

Cogenerazione

**Progettare, costruire e gestire in modo efficiente
un generatore di forza e di calore
con motore a gas**

**RAVEL nel settore del calore
Fascicolo 4**

«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 e utilizzazione del calore residuo», «Pompe di calore», nonché «Cogenerazione» – le progettiste ed i progettisti possono formarsi ulteriormente in questo promettente settore. 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, 3000 Berna.

Fascicolo 1: Elettricità e calore - Basi e correlazioni
(n. di ordinazione 724.357)

Fascicolo 2: Ricupero del calore
ed utilizzazione del calore residuo
(n. di ordinazione 724.355)

Fascicolo 3: Pompe di calore
(n. di ordinazione 724.356)

Fascicolo 4: Cogenerazione
(n. di ordinazione 724.358)

Fascicolo 5: Circuiti standardizzati
(n. di ordinazione 724.359)



Osservazioni importanti



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



Bibliografia specializzata



Indicazioni concernenti i programmi per PC



Casi pratici in 9 parti



*Denominazioni, simboli ed
abbreviature a pagina 58*

Indice Indice analitico alle pagine 59/60

Autori

Hanspeter Eicher, Dr. Eicher + Pauli AG
Oristalstrasse 85, 4410 Liestal

Jürg Weilenmann, Dr. Eicher + Pauli AG
Hirschmattstrasse 16, 6003 Lucerna

Redazione e veste tipografica

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

Grafica

Monica Ehrat, 8240 Thayngen

Associazione responsabile

Schweizerischer Fachverband für Wärmekraftkopplung (WKK), Bodenackerstrasse 19, 4410 Liestal

Patronato

Società svizzera degli ingegneri consulenti per l'impiantistica e l'energia (SBHI), Ittigen – Unione svizzera dei consumatori d'energia dell'industria e degli altri settori economici (EKV), Basilea – Società degli ingegneri termici e climatici (SITC), Berna – Associazione svizzera dell'industria del gas (VSG), Zurigo – Unione delle centrali svizzere di elettricità (UCS), Zurigo – Associazione svizzera delle imprese di riscaldamento e aerazione (ASIRA), Zurigo

Commissione associata

H. U. Bruderer (Saurer Thermotechnik AG, WKK-Fachverband) – Ch. Erb (Dr. Eicher + Pauli AG) – E. Längin (EBM) – E. Nussbaumer (ADEV) – P. Renaud (Planair, traduzione in lingua francese) – G. Schäfer (EBM) – A. Spalinger (IWB) – M. Stadelmann (VSG) – R. Uetz (Infoenergie) – Th. Wälchli (EBM)

ISBN 3-905251-09-4

Edizione originale: ISBN 3-905233-16-9

Copyright © Ufficio federale dei problemi congiunturali,
3003 Berna, maggio 1994

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),
3000 Berna (n. di ordinazione 724.358 i)

Form. 724.358 i 10.95 500 U27610

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

riceve 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), 3000 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 Böhi, 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

1. Tecnica	5	3.4 Calcolo della redditività	29
1.1 RAVEL e la produzione combinata di forza e di calore	5	Metodi di calcolo	30
1.2 Concetti, sistematica	5	Periodo d'esame	31
1.3 Generatori di forza e di calore funzionanti con motore a gas	5	Piano dei costi di costruzione	31
Motore λ 1 con catalizzatore	6	Tasso d'interesse del capitale	31
Motore λ 1 con retroazione dei gas di scarico e catalizzatore	6	Costi del capitale	31
Motore a miscela povera	7	Tasso d'inflazione	31
1.4 Generatori di forza e di calore funzionanti con motore diesel	7	Costi ed utili dell'energia	32
1.5 Generatori di forza e di calore funzionanti con turbine a gas	8	Rincaro dell'energia	32
1.6 Impianti ad energia totale	8	Costi di manutenzione	32
1.7 Pompe di calore con motore a gas e motore diesel	9	Costi di produzione del calore	34
1.8 Tecniche speciali	10	3.5 Componenti ulteriori	34
Condensazione dei gas di scarico nei GFC con motore a gas	10	Impianto di caldaie per la copertura del carico di punta	34
Recupero del calore residuo irradiato	10	Impianto di accumulazione	35
Condensazione dei gas di scarico e/o recupero del calore residuo irradiato?	11	4. Compatibilità con l'ambiente	36
Raffreddamento in circuito a pressione	11	4.1 Criteri di valutazione	36
Produzione di vapore a bassa pressione	11	4.2 Utilizzazione dell'energia ed emissioni di CO ₂	36
1.9 Tendenze future	11	4.3 Emissioni di sostanze nocive	37
Generatori di forza e di calore funzionanti con motore a gas	11	GFC con motore a gas e catalizzatore a tre vie	37
Generatori di forza e di calore funzionanti con motore diesel	12	Turbine a gas con denitrurazione	38
Generatori di forza e di calore funzionanti con motore Stirling	12	4.4 Valutazione comparativa	38
Pila a combustione	12	5. Indicazioni per la progettazione	39
2. Possibilità di utilizzazione	13	5.1 Fasi di progettazione	39
2.1 Settori di utilizzazione	13	Chiarimento preliminare	39
Settore delle prestazioni di servizio	13	Studio della possibilità di realizzazione	39
Settore delle abitazioni	13	Concetto globale con capitolato d'onori	39
Interconnessione di riscaldamento	14	Progetto e pianificazione dell'esecuzione	40
Settore industriale	14	Ottimizzazione dell'esercizio e controllo dei risultati	40
2.2 Concetto dell'energia	15	5.2 Gruppo GFC	40
Produzione combinata di forza e di calore quale elemento di un concetto dell'energia	15	Centrale di riscaldamento	40
Impianti per la produzione combinata di forza e di calore utilizzati per la sola produzione di calore	15	Istallazione	40
Impianti per la produzione combinata di forza e di calore utilizzati per la sola produzione di elettricità	16	Isolamento acustico	41
Impianto per la produzione combinata di forza e di calore utilizzato quale impianto elettrogeno di emergenza	16	Approvvigionamento di gas naturale	41
2.3 Combustibili	17	Approvvigionamento di propano	41
Gas naturale	17	Approvvigionamento di gasolio	42
Gas di fogna	17	Approvvigionamento di lubrificante	42
Gas proveniente da deponie	18	Impianto di ventilazione	42
Gas liquido	18	5.3 Collegamento idraulico	43
Gasolio EL	18	Differenze da un impianto convenzionale	43
Legna	18	Erogazione del calore	44
2.4 Condizioni legali basilari	19	Circuito in parallelo	44
Utilizzazione dell'energia	19	Circuito parzialmente in parallelo	45
Elettricità	19	Circuito in serie	45
Emissioni di sostanze nocive	20	Accumulatore	45
2.5 Organizzazioni esterne	20	Valori d'inserimento e di disinserimento	46
2.6 Contratti di fornitura dell'energia	20	Raccordi separati dell'accumulatore	46
Gas naturale	20	Funzionamento intermittente del teleriscaldamento	47
Elettricità	21	Riscaldamento dell'acqua	47
Calore	21	Condensazione dei gas di scarico	48
3. Dimensionamento	22	Pompa di calore ad aria riciclata	48
3.1 Basi	22	5.4 Collegamento elettrico	49
3.2 Dimensionamento approssimativo	23	Alimentazione e misurazione	49
Dimensionamento approssimativo	23	Dispositivi di sicurezza	49
Investimenti specifici	24	Alimentazione di emergenza	50
Valutazione della redditività	24	5.5 Comando e regolazione	50
3.3 Dimensionamento dettagliato	26	Principio del comando	50
Accertamento dei dati tecnici concernenti l'energia mediante un programma per computer	27	Struttura del comando	51
Accertamento dei dati tecnici concernenti l'energia con l'ausilio del diagramma della frequenza cumulativa	28	Effetti dinamici	51
Bilancio dell'energia	29	5.6 Strumentazione	51
		6. Esercizio	53
		6.1 Influsso sulla redditività	53
		6.2 Manutenzione	53
		6.3 Controllo del funzionamento	54
		6.4 Ottimizzazione dell'esercizio e controllo dei risultati	54
		Appendice	56
		A1 Indirizzi	56
		Associazioni	56
		Fornitori d'impianti per la produzione combinata di forza e di calore	56
		Organizzazioni responsabili	56
		A2 Modello per la tabella «Costi di produzione del calore»	57
		Denominazioni, simboli, abbreviature	58
		Indice analitico	59

1. Tecnica

1.1 RAVEL e la produzione combinata di forza e di calore

RAVEL concepisce la produzione combinata di forza e di calore come una parte di un concetto globale per la produzione efficiente di calore e di elettricità: la realizzazione d'impianti per la produzione combinata di forza e di calore e di pompe di calore deve aver luogo in modo che ne risulti una strategia nei riguardi dell'ambiente. Ciò è possibile se almeno un terzo dell'elettricità prodotta negli impianti per la produzione combinata di forza e di calore viene utilizzato in amplificatori elettrotermici (figura 1). Il caso classico di un amplificatore elettrotermico è costituito dalla pompa di calore.

 Fascicolo 1, capoversi 2.5 e 3.4

1.2 Concetti, sistematica

La **produzione combinata di forza e di calore** (abbreviatura PCFC), chiamata nel linguaggio comune anche cogenerazione, significa produzione combinata di calore (per il riscaldamento ed i processi) e di forza, per lo più per la produzione di elettricità. Il **generatore di forza e di calore** (abbreviatura: GFC) è il tipo di costruzione compatta di un modulo per la produzione combinata di forza e di calore, che viene utilizzato soprattutto nelle gamme di potenza fino a 1 MW_{el} con motori a combustione e da 1 fino a 10 MW_{el} con turbine a gas.

Il riquadro 2 presenta gli **indici** utilizzati e la tabella 4 riunisce una **sistematica** completa della produzione combinata di forza e di calore.

1.3 Generatori di forza e di calore

Quali gruppi di azionamento per i GFC con motore a gas vengono utilizzati **motori industriali a gas** con una durata di vita di almeno 100000 ore di funzionamento. Essi sono a disposizione per una gamma di potenza variabile da 20 fino a 1000 kW_{el}. Gli impianti di dimensioni maggiori sono composti da parecchi moduli.

I piccoli GFC azionati a gas per una gamma di potenza da 5 fino a 20 kW_{el} si basano su **motori di veicoli** trasformati, la cui durata di vita è notevolmente inferiore. La redditività è tuttavia simile, giacché i motori per veicoli sono meno costosi.

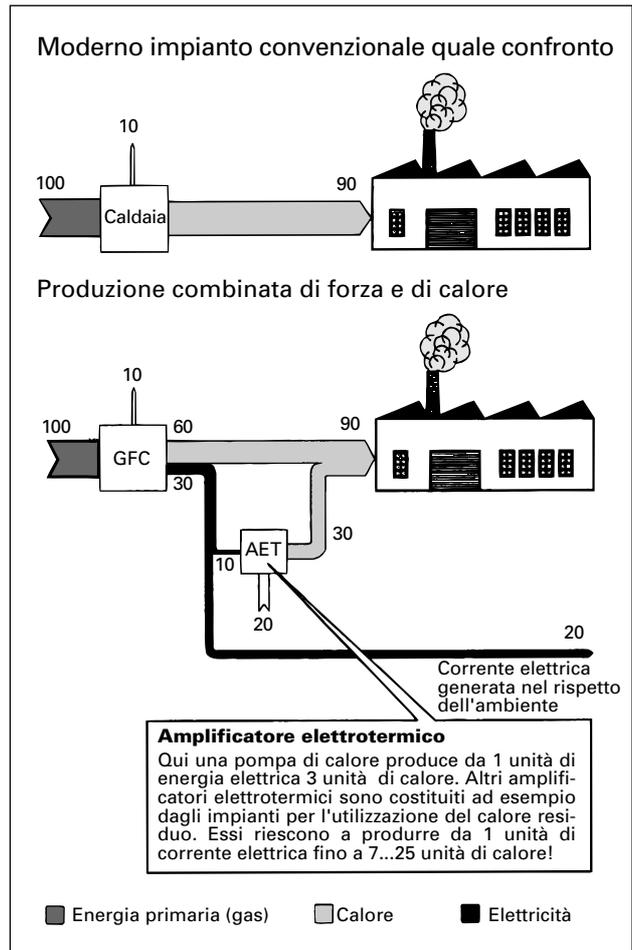


Figura 1: con i generatori di forza e di calore collegati con amplificatori elettrotermici – in questo caso una pompa di calore – è in pratica possibile produrre energia elettrica rispettando l'ambiente. In tale caso il generatore di forza e di calore e la pompa di calore non devono necessariamente trovarsi nello stesso luogo

Indici

Potenza elettrica	P_{el}	[kW, MW]
Potenza termica	Q	[kW, MW]
Potenza del combustibile	Q_{COMB}	[kW, MW]
Indice della corrente	$s = P_{el}/Q$	[-]
Rendimento totale	$\eta = (P_{el}+Q)/Q_{COMB}$	[-]
Rendimento elettrico	$\eta_{el} = P_{el}/Q_{COMB}$	[-]
Rendimento termico	$\eta_{term} = Q/Q_{COMB}$	[-]

La potenza del combustibile (Q_{COMB}) si riferisce al potere calorifico inferiore ($H_{i,j}$)!

Riquadro 2

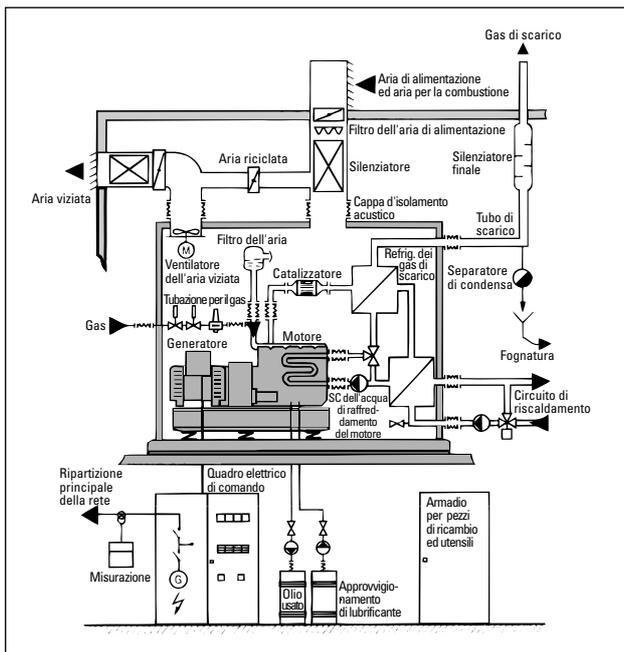


Figura 3: struttura di un GFC con motore a gas

Con i **GFC standardizzati** è quasi possibile un esercizio automatico e ad un prezzo più favorevole senza che il personale debba esercitare una sorveglianza permanente.

Motore λ 1 con catalizzatore

Il motore a gas viene azionato senza eccesso d'aria (indice di eccesso d'aria λ = 1). Questo è il presupposto che permette la riduzione delle sostanze nocive nel catalizzatore (figura 5) collegato in serie (catalizzatore a tre vie, riduzione catalitica non selettiva). Questa può essere considerata come una tecnica fidata. Nel caso di una progettazione, di un controllo e di una manutenzione adeguati possono essere ottenuti valori molto bassi delle emissioni di sostanze nocive, nonché una durata di vita del catalizzatore superiore alle 20000 ore.

Motore λ 1 con retroazione dei gas di scarico e catalizzatore

Mediante miscelazione dei gas di scarico raffreddati con l'aria per la combustione si manifesta – in con-

	Centrali termoelettriche e di riscaldamento (CTR)		Generatori di forza e di calore (GFC)		
	Centrale termoelettrica e di riscaldamento con turbina a vapore	Centrale termoelettrica e di risc. ad azionamento modulare combinato	Generatore di forza e di calore funzionante con turbina a gas	Generatore di forza e di calore con motore industriale	Piccolo GFC con motore per automobile
Sistema di azionamento	Turbina(e) a vapore	Turbina(e) a gas e turbina(e) a vapore combinate	Turbina a gas	Motore industriale a ciclo Otto con catalizzatore a tre vie, motore a miscela povera o motore diesel con catalizzatore RSC ⁴	
Combustibile	Carbone, olio pesante (impianto di combustione a letto fluido); gas naturale, gasolio (caldaia a vapore convenzionale)	Gas naturale / gas liquido, gasolio EL, carbone gassificato (in futuro)		Gas naturale / gas liquido, biogas (impianti di depurazione, agricoltura, gas proveniente da deponie), gasolio EL / carburante biologico	
Settore di utilizzazione principale (esempi)	Interconnessione per teleriscaldamento (ad es. con combustione dei rifiuti)	Interconnessione per teleriscaldamento	Calore di processo per industria, ospedali (vapore, acqua bollente)	Interconnessione di riscaldamento nelle vicinanze, edifici singoli di grandi dimensioni	Insediamiento di CUF, edifici singoli (ad es. scuola, albergo, edificio commerciale)
Gamma di potenza	5...1000 MW _{el}	20...100 MW _{el}	1...10 MW _{el}	GFC standard da 20 a 1000 kW _{el} 150...200 kW _{el} ^{2,3}	5...15 kW _{el} ³
Indice della corrente¹	0,3...0,6	0,8...1,2	0,4...0,6	0,55...0,65	0,35...0,45
Rendimento totale	0,85	0,85	0,75...0,85	0,85...1,05	0,80...1,00

¹ Indice della corrente = produzione di elettricità / produzione di calore
² Gamma di potenza più favorevole in riferimento alla redditività ed al potenziale d'impiego
³ È possibile il collegamento di parecchie unità per potenze maggiori
⁴ Denitrurazione RSC con urea

Tabella 4: sistemistica della produzione combinata di forza e di calore

fronto ad un motore λ 1 senza retroazione dei gas di scarico – un'emissione primaria notevolmente minore di ossido di azoto. Ciò permette l'impiego di un catalizzatore di dimensioni notevolmente minori. La densità di resa del motore è inoltre più elevata ed il rendimento meccanico migliore. In Svizzera sono in funzione i primi impianti sperimentali. Le esperienze fatte finora confermano le aspettative.

Motore a miscela povera

Il motore a miscela povera viene azionato con eccesso d'aria elevato, cosicché durante la combustione del gas nel motore si forma una quantità esigua di ossidi di azoto. Con questo concetto è possibile scendere al di sotto di valori di emissioni di 400 mg/m³_N di NO_x (riferiti al 5% di ossigeno residuo), ciò che rispetta le esigenze dell'Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico per gas di fogna, biogas e gas proveniente da deponie quali carburanti, ma non per il gas naturale o il gas liquido. Qualora vengano richiesti valori limite minori di ossido di azoto, gli ossidi di azoto possono essere ridotti mediante un catalizzatore collegato in serie (riduzione selettivo-catalitica, RSC, con immissione di urea o di ammoniaca). La tabella 6 mostra un paragone tra il motore λ 1 ed il motore a miscela povera.

1.4 Generatori di forza e di calore funzionanti con motore diesel

Il GFC con motore diesel (figura 7) si distingue dal GFC con motore a gas essenzialmente a causa della struttura dei motori, del carburante e della depurazione dei gas di scarico. Il motore diesel viene fatto funzionare con gasolio (corrisponde al gasolio EL) oppure – quale cosiddetto motore con accensione a getto – con una miscela di gasolio (almeno il 5%) e di gas (gas naturale, gas liquido, gas proveniente da deponie o gas di fogna). La differenza essenziale con il motore a gas consiste nel fatto che ha luogo un'autoaccensione grazie alla compressione della miscela combustibile-aria. Il motore diesel non necessita quindi di alcuna accensione separata mediante un impianto di accensione, rispettivamente candele di accensione.

I motori diesel moderni, regolati in modo ineccepibile, permettono di ottenere valori di emissione di NO_x e di CO che sono paragonabili a quelli che si possono ottenere con i motori a gas a miscela povera, ma non con i motori λ 1 a gas muniti di catalizzatore. Molto più problematiche sono le emissioni d'idrocarburi, poiché in tal caso vengono tra l'altro

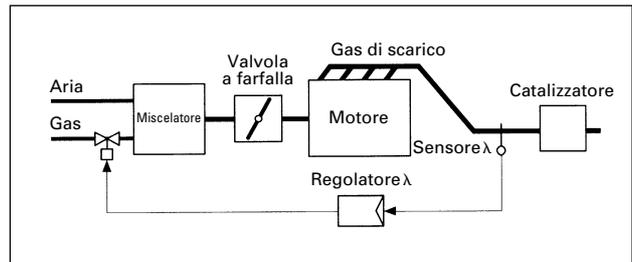


Tabella 5: Motore λ 1 con catalizzatore

	Motore λ 1	Motore a miscela povera
Tipo di costruzione dei motori	Motore a gas a ciclo Otto Accensione separata	Motore a gas a ciclo Otto Accensione separata
Eccesso d'aria	$\lambda = 1$	$\lambda = 1,6...1,8$
Catalizzatore	Catalizzatore NRSC (a tre vie)	Catalizzatore RSC
Riducenti	Nessuno	Urea o ammoniaca
Sostanze nocive ridotte	NO _x , CO, HC	NO _x
Valori raggiungibili (per 5% di O₂)	NO _x < 10 mg/m ³ _N CO < 60 mg/m ³ _N HC < 10 mg/m ³ _N	NO _x < 50 mg/m ³ _N (a dipendenza dalle dimensioni del catalizzatore)
Vantaggi	<ul style="list-style-type: none"> Emissioni molto basse Non è necessario alcun mezzo di produzione Vaste esperienze 	<ul style="list-style-type: none"> Basse emissioni di avviamento Produzione primaria limitata di sostanze nocive Poco sensibile alle variazioni dei parametri d'esercizio
Problemi	<ul style="list-style-type: none"> Sensore λ sensibile Catalizzatore sensibile ad anomalie del funzionamento Il catalizzatore è sensibile ad impurità contenute nel gas (gas proveniente da deponie, gas di fogna) Emissioni all'avviamento 	<ul style="list-style-type: none"> Consumo di mezzi di produzione Cattivo comportamento di avviamento Poche esperienze Fabbisogno di spazio

Tabella 6: confronto tra i concetti dei motori e la depurazione dei gas di scarico per GFC con motore a gas

emessi idrocarburi policiclici aromatici (IPA), che sono considerati cancerogeni.

La produzione di elettricità (e di conseguenza l'indice della corrente) è più elevata che non nel caso del motore a gas. Il rendimento totale dipende dall'utilizzazione del calore dei gas di scarico.

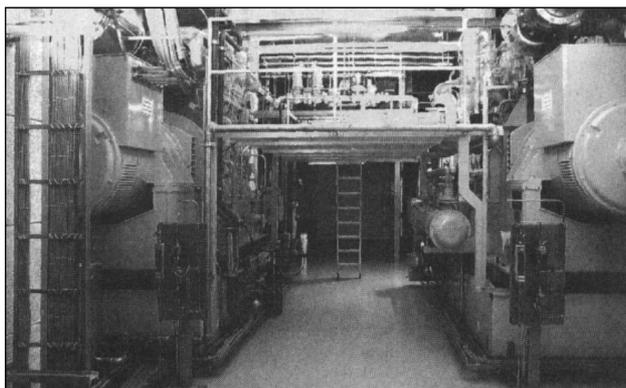


Figura 7: GFC con due motori diesel e catalizzatore RSC, ognuno con una potenza elettrica di 580 kW (fotografia: SBV)

Vantaggi e problemi dei GFC con motore diesel

Rispetto al GFC con motore a gas, il GFC con motore diesel presenta i vantaggi seguenti:

- indice della corrente più elevato
- non dipende dalla rete di distribuzione del gas

A ciò si oppongono tuttavia numerosi problemi:

- i filtri per particelle dei motori diesel sono noti a livello mondiale perché non sono soddisfacenti durante l'esercizio continuo; molte ditte hanno inoltre cessato lo sviluppo di tali filtri.
- Produzione d'idrocarburi policiclici aromatici (IPA) cancerogeni.
- Cambio dell'olio da 2 a 4 volte più frequente a causa d'impurità nel combustibile, ciò che causa costi di manutenzione e di cura maggiori.
- Maggior dispendio per la pulitura degli scambiatori di calore dei gas di scarico.
- Rendimento totale minore (circa 82%) a causa della temperatura elevata richiesta per i gas di scarico e dell'eccesso d'aria elevato.
- Pochissime esperienze d'esercizio in Svizzera con impianti in funzionamento continuo.

Riquadro 8

Misura	Problemi, valori ottenibili
Immissione di acqua o di vapore nella camera di combustione	Dispendio elevato per la manutenzione
Catalizzatore RSC (urea o ammoniacca)	Costoso $NO_x < 10 \text{ mg/m}^3_N$
Camere di combustione a basso NO_x	In sviluppo $NO_x < 50 \text{ mg/m}^3_N$ (15% di O_2)
Combustione a volume costante	In sviluppo $NO_x < 50 \text{ mg/m}^3_N$ (15% di O_2)

Tabella 9: possibilità di riduzione degli ossidi di azoto nelle turbine a gas

Se i gas di scarico vengono raffreddati nello scambiatore di calore ad una temperatura inferiore ai 180°C insorgono due problemi:

- l'acido causato dalla condensazione di SO_2 attacca il materiale di cui è composto lo scambiatore di calore dei gas di scarico.
- Lo scambiatore di calore dei gas di scarico s'insudicia a causa della condensazione degli idrocarburi altobollenti.

Per evitare questi problemi i gas di scarico non devono essere raffreddati ad una temperatura inferiore a 180°C.

Per la depurazione dei gas di scarico sono necessari due procedimenti:

- denitrurazione dei gas di scarico con catalizzatore RSC (analogamente al motore a gas a miscela povera).
- Filtro per le particelle di fuliggine prima del catalizzatore RSC (attualmente allo studio).

I vantaggi ed i problemi del GFC con motore diesel sono raggruppati nel riquadro 8.

1.5 Generatori di forza e di calore funzionanti con turbine a gas

Per settori d'impiego industriali oppure per grandi approvvigionamenti d'acqua calda con temperature superiori ai 120°C, in primo piano vi sono le turbine a gas. Tali impianti possono tuttavia essere utilizzati in modo redditizio soltanto a partire da una potenza elettrica di 1 MW.

La standardizzazione di generatori di forza e di calore con turbine a gas non è tuttavia ancora evoluta come quella dei motori a gas. Diverse ditte offrono tuttavia moduli pronti per l'allacciamento.

Sono necessarie misure speciali (cfr. tabella 9) per quanto concerne le esigenze poste alle emissioni di sostanze nocive da parte delle turbine a gas.

1.6 Impianti ad energia totale

Un impianto ad energia totale (abbreviatura: IET) non è altro che un GFC con l'aggiunta di una pompa di calore, ossia il motore a gas, il generatore ed il compressore della pompa di calore sono montati sullo stesso albero (figura 10). È così possibile un funzionamento come GFC, come pompa di calore con motore a gas oppure come pompa di calore con motore elettrico.

L'impiego di un IET è impegnativo sia tecnicamente, sia sotto l'aspetto della progettazione e crea i problemi seguenti:

- a seconda del tipo di funzionamento (GFC, pompa di calore con motore a gas o pompa di calore con motore elettrico) si possono ottenere potenze calorifiche diverse, cosicché l'impianto può essere dimensionato in modo ottimale solo per *un* tipo di funzionamento.
- In periodi con elevato fabbisogno di calore e con energia elettrica a tariffa alta (d'inverno durante il giorno) è desiderato (conflitto di obiettivi!) sia un funzionamento come pompa di calore con motore a gas (produzione di calore elevata), sia anche un funzionamento come GFC (produzione di elettricità elevata).
- Gli IET sono pezzi singoli prodotti in modo specifico per l'impianto e, di conseguenza, più costosi degli aggregati separati (GFC e pompe di calore con motore elettrico) che possono essere reperiti normalmente.

1.7 Pompe di calore con motore a gas e motore diesel

La **pompa di calore con motore a gas** costituisce un caso speciale della produzione combinata di forza e di calore. Con l'energia meccanica del motore a gas non viene prodotta elettricità, bensì azionato il compressore di una pompa di calore (figura 11). Ad una pompa di calore con motore a gas dovrebbe sempre essere contrapposta una soluzione costituita da un **GFC munito di una pompa di calore con motore elettrico** (figura 12). In questo modo la trasmissione della forza dal motore a gas fino al compressore della pompa di calore ha luogo attraverso la «deviazione» della rete elettrica. Ciò presenta i vantaggi seguenti:

- per i GFC e la pompa di calore con motore elettrico sono disponibili gruppi standardizzati. Ne risultano sia una sicurezza di funzionamento notevolmente più elevata, sia investimenti minori.
- Maggiore flessibilità per quanto concerne la produzione di forza e di calore.

Gli svantaggi sono costituiti dal rendimento totale un po' più basso dovuto alla trasformazione in elettricità ed un maggior bisogno di spazio. Si presuppone che esista un raccordo della rete elettrica dimensionato in modo sufficiente.

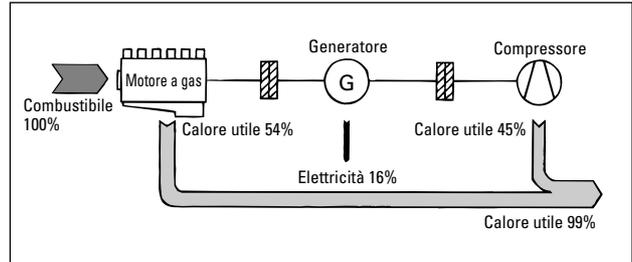


Figura 10: impianto ad energia totale

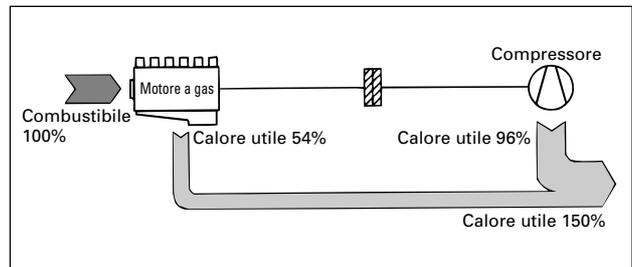


Figura 11: pompa di calore con motore a gas

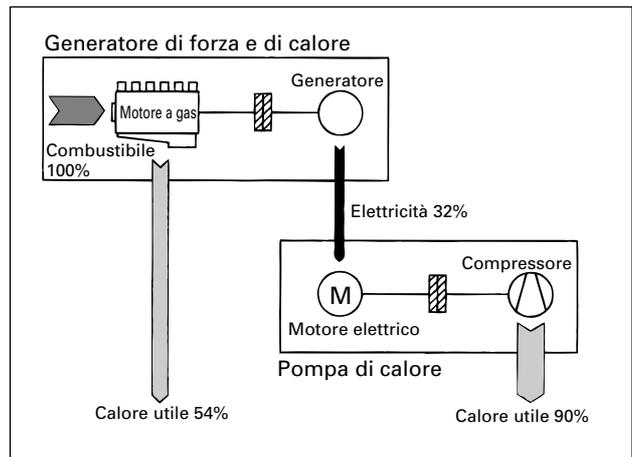


Figura 12: generatore di forza e di calore e pompa di calore accoppiati elettricamente

Per quanto concerne la tecnica dell'impianto della **pompa di calore con motore diesel** valgono essenzialmente gli stessi principi come nel caso della pompa di calore con motore a gas, mentre per quanto concerne il motore d'azionamento e la depurazione dei gas di scarico valgono gli stessi presupposti come nel caso del GFC con motore diesel.

