di calore», nonché, «Cogenerazione», le progettiste ed i progettisti potranno perfezionarsi in questo settore che offre un futuro promettente. La **collana «RAVEL nel settore del calore»** è composta da cinque fascicoli (figura 4):

- il presente fascicolo 1 «Elettricità e calore» presenta le basi comuni ed indica le correlazioni tra i tre settori indicati.
- Il fascicolo 2 «Ricupero del calore ed utilizzazione del calore residuo», il fascicolo 3 «Pompe di calore» ed il fascicolo 4 «Cogenerazione» trattano della progettazione, della costruzione e del funzionamento di tali impianti dal punto di vista pratico.
- Il fascicolo 5 «Circuiti standardizzati» fornisce infine una panoramica delle soluzioni che si sono affermate nella prassi in tutti i tre settori.

Mentre i 5 fascicoli della collana si rivolgono esclusivamente alle progettiste ed ai progettisti, il **fascicolo informativo «Elettricità nel settore del calore»** (figura 4, in basso) non è stato concepito solo per gli specialisti, bensì anche per i gestori potenziali di tali impianti. Esso fornisce una buona panoramica dell'insieme dei settori.

## 2. Trasformazione dell'energia

### 2.1 Processi ciclici

#### Processo ciclico di Carnot

I processi nei quali lo stato iniziale originale è nuovamente raggiunto dopo parecchi cambiamenti di stato, che avvengono l'uno dopo l'altro, vengono chiamati processi ciclici. Tutti i motori termici che forniscono un lavoro periodico realizzano tali processi ciclici. In tal caso avviene una trasformazione del calore in lavoro meccanico. Le pompe di calore, rispettivamente le macchine frigorifere eseguono il processo ciclico in senso contrario: a partire da un lavoro meccanico vengono prodotti caldo, rispettivamente freddo.

Il fisico Nicolas L. Sadi Carnot (1796-1832) ha scoperto che il rendimento è massimo allorché viene eseguito tutto un processo ciclico determinato, nella fattispecie il processo ciclico di Carnot. Il riquadro 5 descrive il rendimento massimo possibile (motore termico), rispettivamente il coefficiente di rendimento più elevato (pompa di calore, rispettivamente macchina frigorifera) del processo ciclico di Carnot.

#### Processo ciclico della pompa di calore, rispettivamente della macchina frigorifera

Per mezzo di uno scambiatore di calore può aver luogo una trasmissione di calore da un mezzo più caldo ad un mezzo più freddo. Questo fenomeno è facilmente comprensibile. Il fenomeno inverso, ossia la trasmissione di calore da un mezzo più freddo ad uno più caldo – mediante apporto di un lavoro meccanico – è notevolmente più difficile da comprendere. Questo procedimento ha luogo, nella stessa misura e sotto forma di processo ciclico, sia nelle pompe di calore, sia nelle macchine frigorifere. Nel caso della pompa di calore, la produzione di calore è in primo piano, mentre nel caso della macchina frigorifera l'obiettivo prefisso è la produzione di freddo.

Il processo ciclico può essere rappresentato graficamente e nel modo più semplice mediante il **diagramma pressione-entalpia** (figura 6, in alto). In tale grafico la pressione viene rappresentata in modo logaritmico e la quantità di calore contenuta nel mezzo refrigerante viene definita come entalpia. A causa del fatto che sono interessanti soltanto le differenze di entalpia, lo zero della scala può essere stabilito a piacimento.

Come **mezzo refrigerante** vengono utilizzate sostanze volatili, la cui temperatura di evaporazione (punto di ebollizione) è relativamente bassa nel caso di una pressione normale. Il mezzo refrigerante R22 bolle, ad esempio, a  $-41^{\circ}\text{C}$ .

#### Processo ciclico di Carnot

Il rendimento termico massimo del ciclo termico di Carnot di un motore termico viene determinato dalle due temperature limite tra le quali si svolge tale processo:

$$\eta_c = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

$\eta_c$  = rendimento di Carnot [-]  
 $T_1$  = temperatura massima [K]  
 $T_2$  = temperatura minima [K]

Nel processo ciclico inverso della pompa di calore, rispettivamente della macchina frigorifera, il coefficiente di rendimento di Carnot risulta dal valore inverso della formula summenzionata; in tale caso occorre ancora tener conto del fatto che nel caso della macchina frigorifera l'energia utile è costituita dal freddo:

$$\mathcal{E}_{C,PC} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

$$\mathcal{E}_{C,MF} = \frac{T_1}{T_2 - T_1}$$

$\mathcal{E}_{C,PC}$  = coefficiente di rendimento di Carnot della pompa di calore [-]

$\mathcal{E}_{C,MF}$  = coefficiente di rendimento di Carnot della macchina frigorifera [-]

$T_1$  = temperatura di condensazione [K]

$T_2$  = temperatura di evaporazione [K]

Riquadro 5

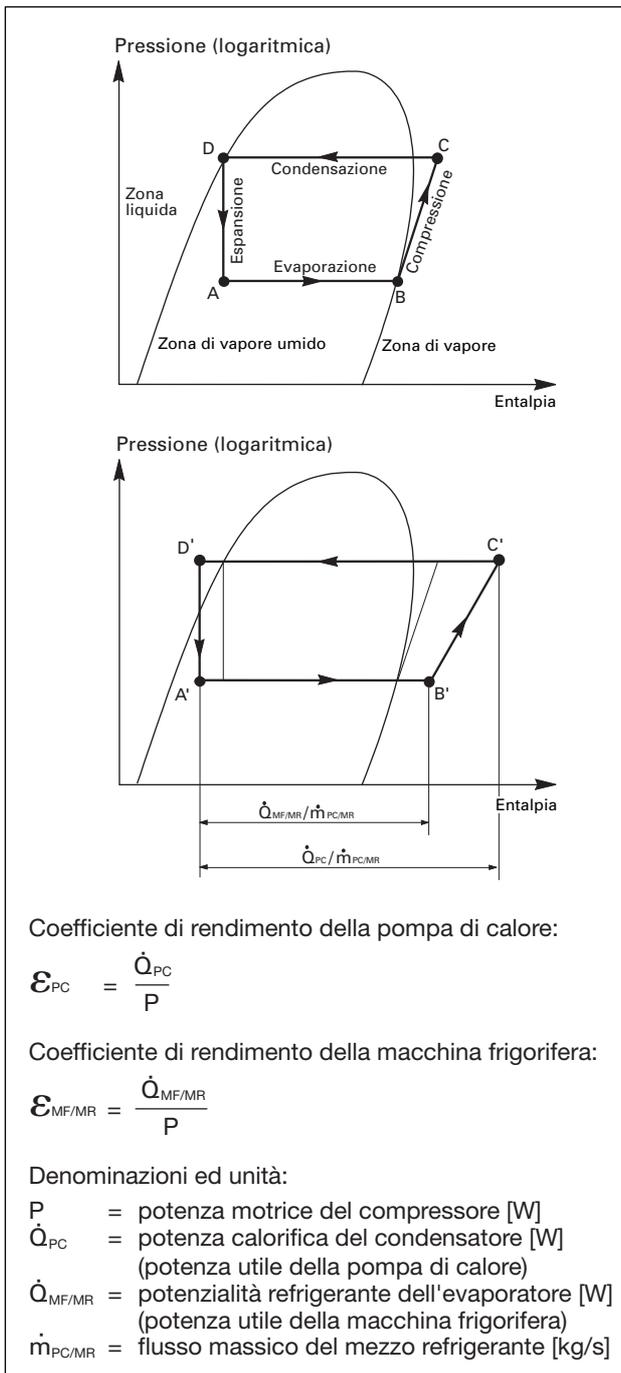


Figura 6: processo ciclico rappresentato nel diagramma pressione-entalpia. Per entalpia s'intende qui la quantità di calore contenuta nel mezzo refrigerante. A seconda della posizione di un punto nel diagramma il mezzo refrigerante rappresenta un liquido, un vapore umido oppure un vapore. In alto è rappresentato il processo ciclico ideale ed in basso quello reale.

Lungo la linea A-B ha luogo l'**evaporazione** del mezzo refrigerante a pressione costante. Con il raffreddamento del termovettore nell'evaporatore, il calore viene in tal caso trasmesso al mezzo refrigerante sotto forma latente; la temperatura di evaporazione del mezzo refrigerante è, di conseguenza, costante.

Mediante **compressione** viene surriscaldato il vapore del mezzo refrigerante lungo la linea B-C e portato, in tal modo, ad un livello di temperatura più elevato. L'energia necessaria a questo scopo deve essere fornita al compressore sotto forma di lavoro meccanico (ad es. mediante un motore elettrico).

Durante la **condensazione** che ne consegue, il calore latente del vapore surriscaldato del mezzo refrigerante viene trasmesso al termovettore del condensatore lungo la linea C-D. In tal modo si forma dapprima vapore saturo ed in seguito il mezzo refrigerante viene condensato e, di conseguenza, liquefatto continuamente a temperatura costante.

Nel punto D il mezzo refrigerante è bensì ancora allo stato liquido, ma la pressione e la temperatura sono ancora troppo elevate. Per poter ritornare nuovamente al punto iniziale del processo ciclico è di conseguenza necessario che lungo la linea D-A abbia luogo un'**espansione** del mezzo refrigerante.

Il processo ciclico rappresentato nella parte superiore della figura 6 è un processo ciclico ideale. Per motivi tecnici si tende perciò ad ottenere nel punto B un surriscaldamento del mezzo refrigerante e nel punto D un surraffreddamento del mezzo refrigerante. Si manifestano inoltre perdite di pressione, di calore, nonché perdite meccaniche per attrito. L'**andamento reale** (figura 6, in basso) si discosta perciò da quello ideale.

Poiché per la pompa di calore viene utilizzata la potenza calorifica del condensatore, mentre nella macchina frigorifera viene utilizzata la potenzialità refrigerante dell'evaporatore, ne risultano, di conseguenza, definizioni diverse per il **coefficiente di rendimento** (cfr. figura 6).

## 2.2 Efficacia di diverse forme d'energia

Il **primo principio della termodinamica** (riquadro 7) viene spesso definito anche come principio della conservazione dell'energia; questo principio afferma, in sostanza, che la somma di tutte le forme d'energia è costante. L'energia non può quindi essere né prodotta, né distrutta. Sono solo possibili processi di trasformazione da una forma d'energia in un'altra (il concetto tecnico di «produzione d'energia» dovrebbe, di conseguenza, essere sostituito dal termine «trasformazione dell'energia»). Questa affermazione è comprensibile in modo relativamente facile.

È al contrario più difficile da comprendere il **secondo principio della termodinamica** (riquadro 8), che afferma, in ultima analisi, che diverse forme d'energia non possono essere trasformate tra di loro a piacimento.

In pratica ciò significa, ad esempio, che nel caso di una **turbina a vapore** soltanto un terzo circa dell'energia fornita può essere trasformata in lavoro meccanico pregiato, mentre circa due terzi del calore residuo «scadente» deve essere ceduto all'ambiente mediante torri di raffreddamento (a meno che l'utilizzazione del calore residuo non possa essere considerata redditizia).

Nel caso contrario e per riscaldare è possibile portare il calore ambiente ad un livello di temperatura sufficientemente elevato, ossia da 40 a 50 K, per mezzo di una **pompa di calore elettrica**. Nel caso tipico a questo scopo viene utilizzato un terzo di elettricità pregiata per produrre, utilizzando due terzi di calore ambiente «scadente» – ma gratuito –, tre terzi di calore per il riscaldamento «di valore medio».

Il lavoro di trasformazione di una determinata forma d'energia costituisce evidentemente un criterio di qualità molto importante. In generale si può perciò parlare di una diversa **efficacia** delle differenti forme d'energia: l'elettricità possiede ad esempio un'efficacia molto più elevata del calore per il riscaldamento.

Se oggi tuttavia vengono paragonati l'uno con l'altro i coefficienti di consumo di diverse forme d'energia, ciò avviene di regola mediante un semplice paragone tra i chilowattora consumati: un chilowattora di elettricità viene ad esempio assimilato ad un chilowattora di calore per il riscaldamento. Questo modo semplice di considerare le cose è assolutamente insufficiente ed in futuro deve essere modificato utilizzando un metodo che tenga conto dell'efficacia. A questo proposito esistono che tenga conto dell'efficacia.

### Primo principio della termodinamica

L'esperienza dimostra che non è possibile costruire una macchina che fornisca un'energia maggiore di quella utilizzata per il suo funzionamento: impossibilità, quindi, del moto perpetuo di primo ordine. Il primo principio della termodinamica può, di conseguenza, essere formulato come segue:

*la somma del calore esterno fornito ad un sistema e del lavoro meccanico esterno introdotto in tale sistema è uguale all'aumento dell'energia interna.*

Riquadro 7

### Secondo principio della termodinamica

Oltre all'impossibilità di un moto perpetuo di primo ordine, può essere formulata anche l'impossibilità di un moto perpetuo di secondo ordine:

*non esiste macchina alcuna capace di produrre un lavoro meccanico continuo e che sia collegata con un solo accumulatore di calore.*

In altre parole: è impossibile trasformare integralmente il calore in lavoro meccanico, ciò che può invece avvenire senza problemi in senso inverso.

Come nel caso del moto perpetuo di primo ordine, anche in quello del moto perpetuo di secondo ordine si tratta di un'esperienza confermata dai fatti. Essa risulta ad esempio dalla regolarità dei processi ciclici. Il secondo principio della termodinamica può, di conseguenza, essere formulato sia in rapporto al motore termico (macchina per la produzione di forza e di calore), sia anche in rapporto alla pompa di calore, rispettivamente alla macchina frigorifera.

*Motore termico: il calore può essere trasformato in lavoro meccanico solo se una parte del calore stesso è trasmessa simultaneamente da un mezzo caldo ad un mezzo più freddo.*

*Pompa di calore, rispettivamente macchina frigorifera: il calore può essere trasmesso da un mezzo più freddo ad un mezzo più caldo solo mediante un lavoro meccanico.*

Riquadro 8

**Exergia ed anergia**

Il processo ciclico di Carnot (cfr. riquadro 5) stabilisce che il rendimento massimo viene determinato dalle due temperature limite tra le quali si svolge il processo:

$$\eta_c = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_E}$$

Questo rapporto descrive esattamente la percentuale del flusso termico che può essere trasformata totalmente in energia meccanica e che viene definita con il termine di flusso exergetico:

$$\dot{Q}_E = (1 - T_2/T_1) \cdot \dot{Q}$$

La percentuale che non può essere trasformata in energia meccanica viene definita con il termine di flusso anergetico:

$$\dot{Q}_A = T_2/T_1 \cdot \dot{Q}$$

Il flusso termico è, di conseguenza, costituito dalla somma del flusso exergetico e del flusso anergetico:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_E + \dot{Q}_A$$

Denominazioni ed unità:

$\eta_c$  = rendimento di Carnot [-]

$\dot{Q}$  = flusso termico [W]

$\dot{Q}_E$  = flusso exergetico [W]

$\dot{Q}_A$  = flusso anergetico [W]

$T_1$  = temperatura massima [K]

$T_2$  = temperatura minima = temperatura ambiente [K]

Riquadro 8

A questo proposito esistono per principio due possibilità:

- il calcolo esatto dal punto di vista fisico (viene trattato nel paragrafo 2.3)
- l'impiego di regole empiriche sotto forma di fattori di valutazione che corrispondono allo stato attuale della tecnica di trasformazione (viene trattato nel paragrafo 2.4).

## 2.3 Calcolo esatto dell'efficacia dal punto di vista fisico

### Exergia, anergia

La possibilità di trasformazione di una determinata forma d'energia può essere descritta in modo esatto dal punto di vista fisico mediante la suddivisione della stessa in exergia ed anergia (riquadro 9):

- l'exergia è quella parte dell'energia che può essere trasformata in lavoro meccanico
- l'anergia è quella parte dell'energia che non può essere trasformata in lavoro meccanico.

**L'energia connessa con la meccanica, l'elettricità e la chimica** (ad es. gasolio, gas naturale) rappresenta in pratica una forma di exergia pura. Praticamente essa può, di conseguenza, essere trasformata a piacimento in altre forme d'energia.

**Il calore per il riscaldamento** contiene tanta più energia, quanto maggiore è la differenza di temperatura tra il termovettore e l'ambiente.

Il calore ambiente contiene esclusivamente anergia. Con l'ausilio di una pompa di calore è possibile iniettare exergia nel calore ambiente (= anergia) utilizzando un'energia pregiata (ad es. elettricità) ed ottenere, di conseguenza, un livello di temperatura più elevato.

Mediante le formule contenute nel riquadro 9 è possibile calcolare, ad esempio, che con una temperatura ambiente di 0°C (273 K), è necessario soltanto il 15% di exergia per produrre acqua calda a 50°C (323 K):

$$\dot{Q}_E = (1 - 273 \text{ K} / 323 \text{ K}) \cdot \dot{Q} = 0.15 \cdot \dot{Q}$$

*L'elettricità (100% di exergia) è, di conseguenza, energeticamente 6,5 volte più pregiata di un calore per il riscaldamento di 50°C (15% di exergia).*

### Rendimento exergetico

L'esempio di calcolo può essere parimenti interpretato in modo diverso: una pompa di calore elettrica ideale potrebbe produrre calore per il riscaldamento a 50°C partendo da un calore ambiente di 0°C, con un coefficiente di rendimento di 6,5. Ciò non è altro che il coefficiente di rendimento di Carnot secondo il riquadro 5:

$$\varepsilon_{C,PC} = \frac{323}{323 - 273} = 6,5$$

L'esperienza pratica ha tuttavia dimostrato che una pompa di calore sottoposta ad un tale aumento di temperatura di 50 K potrebbe probabilmente raggiungere un coefficiente di rendimento di 3,0. Il «coefficiente di rendimento» di un riscaldamento a resistenza elettrica sarebbe soltanto 0,9 circa. Per essere in grado di caratterizzare la qualità di una trasformazione dell'energia è quindi necessario definire un rendimento exergetico (detto spesso anche grado di qualità, cfr. riquadro 10).

*Nell'esempio precedente, per la pompa di calore si otterrebbe un rendimento exergetico di*

$$\zeta_{PC} = 3,0 / 6,5 = 0,46$$

e per il riscaldamento a resistenza elettrica (accumulatore centrale con una temperatura di andata di 50°C) un rendimento exergetico di

$$\zeta_{\text{riscaldamento elettrico}} = 0,9 / 6,5 = 0,14.$$

## 2.4 Regole empiriche sotto forma di fattori di valutazione

### Problemi concernenti l'utilizzazione pratica del concetto di exergia

Le considerazioni concernenti l'exergia sono bensì molto interessanti, ma rappresentano purtroppo seri ostacoli nell'applicazione pratica:

- per gli specialisti dell'impiantistica i concetti «exergia» e «anergia» sono praticamente sconosciuti
- i rendimenti exergetici realizzabili in pratica sono molto differenziati e si discostano fortemente dalla teoria
- nella prassi il concetto di exergia non tiene conto d'importanti aspetti concernenti i luoghi e gli orari.

### Rendimento exergetico

La qualità di una trasformazione dell'energia dipende dalla quantità massima d'energia che può realmente essere trasformata. Essa viene definita mediante il rendimento exergetico (detto spesso anche grado di qualità):

$$\xi = \frac{\eta}{\eta_c}$$

$\xi$  = rendimento exergetico  
 $\eta$  = rendimento  
 $\eta_c$  = rendimento di Carnot

$$\xi = \frac{\eta}{\eta_c}$$

$\xi$  = rendimento exergetico  
 $\eta$  = rendimento  
 $\eta_c$  = rendimento di Carnot

Riquadro 10

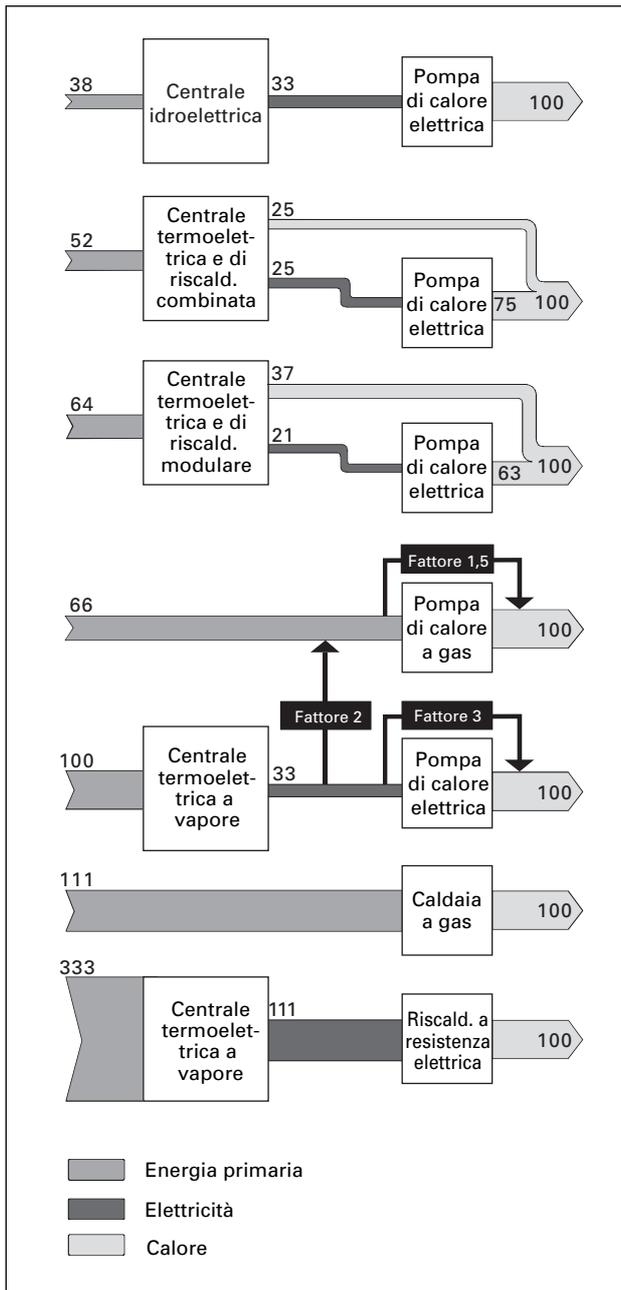


Figura 11: le diverse forme d'energia e la loro efficacia vengono utilizzate in modo molto differenziato dalle tecniche odierne di produzione del calore.

Si pone così la domanda a sapere se, allo scopo di determinare l'efficacia delle più importanti forme d'energia, per gli esperti e le esperte non sarebbe più facile utilizzare semplici regole empiriche invece di formule complicate.

### Stato della tecnica

Se si considerano le tecniche di produzione del calore oggi a disposizione (figura 11) colpisce il fatto che la qualità della trasformazione dell'energia è molto differenziata. Per produrre 100 unità di calore, il consumo d'energia primaria può variare – a seconda del tipo di tecnica impiegato per la trasformazione – da 38 a 333 unità.

La figura 11 indica anche, tuttavia, le tecniche migliori di trasformazione del calore attualmente disponibili e utilizzabili su vasta scala. Si tratta delle seguenti:

- la pompa di calore a motore elettrico che da una determinata quantità di elettricità produce il triplo di calore per il riscaldamento
- la pompa di calore con motore a gas che, da una determinata quantità di gas produce, produce 1,5 in più di calore per il riscaldamento (lo stesso potrebbe valere per una pompa di calore con motore diesel)
- nel caso della centrale termoelettrica e di riscaldamento modulare combinata con una pompa di calore a motore elettrico si dispone circa dello stesso fattore di 1,5 (in questo caso l'accoppiamento meccanico della pompa di calore con motore a gas viene sostituito dall'accoppiamento elettrico)
- dalle affermazioni fatte finora risulta, di conseguenza, che l'elettricità è circa 2 volte più «efficace» dei combustibili fossili costituiti dal gas, rispettivamente dal gasolio (lo stesso valore, in forma reciproca, è del resto deducibile anche per le centrali termoelettriche e di riscaldamento combinate).

### Fattori di valutazione

Mediante la figura 11 è di conseguenza possibile definire in modo pratico e chiaro i fattori di valutazione che riflettono la tecnologia e la redditività odierne.

- ➔ L'elettricità è, di conseguenza, tre volte più efficace del calore per il riscaldamento.
- ➔ L'efficacia del gas o del gasolio è circa una volta e mezzo maggiore di quella del calore per il riscaldamento.
- ➔ L'efficacia dell'elettricità è circa il doppio di quella del gasolio o del gas.

## 2.5 Amplificatore elettrotermico

Nel settore del calore ritorna sempre regolarmente la stessa domanda: quale quantità di calore posso produrre con una determinata quantità d'elettricità? Il fatto che a questa domanda siano legate altre forme d'energia (calore ambiente, calore residuo, ecc.) non esercita influsso alcuno finché le stesse siano gratuite oppure possano essere prodotte senza un inquinamento supplementare dell'ambiente. Sembra quindi razionale utilizzare una specie di «scatola nera» con una grandezza d'entrata «elettricità» ed una grandezza d'uscita «calore per il riscaldamento», ciò che si potrebbe semplicemente definire con il termine di amplificatore elettrotermico (cfr. figura 12).

Questo amplificatore elettrotermico sarà indicato dalla caratteristica **amplificazione elettrotermica AET** e definito come segue:

$$\text{AET} = \frac{\text{sostituzione di calore generato con fossili}}{\text{dispendio supplementare di elettricità per questa sostituzione}}$$

Una **pompa di calore con motore elettrico** può di conseguenza, essere considerata come un amplificatore elettrotermico con

$$\text{AET}_{\text{PC}} = 3$$

(utilizzando l'elettricità viene prodotto il triplo di calore per il riscaldamento).

In ultima analisi non è neppure necessario, in tal caso, che il prodotto finale sia costituito dal calore per il riscaldamento; si può anche trattare di un risparmio d'energia fossile corrispondente a questa quantità di calore. Con questo ampliamento del concetto è possibile trovare numerosi ulteriori amplificatori elettrotermici che possono offrire amplificazioni elettrotermiche perfino più elevate di quelle offerte dalle pompe di calore:

- con l'elettricità utilizzata quale energia ausiliaria per il ricupero del calore oppure per l'utilizzazione del calore residuo si possono ottenere fattori di amplificazione elettrotermica da 7 a 25.
- I moderni impianti per l'aria di ricambio raggiungono fattori di amplificazione elettrotermica da 5 a 10.
- Per percorrere una stessa tratta i veicoli elettrici leggeri necessitano di un'energia da 5 a 10 volte minore di quella utilizzata da un'automobile convenzionale. L'energia fossile risparmiata in questo modo corrisponde, di conseguenza, ad un fattore di amplificazione elettrotermico variabile da

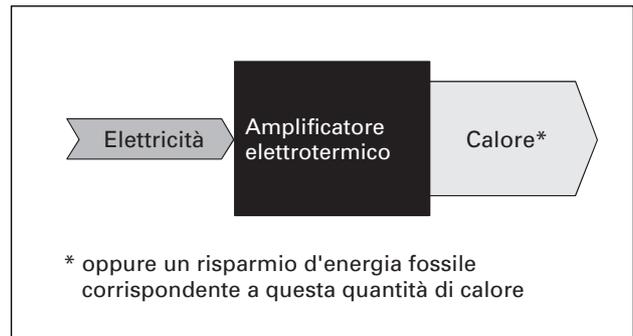


Figura 12: amplificatore elettrotermico

- almeno 5 a 10 (il paragone con un veicolo leggero con motore a combustione fornirebbe ad ogni modo valori minori).
- Gli amplificatori elettrotermici migliori sono costituiti dagli impianti solari. Un impianto di collettori solari per il riscaldamento dell'acqua

## 3. Tecniche energetiche efficienti



Una descrizione dettagliata di ognuna delle tecniche è sviluppata nei fascicoli da 2 a 4 specifici per ogni tema. Nel presente volume le tecniche verranno descritte solo se ciò è assolutamente necessario per la comprensione delle correlazioni.

