

# Impianti di ventilazione e di condizionamento efficienti sotto l'aspetto energetico

## Organizzazione responsabile:

SIA Società svizzera degli ingegneri e degli architetti

## Direttore del progetto:

Urs Steinemann, Ingenieurbüro US,  
8832 Wollerau

## Patronato:

SBHI Società svizzera degli ingegneri consulenti per l'impiantistica e l'energia

ATS Associazione tecnici svizzeri

SITC Società degli ingegneri termici e climatici

ASIRA Associazione svizzera delle imprese di riscaldamento e aerazione

## Autori:

Anton de Martin, Aicher de Martin Zweng AG,  
6006 Lucerna

Robert Meierhans, Meierhans & Partner AG,  
8117 Fällanden

Urs Steinemann, Ingenieurbüro US,  
8832 Wollerau

## Preparazione del progetto:

- Thomas Baumgartner, Ingenieurbüro für Haustechnik, 8600 Dübendorf
- Fritz W. Berg, ABB Normelectric AG, 8953 Dietikon
- Christoph Brunner, E + B-Concept, 1113 St-Saphorin s/Morges
- Rudolf Furter, ZTL, 6048 Horw
- Heinrich Gugerli, INTEP, 8034 Zurigo
- Werner Hochstrasser, Hochstrasser Consulting AG, 8152 Glattbrugg
- Miklos Kiss, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, 8022 Zurigo
- Jürg Nipkow, ARENA, 8006 Zurigo
- Erich Schadegg, Gruenberg & Partner AG, 8027 Zurigo
- Bendicht Schütz, ZTL, 6048 Horw
- Heinz Villa, Amt für technische Anlagen und Lufthygiene, 8090 Zurigo
- Charles Weinmann, Weinmann - Energies, 1040 Echallens
- Daniel Wolfisberg, Team-Kader AG, 6304 Zugo

ISBN 3-905251-06-X

Edizione originale: ISBN 3-905233-40-1

Copyright © Ufficio federale dei problemi congiunturali,  
3003 Berna, settembre 1993

La riproduzione parziale è autorizzata purché sia citata la fonte.  
Il presente manuale può essere ordinato presso l'Ufficio centrale federale degli stampati e del materiale (UCFSM),  
3000 Berna (n. d'ord. 724.307 i)

Form. 724.307 i 10.95 500 U27609

# 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 bolletti-

no 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-Ruedi Gabathuler, Jürg Nipkow, Ruedi Spalinger, dott. Daniel Spreng, Felix Walter, dott. Charles Weinmann, 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

Il presente documento tratta gli aspetti principali dei quali occorre tener conto al momento della progettazione, dell'esercizio e della manutenzione degli impianti di ventilazione e di condizionamento, onde poter adempiere le condizioni poste al clima ambiente con il minimo dispendio possibile d'energia. È stato attribuito un valore particolare alla diffusione delle ultime conoscenze e dei nuovi sviluppi. Occorre menzionare in particolare le raccomandazioni SIAV382/1-3, pubblicate nel 1992, le conoscenze tratte dal programma di ricerca «Flussi d'aria negli edifici rilevanti sotto l'aspetto energetico» (ERL), nonché i diversi componenti ed i diversi sistemi che aprono la via al futuro.

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 i diversi pareri in merito a singoli problemi, tenendone conto secondo il proprio libero apprezzamento. È questo il motivo per cui si sono assunti anche la responsabilità dei testi. Le lacune che venissero alla luce durante l'applicazione pratica potrebbero essere eliminate in occasione di un'eventuale rielaborazione del pre-

sente manuale. L'Ufficio federale dei problemi congiunturali ed il responsabile del progetto (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

---

Prefazione	3
------------	---

---

Indice	5
--------	---

---

Riassunto	7
-----------	---

---

<b>1. Contenuto e scopo della documentazione</b>	<b>9</b>
1.1 Problematica, campo d'applicazione	11
1.2 Scopo della documentazione	11
1.3 Come utilizzare la presente documentazione	11
1.4 Indicazioni concernenti altri documenti e progetti	12
Bibliografia capitolo 1	15

---

<b>2. Consumo di elettricità e risparmio potenziale</b>	<b>17</b>
2.1 Consumo di energia finale in Svizzera	19
2.2 Consumo di elettricità a seconda dei settori di utilizzazione	19
2.3 Risparmio potenziale degli impianti di ventilazione e di condizionamento	20
Bibliografia capitolo 2	20

---

<b>3. Dati fondamentali</b>	<b>21</b>
3.1 Comfort	23
3.2 Calcolo del carico di raffreddamento	29
3.3 Determinazione del flusso volumetrico dell'aria	32
3.4 Fabbisogno d'energia per il trasporto dell'aria	34
3.5 SIA 380/4 «L'energia elettrica nell'edilizia»	39
Bibliografia capitolo 3	42

---

<b>4. Sistemi di ventilazione e di condizionamento</b>	<b>43</b>
4.1 Problemi organizzativi	45
4.2 Scelta dei sistemi	47
4.3 Ricupero del calore	52
4.4 Ventilazione di appartamenti	56
4.5 Necessità di un raffreddamento dell'aria ambiente	58
4.6 Necessità di un'umidificazione dell'aria ambiente	58
4.7 Ventilazione notturna	59
4.8 Raffreddamento di solette di calcestruzzo	60
4.9 Soffitti freddi	62
4.10 Collettore tubolare sotterraneo ad aria	63
4.11 Sonde geotermiche	66
4.12 Comando e regolazione adeguati al fabbisogno	68
4.13 Impianti con flusso volumetrico variabile (VAV)	69
Bibliografia capitolo 4	70

---

---

<b>5. Ventilatori</b>	<b>73</b>
5.1 Tipi di ventilatori	76
5.2 Curve caratteristiche dei ventilatori	80
5.3 Leggi dei gas, della proporzionalità e dell'affinità	88
5.4 Curva caratteristica della rete e punto di funzionamento	90
5.5 Possibilità di regolazione	91
5.6 Perdite durante il montaggio	98
Bibliografia capitolo 5	98

---

<b>6. Sistemi di azionamento per ventilatori</b>	<b>99</b>
6.1 Approvvigionamento di energia elettrica	101
6.2 Motori elettrici (motori trifase asincroni)	103
6.3 Misurazione della potenza	113
6.4 Trasmissione	114
6.5 Regolazione del numero di giri	115
6.6 Protezione contro le esplosioni	120
6.7 Acustica	120
Bibliografia capitolo 6	121

---

<b>7. Liste di controllo</b>	<b>123</b>
LC1 Lista di controllo per la progettazione dell'edificio	125
LC2 Lista di controllo per la progettazione degli impianti di ventilazione e di condizionamento	128
LC3 Lista di controllo per la progettazione di singoli componenti	130
LC4 Lista di controllo per la fase d'esercizio	132

---

<b>Pubblicazioni del programma d'impulso RAVEL</b>	<b>135</b>
--	------------

---

# Riassunto

Una valutazione approssimativa dimostra che oggi tutta l'impiantistica, compresa l'illuminazione, utilizza circa un quarto dell'energia elettrica consumata globalmente in Svizzera, ossia 12500 su un totale di 50000 GWh/a. L'energia elettrica utilizzata per i motori delle pompe e dei ventilatori, per gli organi di comando e per gli ascensori viene stimata all'8% del consumo globale, ossia a 4000 GWh/a.

La presente documentazione intende contribuire alla diminuzione futura del consumo di elettricità in Svizzera per gli impianti di ventilazione.

Secondo una considerazione complessiva non si può tuttavia trattare di ridurre, in modo unilaterale, il consumo di elettricità a spese di altri vettori energetici. Vale invece la pena di tendere ad una riduzione del consumo globale d'energia, tenendo in tal caso conto dell'efficacia dei diversi vettori energetici.

Gli elementi più importanti di questa strategia di risparmio energetico sono i seguenti:

- creare presupposti nel settore dell'edilizia, dell'esercizio ed a livello organizzativo onde rendere possibile un debole consumo di energia negli impianti.
- Verificare in modo sistematico la necessità dell'utilizzazione prevista.
- Stabilire i criteri di dimensionamento secondo il fabbisogno. Rinunciare alle funzioni inutili, nonché agli impianti ed ai componenti sovradimensionati.
- Utilizzare in tutto il settore dell'esercizio componenti che hanno un buon rendimento.
- Concepire e far funzionare gli impianti per un esercizio corrispondente al fabbisogno. È possibile realizzare risparmi energetici notevoli già con un semplice temporizzatore.
- Permettere la misurazione dei parametri d'esercizio determinanti e dei consumi d'energia ed effettuarla regolarmente durante l'esercizio. Tenere una contabilità dell'energia.

Il capitolo 7 della presente documentazione contiene liste di controllo per

- la progettazione dell'edificio,
- la progettazione degli impianti di ventilazione e di condizionamento,
- la progettazione di singoli componenti e
- la fase d'esercizio.

Le liste di controllo del capitolo 7 sono particolarmente adatte quale accesso alla tematica. Durante la loro utilizzazione nelle diverse fasi, dalla progettazione fino alla messa in funzione dell'impianto, esse dovrebbero contribuire a fare in modo che vengano sfruttate tutte le misure possibili per la riduzione del consumo d'energia.



# 1. Contenuto e scopo della documentazione

---

1.1	Problematica, campo d'applicazione	11
1.2	Scopo della documentazione	11
1.3	Come utilizzare la presente documentazione	11
1.4	Indicazioni concernenti altri documenti e progetti	12
1.4.1	Norme e raccomandazioni SIA	12
1.4.2	Programma di ricerca ERL	12
1.4.3	Bibliografia specializzata	13
Bibliografia capitolo 1		15

---



# Contenuto e scopo della documentazione

## 1.1 Problematica, campo d'applicazione

Diverse ricerche dimostrano che non si può trascurare il consumo di elettricità degli impianti di ventilazione e di condizionamento per il trasporto dell'aria e per la preparazione della stessa. Soprattutto grazie alle attività del programma d'impulso RAVEL diversi impianti sono potuti essere misurati ed analizzati. Alcuni di questi lavori vengono presentati sotto la forma di casi pratici durante il corso di due giorni che completa la presente documentazione. Tali esempi pratici saranno oggetto di una documentazione separata consegnata ai partecipanti al corso [1.7]. È interessante costatare che il consumo di elettricità degli impianti di ventilazione e di condizionamento varia enormemente negli edifici con utilizzazione simile e, di conseguenza, con esigenze paragonabili per quanto concerne l'impianto di ventilazione e di condizionamento. Questo fatto richiama l'attenzione sul grande potenziale di risparmio energetico possibile in molti impianti esistenti. La commissione SIA 380/4 «L'energia elettrica nell'edilizia» elabora esigenze generali concernenti il consumo di elettricità a seconda dell'utilizzazione. Un primo progetto di una corrispondente raccomandazione SIA è passato attraverso una fase di prova fino alla fine del 1992 [1.1].

La presente documentazione, nonché le altre concernenti il programma d'impulso RAVEL e la futura raccomandazione SIA 380/4, intendono contribuire in Svizzera alla riduzione del consumo futuro di elettricità negli impianti di ventilazione e di condizionamento nuovi ed in quelli già esistenti. La documentazione vale in primo luogo per gli impianti di ventilazione e di condizionamento esistenti in locali abitati (uffici, amministrazione, sale di riunione, scuole, soggiorni, ecc.). È tuttavia ampiamente possibile e molto auspicabile l'applicazione per analogia agli impianti speciali impiegati nell'industria, negli ospedali, nel traffico, nei ristoranti, nell'ambito della protezione civile, eccetera, tenendo conto, di volta in volta, delle esigenze particolari di questi impianti speciali. Non vengono trattati gli aspetti concernenti la produzione meccanica del freddo.

## 1.2 Scopo della documentazione

La documentazione ha lo scopo di realizzare una rappresentazione approfondita degli aspetti che esercitano un influsso sul consumo di elettricità degli impianti di ventilazione e di condizionamento. Essa è destinata in primo luogo ai progettisti ed alle progettiste nel settore della tecnica di ventilazione. Molte indicazioni sono tuttavia utili anche per i produttori di componenti degli impianti di ventilazione, gli architetti, i committenti e gli utenti degli impianti.

## 1.3 Come utilizzare la presente documentazione

Alle pagine 5 e 6 della presente documentazione si trova un indice generale che può essere utilizzato quale ottimo strumento per accedere ai temi trattati. Ogni capitolo comincia con un indice suo proprio e contiene alla fine una raccolta di cenni bibliografici concernenti i temi trattati. All'inizio di ogni ampio paragrafo a due cifre sono riassunte, di volta in volta, le considerazioni più importanti del paragrafo stesso.

In molti casi un accesso alla tematica può aver luogo in modo conveniente per mezzo delle liste di controllo del capitolo 7. Tali liste riguardano le fasi seguenti:

- lista di controllo per la progettazione dell'edificio
- lista di controllo per la progettazione degli impianti di ventilazione e di condizionamento
- lista di controllo per la progettazione di singoli componenti
- lista di controllo per la fase d'esercizio.

## 1.4 Indicazioni concernenti altri documenti e progetti

### 1.4.1 Norme e raccomandazioni SIA

Per trattare i problemi in rapporto con gli impianti di ventilazione e di condizionamento, la società svizzera degli ingegneri e degli architetti mette a disposizione tre raccomandazioni:

Raccomandazione SIA V382/1 «Esigenze tecniche richieste agli impianti di ventilazione e di condizionamento» [1.2]

- Determinazione delle designazioni per i flussi d'aria ed i tipi d'impianto
- Esigenze richieste agli impianti di ventilazione e di condizionamento, tenendo conto degli aspetti concernenti il comfort, l'igiene ed il consumo d'energia
- Definizione dei valori di garanzia e procedura di collaudo
- Indicazioni generali concernenti la progettazione e l'esecuzione d'impianti di ventilazione e di condizionamento.