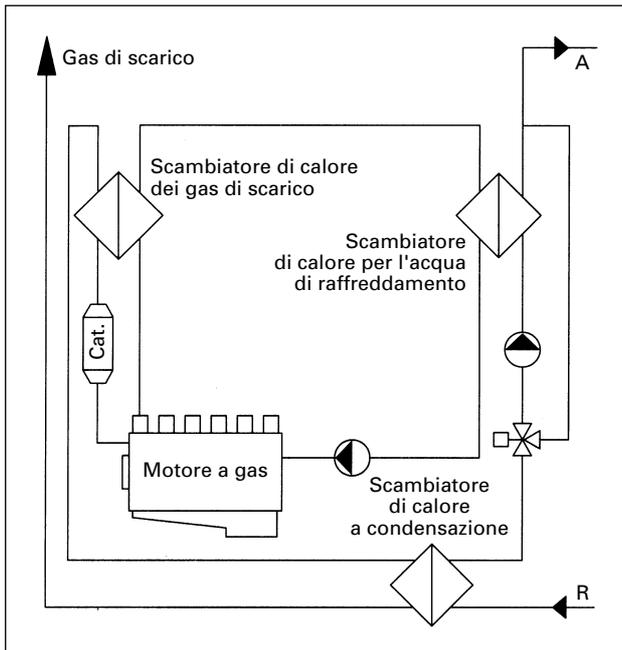


Figura 13: GFC con motore a gas e condensazione dei gas di scarico

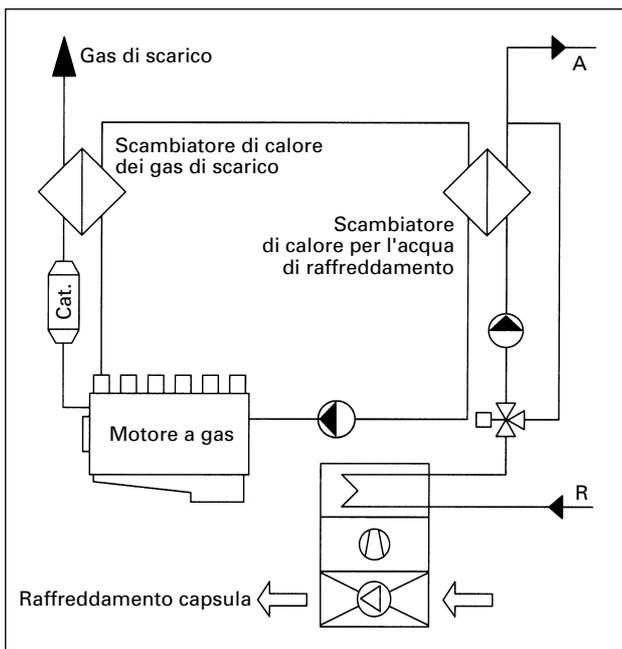


Figura 14: GFC con pompa di calore per recupero del calore residuo irradiato

1.8 Tecniche speciali

Condensazione dei gas di scarico nei GFC con motore a gas

Analogamente a quanto succede in una caldaia a gas a condensazione, anche in un GFC con motore a gas può essere utilizzato il calore latente del vapore acqueo nei gas di scarico (figura 13). Il presupposto per l'utilizzazione redditizia di un condensatore dei gas di scarico è costituito da basse temperature di ritorno del sistema (45...50°C al massimo). Occorre tener conto dei punti seguenti:

- durante il dimensionamento del condensatore dei gas di scarico occorre tener presente la composizione dei gas di scarico (eccesso d'aria).
- Il condensatore dei gas di scarico deve essere adatto per gas di scarico pulsanti (pericolo di rotture da fatica causate da vibrazioni).
- Il condensatore dei gas di scarico deve essere strutturato in modo da poter essere pulito perfettamente.
- Scelta adeguata del materiale per prodotti di condensazione acidi.

Ricupero del calore residuo irradiato

Il calore irradiato dal motore a gas, nonché il calore dell'aria di raffreddamento del generatore vengono prodotti sotto la calotta di un GFC oppure nel locale d'installazione (impianto senza calotta). Questo calore residuo può essere rimosso come segue:

- dalla calotta fino al locale d'installazione e da questo all'aria aperta mediante la ventilazione del locale (possibile per aggregati con una potenza elettrica fino a circa 100 kW).
- Direttamente all'aria aperta per mezzo dello stesso impianto di ventilazione del GFC.

Ciò causa perdite dell'ordine di grandezza dal 6 all'8% (della potenza del carburante). A seconda delle condizioni specifiche dell'oggetto, questo calore residuo può essere utilizzato mediante uno dei metodi seguenti:

- pompa di calore che sottrae il calore all'aria della capsula immettendola nel ritorno del sistema di riscaldamento (figura 14). Il presupposto di quanto descritto è costituito da una temperatura di ritorno durevolmente minore della temperatura d'entrata massima ammessa del condensatore della pompa di calore.
- Preriscaldamento dell'acqua calda mediante uno scambiatore di calore dell'aria riciclata. Durante il funzionamento del GFC ciò ha come premessa un fabbisogno elevato di acqua calda.

- Raffreddamento della capsula mediante un sistema di raffreddamento posto lateralmente. Ciò è razionale solo se il calore residuo risultante dalla generazione del freddo può sempre essere utilizzato durante il funzionamento del GFC.

Se è garantito che durante il funzionamento del GFC il calore residuo irradiato può sempre essere rimosso mediante uno dei sistemi descritti, l'impianto di ventilazione può venire fortemente ridotto (ciò che non sarebbe invece razionale nel caso in cui il GFC fosse stato progettato per il funzionamento quale gruppo elettrogeno d'emergenza). Una pompa di calore supplementare necessita di elettricità. Nei periodi a tariffa alta nasce perciò un conflitto di obiettivi tra un'ottimizzazione energetico-ecologica dell'impianto ed un'ottimizzazione sul piano economico.

Condensazione dei gas di scarico e/o ricupero del calore residuo irradiato?

Ambedue i sistemi aumentano il rendimento totale del GFC, ma dipendono tuttavia dalle basse temperature di ritorno dei sistema. Nella tabella 15 vengono paragonate le caratteristiche più importanti dei due sistemi.

La realizzazione di questi due sistemi in un impianto è raccomandabile solo nel caso in cui le temperature di ritorno sono molto basse (fino a circa 35°C). Ambedue i sistemi devono in tal caso essere collegati idraulicamente in serie.

Raffreddamento in circuito a pressione

I motori a gas di fabbricazione diversa possono (con investimenti supplementari relativamente modesti) essere attrezzati per il raffreddamento in circuito a pressione. Il circuito di raffreddamento può così fornire temperature di andata fino a 130°C. Nel caso di un dimensionamento adeguato degli scambiatori di calore è in tal modo possibile raggiungere temperature di andata fino a 125°C dal lato del riscaldamento.

Produzione di vapore a bassa pressione

Nei motori a gas di diversa produzione le camere di raffreddamento dei cilindri possono essere strutturate in modo che nelle stesse possa essere prodotto direttamente vapore a bassa pressione con una temperatura fino a 130°C. Parallelamente al motore a gas deve essere installato un contenitore del vapore con regolazione del livello.

	Condensazione dei gas di scarico	Ricupero del calore residuo irradiato
Sovrapproduzione calore (conc. consumo di gas)	7...10%	10...12%
Energia ausiliaria elettricità (conc. consumo di gas)	0%	3...4%
Vantaggi	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema passivo • Insensibile alle perturbazioni 	<ul style="list-style-type: none"> • Potenza calorifica più elevata • Ventilazione esigua
Problemi	<ul style="list-style-type: none"> • Pulsazione dei gas di scarico • Scelta del materiale • Sporczia 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessaria una bassa temperatura di ritorno • Riduzione dell'indice della corrente
Redditizio	<ul style="list-style-type: none"> • Da circa 100 kW_{el} • Nel caso di prezzi elevati del gas • Durante i periodi a tariffa alta 	<ul style="list-style-type: none"> • Da circa 200 kW_{el} • Nel caso di prezzi elevati del gas • Durante i periodi a tariffa bassa
Rendimento totale – per $\vartheta_R = 40^\circ\text{C}$ – per $\vartheta_R = 50^\circ\text{C}$	96...98% 94...96%	98...102% 96...100%
Indice della corrente (il solo GFC ca 56%)	50% ¹	43% ²

¹ La riduzione dell'indice della corrente è soltanto una conseguenza della potenza calorifica più elevata
² L'indice della corrente è minore a causa della potenza calorifica più elevata e della minor produzione di elettricità

Tabella 15: condensazione dei gas di scarico e/o ricupero del calore residuo irradiato mediante una pompa di calore?

1.9 Tendenze future

Generatori di forza e di calore funzionanti con motore a gas

I GFC funzionanti con motore a gas presentano uno stato di sviluppo molto elevato. In un prossimo futuro avrà luogo un'evoluzione nei settori seguenti:

- sorveglianza permanente delle emissioni di sostanze nocive

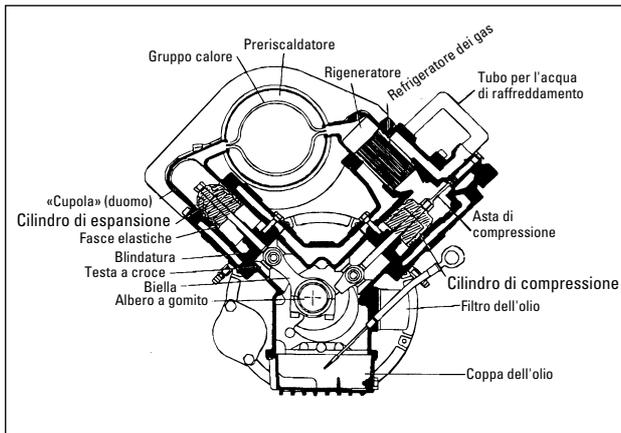


Figura 16: motore Stirling

Pila a combustione

Attualmente sono in fase di studio e di sviluppo tre sistemi di pile a combustione azionate con gas naturale. Esse si distinguono l'una dall'altra soprattutto a seconda del tipo di elettrolita in cui si svolge il processo elettrochimico. Rispetto agli impianti per la produzione combinata di forza e di calore mediante macchine termodinamiche, tutti i tipi di pile presentano il vantaggio che la produzione di elettricità avviene senza rumore e praticamente senza emissioni di sostanze nocive.

Pila a combustione ad acido fosforico: quale combustibile per la produzione di elettricità è necessario idrogeno che viene estratto dal gas naturale mediante un processo chimico in uno stadio preliminare (impianto di reforming). Un impianto pilota della potenza elettrica di 200 kW funziona in modo soddisfacente a Ginevra dal 1993. Il rendimento elettrico varia dal 40 al 43%. La temperatura di andata raggiungibile è di 75°C, motivo per cui il ritorno può essere al massimo di 50°C.

Pila a combustione a carbonato fuso: analogamente come per la pila a combustione ad acido fosforico deve dapprima essere prodotto idrogeno, estraendolo dal gas naturale. Al momento questo tipo di pila è ancora allo stadio di studio.

Pila a combustione con elettrolita solido: questo tipo di pila rappresenta il concetto più ricco di prospettive, benché anche questa pila non abbia ancora lasciato il laboratorio di ricerca. Quali elettroliti vengono utilizzate membrane di ceramica o di polimero. Il grande vantaggio della pila con membrana di ceramica è costituito dall'utilizzazione diretta del gas naturale quale combustibile senza la «deviazione» attraverso l'idrogeno. Un ulteriore vantaggio è rappresentato dal fatto che il processo si svolge senza l'impiego di sostanze corrosive o tossiche.

Riquadro 17

- basse emissioni durante l'avviamento grazie all'ottimizzazione di quest'ultimo oppure riscaldamento con catalizzatore
- ottimizzazione della depurazione dei gas di scarico nel motore a miscela povera
- sviluppo di un piccolo GFC di una potenza elettrica variabile da 3 a 6 kW
- miglioramenti del rendimento mediante ottimizzazione dei moduli
- generatori raffreddati ad acqua.

Generatori di forza e di calore funzionanti con motore diesel

Se devono essere utilizzati su vasta scala GFC con motore diesel è necessario trovare e sperimentare in pratica delle soluzioni per i seguenti problemi principali:

- filtri adatti per le particelle presenti nei gas di scarico dei motori diesel
- aumento degli intervalli tra una manutenzione e l'altra mediante misure adeguate per quanto concerne la riserva di lubrificante ad almeno 1000 ore di funzionamento (oggi ancora soltanto 200...400 ore di funzionamento).

Generatori di forza e di calore funzionanti con motore Stirling

Da lungo tempo il motore Stirling rappresenta un'alternativa promettente al motore a gas o al motore diesel, poiché la combustione non avviene nel motore stesso, bensì esternamente (figura 16). Sono stati realizzati diversi concetti di motori funzionanti con l'elio, l'idrogeno e l'aria quali mezzi di lavoro. Oggi sussistono ancora i problemi seguenti:

- l'elio e l'idrogeno sono mezzi di lavoro con i quali è possibile raggiungere teoricamente un buon rendimento meccanico. A causa dell'esiguo peso molecolare di questi gas rimangono tuttavia ancora insoluti grandi problemi di tenuta stagna nei pistoni. Fino ad oggi non è stato possibile trovare una soluzione adeguata a tali problemi.
- L'idrogeno è esplosivo. Nel caso di difetto della tenuta stagna sussiste quindi il pericolo di esplosione.
- Benché l'aria costituisca un mezzo di lavoro che non crea problemi, essa permette tuttavia di ottenere solo un rendimento meccanico poco elevato.

Pila a combustione

Nella pila a combustione il calore e la forza non vengono generati da una macchina termodinamica, ma l'elettricità viene prodotta grazie ad un processo elettrochimico con emissione di calore residuo. Una vista d'insieme è fornita dal riquadro 17.

2. Possibilità di utilizzazione

2.1 Settori di utilizzazione

Gli impianti per la produzione combinata di forza e di calore generano in prima linea calore per un oggetto determinato. L'elettricità prodotta viene utilizzata per lo stesso oggetto oppure immessa nella rete dell'azienda elettrica. Il potenziale di produzione di elettricità viene quindi determinato dal fabbisogno di calore dell'oggetto summenzionato.

La figura 18 indica i settori di utilizzazione possibili in Svizzera per gli impianti di produzione combinata di forza e di calore. Il fabbisogno essenziale di calore consiste di calore di processo e di calore ambiente. Quest'ultimo si suddivide nei settori d'impiego abitazione, prestazioni di servizio, nonché industria ed artigianato.

La realizzazione di un impianto per la produzione combinata di forza e di calore dipende in pratica sempre dalla sua redditività. Il potenziale di produzione di elettricità (figura 19) dipende quindi dal prezzo dell'elettricità prodotta. Bassi costi di produzione dell'elettricità possono essere ottenuti mediante un dimensionamento accurato e condizioni limite favorevoli (riquadro 20).

 Per il dimensionamento e la redditività cfr. capitolo 3

Settore delle prestazioni di servizio

Nel settore delle prestazioni di servizio (edifici adibiti ad uffici, edifici amministrativi, ospedali, scuole, alberghi, ecc.) i generatori di forza e di calore possono, a seconda delle condizioni, essere redditizi già con un fabbisogno di potenza calorifica dell'oggetto variabile da 500 a 800 kW, poiché in tale caso il consumo di elettricità e le tariffe sono per lo più molto elevati. Nel caso di edifici con cariche termiche interne elevate oppure con una percentuale elevata di sfruttamento passivo dell'energia solare (figura 21), il dimensionamento deve essere eseguito con cura estrema.

Settore delle abitazioni

Nel settore delle abitazioni sono adatti per l'utilizzazione d'impianti per la produzione combinata di forza e di calore le costruzioni singole di grandi dimensioni, le case plurifamiliari raggruppate oppure gli insediamenti di case unifamiliari. In tal caso la redditività non dipende in primo luogo dalla grandezza dell'impianto, bensì dalle condizioni di vendita del calore. Se, ad esempio, parecchi oggetti possono essere associati in un'interconnessione di riscaldamento, permettendo così il risparmio di parecchi im-

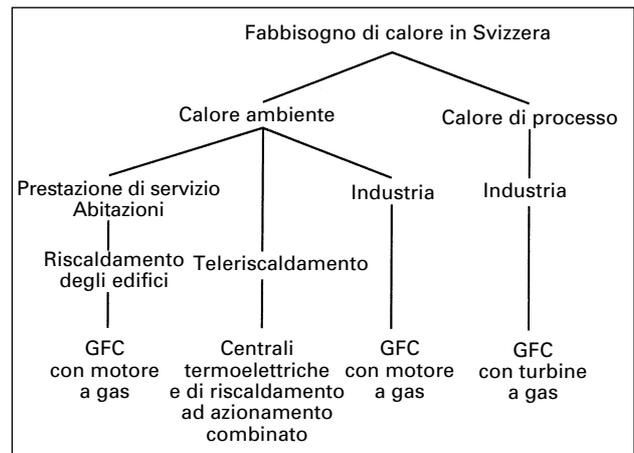


Figura 18: settori di utilizzazione degli impianti per la produzione combinata di forza e di calore

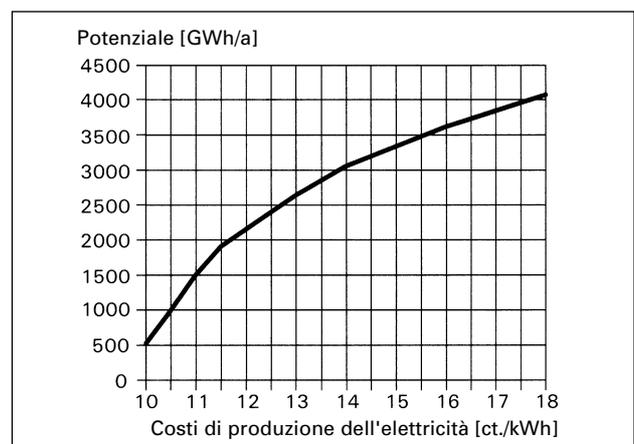


Figura 19: potenziale di generazione di elettricità in funzione dei possibili costi di produzione della stessa

Condizioni favorevoli per l'utilizzazione di un impianto per la produzione combinata di forza e di calore

- Allacciamento alla condotta del gas naturale già esistente nell'oggetto oppure realizzabile con dispendio esiguo.
- Esistenza di un locale per l'impianto e l'accumulatore (bassi costi per il locale).
- Temperatura del sistema nel punto di posa non superiore agli 80...85°C.
- Il fabbisogno di potenza calorifica dell'oggetto (ed eventualmente di altri oggetti allacciati ulteriormente) è superiore a 1000 kW, ciò che corrisponde a circa 2000 MWh/a.
- Prelievo del calore con durata di utilizzazione elevata.
- Elevato fabbisogno personale di elettricità.
- Tariffe dell'elettricità elevate per il prelievo e, eventualmente, per l'immissione nella rete dell'azienda elettrica.
- Disponibilità a fare investimenti adeguati.

Riquadro 20

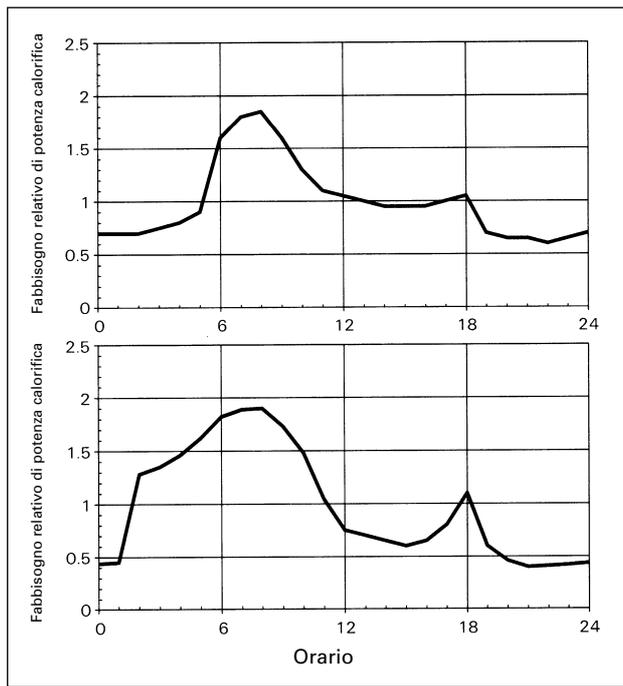


Figura 21: andamento giornaliero del prelievo di calore in un edificio per prestazioni di servizio esistente (in alto) ed in un edificio nuovo (in basso). A causa dell'elevata percentuale dei guadagni termici nelle ore pomeridiane, il fabbisogno di calore è notevolmente ridotto durante tale periodo

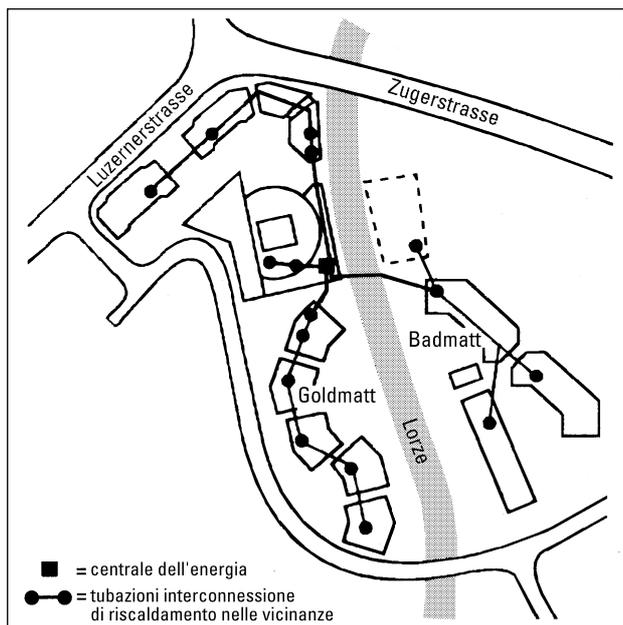


Figura 22: esempio di un'interconnessione di riscaldamento a Cham

pianti di caldaie, ciò può costituire un contributo essenziale agli investimenti fatti nell'impianto per la produzione combinata di forza e di calore.

A seconda delle condizioni, in singoli oggetti sono redditizi gli impianti di una potenza elettrica variabile da 150 a 200 kW_{el}. Ciò comporta un fabbisogno di potenza calorifica dell'oggetto da 700 a 1000 kW. L'andamento giornaliero costante del prelievo di calore, nonché un eventuale riscaldamento dell'acqua esercitano un effetto positivo sulle ore di funzionamento dell'impianto. È tuttavia sfavorevole per quanto concerne la redditività il fatto che tutta l'elettricità prodotta debba essere rivenduta all'azienda elettrica, giacché l'utente dell'impianto (proprietario della casa, responsabile del progetto) costituisce giuridicamente una parte in causa diversa da quella che formano gli utenti dell'elettricità (locatari, proprietari di appartamenti in condominio); ciò non vale naturalmente se i prezzi di vendita all'azienda elettrica sono più elevati delle tariffe applicate dalla stessa per l'acquisto di elettricità.

Interconnessione di riscaldamento

Parecchi edifici situati l'uno accanto all'altro possono venire riuniti in un'interconnessione di riscaldamento mediante tubazioni di distribuzione del calore (la figura 22 ne illustra un esempio). Quanto maggiori sono le dimensioni dell'interconnessione di riscaldamento, tanto più redditizio sarà l'impianto per la produzione combinata di forza e di calore, ma tanto più costoso sarà tuttavia anche il sistema di distribuzione del calore. La grandezza ottimale dipende da molte condizioni limite e deve essere valutata in modo specifico al progetto.

Settore industriale

Nel settore industriale esistono presupposti favorevoli per l'utilizzazione d'impianti per la produzione combinata di forza e di calore, qualora contemporaneamente esista un grande fabbisogno di calore di processo e di elettricità. A causa delle elevate temperature del sistema, nel settore industriale esiste il maggior potenziale di utilizzazione delle turbine a gas per la produzione di calore di processo (ad esempio nei settori della carta e della chimica). Grazie all'Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico (OIA) ed ancora maggiormente alle misure adottate sul piano cantonale è possibile sperare in risanamenti d'impianti esistenti per la produzione del vapore. In questo contesto è raccomandabile verificare di volta in volta se sia meglio utilizzare una turbina a gas oppure un impianto combinato (turbina a gas ed a vapore).

2.2 Concetto dell'energia

Produzione combinata di forza e di calore quale elemento di un concetto dell'energia

La produzione combinata di forza e di calore costituisce una tecnica che permette, sfruttando nel modo migliore possibile l'exergia (efficacia), di trasformare in calore ed elettricità i vettori energetici (gasolio, gas) utilizzati oggi prevalentemente ancora a scopo di riscaldamento. Malgrado ciò non viene ridotto né il fabbisogno di calore, né quello di elettricità dell'oggetto considerato. Occorrerebbe quindi sempre tener conto e verificare attentamente i punti menzionati nel riquadro 23. La figura 24 illustra la complessità del coinvolgimento della produzione combinata di forza e di calore in un concetto dell'energia.

Impianti per la produzione combinata di forza e di calore utilizzati per la sola produzione di calore

La maggioranza degli impianti realizzati in Svizzera, in particolare nella gamma di potenza elettrica fino a 1000 kW_{el}, è costituita da generatori di calore (figura 25). In primo luogo gli impianti vengono fatti funzionare se esiste un fabbisogno di calore da parte dell'oggetto in questione. A seconda delle circostanze specifiche dell'oggetto il funzionamento può essere limitato come segue:

- arresto dell'impianto per la produzione combinata di forza e di calore nelle ore in cui l'elettricità viene fornita a tariffa bassa e/o immissione nella rete dell'azienda elettrica (ad es. semestre estivo, orari a tariffa bassa) se i costi d'esercizio (energia e manutenzione) superano il profitto dell'elettricità prodotta
 - funzionamento a carico parziale dell'impianto per la produzione combinata di forza e di calore se il fabbisogno di calore dell'oggetto da alimentare è esiguo
 - funzionamento a carico parziale dell'impianto per la produzione combinata di forza e di calore se il fabbisogno di calore dell'oggetto da alimentare è bensì elevato, ma il fabbisogno di elettricità è tuttavia esiguo e si rinuncia, per motivi di tariffa, alla vendita dell'elettricità prodotta in eccedenza.
- Con un accumulatore sufficientemente grande è possibile equilibrare un fabbisogno diverso di elettricità e di calore. L'elettricità prodotta negli impianti per la produzione combinata di forza e di calore utilizzati per la sola produzione del calore stesso viene di regola utilizzata nell'oggetto stesso e l'eccedenza immessa nella rete dell'azienda elettrica. Un approvvigionamento diretto di terzi solleva problemi:

- le aziende elettriche vietano spesso la vendita di elettricità a terzi (cfr. il regolamento dell'azienda elettrica competente)

Riduzione del fabbisogno di energia e utilizzazione della PCFC

In molti casi è possibile realizzare risparmi di energia che, sotto l'aspetto energetico e/o quello della redditività, sono più razionali dell'utilizzazione di un impianto per la produzione combinata di forza e di calore:

- **L'involucro dell'edificio** (pareti esterne, tetto, pavimenti, finestre) possiede una buona coibentazione termica (ad esempio valori secondo la norma SIA 380/1 «Energia nell'edilizia»)? Soprattutto nel caso di edifici nuovi è possibile realizzare un involucro dell'edificio migliore sotto l'aspetto della coibentazione termica, con un dispendio supplementare relativamente esiguo. Un involucro dell'edificio ottimale permette di mantenere esigui il fabbisogno di calore e, di conseguenza, i costi del calore stesso durante tutta la propria durata di vita!
- Il sistema di **distribuzione del calore** (esistente o da eseguire a nuovo) è isolato in modo ottimale? L'**erogazione del calore** può essere adattata alle esigenze effettive di comfort mediante apparecchi di regolazione adeguati (regolatori «intelligenti» del riscaldamento, regolazione nei singoli locali, valvole termostatiche, ecc.)?
- Esistono o sono previsti **impianti elettrici** parsimoniosi ed ottimizzati (impianti di ventilazione e d'illuminazione adeguati al fabbisogno, pompe, impianti frigoriferi, ecc.)?

Le misure summenzionate devono tuttavia essere esaminate e realizzate non *in sostituzione* di un impianto per la produzione combinata di forza e di calore, bensì in *primo luogo prima della realizzazione di un impianto per la produzione combinata di forza e di calore!*

Riquadro 23

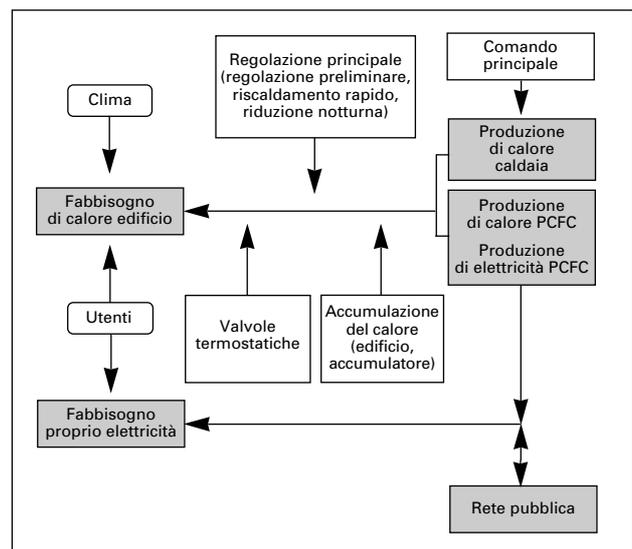


Figura 24: produzione combinata di calore e di forza quale elemento di un concetto dell'energia

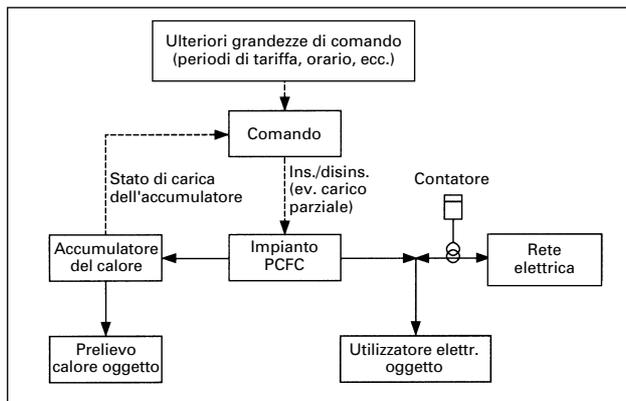


Figura 25: impianto per la produzione combinata di forza e di calore per la sola produzione di calore

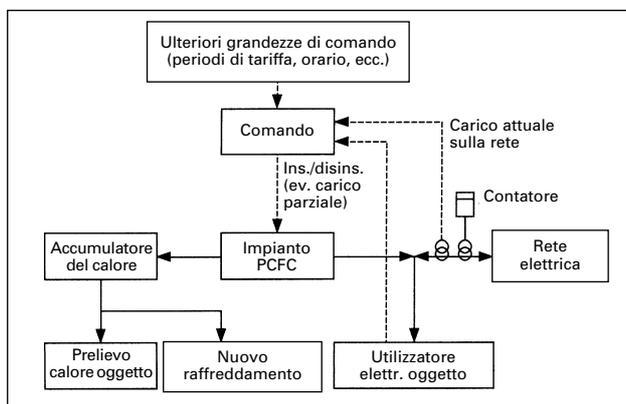


Figura 26: impianto per la produzione combinata di forza e di calore per la sola produzione di elettricità

Problemi che possono insorgere nel caso d'impianti per la produzione combinata di forza e di calore utilizzati per la sola produzione di elettricità

- Se durante le ore di servizio dell'impianto non esiste un fabbisogno di calore e l'accumulatore di calore è carico, il calore deve poter essere ceduto all'ambiente circostante. Ciò può essere razionale per motivi economici, ma non corrisponde ai principi di un'utilizzazione razionale dell'energia ed è spesso vietato (ad es. nella città di Zurigo).
- Le aziende elettriche non sono tenute ad accettare l'elettricità prodotta dagli impianti per la produzione combinata di forza e di calore, ma senza utilizzazione del calore e che vengono fatti funzionare con termovettori fossili.
- Qualora si rinunci ad un'immissione dell'elettricità nella rete dell'azienda elettrica, la potenza dell'impianto per la produzione combinata di forza e di calore deve essere adeguata al consumo effettivo. Ciò può sfociare in un esercizio a carico parziale dell'impianto (ad es. al di sotto del 70%) con un rendimento notevolmente minore.
- La rete elettrica deve ciò nonostante assorbire modificazioni del carico elettrico che si manifestano improvvisamente.