### 3.1 Ricupero del calore ed utilizzazione del calore residuo

#### Funzionamento

Sulla base del flusso termico in un sistema considerato, si fa una distinzione fondamentale tra due forme di utilizzazione del calore residuo. Il calore residuo può essere utilizzato all'interno di un sistema oppure oltre i limiti del sistema stesso. Nel primo caso si parla di ricupero del calore (figura 13), mentre nel secondo caso (figura 14) ci si trova alla presenza di un'utilizzazione del calore residuo.

#### Tipi d'impianti e settori di applicazione

Il ricupero del calore e l'utilizzazione del calore residuo utilizzano per principio gli stessi componenti. Se la temperatura della fonte di calore è superiore a quella dell'utilizzatore, vengono utilizzati gli scambiatori di calore oppure sistemi di scambiatori del calore. Se le condizioni di temperatura sono inverse vengono utilizzate le pompe di calore.

Gli scambiatori di calore vengono percorsi da termovettori (sotto forma di gas o di liquido). In tal caso intervengono i processi fisici della trasmissione del calore mediante condotte e della trasmissione del calore per convezione. Se si manifestano modificazioni delle fasi, si sprigiona calore latente, rispettivamente calore sensibile. Lo scambio di calore può aver luogo direttamente (ricuperatore) oppure mediante accumulazione intermedia in un mezzo (rigeneratore). La figura 15 mostra diversi tipi di scambiatori di calore.

Lo **scambiatore di calore a piastre** (ricuperatore) consiste di superfici di separazione che possono lasciare penetrare il calore, ma non le sostanze solide. La trasmissione del calore ha luogo direttamente attraverso le superfici di separazione. Esistono diversi tipi di costruzione, quali gli scambiatori di calore a piastre, con intercapedine, a fascio tubiero, a tubi, ecc. Lo scambiatore di calore può presentarsi sotto forma di componente singolo oppure quale parte di un impianto.

Lo **scambiatore di calore a fluido intermedio** (rigeneratore) consiste di scambiatori di calore e di

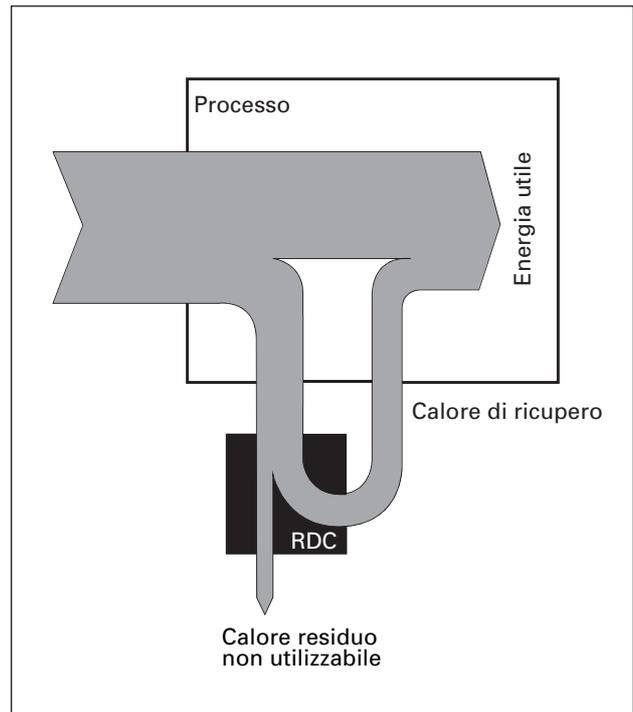


Figura 13: nel caso del ricupero del calore (abbreviatura: RDC) il calore utile che si sviluppa in eccesso durante un processo oppure da un impianto viene utilizzato, sotto forma di calore utile, nello stesso processo oppure nello stesso impianto, senza ritardo di sorta. Questa misura permette di ottenere un elevato grado di utilizzazione dell'impianto. Ideale nel caso di quest'applicazione è il fatto che la quantità di calore residuo prodotta in un tempo determinato corrisponde ampiamente al fabbisogno di calore corrispondente.

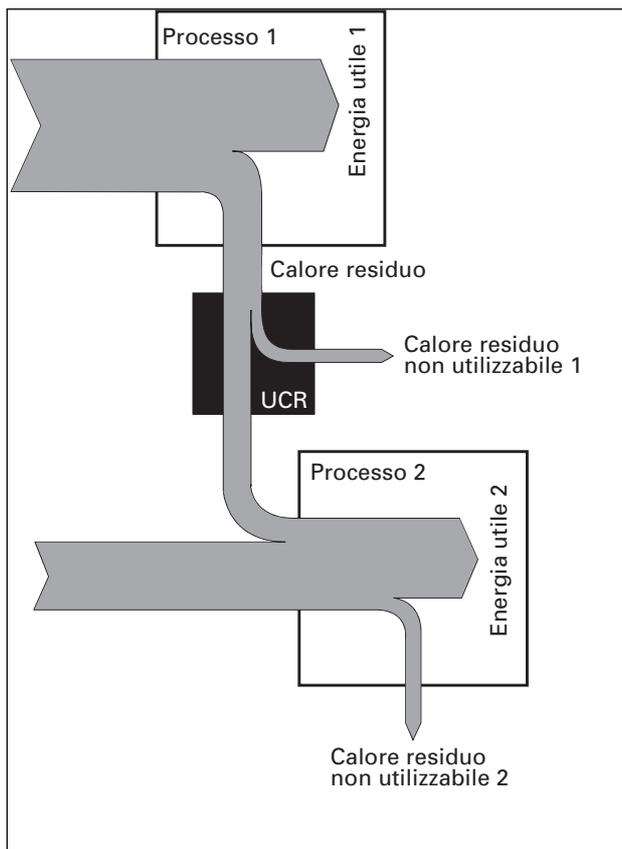


Figura 14: l'utilizzazione del calore residuo (abbreviatura: UCR) esiste quando in un processo oppure in un impianto il calore utile prodotto in eccesso può essere utilizzato nuovamente in altri processi o in altri impianti, contemporaneamente oppure con spostamenti di tempo considerevoli. In tal modo non è possibile ottenere un miglioramento del grado di utilizzazione di un singolo impianto, mentre invece viene migliorata l'utilizzazione dell'energia nell'ambito di parecchi impianti mediante la formazione di un'interconnessione. Nel caso dell'utilizzazione del calore residuo occorre assicurarsi che l'offerta di calore ed il fabbisogno esterno coincidano nel tempo oppure possano equilibrarsi grazie all'accumulazione del calore. La fonte di calore deve essere a disposizione durante tutta la durata del prelievo del calore, affinché gli investimenti possano essere ammortizzati.

un circuito intermedio con liquido termovettore per il trasporto e l'accumulazione del calore.

Se il circuito intermedio è formato da un accumulatore rotante si ottiene uno **scambiatore di calore a rotazione** (rigeneratore). Il caricamento e lo scaricamento periodico dell'accumulatore termico stabile con calore ed umidità avviene separatamente mediante le superfici di contatto.

Nel caso della **pompa di calore** lo scambio di calore ha luogo con energia supplementare ed aumento della temperatura (cfr. anche il capoverso 3.2). In tal modo la qualità della fonte di calore stabilisce in modo determinante la scelta e le condizioni d'impiego della pompa di calore. Il processo della pompa di calore può svolgersi in una macchina autonoma oppure può essere integrato in un processo industriale. Specialmente per quanto concerne RAVEL – e, di conseguenza, l'utilizzazione razionale dell'elettricità – è possibile fare una distinzione nei seguenti **quattro settori di utilizzazione** principali:

- **«produzione di elettricità» dal calore residuo a temperatura elevata:** nell'industria la temperatura del calore residuo è spesso tanto elevata che si produce dapprima elettricità mediante turbine a vapore e soltanto in seguito può aver luogo un'utilizzazione del calore residuo ad un livello di temperatura minore.
- **Utilizzazione del calore residuo proveniente da processi elettrici:** il calore residuo viene prodotto con una densità d'energia sufficiente da macchine ed apparecchi funzionanti elettricamente (ad es. computer di grosse dimensioni, trasformatori), in modo da giustificare un'utilizzazione ulteriore. In numerosi piccoli apparecchi la spesa per l'utilizzazione del calore residuo può tuttavia essere tanto elevata che un'utilizzazione non presenta spesso alcuna redditività.
- **Sostituzione di procedimenti elettrotermici mediante l'utilizzazione del calore residuo:** le utilizzazioni elettrotermiche nel settore delle basse temperature (applicazioni nell'ambito domestico, preriscaldamento, ecc.) sono spesso convenienti per l'utilizzazione del calore residuo. E così ad esempio possibile sostituire mediante calore residuo l'elettricità necessaria per il riscaldamento dell'acqua.
- **Utilizzazione razionale dell'elettricità quale energia ausiliaria in impianti RDC e UCR:** i componenti supplementari per la trasmissione ed il trasporto del calore (pompe, ventilatori, ecc.) creano un fabbisogno più elevato di elettricità e l'aggiunta di scambiatori di calore supplementari aumenta la perdita di pressione e, di conseguenza, il consumo di elettricità dei mezzi di trasporto esistenti (ventilatori e pompe). Affinché l'amplifi-

cazione elettrotermica sia la migliore possibile, i motori, le pompe ed i ventilatori devono poter essere utilizzati con un rendimento ottimale.

I 4 settori di applicazione descritti non dovrebbero tuttavia essere considerati in modo troppo ristretto, ovvero solo in vista di utilizzazioni pure e semplici dell'elettricità: anche il **risparmio di energia termica** – soprattutto di quella generata dai fossili – viene espressamente raccomandato da RAVEL.

### Caratteristiche importanti

Nei nuovi impianti di ventilazione e di condizionamento dei locali, il recupero del calore fa parte oggi dello stato della tecnica ed in alcuni cantoni viene perfino prescritto per legge. In questo contesto è importante soprattutto il **rendimento in funzione della temperatura** (detto anche indice di recupero del calore) che fornisce il rapporto tra l'energia recuperata (calore residuo) e l'energia massima recuperabile. Valori tipici sono ad esempio (cfr. figura 15):

- scambiatore di calore a piastre 0,40... 0,60
- scambiatore di calore a fluido intermedio 0,40... 0,70
- scambiatore di calore a rotazione 0,50... 0,75

Un altro parametro – qui particolarmente interessante in rapporto con RAVEL – è **costituito dall'amplificazione elettrotermica**. Il fabbisogno supplementare d'energia per il funzionamento e la compensazione della perdita di carico supplementare è circa il 4... 15% del calore residuo. Ciò corrisponde ad un'amplificazione elettrotermica variabile da 7 a 25.

## 3.2 Pompe di calore

### Funzionamento

Una trasmissione del calore solo mediante uno scambiatore di calore è possibile solo se la temperatura della fonte di calore è maggiore di quella dell'energia calorifica fornita. Anche l'energia di una fonte di calore a bassa temperatura può tuttavia essere utilizzata aumentandone il livello di temperatura mediante una pompa di calore (abbreviatura: PC). Con l'ausilio di una forma d'energia pregiata (ad es. l'elettricità) è infatti possibile – utilizzando il processo ciclico di Carnot (cfr. paragrafo 2.1) – aumentare la temperatura di una fonte di calore ad un livello molto più elevato.

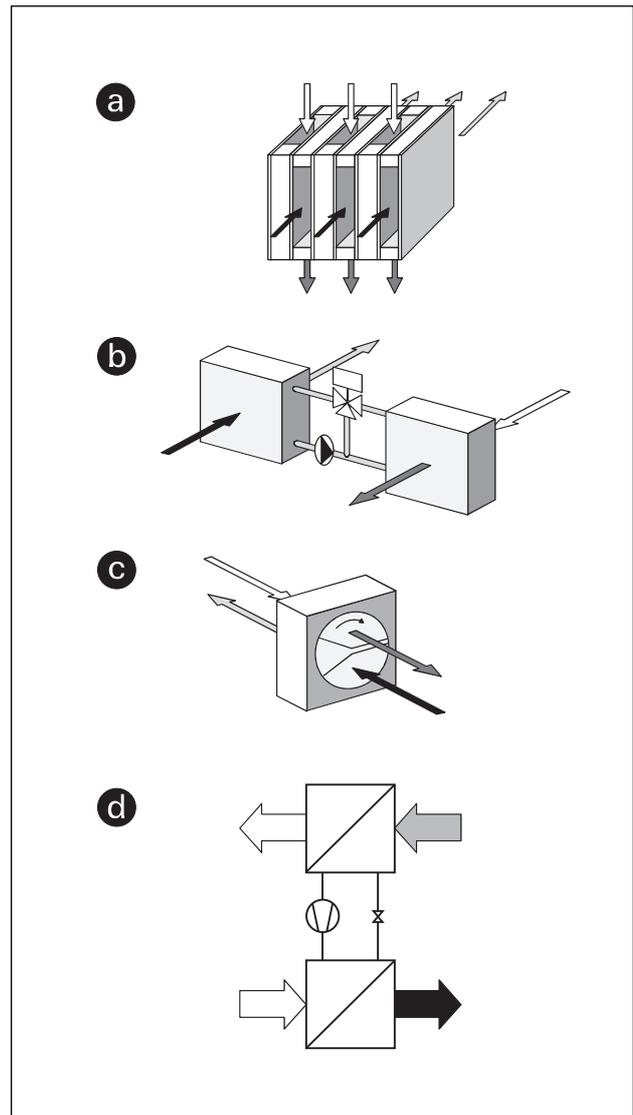


Figura 15: tipi di costruzione  
 a) scambiatore di calore a piastre  
 b) scambiatore di calore a fluido intermedio  
 c) scambiatore di calore a rotazione  
 d) pompa di calore

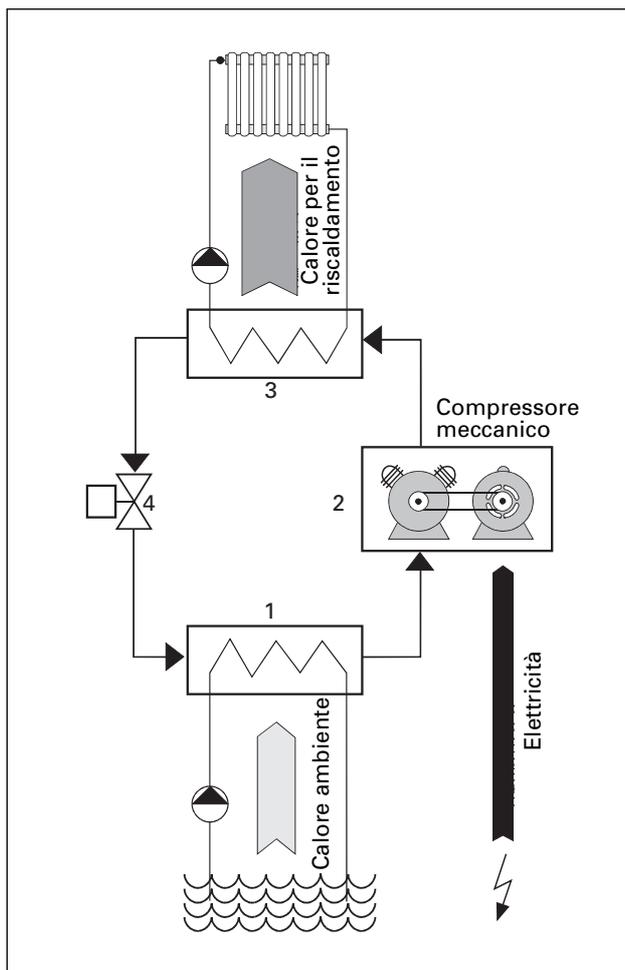


Figura 16: ciclo termodinamico di una pompa di calore a compressione. La fonte di calore porta ad ebollizione, a bassa temperatura, il mezzo refrigerante nell'evaporatore (1). Il vapore che si sprigiona viene compresso nel compressore (2). In questo modo la temperatura aumenta notevolmente ed il calore può quindi essere ceduto – ad un livello di temperatura elevato – all'acqua per il riscaldamento nel condensatore (3). Il mezzo refrigerante ritorna così allo stato liquido. Nella valvola ad espansione (4) il mezzo refrigerante è riportato ad una pressione bassa ed il ciclo termodinamico può riprendere dall'inizio.

### Tipi d'impianti e settori di applicazione

La **pompa di calore a compressione**, il cui funzionamento è descritto in modo semplificato nella figura 16, costituisce il sistema oggi più largamente utilizzato. Attualmente il funzionamento delle pompe di calore a compressione viene garantito soprattutto da motori elettrici; per le pompe di calore di grosse dimensioni si ricorre anche a motori diesel oppure a gas. Quali compressori meccanici sono utilizzati soprattutto i compressori a stantuffo; negli impianti di grosse dimensioni si ricorrerà anche a compressori a vite oppure a turbocompressori. Il compressore Scroll rappresenta oggi una delle principali novità e permette l'azionamento mediante un motore elettrico a velocità regolabile.

Oltre ai compressori meccanici esistono compressori termici utilizzati nelle **pompe di calore ad assorbimento**. Questi ultimi lavorano per mezzo di due sostanze: il mezzo refrigerante vero e proprio ed il cosiddetto mezzo di assorbimento (figura 17). Quale energia pregiata viene addotto calore a temperatura elevata (ad es. calore residuo). Il funzionamento di una pompa di calore ad assorbimento richiede una quantità minima d'energia elettrica.

Le pompe di calore utilizzano oggi soprattutto i mezzi refrigeranti del tipo «R22» e possono, di conseguenza, essere utilizzate con temperature massime di andata per il riscaldamento di 50°C. Questa condizione viene adempiuta durante tutto il periodo di riscaldamento soltanto dai sistemi di **emissione del calore a bassa temperatura**. Si tratta soprattutto dei sistemi di riscaldamento tramite il pavimento e tramite il soffitto; sul mercato sono apparsi anche nuovi radiatori utilizzabili a bassa temperatura. I radiatori convenzionali adempiono solo raramente a queste esigenze (purtroppo anche i vecchi impianti fortemente sovradimensionati funzionano appena al di sopra di temperature attorno ai 55...65°C). Anche in tal caso è possibile un riscaldamento mediante una pompa di calore durante la maggior parte dell'anno, se durante i pochi giorni con temperature di andata superiori ai 50°C viene utilizzato un secondo produttore di calore per temperature più elevate (funzionamento bivalente).

Il termovettore del sistema di erogazione del calore è di regola costituito dall'acqua. Al contrario, per la fonte di calore possono essere utilizzati diversi vettori termici. È questo il motivo per cui esistono differenti tipi di costruzione:

- **pompe di calore acqua-acqua** per fonti di calore superiore a 0°C (ad es. falda freatica, acqua di superficie, acqua di scarico).

- **Pompe di calore salamoia-acqua** per fonti di calore anche al di sotto di 0°C (ad es. sonde geotermiche, collettori tubolari sotterranei, eventualmente muniti di collettori installati sul tetto); oggi viene utilizzata quale salamoia per lo più una miscela di glicole e di acqua.
- **Pompe di calore aria-acqua** per l'utilizzazione dell'aria esterna quale fonte di calore. Poiché nel caso di temperature esterne vicine a 0°C sull'evaporatore si forma brina, è necessario sbrinarlo periodicamente, ciò che costituisce un dispendio d'energia supplementare.

Il **tipo di funzionamento** degli impianti di pompe di calore con una fonte di calore più o meno costante ed un'erogazione del calore a bassa temperatura è prevalentemente monovalente, ossia senza un secondo produttore di calore. Le pompe di calore per il riscaldamento possono essere utilizzate anche per il riscaldamento dell'acqua. Specialmente per il solo riscaldamento dell'acqua esistono i cosiddetti **boiler con pompa di calore** (sarebbe più corretto utilizzare il concetto più comprensibile di «pompe di calore-scaldacqua»). Queste ultime sottraggono il calore da un locale non riscaldato ed utilizzano, in questo modo, meno corrente di uno scaldacqua elettrico convenzionale. Qui occorre tener conto soprattutto del fatto che la sottrazione di calore è effettivamente voluta e che il calore sottratto non dovrà essere reintrodotta di nuovo involontariamente mediante il riscaldamento!

### Caratteristiche importanti

La pompa di calore elettrica costituisce l'amplificatore elettrotermico classico. In tal caso il rapporto tra l'elettricità utilizzata ed il calore utilizzabile dipende almeno da tre condizioni:

- limite del bilancio
- periodo d'osservazione
- differenza di temperatura tra la fonte di calore (temperatura all'entrata dell'evaporatore) ed il riscaldamento (temperatura all'uscita del condensatore).

Il **coefficiente di rendimento** (rispettivamente COP) rappresenta un valore momentaneo misurato durante un breve periodo di tempo e soggetto a condizioni limite determinate, nonché limitato al gruppo delle pompe di calore. Esso permette il paragone tra i diversi componenti della pompa di calore, ma rivela ben poco sull'impianto stesso, in quanto tale, delle pompe di calore.

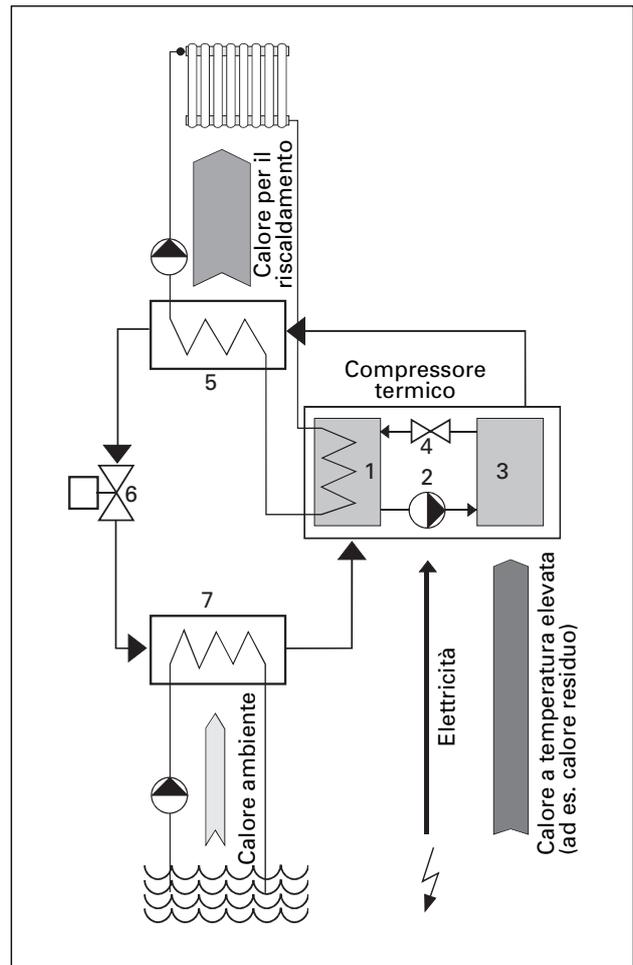


Figura 17: ciclo termodinamico di una pompa di calore ad assorbimento. Nell'assorbitore (1) il mezzo refrigerante viene assorbito dal mezzo di assorbimento. Il calore viene così trasmesso una prima volta al riscaldamento. La pompa (2) inietta ora la miscela sotto pressione nell'espulsore (3) in cui - con apporto di calore - il mezzo refrigerante viene nuovamente evacuato. Il mezzo di assorbimento ha quindi adempiuto un ruolo di «compressore termico» e scorre di nuovo nell'assorbitore (1) attraverso una valvola (4). Il ciclo ulteriore del mezzo refrigerante corrisponde ampiamente a quello della pompa di calore a compressione (figura 16): erogazione del calore al riscaldamento nel condensatore (5), dilatazione nella valvola d'espansione (6) ed assorbimento di calore di scarso valore nell'evaporatore (7).

Fonte di calore, tipo di funzionamento, utilizzazione	Coefficiente di lavoro annuo
Falda freatica, monovalente – utilizzazione diretta – utilizzazione indiretta	3,0...3,5 2,8...3,3
Acque di superficie, monovalente, utilizzazione indiretta	2,6...3,1
Acque di scarico, monovalente, utilizzazione indiretta	2,9...3,4
Sottosuolo, monovalente – collettori tubolari sotterranei – sonde geotermiche	2,6...2,9 2,8...3,1
Aria esterna – CUF, monovalente – bivalente–parallelo – bivalente–alternativo	2,0...2,5 2,3...2,7 2,5...2,9

Tabella 18: valori di riferimento per coefficienti di lavoro annuo di pompe di calore elettriche, validi per le fonti di calore usuali situate sull'Altipiano svizzero, con erogazione del calore a bassa temperatura nel caso d'impianti monovalenti. Per l'utilizzazione diretta la fonte di calore passa direttamente attraverso l'evaporatore; nel caso di un'utilizzazione indiretta esiste un circuito intermedio.



Figura 19: centrale termoelettrica e di riscaldamento di «Merwedekanaal» presso Utrecht nei Paesi Bassi, con una potenza elettrica di 225 MW.

Il parametro più importante per la valutazione di un impianto di pompe termiche è costituito dal **coefficiente di lavoro annuo**. Esso fornisce il rapporto tra il calore erogato e la corrente utilizzata. In tal caso il periodo di osservazione è di un anno ed il limite del bilancio comprende la produzione della fonte di calore, la pompa del condensatore, il comando/la regolazione, il sistema di sbrinamento, il riscaldamento carter e l'accumulatore. La tabella 18 indica quali sono i valori possibili allo stato attuale della tecnica per le pompe di calore elettriche (per le pompe di calore con motore a gas oggi sono realistici coefficienti di lavoro annuo di circa 1,5 e per le pompe di calore ad assorbimento di circa 1,3).

Quale valore per l'**amplificazione elettrotermica** si può utilizzare in pratica e con una precisione sufficiente il coefficiente di lavoro annuo. In questo modo dalla tabella 18 risulta che oggi un'amplificazione elettrotermica media di appena 3,0 è possibile per le pompe di calore con motore elettrico. Se si tiene conto inoltre del fatto che i miglioramenti tecnici sono sempre possibili e che altri amplificatori elettrotermici indicano valori che superano di gran lunga 3,0, allora non è certamente esagerato se RAVEL parte da un'amplificazione elettrotermica media di 3,0 per tutti gli impianti.

### 3.3 Produzione combinata di forza e di calore

#### Funzionamento

Poiché il trasporto di calore è molto più costoso che il trasporto di energia elettrica, oggi il calore residuo che risulta dalla produzione termica dell'elettricità nelle grandi centrali elettriche va per lo più perso nell'ambiente. Un'utilizzazione economicamente redditizia del calore residuo è possibile soltanto se nelle vicinanze della centrale si trova un numero sufficiente di utenti interessati. A quel momento ci si può chiedere se non è razionale decentralizzare una parte della produzione elettrica in luoghi nei quali esiste un numero sufficiente di utenti potenziali del calore.

La soluzione si chiama produzione combinata di forza e di calore (abbreviatura: PCFC). In primo piano figurano in questo caso i cosiddetti generatori di forza e di calore compatti (abbreviatura: GFCC). Il motore a scoppio o la turbina a gas, il generatore e lo scambiatore di calore sono montati in un blocco unico. In tal modo è possibile produrre contemporaneamente, oltre al calore, anche elettricità di un valore energetico molto maggiore.

### Tipi d'impianti e settori di applicazione

Gli impianti per la produzione combinata di forza e di calore possono essere costituiti da centrali termoelettriche e di riscaldamento in quartieri cittadini; il calore per il riscaldamento viene distribuito, mediante tubazione a distanza, alle case che devono essere riscaldate e l'elettricità alimenta la rete pubblica. In questo caso sono specialmente interessanti le cosiddette centrali termoelettriche e di riscaldamento ad **azionamento combinato** (figura 19). Mediante la combinazione di turbine a gas e di turbine a vapore è possibile ottenere una percentuale di corrente elettrica particolarmente elevata che può raggiungere circa il 50%. Anche nelle grandi aziende industriali è possibile utilizzare le centrali termoelettriche e di riscaldamento ad azionamento combinato.

L'industria è di particolare importanza per la produzione combinata di forza e di calore poiché in questo caso possono essere utilizzati, proprio sul luogo, sia elettricità, sia calore. A causa dell'aumento delle emissioni inquinanti, numerosi impianti industriali dovranno subire un processo di risanamento. Nel caso di condizioni particolarmente favorevoli si può, in tal caso, prospettare l'impiego di **generatori di forza e di calore compatti con turbine a gas** (figura 20) per la produzione di calore di processo (acqua bollente, vapore).