Raccomandazione SIA V382/2 «Fabbisogno di potenza di raffreddamento degli edifici» [1.3]

- Procedura di calcolo per la determinazione delle dimensioni degli impianti, onde poter garantire i valori di condizionamento dei locali
- Indicazioni concernenti le condizioni esterne determinanti ed i carichi esterni
- Valori tipici dei carichi interni.

Raccomandazione SIA V382/3 «Accertamento del fabbisogno per gli impianti di ventilazione e di condizionamento» [1.5]

- Accertamento del fabbisogno per un raffreddamento ad aria (comprese le esigenze edilizie)
- Accertamento del fabbisogno per un'umidificazione dell'aria
- Condizioni tecniche fondamentali per impianti efficienti sotto l'aspetto energetico.

Una prima versione delle raccomandazioni SIA V382/1 e V382/3 è stata pubblicata nel mese di aprile del 1989 e sottoposta ad una procedura di consultazione prolungata fino alla fine del 1991. Le esperienze fatte in quest'ambito, nonché le conoscenze acquisite in questo intervallo di tempo, sono parte integrante della nuova versione dell'edizione 1992.

La raccomandazione SIA V382/2 sostituisce la documentazione SIA D 70 «Fabbisogno di potenza di raffreddamento degli edifici» del 1983. Una descrizione completa della metodica di calcolo utilizzata nella norma SIA V382/2 si trova nella documentazione D 088 SIA [1.4].

Le raccomandazioni SIA V382/1 e V382/2 ed eventualmente V382/3 saranno sostituite entro alcuni anni dalle norme europee CEN. Sono in pieno corso, in collaborazione con la Svizzera, i lavori corrispondenti CEN/TC 156. È questo il motivo per cui le tre raccomandazioni SIA sono state pubblicate in versione V (giallo). Esse corrispondono, tuttavia, in modo preciso allo stato attuale delle conoscenze e devono essere utilizzate fino all'entrata in vigore delle norme CEN corrispondenti.

Dalla raccomandazione SIA 380/4 ci si può attendere un grande contributo alla diminuzione del consumo di elettricità degli edifici:

Raccomandazione SIA 380/4 «L'energia elettrica nell'edilizia» [1.1]

- Determinazione anticipata del consumo di energia elettrica
- Valori migliori e valori limite per la valutazione dei consumi di elettricità calcolati o misurati
- Allestimento ed aggiornamento di un bilancio dell'energia
- Indicazioni concernenti la progettazione e l'esercizio.

Un progetto della raccomandazione SIA 380/4 era in fase di prova fino alla fine del 1992 (paragrafo 3.5).

### 1.4.2 Programma di ricerca ERL

Il programma di ricerca «Flussi d'aria negli edifici, rilevanti sotto l'aspetto energetico (ERL)» è stato promosso nel 1985, in rapporto con il concetto di una politica di ricerca energetica del Consiglio dei poli-

tecnici federali; la sua realizzazione è iniziata nel 1986. I temi principali del programma di ricerca erano costituiti dal trasporto di aria e di sostanze nocive all'interno degli edifici e del loro ambiente circostante diretto, tenendo conto in particolare degli aspetti energetici.

Lo scopo del programma di ricerca ERL è quello di mettere a disposizione dei progettisti di edifici e dell'impiantistica strumenti tali da permettere di determinare, già in fase di progettazione, tutti i parametri rilevanti della circolazione dell'aria nell'edificio ed attorno allo stesso, in modo tale da

- garantire il benessere, il comfort e la sicurezza degli utenti,
- poter utilizzare sistemi adeguati di ventilazione e di riscaldamento con una buona redditività,
- sfruttare ampiamente l'irradiazione solare ed il calore residuo,
- fare in modo che nell'insieme sia realizzato un impiego ottimale dell'energia.

Si è dedicata un'attenzione del tutto particolare alle condizioni limite del clima, nonché a quelle meteorologiche tipiche del nostro Paese ed al genere di co-

struzioni usate in Svizzera. Per raggiungere questi obiettivi si è proceduto secondo le fasi seguenti:

- descrizione matematica del trasporto dell'aria e delle sostanze nocive all'interno di un locale e tra le diverse zone di un edificio.
- Preparazione di metodi di misurazione della velocità dell'aria, delle sue variazioni, della temperatura dell'aria e della concentrazione di sostanze nocive.
- Chiarimenti concernenti sistemi di ventilazione, di riscaldamento e di condizionamento di edifici utilizzati per differenti scopi.
- Conversione dei risultati in documenti di progettazione che vengano, se possibile, utilizzati senza elaboratori elettronici di grosse dimensioni.

Per la conversione nella pratica dei numerosi risultati del programma di ricerca ERL è prevista la pubblicazione di una collana di documentazione ERL in sette parti, secondo la tabella 1.1. La vendita di questi documenti comincerà approssimativamente all'inizio del 1994 per il tramite dell'ASIRA [1.6].

#### 1.4.3 Bibliografia specializzata

Ogni capitolo principale termina con una lista di opere che concernono i temi trattati.

N.	Titolo	Contenuto
ERL 1	Panoramica ERL	<ul style="list-style-type: none"> <li>- introduzione, problematica</li> <li>- obiettivi</li> <li>- organizzazione e svolgimento (coordinazione, organigramma, preventivo, svolgimento)</li> <li>- lavori e risultati dei settori parziali (riassunto)</li> <li>- conversione (concetto, gruppi di obiettivi, manifestazioni, documenti per la prassi)</li> <li>- prospettive (prestazioni di servizi, progetti futuri)</li> </ul>
ERL 1A	Appendice	<ul style="list-style-type: none"> <li>- lista dei singoli progetti</li> <li>- lista delle istituzioni implicate</li> <li>- lista delle pubblicazioni</li> <li>- indice delle abbreviature</li> </ul>
ERL 2	Concetti della tecnica di ventilazione	<ul style="list-style-type: none"> <li>- lessico dei concetti importanti della tecnica di ventilazione</li> <li>- lista dei termini tecnici</li> <li>- bibliografia</li> </ul>

N.	Titolo	Contenuto
ERL 3	Fisica del flusso d'aria nei locali	<ul style="list-style-type: none"> <li>- introduzione</li> <li>- fisica del flusso dell'aria in un locale (leggi fondamentali)</li> <li>- accoppiamento termico con l'involucro dell'edificio</li> <li>- comfort termico e qualità dell'aria</li> <li>- valutazione della ventilazione</li> <li>- bibliografia</li> <li>- flusso nel singolo locale</li> <li>- scambio d'aria e di sostanze nocive tra le diverse zone degli edifici e tra gli edifici e l'aria esterna</li> </ul>
ERL 4	Atlante della ventilazione dei locali	<ul style="list-style-type: none"> <li>- introduzione</li> <li>- basi numeriche e fisiche</li> <li>- rappresentazione dei flussi per diversi sistemi di ventilazione</li> <li>- struttura dell'atlante</li> <li>- interpolazione dei risultati e studio della sensitività</li> </ul>
ERL 4A	Appendice	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bibliografia</li> <li>- atlante con istruzioni per l'uso e cataloghi per ventilazione naturale e ventilazione mista</li> </ul>
ERL 5	Programmi di calcolo per la determinazione dei flussi d'aria negli edifici	<ul style="list-style-type: none"> <li>- introduzione</li> <li>- panoramica ed istruzioni per l'uso</li> <li>- modelli a zone singole</li> <li>- modelli a zone multiple</li> <li>- accoppiamento tra modelli a zone singole e modelli a zone multiple</li> </ul>
ERL 5A	Appendice	<ul style="list-style-type: none"> <li>- esempi di calcoli con il programma per zone multiple</li> <li>- esempi di accoppiamento tra modelli a zone singole e modelli a zone multiple</li> </ul>
ERL 6	Metodi di misurazione per la valutazione del consumo di energia, nonché del comfort	<ul style="list-style-type: none"> <li>- introduzione</li> <li>- scelta del metodo di misurazione adeguato</li> <li>- mezzi ausiliari generici di misurazione</li> <li>- misurazioni della temperatura e dei flussi dai quali dipende il comfort</li> <li>- misurazioni per la valutazione di un locale</li> <li>- misurazioni per la valutazione di un impianto di ventilazione</li> <li>- misurazioni in edifici con parecchie zone</li> <li>- bibliografia/indice</li> </ul>
ERL 7	Sistemi di ventilazione moderni - Conoscenze attuali e guida alla progettazione di edifici per prestazioni di servizio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- comfort termico</li> <li>- qualità dell'aria ambiente</li> <li>- flusso d'aria nei locali</li> <li>- scelta del sistema e settori d'applicazione</li> <li>- ventilazione naturale</li> <li>- ventilazione mista</li> <li>- soffitti freddi</li> </ul>

Tabella 1.1  
Lista delle materie della collana di documentazione ERL [1.6]

## Bibliografia capitolo 1

- [1.1] Società svizzera degli ingegneri e degli architetti SIA  
L'energia elettrica nell'edilizia  
Raccomandazione SIA 380/4, progetto per la fase di prova dal gennaio al dicembre del 1992
- [1.2] Società svizzera degli ingegneri e degli architetti SIA  
Esigenze tecniche per gli impianti di ventilazione e di condizionamento  
Raccomandazione SIA V382/1, edizione 1992
- [1.3] Società svizzera degli ingegneri e degli architetti SIA  
Fabbisogno di potenza di raffreddamento negli edifici  
Raccomandazione SIA V382/2, edizione 1992
- [1.4] Società svizzera degli ingegneri e degli architetti SIA  
Ergänzungen zur Berechnungsmethodik in der Empfehlung SIA V382/2  
Documentazione D 088, edizione 1992
- [1.5] Società svizzera degli ingegneri e degli architetti SIA  
Accertamento del fabbisogno per gli impianti di ventilazione e di condizionamento  
Raccomandazione SIA V382/3, edizione 1992
- [1.6] Associazione svizzera delle imprese di riscaldamento e aerazione ASIRA  
Collana di documentazione per il programma di ricerca «Flussi d'aria negli edifici, rilevanti sotto l'aspetto energetico»  
  
ERL 1 Panoramica  
  
ERL 2 Concetti della tecnica di ventilazione  
  
ERL 3 Fisica del flusso d'aria nei locali  
  
ERL 4 Atlante della ventilazione dei locali  
  
ERL 5 Programmi di calcolo per la determinazione dei flussi d'aria negli edifici  
  
ERL 6 Metodi di misurazione per la valutazione del consumo di energia e del comfort  
  
ERL 7 Sistemi di ventilazione moderni – conoscenze attuali e guida alla progettazione di edifici per prestazioni di servizio  
Pubblicazione inizio 1994
- [1.7] Ch. Weinmann, Chr. Brunner  
Studi di casi  
Documenti per il corso RAVEL «Impianti di ventilazione e di condizionamento efficienti sotto l'aspetto energetico»



## 2. Consumo di elettricità e risparmio potenziale

---

2.1	Consumo di energia finale in Svizzera	19
2.2	Consumo di elettricità a seconda dei settori di utilizzazione	19
2.3	Risparmio potenziale degli impianti di ventilazione e di condizionamento	20
Bibliografia capitolo 2		20

---



## 2. Consumo di elettricità e risparmio potenziale

### 2.1 Consumo di energia finale in Svizzera

La figura 2.1 illustra il consumo di energia finale in Svizzera dal 1910 fino al 1990, in funzione dei vettori energetici.

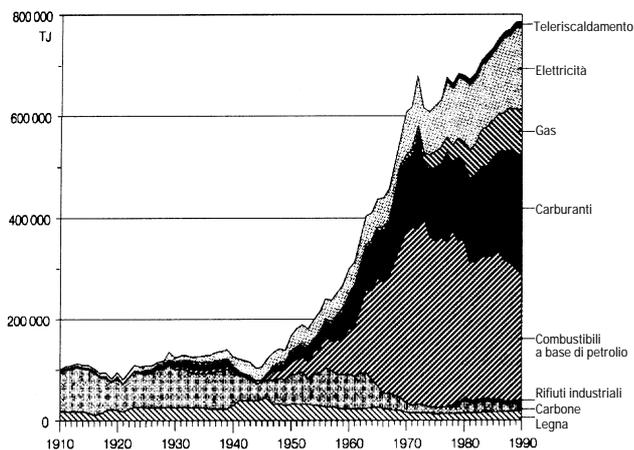


Figura 2.1  
Consumo di energia finale dal 1910 al 1990 in funzione dei vettori energetici [2.1]

A partire dalla metà del nostro secolo il consumo di energia finale aumenta in modo continuo, con una lieve diminuzione solo all'inizio degli anni settanta a causa della crisi del petrolio. L'elettricità fa parte dei vettori energetici con una crescita ininterrotta del 3% in media all'anno durante gli anni ottanta. Anche per gli anni novanta ci si attende un ulteriore aumento, possibilmente attenuato, del consumo di elettricità ed una stabilizzazione sembra possibile solo verso la fine del secolo.

### 2.2 Consumo di elettricità a seconda dei settori di utilizzazione

La figura 2.2 illustra, sulla base di una valutazione approssimativa, la ripartizione del consumo di elettricità in Svizzera. Secondo tale valutazione l'impiantistica è all'origine di un quarto del consumo globale di energia elettrica in Svizzera, ossia circa 12500 su un totale di 50000 GWh/a [2.2].

Il consumo di elettricità per motori, pompe, ventilatori, organi di comando e ascensori viene valutato all'8% del consumo globale, ossia 4000 GWh/a.