Riquadro 27

- il gestore dell'impianto per la produzione combinata di forza e di calore deve preparare, far funzionare e mettere in conto agli utenti l'infrastruttura per la misurazione dell'elettricità consumata (contatori privati).

Impianti per la produzione combinata di forza e di calore utilizzati per la sola produzione di elettricità

Gli impianti utilizzati per la sola produzione di elettricità sono fatti funzionare sulla base del fabbisogno di elettricità dell'oggetto da alimentare (figura 26). In tal caso l'impianto può essere inserito e disinserto ad una determinata soglia del fabbisogno di elettricità oppure la potenza dell'impianto viene regolata in modo che il fabbisogno di elettricità può essere coperto e non sia necessaria l'immissione di corrente nella rete dell'azienda elettrica. Gli impianti per la produzione combinata di forza e di calore utilizzati per la sola produzione di elettricità non sono stati finora praticamente realizzati in Svizzera, a causa dei problemi ivi connessi (riquadro 27).

Nel caso d'impianti per la sola produzione di elettricità occorre assolutamente tener conto del fatto che mediante un dimensionamento ed una gestione adeguati dell'accumulatore di calore, tutto il calore può essere utilizzato. Se ciò non è possibile occorre chiarire se, sulla base delle disposizioni legali in vigore concernenti l'energia, sia possibile una produzione di elettricità senza utilizzazione del calore (non si può più infatti parlare di produzione combinata di forza e di calore!). Occorre limitare in modo assoluto al minimo necessario le ore di servizio dell'impianto senza utilizzazione del calore.

Impianto per la produzione combinata di forza e di calore utilizzato quale impianto elettrogeno di emergenza

Gli impianti per la produzione combinata di forza e di calore utilizzati per la produzione di calore e di elettricità possono essere equipaggiati in modo che nel caso d'interruzione dell'erogazione dell'energia elettrica il fabbisogno degli utilizzatori possa essere coperto mediante un impianto di emergenza. Ciò è interessante a causa del fatto che non entrano più in linea di conto gli investimenti che potrebbero essere fatti per un impianto elettrogeno di emergenza convenzionale. Di conseguenza tali investimenti restano a disposizione per l'impianto per la produzione combinata di forza e di calore. Per l'utilizzazione di un impianto per la produzione combinata di calore e di forza quale impianto elettrogeno di emergenza occorre tener conto dei punti menzionati nel riquadro 28 (che valgono del resto anche per gli impianti elettrogeni di emergenza convenzionali!).

2.3 Combustibili

Gas naturale

Il gas naturale è adatto per l'utilizzazione in tutti gli impianti per la produzione combinata di forza e di calore. Solo nel caso di motori con accensione a getto è necessaria almeno una piccola percentuale di gasolio EL. Occorre tener conto dei punti seguenti:

- per gli oggetti con un allacciamento esistente alle condutture del gas occorre chiarire se la capacità e la pressione del gas dell'allacciamento siano sufficienti per permettere di provvedere all'approvvigionamento sia degli utilizzatori esistenti, sia dell'impianto per la produzione combinata di forza e di calore.
- Le turbine a gas necessitano di una pressione del gas elevata (10...15 bar), cosicché, tenuto conto della potenza elevata di raccordo, è necessaria una pressione di allacciamento media (1 o 5 bar).
- L'adattamento della pressione del gas della rete alla pressione richiesta dall'impianto avviene mediante stazioni di aumento della pressione, rispettivamente di riduzione della stessa (figura 29).
- La maggior parte delle aziende di distribuzione del gas praticano tariffe differenti per il prelievo del gas disinseribile o non disinseribile. Per gli impianti con GFC funzionanti con motore a gas esiste spesso una tariffa separata oppure ci si può accordare per una tariffa speciale. Gli impianti muniti di turbine a gas devono essere progettati per il funzionamento con due tipi di combustibili.
- Se l'impianto di caldaie per la copertura del fabbisogno di punta viene alimentato anche con gas naturale vale la pena, a seconda della tariffa del gas, di prevedere l'utilizzazione di un bruciatore che utilizza due combustibili, cioè gasolio/gas (eccettuato il caso di piccoli impianti con un fabbisogno di potenza calorifica fino a circa 200 kW).
- Per la messa a concorso dell'impianto per la produzione combinata di forza e di calore occorre interpellare l'azienda del gas in merito all'indice del metano e chiarire se durante i periodi di punta occorre fare una miscela con gas liquidi (propano, butano).

Gas di fogna

Il gas di fogna è perfettamente adatto al funzionamento di GFC funzionanti con motore a gas a miscela povera (figura 30). Il gas di fogna vale quale energia rinnovabile e, di conseguenza, il valore limite delle emissioni per gli ossidi di azoto ($400 \text{ mg/m}^3_{\text{N}}$) è più elevato che non nel caso dei GFC funzionanti con gas naturale. Questo valore limite può essere raggiunto con un motore a miscela povera.

Impianto per la produzione combinata di forza e di calore utilizzato impianto elettrogeno di emergenza

- La disponibilità del combustibile dell'impianto per la produzione combinata di forza e di calore deve corrispondere alle esigenze della necessità della corrente di emergenza.
- La disponibilità dell'impianto per la produzione combinata di forza e di calore deve parimenti corrispondere alle esigenze della necessità di corrente di emergenza. La disponibilità può così essere aumentata ad un punto tale che un impianto per la produzione combinata di forza e di calore può essere realizzato con parecchi gruppi.
- I lavori di manutenzione dell'impianto devono essere eseguiti durante le ore in cui non esiste una necessità di corrente di emergenza oppure la stessa è ridotta.
- Per il funzionamento con corrente di emergenza è assolutamente necessario un raffreddamento di emergenza indipendente dal sistema di riscaldamento.
- L'impianto per la produzione combinata di forza e di calore deve poter essere separato rapidamente dalla rete.

Riquadro 28

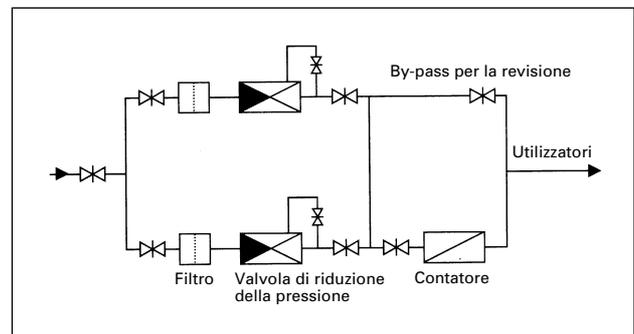


Figura 29: stazione di riduzione della pressione del gas e stazione di misurazione (stazione DRM)

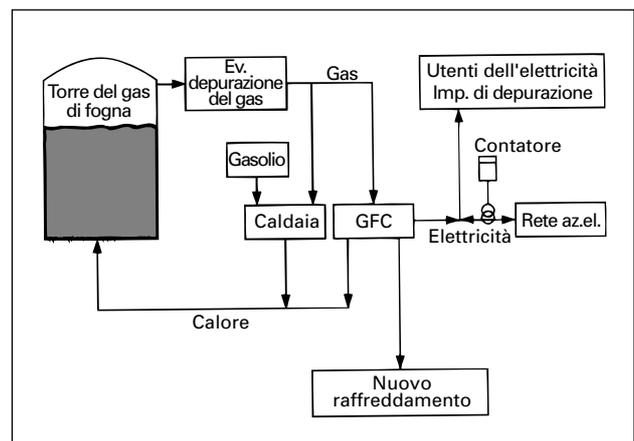


Figura 30: GFC con gas di fogna

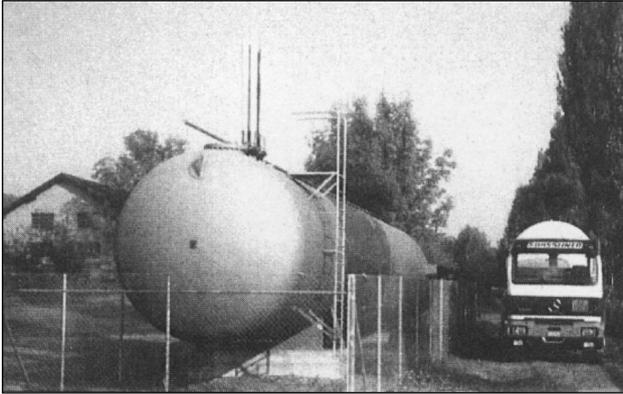


Figura 31: esempio di un approvvigionamento di propano posto in superficie (foto: Basler + Hofmann AG)

Gas liquido

- A causa del basso numero di ottani del propano e del butano, nei motori a gas è prevedibile una riduzione della potenza.
- Il gas liquido può essere immagazzinato in serbatoi posti in superficie oppure sotterranei. Negli impianti con un peso netto massimo all'origine superiore alle 20 tonnellate è necessario fornire una prova della sicurezza giusta l'Ordinanza sugli incidenti.
- Il gas liquido è particolarmente adatto per gli impianti per la produzione combinata di forza e di calore progettati per il servizio di alimentazione elettrica di emergenza.
- Nei motori azionati con gas naturale, il gas liquido può essere utilizzato quale combustibile. Al vantaggio offerto da una tariffa bassa del gas (disinseribile) occorre contrapporre i costi supplementari dell'infrastruttura necessaria per il gas liquido. Le installazioni supplementari e le limitazioni dell'esercizio sono specifiche del prodotto. A questo proposito occorre quindi interpellare il fornitore dei motori a gas.

Riquadro 32

È possibile ottenere emissioni minori di ossidi di azoto con motori λ 1 con catalizzatore a tre vie. In tal caso occorre tuttavia eseguire chiarimenti dettagliati per quanto concerne il contenuto di zolfo, di fluoro ed ulteriori sostanze estranee nel gas di fognia, giacché esse ostacolano l'efficacia del catalizzatore dei gas di scarico.

Gas proveniente da deponie

La combustione di gas proveniente da deponie per l'azionamento di motori può aver luogo solo in un GFC funzionante con motore a gas a miscela povera, a causa delle sostanze estranee esistenti nel gas. Giusta l'Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico, il valore limite delle emissioni di ossidi di azoto è di 400 mg/m³N.

Gas liquido

Se una costruzione in cui deve essere installato un GFC funzionante con motore a gas non può essere alimentata con gas naturale, occorre esaminare la possibilità di realizzazione di un approvvigionamento con gas liquido (propano, butano). Il gas liquido può essere immagazzinato in serbatoi di approvvigionamento posti in superficie (figura 31) oppure sotterranei. I serbatoi posti in superficie possono essere presi in locazione dal fornitore del gas liquido, mentre quelli sotterranei devono essere acquistati. La fornitura del gas liquido avviene normalmente mediante autocisterna; nel caso in cui l'oggetto che deve essere approvvigionato si trova nelle vicinanze di un binario di raccordo industriale oppure di una stazione merci, la fornitura per ferrovia sarà meno costosa. Nel riquadro 32 sono riuniti i punti essenziali da osservare per l'utilizzazione di gas liquido in GFC con motore a gas.

Gasolio EL

Il gasolio EL può essere utilizzato nei GFC funzionanti con motore diesel e con turbine a gas.

 I problemi del GFC con motore diesel sono esposti esaurientemente al paragrafo 1.4

Legna

La legna costituisce un vettore energetico rinnovabile e presente in grandi quantità in molti luoghi. La produzione combinata di forza e di calore utilizzando la legna quale combustibile può aver luogo in due modi:

- la legna viene bruciata in **caldaie a vapore** ed il vapore viene in seguito utilizzato per l'azionamento di una turbina a vapore o di un motore a vapore. Il rendimento meccanico dipende forte-

mente dalla temperatura di condensazione del circuito del vapore e, di conseguenza, dal livello di temperatura dell'utilizzazione del calore. Tale rendimento varia dal 12 al 16%.

- La legna viene sminuzzata in un **gasificatore di legna** ed in seguito ripulita, raffreddata e bruciata in un motore a gas. Le prove finora eseguite hanno dimostrato che la depurazione del gas di legna crea problemi notevoli che possono essere risolti soltanto utilizzando sistemi di depurazione del gas molto dispendiosi.

2.4 Condizioni legali basilari

Utilizzazione dell'energia

A livello federale, nel **Decreto sull'impiego parsimonioso e razionale dell'energia** (Decreto sull'energia) e nell'Ordinanza pertinente (riquadro 33) è stabilito soltanto il principio che «ogni energia deve essere, per quanto possibile, utilizzata in modo parsimonioso e razionale». Non sono invece previste esigenze dettagliate per quanto concerne gli impianti per la produzione combinata di calore e di forza.

Principi simili sono contenuti anche nelle **leggi sull'energia** a livello cantonale e comunale. Nel canton Zurigo, ad esempio, esistono disposizioni concrete e specifiche concernenti gli impianti per la produzione combinata di forza e di calore: nel caso di edifici con un fabbisogno di potenza calorifica superiore a 2 MW può essere prescritto l'impiego di un impianto per la produzione combinata di forza e di calore. Molte leggi sull'energia vietano l'esercizio d'impianti per la produzione combinata di forza e di calore senza un'utilizzazione contemporanea del calore (ad es. la città di Zurigo). Gli uffici cantonali dell'energia oppure gli uffici di consulenza energetica dei comuni possono fornire informazioni in merito.

Elettricità

A livello federale il Decreto sull'energia obbliga le aziende elettriche ad autorizzare l'esercizio in parallelo alla rete d'impianti per la produzione combinata di forza e di calore, nonché ad accettare l'immissione nella rete dell'elettricità prodotta, versando un'**indennità** adeguata. Questa indennità è regolata

- per le energie non rinnovabili «secondo i prezzi di prelievo per un'energia equivalente fornita mediante la rete regionale» e
- per le energie rinnovabili «secondo i costi per la produzione di energia equivalente mediante impianti di produzione nuovi siti nel Paese».

Leggi, ordinanze, raccomandazioni



Decreto federale sull'impiego parsimonioso e razionale dell'energia (D. sull'energia) del 14 dicembre 1990, ottenibile presso l'UCFSM, 3000 Berna



Ordinanza sull'impiego parsimonioso e razionale dell'energia (O. sull'energia, OEn) del 22 gennaio 1992, ottenibile presso l'UCFSM, 3000 Berna



Raccomandazioni per il calcolo e la determinazione dell'indennità per l'elettricità immessa nella rete pubblica da produttori privati. Berna: DTCTE, dicembre 1992. Ottenibile presso l'UCFSM, 3000 Berna



Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico (OIA) del 16 dicembre 1985, stato 1° gennaio 1992. Ottenibile presso l'UCFSM, 3000 Berna

Riquadro 33

Energia rinnovabile o non rinnovabile?

Giusta il Decreto sull'energia (riquadro 33) le energie rinnovabili sono:

- la forza idraulica (limitazione: fino a 1 MW)
- l'energia solare
- l'energia eolica
- la biomassa
- la legna
- il gas di fognia
- la geotermica

Le energie non rinnovabili sono invece costituite:

- dai combustibili fossili
- dai rifiuti (gas proveniente da deponie, combustione)

Riquadro 34

Il riquadro 34 spiega ciò che s'intende per energia «rinnovabile» e per energia «non rinnovabile». Una commissione istituita dall'Ufficio federale dell'energia (UFE) ha elaborato **raccomandazioni** concernenti l'ammontare dell'indennità (cfr. riquadro 33). In alcuni cantoni (ad esempio Basilea Campagna) le leggi cantonali sull'energia fissano tariffe più elevate per l'acquisto di elettricità immessa nella rete pubblica.

Valori limite d'emissione (riferiti al tenore di ossigeno)	Motore a gas ¹ [mg/m ³ N] (5%)	Motore diesel ² [mg/m ³ N] (5%)	Turbina a gas ³ [mg/m ³ N] (15%)
Valori limite d'emissione secondo OIAt:			
- CO	650	650	100
- particelle solide	100	100	-
- indice di fuliggine	-	-	2...4
- NO _x combustibili fossili, gas di fogna, di deponia, biogas	80 400	400 400	120 120
Valori limite d'emissione speciali per NO _x :			
- ZH (senza città)	80	120	OIAt
- Città di Zurigo	50	50	45
- BE ⁴	80	120	OIAt
- SG ⁵			
in generale	80	120	OIAt
gas di fogna	150	-	OIAt
- BL/BS ⁶			
gas	70	-	40
gasolio	-	110	50

¹ OIAt: a partire da un consumo di combustibile di 10 kg/h (40 kW_{el})
² OIAt: a partire da un consumo di combustibile di 50 kg/h (200 kW_{el})
³ OIAt: fino a 60 MW di potenza termica dell'impianto di combustione
⁴ Regioni di Berna, Bienne, Thun, Langenthal
⁵ Regioni di S. Gallo, di Rorschach, della Linth, di Wil
⁶ Città di Basilea, nonché regione inferiore del canton Basilea

Tabella 35: valori limite d'emissione per impianti per la produzione combinata di forza e di calore

Emissioni di sostanze nocive

In Svizzera valgono generalmente i valori limite prescritti dall'Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico (riquadro 33, tabella 35). Nelle regioni con immissioni eccessive valgono valori limite più severi (regioni nelle quali devono essere adottate misure giuste l'OIAt).

2.5 Organizzazioni esterne

In molti casi è il proprietario stesso che fa costruire e gestisce l'impianto per la produzione combinata di forza e di calore. Esistono tuttavia motivi che possono indurre il proprietario a non costruire e/o a non gestire personalmente gli impianti per la produzione combinata di forza e di calore:

- il proprietario non può o non vuole investire un importo elevato in un impianto per la produzione combinata di forza e di calore, benché la stessa possa rivelarsi redditizia
- il proprietario non possiede alcuna esperienza per quanto concerne la costruzione e/o la gestione di un impianto per la produzione combinata di forza e di calore
- il proprietario non vorrebbe incorrere in alcun rischio di tipo finanziario e/o tecnico.

In tali casi un'organizzazione (esterna) potrebbe assumersi l'onere della costruzione e/o della gestione dell'impianto per la produzione combinata di forza e di calore. I rapporti tra l'organizzazione ed il proprietario vengono regolati contrattualmente.

In alcune regioni della Svizzera le aziende elettriche, le ditte di produzione degli impianti, le aziende gestite da un gruppo d'ingegneri, gli istituti di finanziamento e le cooperative offrono le prestazioni di servizio di un'organizzazione responsabile (tabella 36). A seconda del desiderio del cliente, le aziende offrono diverse prestazioni di servizio, come il servizio di picchetto, la sorveglianza a distanza, l'eliminazione dei guasti, ecc.

2.6 Contratti di fornitura dell'energia

Gas naturale

Negli impianti di dimensioni maggiori viene spesso concluso un accordo contrattuale speciale per quanto concerne la fornitura di gas per l'esercizio dell'impianto di produzione combinata di forza e di calore e, eventualmente, della caldaia per la copertura del carico di punta. Per gli impianti più piccoli valgono in generale i regolamenti e le tariffe dell'azienda di distribuzione, cosicché in tal caso è possibile rinunciare alla conclusione di un accordo speciale.

Elettricità

Giusta il Decreto sull'energia l'allacciamento di un impianto per la produzione combinata di forza e di calore alla rete pubblica deve essere regolato contrattualmente. Sarà l'azienda elettrica stessa a stabilire il contenuto del contratto di allacciamento.

Calore

Un contratto per la fornitura di calore viene concluso se il gestore dell'impianto per la produzione combinata di forza e di calore non utilizza personalmente il calore prodotto, ma lo vende a terzi. Ciò è il caso in particolare allorché un'organizzazione responsabile fa costruire e gestisce l'impianto. Il contratto per la fornitura di calore contiene norme concernenti i doveri del fornitore e dell'acquirente, le condizioni tecniche dell'allacciamento ed in particolare le disposizioni finanziarie concernenti la vendita di calore. Il prezzo del calore comprende gli elementi principali seguenti (cfr. anche il riquadro 37):

- una **tassa d'allacciamento** viene pagata una sola volta per tutta la durata del contratto. Essa può venire accertata, ad esempio, sulla base degli investimenti che l'acquirente del calore non è stato costretto a fare grazie al fatto di aver rinunciato alla produzione in proprio di calore.
- Il **prezzo base** viene pagato annualmente al fornitore. Esso può essere stabilito a dipendenza dalla potenza calorifica in abbonamento (prezzo della potenza), ma è tuttavia indipendente dall'energia termica acquistata realmente.
- Il **prezzo del lavoro** viene calcolato per unità di energia termica effettivamente acquistata (ad es. in ct./kWh). Esso viene stabilito come formula in funzione del prezzo del gas, del prezzo del gasolio e delle tariffe dell'elettricità, eventualmente tenendo conto dei costi di manutenzione, d'esercizio, di cura e di quelli assicurativi, nonché dei costi del capitale e d'amministrazione.

Il prezzo del lavoro ed il prezzo base devono essere fissati in modo che i costi del calore consistano per il 70% circa del prezzo del lavoro e per il 30% circa del prezzo base:

- il prezzo base non deve essere troppo elevato, dovendo essere pagato indipendentemente dal prelievo di calore e non costituisce quindi un incentivo al consumo parsimonioso del calore stesso.
- Il prezzo base non può tuttavia essere troppo basso poiché certe prestazioni del fornitore non dipendono dal prelievo di calore e risultano anche nel caso in cui il prelievo del calore sia minore del previsto oppure diminuisca nel corso del tempo a causa dell'adozione di misure di risparmio.

Organizzazione	Regione	Impianti
Elektra Birseck Münchenstein (EBM)	Regione di distribuzione EBM	11
Elektra Baselland (EBL)	Regione di distribuzione EBL	4 in progettazione
Bernische Kraftwerke (BKW)	Canton BE	2
Centralschweizerische Kraftwerke (CKW)	Canton LU senza città	3 in progettazione
IWK AG, Zurigo	Svizzera ed estero	1 in progettazione
Schmeik + Schindler AG, Münchenstein	Svizzera	-
Enerplan Invest AG, Lucerna	Svizzera	5
Comunità di lavoro per la fornitura decentralizzata di energia (ADEV), Liestal e Berna	Svizzera	10

Tabella 36: organizzazioni responsabili (per gli indirizzi cfr. appendice)

Condizioni di vendita del calore (esempio)

Case unifamiliari a schiera, fabbisogno di potenza calorifica 10 kW

Allacciamento all'interconnessione di riscaldamento:

- tasso di allacciamento (30 anni)	Fr.	10'000.-
- costi base	Fr.	350.-
- prezzo del lavoro = 1,4 ¹ x prezzo del gas	ct./kWh	5,2

Impianto convenzionale di caldaia a gas:

- investimenti (caldaia, gas, canna fumaria; 15 anni)	Fr.	8'000.-
- costi fissi (prezzo base gas, spazzacamino)	Fr./a	350.-
- costi del gas = 1,1 ² x 1/0,85 ³ x prezzo del gas	ct./kWh	4,8

Costi annui [Fr./a]	Interconn. di riscald.	Caldaia a gas
- costi del capitale	810.-	880.-
- costi fissi	350.-	350.-
- costi del calore (15000 kWh/a)	780.-	720.-
- totale costi annui	1'940.-	1'950.-

¹ Fattore pattuito per il prezzo del calore

² Fattore di conversione potere calorifico del gas H₂ a H_u

³ Grado di utilizzazione annuale della caldaia a gas

Riquadro 37

3. Dimensionamento

Basi per il dimensionamento approssimativo (studio della possibilità di realizzazione, concetto globale)

Edifici nuovi:

- concetto di fornitura del calore
- volume costruito e/o superficie di riferimento energetico
- indici dell'energia da raggiungere per il calore e l'elettricità.

Su questa base è possibile calcolare il fabbisogno approssimativo di potenza calorifica secondo SIA 384/2, nonché il fabbisogno approssimativo di calore annuo.

Edifici esistenti:

- analisi del sistema di fornitura del calore
- progetti di trasformazione e/o di risanamento
- consumo annuo di energia finale negli ultimi cinque anni (base: calcoli per gasolio, gas, elettricità).

Su questa base possono venire calcolati il fabbisogno annuo di calore, nonché il fabbisogno approssimativo di potenza calorifica secondo SIA 384/2.



Il grande vantaggio presentato dagli impianti esistenti è costituito dalla possibilità dell'esecuzione di misurazioni. È quindi necessario predisporre l'esecuzione immediata della misurazione dei dati di funzionamento più importanti (caratteristiche dell'energia e curve termiche). I costi delle misurazioni possono venire ammortizzati senza problemi utilizzando componenti di minori dimensioni e mediante tasse di allacciamento più basse (rinuncia a margini di sicurezza inutili).

Basi del dimensionamento dettagliato (progetto, esecuzione)

Edifici nuovi:

- concetto della fornitura del calore
- calcolo dettagliato del fabbisogno di potenza calorifica secondo SIA 384/2
- calcolo dettagliato del fabbisogno annuo di calore utilizzando un secondo metodo indipendente (ad es. secondo SIA 380/1)
- accertamento dettagliato del fabbisogno di elettricità (valori mensili oppure valori estivi ed invernali per tariffa alta e tariffa bassa).

Edifici esistenti:

- analisi dettagliata del sistema di fornitura del calore
- caratteristiche dell'energia e curve termiche accertate con sistemi tecnici di misurazione
- andamento giornaliero del prelievo del calore (andamenti giornalieri tipici nel caso di utilizzazioni normali, misurazioni dettagliate nel caso di oggetti con andamenti giornalieri insoliti)
- verifica del fabbisogno di calore annuale (base: consumo annuo di energia finale negli ultimi cinque anni)
- fabbisogno di elettricità (valori mensili oppure valori estivi ed invernali per tariffa alta e tariffa bassa, in casi complessi: valori di misurazione).

Riquadro 38

3.1 Basi

Il dimensionamento dell'impianto per la produzione combinata di forza e di calore esercita un influsso decisivo sul funzionamento, sulla durata di funzionamento annua, nonché sulle spese di manutenzione. Da parte loro questi fattori esercitano un influsso considerevole sulla redditività. Il dimensionamento consiste degli elementi seguenti:

– **dimensionamento:** determinazione delle potenze.

– **Calcolo della redditività:** accertamento dei costi di produzione del calore e/o dell'elettricità.

Nelle diverse fasi di realizzazione il dimensionamento avviene in modo differenziato per quanto concerne i dettagli:

– **studi preliminari:** non viene eseguito un dimensionamento sulla base di calcoli, bensì una valutazione delle condizioni estreme.

– **Studio della possibilità di realizzazione, concetto globale:** dimensionamento approssimativo mediante formule empiriche ed accertamento dei costi di produzione dell'elettricità (non viene eseguito un calcolo dettagliato dei costi annui).

– **Progetto, esecuzione:** dimensionamento dettagliato, in particolare mediante un calcolo dettagliato della redditività ed un accertamento dei costi di produzione del calore.

I presupposti del dimensionamento sono costituiti dai **dati fondamentali** dell'oggetto che deve essere approvvigionato con calore ed elettricità. Tali dati devono essere accertati in modo esauriente e valutati criticamente. A seconda della fase di progettazione questi dati fondamentali sono necessari in un grado d'importanza diverso (riquadro 38). I fattori seguenti esercitano inoltre un influsso decisivo sul dimensionamento:

– stato e tipo di tariffa dell'azienda elettrica competente (tariffe di riferimento per lavoro e potenza, tariffe per l'elettricità immessa dall'utente nella rete pubblica).

– Fabbisogno di corrente di emergenza, in quanto l'impianto per la produzione combinata di forza e di calore venga utilizzato anche per l'alimentazione di emergenza.

– Infrastruttura (possibilità di allacciamento per il gas e l'elettricità, nonché condizioni di spazio esistenti).



Essenziali per il dimensionamento sono dei dati esatti e fondati, mentre l'esattezza del calcolo esercita un ruolo piuttosto secondario!

3.2 Dimensionamento approssimativo

Per l'esecuzione di studi della possibilità di realizzazione, di concetti, di studi preliminari e di progetti preliminari è sufficiente un dimensionamento approssimativo:

- il **dimensionamento approssimativo** avviene utilizzando le formule empiriche del riquadro 39
- la **valutazione della redditività** avviene sulla base degli investimenti specifici secondo la figura 41 e del nomogramma «Costi di produzione dell'elettricità» della figura 42.

Dimensionamento approssimativo

Il dimensionamento approssimativo si basa su valori tratti dall'esperienza e che hanno permesso di ottenere una redditività ottimale nel caso di molti impianti già montati, nei quali la percentuale più importante del fabbisogno di calore dipendeva dalla temperatura esterna.

Il dimensionamento approssimativo *non* tiene conto dei punti seguenti:

- andamento annuale e giornaliero del fabbisogno di calore
- arresto dell'impianto per la produzione combinata di forza e di calore, ad esempio a causa di tariffe dipendenti da orari ben determinati.