Nel settore delle economie domestiche e delle prestazioni di servizio vengono tuttora installate soprattutto caldaie a gasolio e a gas per la produzione di calore. In questo caso i **generatori di forza e di calore compatti con motore a gas** (figura 21) rappresentano un'alternativa interessante qualora siano favorevoli le condizioni marginali per la produzione combinata di forza e di calore (erogazione di calore ad un complesso di edifici molto ampio oppure attraverso una rete di riscaldamento in vicinanza di un insediamento). Quale combustibile si terrà in considerazione, in primo luogo, il gas naturale, ma anche il biogas (impianti di depurazione) ed il gas liquido costituiscono soluzioni possibili. I generatori di forza e di calore compatti con motore a gas vengono oggi equipaggiati di catalizzatori a tre vie e, per quanto concerne le emissioni inquinanti, presentano lo stesso grado di sicurezza delle caldaie a gas munite di un sistema moderno a low-NOx.

Per gli impianti elettrici di potenza inferiore (circa 5–15 kW) esistono **piccoli generatori di forza e di calore** (figura 22) con motori d'automobile a gas relativamente facili da installare. Essi sono equipaggiati con un catalizzatore a tre vie e per potenze più elevate è possibile collegare insieme parecchi moduli. La manutenzione è tuttavia relativamente costosa, poiché il motore d'automobile deve essere comple-

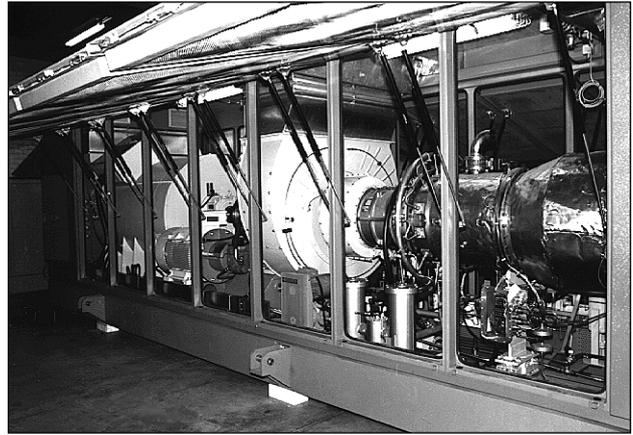


Figura 20: generatore di forza e di calore compatto con turbine a gas; la turbina a gas (a destra) ed il generatore (a sinistra) sono costruiti in un solo blocco.

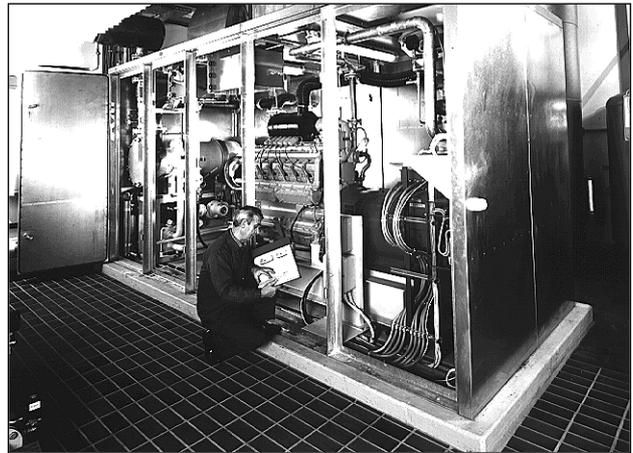


Figura 21: generatore di forza e di calore compatto con motore a gas di una potenza elettrica di 170 kW; il motore a gas (al centro), il generatore (a destra) e lo scambiatore di calore (a sinistra) sono protetti da una calotta d'insonorizzazione comune.



Figura 22: quattro piccole centrali termoelettriche e di riscaldamento compatte con una potenza elettrica di 4 x 15 kW forniscono insieme una potenza di riscaldamento di 156 kW.

tamente revisionato oppure cambiato ogni cinque anni circa (cambio standard).

Un impianto per la produzione combinata di forza e di calore può, per principio, essere **azionato termicamente** oppure **mediante elettricità**. Soltanto l'azionamento termico, tuttavia, è razionale sotto l'aspetto energetico, ciò che significa che l'impianto funziona corrispondentemente al fabbisogno di calore momentaneo e non deve quindi essere «distru-to» calore alcuno. La progettazione dovrebbe perciò di regola dipendere dai fabbisogni termici.

Normalmente l'elettricità viene ceduta a potenza costante nella rete parallela. In caso d'interruzione dell'erogazione dell'energia elettrica della rete, un impianto PCFC, munito di un equipaggiamento elettrico supplementare, può anche lavorare quale **impianto elettrogeno di emergenza** con funzionamento separato e, di conseguenza, sostituire un gruppo elettrogeno di emergenza convenzionale. Presupposto a questo proposito è tuttavia il fatto che il calore possa essere evacuato in qualsiasi momento. Poiché il gas è un termovettore che dipende dalle tubazioni, la sua disponibilità rispetto ad un gruppo elettrogeno di emergenza usuale è piuttosto limitata.

Allo scopo di diminuire il numero degli avviamenti (durata di vita, emissione di sostanze nocive), si intercalerà di regola un **accumulatore di calore** tra la centrale termoelettrica e di riscaldamento compatta ed il sistema di riscaldamento.

Per motivi economici si dovrà mirare ad ottenere un funzionamento annuo più lungo possibile della centrale termoelettrica e di riscaldamento compatta (oltre a 4000 h/a). È questo il motivo per cui l'impianto non verrà dimensionato in funzione dei fabbisogni massimi di calore, ma una caldaia per la **copertura del carico di punta** servirà a coprire le punte di potenza in caso di tempo freddo. Relativamente ad una potenza calorifica del 100%, secondo la norma SIA 384/2, la centrale termoelettrica e di riscaldamento compatta verrà dimensionata per una potenzialità calorifica variabile dal 25 al 35%. In tal modo sarà possibile coprire il 60–75% del fabbisogno di calore annuo.

### Caratteristiche importanti

La qualità di una trasformazione dell'energia viene generalmente espressa quale grado di utilizzazione e cioè come il rapporto tra l'energia utile e l'energia fornita. La tabella 23 indica i **gradi d'utilizzazione annuali tipici** di diversi impianti per la produzione del calore. Poiché il grado di utilizzazione viene normalmente calcolato in Svizzera in rapporto al potere calorifico inferiore, sono possibile valori superiori a

1 (valore limite teorico per il gas naturale: 1,11). Il grado di utilizzazione di un impianto per la produzione combinata di forza e di calore è di poco superiore a quello di un impianto convenzionale per la produzione del calore. La differenza determinante risiede nel fatto che l'energia a disposizione è in tal caso molto più pregiata e ciò a causa della produzione di elettricità. È questo il motivo per cui spesso viene indicato un grado di utilizzazione annuo termico ed uno elettrico. La somma di ambedue i gradi di utilizzazione fornisce il grado di utilizzazione annuo «tutto compreso».

Per un paragone chiaro occorre prendere in considerazione una sola caratteristica. A questo scopo la tabella 23 indica un **grado di utilizzazione annuo ponderato**. Questo valore corrisponde ad un impianto in cui la corrente prodotta viene trasformata in calore in un amplificatore elettrotermico con un'amplificazione di 3,0 (ad es. pompa di calore elettrica). Solo questa caratteristica permette di dimostrare chiaramente che un GFCC munito di un motore a gas, ad esempio, riesce ad utilizzare l'energia a disposizione una volta e mezzo meglio della caldaia più moderna!

Quale ulteriore grandezza occorre menzionare l'**indice della corrente**. Esso rappresenta il rapporto tra l'elettricità prodotta ed il calore prodotto (attenzione, tuttavia: le misure adottate per migliorare il grado di utilizzazione, come ad es. la condensazione dei gas di scarico, peggiorano apparentemente l'indice della corrente poiché aumenta la percentuale di calore!).

### 3.4 Ripercussioni sul consumo d'energia e sulla produzione di anidride carbonica

#### Strategie

La produzione combinata di forza e di calore in connessione con gli amplificatori elettrotermici può permettere un risparmio energetico primario ed un maggior rispetto dell'ambiente grazie all'impiego adeguato delle diverse efficacie delle forme d'energia. I bilanci dell'energia della figura 24 indicano tre casi limite tipici paragonati con un impianto convenzionale A. Per motivi di chiarezza sono state ammesse le pompe di calore con coefficienti di lavoro annuo di 3,0.

**Caso limite B:** un **rispetto massimo dell'ambiente** è raggiunto quando tutta la corrente prodotta dall'impianto per la produzione combinata di for-

Impianto	Grado di utilizzazione annuale	
	non ponderato	ponderato (cfr. testo)
Caldaia convenzionale a gas senza condensazione dei gas di scarico	0,85...0,92	0,9
Caldaia convenzionale a gas con condensazione dei gas di scarico	0,92...1,02	1,0
PCFC con turbina a gas – termico 0,50...0,60 – elettrico 0,20...0,30	0,75...0,85	1,3
PCFC con motore a gas – termico 0,54...0,58 – elettrico 0,30...0,34	0,85...0,92	1,5
PCFC con motore a gas e PC per recupero delle perdite dovute ad irradiazione, nonché condensazione dei gas di scarico – termico 0,68...0,73 – elettrico 0,25...0,30	0,95...1,00	1,5
Impianto forza/calore combinato – termico 0,35...0,45 – elettrico 0,40...0,50	0,80...0,85	1,75

Tabella 23: gradi di utilizzazione annuale di diversi impianti di produzione del calore

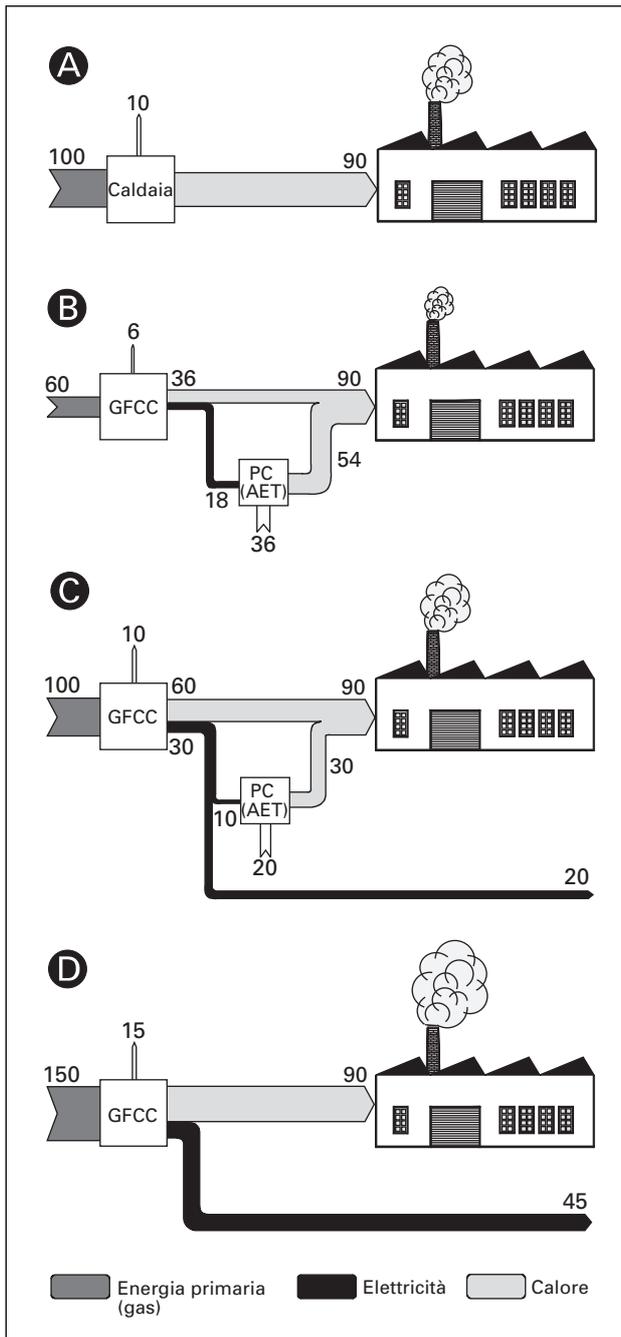


Figura 24: bilanci dell'energia (paragonare con figura 25)  
 A) impianto moderno convenzionale di riferimento  
 B) massimo rispetto dell'ambiente  
 C) produzione massima di corrente nel rispetto dell'ambiente  
 D) produzione massima di corrente

za e di calore viene utilizzata per far funzionare pompe di calore. Non ha importanza alcuna il fatto che tali pompe di calore facciano parte di tale impianto oppure che si tratti di pompe di calore di altri impianti. Risultato: 40% in meno di consumo di energia primaria e diminuzione proporzionale delle sostanze nocive e dell'anidride carbonica.

**Caso limite C:** una **produzione di corrente massima nel pieno rispetto dell'ambiente** è possibile se circa un terzo della corrente prodotta dagli impianti PCFC viene utilizzato per far funzionare pompe di calore. Risultato: con un consumo d'energia primaria uguale e senza inquinamento supplementare dell'ambiente dovuto a sostanze nocive e ad anidride carbonica, due terzi della corrente prodotta dagli impianti PCFC sono a disposizione per l'approvvigionamento generale (cioè che corrisponde a circa il 20% dell'energia primaria utilizzata). In tal caso il paradosso risiede nel fatto che è possibile una produzione di corrente elettrica a «tariffa ecologica zero» malgrado l'utilizzazione d'energia primaria fossile!

**Caso limite D:** nel caso in cui sia necessario produrre la maggior quantità di elettricità possibile senza rinunciare al riscaldamento, l'energia utilizzata può essere aumentata fino ad un massimo del 150%. Risultato: **produzione di corrente elettrica massima** del 45% con un aumento evidente del 50% d'energia primaria ed un aumento corrispondente dell'inquinamento ambientale causato da sostanze nocive e da anidride carbonica. Questa strategia ha un senso soltanto nel caso della sostituzione dell'elettricità prodotta mediante fossili nelle centrali termiche e senza accoppiamento di calore, giacché tali centrali utilizzano per la produzione di una quantità uguale di elettricità una quantità d'energia da 2 fino a 3 volte maggiore di quanto non ne utilizzi un impianto per la produzione combinata di forza e di calore e causano, naturalmente, un inquinamento dell'ambiente molto maggiore di quello causato da tali impianti.

Appare evidente che in realtà nessun impianto corrisponderà in modo esatto ad uno dei tre casi summenzionati. Nella maggioranza dei casi si tratterà piuttosto di una combinazione di due dei tre casi menzionati. La figura 25 presenta due varianti possibili che sono fondamentalmente diverse.

– Se oltre un terzo della corrente elettrica prodotta mediante l'impianto PCFC è utilizzato per alimentare amplificatori elettrotermici (ad es. per il funzionamento di pompe di calore), viene adottata una strategia di **protezione dell'ambiente**. In tal caso occorre creare un equilibrio tra il grado desiderato di protezione dell'ambiente e la quantità di corrente elettrica generata nel rispetto dell'ambiente stesso.

- Se meno di un terzo della corrente elettrica prodotta mediante l'impianto PCFC è utilizzato per alimentare amplificatori elettrotermici, ne risulta una strategia di produzione della corrente elettrica **mediante energia fossile** e, di conseguenza, un corrispondente aumento supplementare dell'inquinamento dell'ambiente.

Poiché oggi in Svizzera la produzione di corrente elettrica avviene praticamente senza emissione di anidride carbonica, per le nostre condizioni occorre piuttosto fare a meno della produzione di corrente elettrica mediante energia fossile e ciò per motivi di protezione dell'ambiente, poiché non è possibile sostituire l'elettricità generata nelle centrali termiche mediante energia fossile senza disaccoppiamento del calore, come ciò avviene ad esempio in Germania.

La figura 25 fa un paragone tra un impianto convenzionale con caldaia a gas ed un impianto GFCC con motore a gas. In tal caso la riduzione, rispettivamente l'aumento delle emissioni di anidride carbonica dipendono dal consumo d'energia. Se si sostituisce anche il gasolio con il gas, le emissioni di anidride carbonica vengono perfino ridotte ulteriormente poiché il gas naturale produce, per ogni unità di calore, circa un quarto di meno di anidride carbonica rispetto al gasolio.

### Misure di promovimento e di sostegno

Nell'ultimo paragrafo abbiamo dimostrato che non è sufficiente il solo **esame di un impianto**. È invece molto più necessario prendere in considerazione lo sviluppo in un ambito più vasto. Il rapporto tra la corrente elettrica prodotta mediante un impianto PCFC e la corrente immessa negli amplificatori elettrotermici riveste un ruolo particolarmente importante. Se è necessario diminuire la nostra produzione di sostanze inquinanti e di anidride carbonica, è necessario seguire strettamente una **strategia di protezione dell'ambiente**. In tal caso ciò che è importante è quindi il fatto di capire perfettamente che non esiste obbligo veruno derivante dall'ubicazione o dalla proprietà tra gli impianti per la produzione combinata di forza e di calore e gli amplificatori elettrotermici. Suddivisa sull'arco di alcuni anni, anche la durata della realizzazione non riveste affatto un ruolo preponderante. Parallelamente al **Decreto sull'energia** (RS 730.0) del Consiglio federale, nonché alle diverse leggi cantonali concernenti **l'utilizzazione dell'energia** che favoriscono il promovimento e l'utilizzazione di un'energia economica, razionale e rispettosa dell'ambiente, occorre non soltanto incoraggiare il promovimento rapido della produzione combinata di forza e di calore, bensì an-

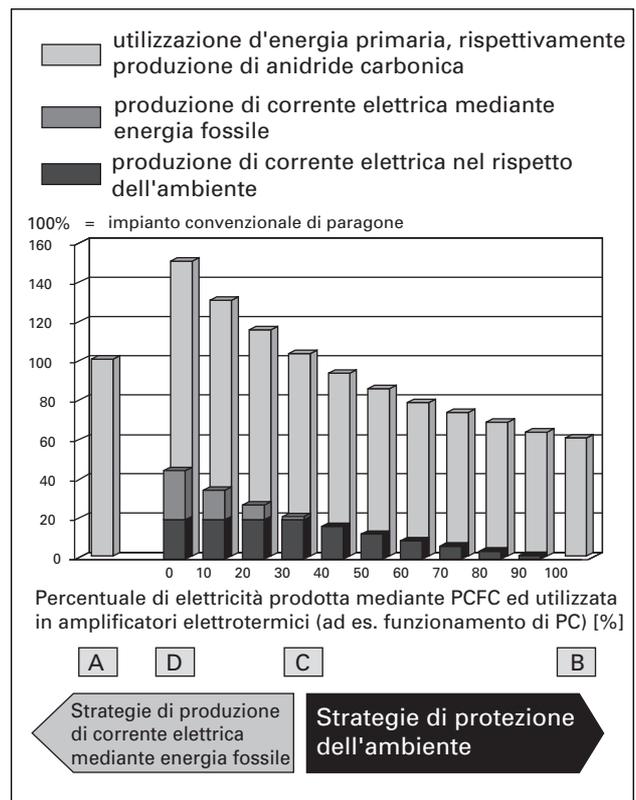


Figura 25: a seconda della quantità di corrente elettrica utilizzata dagli amplificatori elettrotermici (ad es. per il funzionamento di pompe di calore), esistono diverse strategie. L'impianto convenzionale di paragone A ed i casi limite B, C e D corrispondono ai bilanci dell'energia della figura 24; i calcoli sono quindi stati effettuati tenendo conto di un'amplificazione elettrotermica di 3,0.

### Misure di promovimento e di sostegno

- tariffe della corrente elettrica ottimali sotto l'aspetto politico-economico (tariffe d'inserimento della corrente prodotta con impianti PCFC, tariffe PC)
- contributi finanziari o prestiti senza interesse per impianti pilota e di dimostrazione
- realizzazione d'impianti RDC/UCR, PC e PCFC in edifici pubblici (dare il buon esempio)
- promovimento di associazioni responsabili, atte ad assumere la realizzazione ed a vendere il calore a condizioni stabilite
- adottare le misure di pianificazione del territorio necessarie per garantire il teleriscaldamento di centri residenziali
- impianti PCFC obbligatori per i grandi utenti di calore
- informazione e corsi di perfezionamento

Riquadro 26

**Gli impianti RDC/UCR, di PC e di PCFC dovranno essere costruiti dapprima laddove i presupposti sono favorevoli!**

**Ricupero del calore ed utilizzazione del calore residuo:** rapporti favorevoli di ubicazione, di tempo e di livelli di temperatura tra la fonte di calore ed il fabbisogno di calore; fonti di calore per quanto possibile concentrate, soprattutto per ciò che riguarda l'acqua.

**Pompe di calore:** fonte di calore adeguata con disponibilità sufficientemente grande, differenza di temperatura minore possibile tra la fonte di calore e l'emissione del calore (riscaldamento a bassa temperatura).

**Produzione combinata di forza e di calore:** produzione di calore garantita per almeno 4000 ore di funzionamento all'anno, presupposti favorevoli per un teleriscaldamento, condizioni di allacciamento favorevoli.

Riquadro 27

che quella degli amplificatori elettrotermici. Nel riquadro 26 sono descritte misure di promovimento e di sostegno. Tali misure dovrebbero, qualora possibile, essere applicate nell'ambito locale. All'interno di un comune, di una città o di un cantone si potrebbe, ad esempio, installare contemporaneamente degli impianti per la produzione combinata di forza e di calore e degli amplificatori elettrotermici.

Occorrerebbe, in primo luogo, promuovere gli impianti che presentano presupposti particolarmente favorevoli (riquadro 27). Sulla base di **analisi approssimative** di tutti gli edifici che entrano in considerazione è possibile dedurre quali siano tali impianti. Gli oggetti più interessanti verranno in seguito sottoposti ad un'**analisi approfondita**. Questo modo di procedere si è nel frattempo imposto da alcuni anni nel caso del risanamento degli edifici dal punto di vista termotecnico e può senz'altro essere applicato anche nel caso delle esigenze summenzionate.

Occorre infine tenere assolutamente conto del fatto che gli impianti per la produzione combinata di forza e di calore, quelli di pompe di calore e quelli per il ricupero del calore sono relativamente complessi rispetto agli impianti convenzionali. Occorre quindi dedicare un'attenzione del tutto particolare allo svolgimento della progettazione qualora si vogliono evitare **sorprese sgradevoli**. È questo il motivo per cui si raccomanda di far dipendere le misure di promovimento da obblighi per quanto concerne la progettazione, l'ottimizzazione dell'esercizio ed il controllo dei risultati. Ci si deve perfino chiedere se non sarebbe il caso di eseguire un accompagnamento ed un finanziamento del progetto (per garantirne la qualità) da un progettista indipendente del settore energetico (cfr. capitolo 6).

## 4. Basi di progettazione

### 4.1 Principi idraulici

#### Quale ruolo riveste l'idraulica nel risparmio d'energia elettrica?

Il settore idraulico riveste un ruolo importante nel risparmio di corrente elettrica poiché si tratta di utilizzare nel modo più intelligente possibile la corrente elettrica pregiata per la produzione e la distribuzione del calore. Ciò è spesso difficile da realizzare, appunto a causa dell'idraulica.



*L'utilizzazione razionale dell'elettricità nel settore del riscaldamento esige una concezione idraulica perfetta per la distribuzione del calore.*

#### Tre formule importanti

In idraulica si presentano sempre le tre medesime domande: «quale importanza deve avere la portata?», «quale dovrà essere la differenza di pressione collegata con questa portata?» e, infine, «quale deve essere il fabbisogno di potenza per riuscire a realizzare tale portata?». Le tre formule semplificate del riquadro 29 rispondono a queste domande con un'esattezza sufficiente.

#### I quattro circuiti idraulici fondamentali di distribuzione

Praticamente tutti i circuiti di distribuzione che si presentano nell'impiantistica riposano sui quattro circuiti di distribuzione idraulici fondamentali secondo la tabella 30:

- circuito di miscelazione
- circuito di distribuzione a rinvio
- circuito ad iniezione con valvola a tre vie
- circuito a strozzamento (eseguito prevalentemente sotto la forma di circuito ad iniezione con valvola passante).

#### Valvole di regolazione

In tutti i quattro circuiti idraulici fondamentali di distribuzione vengono utilizzate valvole di regolazione di forma e struttura diverse:

- **valvole passanti** con un'entrata ed un'uscita
- **valvole a tre vie** con due entrate ed un'uscita (valvole di miscelazione, qui rappresentate) oppure un'entrata e due uscite (valvole di distribuzione, qui non rappresentate poiché utilizzate piuttosto raramente).

Il comportamento idraulico delle valvole di regolazione viene definito mediante curve caratteristiche che corrispondono ad una perdita di pressione costante di 1 bar. Sia le valvole passanti, sia le valvole a tre vie vengono normalmente rappresentate da due curve ben distinte.

#### Bibliografia specializzata



*Pompe di circolazione – Dimensionamento ed ottimizzazione dell'impianto. Berna, programma d'impulso RAVEL, Ufficio federale dei problemi congiunturali, 1991 (reperibile presso: UCFSM, 3000 Berna, n. di ordinazione 724.330 i)*

Un intero capitolo è dedicato, di volta in volta, ai piccoli impianti, agli impianti muniti di distributore, agli impianti di grandi dimensioni ed agli impianti speciali (freddo, recupero del calore, acqua calda). Oltre alle nozioni fondamentali il volume contiene numerosi esempi di casi pratici calcolati.



*Hydraulischer Abgleich von Heizungsanlagen. Berna, programma d'impulso per l'impiantistica, Ufficio federale dei problemi congiunturali, 1988 (reperibile presso: UCFSM, 3000 Berna, n. di ordinazione 724.620 d/f)*

Il volume contiene i principi fondamentali necessari ad un'equilibratura idraulica perfetta che costituisce una base valida per un funzionamento senza problemi. Vi si trova inoltre un esempio pratico completamente calcolato. Oltre alla prima parte dedicata soprattutto agli esperti, la seconda parte fornisce le basi teoriche.



*Comando e regolazione nella tecnica di riscaldamento, di ventilazione e di condizionamento. Berna, programma d'impulso per l'impiantistica, Ufficio federale dei problemi congiunturali, seconda edizione 1987 (reperibile presso: UCFSM, 3000 Berna, n. di ordinazione 724.606 i)*

Questo volume fornisce le basi della tecnica di comando e di regolazione, nonché dell'idraulica, tenendo conto in modo speciale dell'impiantistica usuale in Svizzera. Benché esso sia stato edito già 9 anni or sono, soltanto il capitolo «Tecnica degli apparecchi» non è più completamente attuale.

Riquadro 28

**Portata**

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

**Differenza di pressione**

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

o inversamente:

$$\dot{V} \text{ [m}^3\text{/h]} = 0,1 \cdot k_v \text{ [m}^3\text{/h]} \cdot \sqrt{\Delta\rho \text{ [kPa]}}$$

**Potenza della pompa**

$$P_{\text{idraul.}} \text{ [kW]} = \frac{\Delta\rho \text{ [kPa]} \cdot \dot{V} \text{ [m}^3\text{/h]}}{3600}$$

oppure con  $\eta_{\text{pompa}} = P_{\text{idraul.}}/P_{\text{pompa}}$

$$P_{\text{pompa}} \text{ [kW]} = \frac{\Delta\rho \text{ [kPa]} \cdot \dot{V} \text{ [m}^3\text{/h]}}{3600 \cdot \eta_{\text{pompa}} \text{ [-]}}$$

**Simboli e denominazioni**

$\dot{V}$	= portata [m <sup>3</sup> /h]
$\dot{Q}$	= potenza calorifica [kW]
$\Delta\vartheta$	= differenza di temperatura [K]
$\Delta\rho$	= differenza di pressione [kPa]
$k_v$	= caratteristica della valvola [m <sup>3</sup> /h]
$P_{\text{idraul.}}$	= potenza idraulica della pompa [kW]
$P_{\text{pompa}}$	= potenza assorbita dalla pompa [kW]
$\eta_{\text{pompa}}$	= rendimento della pompa [-]

**Avvertimento importante:** queste formule sono valide per l'acqua da 5 a 95°C. Si tratta di equazioni matematiche le cui unità sono divisibili matematicamente qualora anche i fattori possano essere utilizzati con tutte le unità, ciò che in pratica succede raramente.