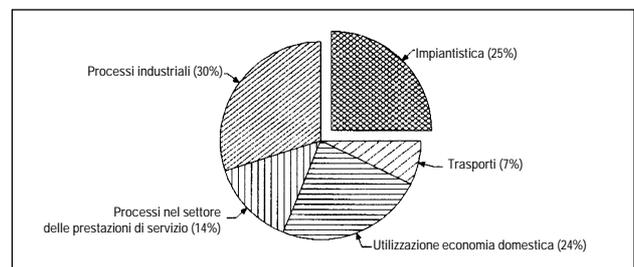


Figura 2.2  
Ripartizione approssimativa del consumo di elettricità in Svizzera [2.2]

## 2.3 Risparmio potenziale degli impianti di ventilazione e di condizionamento

Gli impianti di ventilazione e di condizionamento potrebbero, senz'ombra di dubbio, essere alla base di un risparmio potenziale del consumo di elettricità. Le misurazioni del consumo di elettricità eseguite su impianti esistenti per utilizzazioni similari indicano, ad esempio, una variazione dei parametri specifici del consumo di elettricità nel rapporto da 1:5 per il trasporto dell'aria e nel rapporto da 1:8 per il consumo globale di elettricità [2.3].

Le misure più importanti per la riduzione del consumo di elettricità per gli impianti di ventilazione e di condizionamento sono le seguenti:

- creare presupposti nel settore dell'edilizia, in quello dell'esercizio, nonché a livello organizzativo onde rendere possibile un debole consumo di energia degli impianti.
- Verificare in modo sistematico la necessità dell'utilizzazione prevista.
- Stabilire i criteri di dimensionamento secondo il fabbisogno. Rinunciare alle funzioni inutili, nonché agli impianti ed ai componenti sovradimensionati.
- Utilizzare in tutto il settore dell'esercizio componenti che hanno un buon rendimento.
- Concepire e far funzionare gli impianti per un esercizio corrispondente al fabbisogno. È possibile realizzare risparmi energetici notevoli già con un semplice temporizzatore.
- Permettere la misurazione dei parametri d'esercizio determinanti e dei consumi d'energia ed effettuarla regolarmente durante l'esercizio. Tenere una contabilità dell'energia.

## Bibliografia capitolo 2

- [2.1] Ufficio federale dei problemi congiunturali  
Manuale RAVEL  
Sfruttare razionalmente l'elettricità  
ISBN 3-7281-1830-3, 1992
- [2.2] Ufficio federale dei problemi congiunturali  
Programma d'impulso RAVEL  
Concetto 89
- [2.3] Ch. Weinmann, Chr. Brunner  
Studi di casi  
Documenti per il corso RAVEL «Impianti di ventilazione e di condizionamento efficienti sotto l'aspetto energetico»

## 3. Dati fondamentali

---

3.1	Comfort	23
3.1.1	In generale	23
3.1.2	Zona di soggiorno	23
3.1.3	Comfort termico	24
3.1.4	Qualità dell'aria dei locali	26
3.1.5	Esigenze concernenti l'acustica	28

---

3.2	Calcolo del carico di raffreddamento	29
3.2.1	In generale	29
3.2.2	Svolgimento del calcolo	31
3.2.3	Flusso volumetrico dell'aria necessario per l'asportazione del calore	31

---

3.3	Determinazione del flusso volumetrico dell'aria	32
-----	---	----

---

3.4	Fabbisogno d'energia per il trasporto dell'aria	34
3.4.1	Esigenze secondo SIA V382/3	34
3.4.2	Fabbisogno specifico di potenza	34
3.4.3	Fabbisogno specifico d'energia	35
3.4.4	Misure per la riduzione delle perdite di pressione	37

---

3.5	SIA 380/4 «L'energia elettrica nell'edilizia»	39
3.5.1	Obiettivo	39
3.5.2	Stato del progetto	39
3.5.3	Idee fondamentali	39
3.5.4	Bilancio dell'energia per la luce, la forza, i processi	39
3.5.5	Prestazione globale del sistema	41

---

	Bibliografia capitolo 3	42
--	-------------------------	----

---



## 3. Dati fondamentali

### 3.1 Comfort

#### Principi

- Le esigenze di comfort e la definizione della zona di soggiorno devono essere stabilite, tempestivamente ed in modo completo, d'intesa con il committente. In generale occorre partire dalle condizioni fissate in SIA V382/1.
- Esigenze più elevate causano per lo più un aumento del consumo di energia e devono essere scelte solo in casi eccezionali e motivati.

#### 3.1.1 In generale

Un impianto di ventilazione e di condizionamento ha un influsso determinante su:

- comfort termico,
- qualità dell'aria ambiente,
- livello del suono.

Il benessere e l'efficienza di persone che si trovano in un locale dipendono tuttavia anche da altri fattori determinanti, quali

- il tipo di attività,
- la sistemazione del posto di lavoro,
- le dimensioni del locale e l'arredamento,
- l'illuminazione ed i colori,
- la vista verso l'esterno,
- il clima di lavoro,
- il benessere personale.

Nei paragrafi da 3.1.3 fino a 3.1.5 vengono formulate le esigenze che dovrebbero essere in generale rispettate nella zona di soggiorno, secondo il punto di vista attuale e come definito nel paragrafo 3.1.2. Questi dati si basano sulla raccomandazione SIA V382/1 [3.8].

Anche adempiendo le esigenze menzionate qui di seguito, si è potuto notare il verificarsi di situazioni di mancanza di comfort a causa di una cattiva concezione ergonomica dei posti di lavoro (ad es. una posizione di lavoro rigida). In questi casi si raccomanda di perseguire un cambiamento dei posti e delle condizioni di lavoro; solo in casi eccezionali dovrebbero essere poste esigenze di comfort più elevate.

Le esigenze poste al comfort termico sono determinate al paragrafo 3.1.3, analogamente a SIA V382/1,

per un indice PPD del 10%, facendo alcune semplificazioni. Per dettagli maggiori confrontarsi anche ISO 7730 [3.2].

#### 3.1.2 Zona di soggiorno

Le condizioni di comfort enumerate qui di seguito non devono essere rispettate in tutto il locale, bensì solo nella zona di soggiorno. Le misurazioni effettuate in occasione del collaudo dovranno quindi essere eseguite nella zona di soggiorno.

La definizione della zona di soggiorno dipende dall'utilizzazione del locale e deve essere stabilita di caso in caso.

In generale la zona di soggiorno può essere definita come segue (cfr. figura 3.1):

- a 1.00 m di distanza dalle finestre
- a 0.50 m di distanza da tutte le pareti interne e dalle pareti esterne senza finestre
- a 0.10 m di distanza dal pavimento (limite inferiore)
- a 1.30 m di distanza dal pavimento nel caso di un'attività eseguita prevalentemente stando seduti
- a 1.80 m di distanza dal pavimento nel caso di un'attività eseguita prevalentemente stando in piedi.

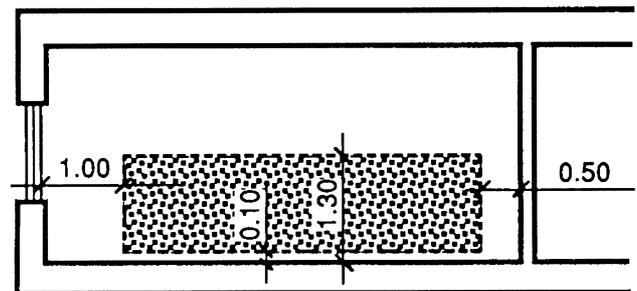


Figura 3.1  
Zona di soggiorno [3.8]

In mancanza di accordi particolari gli spazi seguenti non fanno parte della zona di soggiorno:

- zone di passaggio
- zone in prossimità di porte utilizzate frequentemente oppure aperte
- zone in prossimità di scarichi dell'aria (ad es. scarichi dell'aria nel pavimento)
- zone in prossimità di apparecchi che sprigionano molto calore oppure provocano una forte circolazione d'aria (ad es. fotocopiatrici).

### 3.1.3 Comfort termico

Il comfort termico di un essere umano in un locale dipende dai fattori seguenti:

- a) dagli influssi del locale stesso
  - dalla temperatura media delle superfici circostanti (temperatura di radiazione)
  - dalle fonti che irradiano calore localmente
- b) dagli influssi esercitati dall'essere umano
  - dalla sua attività, ossia dal calore emesso dal suo corpo (valore met)
  - dal suo abbigliamento, ossia dalla coibentazione termica dello stesso (valore clo)
- c) dagli influssi dell'impianto di ventilazione e di condizionamento
  - dalla temperatura dell'aria ambiente
  - dal movimento dell'aria (velocità, direzione, turbolenza)
  - dall'umidità relativa dell'aria ambiente.

I principi fondamentali del comfort termico sono stabiliti dalla norma SIA 180 «Solamento termico degli edifici» [3.4]. Per i locali muniti d'impianti di ventilazione e di condizionamento valgono inoltre le definizioni seguenti, tratte dalla raccomandazione SIA V382/1.

Per l'attività esercitata negli uffici si calcola generalmente un valore met di 1.2 e per l'abbigliamento nei mesi invernali un valore clo di 1.0, mentre in estate viene utilizzato un valore clo di 0.5.

Quale esercizio invernale s'intendono tutti gli stati con produzione di calore per l'impianto di ventilazione e di condizionamento oppure per il riscaldamento statico, in quanto quest'ultimo non serve essenzialmente a migliorare il comfort in vicinanza delle finestre. Il trasporto di calore proveniente dall'utilizzazione del calore residuo oppure dall'utilizzazione d'impianti per il ricupero del calore non vale come esercizio invernale.

Con il termine di esercizio estivo s'intendono tutti gli stati senza adduzione primaria di calore attraverso l'impianto di ventilazione e di condizionamento, con o senza raffreddamento. Nel caso di carichi termici interni importanti, anche in inverno è possibile, di conseguenza, avere un esercizio estivo.

#### 3.1.3.1 Temperatura dell'aria ambiente $t_i$ e temperatura del locale $t_R$

L'emissione del calore irradiato dal corpo umano viene determinata dalla temperatura delle superfici

circostanti, mentre l'emissione di calore per convezione dipende dalla temperatura dell'aria e dalla velocità della stessa.

La temperatura risultante del locale  $t_R$ , secondo SIA 180 [3.4] (definita «operative temperature» secondo ISO 7730), è il parametro che permette di giudicare le condizioni di comfort per la radiazione del corpo umano. La temperatura ambiente  $t_R$  in un locale non corrisponde alla temperatura dell'aria del locale  $t_i$  e le differenze tra  $t_R$  e  $t_i$  sono diverse nello spazio e nel tempo.

Poiché il dimensionamento e la regolazione degli impianti di ventilazione e di condizionamento avvengono sulla base della temperatura dell'aria ambiente  $t_i$ , quest'ultima viene considerata come primo criterio di comfort e viene controllata anche in occasione del collaudo. Occorre inoltre controllare il mantenimento del comfort per irradiazione, sulla base della temperatura ambiente  $t_R$ , rispettivamente della temperatura media della superficie  $t_{oi}$ .

Valori di progettazione per la temperatura dell'aria ambiente  $t_i$   
 Nelle costruzioni dotate di una buona coibentazione termica e munite di una protezione adeguata contro il sole, per l'attività d'ufficio normale (valore met = 1.2) e per un abbigliamento adeguato in caso di esercizio invernale (valore clo = 1.0), nonché per l'esercizio estivo (valore clo = 0.5), quali valori di progettazione valgono le temperature dell'aria ambiente secondo la tabella 3.1. Tutti questi valori tengono conto della sensibilità al calore di tutto il corpo.

Nel caso di applicazioni particolari con altri valori clo e met, i valori di progettazione per la temperatura dell'aria ambiente possono essere stabiliti secondo ISO 7730, per analogia con la tabella 3.1.

Esercizio invernale clo = 1.0	Esercizio estivo clo = 0.5
Valore di progettazione = 20°C Temperatura d'esercizio = 19-24°C	Valore di progettazione = 26°C Temperatura d'esercizio = 22-28°C*

\* Durante i giorni di afa ( $t_{e\ max} > 30^\circ\text{C}$ ) la temperatura dell'aria ambiente può superare i 28°C durante l'orario di utilizzazione. Per queste situazioni eccezionali la temperatura interna non può essere garantita.

Tabella 3.1  
 Valori progettati e temperatura d'esercizio dell'aria ambiente  $t_i$  durante l'attività d'ufficio (met = 1.2) [3.8]

Nelle condizioni di dimensionamento i valori di progettazione devono essere rispettati secondo la raccomandazione SIA V382/2.

Controllo del comfort per radiazione

In inverno è necessario evitare le penetrazioni d'aria fredda in prossimità delle finestre e devono essere rispettate le esigenze della raccomandazione SIA 384/2 [3.12].

In estate per poter ottenere il comfort termico desiderato occorre che la differenza tra la temperatura media delle superfici interne e quella dell'aria ambiente sia inferiore a 4 K e che la temperatura risultante  $t_R$  del locale sia compresa tra 22 e 28°C. La velocità dell'aria nel locale non dovrà inoltre superare i valori limite indicati nel paragrafo 3.1.3.2. In questi casi la temperatura del locale risulta dalla media tra la temperatura dell'aria e la temperatura media delle superfici interne (cfr. anche la norma SIA 180 [3.4]).

$$t_R = \frac{t_i + t_{oi}}{2}$$

$t_R$  temperatura ambiente

$t_i$  temperatura dell'aria ambiente

$t_{oi}$  media delle temperature di tutte le superfici interne

Nella figura 3.2 sono rappresentati i valori ammissibili della temperatura di superficie media  $t_{oi}$  per l'esercizio estivo, a seconda della temperatura dell'aria ambiente  $t_i$ . Vi è rappresentata anche la temperatura risultante del locale  $t_R$ .