È difficile fornire una **formula empirica per gli edifici non abitativi**. Nel caso delle condizioni seguenti il dimensionamento approssimativo dovrebbe aver luogo secondo il riquadro 39 e, meglio ancora, tenendo conto del limite inferiore della gamma di potenza:

- percentuale minima di utilizzatori che non dipendono dalle condizioni atmosferiche
- percentuale elevata di guadagno termico (buon sfruttamento passivo dell'energia solare, carichi interni elevati)
- intervalli più lunghi con fabbisogno ridotto di calore (scuole).

Nei casi seguenti il dimensionamento approssimativo può aver luogo più facilmente al limite superiore della gamma di potenza:

- percentuale più elevata di utilizzatori non dipendenti dalle condizioni atmosferiche
- percentuale più elevata del fabbisogno di calore per gli impianti di ventilazione con lunghi periodi di funzionamento (tuttavia: possono essere ridotti, esiste un RDC?)
- temperature elevate dell'aria ambiente (ospedali, istituti d'assistenza)
- tariffe elevate dell'elettricità (prelievo, immissione sulla rete da parte dell'utente).

Il riquadro 40 illustra il dimensionamento approssimativo sulla base della prima parte di un caso pratico.

Formule empiriche per il dimensionamento approssimativo

A questo scopo sono necessari (eventualmente sotto forma di valutazioni corrispondenti a questi valori, cfr. riquadro 38):

- il **fabbisogno di potenza calorifica** secondo SIA 384/2 *senza alcun supplemento* (acqua calda, perdite di distribuzione, ecc.) oppure il fabbisogno misurato di potenza calorifica, compreso il margine di sicurezza
- il **fabbisogno di calore annuo**, calcolato mediante un secondo metodo indipendente (ad es. SIA 380/1), eventualmente *con acqua calda* oppure il fabbisogno annuo di calore misurato

Edifici d'abitazione senza il riscaldamento dell'acqua:

- potenza PCFC = 0,35 volte il fabbisogno di potenza calorifica
- potenza PCFC = 0,70 volte il fabbisogno annuo di calore diviso per 4250 ore di funzionamento

Edifici d'abitazione con riscaldamento dell'acqua:

- potenza PCFC = 0,40 volte il fabbisogno di potenza calorifica
- potenza PCFC = 0,70 volte il fabbisogno annuo di calore diviso per 4750 ore di funzionamento

Edifici non adibiti ad abitazione:

- potenza PCFC = 0,25...0,40 volte il fabbisogno di potenza calorifica
- potenza PCFC = 0,70 volte il fabbisogno annuo di calore diviso per 4500 ore di funzionamento

Ambedue le formule devono fornire, di volta in volta, valori della stessa portata. **Potenza elettrica PCFC** = 0,55 volte la potenza termica dell'impianto scelto per la produzione combinata di forza e di calore.

Riquadro 39

Esempio pratico 1ª parte – dimensionamento approssimativo

Regola empirica «edifici d'abitazione senza riscaldamento dell'acqua»:

- fabbisogno di potenza calorifica tratto dalla caratteristica misurata dell'energia (caso di dimensionamento compresa sicurezza) 1375 kW
- consumo annuo misurato di gasolio 325000 l/a
- grado valutato di utilizzazione annuale 0,85

Potenza PCFC tratta dal fabbisogno di potenza calorifica:

$$\dot{Q}_{\text{oggetto}} = 1375 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{\text{PCFC}} = 0,35 \cdot \dot{Q}_{\text{oggetto}} = 480 \text{ kW} \quad (\text{riquadro 39})$$

Potenza PCFC calcolata sulla base del fabbisogno di calore annuo:

$$\dot{Q}_{\text{calore utile}} = 325000 \frac{\text{l}}{\text{a}} \cdot 0,84 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \cdot 0,85 \cdot 11,86 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}$$

$$\dot{Q}_{\text{calore utile}} = 2750000 \text{ kWh}$$

$$\dot{Q}_{\text{PCFC}} = 0,70 \frac{\dot{Q}_{\text{calore utile}}}{4250 \text{ h}} = 450 \text{ kW} \quad (\text{riquadro 39})$$

Potenza dell'impianto scelto per la produzione combinata di forza e di calore:

$$\dot{Q}_{\text{PCFC}} = 450 \text{ kW}$$

$$P_{\text{el}} = 0,55 \cdot 450 \text{ kW} = 250 \text{ kW}$$

Riquadro 40

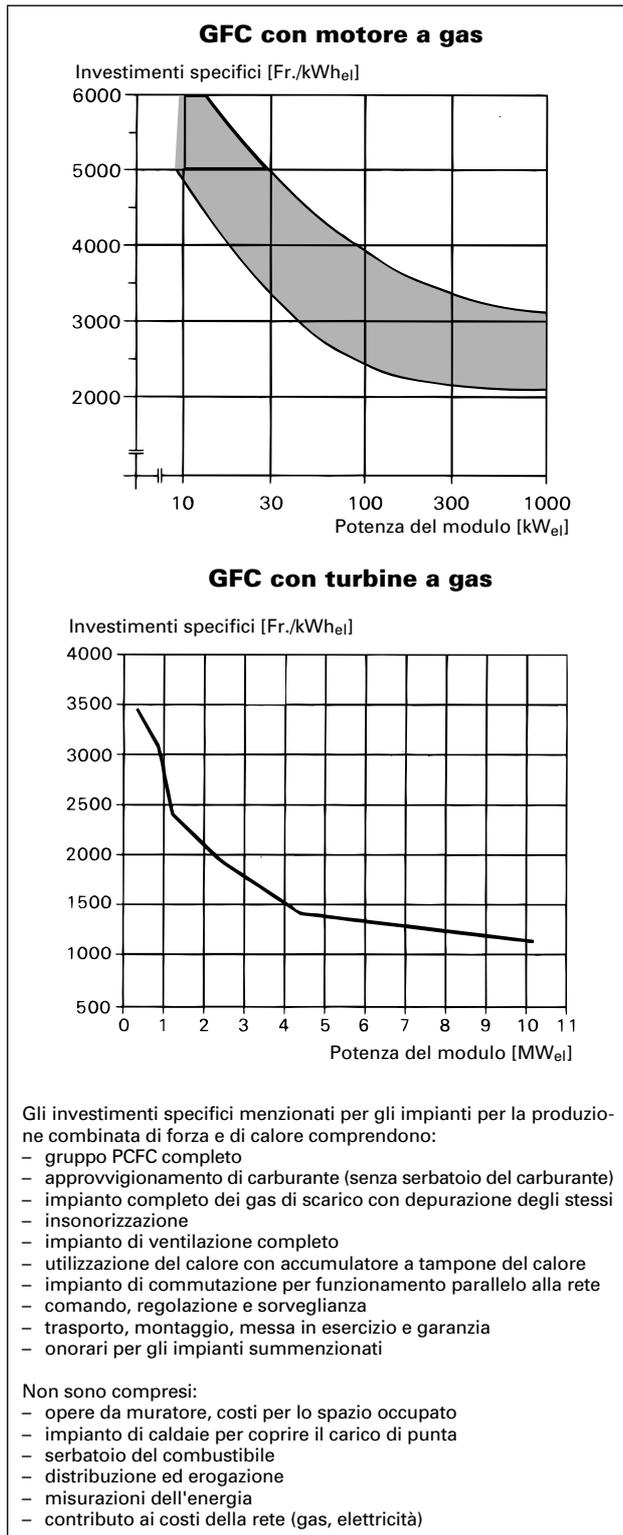


Figura 41: investimenti specifici

Investimenti specifici

Gli investimenti per i GFC con motore a gas e con turbine a gas dipendono essenzialmente dalla potenza elettrica dell'impianto: quanto maggiore è l'impianto, tanto minori sono gli investimenti specifici (investimenti per potenza installata). Per chiarimenti preliminari e studi della possibilità di realizzazione è sufficiente un accertamento con l'ausilio della figura 41 oppure la richiesta di un prezzo indicativo (precisione del 20%).

Gli investimenti illustrati nella figura 41 per **GFC con motore a gas** si basano sui valori pratici tratti da molti impianti già installati. Lo stato dei prezzi è quello del 1993. A seconda delle condizioni specifiche dell'oggetto e della situazione del mercato, gli investimenti si situano nella gamma di prezzo indicata.

Esistono relativamente pochi valori pratici per gli investimenti fatti nel settore dei **GFC con turbine a gas**. Gli investimenti indicati alla figura 41 sono, di conseguenza, da considerarsi solo quali valori indicativi per valutazioni approssimative. Per quanto concerne gli studi della possibilità di realizzazione si dovrebbe assolutamente chiedere un prezzo indicativo al fornitore dell'impianto.

Valutazione della redditività

Per poter accertare i **costi di produzione dell'elettricità** non devono essere noti tutti i costi annuali, ma sono sufficienti i dati più rilevanti dell'impianto per la produzione combinata di forza e di calore:

- investimenti specifici (dalla figura 41)
- annualità (secondo il periodo d'esame e il tasso d'interesse del capitale, come alla tabella 55)
- ore di funzionamento annuali (dal dimensionamento approssimativo secondo il riquadro 39)
- prezzo del combustibile tenendo conto del rincaro (coefficiente del valore medio secondo la tabella 55)
- costi di manutenzione (dalla figura 56), tenendo conto del rincaro (coefficiente del valore medio secondo la tabella 55).

La determinazione mediante il nomogramma «Costi di produzione dell'elettricità» della figura 42 è molto semplice e veloce. La tabella 43 lo dimostra sulla base di un caso pratico.

Occorre tener conto dei punti seguenti:

- il nomogramma prende in considerazione soltanto il «lato elettrico» dell'impianto per la produzione combinata di forza e di calore (produzione di elettricità e maggior consumo di combustibile a causa della produzione di elettricità).

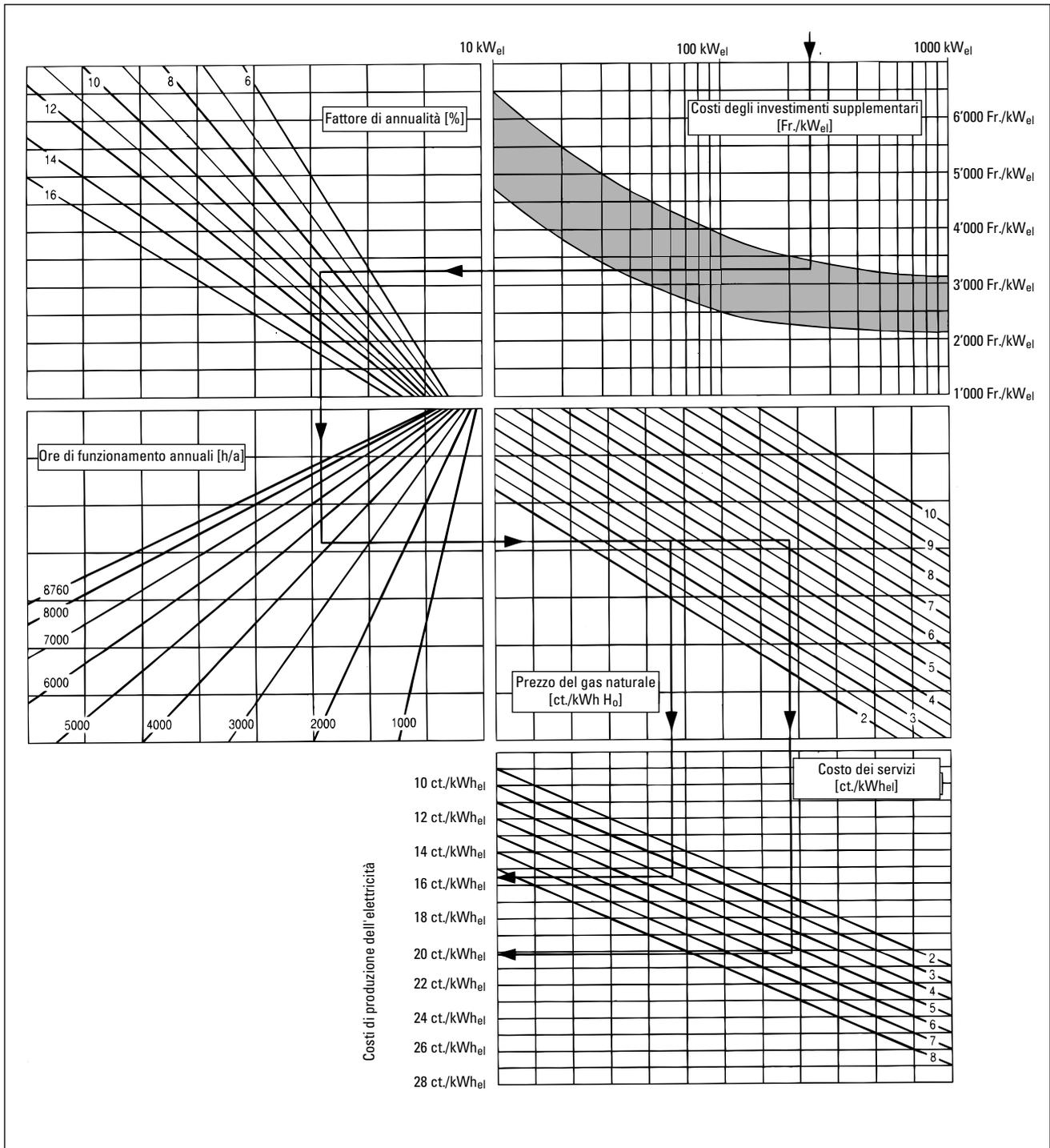


Figura 42: nomogramma per la determinazione dei costi di produzione dell'elettricità (esempio ivi disegnato: cfr. tabella 43)

 Esempio pratico 2a parte	1° anno	Coefficiente del valore medio	Media per 20 anni ³
Investimenti specifici come alla figura 41 [Fr./kWh _{el}] – GFC 250 kW _{el}	3'250	–	3'250
Annualità da tabella 55 – considerati 20 anni – tasso d'interesse del capitale 6%	0,087	–	0,087
Ore di funzionamento [h/a]	4250	–	4250
Prezzo del gas naturale [ct./kWh]	4,0	1,581 ¹	6,3
Costi specifici della manutenzione completa da figura 56 [ct./kWh _{el}]	3,7	1,463 ²	5,4
Prezzi di produzione dell'elettricità [ct./kWh _{el}] dal nomogramma di figura 42	15,5	–	20,2

¹ 20 anni, 5% di rincaro del prezzo dell'energia (tabella 55)
² 20 anni, 4% di rincaro dei costi di manutenzione (tabella 55)
³ Prezzi correnti

Tabella 43: esempio pratico 2a parte – valutazione della redditività con l'ausilio del nomogramma della figura 42

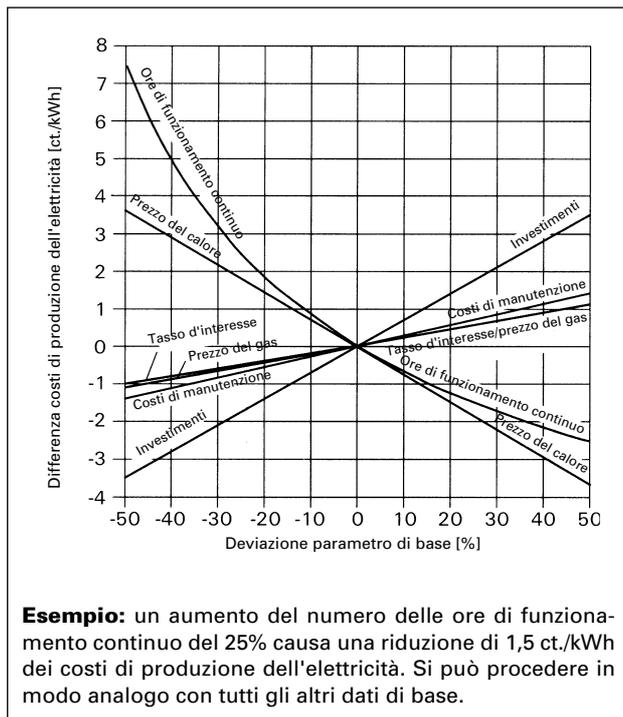


Figura 44: analisi della sensitività. Modificazione dei costi di produzione dell'elettricità in funzione dei parametri di base

- Il nomogramma parte dal principio che l'impianto delle caldaie presenta investimenti e costi di manutenzione uguali con o senza l'impianto per la produzione combinata di forza e di calore. Per gli investimenti occorre perciò tener conto solo degli investimenti supplementari nei confronti di un impianto di caldaie convenzionale.
- I costi per l'energia e la manutenzione (prezzi attuali) devono essere moltiplicati per il valore medio del periodo in esame con il coefficiente del valore medio.

Nel caso di un calcolo della redditività già eseguito una volta, l'**analisi della sensitività** permette di accertare le variazioni dei costi di produzione dell'elettricità nel caso di parametri di base variabili. I dati fondamentali utilizzati per il calcolo di base vengono variati di $\pm 50\%$ e le variazioni che ne risultano rappresentano i costi di produzione dell'elettricità. Nel caso in cui variassero contemporaneamente parecchi parametri, le modificazioni che ne risultano possono essere semplicemente sommate ai costi di produzione dell'elettricità. La figura 44 mostra la modificazione dei costi di produzione dell'elettricità in funzione dei parametri di base.

3.3 Dimensionamento dettagliato

Per la progettazione e la pianificazione dell'esecuzione deve essere eseguito il dimensionamento dell'impianto per la produzione combinata di forza e di calore:

- **dimensionamento dettagliato:** accertamento dei dati tecnici concernenti l'energia (in particolare le ore di funzionamento continuo durante i diversi orari di tariffa ed i dati di produzione e di consumo dettagliati che ne risultano)
- **calcolo della redditività:** calcolo dei costi annuali sulla base dei dati tecnici concernenti l'energia ed accertamento dei costi di produzione del calore per il primo anno d'esercizio ed in media per tutto il periodo d'esame.

Per il dimensionamento dettagliato sono necessari i dati fondamentali seguenti:

- fabbisogno di potenza calorifica (calcolo secondo SIA 384/2 per le nuove costruzioni o misurazione della caratteristica dell'energia nel caso di costruzioni esistenti)
- fabbisogno di calore annuo, tenendo conto dei guadagni termici (calcolo ad esempio secondo SIA 380/1 o accertamento sulla base della misurazione del consumo di combustibile)

- fabbisogno di calore per il riscaldamento dell'acqua
 - andamento annuo e stagionale del fabbisogno di calore utile, nonché del fabbisogno di elettricità.
- Il dimensionamento viene eseguito come segue:
- con l'ausilio del dimensionamento approssimativo viene accertata la potenza termica dell'impianto per la produzione combinata di forza e di calore (riquadro 39)
 - i dati tecnici concernenti l'energia vengono calcolati sia mediante un programma per computer, sia «manualmente» utilizzando il diagramma della frequenza cumulativa e servono da base per il calcolo dei costi annuali
 - a seconda del risultato e dell'esperienza vengono eventualmente eseguiti ulteriori calcoli con potenze maggiori o minori.

Accertamento dei dati tecnici concernenti l'energia mediante un programma per computer

Ambedue i programmi seguenti utilizzano l'andamento giornaliero per il fabbisogno di calore dell'oggetto e permettono, di conseguenza, un calcolo esatto dei dati tecnici concernenti l'energia:



il programma di calcolo «W-CALC» per gli impianti per la produzione combinata di forza e di calore consiste dei moduli «WP-CALC» per gli impianti di pompe di calore e «WKK-CALC» per gli impianti per la produzione combinata di forza e di calore. Berna: Ufficio federale dell'energia e Ufficio federale dei problemi congiunturali, 1994 (può essere ottenuto presso: Infoenergie, 5200 Windisch)

Questo programma è stato sviluppato su incarico della Confederazione. Il modulo «WKK-CALC» tiene conto in particolare, oltre che dell'andamento giornaliero del prelievo di calore (figura 45), anche dell'andamento giornaliero del fabbisogno di elettricità dell'oggetto, ciò che permette una ripartizione tra la produzione di elettricità per il proprio fabbisogno e quella immessa sulla rete pubblica. Vi è inoltre integrato il calcolo dei costi di produzione del calore (secondo il metodo «RAVEL è conveniente») per il primo anno d'esercizio, nonché in media per tutto il periodo d'esame.



Programma per computer «BHKW» (può essere ottenuto presso: Elektra Birseck Münchenstein, Weidenstrasse 27, 4142 Münchenstein)

Questo programma è stato sviluppato dalla Elektra Birseck. Non è possibile eseguire una distinzione tra elettricità utilizzata per uso personale ed elettricità immessa nella rete pubblica. La redditività viene rappresentata quale bilancio dei costi annuali nel primo anno d'esercizio.

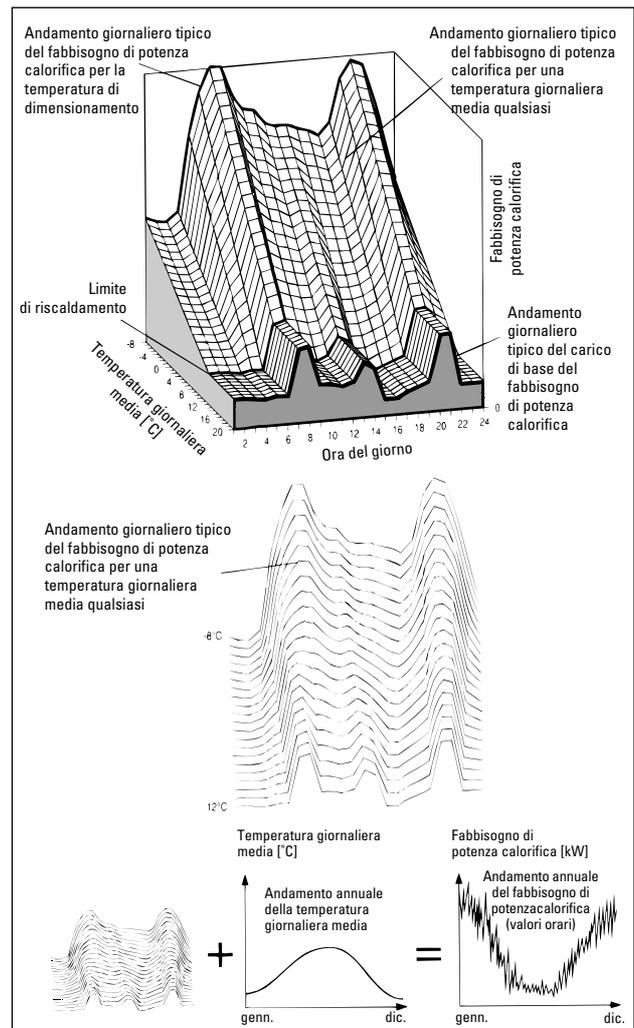


Figura 45: il programma WKK-CALC utilizza un andamento giornaliero del fabbisogno di potenza calorifica tipico per l'oggetto da esaminare; tale andamento rimane costante sull'arco di tutto l'anno. Con l'ausilio della caratteristica dell'energia vengono formati (in alto ed al centro) gli andamenti giornalieri tipici per l'oggetto per determinate temperature giornaliere medie. Sulla base dell'andamento annuale della temperatura esterna vengono in questo modo calcolati i valori orari (in basso) per il fabbisogno di potenza calorifica. In tale modo è quindi possibile calcolare per ogni singola ora dell'anno (per la quale è possibile definire un adeguato orario di tariffa) la durata del funzionamento dell'impianto per la produzione combinata di forza e di calore e la produzione di calore della caldaia per la copertura del carico di punta

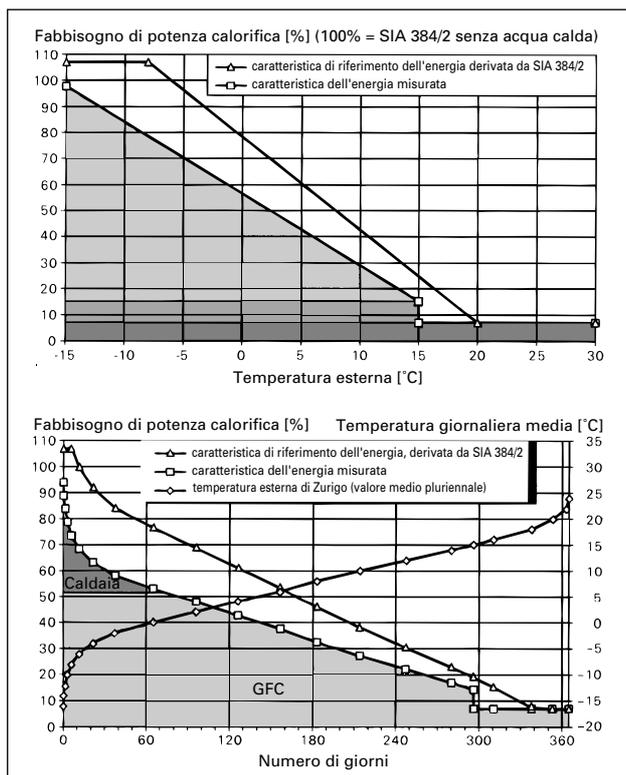


Figura 46: la **caratteristica dell'energia (diagramma superiore)** mostra il fabbisogno di potenza calorifica giornaliera media in funzione della temperatura esterna. La caratteristica inferiore nel diagramma in alto è stata misurata in un impianto funzionante. Risultano tre settori:

- una parte dipendente dalle condizioni atmosferiche che va fino al limite di riscaldamento (perdite per trasmissione e dovute alla ventilazione),
- una parte relativamente grande e non dipendente dalle condizioni atmosferiche che va fino al limite di riscaldamento (perdite di distribuzione, riscaldamento forzato, effetti dinamici dovuti alla regolazione della temperatura di andata a dipendenza dalle condizioni atmosferiche) e
- una parte indipendente dalle condizioni atmosferiche per tutto l'arco dell'anno (riscaldamento dell'acqua).

La caratteristica di riferimento dell'energia corrisponde al calcolo del fabbisogno di potenza calorifica secondo SIA 384/2, spostata parallelamente verso l'alto per la percentuale dell'acqua calda (non vengono tenuti in considerazione il limite di riscaldamento ed i guadagni termici).

La **curva della frequenza cumulativa (diagramma inferiore)** indica durante quanti giorni esiste un determinato fabbisogno di potenza calorifica. Sono rappresentate le curve della frequenza cumulativa calcolate sulla base di ambedue le caratteristiche dell'energia. L'area sotto la curva corrisponde di volta in volta alla quantità di calore (kW · h = kWh). La superficie retinata GFC sotto la curva misurata avrebbe dovuto fornire come risultato un numero di ore di funzionamento GFC di 5100 h/a; in realtà sono state raggiunte le 4200 h/a (cfr. testo). Nonostante il dimensionamento relativamente elevato del GFC al 51% del fabbisogno di potenza calorifica SIA, il numero delle ore di funzionamento ottenuto può essere considerato come buono.

Accertamento dei dati tecnici concernenti l'energia con l'ausilio del diagramma della frequenza cumulativa

Nel quadro del dimensionamento di un impianto di pompe di calore sono già stati descritti esaurientemente il diagramma della frequenza cumulativa ed i problemi ivi connessi.

 Fascicolo 3 «Pompe di calore», capitolo 4

Il diagramma della frequenza cumulativa si adatta malamente al dimensionamento di un impianto per la produzione combinata di forza e di calore, poiché è possibile accertare soltanto il numero annuo delle ore di funzionamento. La loro ripartizione nei diversi tipi di tariffa deve essere valutata mediante ipotesi ulteriori, ciò che può esercitare un grande influsso sul calcolo della redditività. È questo il motivo per cui si rinuncia qui a fare una descrizione con un esempio pratico. Al posto dello stesso, nella figura 46 viene messa a confronto la curva caratteristica dell'energia di un impianto funzionante in realtà con la curva di riferimento caratteristica dell'energia derivata da un fabbisogno di potenza calorifica secondo SIA 384/2. In tal caso sono importanti le cognizioni seguenti:

- il fabbisogno di potenza calorifica secondo SIA 384/2 è adatto solo al dimensionamento di caldaie per la copertura del carico di punta e del sistema di erogazione del calore nel punto di dimensionamento
- non è praticamente possibile dedurre una caratteristica dell'energia, rispettivamente un diagramma della frequenza cumulativa solamente con il calcolo del fabbisogno di potenza calorifica secondo SIA 384/2, giacché non può essere fornita alcuna regola plausibile che permetta di tener conto della parte del fabbisogno di potenza calorifica indipendente dalle condizioni atmosferiche, nonché dei guadagni termici
- il calcolo delle ore di funzionamento del GFC derivato dal diagramma della frequenza cumulativa è impreciso, giacché non tiene conto di molte grandezze determinanti (commutazione estate-inverno, sblocco della caldaia per la copertura del carico di punta, disponibilità, clima, ecc.).

 Il programma WKK-CALC illustra come segue il carattere contraddittorio delle condizioni di carico in teoria ed in pratica.

• Per gli **edifici nuovi** devono essere note le grandezze seguenti:

- il fabbisogno di potenza calorifica secondo SIA 384/2 (per la rappresentazione di una caratteristica di riferimento dell'energia)
- il fabbisogno di calore annuo calcolato mediante un secondo sistema indipendente (ad es. SIA 380/1)

- il limite di riscaldamento con un corrispondente fabbisogno di potenza calorifica indipendente dalle condizioni atmosferiche
 - il fabbisogno di calore per il riscaldamento dell'acqua
 - il fabbisogno di calore per il calore di processo.
- Il programma calcola le caratteristiche dell'energia corrispondenti al fabbisogno globale di calore annuo e le confronta con le caratteristiche di riferimento dell'energia corrispondenti al fabbisogno di potenza calorifica della SIA. Ambedue le caratteristiche dell'energia devono trovarsi in un rapporto plausibile l'una con l'altra. Se ciò non fosse il caso, sarebbe necessario scoprire il motivo della discrepanza mediante una verifica critica.
- Per gli **edifici esistenti** viene per principio raccomandata una determinazione della caratteristica dell'energia mediante misurazioni tecniche. Ciò può essere immesso nel programma mediante un adeguamento successivo dei parametri descritti. La caratteristica di riferimento dell'energia non è in questo caso necessaria.

Bilancio dell'energia

I **dati tecnici concernenti l'energia** vengono calcolati, sulla base del dimensionamento dettagliato, «manualmente» oppure mediante il computer (esempio pratico 3a parte, tabella 47). Essi servono soprattutto alla determinazione delle grandezze seguenti:

- dimensionamento di tutti i componenti dell'impianto
- calcolo dei costi di manutenzione
- calcolo dei costi dell'energia
- calcolo degli utili ricavati con la produzione di elettricità.

Il **diagramma del flusso energetico** rappresenta graficamente in modo molto chiaro i dati tecnici concernenti l'energia (caso pratico 4a parte, figura 48).