Il fattore «0,86» considera la capacità termica specifica e la densità dell'acqua:

$$0,86 \text{ [m}^3\text{K/kWh]} = \frac{3600 \text{ [s/h]} \cdot 1000 \text{ [W/kW]}}{4190 \text{ [Ws/kgK]} \cdot 1000 \text{ [kg/m}^3\text{]}}$$

Ambedue i fattori «100», rispettivamente «0,1» considerano la pressione di riferimento di 1 bar, alla quale i coefficienti  $k_v$  possono essere determinati mediante tecniche di misurazione:

$$\frac{100 \text{ [kPa]}}{0,1 \text{ [1/\sqrt{kPa}]}} = \frac{1 \text{ [bar]}}{\sqrt{1/100 \text{ [kPa]}}}$$

Il fattore «3600» converte ancora, infine, le ore in secondi:

$$3600 \text{ [s/h]} = 3600 \text{ [s]} / 1 \text{ [h]}$$

- **Curva caratteristica di base lineare:** a modificazioni uguali dell'apertura della valvola corrispondono uguali modificazioni della portata.
- **Curva caratteristica di base a percentuale identica:** a modificazioni uguali dell'apertura della valvola corrisponde una modificazione percentuale uguale della portata attuale.

Quando una valvola viene integrata in un impianto idraulico, il suo comportamento non corrisponde più alla curva caratteristica di base poiché la differenza di pressione nella valvola stessa diventa una parte variabile delle perdite di carico totali dell'impianto. Conseguentemente la curva caratteristica di base viene più o meno deformata. Qualora la deformazione si accentui, essa ostacolerà sempre maggiormente l'esattezza e la velocità della regolazione e, nel caso estremo, il circuito di regolazione diventerà instabile e comincerà ad oscillare.

**Autorità della valvola**

Quale misura della deformazione della curva caratteristica di base si utilizza l'autorità della valvola. Essa viene definita come il rapporto tra la differenza di pressione nella rete regolata con la valvola aperta e a portata nominale e la differenza di pressione totale della stessa rete con la valvola chiusa. La tabella 30 presenta le formule di calcolo dell'autorità della valvola AV per i 4 circuiti di base. La caduta di pressione nella parte del circuito in cui la portata viene influenzata dalla valvola riveste un ruolo importante (cfr. tabella 30, in grassetto). In generale si può ammettere che non insorgono problemi finché

$$AV = \frac{\Delta\rho_{V,100}}{\Delta\rho_{V,100} \geq \Delta\rho_{var,100}} \geq 0,5$$

Da ciò risulta:

$$\Delta\rho_{V,100} \geq \Delta\rho_{var,100}$$



*La perdita di pressione attraverso la valvola di regolazione aperta ( $\Delta\rho_{V,100}$ ) deve essere identica o maggiore della perdita di carico nel settore a portata variabile ( $\Delta\rho_{var,100}$ ).*

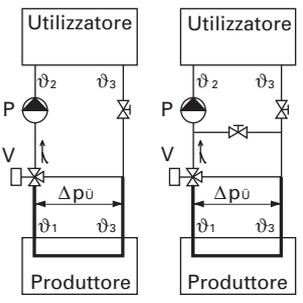
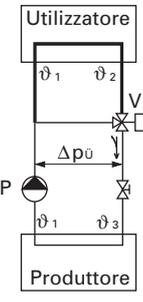
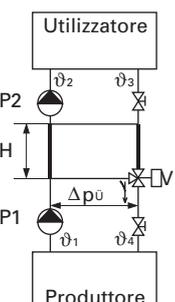
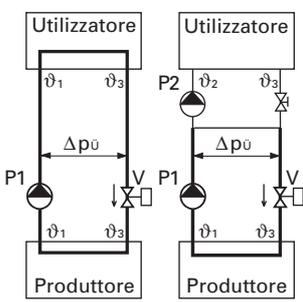
	<p><b>Circuito di miscelazione</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Differenza di pressione dal lato produttore minore possibile <math>\rightarrow \Delta p_{pr} \leq 3 \text{ kPa}</math></li> <li>• Portata variabile nel circuito primario</li> <li>• Portata costante nel circuito secondario <math>\rightarrow</math> regolazione della temperatura</li> <li>• Se il punto di dimensionamento <math>\vartheta_1 &gt; \vartheta_2</math>, utilizzare il circuito di destra</li> <li>• Applicazione: distributore senza pompa principale, distributore senza differenza di pressione</li> </ul>	<p><b>Portata della valvola</b></p> $\dot{V}_V [\text{m}^3/\text{h}] = 0,86 \frac{\dot{Q} [\text{kW}]}{\vartheta_1 - \vartheta_3 [\text{K}]}$ <p><b>Portata della pompa</b></p> $\dot{V}_P [\text{m}^3/\text{h}] = 0,86 \frac{\dot{Q} [\text{kW}]}{\vartheta_2 - \vartheta_3 [\text{K}]}$ <p><b>Autorità della valvola</b></p> $AV = \frac{\Delta p_{V,100}}{\Delta p_{V,100} + \Delta p_{var,100}}$
	<p><b>Circuito di rinvio</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Differenza di pressione dal lato produttore <math>\Delta p_{pr}</math> costante <math>\rightarrow</math> caduta di pressione dal lato dell'utilizzatore compensata dalla pompa primaria</li> <li>• Portata costante nel circuito primario</li> <li>• Portata variabile nel circuito secondario <math>\rightarrow</math> regolazione della portata</li> <li>• Nel caso di carico parziale rischio di stratificazione <math>\rightarrow</math> applicazione limitata al settore del comfort</li> <li>• Applicazione: regolazione della carica dell'accumulatore, refrigeratore con deumidificazione</li> </ul>	<p><b>Portata della valvola</b></p> $\dot{V}_V [\text{m}^3/\text{h}] = 0,86 \frac{\dot{Q} [\text{kW}]}{\vartheta_1 - \vartheta_2 [\text{K}]}$ <p><b>Portata della pompa</b></p> $\dot{V}_P [\text{m}^3/\text{h}] = 0,86 \frac{\dot{Q} [\text{kW}]}{\vartheta_1 - \vartheta_3 [\text{K}]}$ <p><b>Autorità della valvola</b></p> $AV = \frac{\Delta p_{V,100}}{\Delta p_{V,100} + \Delta p_{var,100}}$
	<p><b>Circuito ad iniezione con valvola a tre vie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Differenza di pressione <math>\Delta p_{pr}</math> dal lato del produttore costante <math>\rightarrow</math> perdite di pressione della valvola compensata mediante la pompa primaria</li> <li>• Portata costante nel circuito primario</li> <li>• Portata costante nel circuito secondario <math>\rightarrow</math> regolazione della temperatura</li> <li>• Rischio di circolazione in un solo tubo <math>\rightarrow H \geq 10</math> volte il diametro del tubo</li> <li>• Svantaggio: temperatura di ritorno <math>\vartheta_4</math> fortemente miscelata</li> <li>• Applicazione: aeroterma e distributore ad iniezione con temperatura di ritorno elevata</li> </ul>	<p><b>Portata della valvola</b></p> $\dot{V}_P [\text{m}^3/\text{h}] = 0,86 \frac{\dot{Q} [\text{kW}]}{\vartheta_1 - \vartheta_3 [\text{K}]}$ <p><b>Portate delle pompe</b></p> $\dot{V}_{P1} [\text{m}^3/\text{h}] = 0,86 \frac{\dot{Q} [\text{kW}]}{\vartheta_1 - \vartheta_4 [\text{K}]}$ $\dot{V}_{P2} [\text{m}^3/\text{h}] = 0,86 \frac{\dot{Q} [\text{kW}]}{\vartheta_2 - \vartheta_3 [\text{K}]}$ <p><b>Autorità della valvola</b></p> $AV = \frac{\Delta p_{V,100}}{\Delta p_{V,100} + \Delta p_{var,100}}$
	<p><b>Circuito a strozzamento (circuito ad iniezione con valvola passante)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Differenza di pressione <math>\Delta p_{pr}</math> costante dal lato produttore <math>\rightarrow</math> poiché la portata è variabile la regolazione della differenza di pressione è razionale</li> <li>• Portata variabile <math>\rightarrow</math> regolazione della portata</li> <li>• Per pressione costante nel circuito secondario utilizzare il circuito di destra</li> <li>• Vantaggio: temperatura di ritorno non miscelata</li> <li>• Applicazione: aeroterma e distributore ad iniezione con bassa temperatura di ritorno</li> </ul>	<p><b>Portata della valvola</b></p> $\dot{V}_V [\text{m}^3/\text{h}] = 0,86 \frac{\dot{Q} [\text{kW}]}{\vartheta_1 - \vartheta_3 [\text{K}]}$ <p><b>Portate delle pompe</b></p> $\dot{V}_{P1} [\text{m}^3/\text{h}] = 0,86 \frac{\dot{Q} [\text{kW}]}{\vartheta_1 - \vartheta_4 [\text{K}]}$ $\dot{V}_{P2} [\text{m}^3/\text{h}] = 0,86 \frac{\dot{Q} [\text{kW}]}{\vartheta_2 - \vartheta_3 [\text{K}]}$ <p><b>Autorità della valvola</b></p> $AV = \frac{\Delta p_{V,100}}{\Delta p_{V,0}}$

Tabella 30: i quattro dispositivi idraulici fondamentali di distribuzione.  $\Delta p_{V,100}$  rappresenta la perdita di pressione della valvola in 100% di pressione,  $\Delta p_{V,0}$  per 0% di pressione.  $\Delta p_{var,100}$  rappresenta la perdita di pressione a portata variabile nella tratta disegnata in grassetto

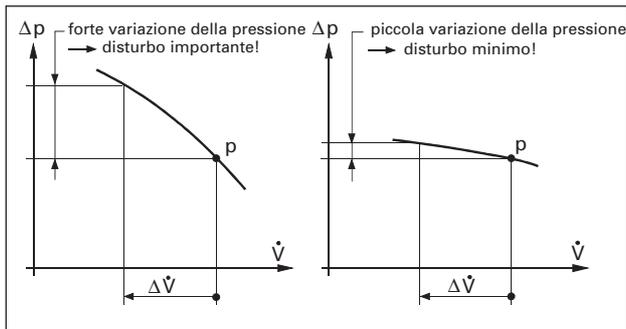


Figura 31: curva caratteristica della pompa: inclinata (a sinistra) e piatta (a destra)

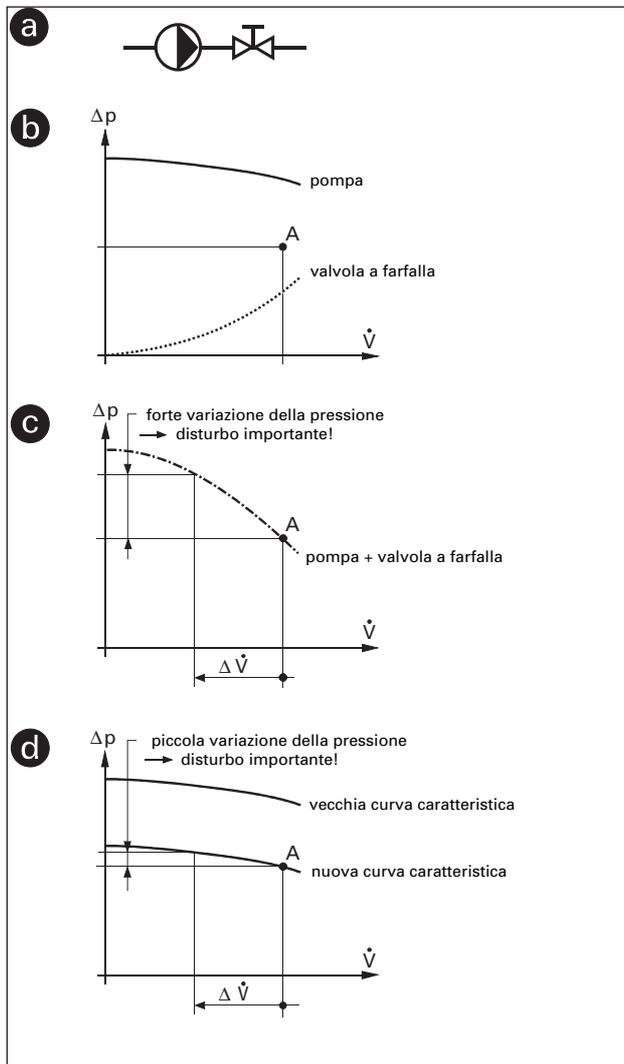


Figura 32: per quanto concerne l'esempio nel testo, cosa succede nel caso di strozzamento di una pompa di circolazione?

### Curva caratteristica della valvola

Oltre all'autorità della valvola, anche il comportamento di trasmissione del calore esercita un influsso su eventuali scambiatori di calore (aerotermi, refrigeratori dell'aria), ruolo che viene espresso mediante il cosiddetto valore  $a$  (cfr. «Comando e regolazione nella tecnica di riscaldamento, di ventilazione e di condizionamento», riquadro 28). Poiché il calcolo del valore  $a$  è relativamente complesso, in generale si preferisce tener conto della curva caratteristica di base adeguata. Questa semplificazione è usualmente ammissibile finché viene mantenuta contemporaneamente un'autorità della valvola di 0,5. In questo modo è possibile stabilire direttive semplificate per la scelta della curva caratteristica di base.

➔ *Circuito di regolazione senza scambiatore di calore: valvola di regolazione con curva caratteristica di base lineare. Circuito di regolazione con aeroterme o refrigeratori dell'aria: valvola di regolazione con curva caratteristica di base a percentuale identica o valvola a disco a funzionamento magnetico costante (curva caratteristica di base lineare con sviluppo concavo nella fase terminale).*

### Curva caratteristica delle pompe

La curva caratteristica delle pompe indica la prevalenza (differenza di pressione) in funzione della portata (portata). Si può fare una distinzione tra curve piatte delle pompe a basso regime e curve inclinate delle pompe a regime medio ed elevato (figura 31). Poiché negli impianti di riscaldamento la portata è spesso variabile (ad es. impianti con valvole termostatiche) e non sono desiderabili variazioni di pressione (poiché insorgerebbe il pericolo di propagazione del rumore), nelle reti con portata variabile occorre evitare d'istallare pompe di circolazione con curve inclinate. Questo tipo di pompe di circolazione conviene soltanto alle reti con portata costante, ossia negli impianti senza valvole termostatiche o per pompe che servono per il riscaldamento dell'acqua e dell'aria.

➔ *Spesso si deve constatare che una pompa di circolazione già installata è sovradimensionata (figura 32a). In tal caso insorge spontanea la domanda seguente: una pompa munita di valvola a farfalla presenta svantaggi sul piano idraulico? La figura 32b mostra la curva piatta di una tale pompa di circolazione, sovradimensionata e che funziona a basso regime. In questo caso la portata dovrà essere*

sottoposta ad un'equilibratura per mezzo di una valvola a farfalla situata nel punto A. Il risultato è indicato nella figura 32c: la curva piatta di una pompa di circolazione (costosa) che funziona a basso regime è diventata una curva inclinata, come se rappresentasse una pompa di circolazione (economica), funzionante a regime elevato; uno strozzamento della pompa di circolazione crea svantaggi idraulici sicuri! La figura 32d fornisce la soluzione: passando ad una velocità minore oppure cambiando il girante, o sostituendo perfino la pompa di circolazione, la curva caratteristica viene spostata all'incirca parallelamente verso il basso nel punto di lavoro.

### Curva caratteristica della rete

Come nel caso della curva caratteristica della pompa è possibile rappresentare graficamente la perdita di pressione in funzione della portata anche per la rete di tubazioni, conformemente all'equazione della differenza di pressione del riquadro 29. Tale rappresentazione viene definita curva caratteristica della rete. La figura 33 indica le curve caratteristiche di una rete dimensionata in modo piuttosto generoso (N1) e di una dimensionata in modo limitato (N2), con le curve caratteristiche delle pompe che vi si riferiscono (P1, P2). Nel caso di una portata nominale, le curve caratteristiche della rete delle pompe s'intersecano nei punti di lavoro A1, rispettivamente A2.

### Autorità dell'utilizzatore

Si è rivelato opportuno definire, in modo generale, come utilizzatori (figura 34) tutti gli elementi situati tra i punti di raccordo della distribuzione e, di conseguenza, le valvole degli elementi riscaldanti, quelle del riscaldamento tramite il pavimento (valvola manuale o valvola termostatica), gli elementi riscaldanti, rispettivamente il circuito di riscaldamento tramite il pavimento ed il raccordo di ritorno (con o senza regolazione preliminare). In questo modo è infatti possibile definire un'autorità dell'utilizzatore che risulta molto pratica per la valutazione dell'equilibrio idraulico di un impianto. Essa costituisce un criterio di valutazione dei disturbi causati ad un utilizzatore dalle variazioni della portata nell'impianto. L'autorità dell'utilizzatore verrà definita come il rapporto tra la differenza di pressione dell'utilizzatore (ad esempio valvola termostatica + radiatore + raccordo di ritorno) per una portata nominale e la differenza di pressione massima che si manifesta attraverso l'utilizzatore.

 Quanto detto deve ancora essere illustrato da un esempio. Nei diagrammi 35a e 35b i rapporti di pressione vengono presentati in modo tale che l'al-

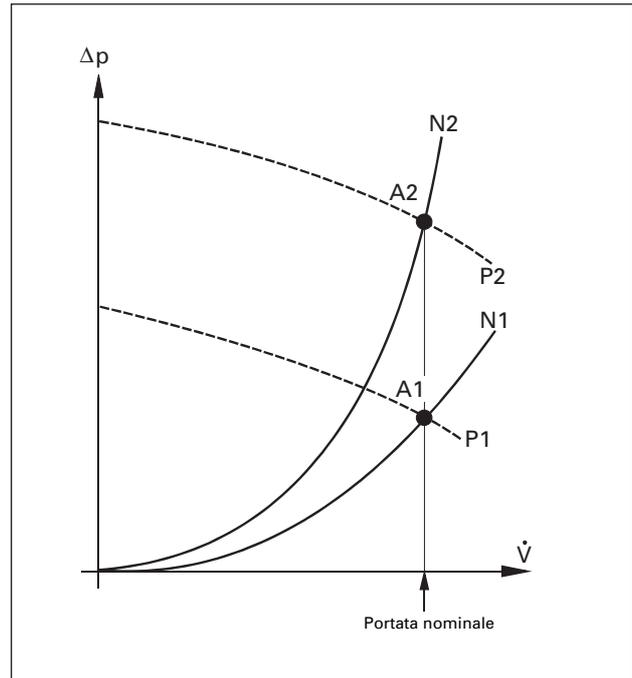


Figura 33: curve caratteristiche di una rete dimensionata piuttosto generosamente (N1) e di una rete dimensionata in modo limitato (N2) con le curve caratteristiche corrispondenti delle pompe (P1, P2) ed i punti di lavoro (A1, A2).

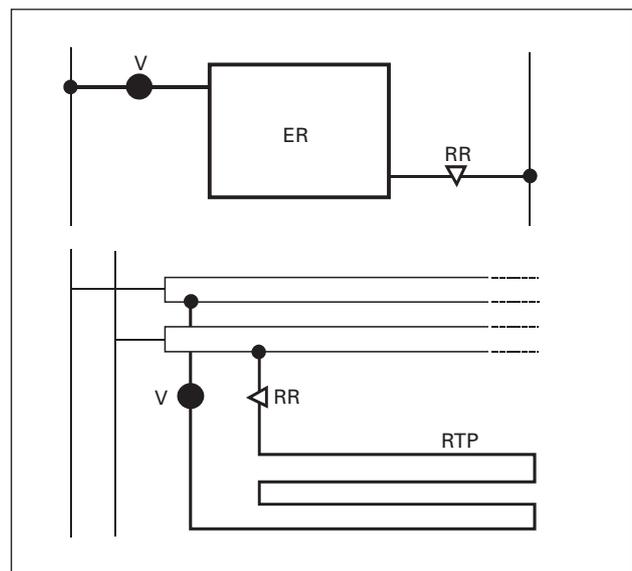


Figura 34: con il termine di «utilizzatore» si comprendono tutti gli elementi tra i punti di raccordo della distribuzione; V = valvola, RR = raccordo di ritorno, ER = elemento riscaldante, RTP = riscaldamento tramite il pavimento.

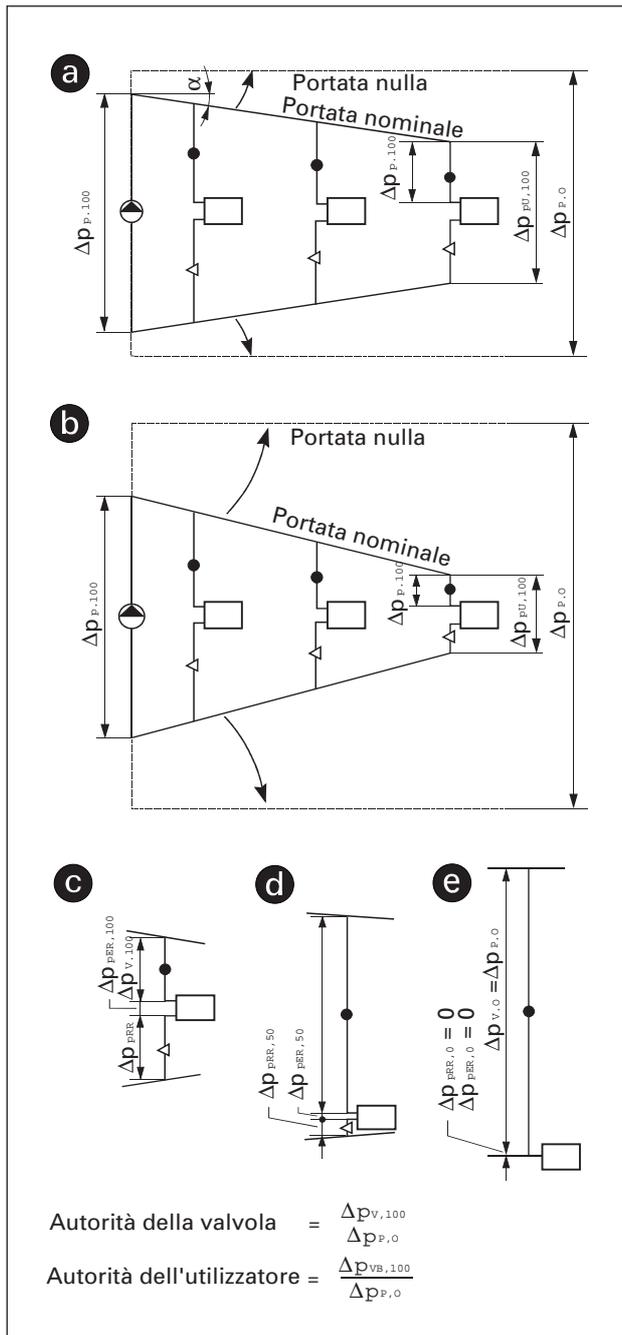


Figura 35: diagrammi concernenti l'esempio nel testo. Rete con curva caratteristica piatta della pompa ed autorità della valvola e dell'utilizzatore relativamente maggiori (a); rete con curva caratteristica inclinata della pompa ed autorità della valvola e dell'utilizzatore relativamente minori (b); ripartizione della pressione attraverso il terzo utilizzatore da (a) per una portata nominale (c), per una portata del 50% (d) e per una portata nulla (e).

tezza disegnata corrisponda alla differenza di pressione della parte dell'impianto corrispondente:

- le linee continue indicano i rapporti di pressione a portata nominale. Nella figura 35a le perdite di pressione nella rete delle tubazioni sono minori di quelle nella figura 35b (riconoscibile dal piccolo angolo  $\theta$ ).
- Le linee tratteggiate indicano i rapporti di pressione a portata nulla. Nella figura 35a si tratta di una pompa con la curva caratteristica piatta, mentre nella figura 35b si tratta di una pompa con la curva inclinata (riconoscibile dalla grande differenza di pressione della pompa tra portata nominale e portata nulla).

L'autorità della valvola e l'autorità dell'utilizzatore costituiscono una misura che permette di valutare le variazioni dovute alla differenza di pressione in un caso estremo sulla valvola (autorità della valvola) e sull'utilizzatore (autorità dell'utilizzatore). Si nota subito che sia l'autorità della valvola, sia l'autorità dell'utilizzatore nella figura 35a sono notevolmente migliori che non nella figura 35b.

Le figure da 35c fino a 35e mostrano il comportamento tra portata nominale e portata nulla (per motivi di semplicità è ammesso che tutte le valvole termostatiche si chiudono in modo uniforme).

- Figura 35c: tutte le valvole termostatiche sono regolate ad una portata nominale (= 100%).
- Figura 35d: tutte le valvole termostatiche sono regolate ad una portata del 50%. La pressione della pompa è aumentata corrispondentemente alla curva caratteristica della pompa. Le cadute di pressione attraverso gli elementi riscaldanti ed i raccordi di ritorno sono diminuiti fino ad un quarto.
- Figura 35e: tutte le valvole termostatiche sono chiuse. La pressione della pompa è aumentata al valore massimo per una portata nulla, corrispondentemente alla curva caratteristica della pompa. Le cadute di pressione attraverso gli elementi riscaldanti e il raccordo di ritorno sono diminuite a zero e la differenza di pressione massima e completa è ora situata interamente nelle sezioni di regolazione delle valvole termostatiche.

#### Obiettivo: un impianto stabile e silenzioso!

Quando viene posta la domanda «qual è l'influsso reciproco degli utilizzatori nel caso di variazioni della pressione nella rete di distribuzione?» è allora ragionevole tener conto dell'ampiezza delle variazioni nell'utilizzatore ossia dell'**autorità dell'utilizzatore**. L'autorità dell'utilizzatore costituisce un criterio per la stabilità della rete.

Se, al contrario, le domande sono le seguenti: «qual

è l'erogazione della potenza se la valvola di regolazione interviene effettuando una correzione e qual è l'effetto dei disturbi nell'impianto sul comportamento di regolazione?». In tal caso è determinante soltanto l'ampiezza delle variazioni della differenza di pressione attraverso la sezione di regolazione della valvola e cioè l'autorità della valvola. Nel caso di un'**autorità della valvola** troppo piccola, già una corsa dell'otturatore di alcuni centesimi di millimetro causa l'erogazione della potenzialità calorifica completa, in modo tale che il regolatore può intervenire praticamente soltanto per gli inserimenti o i disinserimenti (si può ovviare in parte a tale effetto mediante un'adeguata curva caratteristica non lineare della valvola).

Nella prassi viene tuttavia posta spesso un'ulteriore domanda: «quale può essere la differenza massima di pressione sulla sezione a portata variabile nel caso di un distributore senza **pompa principale**?». Se tale differenza di pressione risulta infatti troppo importante, i singoli gruppi s'influenzano a vicenda. Per evitarlo è necessario – oltre a rispettare la regola concernente l'autorità della valvola! – tener conto anche della regola seguente.

↓ *Nel caso di un distributore senza pompa principale, la differenza di pressione massima sulla sezione a portata variabile non deve essere superiore al 20% della prevalenza della più piccola pompa del gruppo nel punto di dimensionamento.*

Occorre tuttavia tener conto anche dei **problemi di rumore**, soprattutto di quelli causati dal fischio delle valvole termostatiche. Qualora si rispetti la regola seguente non insorgono generalmente problemi di alcun genere.

↓ *Nelle case di abitazione la differenza di pressione attraverso le valvole termostatiche non può in nessun caso superare 20 kPa (edifici non abitati: 30 kPa).*

Le condizioni di dimensionamento più importanti che creano condizioni stabili di funzionamento dell'impianto sono riepilogate nella tabella 36.