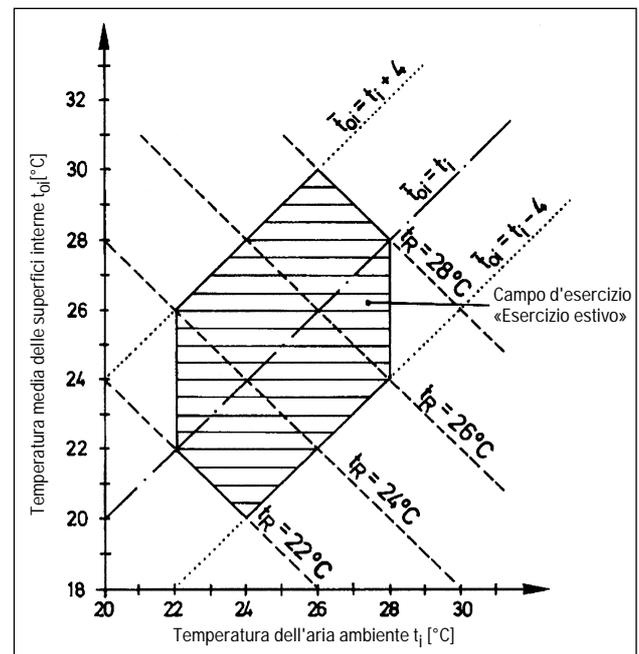


Figura 3.2  
Variazioni ammissibili della temperatura media delle superfici  $t_{oi}$  durante l'esercizio estivo a seconda della temperatura dell'aria ambiente  $t_i$  [3.8]

### 3.1.3.2 Velocità dell'aria nel locale

L'aria di alimentazione addotta in un locale mediante getti d'aria vi crea turbolenze la cui velocità varia nel tempo. Il grado di turbolenza  $Tu$  caratterizza le turbolenze del movimento dell'aria.

$$Tu = \frac{W_{84\%} - W_{50\%}}{W_{50\%}}$$

$Tu$  grado di turbolenza [-]

$W_{84\%}$  valore 84% della velocità dell'aria (non viene superato durante 84% del tempo)

$W_{50\%}$  valore 50% della velocità dell'aria (non viene superato durante 50% del tempo)

Nel caso di un flusso a debole turbolenza (ad es. locali vuoti) sono ammesse velocità dell'aria più elevate, mentre nel caso di un flusso a forte turbolenza sono ammesse velocità minori. In generale le velocità dell'aria ammesse sono più elevate nel caso di temperature ambiente elevate che non in quello di temperature ambiente basse. Queste relazioni sono illustrate nella figura 3.3. Il modello utilizzato è stato elaborato da CEN/TC 156/WG 6 e vale per le persone che nell'insieme hanno un comportamento termicamente neutro.

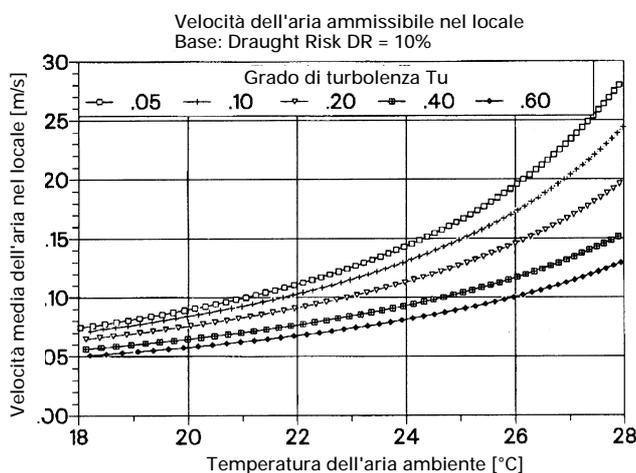


Figura 3.3 Velocità dell'aria ammissibili nel locale a seconda della temperatura ambiente e del grado di turbolenza [3.8]

Nei locali con impianti convenzionali di ventilazione e di condizionamento il grado di turbolenza oscilla tra 0.3 e 0.6. Per questi casi valgono i valori limite della tabella 3.2.

Esercizio invernale clo = 1.0	Esercizio estivo clo = 0.5
$t_i = 19-24^{\circ}\text{C}$ 0.12 m/s	$t_i = 22-28^{\circ}\text{C}$ 0.15 m/s

Tabella 3.2 Valori ammissibili della velocità dell'aria, non superati per il 50% del tempo e per un'attività d'ufficio (met = 1.2) [3.8]

Nel caso delle velocità dell'aria ammissibili summenzionate si tratta di esigenze severe che possono essere rispettate solo con un dispendio adeguato. Esse costituiscono il presupposto necessario per garantire il comfort con le temperature d'aria ambiente della tabella 3.1.

Nel caso di locali critici (ad es. con finestre di grande superficie oppure con una geometria complessa) è raccomandabile verificare in laboratorio il sistema dello scarico dell'aria previsto.

3.1.3.3 Umidità dell'aria ambiente  
Nel limite di temperatura tra 19 e 28°C è esigua la percentuale d'evaporazione necessaria al mantenimento ed alla regolazione della temperatura del corpo umano. È questo il motivo per cui l'umidità relativa della zona di comfort varia da  $\varphi = 30\%$  u.r. (durante l'esercizio invernale, con  $t_i = 19-24^{\circ}\text{C}$ ) fino a 65% u.r. (durante l'esercizio estivo, con  $t_i = 22-28^{\circ}\text{C}$ ). I valori di u.r. inferiori fino al 20% o superiori fino al 75% possono, dal punto di vista fisiologico, essere tollerati occasionalmente durante alcuni giorni all'anno.

Se non esistono esigenze particolari per quanto concerne il clima ambiente, un'umidificazione dell'aria non è generalmente necessaria (raccomandazione SIA V382/3 [3.11]). L'esperienza dimostra che i reclami dovuti ad una percentuale troppo elevata di aria secca sono spesso causati da temperature troppo elevate, da un eccesso di aria fresca, oppure da una percentuale di polvere troppo elevata dell'aria o, infine, dalla presenza di corpi estranei nell'aria, ad esempio la formaldeide. Queste impurità dell'aria devono essere eliminate alla fonte mediante misure adeguate.

In quanto sia necessaria un'umidificazione, l'utilizzazione di un umidificatore locale è spesso più efficace di un'umidificazione generale inserita nell'impianto di ventilazione e di condizionamento.

Un raffreddamento dell'aria può avere come conseguenza una deumidificazione della stessa. Una deumidificazione oppure un'umidificazione continue sono giustificate solo in locali con esigenze particolari.

### 3.1.4 Qualità dell'aria dei locali

L'aria del locale deve essere fornita in modo da evitare

- problemi di salute,
- pregiudizio al benessere,
- danni al locale stesso.

Contemporaneamente il fabbisogno d'energia dell'impianto di ventilazione e di condizionamento deve essere per quanto possibile minimo.

La seconda esigenza consiste in una riduzione delle emissioni nocive mediante misure adottate alla fon-

te, un modo tale che le percentuali di aria esterna comunque necessarie siano sufficienti per diluire le sostanze nocive contenute in tali emissioni. Ciò vale in modo particolare per le emissioni d'impianti interni, di materiali da costruzione e lavori di pulitura, nonché contro le infiltrazioni di radon in locali abitati. Nel caso di una persistenza di singole fonti notevoli è necessario eseguire una ripartizione architettonica oppure installare una bocchetta d'aspirazione locale, affinché le emissioni non siano percepite in tutto il locale.

Secondo il paragrafo 3.1.2 nella zona di soggiorno valgono le esigenze seguenti per quanto concerne la qualità dell'aria ambiente.

Nei locali nei quali non si fuma, determinanti per l'adduzione necessaria di aria esterna sono gli odori corporei trasmessi all'aria ambiente e, a seconda della regione e della temperatura esterna, anche l'umidità. Quale indicatore degli odori corporei può essere presa in considerazione la percentuale di anidride carbonica generata dai processi metabolici.

Per la valutazione sensoriale della qualità dell'aria può anche essere utilizzato il Dezipol, mentre l'Olf servirà quale unità di misura per la percentuale d'inquinamento atmosferico. Tra i valori forniti dal Dezipol e l'ammissibilità della qualità dell'aria esiste un rapporto come tra le percentuali di ventilazione e la loro ammissibilità. In tale modo è possibile aggiungere ad ogni valore Dezipol la quantità d'aria esterna che deve essere addotta per ottenere la qualità dell'aria richiesta. Durante le valutazioni della qualità dell'aria mediante valori Dezipol occorre tener conto del fatto che vengono rilevati solo gli inquinamenti percettibili dell'aria ambiente e che un accumularsi d'impurità dell'aria di diverso tipo può rappresentare un problema.

Nei locali nei quali si fuma sono necessarie quantità d'aria maggiori. È discutibile l'utilizzazione d'indicatori del fumo del tabacco, come ad esempio il monossido di carbonio, giacché i sensori utilizzati a questo scopo permettono soltanto la determinazione della concentrazione media in un locale e non la determinazione della concentrazione nell'ambiente a diretto contatto con la persona interessata, ciò che sarebbe determinante per la valutazione del disturbo dovuto al fumo del tabacco.

Negli impianti di ventilazione e di condizionamento oggi usuali devono essere rispettate le percentuali d'aria esterna secondo il paragrafo 3.1.4.1, nonché le

indicazioni fornite al paragrafo 3.1.4.2 per la diluizione e la rimozione delle emissioni inevitabili come CO<sub>2</sub>, odori, umidità ed eventualmente il fumo del tabacco. Nei sistemi dotati di un buon ricambio dell'aria dei locali, la qualità dell'aria dei locali richiesta nella zona di soggiorno può eventualmente essere ottenuta anche con percentuali d'aria esterna minori.

**3.1.4.1 Percentuali consigliate d'aria esterna**  
Le percentuali d'aria esterna nei locali in cui non si fuma dipendono dalle esigenze di comfort. Gli impianti di ventilazione e di condizionamento sono in generale dimensionati in modo tale da mantenere, nell'aria del locale, una percentuale di anidride carbonica dello 0.10% (corrispondente ad una differenza dal 0.06 fino al 0.07% tra aria interna ed aria esterna), motivo per cui è necessaria una percentuale d'aria esterna variabile da 25 a 30 m<sup>3</sup> all'ora e per persona. Dal punto di vista igienico una percentuale di anidride carbonica dello 0.15% (corrispondente ad una differenza di 0.11-0.12%) è ancora senz'altro sufficiente; a questo scopo sono necessari dai 12 ai 15 m<sup>3</sup> all'ora e per persona.

Inchieste hanno dimostrato che in un locale con una percentuale di anidride carbonica dello 0.15%, la qualità dell'aria è giudicata sufficiente dall'85% dei presenti.

Per un apporto uguale di aria esterna, quanto maggiore è il volume del locale a disposizione, tanto più lentamente aumenta la percentuale di anidride carbonica fino ad una stabilizzazione della concentrazione. Le quantità d'aria esterna consigliate per mantenere una concentrazione di anidride carbonica dello 0.10%, rispettivamente dello 0.15% si basano su una ventilazione convenzionale e possono eventualmente essere ridotte mediante un'ottimizzazione dell'apporto d'aria esterna.

Nei locali nei quali si fuma, per evitare effetti irritanti sono necessari dai 30 ai 40 m<sup>3</sup> circa d'aria all'ora e per persona, mentre sono necessari dai 60 ai 70 m<sup>3</sup> all'ora e per persona se s'intende evitare qualsiasi tipo di disturbo. Nei grandi locali pubblici e nei grandi uffici provvisti d'impianti di ventilazione e di condizionamento, l'apporto d'aria esterna deve essere regolato a seconda del numero delle sigarette fumate in un'ora. Qualora si voglia evitare qualsiasi tipo di disturbo e di danno alla salute deve essere introdotto un divieto di fumare. Qualora ciò sia possibile si consiglia di creare sale apposite per i fumatori, rispettivamente uffici nei quali lavorino solo i fumatori.

Nei locali di piccole dimensioni (fino a circa 100 m<sup>3</sup>) è possibile ridurre l'inquinamento dovuto al fumo del tabacco utilizzando depuratori dell'aria, nella misura in cui questi apparecchi siano muniti di filtri efficaci e siano in grado di far circolare l'aria almeno 2-3 volte all'ora in tutto il locale.

Se i principi della diminuzione delle emissioni non vengono sufficientemente rispettati, l'aria del locale rischia di essere inquinata già durante i 2-3 primi anni d'esercizio da sostanze organiche moleste o perfino velenose. Ciò esigerebbe un'intensificazione della ventilazione.

Rispettando le percentuali d'aria esterna summenzionate, nelle abitazioni e negli uffici conformi alla norma SIA 180 è possibile evitare l'insorgere di danni dovuti all'umidità, nonché la formazione di aspergilli sulle pareti esterne.

Riassumendo, a seconda del tipo di utilizzazione viene raccomandato il rispetto delle percentuali d'aria esterna secondo la tabella 3.3.

Fumo	Percentuali d'aria esterna consigliate per persona
vietato	per 0.15% CO <sub>2</sub> : v = 12-15 m <sup>3</sup> /h per persona per 0.10% CO <sub>2</sub> : v = 25-30 m <sup>3</sup> /h per persona*
autorizzato	v = 30-70 m <sup>3</sup> /h per persona

\* base generica per locali nei quali non si fuma

Tabella 3.3  
Percentuali d'aria esterna consigliate per persona [3.8]

Nei locali poco o nient'affatto occupati si raccomanda un ricambio dell'aria esterna di almeno 0.3 h<sup>-1</sup> oppure una ventilazione sufficiente del locale prima che lo stesso venga occupato.

### 3.1.4.2 Inquinamento dell'aria esterna

L'aria nelle abitazioni e negli uffici dovrebbe rispondere alle esigenze dell'Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico (OIA). Quale criterio per la valutazione della qualità dell'aria esterna serve il diossido d'azoto NO<sub>2</sub>, per il quale nell'allegato 7 dell'OIA sono fissati i seguenti valori limite d'immissione.

Valori limite d'immissione	Definizione statistica
30 µg NO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	Valore annuo medio (media aritmetica)
100 µg NO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	95% dei valori medi su 1/2 h di un anno < 100 µg/m <sup>3</sup>
80 µg NO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	Valore medio su 24 h; può essere superato al massimo una volta all'anno

Tabella 3.4  
Valori limite d'immissione dell'OIA per il diossido d'azoto NO<sub>2</sub> [3.13]

I valori limite dell'OIA valgono per l'inquinamento globale misurabile, causato da diverse fonti e tenendo conto dell'inquinamento già esistente. Gli uffici cantonali competenti sono generalmente in grado di fornire i dati concernenti la situazione locale delle immissioni.