3.4 Calcolo della redditività

Gli impianti per la produzione combinata di forza e di calore richiedono un elevato impiego di capitale. Gli investimenti supplementari necessari rispetto ad un impianto di riferimento convenzionale devono venire ammortizzati mediante la produzione di elettricità pregiata. Questo stato di cose viene quantificato nel calcolo della redditività. Di conseguenza devono essere presi in considerazione gli investimenti odierni, nonché i costi e gli utili annui futuri. Per l'accertamento degli utili futuri esistono due problemi principali:

- per i costi e gli utili futuri occorre tener conto del rincaro

 Caso pratico 3a parte	Potenza	in %
Fabbisogno di potenza calorifica		
- SIA 384/2 per $\vartheta_a = -8^\circ\text{C}$	1375 kW	100
- misurazione per $\vartheta_a = -13^\circ\text{C}$	1250 kW*	91
- misurazione per $\vartheta_a = 15^\circ\text{C}$	125 kW*	9
Fabbisogno annuo di calore dell'edificio	2750 MWh/a	100
- riscaldamento dipendente dalle condizioni atmosferiche	2100 MWh/a	76
- riscaldamento indipendente dalle condizioni atmosferiche (limite di riscaldamento: 15°C)	650 MWh/a	24
- calore di processo	-	
- riscaldamento dell'acqua	-	
Fabbisogno annuo di elettricità	1000 MWh/a	
Potenza calorifica		
- GFC	450 kW	33
- caldaia per carico di punta	1375 kW	100
Potenza elettrica GFC	250 kW	
Potenza del combustibile		
- gas naturale GFC (H_u)	780 kW	
- gas naturale caldaia per carico di punta (H_u)	1530 kW	
- gasolio EL caldaia per carico di punta (H_u)	1530 kW	
Produzione di calore	2750 MWh/a	100
- GFC	2000 MWh/a	73
- caldaia per carico di punta a gas	650 MWh/a	23
- caldaia per carico di punta a gasolio	100 MWh/a	4
Produzione elettricità GFC	1100 MWh/a	100
- fabbisogno personale	600 MWh/a	55
- immissione rete pubblica	500 MWh/a	45
* Caratteristica dell'energia accertata mediante misurazioni tecniche e senza margini di sicurezza		

Tabella 47: caso pratico 3a parte – dati tecnici concernenti l'energia

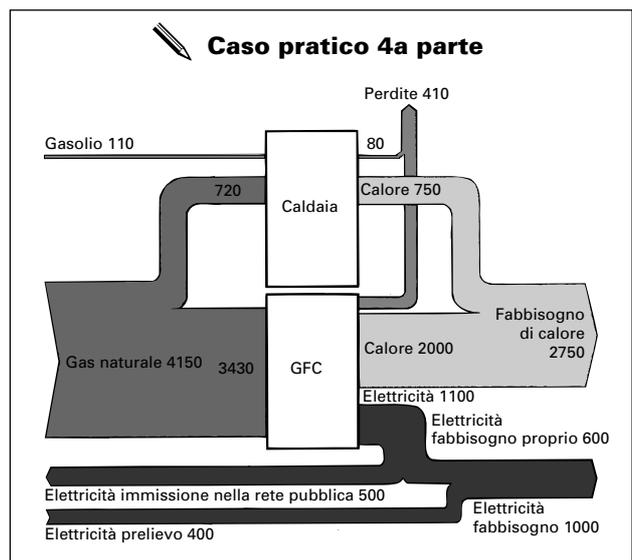


Figura 48: caso pratico 4a parte – diagramma del flusso energetico (unità: MWh/a)

Bibliografia RAVEL concernente la redditività



Leemann, Robert: *Grundbegriffe der Energiewirtschaft (Glossar)*. Berna: Ufficio federale dei problemi congiunturali, 1992 (si può ottenere presso: UCFSM, 3000 Berna, n. di ordinazione 724.397.12.51.1 d)



Müller, André e Felix Walter: «RAVEL è conveniente». Berna: Ufficio federale dei problemi congiunturali, 1992 (si può ottenere presso: UCFSM, 3000 Berna, n. di ordinazione 724.397.42.01 i)

Riquadro 49

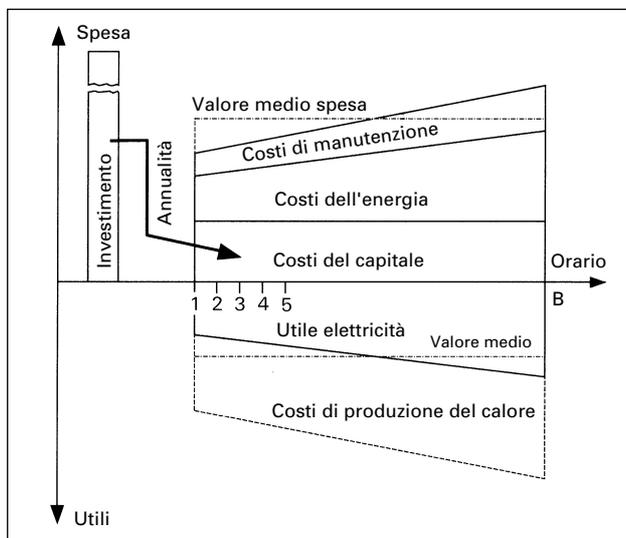


Figura 50: spese ed utili

Coefficiente del valore medio

Il coefficiente del valore medio indica il rapporto tra la spesa media (rispettivamente gli utili) durante il periodo d'esame e la spesa (rispettivamente gli utili) nel primo anno d'esercizio. Esso dipende dal periodo d'esame, dal tasso d'interesse del capitale e dal fattore di aumento della spesa in considerazione (rispettivamente degli utili).



Alcuni coefficienti scelti del valore medio sono riportati alla tabella 55, mentre si possono reperire tabelle esaurienti in «RAVEL è conveniente» (cfr. riquadro 49)

Riquadro 51

- un franco oggi ha un valore maggiore che non tra cinque anni (astrazione fatta del rincaro) giacché esso potrebbe venir impiegato in modo da ricavarne degli interessi.

Per poter confrontare in modo corretto gli introiti futuri con gli investimenti odierni occorre eseguire un calcolo dinamico della redditività. Il riquadro 49 cita la bibliografia RAVEL a questo proposito.

Metodi di calcolo

Il calcolo della redditività d'impianti per la produzione combinata di forza e di calore si basa sui costi e sugli utili annui (figura 50). In tal caso *non* vengono presi in considerazione dapprima i costi e gli utili odierni, bensì gli utili validi per tutto il periodo d'esame. A questo scopo i valori accertati per il primo anno d'esercizio per i costi dell'energia e della manutenzione, nonché per gli utili provenienti dalla produzione di forza e di calore devono essere moltiplicati per un **coefficiente del valore medio** (riquadro 51).

A seconda della fase di progettazione, ci si può servire di una delle esposizioni seguenti per poter valutare la redditività d'impianti per la produzione combinata di forza e di calore:

- **costi di produzione del calore:** essi consistono della spesa globale, dedotto l'utile proveniente dalla produzione di elettricità. I costi specifici per la produzione di calore possono essere accertati dividendo i costi di produzione del calore per il calore prodotto. I costi di produzione del calore sono particolarmente adatti per il calcolo della redditività nel quadro del dimensionamento dettagliato, nonché per il paragone tra diverse varianti di produzione del calore; è così possibile tener conto anche del calore prodotto dalla caldaia per la copertura del carico di punta. Il programma per computer «WKK-CALC» calcola i costi di produzione del calore.
- **Bilancio dei costi annui:** esso consiste dell'utile totale meno le spese globali. Se è positivo l'impianto è redditizio. Il bilancio dei costi annui è adatto soprattutto se il calore è venduto a terzi. Il programma per computer «BHKW» calcola il bilancio dei costi annui per il primo anno d'esercizio.
- **Costi di produzione dell'elettricità:** i costi di produzione dell'elettricità sono particolarmente adatti per la valutazione rapida della redditività nell'ambito del dimensionamento approssimativo, come già indicato nel paragrafo 3.2. Il calcolo avviene preferibilmente utilizzando il nomogramma «Costi di produzione dell'elettricità» riportato

nella figura 42. La produzione di calore da parte dell'impianto per la produzione combinata di forza e di calore non viene presa in considerazione poiché si tiene conto soltanto dei costi dell'energia supplementare dovuti alla produzione di elettricità.

Periodo d'esame

Il periodo d'esame costituisce la grandezza più importante per la determinazione della redditività (riquadro 52). Tutti gli introiti vi si riferiscono. Esso deve corrispondere alla durata di utilizzazione degli elementi determinanti (tabella 53).

Piano dei costi di costruzione

Soprattutto nel caso di progetti importanti ha luogo una suddivisione secondo il piano dei costi di costruzione (PCC) in singole posizioni (tabella 53). Questa suddivisione permette un controllo semplificato dei costi, soprattutto nella fase esecutiva.

Tasso d'interesse del capitale

Il tasso d'interesse del capitale per il calcolo della redditività viene pattuito con il mandante. Per la costruzione di abitazioni, le prestazioni di servizio e l'artigianato, nonché per l'industria valgono normalmente tassi d'interesse diversi (tabella 54). Al momento di stabilire il tasso d'interesse del capitale occorre tener conto del fatto che la differenza con il tasso d'inflazione è *sempre* di 2...3%.

Costi del capitale

È possibile accertare i costi del capitale moltiplicando gli investimenti per il cosiddetto **fattore di annualità**. Se gli investimenti consistono di quote con diverse durate di utilizzazione, tali quote devono essere calcolate in modo separato. Il fattore di annualità dipende dalla durata di utilizzazione e dal tasso d'interesse del capitale (tabella 55).

Tasso d'inflazione

La formulazione di un'ipotesi realistica per il tasso d'inflazione può solo orientarsi sul passato. Essa deve essere valutata al 3% per il calcolo della redditività (tabella 54), secondo «RAVEL è conveniente» (riquadro 49).

Periodo d'esame

Interconnessione di riscaldamento nelle vicinanze per un impianto di produzione combinata di forza e di calore 30 anni

Impianto per la produzione combinata di forza e di calore con motore a combustione 20 anni

La durata di utilizzazione dei motori a combustione è di circa 10 anni o di 40000 ore di funzionamento. In seguito ha luogo una sostituzione del motore oppure una revisione generale (i costi variano dal 10 al 20% del prezzo del modulo), in modo da poter contare su ulteriori 40000 ore di funzionamento, finché anche le altre componenti del modulo abbiano raggiunto la loro durata di utilizzazione.

Riquadro 52

PCC	Parte dell'impianto	Durata di utilizzazione [anni]	Costi di manutenzione ¹ [%]
10	Lavori di preparazione	Per. ²	–
20	Lavori di scavo per le fondamenta	50	–
21	Costruzione grezza 1	50	1,0
22	Costruzione grezza 2	50	1,0
231	Impianti a corrente forte	25	1,5
232	Istallazione a corrente forte	25	1,5
235	Sistema di comando	15	1,5
241.1	Approvvigionamento del gas	50	1,0
241.2	Impianto del serbatoio	25	1,5
242	Generazione del calore 1	15	3,0
242	Generazione del calore 2	30	3,0
243	Distribuzione del calore	30	1,0
244	Impianto di ventilazione	15	3,5
245	Impianto frigorifero	15	3,0
247.5	Impianto canna fumaria	20	1,5
247.6	Impianto CTRM	20	³
25	Impianti sanitari	30	1,5
26	Impianti di trasporto	30	1,5
27	Rifinitura 1	40	1,0
28	Rifinitura 2	40	1,0
29	Onorari	Per. ²	–
50	Imprevisti	Per. ²	–
	Costi di costruzione rimanenti	Per. ²	–

¹ Costi di manutenzione in % degli investimenti
² Per. = periodo d'esame
³ Vedi figura 56

Tabella 53: durata di utilizzazione e costi di manutenzione ordinati secondo il piano dei costi di costruzione (PCC)

Rincaro	Minimo	Medio	Massimo
Prelievo elettricità	3%	4%	5%
Fornitura (immissione) elettricità	3%	4,5%	6%
Gasolio EL	3%	5%	7%
Gas naturale	3%	4,5%	6%
Teleriscaldamento	3%	4%	5%
Legna	3%	3%	3%
Costi di manutenzione	3%	4%	5%
Tasso d'inflazione			3%
Tasso d'interesse del capitale settore abitativo			6%
prestazioni di serv./artigianato			6,5%

Tabella 54: basi per il calcolo della redditività

Fattori di annualità				
Durata di utilizzazione	Tasso d'interesse del capitale			
	5%	6%	7%	
10 anni	0,130	0,136	0,142	
15 anni	0,096	0,103	0,110	
20 anni	0,080	0,087	0,094	
Coefficienti del valore medio per tasso d'interesse del capitale del 6%				
Durata di utilizzazione	Rincaro			
	4%	5%	6%	7%
10 anni	1,225	1,290	1,359	1,431
15 anni	1,331	1,433	1,544	1,666
20 anni	1,463	1,581	1,744	1,927

Spiegazione:
 costi d'investimento x fattore di annualità = costi annui del capitale
 costi di manutenzione x coefficiente del valore medio = costi di manutenzione annui medi
 costi dell'energia x coefficiente del valore medio = costi dell'energia annui medi

Tabella 55: fattori scelti per il calcolo della redditività. Tabelle esaurienti in «RAVEL è conveniente» (cfr. riquadro 49)

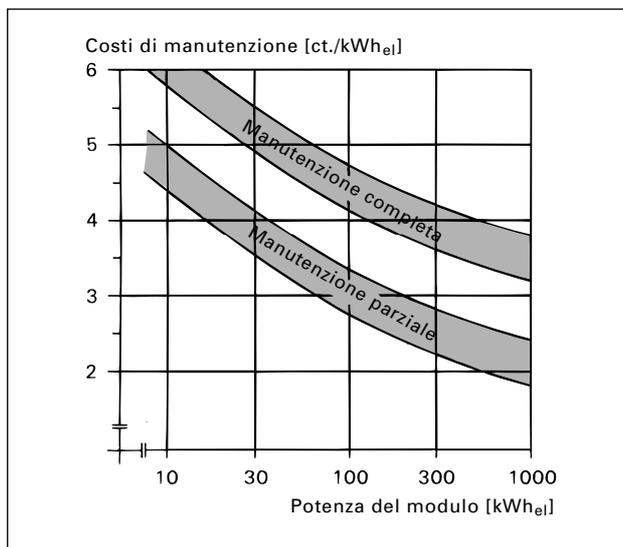


Figura 56: costi di manutenzione per impianti GFC

Costi ed utili dell'energia

Per l'accertamento dei costi dell'energia devono sempre essere eseguiti chiarimenti specifici all'oggetto presso le ditte rispettive. Occorre tener conto in modo particolare dei punti seguenti:

- per gli impianti per la produzione combinata di forza e di calore e gli impianti di caldaie per la copertura del carico di punta valgono, a seconda della possibilità di disinserimento, tariffe differenti per il gas naturale
- per il gas naturale occorre tener conto di prezzi base e di prezzi a seconda della potenza, nonché della differenza di potere calorifico (tra H_o e H_u)
- per gli edifici nei quali vengono realizzati impianti per la produzione combinata di forza e di calore valgono per lo più tariffe estive ed invernali, sia per il prelievo di elettricità, sia per l'immissione della stessa nella rete pubblica
- a seconda dell'edificio e dell'impianto occorre tener conto dei costi della potenza elettrica reattiva.

Rincaro dell'energia

Una previsione concernente i futuri rincari dell'energia è legata a grandi incertezze. RAVEL fissa perciò una gamma con tre tassi d'incremento (tabella 54). Per il calcolo concreto e specifico per l'edificio occorre fissare, d'intesa con il mandante, la variante da scegliere. In tal caso è importante che venga fissata la stessa variante (minima, media o massima) per tutti i vettori energetici, affinché non insorgano distorsioni.

Costi di manutenzione

Nei costi di manutenzione sono compresi tutti i costi annui che non devono essere utilizzati per il servizio finanziario o l'energia (figura 56):

- costi di manutenzione dell'impianto per la produzione combinata di forza e di calore secondo il contratto di servizio
- costi di manutenzione dell'impianto di caldaie per la copertura del carico di punta e di ulteriori parti dell'impianto (spazzacamino, pulitura del serbatoio, servizio per il bruciatore, ecc.)
- manovra degli impianti
- assicurazioni (in quanto non siano già comprese nel contratto di manutenzione)
- costi amministrativi.

I costi di manutenzione degli impianti per la produzione combinata di forza e di calore dipendono in primo luogo dalle ore di funzionamento e secondariamente dall'energia elettrica o meccanica prodotta. Quote fisse dei costi (sorveglianza, pulitura e simili) hanno un'importanza secondaria.

 Caso pratico 5a parte	Base	Prezzo	Costi annuali nel primo anno d'esercizio	Coefficiente del valore medio	Costi annui medi nel periodo d'esame
Periodo d'esame 20 anni Tasso d'interesse del capitale 6%					
Costi del capitale	Investimenti	Annualità			
Durata di utilizzazione 15 anni	193'000 Fr.	0,103	19'900 Fr./a	–	19'900 Fr./a
Durata di utilizzazione 20 anni	892'000 Fr.	0,087	77'600 Fr./a	–	77'600 Fr./a
Durata di utilizzazione 25 anni	77'000 Fr.	0,078	6'000 Fr./a	–	6'000 Fr./a
Durata di utilizzazione 30 anni	83'000 Fr.	0,073	6'100 Fr./a	–	6'100 Fr./a
Durata di utilizzazione 40 anni	44'000 Fr.	0,066	2'900 Fr./a	–	2'900 Fr./a
Durata di utilizzazione 50 anni	163'000 Fr.	0,063	10'200 Fr./a	–	10'200 Fr./a
Totale dei costi del capitale	1'452'000 Fr.		122'700 Fr./a		122'700 Fr./a
Costi dell'energia	Dati sull'energia	Prezzo			
Gas per il GFC					
– prezzo base	–	0 Fr.	0 Fr./a	1,663	0 Fr./a
– prezzo della potenza	780 kW	8,3 Fr./kW	6'500 Fr./a	1,663	10'800 Fr./a
– prezzo del lavoro in inverno	2820 MWh	3,5 ct./kWh	98'700 Fr./a	1,663	164'100 Fr./a
– prezzo del lavoro in estate	610 MWh	2,3 ct./kWh	14'000 Fr./a	1,663	23'300 Fr./a
Gas per la caldaia					
– prezzo base	–	0 Fr.	0 Fr./a	1,663	0 Fr./a
– prezzo della potenza	1530 kW	8,3 Fr./kW	12'700 Fr./a	1,663	21'100 Fr./a
– prezzo del lavoro in inverno	690 MWh	3,5 ct./kWh	24'200 Fr./a	1,663	40'200 Fr./a
– prezzo del lavoro in estate	30 MWh	2,3 ct./kWh	700 Fr./a	1,663	1'100 Fr./a
Gasolio	9,3 t	400 Fr./t	3'700 Fr./a	1,744	6'500 Fr./a
Prelievo di elettricità (centrale)					
– prezzo base	–	0 Fr.	0 Fr./a	1,581	0 Fr./a
– potenza	0 kW	12,2 Fr./kW	0 Fr./a	1,581	0 Fr./a
– tariffa alta invernale	5,8 MWh	15,9 ct./kWh	900 Fr./a	1,581	1'500 Fr./a
– tariffa bassa invernale	1,3 MWh	6,8 ct./kWh	100 Fr./a	1,581	100 Fr./a
– tariffa alta estiva	0,5 MWh	15,9 ct./kWh	100 Fr./a	1,581	100 Fr./a
– tariffa bassa estiva	0,1 MWh	6,8 ct./kWh	0 Fr./a	1,581	0 Fr./a
Totale dei costi dell'energia			161'600 Fr./a		268'800 Fr./a
Costi di manutenzione					
Fissi per impianto PCFC	–	–	5'000 Fr./a	1,581	7'900 Fr./a
Variabili per impianto PCFC	1100 MWh	3,2 ct./kWh	35'200 Fr./a	1,581	55'700 Fr./a
Fissi per altri impianti	–	–	16'100 Fr./a	1,581	25'500 Fr./a
Totale dei costi di manutenzione			56'300 Fr./a		89'100 Fr./a
Totale delle spese			340'600 Fr./a		480'600 Fr./a
Utili elettricità					
Per il proprio fabbisogno					
– potenza	– kW	0 Fr./kW	0 Fr./a	1,581	0 Fr./a
– tariffa alta invernale	350 MWh	15,9 ct./kWh	55'700 Fr./a	1,581	88'000 Fr./a
– tariffa bassa invernale	150 MWh	6,8 ct./kWh	10'200 Fr./a	1,581	16'100 Fr./a
– tariffa alta estiva	70 MWh	15,9 ct./kWh	11'100 Fr./a	1,581	17'600 Fr./a
– tariffa bassa estiva	30 MWh	6,8 ct./kWh	2'000 Fr./a	1,581	3'200 Fr./a
Immissione nella rete pubblica					
– tariffa invernale di punta	80 MWh	25 ct./kWh	20'000 Fr./a	1,663	33'300 Fr./a
– tariffa alta invernale	200 MWh	19 ct./kWh	38'000 Fr./a	1,663	63'200 Fr./a
– tariffa bassa invernale	130 MWh	11 ct./kWh	14'300 Fr./a	1,663	23'800 Fr./a
– tariffa estiva di punta	20 MWh	19 ct./kWh	3'800 Fr./a	1,663	6'300 Fr./a
– tariffa alta estiva	50 MWh	11 ct./kWh	5'500 Fr./a	1,663	9'100 Fr./a
– tariffa bassa estiva	20 MWh	7 ct./kWh	1'400 Fr./a	1,663	2'300 Fr./a
Totale utili elettricità			162'000 Fr./a		262'900 Fr./a
Costi di produzione del calore			178'600 Fr./a		217'700 Fr./a
Costi speciali di produzione del calore					
Produzione di calore: 2750 MWh/a			6,5 ct./kWh		7,9 ct./kWh

Tabella 57: caso pratico 5a parte – calcolo sintetico dei costi di produzione del calore

Costi specifici di produzione del calore

I costi specifici di produzione del calore vengono calcolati come segue:

$$\frac{\text{spese} - \text{utili produzione di elettricità}}{\text{calore prodotto}}$$

L'unità è [ct./kWh] oppure [Fr./MWh]

Riquadro 58

Caldaia per la copertura del carico di punta – gasolio, gas o a due combustibili?

A seconda della grandezza dell'oggetto, delle tariffe dell'energia e delle ulteriori condizioni vale la pena di eseguire un esame dettagliato per quanto concerne il combustibile della caldaia per la copertura del carico di punta. Costituiscono criteri positivi e negativi (nell'ipotesi che l'oggetto sia alimentato con gas naturale):

gasolio EL	+	secondo vettore energetico
	+	immagazzinabile
	+	bruciatore a buon mercato
	-	locale per serbatoio
gas naturale	+	bassi investimenti (nessun serbatoio del combustibile, bruciatore a buon mercato)
	-	un solo vettore energetico per tutto l'impianto
	-	tariffa del gas elevata a causa dell'alimentazione continua non disinseribile (per lo più anche per impianto per la produzione combinata di forza e di calore)
a due combustibili (gasolio/gas)	+	secondo vettore energetico
	+	immagazzinabile
	+	tariffa del gas favorevole
	-	locale per il serbatoio (ad ogni modo più piccolo che non nel caso di un funzionamento a combustibile unico, ossia a gasolio EL)
	-	investimenti elevati (serbatoio, allacciamento per il gas, bruciatore costoso)

Riquadro 59

Nei costi di manutenzione devono essere compresi gli elementi seguenti:

- lavori di manutenzione, di servizio e di controllo
- lavori di revisione
- pezzi di ricambio e pezzi soggetti a logorio (ad es. catalizzatore)
- lubrificante ed ulteriori mezzi di produzione (ad es. riducenti per la depurazione catalitica dei gas di scarico)
- eliminazione degli oli usati
- eliminazione dei guasti
- assicurazioni (assicurazione contro i guasti alle macchine).

La maggior parte dei fornitori di GFC offrono contratti di manutenzione che possono essere adeguati ai fabbisogni del gestore dell'impianto.

➔ *I contratti di manutenzione per i GFC escludono la revisione generale oppure la sostituzione del motore. La durata di utilizzazione di un GFC supera tuttavia del doppio la durata di vita di un motore, cosicché devono essere accantonate riserve finanziarie adeguate (cfr. riquadro 52)*

Il **rincaro dei costi di manutenzione** è scelto secondo la tabella 54.

Costi di produzione del calore

Per il calcolo dei costi di produzione del calore devono essere noti tutti i costi annui. I costi specifici per la produzione del calore vengono calcolati secondo il riquadro 58. I costi annui nel primo anno d'esercizio e in media per tutto il periodo d'esame possono essere accertati con l'ausilio della tabella 57 (caso pratico 5a parte). Una rappresentazione analoga è fornita dal programma «WKK-CALC».

➔ *Un modello per la tabella «Costi di produzione del calore» è reperibile nell'appendice*

3.5 Componenti ulteriori

Impianto di caldaie per la copertura del carico di punta

Qualora calcolato in modo corretto l'impianto per la produzione combinata di forza e di calore copre solo parzialmente il fabbisogno di calore. Il resto viene fornito da un impianto di caldaie per la copertura del carico di punta (riquadro 59). Il loro dimensionamento non esercita alcun influsso determinante sul consumo d'energia oppure sul grado totale di utilizzazione, poiché la loro durata di funzionamento è di

secondaria importanza. Riveste invece un'importanza maggiore la sicurezza dell'approvvigionamento che deve essere garantita mediante finanziamenti adeguatamente più elevati. Quali punti di riferimento per il dimensionamento dell'impianto di caldaie per la copertura del carico di punta valgono (in percentuale del fabbisogno di potenza calorifica massima dell'oggetto):

- una sicurezza di approvvigionamento al 100% nel caso di una fornitura di calore stabilita contrattualmente, di ospedali, ecc.
- una sicurezza di approvvigionamento variabile dall'80 al 90% nel caso di edifici d'abitazione, di scuole, di edifici amministrativi, di prestazioni di servizio, ecc.

La potenza dell'impianto per la produzione combinata di forza e di calore e della caldaia per la copertura del carico di punta deve in ogni caso coprire il 100% del fabbisogno. Negli impianti con parecchi moduli deve poter essere erogata una potenza pari al 100% anche in caso di un guasto o di una revisione di un modulo.

Impianto di accumulazione

Un continuo inserimento danneggia l'impianto per la produzione combinata di forza e di calore (riquadro 60). È questo il motivo per cui deve essere previsto un impianto di accumulazione. Il dimensionamento dello stesso avviene in modo da garantire una durata d'inserimento minima di un'ora per la massima potenza prevedibile di prelievo del calore.

 Per il dimensionamento dell'accumulatore si può tener conto delle condizioni di temperatura effettive durante il lasso di tempo critico rispetto (temperatura di ritorno del sistema più bassa)

Il dimensionamento dell'accumulatore per l'esempio pratico è indicato nel riquadro 61. Occorre tener conto del fatto che il calcolo fornisce il volume utile, ossia il volume tra i sensori d'inserimento e di disinserimento. Il volume di accumulazione effettivo deve, di conseguenza, essere scelto in modo un po' più ampio (dal 10 al 20%).

Negli orari con fabbisogno di calore esiguo, l'impianto per la produzione combinata di forza e di calore può essere fatto funzionare a **carico parziale**. Ciò presenta bensì lo svantaggio di un rendimento leggermente peggiore, ma permette altresì un dimensionamento minore dell'impianto di accumulazione, mentre l'impianto per la produzione combinata di forza e di calore è soggetto ad un usura minore. Nei motori a combustione è razionale un funzionamento a carico parziale nella gamma dal 70 al 100%.

Usura al momento dell'avviamento

Per un avviamento dell'impianto per la produzione combinata di calore e di forza ha luogo la stessa usura come nel caso di:

motore a ciclo Otto 5 ore di funzionamento
 motore diesel 5 ore di funzionamento
 turbina a gas 25 ore di funzionamento

Alcuni produttori hanno perciò la tendenza a calcolare la manutenzione non solo a dipendenza dalle ore di funzionamento, bensì anche a dipendenza dai processi di avviamento.

Riquadro 60



Caso pratico 6a parte - accumulatore

Potenza termica GFC	450 kW
Settore di carico parziale GFC	80...100%
Durata di funzionamento	1 h
Temperatura di carico	80°C
Temperatura di ritorno all'orario critico	35°C

La seguente capacità dell'accumulatore Q_{ACC} è necessaria per un carico parziale dell'80% e una durata di funzionamento di 1 h:

$$Q_{ACC} = 0,8 \cdot 450 \text{ kW} \cdot 1 \text{ h} = 360 \text{ kWh}$$

Il calcolo del volume utile necessario per l'accumulatore V_{ACC} avviene in seguito secondo la formula:

$$V_{ACC} [\text{m}^3] = 0,86 \cdot \frac{Q [\text{kWh}]}{\Delta\vartheta [\text{K}]} = 0,86 \cdot \frac{360 \text{ kWh}}{(80 - 35) \text{ K}}$$

$$V_{ACC} [\text{m}^3] = 6,9 \text{ m}^3 \text{ (volume utile!)}$$



Nel paragrafo 3.4 del fascicolo 3 «Pompe di calore» viene trattato in modo esauriente il tema «accumulatori»

Riquadro 61

4. Compatibilità con l'ambiente

Emissioni di CO₂ dei combustibili fossili

Gasolio EL	73 kg/GJ
Gas naturale	55 kg/GJ
Gas liquido	65 kg/GJ

Riquadro 62

4.1 Criteri di valutazione

La compatibilità con l'ambiente degli impianti per la produzione combinata di forza e di calore deve essere valutata secondo diversi criteri. In primo piano si trovano in modo evidente le considerazioni concernenti l'inquinamento atmosferico. Per la produzione dell'energia utile desiderata sono tuttavia di grande importanza anche il consumo di energia primaria e le emissioni di CO₂ dipendenti dallo stesso.

4.2 Utilizzazione dell'energia ed emissioni di CO₂

Negli impianti per la produzione combinata di forza e di calore, oltre al calore con il combustibile è prodotta energia meccanica pregiata che viene per lo più utilizzata per la produzione di energia elettrica. L'elettricità può essere utilizzata in pompe di calore oppure in altri processi per risparmiare energia fossile (amplificatore elettrotermico).



Queste relazioni sono descritte in modo esauriente nel fascicolo 1 «Elettricità e calore»

Per quanto concerne l'**utilizzazione dell'energia**, negli impianti per la produzione combinata di forza e di calore sono importanti i fatti seguenti:

- per un'utilizzazione buona dell'energia sono necessari un grado elevato di utilizzazione, nonché un indice della corrente elevato
- il rispetto dell'efficacia delle diverse forme d'energia permette di valutare l'utilizzazione dell'energia da parte di un impianto per la produzione combinata di forza e di calore indipendentemente dal fatto che nello stesso oggetto venga o meno realizzato un amplificatore elettrotermico (pompa di calore, ricupero del calore, ecc.).

Le **emissioni di CO₂** dipendono da un lato direttamente dall'utilizzazione dell'energia e dall'altro dalla scelta del combustibile: utilizzando il gas naturale si produce una quantità di CO₂ per unità di energia minore del 20% che non nel caso del gasolio EL (riquadro 62).