## 4.2 Pompe di circolazione

### Consumo di corrente elettrica

La scelta ed il dimensionamento delle pompe di circolazione è innanzitutto un problema idraulico. Fin dall'inizio, tuttavia, occorre dedicare la massima at-

Parametri di dimensionamento	Valore di riferimento	Valore limite
Autorità dell'utilizzatore	0,5	0,3
Autorità della valvola – valvole di regolazione – valvole termostatiche	0,5 0,3	0,3 0,1
Differenza di pressione massima attraverso le sezioni con portata variabile con distributore senza pompa principale	20% della prevalenza della più piccola pompa del gruppo	
Differenza di pressione massima nelle valvole termostatiche – case d'abitazione – edifici non abitati	20 kPa 30 kPa	



Tabella 36: raccomandazioni concernenti i parametri di dimensionamento. L'obiettivo del dimensionamento è costituito da un impianto stabile senza problemi di rumore e che lavori inoltre risparmiando il massimo possibile d'energia.

Edifici	SIA 380/1	RAVEL
	$E_{\text{calore}}$ [MJ/m <sup>2</sup> a]	$E_{\text{elett.pompa}}$ [MJ/m <sup>2</sup> a]
Casa unifamiliare	310	3,1
Casa plurifamiliare	280	2,8
Edifici amministrativi	240	2,4
Scuole	240	2,4

Tabella 37: valori di riferimento per il consumo d'energia finale per il riscaldamento secondo SIA 380/1 e valori di riferimento che ne derivano per il consumo di corrente elettrica delle pompe di circolazione.

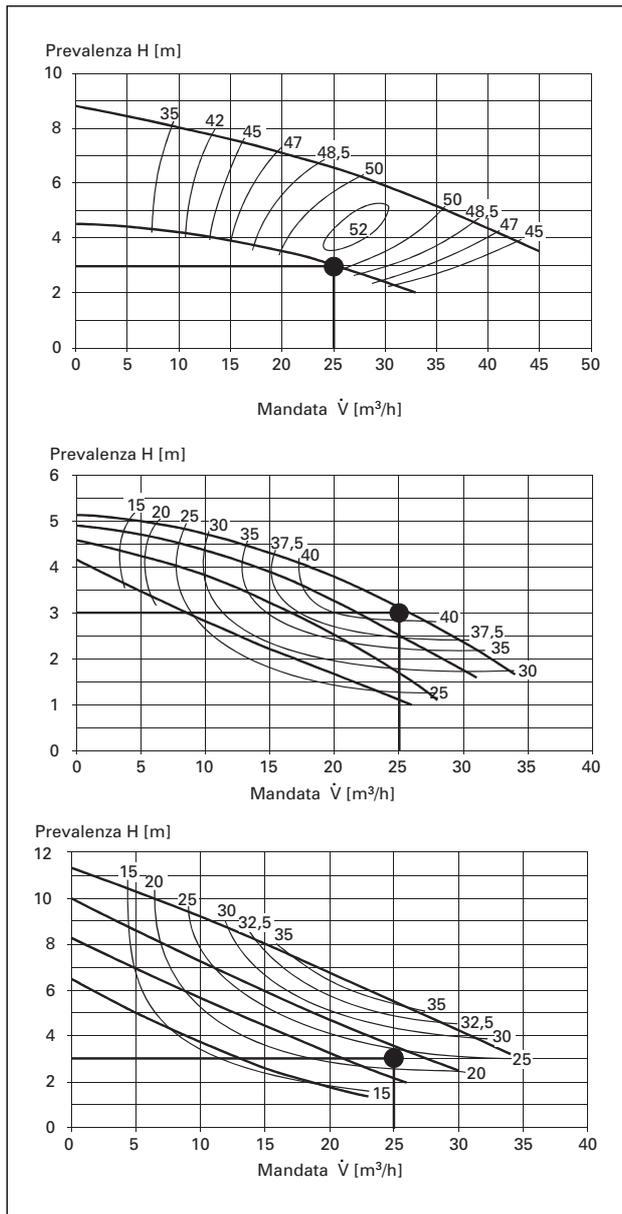


Figura 38: esempio del dimensionamento di una pompa principale con 3 mWS e 25 m<sup>3</sup>/h. A seconda del tipo di fabbricazione ed a seconda della situazione del punto di lavoro risultano rendimenti molto diversi!

tenzione al problema del consumo di corrente elettrica. Tale consumo da parte delle pompe di circolazione dovrebbe essere inferiore all'1% del consumo di energia finale per il riscaldamento. Convertito nei valori di riferimento della norma SIA 380/1, risultano i valori della tabella 37.

In primo luogo un dimensionamento esatto senza riserve inutili costituisce il presupposto di un consumo di elettricità minimo. Numero di giri, portata, differenze di pressione e potenza motrice dipendono infatti l'una dall'altra come segue:

- **La portata** varia proporzionalmente al numero di giri. Da un dimezzamento degli stessi risulta, di conseguenza, un dimezzamento della portata (esempio evidente: una ruota idraulica che funziona a mezzo regime fornisce soltanto la metà di pale piene d'acqua).
- **La differenza di pressione** varia secondo il quadrato del numero di giri, rispettivamente della portata. Da un dimezzamento del numero di giri, rispettivamente della portata risulta una differenza di pressione divisa per quattro.
- **La potenza motrice** necessaria varia alla terza potenza del numero di giri, rispettivamente della portata. Da un dimezzamento del numero di giri, rispettivamente della portata risulta quindi – teoricamente – una potenza motrice necessaria otto volte minore.

È tuttavia importante anche utilizzare pompe con il **massimo rendimento** possibile. Tra i diversi sistemi di costruzione, i diversi tipi ed i diversi modelli si notano differenze importanti. Un semplice paragone sarebbe possibile qualora nel diagramma della pompa, oltre alle curve caratteristiche della stessa, venissero disegnate anche le curve di rendimento (diagramma a curve ovoidali).

Purtroppo oggi ciò è il caso soltanto quando si tratta di pompe a zoccolo di grandi dimensioni. Nel caso normale occorre perciò calcolare il rendimento delle pompe – almeno nel punto di lavoro – con l'ausilio della formula di potenza della pompa secondo il riquadro 29. Nella figura 38 sono disegnati i diagrammi a curve ovoidali e nell'esempio seguente viene mostrato in qual modo è possibile calcolare i rendimenti nel punto di lavoro nel caso in cui il diagramma a curve ovoidali non sia a disposizione.

 Quali sono i rendimenti delle tre pompe della figura 38 nel punto di lavoro per 3 mWS di prevalenza e 25 m<sup>3</sup>/h di mandata? Le schede indicano nei punti di lavoro assorbimenti di potenza di 415 W (pompa inline), 520 W (pompe con funzionamento ad umido, a basso numero di giri) e 900 W (pompe con funzionamento ad umido, ad elevato numero di

giri). Per tutte le tre pompe la potenza idraulica è ovviamente uguale, ossia (cfr. riquadro 29):

$$P_{idraul.} = \frac{30 \text{ kPa} \cdot 25 \text{ m}^3/\text{h}}{3600} = 0,208 \text{ kW} = 208 \text{ W}$$

Risultano di conseguenza i rendimenti seguenti:

$$\eta = \frac{208 \text{ W}}{415 \text{ W}} = 0,50 \quad (\text{pompa inline})$$

$$\eta = \frac{208 \text{ W}}{520 \text{ W}} = 0,40 \quad (\text{pompa con funzionamento ad umido, a basso numero di giri})$$

$$\eta = \frac{208 \text{ W}}{900 \text{ W}} = 0,23 \quad (\text{pompa con funzionamento ad umido, ad elevato numero di giri})$$

Vale quindi la pena di paragonare le pompe l'una con l'altra: a seconda del tipo di costruzione e della posizione del punto di lavoro risultano rendimenti molto diversi – nell'esempio citato tra 23 e 50%. Nel punto di lavoro ottimale il rendimento delle pompe di piccole dimensioni supera raramente il 15% (figure 39 e 40). Riassumendo si può dire quanto segue:

- le pompe di piccole dimensioni presentando tendenzialmente rendimenti peggiori di quelle di grandi dimensioni.
- Le pompe con funzionamento a secco e motore standardizzato (pompe inline e pompe a zoccolo) sono migliori delle pompe con funzionamento ad umido e con motore a traferro tubolare passante.
- Per quanto concerne il rendimento le pompe con funzionamento ad umido, sia a basso, sia ad elevato numero di giri, non presentano una differenza significativa. Esistono tuttavia differenze notevoli tra i diversi modelli.
- La posizione del punto di lavoro nel diagramma della pompa ha un influsso determinante sul rendimento; il rendimento ottimale si trova spesso al centro del terzo della curva caratteristica per il numero di giri più elevato. Esistono tuttavia anche eccezioni.

### Pompe di circolazione con curve caratteristiche inclinate

Le pompe di circolazione con un regime variabile da 1900 a 2400 giri al minuto sono oggi molto diffuse tra le pompe di piccole dimensioni (pompe con funzionamento ad umido) a causa del loro prezzo favorevole. Per una portata variabile, tuttavia, le curve caratteristiche inclinate (figura 39) causano variazioni importanti della differenza di pressione, creando problemi di rumore e di regolazione. È questo il motivo per cui si dovrebbero installare pompe di circola-

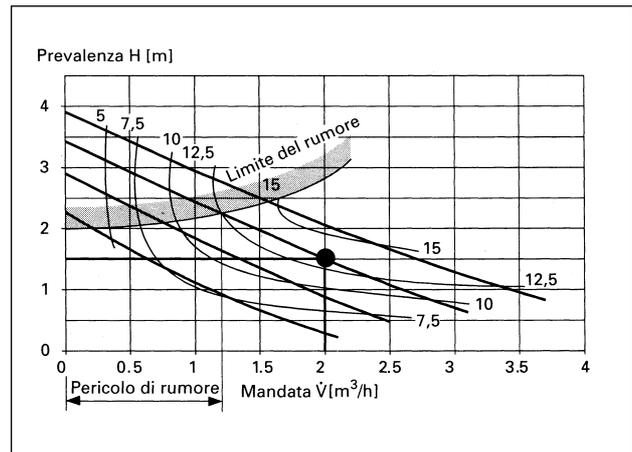


Figura 39: esempio di dimensionamento della pompa di un gruppo di riscaldamento con curva caratteristica inclinata per 1,5 mWS e 2,0 m³/h: se la portata si abbassa al di sotto di 1,2 m³/h (chiusura delle valvole termostatiche), il limite di rumore viene superato ed esiste il pericolo di molestie dovute al rumore delle valvole termostatiche; inoltre l'autorità delle valvole termostatiche sarà inevitabilmente peggiore.

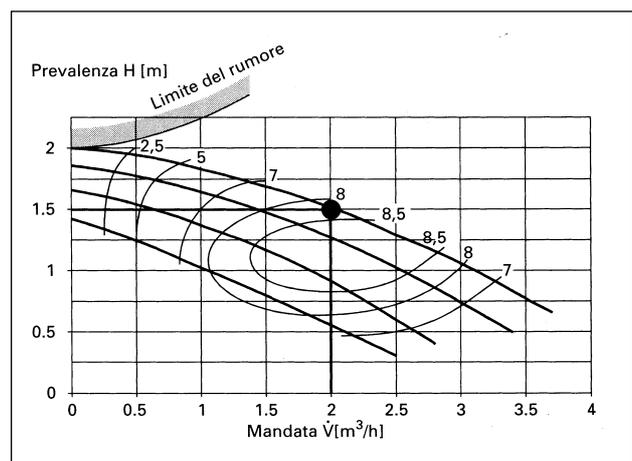


Figura 40: lo stesso esempio di dimensionamento della figura 39, ma con una pompa di circolazione con una curva caratteristica piatta non crea invece alcun problema: il limite del rumore non viene superato, anche con una portata nulla, e dovrebbe sempre essere possibile anche un'autorità sufficiente delle valvole termostatiche (è invece peggiore il rendimento, ma ciò non è tuttavia un problema di regime elevato e di regime basso, bensì un problema legato a questo modello di pompa).

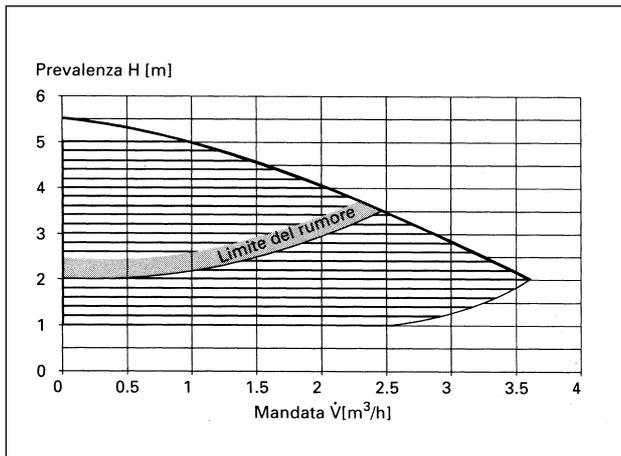


Figura 41: esempio del campo delle curve caratteristiche di una pompa di circolazione a numero di giri regolabile con curva caratteristica piatta regolabile

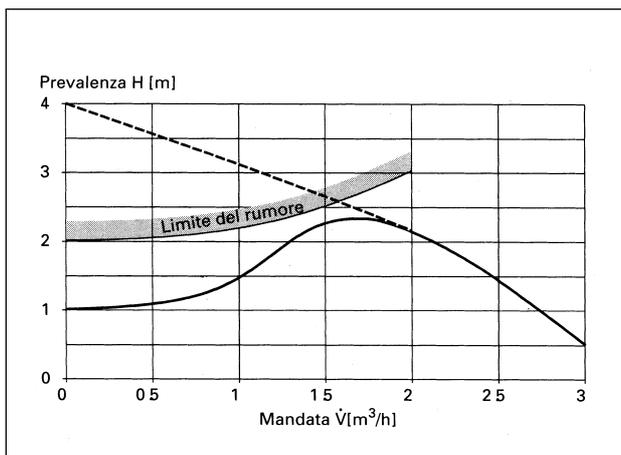


Figura 42: esempio di una pompa di circolazione a numero di giri regolabile con curva caratteristica «negativa»: in ogni punto di lavoro esiste una grande distanza dal limite di rumore!

zione a numero di giri medio ed elevato (senza regolazione del numero di giri) soltanto nel caso di una portata costante, come ad esempio negli impianti senza valvole termostatiche o come pompe per il riscaldamento dell'acqua e dell'aria.

#### Pompe di circolazione con curve caratteristiche piatte

Con un regime variabile da 1300 a 1400 giri al minuto le pompe di circolazione a basso numero di giri presentano curve caratteristiche notevolmente più piatte (figura 40) in confronto ai modelli ad elevato numero di giri (figura 39). Esse sono perciò adatte anche agli impianti con portata variabile: negli impianti muniti di valvole termostatiche non è necessaria alcuna misura per la limitazione della differenza di pressione fino ad una prevalenza di dimensionamento di circa 1,5 mWS. Questo vantaggio deve tuttavia essere compensato con un prezzo d'acquisto maggiore.

#### Pompe di circolazione a numero di giri variabile con curva caratteristica piatta regolabile

Le pompe con funzionamento ad umido e numero di giri regolabile incorporato acquistano sempre maggiore importanza. Questo tipo di costruzione può essere regolato esattamente per la prevalenza desiderata e tale valore resta costante in tutto il settore di mandata (figura 41). Ne risulta, di conseguenza, una curva caratteristica perfettamente piatta che, entro limiti precisi, può inoltre essere scelta liberamente. Le pompe di circolazione con numero di giri regolabile possono quindi essere regolate in modo preciso a 2 mWS di prevalenza, senza creare il minimo problema di rumore.

#### Pompe di circolazione a numero di giri variabile con curva caratteristica «negativa»

Sono possibili prevalenze di dimensionamento maggiori ma ancora lontane dal limite del rumore e ciò grazie alle pompe di circolazione a numero di giri regolabile con curve caratteristiche dette «negative»: quando esistono portate piccole la prevalenza non aumenta, ma al contrario diminuisce (figura 42).  
Apparecchi a numero di giri variabile

Esistono per principio due tipi di comandi del numero di giri:

- **apparecchi con ritardo di fase** che convengono soprattutto per le pompe con funzionamento ad umido e motore a traferro tubolare passante (problematico nel caso di disturbi sulla rete elettrica; soggetti ad autorizzazione da parte della maggior parte delle aziende elettriche qualora la potenza di allacciamento superi 1 kW).

- **Convertitori di frequenza** che sono adatti a tutte le pompe con motore asincrono; presentano un esercizio con perdite minori degli apparecchi con ritardo di fase.

Poiché le pompe di circolazione con numero di giri regolabile integrato sono relativamente convenienti dal punto di vista economico, gli apparecchi indipendenti di regolazione del numero di giri saranno in futuro e per principio riservati alle pompe di grande potenza. Ciò non deve tuttavia far dimenticare il fatto che gli apparecchi di regolazione del numero di giri installati separatamente presentano alcuni vantaggi notevoli:

- nessuna limitazione nella scelta della pompa
- libera scelta della grandezza regolata (differenza di pressione, differenza di temperatura, ecc.)
- libera scelta del punto di misurazione della grandezza regolata.

#### Regolazione della differenza di pressione negli impianti muniti di valvole termostatiche

È sempre oggetto di discussioni il problema a sapere dove debba avvenire la misurazione della differenza di pressione di una pompa a numero di giri regolabile nel caso di un gruppo di riscaldamento munito di valvole termostatiche. Secondo la figura 43 esistono per principio diverse possibilità.

**Caso A:** senza pompa a numero di giri regolabile e con la curva caratteristica (relativamente inclinata) della pompa, l'impianto può essere munito di un sistema di regolazione con una prevalenza di  $\Delta p_{\max} = 12 \text{ kPa}$ . Con una portata nulla in tal caso si tocca appena il limite di rumore di  $20 \text{ kPa}$  ( $= 2 \text{ mWS}$ ).

**Caso B:** la misura della differenza di pressione della pompa fornisce effettivamente una curva caratteristica molto piatta. Ciò che è tuttavia decisivo è la curva caratteristica nel punto H che tiene conto della perdita di pressione nel settore Z1. È così possibile scegliere una prevalenza di dimensionamento di poco più elevata ( $\Delta p_{\max} = 15 \text{ kPa}$ ). Se nel settore Z1 la perdita di pressione è molto debole (ad es. circuito ad iniezione), nel punto H risulta una curva caratteristica notevolmente migliore come nel caso C.

**Caso C:** solo una misurazione di una differenza di pressione all'andata ed al ritorno può permettere un funzionamento effettivo della pompa al limite del rumore ( $\Delta p_{\max} = 20 \text{ kPa}$ ), poiché le perdite di pressione nel settore Z2 verranno in questo modo compensate.

**Caso D:** una prevalenza di dimensionamento ancora più elevata ( $\Delta p_{\max} = 27 \text{ kPa}$ ) viene raggiunta quando la misurazione della differenza di pressione della rete viene effettuata nel punto X.

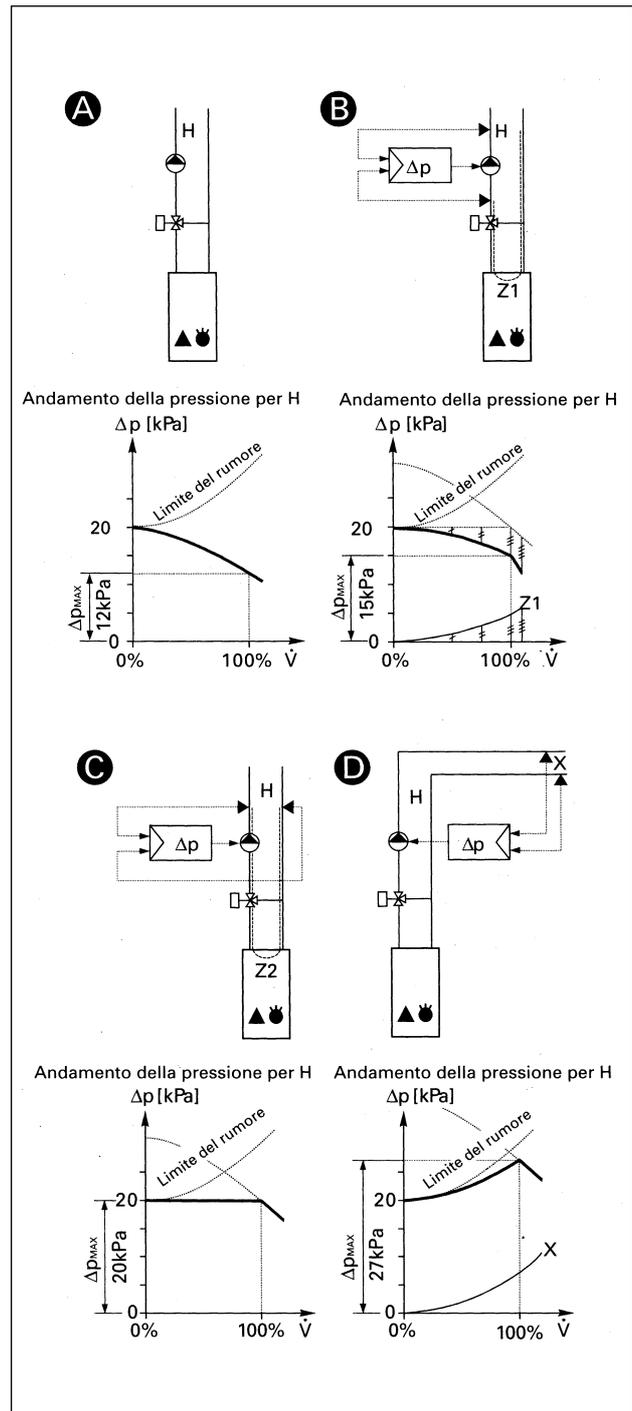


Figura 43: regolazione della differenza di pressione in un impianto con valvole termostatiche.

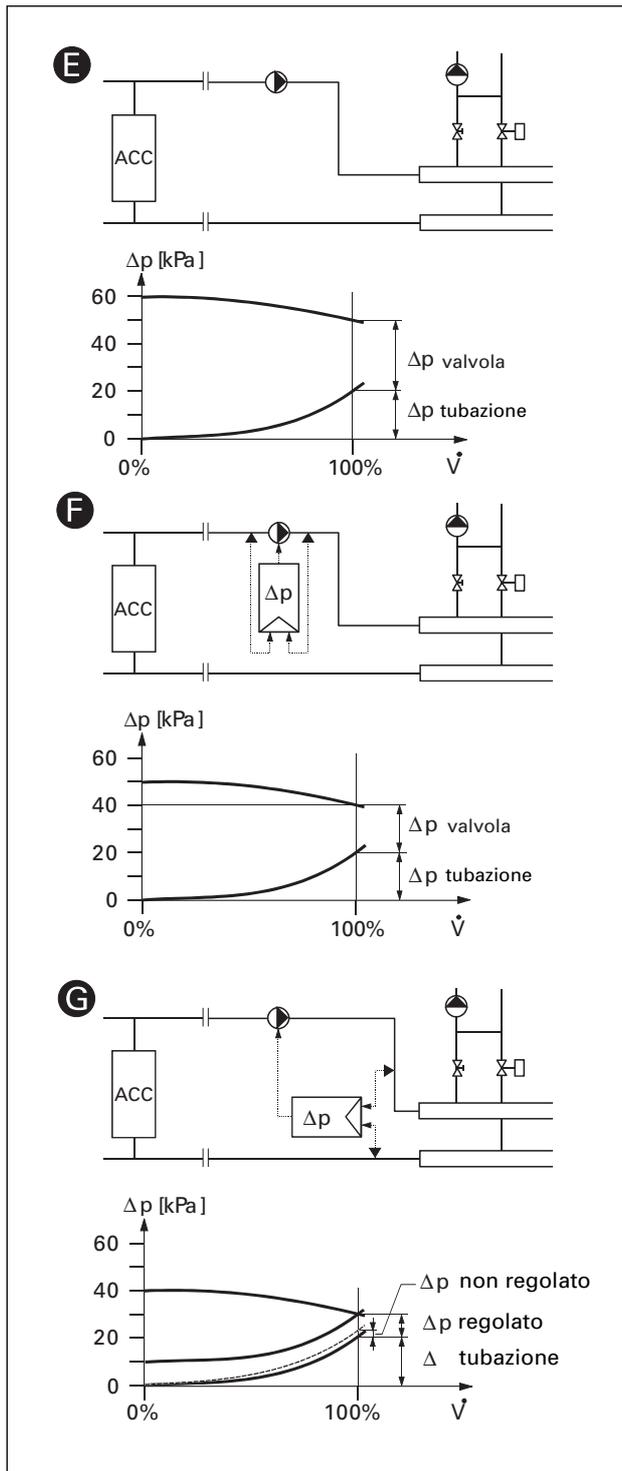


Figura 44: regolazione della differenza di pressione di una pompa per teleriscaldamento per un distributore ad iniezione con valvole passanti.

Il caso B corrisponde ampiamente a quello di una pompa di circolazione a numero di giri regolabile integrato con curva caratteristica piatta (figura 41). Il caso D mostra un comportamento identico a quello di una pompa a circolazione con curva caratteristica negativa (figura 42). Questo ultimo caso offre infatti il vantaggio di non richiedere alcuna misurazione costosa per quanto concerne la differenza di pressione della rete. In questo esempio, in caso di carico parziale, con la pompa di circolazione a numero di giri regolabile viene risparmiata corrente elettrica; inoltre può essere realizzata una rete notevolmente più ampia senza creare problemi di rumore: la rete del caso B può essere il doppio di quella del caso A.

#### Regolazione della differenza di pressione nelle tubazioni a distanza

Problemi simili si manifestano con le condotte a distanza per quanto concerne la ripartizione mediante iniezione con valvole passanti. La figura 44 illustra un esempio di una tubazione a distanza con perdita di pressione di 20 kPa a portata nominale.

**Caso E:** senza pompa a numero di giri regolabile la perdita di pressione della valvola deve essere di 30 kPa onde poter mantenere un'autorità della valvola di  $AV = 30 \text{ kPa} / 60 \text{ kPa} = 0,5$

La dimensione della pompa sarà pure scelta secondo tali criteri.

**Caso F:** la misurazione della differenza di pressione della pompa oppure l'installazione di una pompa con numero di giri regolabile permette di eliminare l'influsso della curva inclinata della pompa. In questo modo la perdita di pressione della valvola deve essere di soli 20 kPa per un'autorità della valvola di:  $AV = 20 \text{ kPa} / 40 \text{ kPa} = 0,5$

La pompa potrà essere più piccola che non nel caso E.

**Caso G:** le condizioni sarebbero ottimali qualora la differenza di pressione fosse misurata direttamente sul distributore. L'ideale sarebbe di poter effettuare la regolazione con una differenza di pressione nulla (soprattutto se si tratta di un distributore senza pressione già esistente). Le esigenze tecniche concernenti questa operazione sono purtroppo molto elevate, poiché la regolazione deve essere stabilita per una differenza di pressione minima di circa 10 kPa. Se si ammette che la perdita di carico restante, non regolata, ammonta ancora a 2 kPa, ne risulta un'autorità della valvola di  $AV = (10 - 2) \text{ kPa} / 10 \text{ kPa} = 0,8$  e la pompa diventa ancora di dimensioni minori!

Questo esempio dimostra in modo chiaro che la regolazione della differenza di pressione permette sia di risparmiare corrente elettrica nella zona di carico parziale, sia di ridurre in modo considerevole la potenza della pompa a causa dei vantaggi idraulici offerti dal sistema.