Le concentrazioni di NO<sub>2</sub> nei locali ventilati in modo naturale oppure muniti d'impianti di ventilazione e di condizionamento senza depurazione speciale dell'aria raggiungono circa la metà delle concentrazioni di NO<sub>2</sub> contenute nell'aria esterna. Poiché oggi in Svizzera non esistono praticamente più inquinamenti dell'aria esterna con valori di concentrazione superiori al doppio dei valori limite imposti dall'OIA, la necessità dell'installazione di un impianto di ventilazione e di condizionamento unicamente a causa d'inquinamenti elevati dell'aria esterna da parte di sostanze nocive esiste solo in situazioni eccezionali, ad esempio alla presenza d'inquinamenti notevoli dovuti ad odori o a polvere.

### 3.1.5 Esigenze concernenti l'acustica

La norma SIA 181 [3.5] fissa le esigenze concernenti l'isolamento acustico negli edifici (compresa l'impiantistica) con locali sensibili al rumore proveniente dall'esterno o dall'interno. I locali d'abitazione e gli uffici vengono generalmente considerati come locali con una sensibilità al rumore di livello medio e,

in mancanza di convenzioni particolari, valgono le esigenze minime della norma SIA 181.

L'Ordinanza contro l'inquinamento fonico (OIF) ha lo scopo di proteggere dai rumori dannosi o molesti all'aperto e in edifici con le finestre aperte. Un inquinamento fonico esterno troppo elevato esiste quando i valori limite d'immissione dell'OIF vengono superati per il grado di sensibilità determinante; in questo caso può essere opportuna l'installazione di un impianto di ventilazione e di condizionamento, onde garantire l'apporto necessario d'aria esterna con le finestre chiuse. Per molte zone di pianificazione vengono messi a disposizione catasti dei rumori, dai quali è possibile trarre i valori che interessano.

## 3.2 Calcolo del carico di raffreddamento

### Principi

- Prima di procedere al calcolo del carico di raffreddamento occorre dimostrare che è necessario un raffreddamento dell'aria ambiente. Le regolamentazioni corrispondenti sono reperibili nella norma SIA V382/3 e nelle prescrizioni delle autorità.
- I principi del calcolo del carico di raffreddamento sono descritti nella norma SIA V382/2. Il calcolo può essere eseguito manualmente oppure mediante un programma per computer.
- Per minimizzare il carico di raffreddamento occorre tener conto anche delle misure edilizie. Ciò vale in modo particolare per quanto concerne una protezione esterna efficace contro il sole ed un'elevata capacità di accumulazione termica della costruzione.
- Il calcolo di tutti i componenti di raffreddamento avviene di ora in ora ed occorre tener conto in modo particolare dello svolgimento giornaliero dei carichi interni che ci si può effettivamente attendere.
- Il fabbisogno globale di potenza di raffreddamento di ogni edificio è il risultato della somma dei profili individuali del carico di raffreddamento per locale e non della somma dei carichi massimi per locale.

### 3.2.1 In generale

La determinazione del fabbisogno di potenza di raffreddamento di singoli locali e di interi edifici costituisce un compito molto complesso per il quale sono disponibili oggi diversi modelli di simulazione dinamica. Ciò vale anche per la valutazione delle temperature dell'aria dei locali che si possono verificare in estate senza un condizionamento.

Per l'applicazione pratica, presso l'EMPA hanno dato buona prova i programmi per computer HELIOS e DOE-2.

Programma per computer HELIOS

Il programma di calcolo HELIOS è stato sviluppato dalla sezione fisica delle costruzioni dell'EMPA e vie-

ne oggi offerto nella versione per PC. Si tratta di un modello di simulazione dinamica ad una zona per il rilevamento del comportamento termico di edifici, in fasi di un'ora, tenendo conto dei fenomeni di radiazione ad onde corte e ad onde lunghe. Il modello di calcolo utilizza il metodo del bilancio energetico ed i problemi causati dai fenomeni d'accumulazione incostanti vengono risolti mediante il procedimento dei fattori di risposta.

Il programma non tiene conto, tra l'altro, del bilancio dell'umidità dell'edificio, dei ponti termici, dei calcoli della luce naturale, dei calcoli dell'ombra e degli influssi esercitati dai diversi sistemi di condizionamento.

Il programma HELIOS è relativamente semplice ed è particolarmente comprensibile anche per l'utente che ha poca dimestichezza con il PC. Esso è particolarmente adatto per il calcolo dei carichi termici e di raffreddamento di singole zone, nonché per la valutazione della protezione estiva contro il sole, rispettivamente per fornire la prova del fabbisogno di un raffreddamento.

#### Programma per computer DOE-2

Il DOE-2 è un programma di simulazione per l'impiantistica, in grado di riprodurre nei dettagli, imitando, il comportamento termico di un edificio in fasi costanti della durata di un'ora. Esso è stato sviluppato dal Simulation Research Group del Lawrence Berkeley Laboratory a Berkeley, CA, USA in collaborazione con altri istituti e con il sostegno finanziario del Department of Energy degli Stati Uniti.

La prima versione del programma è del 1978 (DOE-1). Da allora il programma è stato continuamente sviluppato e migliorato. Diverse società americane di distribuzione dell'energia elettrica sostengono in modo particolare e continuo gli ampliamenti dei programmi, onde poter far fronte a nuove esigenze. La versione DOE-2.1D, attualmente utilizzata, esiste dal 1989.

Il programma, sviluppato in origine con il sistema operativo UNIX, viene offerto, da alcuni anni, anche nella versione per PC da almeno una ditta privata indipendente. Solo la versione «DX» compilata con «Extended DOS» è in grado di sfruttare pienamente tutte le possibilità offerte dal programma.

Oggi il programma viene largamente utilizzato soprattutto negli USA, ma è diffuso anche nel resto del

mondo. In Svizzera il programma è utilizzato da molti anni dall'EMPA di Dübendorf nell'ambito di progetti di ricerca e di incarichi di calcolo. Da alcuni anni – soprattutto dopo l'apparizione della versione per PC – esso è utilizzato da un numero crescente (nel 1992 erano circa 30) di uffici d'ingegneria e di ditte di consulenza nel settore dell'energia. Da allora l'EMPA si limita all'assistenza degli utenti esterni mediante la consulenza in caso di problemi, alla consegna di dati meteorologici concernenti la Svizzera, occupandosi di nuove versioni del programma e della documentazione, nonché dei miglioramenti necessari del programma.

Quale conseguenza delle sue molteplici possibilità, il programma DOE-2 esige un lungo periodo di apprendimento ed un lavoro, che non va sottovalutato, per la preparazione dei dati da inserire e del controllo di plausibilità dei risultati. Ci si può attendere una certa semplificazione dalla versione DOE-PLUS che possiede un'interfaccia con menu. L'EMPA mette inoltre a disposizione dei file dati standard per casi di applicazione tipici.

#### Raccomandazione SIA V382/2

In Svizzera l'accertamento del fabbisogno della potenza di raffreddamento di singoli locali e di interi edifici ha luogo secondo la raccomandazione SIA V382/2 «Fabbisogno di potenza di raffreddamento degli edifici» [3.9]. Essa descrive un metodo di calcolo manuale che utilizza le differenze di temperatura dei carichi di raffreddamento ed i fattori degli stessi che sono stati calcolati dall'EMPA per alcuni casi tipici mediante il programma di simulazione DOE-2. Contemporaneamente vengono stabilite le condizioni limite che devono essere utilizzate per il calcolo del fabbisogno di potenza di raffreddamento con il programma DOE-2 o con altri programmi di simulazione. Una descrizione esauriente delle condizioni limite e dei calcoli eseguiti è reperibile nella documentazione SIA D 088 «Ergänzungen zur Berechnungsmethodik in der Empfehlung SIA V382/2» [3.10].

### Dati meteorologici

Il calcolo del carico di raffreddamento secondo SIA V382/2 ha luogo per i mesi di luglio (estate) e di settembre (autunno). Vengono utilizzati dati meteorologici sintetici con le condizioni limite seguenti:

- temperatura dell'aria esterna  
andamento sinusoidale del giorno  
luglio:           valore medio   = 22.5°C  
                  valore massimo = 30.0°C  
settembre:       valore medio   = 19.0°C  
                  valore massimo = 26.0°C
- Il calcolo avviene per lo stato stazionario (5° giorno).

- Irradiazione  
Irradiazione per i giorni chiari per il 23 di luglio (estate) ed il 23 di settembre (autunno). La raccomandazione SIA V382/2 contiene questi dati sotto forma di tabelle per la stazione Zurigo-Kloten; è inoltre a disposizione il programma SOLAR 1 (da ordinare presso la SIA), mediante il quale è possibile calcolare i dati concernenti l'irradiazione per superfici orientate in qualsiasi modo e per qualunque luogo in Svizzera.

Per ulteriori domande e problemi l'EMPA tiene a disposizione differenti dati concernenti il clima.

### 3.2.2 Svolgimento del calcolo

Il fabbisogno di potenza di raffreddamento di un locale è composto come segue:

- dal calore prodotto nel locale stesso (carichi interni) e
- dal calore che penetra nel locale dall'esterno (carichi esterni).

Allo stato d'inerzia con una temperatura ambiente costante il calore ceduto all'aria del locale viene direttamente asportato mediante la ventilazione del locale stesso. I carichi interni ed esterni vengono calcolati con il segno positivo se aumentano il carico termico del locale.

Il fabbisogno globale di potenza di raffreddamento di un edificio è composto da un grande numero di fonti individuali che occorre calcolare con cura. Si dovrà tenere conto in modo particolare della frequenza e della durata nel tempo dei carichi termici, nonché della contemporaneità di tali carichi termici provenienti dai singoli locali.

Vengono prese in considerazione le seguenti fonti di calore:

carichi interni (capoverso 6 della norma SIA V382/2)	
calore generato da persone	$Q_P$
calore generato dall'illuminazione	$Q_B$
calore residuo di apparecchi per l'ufficio	$Q_G$
trasmissione attraverso superfici interne	$Q_{IF}$
altre fonti di calore	$Q_{div}$

carichi esterni (capoverso 7 della norma SIA V382/2)	
trasmissione attraverso superfici esterne opache	$Q_{AW,D}$
trasmissione attraverso finestre	$Q_F$
irradiazione attraverso finestre	$Q_{FS}$

La potenza termica sensibile da asportare dal locale, rispettivamente dall'intero edificio mediante l'installazione di un impianto di ventilazione, rispettivamente di condizionamento è la seguente:

$$Q = (Q_P + Q_B + Q_G + Q_{IF} + Q_{div}) + (Q_{AW} + Q_D + Q_F + Q_{FS})$$

### 3.2.3 Flusso volumetrico dell'aria necessario per l'asportazione del calore

Il volume d'aria di alimentazione necessario per l'asportazione della potenza termica  $Q$  definita al paragrafo 3.2.2 viene calcolato come segue:

$$\dot{V}_{AA} = \frac{Q + 3600}{\rho \cdot c_p (t_i - t_{AA})}$$

$\dot{V}_{AA}$	volume d'aria d'alimentazione [m <sup>3</sup> /h]
$Q$	potenza termica sensibile [W]
$\rho$	densità dell'aria [kg/m <sup>3</sup> ]
$c_p$	capacità termica specifica dell'aria [J/kg.K]
$t_i$	temperatura dell'aria ambiente [°C]
$t_{AA}$	temperatura dell'aria di alimentazione allo scarico dell'aria [°C]

Semplificando è possibile utilizzare le formule seguenti:

Altopiano svizzero  $\dot{V}_{AA} = \frac{Q}{0.32 (t_i - t_{AA})}$

a 1000 m s.l.m.  $\dot{V}_{AA} = \frac{Q}{0.32 (t_i - t_{AA})}$

### 3.3 Determinazione del flusso volumetrico dell'aria

#### Principi

- Misurare il flusso volumetrico dell'aria in funzione delle percentuali d'aria esterna necessarie per persona.
- Ridurre le fonti di calore, d'inquinamento e di umidità del locale oppure aspirarle sul luogo.
- Nel caso di carichi termici elevati provare l'utilizzazione di un sistema ad acqua oppure di un raffreddamento locale dell'aria riciclata.

---

I seguenti criteri permettono di determinare il flusso volumetrico dell'aria necessario:

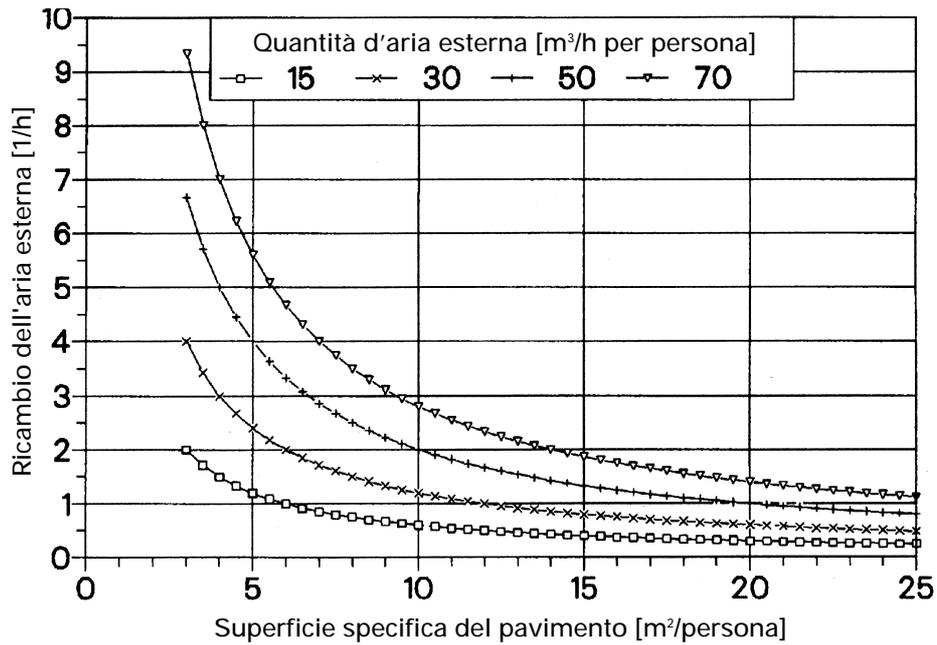
- percentuale d'aria esterna per persona (paragrafo 3.1.4)
- asportazione del calore mediante la ventilazione (paragrafo 3.2.3)
- asportazione di sostanze nocive e di umidità
- ventilazione del locale.