4.3 Emissioni di sostanze nocive

GFC con motore a gas e catalizzatore a tre vie

Le misurazioni eseguite in GFC con motore a gas e catalizzatore a tre vie hanno fornito i risultati seguenti:

- esse possono presentare emissioni di sostanze nocive estremamente esigue se sono regolate e vengono fatte funzionare in modo ottimale
- i fattori di emissione dei singoli impianti possono invece essere molto diversi.

Sia i produttori, sia le progettiste ed i progettisti hanno la possibilità di esercitare un influsso sui fattori di emissione adottando le misure seguenti:

- numero minore di avviamenti mediante ottimizzazione dell'accumulatore, del comando e della regolazione
- regolazione ben definita della miscela aria/gas per il processo di avviamento (figura 63)
- sorveglianza della riduzione di sostanze nocive controllando la differenza di temperatura mediante il catalizzatore e la tensione dei sensori lambda.

Per quanto concerne le singole sostanze nocive si sono notati i risultati seguenti:

- **ossidi di azoto (NO_x):** è possibile realizzare senza problemi la trasformazione del monossido di azoto NO contenuto nel gas di scarico. Le percentuali di trasformazione sono superiori al 99% nel caso in cui il catalizzatore e la regolazione funzionino in modo ottimale.
- **Monossido di carbonio (CO):** la trasformazione di CO reagisce in modo sensibile agli influssi perturbatori (finestra lambda mal regolata, catalizzatore dimensionato in modo insufficiente). In un impianto regolato in modo ottimale è possibile ottenere percentuali di trasformazione superiori al 95%.
- **Metano (CH₄):** la percentuale di trasformazione del metano si aggira attorno al 50%. L'emissione di metano non è tuttavia molto rilevante, giacché durante il trasporto di gas naturale sfugge una quantità di metano 100 volte superiore a quella che si sprigiona nei gas di scarico.
- **Idrocarburi (HC):** contrariamente al metano, gli idrocarburi superiori vengono trasformati in modo migliore. Le percentuali di trasformazione degli idrocarburi (quale somma, senza metano) si aggirano attorno all'80%. È inoltre importante constatare che nel gas di scarico sono stati reperiti solo quegli idrocarburi che erano già contenuti nel gas naturale. Anche in questo caso si nota che le emissioni dei gas di scarico sono insignificanti se si fa un rapporto con quelle che si sprigionano durante l'estrazione ed il trasporto del gas naturale.

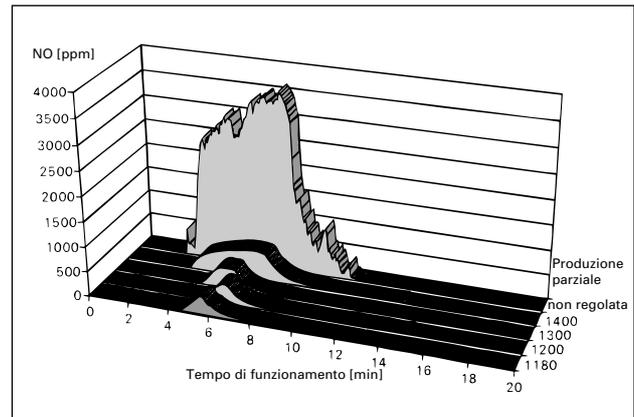


Figura 63: le emissioni prodotte durante l'avviamento di GFC con motore a gas e catalizzatore a tre vie sono molto elevate nel caso di una miscela aria/gas non regolata

Riduzione delle emissioni di sostanze nocive nelle turbine a gas

- **l'iniezione di vapore, rispettivamente di acqua** causa una temperatura di combustione minore, ciò che ha come conseguenza una riduzione delle emissioni degli ossidi di azoto. La potenza meccanica della turbina aumenta. Il rendimento meccanico aumenta nel caso dell'iniezione di vapore, mentre in quello dell'iniezione di acqua si riduce (ordine di grandezza 1% con 1 kg di acqua/vapore per 1 kg di combustibile).
- nelle **camere di combustione a Low-NO_x** il combustibile viene mescolato all'aria di combustione in una precamera. In questo modo è possibile evitare le temperature di punta locali e ridurre le emissioni di ossidi di azoto.
- **riduzione selettivo-catalitica** (catalizzatore RSC) con iniezione di ammoniaca o urea.

Riquadro 64

Tipo d'impianto Combustibile	NO _x [g/GJ]	CO [g/GJ]	HC ^{2,3} [g/GJ]	CO ₂ [kg/GJ]	SO ₂ [g/GJ]	Particelle solide ³ [g/GJ]
Motore a gas ¹ – gas naturale	15	45	20	55	0,5	0,1
Motore diesel – senza RSC, cat. oss.	1444	225	150	73	66	59
– con RSC, cat. oss.	32	16	8	73	66	13
Caldaia – gas naturale	30	50	10	55	0,5	0,1
– gasolio EL	60	20	10	73	66	0,2
Caldaia a Low-NO _x – gas naturale	20	15	8	55	0,5	0,1
– gasolio EL	30	10	4	73	66	0,2
Turbina a gas ⁴ – gas naturale	30	50	5	55	0,5	0,1

¹ Con catalizzatore a tre vie in funzionamento fisso dopo 3000-4000 ore di funzionamento
² Con metano
³ Il grado di pericolosità è diverso a seconda del combustibile
⁴ Con catalizzatore RSC

Tabella 65: fattori di emissione

Sostanza nociva	Fattore di valutazione	
	Gas	Gasolio
NO _x	1	1
CO	0,0125	0,0125
HC	0,2	1
SO ₂	1	1
Particelle solide	1	1

Tabella 66: fattori di valutazione

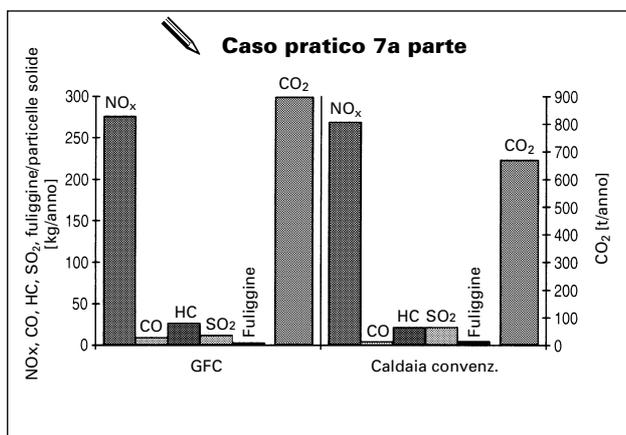


Figura 67: caso pratico 7a parte – emissioni di sostanze nocive valutate

Turbine a gas con denitrurazione

I lavori di sviluppo effettuati nel settore delle turbine a gas perseguivano finora soprattutto l'obiettivo di ottenere rendimenti più elevati. Ciò avveniva mediante aumento della temperatura d'entrata delle turbine e mediante miglioramento dei componenti (turbine, compressori). Le prescrizioni concernenti le emissioni di sostanze nocive hanno tuttavia avuto anche come conseguenza il fatto che i produttori di turbine a gas si sono visti costretti a prevedere diverse misure per la riduzione delle sostanze nocive (riquadro 64).

4.4 Valutazione comparativa

Le emissioni di sostanze nocive da parte di un impianto per la produzione combinata di forza e di calore (GFC con caldaia per la copertura del carico di punta) vengono paragonate ad un impianto di caldaie convenzionale. Non si tiene conto dell'elettricità prodotta. Il paragone parte quindi dal fatto che l'elettricità viene prodotta senza l'emissione di sostanze nocive.

Le emissioni di sostanze nocive vengono calcolate moltiplicando i vettori energetici, consumati di volta in volta nel produttore di calore, per il **fattore di emissione** (tabella 65).

Non tutte le sostanze nocive presentano lo stesso grado di pericolosità; è quindi necessario fare una valutazione. Quale misura della dannosità implicita nelle diverse sostanze nocive possono essere considerati i valori limite d'immissione prescritti dall'Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico (OIA): quanto maggiore è la pericolosità della sostanza nociva, tanto minore è il valore limite d'immissione secondo l'OIA. I **fattori di valutazione** (tabella 66) vengono fissati in modo proporzionale ai valori limite d'immissione previsti dall'OIA. Il fattore di valutazione per gli HC nel gas naturale è stato fissato a 0,2, poiché si è potuto stabilire sulla base di misurazioni che la parte preponderante delle emissioni di HC consiste di metano.

Ambedue i programmi per computer «WKK-CALC» e «BHKW» permettono il calcolo delle emissioni di sostanze nocive ed il paragone con un impianto di riferimento convenzionale (il programma «BHKW» non prevede tuttavia nessuna valutazione). La figura 67 mostra il paragone delle emissioni di sostanze nocive per il caso pratico, calcolato con il programma «WKK-CALC».

5. Indicazioni per la progettazione

5.1 Fasi di progettazione

Nel presente capitolo vengono trattati punti importanti della progettazione di GFC con motori a combustione. Le considerazioni valgono tuttavia, per analogia, anche per i GFC con turbine a gas.

Per principio le fasi di progettazione per la realizzazione di un'installazione nel settore dell'impiantistica sono regolate dalla Norma di regolazione degli onorari SIA 108. Nella stessa sono considerati gli obiettivi e le prestazioni dell'ingegnere.

 *Alcuni aspetti importanti vengono considerati solo in modo incompleto dalla Norma di regolazione degli onorari SIA. Cfr. a questo proposito il fascicolo 1, capitolo 6 «Garanzia della qualità durante le fasi di progettazione»*

Per motivi economici, nel caso di un impianto GFC è importante non solo *che* funzioni, bensì *come* funziona. È perciò necessario un modo di procedere differenziato nelle singole fasi di progettazione.

Chiarimento preliminare

Alla domanda se nel suo edificio sia possibile utilizzare un GFC, un gestore potenziale della stessa non deve ricevere, quale «regalo», uno studio preliminare dal costo elevato. Già nel corso di un colloquio telefonico della durata di un quarto d'ora è infatti possibile appurare se sia possibile per principio installare un GFC. Sulla base di questo chiarimento preliminare viene constatato se è possibile integrare in modo razionale nell'edificio un impianto per la produzione combinata di forza e di calore. Se i punti menzionati nel riquadro 68 sono adempiuti in modo prevalente, sono favorevoli anche le condizioni per l'installazione di un GFC.

Studio della possibilità di realizzazione

Quando sono adempite le condizioni poste dal chiarimento preliminare, quale prossimo passo si raccomanda di eseguire uno studio della possibilità di realizzazione (riquadro 69). A seconda della grandezza e della complessità si deve calcolare che l'onorario varierà dai 5'000 ai 15'000 franchi. Lo studio della possibilità di realizzazione fornisce al committente tutti i dati che gli sono necessari per prendere una decisione di principio in merito all'installazione di un GFC.

Concetto globale con capitolato d'onori

Quando è stata presa la decisione di principio in merito all'installazione di un impianto per la produzione combinata di forza e di calore, nell'ambito di un con-

Chiarimento preliminare

Costituiscono condizioni favorevoli all'installazione di un impianto per la produzione combinata di forza e di calore i fattori seguenti:

- la centrale di riscaldamento dispone di un allacciamento alla rete del gas (gas naturale o gas liquido) oppure tale allacciamento può essere eseguito con una spesa minima.
- Esiste uno spazio sufficiente per l'installazione. Per un GFC di una potenza elettrica da 150 a 200 kW deve, ad esempio, essere a disposizione una superficie di almeno 40 m² per un'altezza del locale variabile da 3,0 a 3,5 m (senza tener conto del fabbisogno di spazio per la caldaia e l'accumulatore). Frequentemente questo spazio può essere ottenuto grazie all'eliminazione di una caldaia esistente.
- Il sistema di erogazione del calore ha una temperatura di andata massima variabile da 80 a 85°C (quanto minore, tanto meglio). Per temperature di andata superiori, variabili da 110 a 125°C, deve essere scelto un GFC modificato. In quanto possa essere garantito che la temperatura di ritorno non superi i 70°C, la temperatura di andata può essere aumentata mediante una caldaia per la copertura del carico di punta inserita in serie.
- Il fabbisogno di potenza calorifica dell'edificio (ed eventualmente di altri oggetti collegati ulteriormente) è maggiore di 1000 kW, ciò che corrisponde ad un fabbisogno di calore annuo di circa 2000 MWh/a.
- Prelievo del calore con durata di utilizzazione elevata.
- Fabbisogno proprio elevato di elettricità.
- Tariffe elevate dell'elettricità per il prelievo ed eventualmente anche per l'immissione nella rete pubblica.
- Disponibilità a fare investimenti adeguati.

Riquadro 68

Studio della possibilità di realizzazione

- Dati fondamentali:
 - dati concernenti il fabbisogno dell'oggetto (fabbisogno di potenza calorifica, fabbisogno di calore annuo, fabbisogno di elettricità)
 - tariffe dell'elettricità
 - parametri della redditività
- Concetto dell'impianto
- Dimensionamento approssimativo dell'impianto per la produzione combinata di forza e di calore
- Investimenti (esattezza 20%)
- Redditività (costi di produzione dell'elettricità)
- Eventuali aspetti concernenti l'ambiente
- Raccomandazioni concernenti il modo di procedere ulteriore

Riquadro 69

Progetto e pianificazione dell'esecuzione

- Aggiornare i dati fondamentali concernenti lo studio della possibilità di realizzazione e del concetto globale dell'energia
- Dimensionamento dettagliato dell'impianto per la produzione combinata di forza e di calore
- Idraulica:
 - schema di principio (con grandezze di dimensionamento)
 - descrizione del funzionamento comando/regolazione
- Collegamento elettrico:
 - chiarimenti con l'azienda elettrica
 - schema di principio (con grandezze di dimensionamento)
- Fornitura del gas (chiarimenti con l'azienda di distribuzione)
- Domande, autorizzazioni:
 - domanda di costruzione
 - domanda di allacciamento all'azienda elettrica
 - presentazione dei piani all'Ispettorato federale degli impianti a corrente forte
- Piani di progettazione e d'esecuzione

Riquadro 70

Il concetto globale dell'energia viene elaborata una soluzione ottimale ed adeguata alla problematica. Le esigenze del concetto globale dell'energia vengono fissate in un capitolato d'onere. Esso costituisce la base del controllo dei risultati.

Progetto e pianificazione dell'esecuzione

Le prestazioni dell'ingegnere incaricato della progettazione e della pianificazione dell'esecuzione sono fissate per principio nella Norma di regolazione degli oneri SIA 108. Occorre tener conto in modo speciale dei punti citati nel riquadro 70.

Ottimizzazione dell'esercizio e controllo dei risultati

Dopo la messa in esercizio ed il collaudo dell'impianto devono essere eseguiti un'ottimizzazione dell'esercizio ed un controllo dei risultati per garantire che l'impianto lavori realmente secondo il capitolato d'onere.



Per approfondimenti cfr. paragrafo 6.4
«Ottimizzazione dell'esercizio e controllo dei risultati»

5.2 Gruppo GFC

Centrale di riscaldamento

Un generatore di forza e di calore può per lo più essere integrato in impianti di grandi dimensioni per la produzione del calore già esistenti. Gli impianti nella gamma superiore di potenza (ad es. turbine a gas) hanno un grande fabbisogno di spazio ed occorre esaminare, in modo specifico all'edificio, se lo spazio a disposizione è sufficiente per l'installazione. Nel caso in cui il GFC e la caldaia per la copertura del carico di punta non possono essere sistemati in un solo locale, è anche possibile collocarli in locali posti in vicinanza l'uno dell'altro.

Istallazione

Durante l'istallazione occorre tener conto delle distanze minime prescritte dal fornitore dell'impianto. Tali distanze devono essere dimensionate in modo da garantire una buona accessibilità. In caso di spazio ristretto è possibile fare una deroga a scapito dell'accessibilità. Eventualmente si può rinunciare al fatto che tutte le quattro pareti possano venire aperte oppure siano smontabili. Il riquadro 71 fornisce alcune indicazioni complementari per l'inserimento d'impianti a due moduli.

Isolamento acustico

Per la definizione delle misure d'isolamento acustico ed il dimensionamento degli elementi utilizzabili a questo scopo occorre consultare uno specialista in acustica, soprattutto in casi con esigenze elevate. Tali esigenze devono essere integrate nel capitolato d'oneri concernente il GFC ed in occasione del collaudo occorre verificare che tali valori siano stati rispettati. I silenziatori per l'aria di alimentazione e l'aria di smaltimento, nonché per i gas di scarico devono essere dimensionati in modo che siano rispettati i valori limite d'immissione accanto alla finestra più vicina o nel punto comunemente accessibile (Ordinanza contro l'inquinamento fonico).

Le fondamenta pesanti e posate in modo flottante riducono il pericolo della trasmissione di vibrazioni dal motore al corpo della costruzione. Se la realizzazione di tali fondamenta non è possibile a causa di problemi statici o dell'altezza insufficiente del locale, si dovrebbe assolutamente consultare uno specialista in acustica. Per evitare la trasmissione delle vibrazioni meccaniche è in ogni caso importante una separazione fonotecnica doppia continua tra il gruppo e la periferia (figura 72), nonché un montaggio molto accurato.

Approvvigionamento di gas naturale

Nel caso in cui esistano i raccordi del gas occorre chiarire con il fornitore dello stesso se esiste una capacità sufficiente per l'alimentazione del GFC. Nel caso in cui siano valide tariffe diverse per il GFC e la caldaia per la copertura del carico di punta, sarà necessaria l'istallazione di contatori del gas separati.

Approvvigionamento di propano

Il propano viene immagazzinato sotto forma liquida in serbatoi speciali con una sovrappressione di circa 8 bar. Per gli impianti con propano sono importanti i punti seguenti:

- i serbatoi in superficie possono essere presi in locazione oppure acquistati
- i serbatoi sotterranei possono soltanto essere acquistati
- poiché il propano è più pesante dell'aria, occorre impedire che in caso di guasto (fuoriuscita di gas) possa formarsi un «lago di propano»
- gli impianti di serbatoi a partire da un peso massimo netto all'origine di 20 tonnellate sono soggetti alle norme dell'Ordinanza sugli incidenti.

È consigliabile consultare gli esperti del fornitore di gas liquido. Il riquadro 73 indica la bibliografia a questo proposito.

Impianti a due moduli

Un paragone dettagliato del sistema e specifico per l'edificio deve permettere di appurare se la potenza richiesta per il GFC deve essere prodotta mediante uno oppure due moduli. Per gli impianti a due moduli valgono i vantaggi (+) e gli svantaggi (-) seguenti:

- + la potenza del generatore di calore può supplire in modo migliore al fabbisogno
- + è possibile utilizzare un accumulatore di volume minore
- + la disponibilità è notevolmente più elevata
- investimenti più elevati a causa dei prezzi specifici maggiori dei moduli
- fabbisogno maggiore di spazio per i moduli (ma non per l'accumulatore!)
- comando principale più costoso.

➔ In condizioni sufficienti di spazio, per gli impianti a due moduli è vantaggioso realizzare per ogni modulo una calotta d'insonorizzazione separata. Una calotta in comune è possibile, ma la prassi dimostra che, durante la revisione di un modulo, l'altro modulo viene parimenti disinserito a causa del rumore, anche se potrebbe continuare a funzionare

Riquadro 71

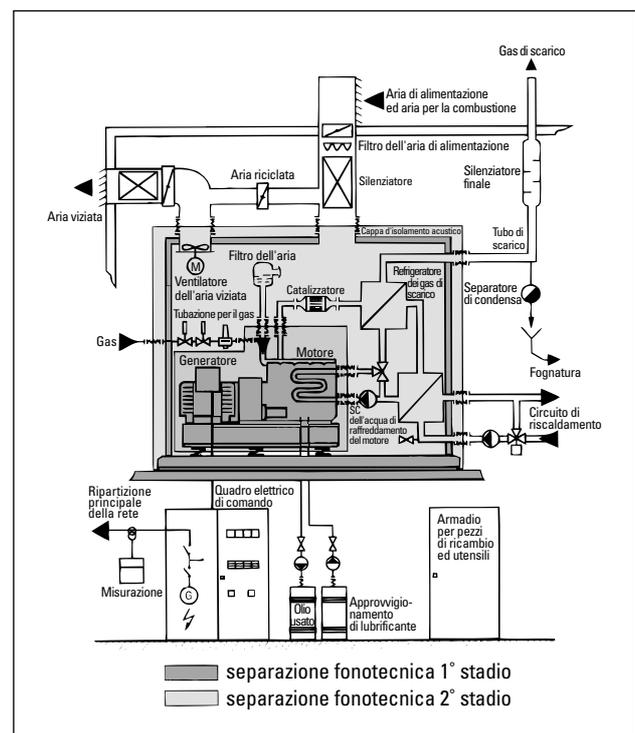


Figura 72: separazione fonotecnica continua in due stadi

Bibliografia sul tema «gas liquido»



Gas liquido. Parte I: Contenitori, immagazzinamento, trasbordo e riempimento. Berna: Commissione federale di coordinazione per la sicurezza sul lavoro (EKAS), 1990 (si può ordinare presso: INSAI, Divisione sicurezza sul lavoro, casella postale, 6002 Lucerna)



Direttive concernenti i gas liquidi. Parte II: Utilizzazione di gas liquidi nell'economia domestica, nell'artigianato e nell'industria. Zurigo: SSIGA, 1997 (si può ordinare presso: INSAI, Divisione sicurezza sul lavoro, casella postale, 6002 Lucerna)



Ex-Zonen. Grundsätze des Explosionsschutzes mit Beispielsammlung. Lucerna: INSAI, 1993 (si può ordinare presso: INSAI, Divisione sicurezza sul lavoro, casella postale, 6002 Lucerna)



Rahmenbericht Flüssiggas-Tankanlagen. Zürich: Basler + Hofmann AG 1992 (si può ordinare presso: Basler + Hofmann AG, Forchstrasse 395, 8029 Zurigo)

Riquadro 73

Approvvigionamento di gasolio

Per gli impianti di serbatoi di GFC con motore diesel valgono le stesse prescrizioni e raccomandazioni come per le caldaie di riscaldamento. Un serbatoio, cosiddetto giornaliero, che viene installato nelle vicinanze del GFC dovrebbe essere dimensionato per una durata di funzionamento di 5...10 ore.

Approvvigionamento di lubrificante

Il consumo di lubrificante di GFC con motore a gas varia da 0,4 a 0,6 g per chilowattora prodotto di elettricità. L'approvvigionamento di lubrificante deve avvenire in modo che durante almeno 14 giorni non deve essere necessario alcun rabbocco. Un serbatoio per le riserve di una capacità sufficiente per un anno ed un serbatoio per l'olio usato richiedono bensì investimenti supplementari, ma rendono più confortevole la manutenzione. Sarebbe ideale installare il serbatoio del lubrificante a 2...3 m al di sopra del motore, cosicché il lubrificante possa scorrere nel motore senza l'ausilio di una pompa. A seconda dell'esigenza del gestore sono ottenibili sistemi semplici oppure confortevoli, manuali o completamente automatici per il rabbocco e lo svuotamento del lubrificante.

Impianto di ventilazione

L'impianto di ventilazione adempie due funzioni:

- ricambio minimo d'aria nei GFC con motore a gas, affinché nel caso di fuoriuscita di gas non si possa formare una miscela infiammabile di gas e di aria (riquadro 74)
- rimozione del calore irradiato dal motore e prodotto dalla dissipazione del generatore.

Al momento del dimensionamento occorre tener conto di quanto segue:

- se il sistema regolato e di sicurezza del gas (tubazione per il gas) si trova *nella* cappa d'isolamento acustico, solo quest'ultima dovrà essere soggetta ad un ricambio minimo d'aria.
- I ricambi d'aria durante i periodi d'inattività possono aver luogo in modo convettivo. A questo scopo occorre aprire i registri dell'aria.
- Nel caso di recupero del calore irradiato, la quantità d'aria può essere ridotta al minimo necessario per la sicurezza tecnica. Occorre tuttavia tener presente che in questo caso, qualora si verificasse un arresto del recupero del calore (ad esempio nella pompa di calore), il GFC non può essere fatto funzionare ulteriormente.

- Se il calore irradiato viene rimosso mediante l'impianto di ventilazione, sono determinanti le condizioni di temperatura durante il funzionamento dell'impianto (ad es. +15°C di temperatura esterna, se il GFC funziona soltanto durante il periodo di riscaldamento).
- Soffiando l'aria di alimentazione nella parte dell'impianto più sensibile alla temperatura (generatore) e aspirandola attraverso il motore, la differenza di temperatura può venire aumentata, rispettivamente possono essere diminuite sia la quantità di aria, sia la potenza del ventilatore.
- Mescolando aria riciclata oppure riducendo la quantità di aria si può evitare che la temperatura diminuisca in misura troppo elevata nella cappa d'isolamento (perdite di calore elevate e pericolo di gelo). Non è tuttavia permesso scendere al di sotto della quantità di aria minima e ciò per motivi di sicurezza tecnica.

Ricambio d'aria minimo nei GFC con motore a gas

Valgono le stesse prescrizioni come per gli impianti di caldaie a gas:

ricambio d'aria durante l'arresto convettivo

ricambio minimo d'aria

durante il funzionamento 3 volte all'ora

Riquadro 74

5.3 Collegamento idraulico



Fascicolo 1, capitolo 4 «Basi della progettazione» e capitolo 5 «Tecnica dei circuiti»



Fascicolo 5 «Circuiti standardizzati»

Differenze da un impianto convenzionale

Il collegamento idraulico di un impianto per la produzione combinata di forza e di calore pone alcune esigenze particolari che sono fondamentalmente diverse da quelle di una produzione convenzionale di calore con caldaia.

Per ottenere una lunga durata di vita e costi di manutenzione esigui, il GFC deve funzionare con il minor numero di avviamenti possibile. Poiché un GFC è generalmente fatto funzionare a potenza costante, viene utilizzato un **accumulatore** che garantisce una durata di funzionamento di almeno un'ora per inserimento. Questa esigenza può tuttavia essere adempiuta soltanto se tra l'andata ed il ritorno dell'erogazione del calore esiste una differenza di temperatura massima possibile; ciò è il caso solo se viene utilizzato il giusto circuito idraulico.

Per aumentare il rendimento totale, il GFC può essere completato con una **pompa di calore ad aria riciclata** per il recupero del calore irradiato e/o con un **scambiatore di calore a condensazione dei gas di scarico**. Ambedue queste soluzioni funzionano tuttavia in modo ineccepibile solo se l'acqua calda giunge al GFC con una temperatura di ritorno sufficientemente bassa.

Adattamento di circuiti esistenti



Prudenza s'impone quando un distributore ad iniezione con valvole a tre vie deve essere trasformato in un distributore ad iniezione con valvole passanti!

L'esigenza posta dalla tecnica di regolazione di mantenere una sufficiente autorità della valvola ha come conseguenza il fatto che, di regola, una trasformazione delle valvole a tre vie in valvole passanti non può essere risolta soltanto bloccando il by-pass. L'autorità della valvola diventerebbe totalmente insufficiente. Un'autorità sufficiente della valvola può essere ottenuta soltanto se con un flusso nominale nella sezione della valvola viene soppressa la stessa differenza di pressione come nel tratto parziale del circuito primario con flusso variabile. Nel circuito con valvola passante questo tratto parziale può presentare una caduta di pressione molto maggiore che non nel circuito con valvole a tre vie.



Tener conto della perdita di pressione ammissibile nel circuito primario dei distributori a miscelazione senza pompa principale!

Un distributore a miscelazione senza pompa principale può funzionare in modo regolare solo se la perdita di pressione sul lato primario non è troppo elevata, poiché altrimenti i gruppi s'influenzano a vicenda. Quale regola empirica vale: la perdita di pressione ammissibile sul lato primario (con un flusso nominale) non deve superare di oltre il 20% la prevalenza della pompa di minori dimensioni del gruppo.

Riquadro 75

Erogazione del calore

Per poter ottenere una temperatura di ritorno più bassa possibile nei punti di prelevamento del calore occorre dedicare un'attenzione del tutto particolare al circuito idraulico dell'erogazione del calore.

Soprattutto nei sistemi idraulici esistenti è molto importante un'analisi precisa. In tal caso non è sufficiente controllare soltanto il circuito idraulico nella centrale di riscaldamento (distributore principale). Occorre verificare, a titolo complementare, se al di fuori della centrale di riscaldamento (ad es. nelle sottostazioni) non esistano circuiti inammissibili. Sono adeguati:

- distributore ad iniezione con valvole passanti e pompa principale regolata mediante differenza di pressione
- distributore a miscelazione senza pompa principale
- gruppi in circuito ad iniezione con valvola passante
- gruppi in circuito a miscelazione senza by-pass primario.

Occorre evitare:

- distributori ad iniezione con valvole a tre vie
- distributori a miscelazione con pompa principale (cosiddetti «distributori senza pressione»)
- gruppi in circuito ad iniezione con valvola a tre vie
- gruppi in circuito a miscelazione con by-pass primario
- gruppi con dispositivo di distribuzione a rinvio
- regolatori della differenza di pressione che funzionano secondo il principio della sovracorrente
- by-pass di ogni tipo che rinviando in modo incontrollato acqua bollente dal circuito di andata in quello di ritorno
- dovrebbero inoltre essere evitati i distributori con circuito di andata e di ritorno saldati insieme su una vasta superficie, poiché anche in questo caso la temperatura di ritorno viene aumentata in modo incontrollato.

Il riquadro 75 fornisce alcune indicazioni importanti per quanto concerne l'adattamento di circuiti esistenti.

Circuito in parallelo

Il circuito in parallelo (figura 76) costituisce il circuito fondamentale e si adatta alla maggioranza dei casi. Il GFC e la caldaia vengono così sistemati parallelamente all'accumulatore e fatti funzionare con le stesse temperature d'esercizio. I **vantaggi** sono:

- facilità tecnica di comando e di regolazione
- per la caldaia viene garantita una durata di funzionamento minima per ogni inserimento.

Il circuito in parallelo presenta tuttavia anche **svantaggi**:

- la caldaia lavora sull'accumulatore. Con la diminuzione del fabbisogno di calore per temperature esterne attorno al punto di bivalenza risulta quindi una perdita della durata di funzionamento per il GFC
- nel caso di una temperatura di disinserimento troppo elevata della caldaia nel GFC possono insorgere anomalie a causa della sovratemperatura.

Circuito parzialmente in parallelo

Quale variante del circuito in parallelo è possibile utilizzare il circuito parzialmente in parallelo (figura 77). Utilizzando 2 accumulatori non risulta necessario alcun dispendio complementare rispetto al circuito in parallelo.

Vantaggio: nel caso di una temperatura di uscita troppo elevata della caldaia viene caricato soltanto un accumulatore.