### Funzionamento della pompa nel caso di portata nulla

Si pone sempre regolarmente il problema del funzionamento della pompa in caso di portata nulla: può la stessa funzionare quando la circolazione dell'acqua è ridotta a zero (rubinetto a valvola chiuso)? Per motivi di sicurezza sarebbe meglio chiedere informazioni al fabbricante della pompa. In generale si può tuttavia rispondere come segue:

- le pompe con funzionamento ad umido e la cui potenza all'asse sia inferiore a 1 kW non possono subire alcun danno qualora la temperatura d'esercizio sia di almeno 10 K al di sotto della temperatura massima ammissibile e non possa manifestarsi alcuna circolazione di ritorno;
- le pompe con funzionamento ad umido ed una potenza all'asse superiore ad 1 kW e tutte le pompe con funzionamento a secco non sono soggette a danneggiamento nel caso di portata nulla di breve durata (alcuni minuti); nel caso di servizio continuo è necessaria una mandata di almeno 10%.

Le reti munite di valvole termostatiche e di una regolazione della temperatura di andata messa a punto in modo ottimale non dovrebbero creare problemi. Al contrario, occorre estrema prudenza nel caso di pompe di circolazione con tubazione a distanza per i ripartitori ad iniezione con valvole passanti. In tal caso occorrerebbe sempre prevedere un avviamento automatico della pompa di circolazione (ad es. con un interruttore di fine corsa nelle valvole di regolazione). Ciò è razionale anche sotto l'aspetto del risparmio della corrente elettrica!

## 4.3 Misurazione dell'energia

La sorveglianza dei flussi energetici riveste un ruolo importante a partire dalla messa in esercizio, per poi passare all'ottimizzazione dell'impianto ed al controllo dei risultati fino al funzionamento vero e proprio. Ciò nonostante viene commesso un grave errore: vengono installati i contatori strettamente necessari per il conteggio delle spese. In tal modo non è possibile eseguire una valutazione valida dei costi per operazioni come la scelta e la definizione di un impianto e la costruzione. Allo scopo di colmare tale lacuna, verranno qui di seguito dati alcuni consigli sui mezzi di misurazione dell'energia più importanti.

### Elettricità

Il rilevamento dell'energia elettrica avviene ovunque e molto coscientemente quando esiste un interesse per il conteggio dei costi, ossia laddove le aziende elettriche hanno installato dei contatori. Per

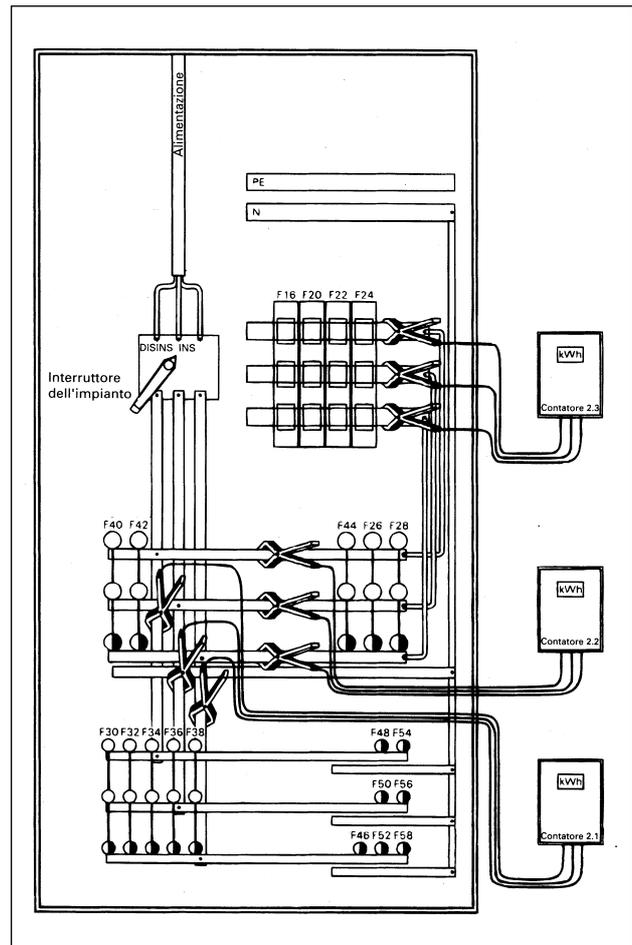


Figura 45: esempio di misura temporanea in una sottodistribuzione con l'ausilio di strumenti a pinza e contatori di elettricità

#### Gas naturale

Per una conversione approssimativa, ma in qualsiasi caso molto imprecisa, di metri cubi di gas naturale in chilowattora (riferiti al potere calorifico inferiore!) può essere utilizzata la formula empirica seguente:

$$\text{Energia [kWh]} = 9,4 \times \text{metri cubi d'esercizio}$$

Per calcoli più precisi è assolutamente necessario chiedere all'azienda del gas competente i fattori di conversione attuali, poiché nel caso del gas naturale possono manifestarsi variazioni relativamente grandi. Occorre inoltre tener conto del fatto che le cifre fornite si basano per lo più sul potere calorifico superiore e devono quindi essere calcolate nuovamente sulla base del potere calorifico inferiore.

Riquadro 46

#### Gasolio EL

La conversione di litri, rispettivamente di chilogrammi di gasolio EL in chilowattora può aver luogo secondo la formula empirica seguente:

$$\text{Energia [kWh]} = 11,9 \times \text{massa [kg]}$$

$$\text{Energia [kWh]} = 10,0 \times \text{volume [l]}$$

Poiché il potere calorifico e la densità del gasolio EL sono relativamente costanti, la formula summenzionata è di regola sufficientemente precisa.

Riquadro 47

Modello	A	B	C	D
Diametro nominale [mm]	15	20	25	32
Portata minima [l/h]	30	30	70	70
Portata di passaggio [l/h]	120	120	280	280
Portata nominale [m³/h]	1,5	2,5	3,5	5,0
Portata massima [m³/h]	3,0	5,5	7,0	10,0
Coefficiente $k_v$ [m³/h]	3,3	5,0	10,0	12,0

Tabella 48: scheda tecnica di contatori termici (elica) fabbricati in serie.

motivi di costi si rinuncia normalmente ai contatori che rivestono solo un interesse tecnico (esempio tipico: un contatore singolo solo per la pompa di calore). Eppure molte aziende elettriche sarebbero pronte a mettere a disposizione i cosiddetti «contatori privati» per tasse di locazione minime oppure perfino gratuitamente. Anche il costo di un contatore non costituisce tuttavia una grossa spesa: per circa Fr. 600.– è possibile acquistare contatori a tre fasi assolutamente adeguati al fabbisogno.

I contatori di elettricità possono essere letti solo a vista, in quanto non hanno infatti alcun'uscita ad impulsi. Poiché sempre più spesso viene desiderata una registrazione automatica, i nuovi contatori dovrebbero essere sempre muniti di un'uscita ad impulsi, giacché il prezzo supplementare è praticamente senza importanza. Nel caso di contatori esistenti è possibile anche una lettura ottica.

Per misurazioni temporanee occorre misurare la tensione e la corrente, trasmettendole ad un apparecchio che misura la potenza oppure l'energia (figura 45). Affinché le misurazioni della corrente elettrica non costringano ad interrompere le tubazioni, per misurare la corrente vengono utilizzati strumenti a pinza. I cavi, sovente molto spessi, dovranno ad ogni modo essere separati su di una lunghezza sufficiente e tale da permettere la sistemazione degli strumenti a pinza su ognuno di essi.

#### Gas naturale

I contatori del gas, come i contatori di elettricità, vengono installati dai fornitori d'energia elettrica per il conteggio delle spese. In futuro si dovrebbe dedicare una maggiore attenzione al fatto che i contatori dovrebbero essere provvisti anche di un'uscita ad impulsi. Di regola è sufficiente il contatore principale e le ripartizioni ulteriori potranno aver luogo mediante contatore, ossia contatori delle ore di funzionamento. In tal caso è importante che le ore di funzionamento siano rilevate in modo esatto ad ogni livello, ossia senza la durata di prelavaggio ed arresto del contatore in caso di guasto. Occorre inoltre tener conto del fatto che il contatore del gas misura i cosiddetti «metri cubi d'esercizio» secondo le condizioni valide nel luogo di utilizzazione (temperatura, pressione dell'aria, umidità). Una conversione approssimativa può aver luogo secondo il riquadro 46; è tuttavia assolutamente necessario chiedere all'azienda del gas i fattori di conversione esatti.

#### Gasolio

Il rilevamento del consumo annuo di gasolio per il riscaldamento (ad es. per il conteggio dei costi di riscaldamento) avviene per mezzo di un'asta di livello infilata nella cisterna. Per letture più frequenti, soprattutto per la determinazione della caratteristica dell'energia, è assolutamente raccomandabile l'inserimento di un contatore per il gasolio con uscita ad impulsi. La misurazione della durata di funzionamento del bruciatore e dei «litri consumati» è bensì possibile e pratica, ma relativamente costosa. La conversione dei chilogrammi, rispettivamente dei litri di gasolio EL, in chilowattora può aver luogo secondo il riquadro 47.

### Calore e freddo

La misurazione del calore e del freddo riserva sempre e nuovamente sorprese sgradevoli. In questo caso vale quindi in modo particolare il detto «la fiducia è una buona cosa, ma il controllo è ancora migliore». Le misure di controllo adeguate sono le seguenti:

- contatore globale, quale mezzo di controllo di parecchi contatori subordinati.
- Paragone tra il consumo di corrente elettrica, di olio di riscaldamento e di gas.

Una progettazione accurata e, in seguito, una manutenzione ed un controllo periodici, costituiscono i presupposti per risultati pienamente soddisfacenti. Tutte le tre parti - sensore della temperatura, misuratore della portata e memoria interna - devono essere perfettamente adattati l'uno all'altro.

La misurazione è tanto più esatta quanto è maggiore la differenza di temperatura. Occorre quindi dare per forza la preferenza ai circuiti che presentano una differenza di temperatura maggiore. Mediante un'equilibratura idraulica accurata occorre tuttavia garantire che la differenza di temperatura calcolata venga anche mantenuta in realtà. Per quanto concerne la scelta e l'inserimento dei sensori della temperatura occorre tener conto di quanto segue:

- garantire una buona circolazione attorno al sensore.
- Assicurare parimenti una distribuzione regolare della temperatura attraverso la sezione del tubo (non inserire il sensore nei punti di miscelazione).
- Adeguare le costanti di temperatura del sensore (costante di tempo tanto minore quando più rapidamente debba essere conosciuta una variazione della temperatura: ciò è importante ad esempio nel caso dell'acqua calda).

La tabella 48 fornisce i dati tecnici di contatori termici usuali fabbricati in serie. Quali cadute di pressione risultano nel caso di una portata nominale? La formula delle differenze di pressione del riquadro 29 indica i valori seguenti:

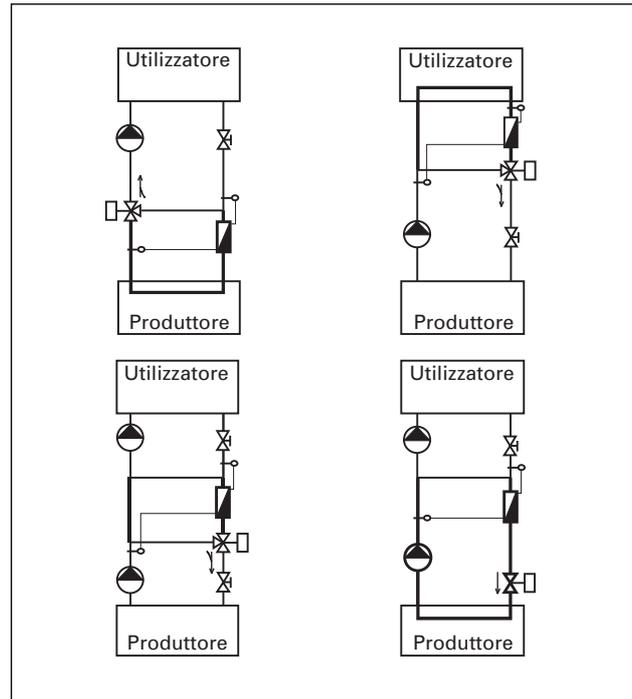


Figura 49: le ditte che fabbricano i contatori termici raccomandano d'installare il misuratore di portata sul settore a portata variabile. In tal caso occorre tuttavia tener conto del fatto che ciò porta pregiudizio all'autorità della valvola!

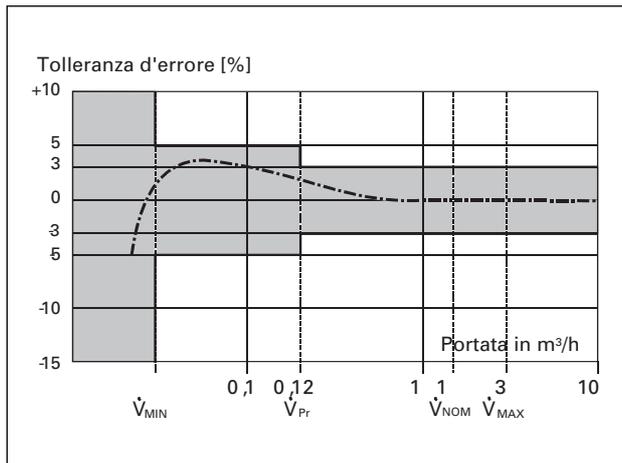


Figura 50: esempio di una curva d'errore di misurazione di un contatore termico per una portata nominale di 1500 l/h: a 30 l/h il contatore funziona in modo tale che può essere data una tolleranza di misura di  $\pm 5\%$ ; tale tolleranza vale per una zona di transito fino a 120 l/h, mentre in seguito la tolleranza scende a  $\pm 3\%$ ; una portata massima di 3000 l/h è ammessa soltanto per breve tempo (alcuni minuti). La linea tratteggiata indica una curva tipica di errore di misurazione

$$\Delta\rho_A = 100 \cdot (1,5 \text{ m}^3/\text{h} / 3,3 \text{ m}^3/\text{h})^2 = 21 \text{ kPa}$$

$$\Delta\rho_A = 100 \cdot (2,5 \text{ m}^3/\text{h} / 5,0 \text{ m}^3/\text{h})^2 = 25 \text{ kPa}$$

$$\Delta\rho_A = 100 \cdot (3,5 \text{ m}^3/\text{h} / 10,0 \text{ m}^3/\text{h})^2 = 12 \text{ kPa}$$

$$\Delta\rho_A = 100 \cdot (5,0 \text{ m}^3/\text{h} / 12,0 \text{ m}^3/\text{h})^2 = 17 \text{ kPa}$$

Queste cadute di pressione importanti, denominate in modo errato «portata nominale», sono sempre causa d'interpretazioni sbagliate: il misuratore di portata viene infatti spesso inserito in una sezione con portata variabile (figura 49), affinché la differenza di temperatura che lo concerne sia la massima possibile (miglior precisione di misurazione). Conseguentemente – ciò che è spesso dimenticato dalla maggior parte dei progettisti e delle progettiste – cioè che l'autorità della valvola di regolazione è peggiorata! In tal caso ci si trova di fronte ad un paradosso: da un lato si desidera ottenere una caduta di pressione minima possibile attraverso il contatore (allo scopo di garantire una buona autorità della valvola), mentre dall'altro una debole caduta di pressione causa una diminuzione della precisione della regolazione nella zona inferiore delle portate (figura 50). La differenza dei modelli fabbricati permette tuttavia di trovare soluzioni adeguate.

La lunghezza massima ammissibile dei cavi di raccordo tra il sensore della temperatura e la memoria interna è spesso molto breve (resistenza dei cavi). È questo il motivo per cui la memoria interna è spesso installata, talvolta senza protezione, nelle vicinanze del distributore. In tal caso occorre dedicare un'attenzione del tutto particolare al rischio di sporcizia, nonché al mantenimento della temperatura ambiente tollerata. Nella scelta della memoria interna occorre tener conto di quanto segue:

- la risoluzione adeguata della visualizzazione
- uscite ad impulso, con una risoluzione sufficiente, per portata ed energia.

### Uscite ad impulsi

È stato rammentato a parecchie riprese che gli apparecchi di misura dell'energia dovrebbero per principio essere dotati di un'uscita ad impulsi, sia che essa venga utilizzata immediatamente, sia in previsione di un'utilizzazione futura.

Nella prassi hanno dato buona prova di sé i relé reed e le uscite munite di accoppiatori optoelettronici. Ambedue sono a potenziale zero. Sono sconsigliabili le uscite a transistor, che sono invece sotto tensione, poiché il loro collegamento con un registratore dei dati è notevolmente più critico.

Occorre inoltre dedicare una certa attenzione al grado di risoluzione. La frequenza consigliata per le uscite dovrebbe variare da 0,1 a 1 Hz o, in altre parole, presentare un impulso ogni 1...10 secondi. Attenzione, tuttavia: frequenze di uscita troppo elevate non sono possibili nel caso di contatti a relé.

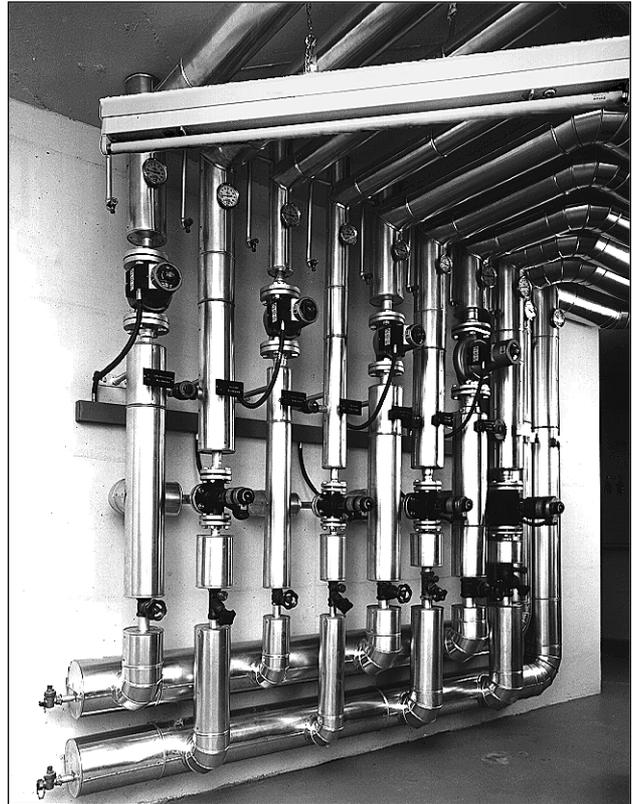
## 5. Tecnica dei circuiti

### 5.1 Problemi di collegamento

Studi effettuati in rapporto con progetti di ricerca, impianti pilota ed impianti di dimostrazione, ottimizzazioni di esercizi, perizie, ecc. giungono sempre alla stessa conclusione: anche gli «impianti pilota» lavorano spesso in modo così difettoso che non si riesce di gran lunga a raggiungere il grado di utilizzazione progettato. La causa è spesso dovuta a problemi di comando, di regolazione ed idraulici. Quanto più complesso è un impianto, tanto maggiori sono le esigenze poste al progettista o alla progettista e tanto maggiore è ovviamente anche il pericolo che più tardi si manifestino difetti. Negli ultimi anni la situazione si è perciò aggravata a causa del fatto che è stata viepiù promossa la costruzione d'impianti con portata variabile, ciò che ne ha aumentato la complessità in modo considerevole. I problemi maggiori si manifestano allorché nuovi impianti di produzione del calore più efficienti sotto l'aspetto energetico devono essere collegati con impianti esistenti i cui livelli di temperatura di ritorno sono elevati - ed è proprio proprio questo caso che si manifesta oggi molto più frequentemente che non, ad esempio, la realizzazione a nuovo di un impianto (figura 51).

È molto raro attualmente reperire documenti che non dipendano da una marca di fabbricazione ben determinata. La scelta di documenti preparati dalle ditte è invece notevolmente maggiore. I documenti prodotti dalle ditte sono bensì più semplici da utilizzare di quanto non lo siano quelli non prodotti dalle ditte stesse, poiché ad un problema di regolazione ben determinato corrisponde ad esempio spesso un regolatore adeguato. In tale caso una progettazione ed una messa a concorso sono praticamente impossibili da realizzare.

Le ditte offrono in modo particolare circuiti secondo il principio delle unità modulari (i cosiddetti progetti a bande): da 5 a 10 «moduli» sono sufficienti per elaborare uno schema che può in seguito essere fotocopiato. La combinazione infinita delle varianti possibili sfocia purtroppo in un vero e proprio filone di soluzioni sempre più difficili da comprendere e da paragonare. È questo il motivo per cui lo sviluppo futuro dovrebbe essere accentrato molto maggiormente su principi di regolazione standardizzati e neutri e, di conseguenza, non dipendenti dai fabbricanti. Questa proposta presenta il grande vantaggio di obbligare i fabbricanti di apparecchi di regolazione ad offrire per gli schemi di raccordo più usuali apparecchi di regolazione compatti e schemi elettrici standardizzati (oggi ciò avviene già per i casi più semplici).



*Figura 51: L'integrazione d'impianti di un livello energetico elevato in sistemi esistenti crea problemi. Si dispone spesso, ad esempio, di distributori ad iniezione muniti di valvole a tre vie che sono causa di una miscelazione di ritorno troppo forte. In tale caso esiste di regola una sola soluzione: la trasformazione mediante valvole passanti!*

**Bibliografia concernente il tema «tecnica dei circuiti»**

Nel fascicolo 5 «Circuiti standardizzati» della presente collana di pubblicazioni «RAVEL nel settore del calore» vengono descritti tre tipi di circuiti standardizzati che possono essere collegati l'uno con l'altro senza problemi:

- impianti di produzione del calore
- impianti per l'utilizzazione del calore
- impianti per il riscaldamento dell'acqua.



Per quanto concerne inoltre il tema «pompe di calore» è inoltre raccomandabile la collezione di circuiti offerta dalla Società svizzera degli ingegneri termici e climatici (SITC). Nella stessa vengono trattati in modo esauriente soprattutto i circuiti degli impianti di produzione del calore.



*Direttiva SITC 92-1: Circuiti idraulici d'impianti di riscaldamento mediante pompe di calore. Berna, Società svizzera degli ingegneri termici e climatici (SITC), 1992 (reperibile presso: SWKI, Postfach, 3001 Bern)*

Riquadro 52

## 5.2 Circuiti standardizzati RAVEL

Sulla base dei problemi summenzionati, RAVEL ha selezionato circuiti che hanno fornito buona prova di sé, riunendoli nel fascicolo 5 «Circuiti standardizzati» della collana di pubblicazioni di cui fa parte il presente volume. In quest'ambito non è importante trattare della standardizzazione dei componenti (ad es. «centrale termoelettrica e di riscaldamento compatta standardizzata»), bensì di una standardizzazione a livello degli impianti.

 *Fascicolo 5 «Circuiti standardizzati» cfr. anche riquadro 52!*

## 5.3 Produzione di calore, accumulatore e distributore decentralizzati

Un problema che si pone continuamente è quello del circuito idraulico con accumulatore, rispettivamente distributore decentralizzato. La figura 53 fornisce spiegazioni chiare sulle varianti più importanti dei circuiti, con una pompa di calore quale produttore di calore.

**Circuito A:** questo circuito non crea problemi poiché la caduta di pressione attraverso l'accumulatore è esigua.

**Circuito B:** l'accumulatore si trova molto lontano dalla pompa di calore e dal distributore. La caduta di pressione  $\Delta p$  attraverso la tubazione a distanza e nell'accumulatore provoca, qualora tale tubazione sia troppo lunga, una variazione insostenibile della differenza di pressione nel collegamento del distributore «senza pressione»; essa è di  $+\Delta p$  durante la carica e di  $-\Delta p$  durante la scarica. Nel caso di un dimensionamento accurato e preciso della valvola di regolazione, secondo l'esperienza è tollerabile una variazione di circa  $\pm 3$  kPa di differenza di pressione massima.

**Circuito C:** un distributore posto a distanza crea problemi poiché in tal caso il distributore «senza pressione» è in realtà soggetto ad una pressione corrispondente alla caduta di pressione nella tubazione a distanza e nel distributore. In questo caso, al contrario di quanto avviene nel circuito B, la variazione della differenza di pressione di raccordo si manifesta soltanto in un senso. Qual è la differenza di pressione massima tollerabile in un raccordo? La risposta sarà la seguente:

- la perdita di carico in ogni valvola di regolazione del distributore deve necessariamente essere maggiore della differenza di pressione nel raccor-

do (autorità della valvola  $\dot{U}$  0,5); nel caso di distributori esistenti la perdita di carico della valvola di regolazione supera in pratica raramente i 3... 5kPa, ossia la differenza di pressione nel raccordo non può certamente essere maggiore.

- La perdita di carico nella tubazione a distanza non deve inoltre superare il 20% della prevalenza della più piccola delle pompe del gruppo.

**Circuito D:** una pompa a distanza ed un by-pass nel distributore non costituiscono purtroppo una soluzione, poiché tale sistema è causa di una miscelazione inammissibile della temperatura di ritorno.

**Circuito E:** questa soluzione può eventualmente essere accettata qualora l'accumulatore venga installato vicino al distributore. In tal caso la perdita di carico del raccordo del distributore è sufficientemente esigua. Occorre tuttavia dedicare un'attenzione particolare a quanto segue:

- la valvola di carico deve essere installata il più vicino possibile alla pompa di calore (nessun tempo morto) e
- la perdita di pressione nella valvola di carico deve essere uguale almeno alla perdita di pressione nella tubazione a distanza e nell'accumulatore (autorità della valvola  $\geq 0,5$ ).

**Circuito F:** una soluzione sempre accettabile è costituita da un distributore ad iniezione con valvole passanti e regolazione della differenza di pressione mediante regolazione del numero di giri della pompa a distanza.

## 5.4 Equilibratura idraulica

Il concetto «equilibratura idraulica» designa qui un'equilibratura tecnica (supplementare). L'equilibratura matematica (calcolo delle regolazioni preliminari) deve oggi essere ammessa come una realtà indiscutibile.

Per la bibliografia specializzata cfr. riquadro 28

È realmente necessaria un'equilibratura idraulica?

Nelle installazioni esistenti nel settore dell'impiantistica vengono rilevati sempre gli stessi difetti:

- erogazione irregolare del calore nei singoli locali.
- Problemi di rumore con le valvole termostatiche.
- Impianti con differenze di temperatura necessariamente elevate (utilizzo di accumulatori, caldaie a condensazione, raccordi di teleriscaldamenti, ecc.) che non corrispondono alle differenze di temperatura prescritte.
- Problemi tecnici di misurazione e di regolazione causati da una portata troppo elevata.

Questi difetti costituiscono bensì un problema generale dell'impiantistica, ma nel caso degli impianti

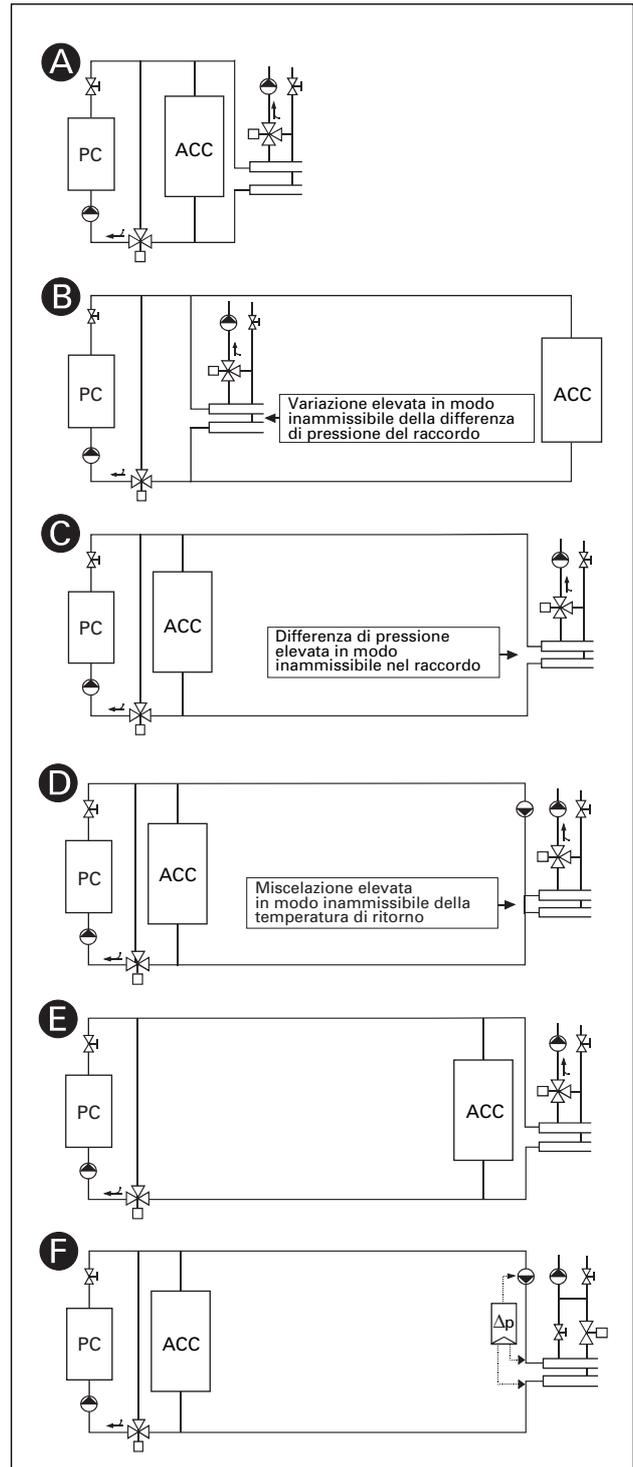


Figura 53: ubicazione del produttore di calore, dell'accumulatore e del distributore.