Dal punto di vista energetico è desiderabile misurare il volume d'aria esterna sulla base delle quantità d'aria esterna necessarie per persona e rinunciare ad un esercizio con aria riciclata, ossia aria di alimentazione = aria esterna. Qualora non sia possibile asportare il carico termico con questa aria di alimentazione, occorre prevedere l'utilizzazione di un sistema ad acqua oppure il raffreddamento locale dell'aria riciclata. Nei locali di abitazione e negli uffici non dovrebbe in generale essere necessario un aumento del volume dell'aria di alimentazione per l'asportazione di sostanze nocive e di umidità oppure per ottenere la ventilazione desiderata dei locali stessi.

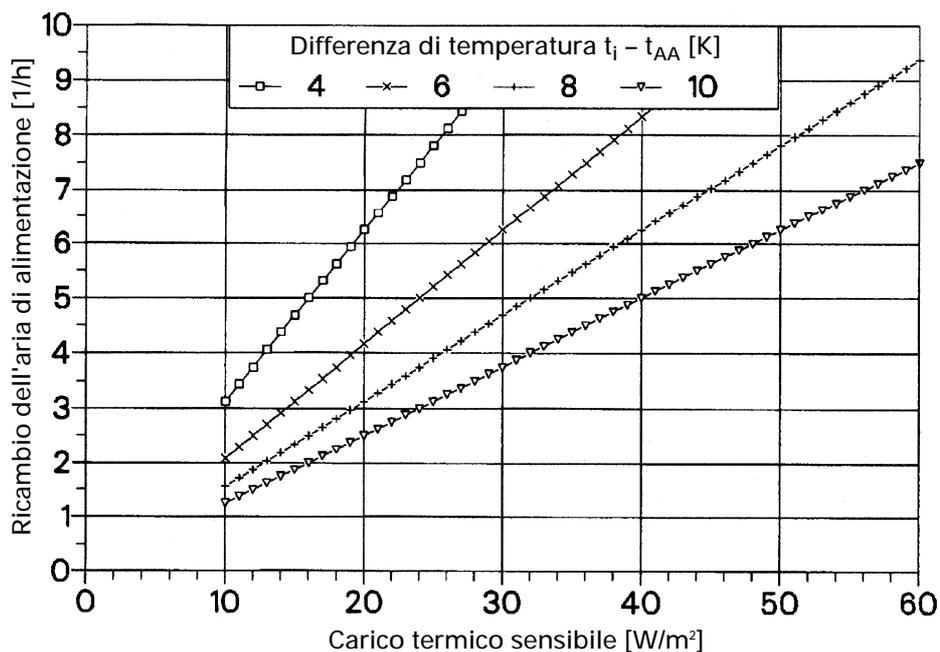
Nella figura 3.4 sono rappresentati i flussi volumetrici dell'aria necessari sotto l'aspetto igienico, espressi sotto forma di ricambio d'aria orario in un locale alto 2.5 m.

Nel caso di un'occupazione media di un locale adibito ad ufficio e con una superficie del pavimento di 10 m<sup>2</sup> per persona, con un volume d'aria di alimentazione di 50 m<sup>3</sup>/h per persona si ottiene un ricambio orario doppio dell'aria esterna. Con una differenza di temperatura di 10 K tra aria di alimentazione ed aria ambiente è così possibile asportare un carico termico sensibile costante di circa 16 W/m<sup>2</sup>.

Ricambio d'aria per l'adduzione d'aria esterna



Ricambio d'aria per l'asportazione del calore



Dal punto di vista energetico è desiderabile misurare il volume d'aria esterna sulla base delle percentuali necessarie d'aria esterna per persona e rinunciare ad un esercizio con aria riciclata. Qualora non sia possibile asportare il carico termico mediante questa aria di alimentazione, bisogna prevedere l'utilizzazione di un sistema ad acqua oppure il raffreddamento locale dell'aria riciclata.

Figura 3.4  
Percentuali tipiche di ricambi dell'aria (altezza libera del locale = 2.50 m)

### 3.4 Fabbisogno d'energia per il trasporto dell'aria

#### Principi

- Il trasporto dell'aria è causa di una percentuale notevole del consumo globale di elettricità negli impianti di ventilazione e di condizionamento.
- Le misure da adottare per la riduzione del consumo di energia sono le seguenti:
  - minimizzare le ore di funzionamento dell'impianto.
  - Riduzione dei flussi volumetrici dell'aria al minimo effettivamente necessario. Evitare inoltre, tra l'altro, le emissioni inutili di sostanze nocive, di calore e di umidità nel locale (cfr. paragrafo 3.3).
  - Nel caso di un cambiamento delle esigenze prevedere un'adduzione di aria esterna corrispondente al fabbisogno, ad esempio per mezzo di sensori di CO<sub>2</sub> o di sensori delle miscele di gas.
  - Minimizzare le perdite di pressione nell'impianto mediante basse velocità dell'aria nei canali e negli apparecchi, reti brevi e struttura della rete dei canali e dei componenti favorevole all'aria.
  - Utilizzare ventilatori e motori con un rendimento elevato nel settore d'esercizio più utilizzato.
- La ripartizione dell'aria deve corrispondere nel modo più preciso possibile ai volumi d'aria previsti per i locali collegati. Ciò è particolarmente importante nel caso in cui sia necessario stabilire le quantità d'aria corrispondenti al fabbisogno.
- Si devono calcolare in anticipo e nel modo più esatto possibile le perdite di pressione onde poter rinunciare ad inutili elementi di strozzamento e poter dimensionare i ventilatori ed i motori in modo ottimale dal profilo energetico.

#### 3.4.1 Esigenze secondo SIA V382/3

Nella raccomandazione SIA V382/3 [3.11] vengono proposte le seguenti esigenze generali e le esigenze aumentate che sono rilevanti per stabilire il fabbisogno di potenza necessario al trasporto dell'aria.

Esigenze secondo SIA V382/3		
Parametro	Generali (cifra 5 4)	Aumentate (cifra 5 2 6 2)
Perdita di pressione globale (somma degli impianti per l'aria di alimentazione e per l'aria viziata)	≤ 1200 Pa	≤ 900 Pa
Percentuali di aria esterna per persona – permesso fumare – vietato fumare	≤ 70 m <sup>3</sup> /h.P ≤ 30 m <sup>3</sup> /h.P	≤ 50 m <sup>3</sup> /h.P ≤ 25 m <sup>3</sup> /h.P
Rendimento globale nel punto di funzionamento ottimale a seconda del flusso d'aria nominale		
> 15000 m <sup>3</sup> /h	> 65%	> 70%
10000 m <sup>3</sup> /h	> 60%	> 65%
5000 m <sup>3</sup> /h	> 55%	> 60%

Tabella 3.5  
Esigenze per la riduzione del fabbisogno di potenza per il trasporto dell'aria [3.11]

#### 3.4.2 Fabbisogno specifico di potenza

Il fabbisogno specifico di potenza per il trasporto dell'aria, riferito alla superficie netta del pavimento, è calcolato come segue:

$$P_{AL} = \frac{v + \Delta p}{\text{occupazione} \cdot \eta_{\text{tot}} \cdot 3600}$$

$P_{AL}$  fabbisogno di potenza per m<sup>2</sup> di superficie del pavimento per il trasporto dell'aria [W/m<sup>2</sup>] (somma dell'aria di alimentazione e dell'aria viziata)

$v$  quantità d'aria esterna per persona [m<sup>3</sup>/h per persona]

$\Delta p$  differenza di pressione [Pa] (somma dell'aria di alimentazione e dell'aria viziata)

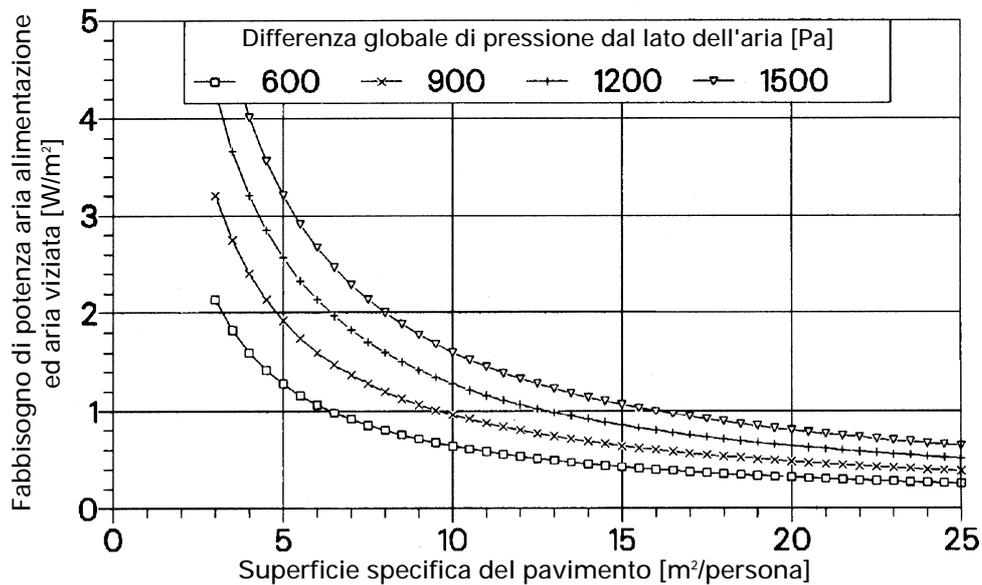
occupazione occupazione da parte di persone [m<sup>2</sup> netti/persona]

$\eta_{\text{tot}}$  rendimento totale medio del ventilatore, del motore e dell'azionamento [-] (media tra ventilatore dell'aria viziata e ventilatore dell'aria di alimentazione)

Nella figura 3.5 è rappresentato il fabbisogno di potenza per il trasporto dell'aria per una quantità d'aria esterna di 50 m<sup>3</sup>/h per persona (grafico in basso, esigenza aumentata secondo la tabella 3.5, qualora sia permesso fumare) e di 25 m<sup>3</sup>/h per persona (grafico in alto, esigenza aumentata qualora sia vietato fumare).

Quantità d'aria esterna = 25 m<sup>3</sup>/h per persona

Fabbisogno di potenza per il trasporto dell'aria  
 Quantità di aria esterna = 25 m<sup>3</sup>/h per persona  
 Rendimento globale dei ventilatori = 0.65



Quantità d'aria esterna = 50 m<sup>3</sup>/h per persona

Fabbisogno di potenza per il trasporto dell'aria  
 Quantità di aria esterna = 50 m<sup>3</sup>/h per persona  
 Rendimento globale dei ventilatori = 0.65

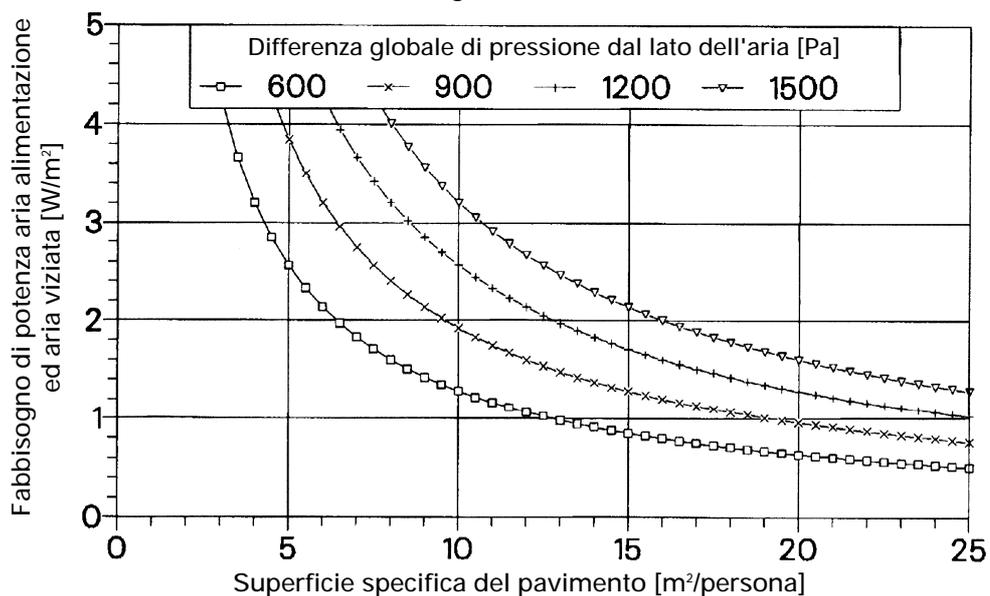


Figura 3.5  
 Fabbisogno di potenza per il trasporto dell'aria (rendimento globale dei ventilatori = 0.65)

### 3.4.3 Fabbisogno specifico d'energia

Il fabbisogno di potenza per il trasporto dell'aria è stato descritto al paragrafo 3.4.2. Nel caso di un esercizio costante durante il tempo di utilizzazione, è possibile calcolare nel modo descritto qui di seguito il consumo di energia annuo per il trasporto dell'aria. Conformemente alle definizioni della futura raccomandazione SIA 380/4 (cifra 3.5), questo valore viene riferito alla superficie di riferimento energetico (superficie lorda).

$$Q_{LF} = \frac{v \cdot \Delta p \cdot z}{\text{occupazione} \cdot \eta_{\text{tot}} \cdot (\text{SRE/SN}) \cdot 10^6}$$

$Q_{LF}$	fabbisogno d'energia per il trasporto dell'aria [MJ/m <sup>2</sup> .a] (riferito alla superficie lorda in m <sup>2</sup> )
$v$	quantità d'aria esterna per persona [m <sup>3</sup> /h per persona]
$\Delta p$	differenza di pressione [Pa] (somma aria di alimentazione ed aria viziata, compreso RDC)
$z$	ore di servizio per il trasporto dell'aria [h/a]
occupazione	occupazione da parte di persone [m <sup>2</sup> netti/persona]
$\eta_{\text{tot}}$	rendimento totale medio del ventilatore, del motore e dell'azionamento [-] (media tra ventilatore dell'aria viziata e ventilatore dell'aria di alimentazione)
SRE/SN	rapporto tra la superficie lorda e quella netta del pavimento [-] (valore tipico = 1.1)

Nel caso in cui l'impianto RDC sia equipaggiato di un by-pass, la differenza di pressione durante le ore di servizio all'infuori del periodo di riscaldamento può essere ridotta adeguatamente. Questa misura è tuttavia razionale solo se è possibile mantenere costante la regolazione del numero di giri del ventilatore del flusso d'aria in caso di una differenza di pressione ridotta.