Circuito in serie

Nel circuito in serie (figura 78) sull'accumulatore lavora soltanto il GFC. La caldaia viene collegata in serie nell'andata verso i punti di prelevamento del calore. Da ciò scaturiscono i seguenti **vantaggi:**

- mediante la caldaia la temperatura principale di andata può essere aumentata in modo più elevato che non la temperatura di andata del GFC; a questo proposito vale il presupposto che la temperatura di ritorno non superi il valore ammissibile per il GFC
- nessuna perdita del tempo di funzionamento per il GFC per un fabbisogno di calore in diminuzione e con temperature esterne attorno al punto di bivalenza.

A ciò si contrappongono gli **svantaggi** seguenti:

- sotto l'aspetto idraulico, del comando e della regolazione è molto più impegnativo del circuito in parallelo
- breve funzionamento della caldaia per temperature esterne attorno al punto di bivalenza.

Accumulatore

L'accumulatore garantisce un funzionamento minimo del GFC e serve quale disaccoppiamento idraulico tra produzione ed erogazione del calore. Esso viene inoltre utilizzato quale comando principale del generatore di calore. Ciò richiede una buona stratificazione. Affinché questa si verifichi e venga mantenuta devono essere rispettati i seguenti **principi di dimensionamento:**

- rapporto tra altezza e diametro superiore a 2,5
- basse velocità di entrata e di uscita (ossia grandi sezioni di raccordo)

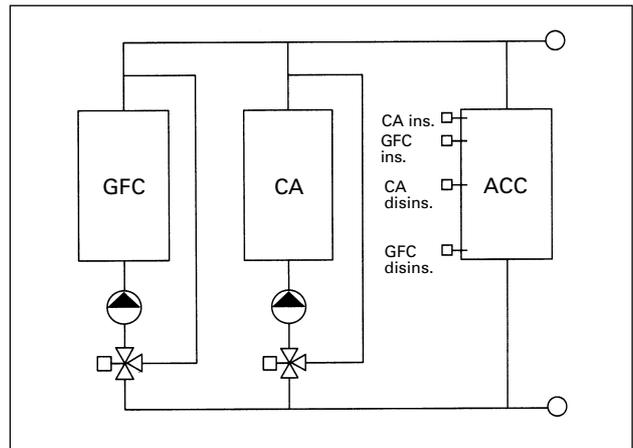


Figura 76: circuito in parallelo

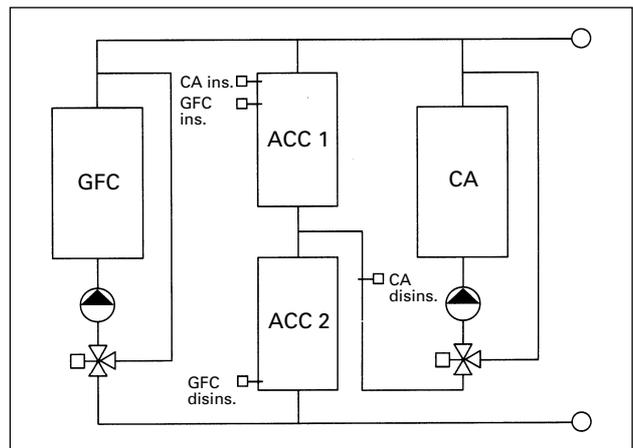


Figura 77: circuito parzialmente in parallelo

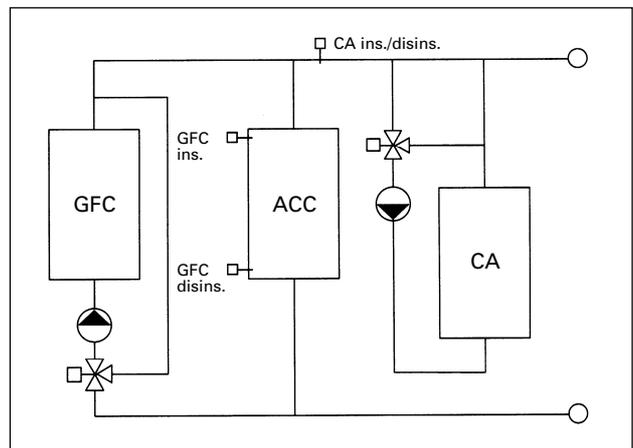


Figura 78: circuito in serie

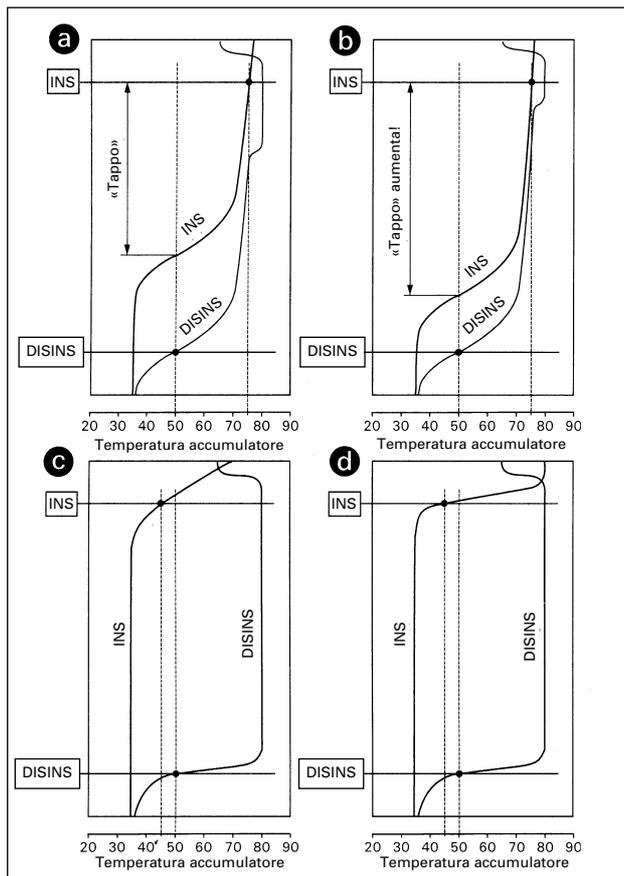


Figura 79: regolazione errata (a, b) e regolazione corretta (c, d) dei valori d'inserimento e di disinserimento (cfr. testo)

Norme di regolazione per i valori d'inserimento e di disinserimento

Affinché non si manifesti il «tappo» descritto alla figura 79, occorre rispettare una prima norma:

$$\vartheta_{INS} \leq \vartheta_{DISINS}$$

La temperatura di disinserimento ϑ_{DISINS} è limitata dalla temperatura d'entrata massima ammissibile della $\vartheta_{GFC,E,MAX}$ (soprattutto con pompa di calore ad aria riciclata). Vale quindi:

$$\vartheta_{DISINS} \leq \vartheta_{GFC,E,MAX}$$

Per poter impedire in modo sicuro dal lato dell'utilizzazione del calore un «transito a vuoto» a livello della temperatura di ritorno, la temperatura d'inserimento ϑ_{INS} deve essere almeno tanto elevata quanto la temperatura di ritorno massima $\vartheta_{R,MAX}$. Vale quindi ulteriormente:

$$\vartheta_{INS} \leq \vartheta_{R,MAX}$$

Nel caso più sfavorevole può in questo modo manifestarsi una temperatura d'andata relativamente bassa ed appena al di sopra di ϑ_{INS} , ciò che normalmente non ha tuttavia un effetto perturbatore, poiché durante il funzionamento regolare non capita quasi mai (prudenza tuttavia nel caso di ventilazione senza RDC e durante il riscaldamento dell'acqua).

Riquadro 80

- la ripartizione uniforme dell'acqua che affluisce (tubo diffusore, lamiera perforata, ecc.)
- isolare perfettamente tutti i raccordi e montare ben vicina la coibentazione termica (impedisce uno spostamento mediante convezione sul lato interno dell'accumulatore).

In un accumulatore parzialmente carico il passaggio tra l'acqua calda di andata (ad es. 80°C) e l'acqua fredda di ritorno non può aver luogo in modo repentino. Tra queste due zone esiste una zona mista più o meno grande in cui la variazione di temperatura avviene in modo costante. Quanto migliore è la costruzione dell'accumulatore, tanto minore sarà questa **zona mista**.

Valori d'inserimento e di disinserimento

I valori d'inserimento e di disinserimento del GFC vengono spesso regolati secondo **criteri errati**:

- INS, se la temperatura dell'accumulatore è minore della temperatura di carica dell'accumulatore, ad es. $\vartheta_{INS} = 75^\circ\text{C}$
- DISINS, se la temperatura dell'accumulatore supera la temperatura d'entrata ammissibile della GFC, ad es. $\vartheta_{DISINS} = 50^\circ\text{C}$.

In tal modo viene tuttavia trascurato il fatto che con queste regolazioni non può essere rimosso dall'accumulatore un «tappo» d'acqua di accumulazione tra 50°C e 75°C. Soprattutto nel caso di una piccola carica ciò sfocia nelle seguenti anomalie:

- se l'accumulatore riempito parzialmente si raffredda soltanto a 75°C, il GFC s'inserisce e - a seconda delle «dimensioni del tappo» - si disinserisce nuovamente dopo un breve periodo di funzionamento (figura 79a)
- a causa dell'acqua che scorre più fredda e/o a causa di un raffreddamento ulteriore, il GFC s'inserisce di nuovo rapidamente e si disinserisce ancora dopo un breve periodo di funzionamento (figura 79b). Il «tappo» diventa sempre più grande ed il lasso di tempo sempre più breve: il GFC funziona in modo discontinuo!

Ciò non accade se vengono rispettate le **norme di regolazione** secondo il riquadro 80: l'accumulatore viene caricato in modo corretto, il «tappo» con acqua ad una temperatura inferiore a 45° viene spinto via (figura 79c) ed il volume dell'accumulatore viene sfruttato in modo ottimale (figura 79d). Il riquadro 81 mostra il calcolo per l'esempio pratico.

Raccordi separati dell'accumulatore

In casi delicati (GFC con pompa di calore ad aria riciclata) si consiglia di sistemare separatamente l'entrata del ritorno dell'utilizzatore e l'uscita del GFC

nell'accumulatore (ad es. ritorno dell'utilizzatore con tubo diffusore ad 1 m di altezza e ritorno GFC con curva della tubazione estesa completamente fino in basso). Il volume da ambedue le entrate provoca un «livellamento» della temperatura nel ritorno al GFC. Con questa sistemazione è possibile individuare tuttavia solo brevi superamenti della temperatura di ritorno ammissibile.

Funzionamento intermittente del teleriscaldamento

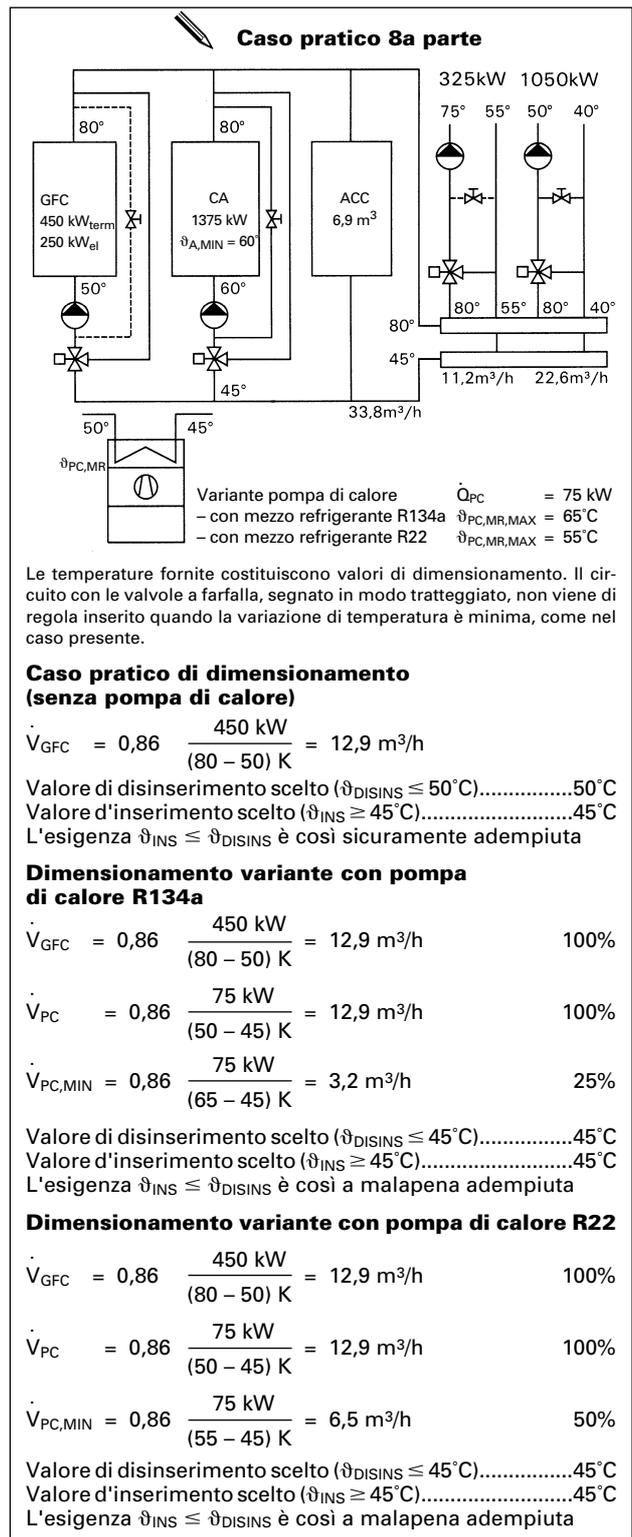
Soprattutto nei sistemi di riscaldamento nelle vicinanze con pochi utenti (5...10), per ridurre le perdite in estate si vorrebbe utilizzare il meno possibile il teleriscaldamento (da 1 a 2 volte al giorno). Con questo tipo di funzionamento occorre tuttavia essere consapevoli del fatto che dopo ogni arresto della pompa del teleriscaldamento e fino al prossimo inserimento, l'acqua presente nel tubo di andata si raffredda in modo tale da non poter più essere utilizzata per il riscaldamento dell'acqua (gli scaldacqua si sono raffreddati). Questo problema può essere risolto come segue:

- riscaldamento elettrico a nastro complementare autoregolante per il tubo di andata (nei piccoli impianti)
- immissione nel circuito di ritorno dell'acqua di andata troppo fredda finché non sia ottenuta una temperatura di andata sufficientemente elevata negli scaldacqua (attenzione: l'acqua espulsa può avere una temperatura superiore alla temperatura d'entrata ammissibile del GFC).

 *Nel caso in cui venga realizzato un funzionamento intermittente del teleriscaldamento, occorre adottare misure tali da permettere di poter tollerare una limitata quantità di acqua di ritorno a temperatura elevata senza creare anomalie del funzionamento (cfr. paragrafo «Raccordi separati dell'accumulatore»)*

Riscaldamento dell'acqua

In quanto sia necessaria in modo imperativo una bassa temperatura di ritorno (ad es. pompa di calore ad aria riciclata), il riscaldamento dell'acqua crea sempre nuovi problemi. Un registro di riscaldamento installato all'interno non può rispettare l'esigenza di una bassa temperatura di ritorno. S'impone con urgenza un sistema di carica con scambiatori di calore esterni (scambiatori di calore a piastre). In tal caso occorre prestare attenzione ad un dimensionamento corretto (ad es. 30/60°C sul lato secondario).



Riquadro 81

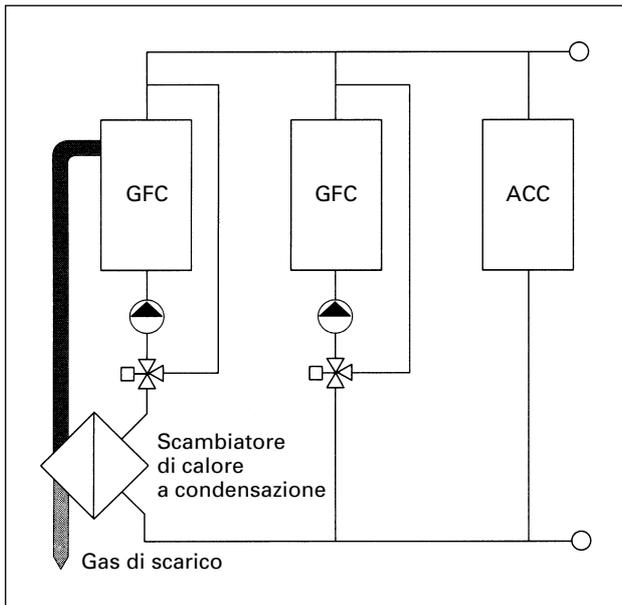


Figura 82: condensaione dei gas di scarico

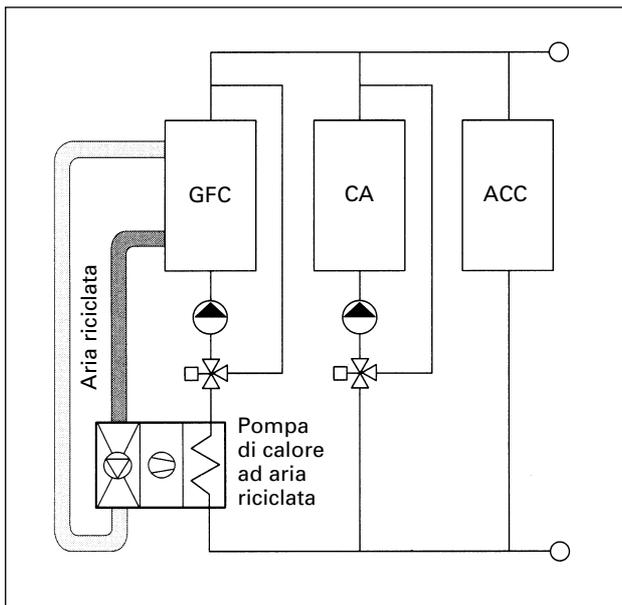


Figura 83: pompa di calore ad aria riciclata

Condensaione dei gas di scarico

Il collegamento dello scambiatore di calore a condensaione dei gas di scarico avviene in serie con il GFC prima della valvola per la regolazione della carica (figura 82). Mediante la sistemazione nell'acqua fredda di ritorno, il recupero del calore diventa massimo.

Pompa di calore ad aria riciclata

Durante l'utilizzazione di una pompa di calore ad aria riciclata per il recupero del calore residuo irradiato dal GFC (figura 83) deve essere mantenuta in modo rigoroso la temperatura massima di ritorno. Occorre dedicare grande attenzione all'inserimento ed al disinserimento.

Al momento dell'**inserimento** del GFC la pompa di calore può essere messa in funzionamento solo quando è garantito un flusso minimo attraverso il condensatore.

Al momento del **disinserimento** del GFC è necessario un funzionamento ulteriore della pompa di calore, affinché il calore residuo possa ancora essere asportato (circa 10 minuti). Occorre inoltre tener libero nel settore inferiore dell'accumulatore un adeguato «volume per il funzionamento ulteriore». Ciò significa che il sensore di disinserimento non può essere inserito nella parte inferiore dell'accumulatore. La valvola di regolazione per la regolazione della carica si chiude progressivamente, mentre diminuisce la portata attraverso la pompa di calore. La pompa di calore viene disinserita quando è raggiunta la pressione massima ammissibile di condensaione. Se sono necessari ulteriori e più lunghi periodi di funzionamento, è possibile far funzionare l'impianto in modo costante e con una temperatura di carica massima possibile per mezzo di una messa a punto della pressione di condensaione che agisce sulla valvola di regolazione. In qualsiasi caso occorre esaminare con esattezza fino a qual punto sia ammissibile una diminuzione della temperatura di carica. Soluzioni complicate con una pompa a funzionamento ulteriore e tubazioni separate fino all'accumulatore dovrebbero essere utilizzate solo in casi eccezionali.

Oltre al caso pratico nel riquadro 81 sono anche state calcolate le varianti per le pompe di calore ad aria riciclata con mezzi refrigeranti R134a e R22. Rispetto al mezzo refrigerante R22, il mezzo refrigerante R134a presenta il vantaggio di poter far funzionare l'impianto con una temperatura di uscita del condensatore massima di 65°C e con una portata minima del 25% (R22: 55°C e 50%).

5.4 Collegamento elettrico

Alimentazione e misurazione

Per principio i GFC possono essere fatti funzionare in parallelo alla rete oppure con funzionamento autonomo. Normalmente un impianto viene fatto funzionare in parallelo alla rete; esso funziona in modo autonomo solo se è necessario utilizzarlo quale gruppo elettrogeno di emergenza nel caso di un'interruzione nell'erogazione dell'energia elettrica della rete.

Nel caso di funzionamento in parallelo alla rete ci si pone la domanda seguente: in che modo l'elettricità prodotta deve essere immessa nella rete pubblica? Poiché per l'elettricità acquistata il gestore versa normalmente all'azienda elettrica una somma superiore a quella che può ricevere per l'elettricità ceduta all'azienda stessa, egli coprirà dapprima il proprio fabbisogno, per poi immettere nella rete l'elettricità prodotta in eccesso, qualora ne avesse a disposizione (figura 84). In tal caso occorre tener presenti i punti seguenti:

- questa norma può essere applicata per principio solo se il gestore dell'impianto per la produzione combinata di forza e di calore è giuridicamente parte in causa anche come utente, ossia se si tratta della stessa persona. Se ciò non è il caso si dovrà appurare presso l'azienda elettrica competente se nei confronti di quest'ultima il gestore può apparire come unico abbonato e se può fatturare agli utenti l'elettricità da loro acquistata. In caso contrario deve aver luogo una restituzione completa dell'elettricità prodotta, mediante immissione nella rete dell'azienda stessa (figura 85).
- L'elettricità prodotta dal generatore deve in ogni caso essere misurata (per la statistica sull'elettricità). L'azienda elettrica stabilisce se a questo scopo deve essere utilizzato un contatore privato oppure uno appartenente all'azienda stessa.
- Per poter costatare in modo affidabile e rapido le interruzioni dell'erogazione dell'energia elettrica, il generatore viene fatto funzionare con un fattore di potenza ($\cos \varphi$) da 0,92 fino a 0,95 (induttivo). Per i generatori sincroni ed asincroni cfr. tabella 86. Ciò fa in modo che la potenza reattiva acquistata aumenti rispetto alla potenza reale.

Dispositivi di sicurezza

Nel caso di disturbi sulla rete o d'interruzione dell'erogazione dell'energia elettrica, il GFC deve immediatamente essere separato dalla rete. Se è attrezzato per il servizio di alimentazione elettrica di emergenza, esso continua a funzionare e rifornisce gli utenti di corrente elettrica (servizio autonomo). Il generatore è collegato alla rete attraverso un interruttore

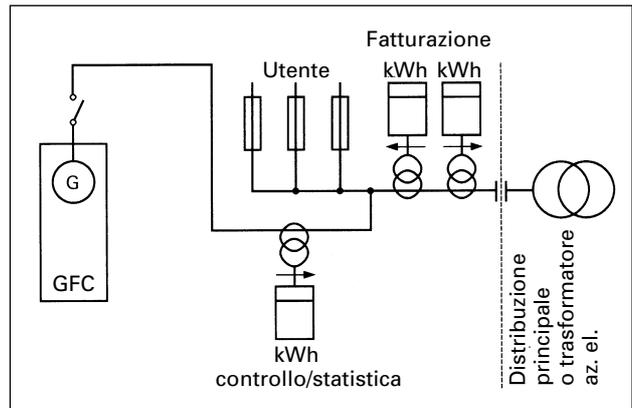


Figura 84: copertura del fabbisogno proprio ed immissione dell'eccedenza nella rete

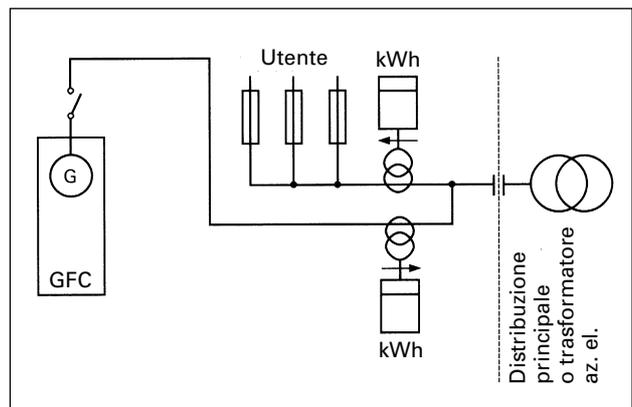


Figura 85: immissione completa nella rete dell'elettricità prodotta

	Generatore sincrono	Generatore asincrono
Settore d'impiego	Tutte le potenze	Fino a 100 kW _{el}
Fattore di potenza	Può essere scelto e regolato a piacimento, capacitativo o induttivo	Non compensato 0,75...0,8 compensato 0,92...0,95 induttivo
Sincronizzazione	Necessaria	Non necessaria
Funzionamento autonomo, alimentazione elettrica d'emergenza	Possibile	Non possibile
Redditività	Da 100 kW _{el}	Fino a 100 kW _{el}

Tabella 86: generatore sincrono e asincrono

Dispositivi di sicurezza

Quando la rete non è sotto tensione non può aver luogo un inserimento dell'**interruttore di accoppiamento** alla rete (bloccaggio). È necessario un dispositivo di disaccoppiamento che liberi immediatamente l'interruttore ad accoppiamento:

- relè a tensione minima e massima, sorveglianza a tre fasi ($\pm 10\%$, tempo di disinserimento 0,1...0,3 secondi)
- relè a frequenza, per frequenza minima e frequenza massima ($\pm 1\%$, tempo di disinserimento 0,1...0,3 secondi).

Sull'**interruttore del generatore** devono avere un effetto le funzioni di protezione seguenti:

- protezione contro il sovraccarico
- protezione contro i cortocircuiti: l'interruttore del generatore deve essere in grado d'interrompere i cortocircuiti causati sia dal generatore, sia dalla rete (tempo di disinserimento < 0,15 secondi)
- protezione contro la sovratensione
- protezione contro la potenza di ritorno (facoltativa per la protezione della macchina, tempo di disinserimento 0,1...0,3 secondi).

Evitare le reazioni perturbatrici sulla rete (impiego di masse volaniche adeguate per evitare possibili «sfarfallamenti» durante il funzionamento di generatori con motori a pistoni)

Riquadro 87

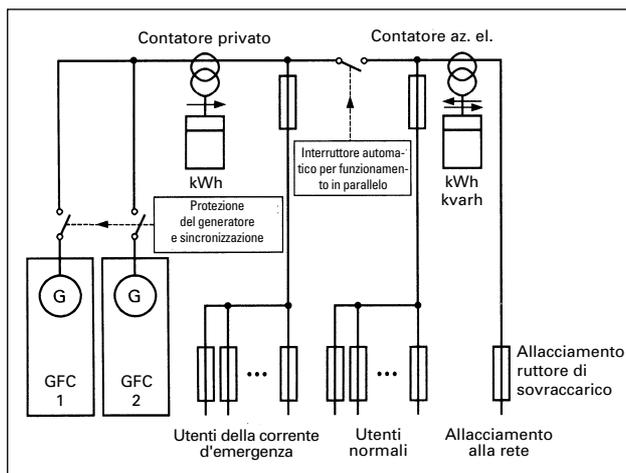


Figura 88: schema di principio dei dispositivi di sicurezza

tore del generatore stesso, nonché un interruttore accoppiato. Affinché nel caso di lavori sulla rete si possa lavorare senza pericolo è necessario un punto di sezionamento accessibile all'azienda elettrica.

Occorre inoltre adottare provvedimenti per la protezione di persone e cose (ad es. nel caso d'interruzione dell'erogazione dell'energia elettrica, di variazioni di tensione e di frequenza, di brevi interruzioni, d'inserimento e disinserimento dei generatori, di armoniche, di compensazione della potenza reattiva). Il riquadro 87, la figura 88 ed il riquadro 89 forniscono ulteriori indicazioni.

Negli impianti senza servizio di alimentazione elettrica di emergenza, l'interruttore del generatore può assumere la funzione d'interruttore di accoppiamento; per tale motivo è necessario un solo interruttore.

Alimentazione di emergenza

Se un GFC viene utilizzato per l'alimentazione di emergenza occorre tener conto dei punti seguenti:

- l'approvvigionamento di combustibile (gas naturale, gasolio) deve essere garantito nel caso d'interruzione dell'erogazione dell'energia elettrica (eventualmente anche in caso d'incendio).
- Il generatore deve fornire potenza reale e potenza apparente agli utenti allacciati. A seconda delle specificazioni sono ammissibili brevi sovraccarichi (nell'ambito di 10 minuti).
- Lo stato di prontezza del GFC (dall'ordine di avviamento finché non è a disposizione la corrente di emergenza) deve corrispondere alle esigenze degli utenti della corrente di emergenza.
- Il GFC necessita di un motorino di avviamento a batteria.
- Il GFC necessita di un raffreddamento di emergenza. Questo deve essere indipendente dal sistema di riscaldamento (raffreddamento supplementare ad aria o ad acqua nel circuito di raffreddamento ad acqua del motore).
- A seconda delle esigenze dell'utente della corrente di emergenza, per il ritorno nella rete è necessaria una sincronizzazione ininterrotta tra la tensione della rete di emergenza e la tensione di rete.

5.5 Comando e regolazione

Principio del comando

Finché il fabbisogno di potenza calorifica dell'oggetto è maggiore della potenza erogata dal GFC, il funzionamento continuo di quest'ultimo serve per la copertura del carico di base, mentre la potenza com-

plementare necessaria viene sopportata dalla caldaia per la copertura del carico di punta (figura 90). Se il fabbisogno di potenza calorifica dell'oggetto è minore della potenza che il GFC può erogare, quest'ultimo verrà inserito e disinserito a dipendenza dallo stato di carica dell'accumulatore. Con l'inclusione di ulteriori criteri di comando (orari di tariffe, ecc.) può aver luogo una vera e propria gestione dell'accumulatore.

Struttura del comando

Per principio occorre distinguere tra comando del GFC e comando principale. Importante è la separazione sistematica di ambedue le funzioni (sotto l'aspetto dell'hardware e dei programmi).

Il **comando GFC** è responsabile del funzionamento del gruppo componente il GFC (acqua di raffreddamento, catalizzatore dei gas di scarico, potenza elettrica, sorveglianza della rete, ecc.). La progettista o il progettista stabiliscono le condizioni limite necessarie ed il comando viene in seguito realizzato dal fornitore del GFC sotto forma di comando con programma memorizzato (CPM).

Il **comando principale** è specifico all'impianto e deve essere definito dalla progettista o dal progettista (cfr. anche riquadro 91). Esso comprende le funzioni seguenti:

- comandi d'inserimento e di disinserimento per il GFC e la caldaia (ev. collegamento in cascata delle caldaie)
- sblocco, rispettivamente arresto durante i periodi di tariffa
- riserva per il riscaldamento mattutino.

I punti seguenti sono importanti sia per il comando del GFC, sia per il comando principale:

- concetto semplice
- punti d'interazione chiari
- documentazione completa
- le variazioni dei parametri d'esercizio devono essere possibili in qualsiasi momento senza un adeguamento dispendioso dei programmi per il PC.