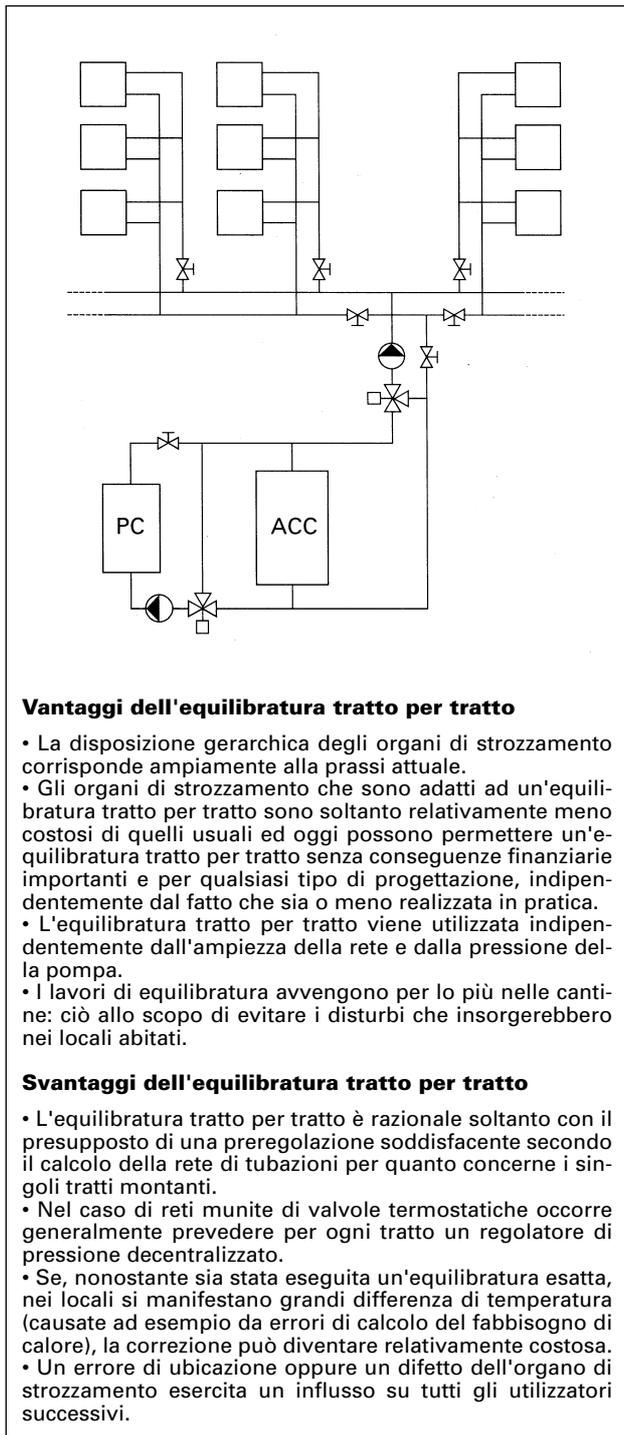


Figura 54: equilibratura tratto per tratto.

PCFC, PC e RDC/UCR essi rappresentano spesso un problema particolarmente importante. Nel caso di queste tecniche efficienti sotto l'aspetto energetico, è perciò indispensabile eseguire un'equilibratura idraulica.

### Equilibratura tratto per tratto

Nel caso dell'equilibratura tratto per tratto, tutti i tratti devono essere muniti di sistemi di strozzamento e se l'equilibratura deve essere effettuata mediante misurazione della portata, devono parimenti essere previsti i segmenti di misurazione necessari. Per l'equilibratura dei tratti si procede gerarchicamente: si comincia dal tratto montante, continuando per quelli laterali e, infine, si termina con quello principale. All'interno di ogni tratto montante viene effettuata un'equilibratura puramente matematica, ossia mediante regolazioni calcolate delle valvole degli elementi riscaldanti o dei raccordi di regolazione. La figura 54 indica l'ordine degli organi di strozzamento di un'equilibratura tratto per tratto in un impianto di pompe di calore con carica stratificata.

### Equilibratura dal lato degli utilizzatori

Nel caso di questa seconda strategia di equilibratura, la pressione è ridotta soltanto negli utilizzatori. Ogni utilizzatore deve quindi essere munito di un sistema di strozzamento adeguato e - nel caso in cui sia necessaria un'equilibratura con misurazione della portata - dei segmenti di misurazione necessari. La figura 55 indica in quale successione sono montati tali organi di strozzamento nel caso di un'equilibratura dal lato degli utilizzatori. Occorre tener conto del fatto che per ogni regolazione di un elemento riscaldante devono essere modificate anche le portate degli elementi riscaldanti già regolati e ciò a causa delle condizioni di pressione variabili nelle tubazioni. Nel caso di questa strategia di equilibratura è quindi necessario che la pompa e la rete corrispondano il più possibile ad una fonte di pressione che reagisca solo in misura minima alle variazioni di portata. Mediante un'utilizzazione adeguata della strategia «equilibratura dal lato degli utilizzatori», con una pompa di 20 kPa possono essere realizzate reti molto estese. Ciò soprattutto quando l'impianto viene dimensionato con valori R medi (perdita di pressione nelle tubazioni diritte) minori di 70 Pa/m.

## 5.5 Direttive concernenti il dimensionamento

Negli ultimi anni sono state fatte numerose esperienze con reti a portate variabili. Esse hanno dimostrato che non si manifestano problemi degni di nota qualora vengano rispettate le direttive concernenti il dimensionamento secondo il quadro 56.

Poiché nella prassi è possibile applicare solo con difficoltà certi valori di riferimento, sono stati in parte fissati anche valori limite. Questi ultimi dovrebbero tuttavia trovare un'applicazione solo in casi eccezionali!

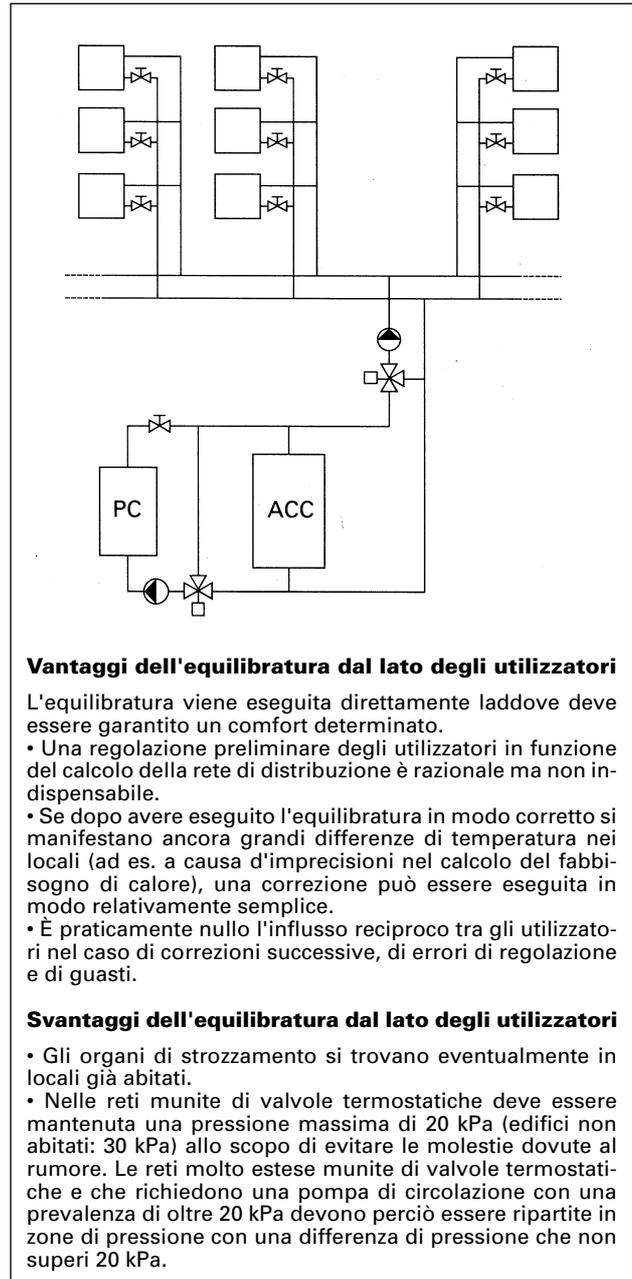


Figura 55: equilibratura dal lato degli utilizzatori.

**Direttive concernenti il dimensionamento**

- Utilizzare soltanto circuiti che si basano chiaramente sui quattro circuiti idraulici fondamentali.
- Non lasciare mai funzionare più di una pompa per ogni circuito idraulico.
- Tener conto di un disaccoppiamento perfetto dei circuiti idraulici, ossia dimensionare in modo generoso i by-pass ed i raccordi degli accumulatori. Gli allacciamenti ai gruppi ed ai distributori «senza pressione» devono in particolare aver luogo con una debole differenza di pressione.
- I produttori di calore, gli accumulatori ed i distributori dovrebbero possibilmente essere installati gli uni in prossimità degli altri, in modo da evitare l'insorgere di molti problemi idraulici.
- Gli accumulatori devono sempre funzionare sul lato secondario e con portate variabili.
- Le variazioni di pressione nell'utilizzatore da 1:2 fino ad un massimo di 1:3 non sono in generale causa di disturbi notevoli. Da ciò risulta per l'autorità dell'utilizzatore:
  - valore di riferimento = 0,3
  - valore limite = 0,5
- Per le valvole di regolazione è consigliata un'autorità della valvola di 0,5. La pratica dimostra tuttavia che valori fino a 0,3 sono ancora tollerabili. Per principio questi valori valgono anche per le valvole termostatiche. Affinché una valvola termostatica che lavora unicamente sulla posizione «aperta/chiusa» non costituisca tuttavia un inconveniente maggiore, per le valvole termostatiche possono essere fissati valori leggermente minori:
 

– valvole di regolazione	valore di riferimento = 0,5
	valore limite = 0,3
– valvole termostatiche	valore di riferimento = 0,3
	valore limite = 0,1
- Per evitare nelle valvole termostatiche l'insorgere di molestie causate dal rumore, nelle stesse deve essere mantenuta la differenza di pressione massima ammissibile seguente:
  - case di abitazione 20 kPa
  - edifici non abitati 30 kPa
- Le reti munite di valvole termostatiche dovrebbero, qualo-

- ra possibile, essere dimensionate in modo che sia possibile installare una pompa di circolazione con una curva caratteristica piatta oppure una pompa a regime regolabile e la cui prevalenza, a portata nulla, sia al massimo di 20 kPa (edifici non abitati: al massimo di 30 kPa). Questo è il presupposto che evita di regola l'insorgere di rumori molesti.
- Se una pompa di 20 kPa (edifici non abitati: 30 kPa) non è sufficiente, occorre installare regolatori della differenza di pressione decentralizzati (ad es. valvole di sovrappressione nei tratti montanti).
- Non posare mai elementi di strozzamento in una pompa, ma ridurre il regime della stessa, cambiare il girante oppure sostituire semplicemente la pompa.
- Per le tubazioni diritte nella bibliografia specializzata vengono consigliate cadute di pressione medie (valori R) variabili da 100 a 200 Pa/m per le distribuzioni usuali e da 200 a 400 Pa/m per i sistemi a tubazione unica, le tubazioni a distanza costose, ecc. Questi valori dovrebbero essere utilizzati solo nel caso di reti convenzionali con portata costante. Per le reti con portata variabile vengono raccomandati i seguenti valori R massimi (comprese le resistenze particolari):
  - valore di riferimento 70 Pa/m
  - valore limite 100 Pa/m
- In pratica oggi non si incontrano quasi mai differenze di temperatura superiori a 5 K tra andata e ritorno. Se è stata eseguita un'equilibratura idraulica accurata è tuttavia possibile raggiungere senza problemi i valori usuali di progettazione oscillanti tra 10 e 20 K. Non è raccomandabile superare i 39 K poiché in tal caso si manifesterebbero nuovi problemi che in parte sarebbero difficili da risolvere. Così i piccoli valori k non sarebbero, se del caso, assolutamente regolabili, oppure il rischio di sporcizia sarebbe molto elevato in caso di portate estremamente esigue (le particelle di sporcizia non verrebbero evacuate). Per il dimensionamento vengono quindi raccomandate le seguenti differenze di temperatura:
  - 10... 15 K per le temperature di andata fino a 50°C
  - 15... 30 K per le temperature di andata da 50 a 90°C

Riquadro 56

## 6. Garanzia della qualità durante le fasi della progettazione

### 6.1 Garanzia della qualità

È dimostrato dall'esperienza - anche se spesso oggetto di discussioni animate, che molte installazioni dell'impiantistica non lavorano come in realtà il progettista, rispettivamente la progettista lo avrebbero desiderato (cfr. concetti nel riquadro 57). In due pubblicazioni RAVEL (riquadro 58, in basso) viene studiato questo tema e vengono indicate le possibilità di migliorare le fasi della progettazione allo scopo di garantire una qualità veramente degna di tale nome. Nell'impiantistica ogni impianto costituisce praticamente un «prototipo». Il problema principale della garanzia della qualità non risiede tanto a livello dei componenti (ad es. omologazione), quanto a livello dell'impianto nella sua totalità. Ciò è ulteriormente aggravato dal fatto che le parti in causa si controllano da sole, cosicché nessuno si assume il vero e proprio ruolo di responsabile principale. Onde porre rimedio a tale situazione, gli autori delle pubblicazioni RAVEL summenzionate richiedono la nomina di un (o di una) **progettista nel settore energetico** qualificato/a e indipendente e ritengono che siano necessari un'ottimizzazione dell'impianto ed un controllo dei risultati (riquadro 58).

Certe regole fondamentali concernenti l'utilizzazione razionale dell'energia devono essere rispettate. Ciò è tuttavia possibile soltanto se la fattispecie viene considerata dapprima come un tutto, ossia nel suo insieme. Le decisioni prese in questa prima fase fissano tutti i punti importanti e, di conseguenza, gli errori commessi durante la stessa si ripercuotono in modo grave sul consumo d'energia e sull'ambiente. Spesso viene trascurata in modo imperdonabile soprattutto la lista delle misure che devono essere adottate imperativamente a livello energetico secondo la figura 59. La progettista o il progettista nel settore energetico devono perciò allestire in modo prioritario un **concetto globale** che serve quale base di un **capitolato d'onori** dettagliato. In quest'ultimo - con la collaborazione di tutti i responsabili della progettazione - vengono fissati i valori di riferimento (quale base della progettazione) ed i valori limite (quali valori di garanzia) che potranno essere verificati durante il controllo dei risultati.

Con la messa in esercizio ed il collaudo la responsabilità dell'impianto passa al committente. Sarebbe tuttavia un errore grave il ritenere che a partire da quel momento l'impianto funzioni già in modo ottimale e non siano più necessarie regolazioni ulteriori: un'adeguata **ottimizzazione dell'esercizio** dell'impianto da parte della progettista o del progettista è indispensabile!

#### Concetti utilizzati

**Progettista:** responsabile in generale del riscaldamento, della ventilazione della climatizzazione degli impianti sanitari elettrici, ecc.

**Progettista nel settore energetico:** responsabile del controllo di qualità nel settore dell'energia.

**Consulente per l'energia:** consiglia il committente per quanto riguarda i problemi energetici (Uffici dell'energia cantonali, Infoenergia, aziende elettriche, ecc.).

Riquadro 57

#### Ottimizzazione dell'esercizio e controllo dei risultati

- Già durante la fase di concezione del progetto verranno previsti gli elementi di controllo e di misurazione indispensabili all'ottimizzazione dell'esercizio ed ai controlli dei risultati. Gli strumenti di misurazione indispensabili, quali i manicotti ad immersione, ecc., figurano nei circuiti standardizzati RAVEL.

 Fascicolo 5 «Circuiti standardizzati»

- La registrazione dei dati d'esercizio necessari viene eseguita su formulari adeguati di preferenza settimanalmente (per un certo tempo eventualmente anche ogni giorno) dal gestore. Il gestore invia in seguito i documenti ogni mese alla progettista, rispettivamente al progettista che analizzerà immediatamente i dati ed ordinerà l'esecuzione di adeguate fasi di ottimizzazione.

- Nel caso d'impianti più complessi e di dimensioni maggiori - e sempre se insorgono problemi - è razionale una registrazione automatica mediante un registratore di dati. Se i segnali necessari a queste registrazioni vengono portati fin dall'inizio ad una morsettiera facilmente accessibile nel quadro elettrico di comando, le spese si manterranno entro limiti ragionevoli.

- Gli impianti pilotati da un computer (comandi con programma memorizzato, dispositivo di comando e di gestione centralizzati) dovrebbero permettere la memorizzazione ed il richiamo dei dati più importanti (ad es. sotto forma di file di dati in ASCII).

- Nel primo periodo di riscaldamento spesso l'impianto non funziona ancora regolarmente (utilizzo incompleta, essiccazione dell'edificio, ecc.); se possibile occorre quindi prevedere per un periodo di due anni una fase di ottimizzazione dell'esercizio con susseguente controllo dei risultati.

- I valori limite (valori di garanzia) ed i valori di riferimento (valori di progettazione) per il controllo dei risultati devono essere fissati in precedenza in un capitolato d'onori.



R. Bühler und H. Meyer: *Betriebsoptimierung und Erfolgskontrolle con Wärmepumpen- und Wärmekraftkopplungsanlagen*. Bern: Impulsprogramm RAVEL, Bundesamt für Konjunkturfragen, 1993. (Bezugsquelle: EDMZ, 3000 Bern, Bestell-Nr 724.397.31.57d)\*  
 U. Steinemann et al.: *Die Bedeutung organisatorischer Fragen für die Planung energetisch guter Gebäude und Haustechnikanlagen*. Bern: Impulsprogramm RAVEL, Bundesamt für Konjunkturfragen, 1993. (Bezugsquelle: EDMZ, 3000 Bern, Bestell-Nr. 724.397.41.57d)\*

\* Non esiste in italiano

Riquadro 58

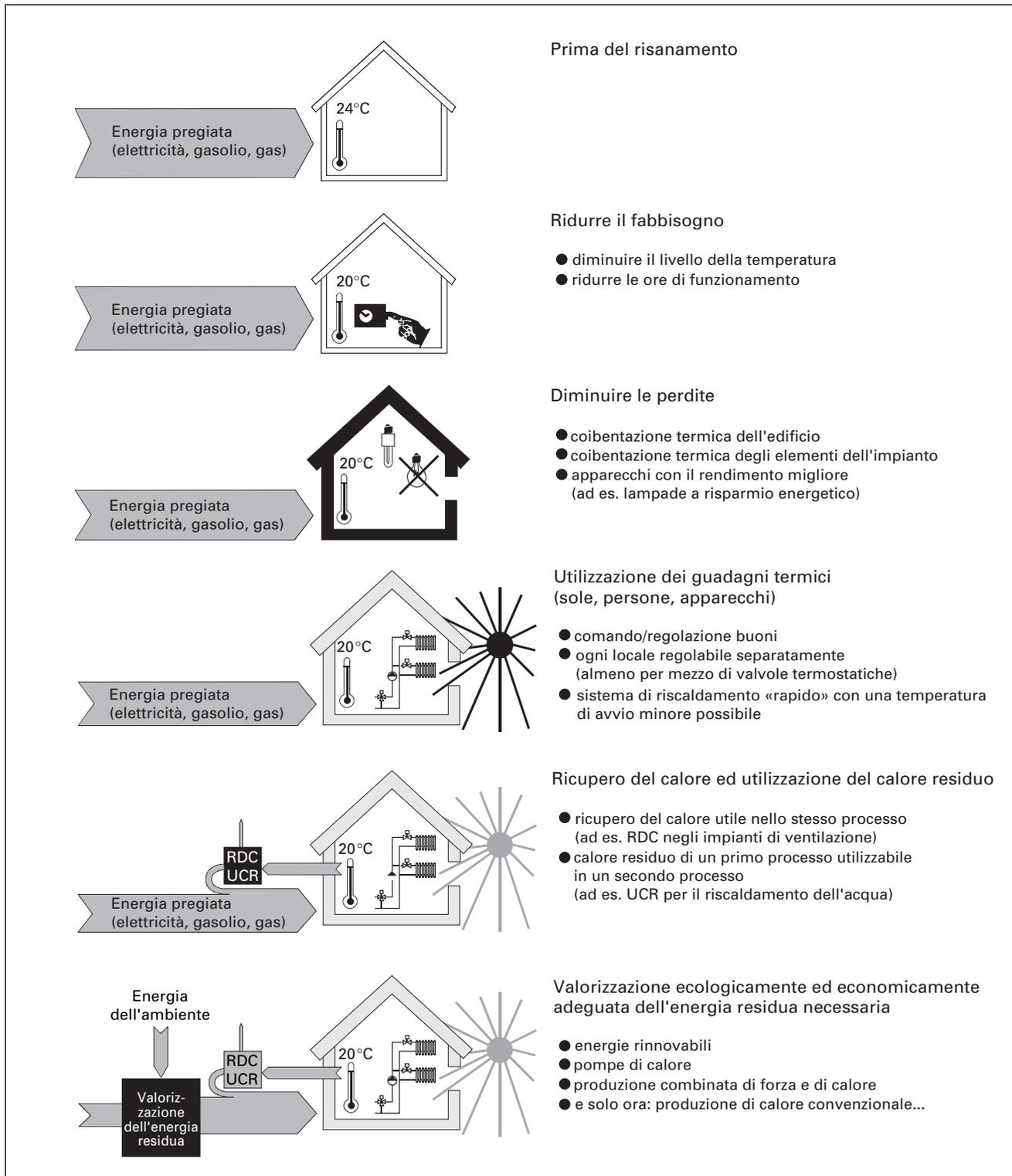


Figura 59: elenco di misure razionali a livello energetico

L'ottimizzazione dell'esercizio terminerà con un controllo dei risultati. A questo scopo occorre tuttavia fissare fin dall'inizio in un capitolato d'onori cosa deve essere controllato e quali valori di garanzia devono essere rispettati; occorre evitare ad ogni costo che le persone da controllare si controllano esse stesse.

## 6.2 Norma di regolazione degli onorari SIA 108

La norma di regolazione degli onorari SIA 108 costituisce la base delle progettazioni nel settore dell'impiantistica. Tale norma fa una distinzione tra le fasi e le prestazioni parziali che sono elencate nella tabella 60. Si tratta qui soprattutto di sapere quali fasi, rispettivamente quali prestazioni parziali sono toccate dalla garanzia di qualità, come devono essere onorate e chi ne è responsabile.

➔ **Il concetto globale ed il capitolato d'onori** verranno classificati nella fase 0 «fase degli studi preliminari». Poiché non vengono definite le prestazioni parziali, l'onorario deve essere calcolato secondo la tariffa oraria oppure in modo forfettario. Nell'ambito di un controllo di qualità autentico, questi lavori dovrebbero essere eseguiti da una o da un progettista nel settore energetico indipendente che eseguirà più tardi anche il controllo dei risultati.

Occorrerà decidere di caso in caso in quale misura il **progetto preliminare** (fase 1) faccia ancora parte o meno del concetto globale e del capitolato d'onori. In ogni modo il **progetto** (fase 2) e al **messa a concorso** (fase 3) sono di competenza della progettista, rispettivamente del progettista.

Dopo la conclusione dei contratti d'appalto si passa alla progettazione dettagliata ed all'**esecuzione** (fase 4). Se il concetto del progetto è chiaro fin dall'inizio, non dovrebbe manifestarsi un maggior numero di problemi che nel caso della costruzione di un impianto convenzionale. In particolare devono essere eseguite accuratamente la regolazione e la messa in esercizio. Poiché si tratta per lo più d'impianti con portate variabili, un'equilibratura idraulica è assolutamente necessaria.

La fattispecie si complica a livello della **fase finale** (fase 5): le rubriche come l'ottimizzazione dell'esercizio ed il controllo dei risultati vengono cercati invano nelle descrizioni delle prestazioni parziali. Il controllo dei risultati potrebbe in ogni caso figurare nella prestazione parziale 15 «lavori in garanzia», nel caso in cui la stessa fosse eseguita dalla progettista o dal progettista stessi.

Fase	Prest. parz.	Descrizione
0		<b>Fase degli studi preliminari</b> Nessuna prestazione parziale definita
1	1 2	<b>Fase del progetto preliminare</b> Progetto preliminare Valutazione dei costi e dei termini
2	3 4 5	<b>Fase di progettazione</b> Progetto di costruzione Preventivo dei costi Procedura d'autorizzazione
3	6 7 8 9	<b>Fase di preparazione all'esecuzione</b> Piani di messa a concorso Messe a concorso Analisi delle offerte Piano delle scadenze
4	10 11 12	<b>Fase d'esecuzione</b> Contratto con impresari e fornitori Documenti concernenti l'esecuzione Direzione dei lavori
5	13 14 15	<b>Fase finale</b> Conteggio finale Documenti d'esercizio Lavori in garanzia



Regolamentazione SIA 108: norma di regolazione per prestazioni ed onorari degli ingegneri meccanici e degli ingegneri elettrotecnici, nonché degli ingegneri specializzati nell'impiantistica. Zurigo: Società svizzera degli ingegneri e degli architetti (SIA), 1984 (reperibile presso: SIA, Postfach, 8039 Zurigo).

Tabella 60: fasi e prestazioni parziali secondo la norma di regolazione degli onorari SIA 108

### Garanzia di qualità per i piccoli impianti

Le medesime regole di garanzia della qualità valgono per principio sia per i piccoli impianti, sia per quelli di dimensioni maggiori. Poiché i piccoli impianti sono meno complessi, l'ottimizzazione dell'esercizio ed il controllo dei risultati non sono troppo costosi; in questo caso, tuttavia, poiché spesso l'esecutore ed il progettista sono contemporaneamente la stessa persona, questo controllo si rivela indispensabile. Sono possibili le seguenti soluzioni più semplici:

- avvalersi della collaborazione di un/una consulente per l'energia per l'allestimento di un capitolato d'onori semplice (valori di riferimento e valori limite, nonché strumenti necessari al loro rilevamento) e per avere una collaborazione per il controllo dei risultati dopo 1...2 anni (stabilire una somma forfettaria per gli onorari!);
- I committenti discretamente esperti nel settore tecnico possono parimenti farsi consigliare in modo adeguato (Uffici dell'energia cantonali, Infoenergia, aziende elettriche, ecc.) ed allestire «in proprio» un capitolato d'onori, eseguendo privatamente, ossia da soli, il controllo dei risultati.