L'analisi della formula summenzionata dimostra che il fabbisogno d'energia per il trasporto dell'aria può essere mantenuto al livello minimo adottando le misure seguenti:

- minimizzazione delle ore di servizio.
- Riduzione del flusso volumetrico dell'aria al minimo necessario.
- Minimizzazione delle perdite di pressione.
- Scelta di ventilatori, motori ed azionamenti con un elevato rendimento in tutto il settore d'esercizio.

### 3.4.4 Misure per la riduzione delle perdite di pressione

La raccomandazione SIA V382/3 prevede che la perdita di pressione globale (somma degli impianti per l'aria di alimentazione e per l'aria viziata) non dovrebbe superare 1200 Pa. Nel caso d'impianti ottimali sotto l'aspetto energetico non deve superare 900 Pa (cifra 3.4.1). È inoltre necessario tener conto delle indicazioni seguenti.

#### 3.4.4.1 Scelta dell'ubicazione

Onde evitare perdite di pressione inutili è opportuno fare in modo che i tratti tra la presa dell'aria esterna, rispettivamente lo sbocco dell'aria di smaltimento e le centrali, nonché tra le centrali ed i locali siano più brevi possibili.

La presa dell'aria esterna deve trovarsi in vicinanza della centrale di ventilazione ed essere situata in modo da poter aspirare aria poco inquinata. A questo proposito bisogna tener conto degli avvertimenti seguenti:

- non aspirare l'aria dalla parte delle facciate che fronteggiano vie con forte traffico.
- Evitare gli effetti di by-pass con l'aria di smaltimento oppure altre fonti che emettono gas combustibili oppure odori.
- Non aspirare direttamente al livello del suolo, ma rispettare una distanza di almeno 1 m al di sopra dello stesso.
- Prevedere un accesso per la pulitura.

Nel caso di impianti di grandi dimensioni può essere razionale una suddivisione in parecchie centrali e diversi condotti d'aerazione. In tal caso occorre prevedere anche un concetto di protezione antincendio. Quanto maggiore è la suddivisione della rete di canali, tanto più facile sarà l'esecuzione della protezione antincendio e delle modifiche ulteriori della rete.

#### 3.4.4.2 Filtraggio

Nel caso d'impianti per l'aria di alimentazione di uffici e di edifici amministrativi è normalmente sufficiente uno stadio di filtraggio della classe EU 5/6. I filtri preliminari (ad es. i filtri grezzi per la polvere EU 3) aumentano la resistenza opposta dagli impianti e non servono, generalmente, ad aumentare la durata di vita dei filtri successivi. I filtri devono comunque essere cambiati dopo 1-1<sup>1</sup>/<sub>2</sub> anni onde evitare problemi di odori.

Un montaggio a tenuta stagna è essenziale per una buona efficacia del filtro. Contemporaneamente an-

che l'apparecchio per il trattamento dell'aria e la rete dei canali devono essere a tenuta stagna. Lo stadio di filtraggio desiderato può peggiorare di due classi qualora esistano un by-pass attorno ai filtri oppure perdite troppo elevate per mancanza di tenuta stagna. Al momento in cui si tratta di determinare la resistenza del filtro per il dimensionamento dell'impianto si deve partire da una resistenza finale minore di quella indicata normalmente dal fabbricante del filtro. Nel caso di una resistenza iniziale di circa 70 Pa in un filtro EU 5/6 è raccomandabile una resistenza finale di 150 Pa, rispettivamente una resistenza di dimensionamento di circa 100 Pa.

#### 3.4.4.3 Apparecchio per il trattamento dell'aria

Al momento della scelta dell'apparecchio per il trattamento dell'aria bisogna fare in modo di evitare, a causa di blocchi inutili, aumenti locali della velocità di flusso, resistenze al flusso stesso e perdite di carico dovute a flussi sfavorevoli che giungono al ventilatore.

Ricerche effettuate in merito alle spese d'esercizio annue globali degli apparecchi per il trattamento dell'aria in funzione della velocità hanno dimostrato che esse erano minime per le velocità comprese tra 2 e 4 m/s (cfr. esempio della figura 3.6). È questo il motivo per cui, dal punto di vista energetico, oggi è in generale raccomandabile, per gli impianti di ventilazione negli edifici destinati ad uffici e negli edifici amministrativi, una velocità di 2 m/s (riferita alla sezione netta del monoblocco) negli apparecchi per il trattamento dell'aria; nel canton Zurigo tale velocità viene prescritta [3.3]. In casi speciali con esigenze particolari, ad esempio allorché si verificano durate di

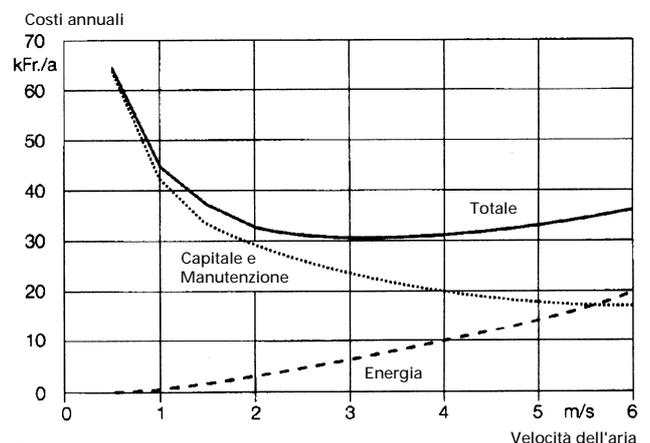


Figura 3.6 Costi annuali in funzione della velocità dell'aria nell'apparecchio per il trattamento dell'aria (esempio tratto da [3.1])

servizio eccezionalmente lunghe oppure corte, la velocità ottimale può derogare da questo valore indicativo, ciò che deve essere verificato mediante un'ottimizzazione specifica.

In quanto siano necessari, i silenziatori montati dal lato dell'aspirazione dovrebbero essere sistemati nell'apparecchio per il trattamento dell'aria, giacché la velocità della stessa vi è più debole e, di conseguenza, le perdite di pressione sono piccole.

#### 3.4.4.4 Rete dei canali d'aerazione

Le perdite di pressione nella rete dei canali d'aerazione possono essere mantenute minime mediante tratti brevi, basse velocità dell'aria, rispettivamente bassi valori R e piccole resistenze singole. È anche importante un calcolo preciso della perdita di pressione, onde poter rinunciare ad inutili elementi di strozzamento per ottenere la ripartizione desiderata delle quantità d'aria.

La figura 3.7 presenta un esempio di costi globali in una rete di canali d'aerazione in funzione della velocità dell'aria. Come per gli apparecchi per il trattamento dell'aria, nella curva delle spese globali appare una zona piatta. Sotto l'aspetto energetico la velocità dell'aria dovrebbe essere ridotta finché non si noti un aumento netto delle spese globali.

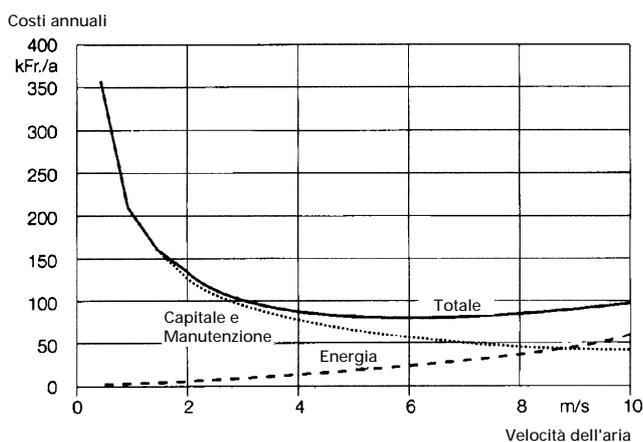


Figura 3.7  
Costi annuali in funzione della velocità dell'aria nella rete dei canali d'aerazione (esempio tratto da [3.1])

Nel canton Zurigo la velocità dell'aria nei canali degli impianti di ventilazione e di condizionamento non deve superare i valori seguenti:

fino a	1000 m <sup>3</sup> /h	3 m/s
fino a	2000 m <sup>3</sup> /h	4 m/s
fino a	4000 m <sup>3</sup> /h	5 m/s
fino a	10000 m <sup>3</sup> /h	6 m/s
oltre	10000 m <sup>3</sup> /h	7 m/s

Si deve dedicare un'attenzione del tutto particolare al fatto che la formazione dei canali e dei pezzi sagomati deve essere favorevole al flusso dell'aria.

- Con una superficie, una velocità ed una rugosità uguali, le minori perdite di pressione si otterranno con i canali rotondi. Quanto più aumenta il rapporto larghezza-altezza, tanto più sfavorevoli sono i canali rettangolari. Dovrebbe assolutamente essere evitato un rapporto superiore a 5:1.
- A confronto dei canali di lamiera zincata, per i canali di eternit occorre tener conto di una rugosità di 1.5 e per i canali isolati internamente da 1.5 a 2.0.
- I gomiti rettangolari dovrebbero essere arrotondati e muniti di deflettori di lamiera.
- Le curve delle tubazioni dovrebbero essere composte dal maggior numero possibile di segmenti.

### 3.5 SIA 380/4 «L'energia elettrica nell'edilizia»

#### Principi

- Attualmente viene elaborata una raccomandazione SIA 380/4 «L'energia elettrica nell'edilizia».
- La raccomandazione SIA 380/4 costituisce uno strumento tale da permettere di accertare e di valutare in modo semplice tutto il fabbisogno di energia elettrica.
- Onde permettere un paragone tra i parametri di consumo, essi vengono menzionati secondo la prestazione (ad es. trasporto dell'aria esterna o condizionamento del locale) e per un'utilizzazione identica (ad es. uffici).
- Per la valutazione dei parametri di consumo vengono forniti i valori limite ed i valori migliori. Nel caso di edifici e d'impianti buoni sotto l'aspetto energetico questi valori limite devono essere rispettati. Allo stato attuale delle conoscenze i valori migliori possono essere raggiunti qualora venga realizzata la miglior combinazione possibile tra i componenti ed i sistemi.

#### 3.5.1 Obiettivo

La raccomandazione SIA 380/4 «L'energia elettrica nell'edilizia» [3.7] ha come obiettivo l'utilizzazione razionale dell'energia elettrica per la luce, la forza ed i processi nell'edilizia. Essa completa la raccomandazione SIA 380/1 «L'energia nell'edilizia» [3.6] che tratta essenzialmente dello sfruttamento dell'energia per la produzione di calore. La raccomandazione SIA 380/4 rappresenta uno strumento globale che permette di accertare in modo semplice il fabbisogno globale di energia elettrica. Essa non sostituisce tuttavia le raccomandazioni SIA V382/1-3 oppure altre norme e raccomandazioni esistenti.

#### 3.5.2 Stato del progetto

Un progetto della raccomandazione SIA 380/4 è stato messo in consultazione dall'1.1.1992 fino al 31.12.1992. Attualmente ha luogo l'elaborazione della raccomandazione e della procedura di calcolo sulla base dei risultati della fase di consultazione.

#### 3.5.3 Idee fondamentali

Contrariamente al settore del calore, il consumo di energia elettrica viene determinato da un grande numero di utilizzatori. L'indice dell'energia costituito dall'elettricità dei diversi edifici può essere soggetto ad un paragone solo se l'utilizzazione è simile.

In caso di un'utilizzazione uguale, si possono paragonare facilmente i valori delle singole funzioni delle infrastrutture secondo la figura 3.8.

Le prestazioni medie per funzione dell'infrastruttura e per unità d'esercizio devono di conseguenza essere paragonate ai valori limite, rispettivamente ai valori migliori. Non esistono esigenze concernenti l'indice dell'energia. Tutti i parametri si riferiscono alle superfici lorde.

Qui di seguito verranno fornite alcune spiegazioni concernenti il bilancio dell'energia e le esigenze del sistema.

#### 3.5.4 Bilancio dell'energia per la luce, la forza, i processi

Nel bilancio dell'energia (tabella 3.6) i valori assoluti concernenti il consumo d'energia vengono suddivisi secondo unità d'esercizio e secondo le funzioni dell'infrastruttura. Questa rappresentazione indica il consumo d'energia di singole unità d'esercizio o di funzioni dell'infrastruttura.