Effetti dinamici

Gli effetti dinamici involontari (ad es. funzionamento discontinuo) si manifestano soprattutto quando la potenza calorifica del GFC è dello stesso ordine di grandezza o maggiore del fabbisogno calorifico dell'oggetto, ossia durante la mezza stagione ed in estate. Al momento della progettazione del comando occorre quindi tener conto in modo particolare dell'effetto dinamico difficilmente prevedibile.

Norme ASE



Per quanto concerne le reazioni sulla rete, nelle reti per la fornitura di energia elettrica valgono le norme seguenti:

- ASE/EN 50006
- ASE 3600-1
- ASE 3600-2
- ASE 3601-1/2/3

(reperibili presso: ASE, Seefeldstrasse 301, casella postale, 8034 Zurigo)

Riquadro 89

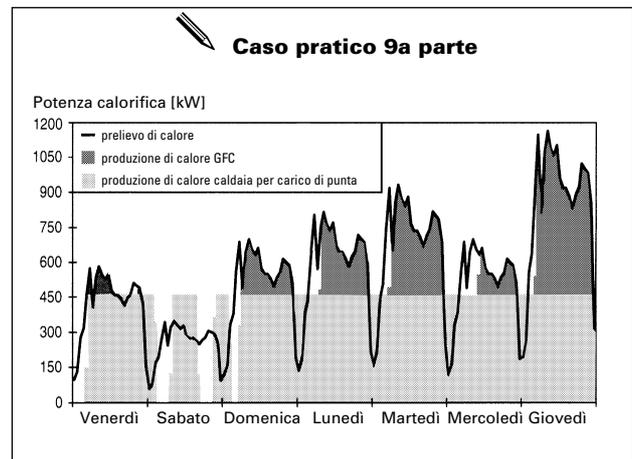


Figura 90: caso pratico 9a parte – andamento giornaliero della produzione e del prelievo di calore

5.6 Strumentazione

Per una garanzia perfetta della qualità con ottimizzazione dell'esercizio e controllo dei risultati sono necessari i **contatori** seguenti:

- contatore del combustibile GFC
- contatore (di funzionamento) GFC
- contatore degli impulsi di avviamento GFC
- contatore di elettricità GFC
- contatore termico GFC
- contatore del combustibile per la caldaia per la copertura del carico di punta
- contatore (di funzionamento) della caldaia per la copertura del carico di punta
- contatore degli impulsi di avviamento della caldaia per la copertura del carico di punta.

Sistemi di comando degli edifici

Negli edifici di grandi dimensioni sono spesso disponibili o previsti dei sistemi di comando. Per quanto concerne gli impianti per la produzione combinata di forza e di calore occorre tener conto dei punti seguenti:

- un sistema di comando è perfettamente adatto per assumere la funzione di comando principale e per elaborare e trasmettere avvisi di guasti e segnali di avvertimento
- il comando del GFC deve assolutamente essere realizzato mediante un CPM indipendente che deve essere fabbricato dal fornitore del GFC
- il comando del GFC deve essere equipaggiato (o per lo meno preparato) in modo che tutti i dati rilevanti concernenti un'interfaccia seriale possano essere trasmessi ad un sistema di comando dell'edificio.

Riquadro 91

Affinché possano essere eseguite eventuali misurazioni transitorie con registrazione automatica dei dati, occorre tener conto del fatto che soltanto i contatori con **uscita ad impulsi** possono essere utilizzati in modo razionale (prezzo supplementare senza importanza). Tutti i contatori devono avere totalizzatori meccanici oppure visualizzazione a cristalli liquidi con batterie tampone (sicurezza dei dati).

Si rinuncia spesso ai **contatori termici del GFC** con la motivazione che la tolleranza dei contatori termici non permette una determinazione affidabile del grado di utilizzazione. A ciò si può contrapporre l'argomentazione che un contatore termico può essere calibrato, mentre non lo può essere un GFC.

➔ *Per principio è il committente che decide (e non il progettista!) se intende rinunciare al contatore termico del GFC quale mezzo per garantire la qualità e per la sorveglianza del funzionamento. Obiettivo principale del contatore termico del GFC è il controllo continuo della produzione di calore nel bilancio dell'energia. Durante la determinazione dei gradi di utilizzazione del GFC (basati sul consumo di gas e sulla produzione di elettricità e di calore) occorre assolutamente tener conto del fatto che i valori di misurazione sono sempre legati alle tolleranze degli apparecchi di misurazione!*

I punti di misurazione importanti devono essere muniti di **strumenti con visualizzazione analogica**:

- pressione dell'olio del motore
- temperatura dell'acqua di raffreddamento del motore
- temperatura dei gas di scarico (dopo lo scambiatore di calore)
- temperatura di entrata e di uscita GFC
- temperatura di ritorno prima della valvola di regolazione della carica
- temperatura di entrata e di uscita della caldaia per la copertura del carico di punta
- temperatura dell'accumulatore (in alto, a metà, in basso)
- temperatura dell'andata principale e del ritorno principale del sistema di erogazione del calore.

Per l'impiego temporaneo di apparecchi di misurazione devono essere previsti **punti di misurazione preparati** (valvole a farfalla con misurazione della differenza di pressione per l'equilibratura idraulica, adattatori, manicotti ad immersione, ecc.).

6. Esercizio

6.1 Influsso sulla redditività

Il successo di un impianto per la produzione combinata di forza e di calore non consiste soltanto nel fatto che «l'ambiente si riscalda», bensì nel fatto che la redditività dell'impianto corrisponde alle aspettative. Dal canto suo la redditività dipende fortemente dal numero di ore di funzionamento raggiunte. Oltre al dimensionamento corretto ed all'ottimizzazione coscienziosa del funzionamento dell'impianto, le interruzioni del funzionamento dovute a guasti influenzano in modo essenziale il numero annuo delle ore di funzionamento. Affinché il numero e la durata delle anomalie del funzionamento siano poche, sono necessarie le misure seguenti:

- manutenzione regolare dell'impianto per la produzione combinata di forza e di calore
- intervento rapido dopo il manifestarsi di un'anomalia del funzionamento; ciò è possibile grazie a giri d'ispezione regolari oppure nella misura in cui l'avviso di guasto venga trasmesso ad un sistema di comando, ad un sistema di controllo a distanza oppure al servizio di picchetto del gestore dell'impianto o della ditta che esegue i servizi
- allestimento di una statistica delle interruzioni del funzionamento; se la stessa anomalia si manifesta parecchie volte è necessario chiarirne dettagliatamente le cause.

6.2 Manutenzione

Se non è possibile far capo a personale proprio dell'esercizio con una formazione adeguata nel settore della tecnica dei motori e della regolazione, è consigliabile concludere un contratto di manutenzione con la ditta fornitrice dell'impianto per la produzione combinata di forza e di calore. Poiché la necessità dell'esecuzione di grandi lavori di revisione si manifesta solo dopo 15000...30000 ore di funzionamento, si dovrebbe concludere un contratto a lunga scadenza per almeno 5 o, meglio ancora, 10 anni. Il contratto di manutenzione deve essere concluso contemporaneamente al contratto di compravendita o al contratto di appalto.

I fornitori di GFC offrono un contratto di manutenzione completa sulla base di un contratto tipo redatto da un'associazione di categoria che si occupa della produzione combinata di forza e di calore. Il **contratto di manutenzione completa** comprende tutte le prestazioni che sono necessarie per l'esercizio dell'impianto. A seconda dell'accordo stabilito con il fornitore è compresa anche la revisione generale del motore. I fornitori offrono anche **contratti di manutenzione parziale** nei quali certe prestazioni (da pattuire nel contratto stesso) possono essere fornite

Contratto di manutenzione completa o di manutenzione parziale?

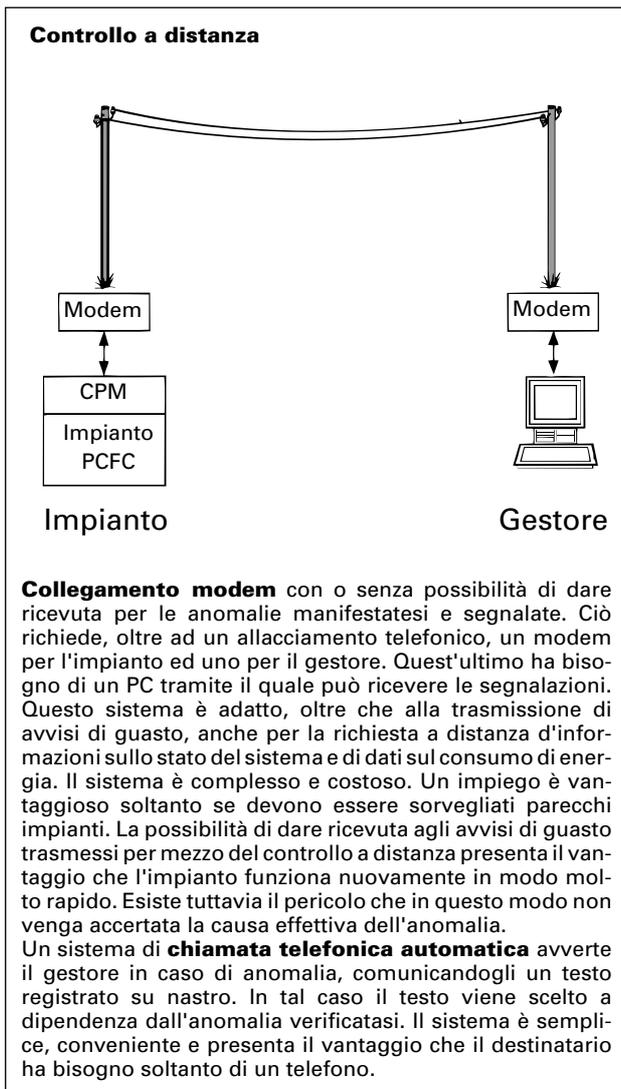
L'estensione delle prestazioni di un **contratto di manutenzione completa** comprende:

- lavoro e pezzi di ricambio per i lavori di manutenzione
- lavoro e pezzi di ricambio per revisioni parziali
- secondo accordo speciale anche lavoro e materiale per revisione generale o sostituzione del motore
- sostituzione del catalizzatore (se l'impianto lo utilizza)
- approvvigionamento di lubrificante e sua eliminazione
- assicurazione per rottura di macchine
- garanzia per idoneità al funzionamento

Nel caso del **contratto di manutenzione parziale** possono essere *escluse* le prestazioni seguenti:

- lavoro e pezzi di ricambio per i lavori di manutenzione
- lavoro e pezzi di ricambio per la revisione generale o la sostituzione del motore
- sostituzione del catalizzatore (se l'impianto lo utilizza)
- approvvigionamento di lubrificante e sua eliminazione
- assicurazione per rottura di macchine
- garanzia per idoneità al funzionamento

Riquadro 92



Riquadro 93

dallo stesso gestore oppure rimborsate in seguito al fornitore.

Il riquadro 92 spiega le differenze più importanti tra contratto di manutenzione completa e contratto di manutenzione parziale. Con la conclusione di un contratto di manutenzione completa i costi di manutenzione tendono ad essere più elevati che non con la conclusione di un contratto di manutenzione parziale, comprese le restituzioni complementari per le prestazioni escluse; il rischio finanziario (guadagno o perdita) è sopportato dal gestore.

6.3 Controllo del funzionamento

Per principio i GFC sono equipaggiati per il funzionamento completamente automatico. Per ogni impianto deve tuttavia essere nominata una persona responsabile dell'esercizio che viene istruita dalla progettista o dal progettista e dal fornitore dell'impianto. Questa persona conosce l'impianto, esegue periodicamente giri d'ispezione e dà la ricevuta per le anomalie la cui causa non è insita nello stesso impianto per la produzione combinata di forza e di calore. Nelle aziende industriali o nelle ditte per le prestazioni di servizio la persona summenzionata può essere qualcuno che è anche altrimenti responsabile delle installazioni dell'impiantistica. Nei complessi di abitazioni questo compito può essere affidato al custode o alla custode.

Negli impianti senza personale di sorveglianza (ad esempio centrali di riscaldamento con interconnessione di riscaldamento nelle vicinanze) è raccomandabile un controllo a distanza dell'impianto. Grazie a questo il gestore dell'impianto viene immediatamente informato quando si verifica un'interruzione del funzionamento. A seconda delle esigenze del gestore esistono possibilità diverse di controllo a distanza (riquadro 93).

6.4 Ottimizzazione dell'esercizio e controllo dei risultati

L'ottimizzazione dell'esercizio ed il controllo dei risultati (riquadro 94) costituiscono una parte importante della garanzia della qualità.



Fascicolo 1, capitolo 6 «Garanzia della qualità nelle fasi di pianificazione»



Paragrafo 5.6 «Strumentazione»

Con l'ottimizzazione dell'esercizio ed il controllo dei risultati vengono verificati soprattutto i punti seguenti che spesso non sono sufficienti ad adempiere le esigenze poste:

- comando principale
- dati concernenti l'efficienza dell'impianto.

A questo scopo devono essere registrati settimanalmente, se possibile sempre allo stesso orario, i **dati rilevati** seguenti:

- consumo di combustibile GFC
- ore di funzionamento GFC
- impulsi di avviamento GFC
- produzione di elettricità GFC
- produzione di calore GFC
- consumo di combustibile della caldaia per la copertura del carico di punta
- ore di funzionamento della caldaia per la copertura del carico di punta
- impulsi di avviamento della caldaia per la copertura del carico di punta
- temperatura dei gas di scarico dopo l'utilizzazione del calore.

Le grandezze seguenti servono, confrontate con i dati di dimensionamento, alla valutazione della funzione del **comando principale**:

- ore di funzionamento mensili del GFC
- impulsi d'avviamento mensili del GFC
- ore di funzionamento mensili della caldaia per la copertura del carico di punta
- impulsi di avviamento mensili della caldaia per la copertura del carico di punta.

Le seguenti grandezze servono, paragonate con i dati di dimensionamento, alla valutazione dei **dati concernenti la potenza** dell'impianto per la produzione combinata di forza e di calore:

- potenza di prelievo del combustibile (prelievo del combustibile per ora di funzionamento)
- potenza elettrica (produzione di elettricità per ora di funzionamento)
- grado elettrico di utilizzazione (produzione di elettricità rispetto al prelievo di combustibile)
- grado termico di utilizzazione (produzione di calore rispetto al prelievo di combustibile)
- temperatura dei gas di scarico del GFC.

La misurazione della temperatura dei gas di scarico serve quale indicatore della potenza termica dell'impianto per la produzione combinata di forza e di calore (come analogamente serve la temperatura dei gas di scarico di una caldaia per il calcolo del rendimento tecnico dell'impianto di combustione). Se la temperatura dei gas di scarico è troppo elevata si può concludere che gli scambiatori di calore sono sporchi.

Ottimizzazione dell'esercizio e controllo dei risultati

- Già nella fase di concetto devono essere progettati gli strumenti di misurazione necessari per l'ottimizzazione dell'esercizio ed il controllo dei risultati. Nei circuiti standardizzati RAVEL sono segnati gli strumenti di misurazione necessari, i manicotti ad immersione, ecc.

 Fascicolo 5 «Circuiti standardizzati»

- L'annotazione dei dati d'esercizio necessari ha luogo se possibile settimanalmente (per un certo tempo eventualmente anche giornalmente). Essa viene eseguita dal gestore su formulari-tipo. Egli spedisce in seguito ogni mese i documenti alla progettista, rispettivamente al progettista, che esegue immediatamente una valutazione dei dati e predisporre le operazioni adeguate di ottimizzazione.
- Negli impianti di maggiori dimensioni e più complessi (e solo se insorgono problemi) è razionale un'annotazione automatica mediante un registratore dei dati. Se i segnali necessari a questo scopo possono essere trasmessi ad una morsettiera ben accessibile del quadro elettrico di comando, il dispendio può essere mantenuto entro limiti ragionevoli.
- Un'altra soluzione consiste nell'ampliare il (comunque già esistente) comando con un programma memorizzato (CPM) dell'impianto per la produzione combinata di forza e di calore, mediante un modulo relativamente semplice, per il rilevamento dei dati di misurazione ed un modulo per la valutazione. Un vantaggio essenziale di questo metodo è costituito dal fatto che per mezzo del CPM può essere trasmesso un avvertimento nel caso in cui si sia scesi al di sotto di certi dati limite o se gli stessi siano stati superati. Nel caso di un edificio munito di sistema di comando dell'edificio, il rilevamento dei dati concernenti l'energia può avvenire per mezzo dello stesso. In ogni caso deve essere possibile un richiamo delle più importanti grandezze di funzionamento sotto la forma di file dati (ad es. ASCII) per l'immissione in un foglio elettronico. Nel caso di soluzioni con CPM oppure con sistema di comando dell'edificio è importante che le condizioni limite siano fissate fin dal principio nel capitolato d'onori.
- Nel primo periodo di riscaldamento l'impianto funziona ancora spesso in modo non proprio regolare (utilizzazione incompleta, essiccazione della costruzione, ecc.); se possibile occorre quindi perseguire quale obiettivo una fase biennale di ottimizzazione con controllo finale dei risultati.
- I valori limite (valori di garanzia) ed i valori di riferimento (valori di progettazione) per il controllo dei risultati devono essere definiti dapprima in un capitolato d'onori.

Riquadro 94

Appendice

A1 Indirizzi

Associazioni

Associazioni Schweizerischer Fachverband für Wärme- kraftkopplung (WKK-Fachverband)	Bodenackerstrasse 19 4410 Liestal	Tel. 061 / 922 03 87 Fax 061 / 921 99 25
Associazione svizzera dell'industria del gas (VSG)	Grütlistrasse 44 8027 Zurigo	Tel. 01 / 288 31 31 Fax 01 / 202 18 34
Unione delle centrali svizzere di elettricità (UCS)	Bahnhofplatz 3 8023 Zurigo	Tel. 01 / 211 51 91 Fax 01 / 221 04 42

Fornitori d'impianti per la produzione combinata di calore e di forza

Amman Baumaschinen AG	Energiesysteme 4900 Langenthal	Tel. 063 / 29 61 61 Fax 063 / 22 68 03
DIMAG Dieselmotoren AG	Bachmatten 5 4435 Niederdorf	Tel. 061 / 951 24 24 Fax 061 / 951 24 58
Integrale Wärme Kraft AG (IWK)	Bellerivestrasse 35 8022 Zurigo	Tel. 01 / 385 24 36 Fax 01 / 385 25 55
Sauber + Gisin AG	Wildbachstrasse 5 8340 Hinwil	Tel. 01 / 937 22 22 Fax 01 / 937 46 64
Saurer Thermotechnik AG	Schlossgasse 9320 Arbon	Tel. 071 / 46 92 12 Fax 071 / 46 67 05
Share Tech AG	Tösstalstrasse 91 8493 Saland	Tel. 052 / 46 17 71 Fax 052 / 46 32 86
Tuma Turbomach SA	6805 Mezzovico	Tel. 091 / 935 98 95 Fax 091 / 935 46 46

Organizzazioni responsabili

Elektra Birseck Münchenstein (EBM)	Weidenstrasse 27 4142 Münchenstein	Tel. 061 / 415 41 41 Fax 061 / 415 46 46
Elektra Baselland (EBL)	Mühlemattstrasse 6 4410 Liestal	Tel. 061 / 926 11 11 Fax 061 / 921 15 82
Bernische Kraftwerke AG (BKW)	Viktoriaplatz 2 3013 Berna	Tel. 031 / 330 51 11 Fax 031 / 330 56 35
Centralschweizerische Kraftwerke AG (CKW)	Hirschengraben 33 6002 Lucerna	Tel. 041 / 26 51 11 Fax 041 / 26 50 66
Integrale Wärme Kraft AG (IWK)	Bellerivestrasse 35 8022 Zurigo	Tel. 01 / 385 22 11 Fax 01 / 385 25 55
Schmeik + Schindler AG	Grabenstrasse 8 4142 Münchenstein	Tel. 061 / 415 87 87 Fax 061 / 415 87 88
Enerplan Invest AG	Rösslimattstrasse 6 6005 Lucerna	Tel. 041 / 44 93 70 Fax 041 / 44 00 70
Comunità di lavoro per la fornitura decentralizzata di energia (ADEV)	Oristalstrasse 85 4410 Liestal	Tel. 061 / 921 94 50 Fax 061 / 922 08 31

Denominazioni, simboli, abbreviature

Denominazioni e simboli

Amplificazione elettrotermica [-]	AET
Capacità termica specifica [J/kgK, kWh/kgK]	c
Coefficiente di lavoro annuo	CLA
Coefficiente di rendimento [-]	ε
Coefficiente k_v (coefficiente di portata) [m ³ /h]	k_v
Corrente [A]	I
Coseno phi, fattore di potenza [-]	cos φ
Differenza di pressione [Pa, kPa]	Δp
Differenza di temperatura [K]	Δθ, ΔT
Energia, in generale [J, MJ, Ws, kWh]	W
Fattore di potenza, coseno phi [-]	cos φ
Flusso massico [kg/s, kg/h]	\dot{m}
Flusso termico [W, kW]	\dot{Q}
Flusso volumetrico [l/s, l/h, m ³ /h]	\dot{V}
Grado di utilizzazione [-]	η
Indice dell'energia [MJ/m ² a]	E
Indice della corrente [-]	s
Massa [kg]	m
Portata [l/s, l/h, m ³ /h]	\dot{V}
Portata, flusso massico [kg/s, kg/h]	\dot{m}
Portata, flusso volumetrico [l/s, l/h, m ³ /h]	\dot{V}
Potenza, in generale [W, kW]	P
Potenza apparente [VA, kVA]	P_a
Potenza calorifica, in generale [W, kW]	\dot{Q}
Potenza del combustibile	\dot{Q}_{COMB}
Potenza elettrica [W, kW]	P_{el}
Potenza idraulica [W, kW]	$P_{idraul.}$
Potenza reale [W, kW]	P
Potenza reattiva [var, kvar]	P_q
Potenza termica [W, kW]	\dot{Q}
Potere calorifico inferiore [kWh/kg, kWh/m ³]	H_u
Potere calorifico superiore [kWh/kg, kWh/m ³]	H_o
Pressione [Pa, kPa]	p
Quantità di calore, in generale [J, MJ, Ws, kWh]	Q
Rendimento, in generale [-]	η
Rendimento elettrico [-]	η_{el}
Rendimento termico [-]	η_{term}
Resistenza [Ω]	R
Temperatura [°C]	θ
Temperatura assoluta [K]	T
Temperatura d'inserimento [°C]	θ _{INS}
Temperatura di andata [°C]	θ _A
Temperatura di disinserimento [°C]	θ _{DISINS}
Temperatura di ritorno [°C]	θ _R
Tempo [s, h]	T
Tensione [V]	U
Velocità [m/s]	v
Volume [l, m ³]	V

Abbreviature (utilizzate anche come segni)

Accumulatore	ACC
Acqua calda	AC
Amplificatore elettrotermico	AET
Andata	A
Caldaia	CA
Combustibile	COMB
Decreto federale sull'impiego dell'energia	D sull'energia
Elettrico	el
Generatore di forza e di calore	GFC
Impianto ad energia totale	IAT
Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico	OIAt
Ordinanza sull'energia	OEn
Pompa di calore	PC
Produzione combinata di forza e di calore	PCFC
Ricupero del calore	RDC
Ritorno	R
Superficie di riferimento energetico	SRE
Termico	term
Totale	TOT
Utilizzazione del calore residuo	UCR
Valore massimo	MAX
Valore minimo	MIN
Valore nominale	N

 *Elenco completo nel fascicolo 1!*

Indice analitico

- Abbreviature 58
- Accumulatore 35; 43; 45
- Alimentazione 49
- Amplificatore elettrotermico 5
- Analisi della sensitività 26
- Approvvigionamento di lubrificante 42
- Associazioni 56
- Bibliografia 19; 30; 42; 51
- Bilancio dei costi annui 30
- Bilancio dell'energia 29
- Caldaia a vapore 18
- Caldaia per la copertura del carico di punta 34
- Camere di combustione a Low-NO_x 37
- Caratteristica dell'energia 28
- Caso pratico 1a parte 23
- Caso pratico 2a parte 26
- Caso pratico 3a parte 29
- Caso pratico 4a parte 29
- Caso pratico 5a parte 33
- Caso pratico 6a parte 35
- Caso pratico 7a parte 38
- Caso pratico 8a parte 47
- Caso pratico 9a parte 51
- Catalizzatore 6
- Catalizzatore a tre vie 6; 37
- Centrale di riscaldamento 40
- Centrale termoelettrica e di riscaldamento 6
- Centrale termoelettrica e di riscaldamento ad azionamento combinato 6
- Chiamata telefonica automatica 54
- Chiarimenti preliminari 22; 39
- Circuito in parallelo 44
- Circuito in serie 45
- Circuito parzialmente in parallelo 45
- Coefficiente del valore medio 30; 32
- Cogenerazione (definizione del concetto) 5
- Collegamento elettrico 49
- Collegamento idraulico 43
- Comando e regolazione 50
- Comando principale 51; 55
- Combustibili 17
- Compatibilità con l'ambiente 36
- Concetti 5
- Concetto dell'energia 15
- Concetto globale dell'energia 39
- Condensazione dei gas di scarico 10; 43; 48
- Condizioni di vendita del calore 21
- Contatori 51
- Contratti di fornitura dell'energia 20
- Contratto di fornitura del calore 21
- Contratto di manutenzione 53
- Contratto di manutenzione parziale 53
- Contratto di manutenzione totale 53
- Controllo a distanza 54
- Controllo dei risultati 40; 54; 55
- Controllo del funzionamento 54
- Costi del capitale 31
- Costi dell'energia 32
- Costi di manutenzione 31; 32
- Costi di produzione del calore 30; 34; 57
- Costi di produzione dell'elettricità 24; 25; 30
- Costi specifici di produzione del calore 34
- Dati concernenti la potenza 55
- Dati tecnici concernenti l'energia 27; 28; 29
- Decreto federale sull'energia 19
- Denominazioni 58
- Depurazione dei gas di scarico 7
- Diagramma del flusso energetico
- Diagramma della frequenza cumulativa 28
- Dimensionamento 22
- Dimensionamento approssimativo 22; 23
- Dimensionamento dettagliato 22; 26
- Dispositivi di sicurezza 49; 50
- Durata di utilizzazione 31
- Effetti dinamici 51
- Emissione di diossido di carbonio dei combustibili fossili 36
- Emissioni prodotte durante l'avviamento di GFC con motore a gas 37
- Energia rinnovabile 19
- Erogazione del calore 44
- Esercizio 53
- Fabbisogno di calore annuo 23
- Fabbisogno di potenza calorifica 23
- Fasi di progettazione 39
- Fattore di annualità 31; 32
- Fattori di emissione 38
- Fattori di valutazione 38
- Formule empiriche per il dimensionamento approssimativo 23
- Fornitori d'impianti per la produzione combinata di forza e di calore 56
- Funzionamento a carico parziale delle GFC 35
- Funzionamento intermittente del teleriscaldamento 47
- Garanzia della qualità 51; 54
- Gas di fogna 17
- Gas liquido 18; 42
- Gas naturale 17; 20; 41
- Gas proveniente da deponie 18
- Gasificatore di legna 18
- Gasolio EL 18; 42
- Generatore asincrono 49
- Generatore di forza e di calore 6
- Generatore di forza e di calore (definizione del concetto) 5
- Generatore di forza e di calore con motore diesel 7; 12; 20
- Generatore di forza e di calore con motore a gas 5; 20; 24
- Generatore di forza e di calore con turbine a gas 8; 20; 24
- Generatore sincrono 49
- GFC con motore Stirling 12
- GFC standardizzati 5
- Idrocarburi 37
- Impianti a due moduli 41
- Impianti per la produzione combinata di forza e di calore utilizzati per la produzione di elettricità 16
- Impianti per la produzione combinata di forza e di calore utilizzati per la sola produzione di calore 15
- Impianto ad energia totale 8
- Impianto di ventilazione 42
- Impianto elettrogeno di emergenza 16; 17; 50
- Indicazioni per la progettazione 39
- Indice della corrente 5
- Indici 5
- Indirizzi 56
- Iniezione d'acqua 37
- Iniezione di vapore 37

- Interconnessione di riscaldamento 14
- Investimenti specifici 24
- Isolamento acustico 41
- Istallazione 40
- Leggi 19
- Leggi sull'energia 19
- Legna 18
- Manutenzione 53
- Metano 37
- Modello per la tabella «Costi di produzione del calore» 57
- Modem 54
- Monossido di carbonio 37
- Motore a miscela povera 7
- Motore industriale a gas 5
- Motore lambda 16
- Motori di veicoli 5
- Norme di regolazione per i valori d'inserimento e di disinserimento 46
- Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico 19; 20; 38
- Ordinanza contro l'inquinamento fonico 41
- Ordinanza sull'energia 19
- Ordinanze 19
- Organizzazioni responsabili 20; 56
- Ossidi di azoto 37
- Ottimizzazione dell'esercizio 40; 54; 55
- Periodo d'esame 31
- Pianificazione dell'esecuzione 40
- Piano dei costi di costruzione 31
- Piccolo GFC 5; 6
- Pila a combustione 12
- Pila a combustione a carbonato fuso 12
- Pila a combustione ad acido fosforico 12
- Pila a combustione con elettrolita solido 12
- Pompa di calore ad aria riciclata 43; 47; 48
- Pompa di calore con motore a gas 9
- Pompa di calore con motore diesel 9
- Pompa di calore per il ricupero del calore residuo irradiato 10
- Possibilità di utilizzazione 13
- Potenza del combustibile 5
- Potenza elettrica 5
- Potenza termica 5
- Prezzo base 21
- Prezzo del lavoro 21
- Produzione combinata di forza e di calore (definizione del concetto) 5
- Programmi per computer 27; 28
- Propano 41
- Raccomandazioni 19
- Raffreddamento in circuito a pressione 11
- Reazioni sulla rete 51
- Redditività 22; 24; 26; 29; 32; 53; 57
- Regolazione 50
- Rendimento elettrico 5
- Rendimento termico 5
- Ricambio minimo d'aria nei GFC con motore a gas 42
- Ricupero del calore residuo irradiato 10
- Riduzione selettivo-catalitica 37
- Rincarico dell'energia 32
- Riscaldamento dell'acqua 47
- Segni 58
- Settore delle abitazioni 13
- Settore delle prestazioni di servizio 13
- Settore industriale 14
- Settori di utilizzazione 13
- Simboli 58
- Sistematica 5
- Sostanze nocive 37; 38
- Strategia nei riguardi dell'ambiente 5
- Strumentazione 51
- Studio della possibilità di realizzazione 22; 39
- Tassa d'allacciamento 21
- Tasso d'inflazione 31
- Tasso d'interesse del capitale 31; 32
- Tecniche speciali 10
- Turbine a gas 37; 38
- Unità 58
- Uscita ad impulsi 52
- Valori d'inserimento e di disinserimento 46
- Valori limite d'emissione 20
- Vapore a bassa pressione 11
- W-CALC (programma per PC) 27
- WKK-CALC (programma per PC) 27; 28
- WP-CALC (programma per PC) 27