Riquadro 61

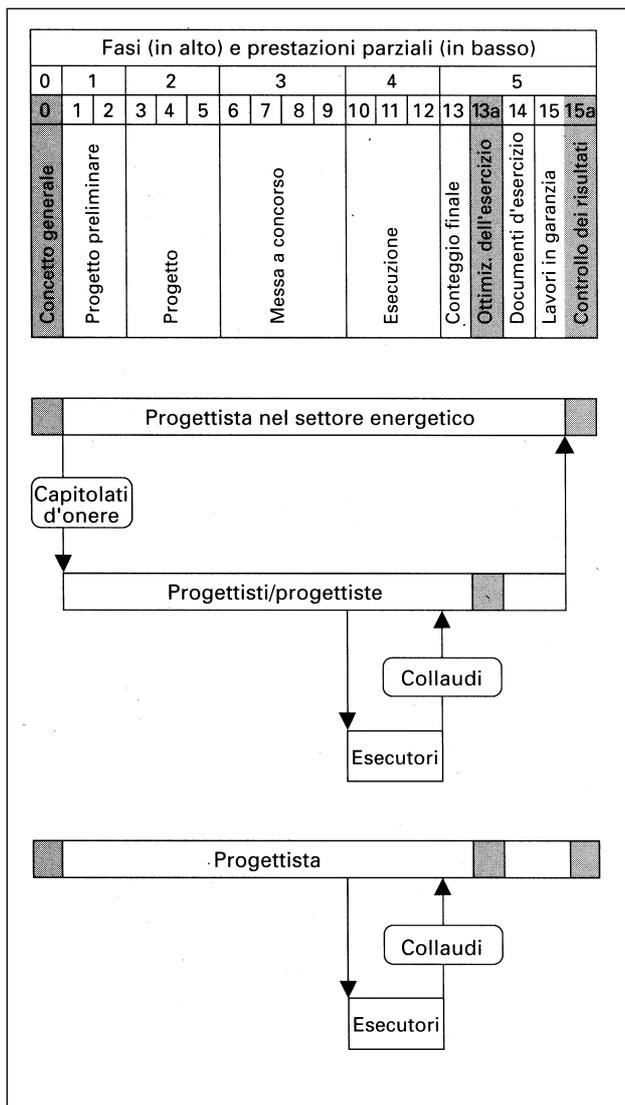


Figura 62: in alto sono rappresentate le fasi della progettazione secondo la norma di regolazione degli onorari SIA 108, in cui sono messe in evidenza in modo speciale le prestazioni parziali 0, 13a e 15a, non ancora regolate. Con la collaborazione di un/una progettista nel settore energetico è possibile parlare di una garanzia di qualità vera e propria (al centro). Se il progettista (o la progettista) allestisce al contrario personalmente il proprio capitolato d'oneri e lo controlla infine pure personalmente, il committente stesso dovrà decidere se vuole o meno accordare intera fiducia al progettista, rispettivamente alla progettista (in basso)

➤ **L'ottimizzazione dell'esercizio** incombe alla progettista, rispettivamente al progettista. Essa non è definita quale prestazione parziale e si può quindi esigere che venga onorata secondo una tariffa oraria oppure in modo forfettario. Occorre qui tener conto del fatto che esiste l'esigenza giuridica di un impianto funzionante in tutto e per tutto e che se tale funzionamento viene garantito senza un'ottimizzazione dell'esercizio, la situazione può diventare estremamente problematica!

➤ Nel caso in cui il **controllo dei risultati** – nel senso di una garanzia della qualità – venga eseguito da un/una progettista nel settore energetico, professionalmente indipendente, esso non fa parte delle prestazioni parziali e deve quindi venire onorato secondo una tariffa oraria oppure in modo forfettario. Qualora a causa di difetti fossero necessarie revisioni, esse sarebbero totalmente a carico del responsabile.

## 7. Redditività

### 7.1 Problemi d'intesa

I progettisti e le progettiste nel settore dell'impiantistica non sono specialisti di problemi economici e gli economisti non lo sono nel settore particolare dell'impiantistica. Ciò è sempre e di nuovo causa del manifestarsi di problemi d'intesa:

- gli specialisti dell'impiantistica mancano d'esperienza per quanto concerne i rapporti ed i metodi di calcolo nel settore economico
- gli specialisti del settore economico fanno semplicemente un paragone tra i risparmi d'energia e gli investimenti supplementari necessari, ma non si preoccupano affatto di sapere come tali cifre siano state ottenute, né quali vantaggi ciò rappresenti per la protezione dell'ambiente.

Il manuale per i calcoli della redditività «RAVEL è conveniente» (riquadro 63) intende contribuire a migliorare un poco la comprensione reciproca; mediante un metodo di calcolo unitario deve essere raggiunta la trasparenza per ambedue le parti.

Gli specialisti dell'impiantistica dovranno prestare soprattutto attenzione al fatto che la realizzazione delle grandezze «risparmio energetico» e «investimenti supplementari» può aver luogo anche ulteriormente. Ciò sarebbe più facilmente possibile qualora si facesse il paragone tra due casi completamente calcolati, come ad esempio:

- situazione anteriore – situazione posteriore (risanamento) – impianto progettato – impianto di paragone fittizio (nuova costruzione).

Il lato utile costituito dal rispetto dell'ambiente deve essere, per quanto possibile, fatto risaltare perfettamente, soprattutto nel caso delle tecniche qui trattate, efficienti sotto l'aspetto energetico!

### 7.2 Redditività ragionevolmente esigibile

La redditività viene di regola accertata già al momento della scelta del sistema. In tal caso le tecniche di produzione del calore efficienti sotto l'aspetto energetico hanno una possibilità di essere realizzate soltanto qualora siano redditizie. Per essere qualificato come «redditizio», un impianto deve almeno essere in grado di compensare, durante la propria durata di vita, mediante risparmi d'energia oppure con una produzione d'energia supplementare, l'investimento ulteriore che ha causato.

A ciò si aggiunge il problema dell'ordine di successione delle misure. Un impianto per la produzione combinata di forza e di calore può ad esempio essere molto redditizio qualora tutta l'energia prodotta

#### Calcolo unitario della redditività nel programma d'impulso RAVEL



*Müller, André e Felix Walter: RAVEL è conveniente. Guida pratica per i calcoli della redditività. Berna, programma d'impulso RAVEL, Ufficio federale dei problemi congiunturali, 1994. Reperibile presso: UCFSM, 3000 Berna, numero di ordinazione 724.397.42.01i*

Questa pubblicazione descrive una procedura dinamica, facile da utilizzare e che sfocia in risultati non alterati (metodo delle annualità). Contemporaneamente si può tener conto anche di eventuali aspetti fiscali e viene proposto un metodo per prendere in considerazione i costi causati dal rispetto dell'ambiente. Per il calcolo «manuale» sono a disposizione numerose tabelle. È tuttavia possibile anche l'utilizzazione di un foglio elettronico; ivi vengono indicate le formule necessarie per i programmi più usuali.

Riquadro 63

Riquadro 58

**Lavori e studi preliminari**
**Nuovo impianto:**

- concetto globale per il corpo della costruzione e l'impiantistica
- valutazione del fabbisogno di potenza calorifica e di corrente elettrica
- allestire una lista delle fonti di calore e degli utilizzatori del calore nell'edificio ed intorno allo stesso, da allestire secondo il luogo, l'ora, la quantità e la temperatura
- concetto per la distribuzione del calore e l'emissione del calore
  - comando, regolazione
  - sistema di erogazione del calore
- definizione dei vettori energetici disponibili
  - elettricità
  - gas (gas naturale, gas liquido, biogas)
  - gasolio
  - legna ad uso energetico (legna a pezzi, minuzoli, trucioli)

**Risanamento:**

- misure a livello d'esercizio, dell'edificio, degli apparecchi
  - ridurre il fabbisogno
  - diminuire le perdite
- registrazione dei dati concernenti l'esercizio (manualmente/registratore di dati)
- fabbisogno di potenza calorifica (curva caratteristica dell'energia)
- temperature di erogazione del calore (curve termiche)
- fabbisogno di elettricità (curve di carico)
- allestire una lista delle fonti di calore e degli utilizzatori del calore nell'edificio ed intorno allo stesso, da allestire secondo il luogo, l'ora, la quantità e la temperatura
- concetto di risanamento per la ripartizione del calore e per l'erogazione dello stesso
  - regolazione per ogni singolo locale, valvole termostatiche – ottimizzazione delle pompe e dei ventilatori
  - ampliamento eventuale delle superfici di riscaldamento
- definizione dei vettori energetici disponibili
  - elettricità
  - gas (gas naturale, gas liquido, biogas)
  - gasolio
  - legna ad uso energetico (legna a pezzi, minuzoli, trucioli)

Riquadro 39

venga utilizzata. Lo stesso impianto può tuttavia sembrare non redditizio qualora vengano adottate misure supplementari di risparmio energetico, poiché il consumo di calore e di corrente elettrica diventa insufficiente per l'ampiezza dell'impianto.

Per tecniche efficienti sotto l'aspetto energetico in futuro si dovrebbe tener conto maggiormente del criterio della «redditività ragionevolmente esigibile». Numerosi progetti, favorevoli ad una produzione di calore redditizia sotto l'aspetto energetico, potrebbero corrispondere appieno al criterio summenzionato, qualora la nozione di utilizzazione dell'ambiente fosse valutata nel giusto modo e considerata nel senso di una «redditività globale».

### 7.3 Procedimento

Come si riconoscono gli impianti che presentano presupposti favorevoli per un'utilizzazione presumibilmente redditizia delle tecniche efficienti sotto l'aspetto energetico? La risposta è molto semplice: invertendo l'onere della prova. Non deve essere dimostrata la redditività in senso stretto, bensì la scelta del sistema stesso deve dimostrare quali tecniche efficienti sotto l'aspetto energetico non sono redditizie.

A questo scopo sono necessari diversi lavori e diversi studi preliminari che sono riuniti nel riquadro 64. Sulla base di tali dati fondamentali è allora possibile determinare quale di queste tecniche di produzione del calore offrirà, in una data circostanza, predisposizioni favorevoli ad un rendimento economico o economicamente accettabile. Le tecniche di produzione del calore che non possono essere eliminate d'ufficio a causa di condizioni sfavorevoli verranno sottoposte ad un esame di redditività molto severo e, in seguito, incorporate nella scelta di un sistema dopo averne studiato l'impatto sull'ambiente.

 *Numerosi esempi di calcoli della redditività sono contenuti nei fascicoli da 2 a 4 specifici per questo tema*

# Denominazioni, simboli, abbreviature

## Denominazioni e simboli

Amplificazione elettrotermica [-]	AET	Energia, in gen. [J, MJ, Ws, kWh]	W
Autorità della valvola [-]	AV	Entalpia [J/kg, kJ/kg, kWh/kg]	h
Autorità dell'utilizzazione [-]	AU	Fattore di correzione, in gen. [-]	f
Capacità dell'accumulatore [kWh]	$Q_{ACC}$	Fattore di potenza, coseno phi [-]	$\cos\phi$
Capacità termica, spec. [J/kgK, kWh/kgK]	C	Fattore di utilizzazione [-]	$f_u$
Coefficiente di lavoro annuo [-]	CLA	Flusso di massa [kg/s, kg/h]	$\dot{m}$
Coefficiente di rendimento [-]	$\epsilon$	Flusso di massa mezzo refrigerante [kg/s, kg/h]	$\dot{m}_{MR}$
Coefficiente di rendimento, ciclo di Carnot [-]	$\epsilon_c$	Flusso termico [W, kW]	$\dot{m}$
Coefficiente di rendimento della pompa di calore [-]	$\epsilon_{PC}$	Flusso volumetrico [l/s, l/h, m <sup>3</sup> /h]	V
Coefficiente di rendimento macchina frigorifera [-]	$\epsilon_{MF}$	Frequenza di commutazione, massima [1/h]	$n_{MAX}$
Coefficiente k (coefficiente di trasmissione del calore) [W/m <sup>2</sup> K]	k	Grado di rendimento, di Carnot [-]	$\eta_c$
Coefficiente $k_v$ (coefficiente di portata) [m <sup>3</sup> /h]	$k_v$	Grado di utilizzazione [-]	$\eta$
Coefficiente $k_{vs}$ (valore categorico per valvola aperta) [m <sup>3</sup> /h]	$k_{vs}$	Grado di utilizzazione annuale della caldaia [-]	$\eta_{GA,a}$
Consumo di combustibile dell'impianto della caldaia [kWh]	$W_{ICA}$	Grado di utilizzazione, rendimento [-]	$\eta$
Consumo di energia comando/regolazione [kWh]	$W_{CR}$	Indice dell'energia [MJ/m <sup>2</sup> ]	E
Consumo di energia del compressore [kWh]	$W_{PC}$	Indice della corrente elettrica [-]	s
Consumo di energia del riscaldamento carter [kWh]	$W_C$	Mandata [l/s, l/h, m <sup>3</sup> /h]	V
Consumo di energia della pompa del condensatore [kWh]	$W_{P,CON}$	Massa [kg]	m
Consumo di energia della pompa dell'evaporatore [kWh]	$W_{PEV}$	Percent. potenza caduta pressione condensatore [kW]	$P_{CON}$
Consumo di energia dell'impianto di sbrinamento [kWh]	$W_S$	Percent. potenza caduta pressione evaporatore [kW]	$P_{EV}$
Consumo supplementare di energia dell'impianto della caldaia [kWh]	$W_{ICA,EA}$	Perdite di calore impianto di accumulazione [kWh]	$\dot{Q}_{IACC}$
Contenuto dell'accumulatore [m <sup>3</sup> ]	$V_{ACC}$	Portata condensatore [m <sup>3</sup> /h]	$V_{CON}$
Corrente anergica [W, kW]	$\dot{Q}_a$	Portata, flusso di massa [kg/s, kg/h]	$\dot{m}$
Corrente d'esercizio, massima [A]	$I_{MAX}$	Portata, flusso volumetrico [l/s, l/h, m <sup>3</sup> /h]	V
Corrente di avviamento [A]	$I_{AVV}$	Potenza apparente [VA, kVA]	$P_a$
Corrente di blocco [A]	LRA	Potenza assorbita comando/regolazione [kW]	$P_{CR}$
Corrente elettrica [A]	I	Potenza assorbita compressore [kW]	$P_{PC}$
Corrente exergetica [W, kW]	$\dot{Q}_a$	Potenza assorbita impianto di sbrinamento, media [kW]	$P_{IS}$
Coseno phi [-]	$\cos\phi$	Potenza assorbita nel caso di dati normalizzati [kW]	$P_{NT}$
Costante di tempo [s, h]	t	Potenza assorbita pompa [kW]	$P_{pompa}$
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho$	Potenza calorifica, in gen. [W, kW]	Q
Differenza di pressione [Pa, kPa]	$\Delta p$	Potenza calorifica pompa di calore [kW]	$Q_{PC}$
Differenza di pressione a valvola aperta [Pa, kPa]	$\Delta p_v, 100$	Potenza idraulica [kW]	$P_{idraul.}$
Differenza di pressione a valvola chiusa [Pa, kPa]	$\Delta p_v, 0$	Potenza reale [W, kW]	P
Differenza di pressione su portata variabile [Pa, kPa]	$\Delta p_{var}, 100$	Potenza reattiva [var, kvar]	$P_r$
Differenza di temperatura [K]	$\Delta\vartheta, \Delta T$	Potenza, calore [W, kW]	Q
Differenza di temperatura A-R nel punto di bivalenza [K]	$\Delta\vartheta_{bivalenza}$	Potenza, in gen. [W, kW]	P
Differenza di temperatura A-R nel punto di dimensionamento [K]	$\Delta\vartheta_{dimens.}$	Potenzialità calorifica del condensatore [kW]	$\dot{Q}_{PC}, \dot{Q}_{PCON}$
Differenza di temperatura, logaritmica media [K]	$\Delta\vartheta_m$	Potenzialità refrigerante della macchina frigorifera [kW]	$\dot{Q}_{MF}$
Differenza di temperatura nel condensatore [K]	$\Delta\vartheta_{CON}$	Potere calorifico, inferiore [kWh/kg, kWh/m <sup>3</sup> ]	$H_u$
Durata di funzionamento [h]	$t_f$	Potere calorifico, superiore [kWh/kg, kWh/m <sup>3</sup> ]	$H_o$
Energia ausiliaria [MJ, kWh]	$W_a$	Pressione [Pa, kPa]	p
		Prevalenza [mWS, Pa, kPa]	H
		Quantità di calore impianto produzione calore [kWh]	$Q_{IPCAL}$
		Quantità di calore, in gen. [J, MJ, Ws, kWh]	Q
		Quantità di calore pompa di calore [kWh]	$Q_{PC}$
		Quantità di calore, spec. [MJ/m <sup>3</sup> , kWh/m <sup>3</sup> ]	q
		Rendimento [-]	$\eta$
		Rendimento della pompa [-]	$\eta_{pompa}$
		Rendimento della temperatura [-]	$\eta_{\vartheta\eta}$

Rendimento della temperatura [-]	η <sub>θ</sub>
Rendimento dell'entalpia [-]	η <sub>h</sub>
Rendimento dell'umidità [-]	η <sub>x</sub>
Rendimento exergetico [-]	η
Resistenza [Ω]	R
Ricambio d'aria [-]	R <sub>A</sub>
Ricupero d'energia [MJ, kWh]	R <sub>E</sub>
Ricupero d'energia netto [MJ, kWh]	R <sub>EN</sub>
Superficie [m <sup>2</sup> ]	A
Temperatura [°C]	θ
Temperatura assoluta [K]	T
Temperatura d'inserimento [°C]	θ <sub>INS</sub>
Temperatura d'uscita condensatore [°C]	θ <sub>UCON</sub>
Temperatura d'uscita condensatore, massima [°C]	θ <sub>CON,MAX</sub>
Temperatura d'uscita evaporatore, minima [°C]	θ <sub>EV,MIN</sub>
Temperatura di andata [°C]	θ <sub>A</sub>
Temperatura di carica [°C]	θ <sub>carica</sub>
Temperatura di condensazione [°C]	θ <sub>condensazione</sub>
Temperatura di condensazione, massima [°C]	θ <sub>condensazione,MAX</sub>
Temperatura di disinserimento [°C]	θ <sub>DISINS</sub>
Temperatura di evaporazione [°C]	θ <sub>evaporaz.</sub>
Temperatura di evaporazione, minima [°C]	θ <sub>evaporaz.,MIN</sub>
Temperatura di ritorno [°C]	θ <sub>R</sub>
Tempo [s,h]	t
Tensione [V]	U
Umidità, assoluta [g/hg]	x
Umidità, relativa [%]	φ
Velocità [m/s]	v
Volume [l, m <sup>3</sup> ]	V

**Riferimenti**

Mezzo produttore di calore	1_
Mezzo assorbente calore	2_
Entrata	-1
Uscita	-2
Chiuso (0%)	0
Aperto (100%)	100

**Abbreviature**

Accumulatore	ACC
Acqua calda	AC
Andata	A
Aria di alimentazione	AA
Aria di smaltimento	AS
Aria esterna	AE
Aria riciclata	AR
Aria viziata	AV
Caldaia	CA
Comando/regolazione	CR
Combustibile	COMB
Condensatore	CON
Distribuzione del calore	DC
Elemento riscaldante	ER
Elettrico	el
Entrata	E
Erogazione del calore	EC
Esterno	est

Evaporatore	EV
Fonte	F
Fonte di calore	FC
Generatore di forza e di calore compatto	GFCC
Impianto degli accumulatori	IACC
Impianto delle caldaie	ICA
Impianto di fonti di calore	IFC
Impianto di pompe di calore	IPC
Impianto di produzione del calore	IPCAL
Impianto di riscaldamento	IR
Impianto di riscaldamento con pompe di calore	IRPC
Impianto di sfruttamento del calore	ISC
Interno	int
Macchina refrigerante	MF
Mezzo refrigerante	MR
Pompa	P
Pompa di calore	PC
Produzione combinata di forza e di calore	PCFC
Ricupero del calore	RDC
Riscaldamento tramite pavimento	RTP
Ritorno	R
Superficie di riferimento energetico	SRE
Termico	term
Totale	TOT
Trasferimento	TRASF
Uscita	USC
Utilizzatore	U
Utilizzazione del calore residuo	UCR
Valore massimo	MAX
Valore minimo	MIN
Valore nominale	N
Valore nominale	N
Valore reale	Veff
Valvola	V
Valvola a farfalla	VAF
Valvola termostatica	VT
Variabile	var

# Indice analitico

- Abbreviature, 57  
 Accumulatore, 46  
 Accumulatore termico, 24  
 Amplificazione elettrotermica, 7; 15; 19; 22  
 Analisi approfondita, 27  
 Analisi approssimativa, 27  
 Anergia, 12  
 Apparecchi a numero di giri variabile, 38  
 Apparecchi a ritardo di fase, 38  
 Autorità dell'utilizzatore, 33; 34; 50  
 Autorità della valvola, 30; 34; 43; 50  
 Azionamento mediante calore, 23  
 Azionamento mediante elettricità, 23  
 Bibliografia, 8; 29; 46; 51; 53; 55  
 Bilancio dell'energia in Svizzera, 5  
 Caldaia per la copertura del carico di punta, 24  
 Calore ambiente, 12  
 Calore di processo, 5  
 Calore per il riscaldamento, 12  
 Capitolato d'oneri, 51; 53  
 Carnot, Nicolas L. Sadi (1796-1832), 9  
 Centrale termoelettrica e di riscaldamento combinata, 14; 23  
 Circuiti fondamentali, idraulici, 29; 31  
 Circuiti idraulici fondamentali di distribuzione, 29; 31  
 Circuiti standardizzati, 46  
 Circuito a strozzamento, 29  
 Circuito ad iniezione con valvola a tre vie, 29  
 Circuito ad iniezione con valvola passante, 29  
 Circuito di distribuzione a rinvio, 29  
 Circuito di miscelazione, 29  
 Coefficiente di lavoro annuo, 22  
 Coefficiente di rendimento della macchina frigorifera, 10  
 Coefficiente di rendimento della pompa di calore, 10  
 Coefficiente di rendimento di Carnot, 9; 13  
 Coefficiente di rendimento, 13; 21  
 Collana «RAVEL nel settore del calore», 8  
 Committente, 54  
 Compressione, 10  
 Concetto globale, 51; 53  
 Condensazione, 10  
 Consulente per l'energia, 51  
 Consumo d'energia, 25  
 Consumo di corrente elettrica delle pompe, 25  
 Consumo di corrente elettrica delle pompe, 35  
 Contatore del gas, 42  
 Contatore di elettricità, 41  
 Contatore termico, 43  
 Contatori del freddo, 23  
 Controllo dei risultati, 51; 53; 54  
 Convertitore di frequenza, 38  
 COP, 21  
 Curva caratteristica della rete, 33  
 Curva caratteristica della valvola, 32  
 Curva caratteristica delle pompe, 32  
 Curva caratteristica di base a percentuale identica, 30  
 Curva caratteristica di base di una valvola di regolazione, 30  
 Curva caratteristica di base lineare, 30  
 Curva caratteristica inclinata della pompa, 37  
 Curva caratteristica negativa della pompa, 38  
 Curva caratteristica piatta delle pompe, 37  
 Decreto sull'energia, 27  
 Denominazioni, 57  
 Diagramma pressione-entalpia, 9  
 Differenza di pressione, 30; 36  
 Differenza di temperatura andata/ritorno, 50  
 Direttive concernenti il dimensionamento, 49; 50  
 Distributore ad iniezione con valvole a tre vie, 45  
 Distributori senza pompa principale, 35  
 Distributori, 46  
 Efficacia, 6; 11; 12  
 Energia connessa con la chimica, 12  
 Energia elettrica, 12  
 Energia meccanica, 12  
 Energia primaria, 5  
 Entalpia, 9  
 Equilibratura dal lato degli utilizzatori, 48  
 Equilibratura idraulica, 47  
 Equilibratura tratto per tratto, 48  
 Errori di misurazione di un contatore termico, 44  
 Espansione, 10  
 Evaporazione, 10  
 Exergia, 12; 13  
 Fabbisogno di calore annuale, 24  
 Fabbisogno di potenza calorifica, 24  
 Fasi di progettazione, 51  
 Fattori di valutazione, 13; 14  
 Formule empiriche per fattori di valutazione, 13  
 Formule importanti, 29  
 Funzionamento della pompa nel caso di portata nulla, 40  
 Garanzia della qualità, 51  
 Gas naturale, 42  
 Gasolio, 42  
 Generatore di forza e di calore compatto con motore a gas, 23  
 Generatore di forza e di calore compatto con turbina a gas, 23  
 Generatore di forza e di calore compatto, 7; 14; 22  
 Grado d'utilizzazione annuale, 24  
 Grado di qualità, 13  
 Grado di utilizzazione annuale ponderato, 25  
 Grado di utilizzazione, 24  
 Idraulica, 29  
 Impianto d'emergenza per l'aria, 15  
 Impianto elettrogeno di emergenza, 24

- Impianto solare, 15  
Indice della corrente, 25  
Leggi concernenti l'utilizzazione dell'energia, cantonali, 27  
Macchina refrigerante, 9; 11  
Mandata, 32  
Mezzo refrigerante, 9  
Misurazione dell'energia, 41  
Misure di promovimento e di sostegno, 27  
Motori termici, 9; 11  
Norma di regolazione degli onorari SIA, 53  
Norma di regolazione degli onorari, 53  
Ordine di successione delle misure, 52  
Ottimizzazione dell'esercizio, 51; 54  
Piccolo generatore di forza e di calore compatto, 23  
Pompa di calore a compressione, 20  
Pompa di calore acqua-acqua, 20  
Pompa di calore ad assorbimento, 20  
Pompa di calore aria-acqua  
Pompa di calore salamoia-acqua, 21  
Pompa di calore, 6; 9; 11; 12; 14; 15; 18; 19  
Pompa di circolazione a numero di giri variabile, 38  
Pompa di circolazione, 35; 50  
Pompa, 35; 50  
Pompe di calore con motore a gas, 14  
Portata nulla, 40  
Portata, 30; 36  
Potenza della pompa, 30  
Potenza motrice, 36  
Potere calorifico del gas naturale, 42  
Potere calorifico del gasolio, 42  
Prevalenza, 32  
Primo principio della termodinamica, 11  
Principi della termodinamica, 11  
Problemi di collegamento, 45  
Problemi di rumore, 35  
Processo ciclico di Carnot, 9; 12  
Processo ciclico, 9  
Produzione combinata di forza e di calore, 7; 22  
Produzione di anidride carbonica, 25  
Produzione di corrente elettrica nel rispetto dell'ambiente, 25  
Progettista nel settore energetico, 51  
Progettista, 51  
Pubblicazioni del settore «calore», 8  
Redditività, 55  
Regolazione della differenza di pressione, 39; 40; 50  
Rendimento della temperatura, 19  
Rendimento delle pompe, 36  
Rendimento di Carnot, 9; 13  
Rendimento exergetico, 13  
Rendimento, 13; 36  
Ricupero del calore, 6; 15; 17  
Riferimenti, 57  
Riscaldamento dell'acqua mediante elettricità, 5  
Riscaldamento dell'acqua, elettrico, 5  
Riscaldamento mediante resistenze elettriche, 5; 13; 14  
Scaldacqua con pompa di calore, 21  
Scambiatore di calore a fluido intermedio, 17  
Scambiatore di calore a rotazione, 18  
Scambiatore di calore, 32  
Scambiatori di calore a piastre, 17  
Secondo principio della termodinamica, 11  
Simboli, 57  
Sistema di emissione del calore a bassa temperatura, 20  
Stato della tecnica, 14  
Strategia con produzione di corrente elettrica mediante energia fossile, 26  
Strategia di protezione dell'ambiente, 26; 27  
Strategie, 25  
Tecnica dei circuiti, 45  
Tecniche di produzione del calore, 14  
Teleriscaldamento, 6  
Trasformazione dell'energia, 9; 14  
Tubazione a distanza, 40  
Turbina a vapore, 11  
Unità, 57  
Uscita ad impulsi, 44  
Utilizzatore, 33  
Utilizzazione del calore residuo, 6; 15; 17  
Valore R, 50  
Valvola a tre vie, 29  
Valvola di regolazione, 29  
Valvola passante, 29  
Valvola termostatica, 34; 39; 50  
Valvola, 29  
Veicolo elettrico leggero, 15