BILANCIO DELL'ENERGIA [1000 kWh/a]								SIA 380/4	
Oggetto, luogo:									
Data:									
Progettista:									
Funzione dell'infrastruttura	Impiantistica I				Impianti di produzione IP		Totale		
	DT 3	AE 4	CO 5	LU 6	IS 7	SC 8	I Σ 3 - 6	I + IP Σ 3 - 8	
Unità d'esercizio									
Ufficio									
Totale									
Superficie di rif. energetico:	m <sup>2</sup>		Indici dell'energia			E <sub>el</sub> (3-6):		MJ/m <sup>2</sup> a	
Riscaldamento (1):	MWh/a					E <sub>el</sub> (3-8):		MJ/m <sup>2</sup> a	
Acqua calda (2):	MWh/a					E <sub>c</sub> (1-2):		MJ/m <sup>2</sup> a	

Riempire AE (4) oppure CO (5)

Tabella 3.6  
Bilancio dell'energia secondo SIA 380/4 [3.7]

3.5.4.1 Funzione dell'infrastruttura  
 La funzione dell'infrastruttura copre un fabbisogno mediante un sistema tecnico. In tal modo risulta un

consumo d'energia. Le funzioni dell'infrastruttura (gruppi di utilizzatori) e la loro attribuzione a SIA 380/1 e 380/4 sono rappresentate alla figura 3.8.

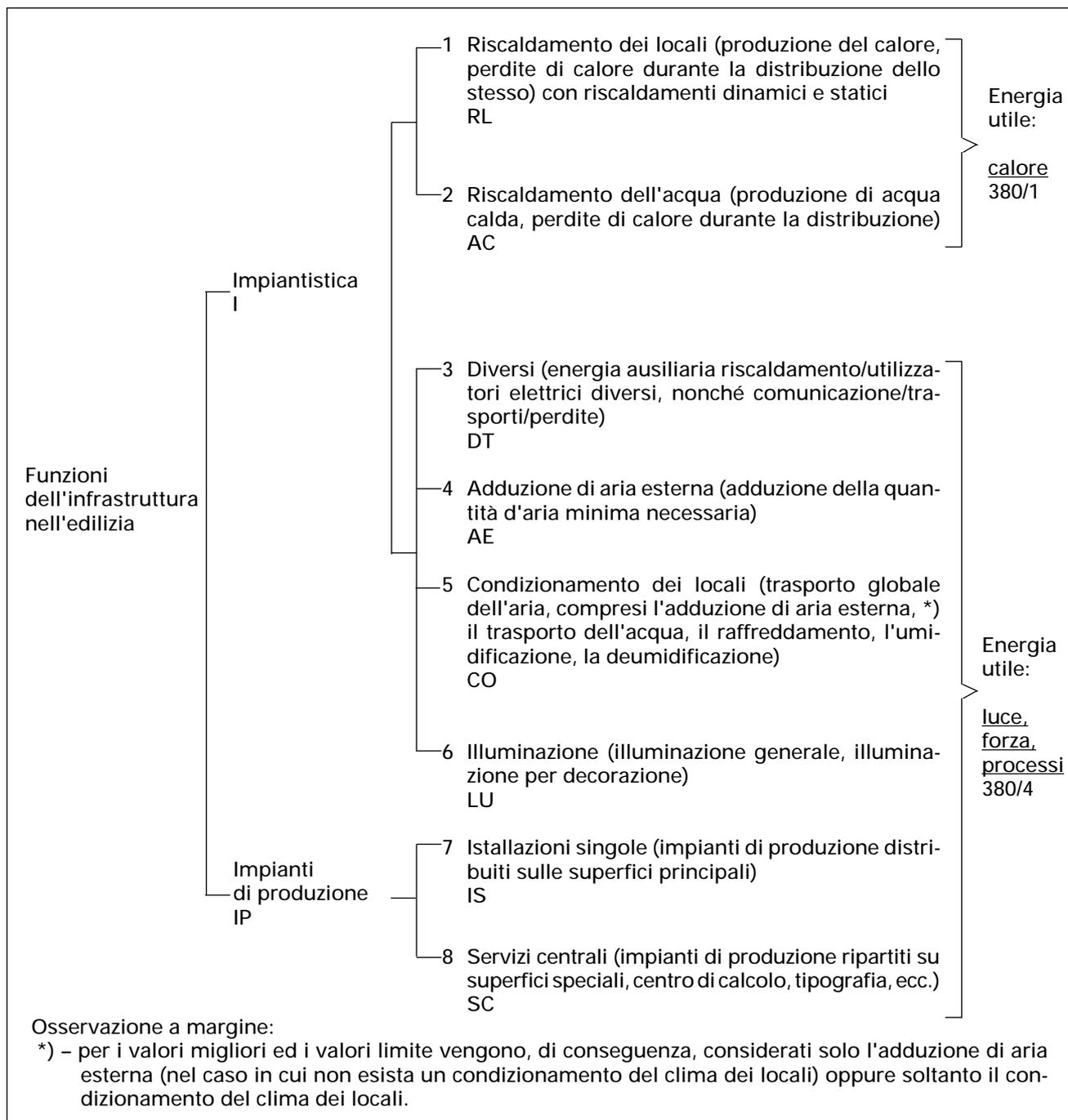


Figura 3.8  
 Funzioni dell'infrastruttura e loro attribuzione alle raccomandazioni SIA 380/1 e 380/4 [3.7]

#### 3.5.4.2 Impianto di produzione

In un impianto di produzione sono riunite le parti dell'edificio che hanno un'utilizzazione simile, ad esempio:

- uffici
- superfici per la vendita
- locali per corsi
- ristoranti
- cucine, ecc.

#### 3.5.4.3 Scopo dell'applicazione

Il bilancio dell'energia rappresenta il filo conduttore della progettazione; esso è controllato in parecchie fasi del progetto e in caso di notevoli modifiche al progetto stesso. L'allestimento di un bilancio dell'energia permette di riconoscere le eventuali deviazioni e di correggerle con misure adeguate.

Nel bilancio dell'energia sono fissati i valori di controllo. Essi devono poter essere misurabili tecnicamente e devono essere misurati durante l'esercizio. Lo scopo di questo controllo è quello di eseguire un paragone tra i valori d'esercizio e quelli del progetto e di correggere eventuali errori di funzionamento. L'allestimento periodico del bilancio dell'energia dovrebbe permettere di eseguire un rilevamento delle modifiche dell'utilizzazione, permettendo contemporaneamente la comprensione delle modifiche eseguite.

Durante il collaudo dell'impianto non vengono di regola misurati i consumi d'energia, bensì le prestazioni ed i singoli valori, come ad esempio le perdite di pressione ed i flussi volumetrici dell'aria che sono stati utilizzati per il calcolo del consumo dell'energia.

#### 3.5.5 Prestazione globale del sistema

La prestazione globale del sistema rappresenta il limite massimo della potenza media dell'unità di produzione riferita al tempo di utilizzazione normale. Essa viene espressa in  $W/m^2$ .

I grandi utilizzatori d'energia (valori specifici) risultano dalla combinazione delle potenze medie in  $W/m^2$ . Per la comprensione e la rappresentazione unitaria di questi parametri, nella raccomandazione SIA 380/4 vengono messi a disposizione dei formulari.

##### 3.5.5.1 Classi

La raccomandazione SIA 380/4 definisce le classi per i differenti livelli di ogni prestazione; ad esempio per il condizionamento dei locali (CO) adibiti ad ufficio

viene proposta la seguente suddivisione in classi:

Condizionamento dei locali adibiti ad ufficio	
Classe	Calore residuo
CO 1	0-20 $W/m^2$
CO 2	20-30 $W/m^2$

Tabella 3.7

Suddivisione in classi del calore residuo nei locali destinati ad ufficio [3.7]

#### 3.5.5.2 Valore limite e valore migliore

Valore limite

Il valore limite è il valore utilizzato per costruzioni ed impianti buoni sotto l'aspetto energetico, che adempiono le esigenze del committente e possono essere costruiti e fatti funzionare in modo economicamente redditizio. Il valore limite deve essere mantenuto durante l'applicazione delle esigenze del sistema.

Valore migliore

Si tratta del valore che può essere raggiunto mediante la miglior combinazione dei singoli componenti migliori e tecnicamente provati, rispettivamente dei singoli sistemi. Un investimento supplementare può essere necessario in rapporto all'optimum economico. La possibilità di effettuare quanto detto deve essere verificata di caso in caso. Il concetto di valore migliore non corrisponde al concetto di valore mirato della raccomandazione SIA 380/1.

Valore dell'opera

Il valore dell'opera è quello che viene stabilito durante la progettazione o misurato durante l'esercizio. Di regola esso si situa tra valore limite e valore migliore.

#### 3.5.5.3 Scopo dell'utilizzazione

I valori dell'opera secondo il progetto vengono confrontati con i valori di riferimento. Quale esigenza minima deve essere mantenuto il valore limite. Il criterio per giudicare la qualità della progettazione sotto l'aspetto energetico è dato dal valore medio del progetto, situato tra il valore limite ed il valore migliore.

## Bibliografia capitolo 3

- [3.1] Ufficio federale dei problemi congiunturali  
Manuale RAVEL  
Sfruttare l'elettricità in modo razionale  
ISBN 3-7281-1830-3, 1992
- [3.2] ISO/IS 7730  
Moderate thermal environments - determination of the PMV and PPD indices and specifications of the conditions for thermal comfort.  
Da ordinare presso: Schweizerische Normen-Vereinigung SNV, 8032 Zurigo
- [3.3] Consiglio di Stato del canton Zurigo  
Besondere Bauverordnung I  
Edizione marzo 1991
- [3.4] Società svizzera degli ingegneri e degli architetti SIA  
Isolamento termico nell'edilizia  
Norma SIA 180, edizione 1988
- [3.5] Società svizzera degli ingegneri e degli architetti SIA  
Isolamento acustico degli edifici  
Norma SIA 181, edizione 1988
- [3.6] Società svizzera degli ingegneri e degli architetti SIA  
Energia nell'edilizia  
Raccomandazione SIA 380/1, edizione 1988
- [3.7] Società svizzera degli ingegneri e degli architetti SIA  
Progetto SIA 380/4, Progetto per la fase di consultazione dal mese di gennaio fino al mese di dicembre 1992
- [3.8] Società svizzera degli ingegneri e degli architetti SIA  
Esigenze tecniche degli impianti di ventilazione e di condizionamento  
Raccomandazione SIA V382/1, edizione 1992
- [3.9] Società svizzera degli ingegneri e degli architetti SIA  
Fabbisogno di potenza di raffreddamento degli edifici  
Raccomandazione SIA V382/2, edizione 1992
- [3.10] Società svizzera degli ingegneri e degli architetti SIA  
Complementi alla metodica di calcolo della raccomandazione SIA V382/2  
Documentazione D 088, edizione 1992
- [3.11] Società svizzera degli ingegneri e degli architetti SIA  
Accertamento del fabbisogno degli impianti di ventilazione e di condizionamento  
Raccomandazione SIA V382/3, edizione 1992
- [3.12] Società svizzera degli ingegneri e degli architetti SIA  
Fabbisogno di potenza calorifica degli edifici  
Raccomandazione SIA 384/2, edizione 1992
- [3.13] Consiglio federale svizzero  
Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico del 16 dicembre 1985, con modificazione del 20 novembre 1991

## 4. Sistemi di ventilazione e di condizionamento

---

4.1	Problemi organizzativi	45
4.1.1	Bando di concorso	45
4.1.2	Lavori di concezione preliminari	45
4.1.3	Progettazione d'impianti efficienti sotto l'aspetto energetico	46
4.1.4	Messa in esercizio, collaudo, controllo ulteriore	46

---

4.2	Scelta dei sistemi	47
4.2.1	Possibilità e limiti della ventilazione attraverso le finestre	49
4.2.2	Impianti meccanici per l'aria viziata	50
4.2.3	Impianti di ventilazione e di condizionamento con aria di alimentazione ed aria viziata	50
4.2.4	Asportazione di calore e di sostanze nocive	50

---

4.3	Ricupero del calore	52
-----	---------------------	----

---

4.4	Ventilazione di appartamenti	56
-----	------------------------------	----

---

4.5	Necessità di un raffreddamento dell'aria ambiente	58
-----	---	----

---

4.6	Necessità di un'umidificazione dell'aria ambiente	58
-----	---	----

---

4.7	Ventilazione notturna	59
-----	-----------------------	----

---

4.8	Raffreddamento di solette di calcestruzzo	60
-----	---	----

---

4.9	Soffitti freddi	62
-----	-----------------	----

---

4.10	Collettore tubolare sotterraneo ad aria	63
------	---	----

---

4.11	Sonde geotermiche	66
4.11.1	Riscaldamento in inverno	66
4.11.2	Raffreddamento in estate	67

---

4.12	Comando e regolazione adeguati al fabbisogno	68
------	--	----

---

4.13	Impianti con flusso volumetrico variabile (VAV)	69
------	---	----

---

	Bibliografia capitolo 4	70
--	-------------------------	----

---



## 4. Sistemi di ventilazione e di condizionamento

### 4.1 Problemi organizzativi

#### Principi

- Per una considerazione globale degli aspetti energetici è d'importanza capitale l'interazione tra gli edifici e l'impiantistica.
- Poiché molti problemi basilari, importanti sotto l'aspetto energetico, devono essere risolti già in una fase di progettazione molto precoce, occorre prevedere una collaborazione per quanto possibile anticipata tra l'architetto ed il progettista dell'impiantistica.
- Durante tutte le fasi di progettazione devono essere retribuiti in modo adeguato tutti i lavori di progettazione che richiedono un notevole dispendio di tempo. Una retribuzione solo sulla base dell'ammontare globale dei lavori di costruzione spesso non costituisce uno stimolo per la progettazione d'impianti efficienti sotto l'aspetto energetico.
- Affinché gli impianti lavorino come stabilito, occorre dedicare la necessaria attenzione alla messa in esercizio, al collaudo ed al controllo successivo.

#### 4.1.1 Bando di concorso

Durante l'esecuzione di bandi di concorso occorre fare in modo che l'aspetto costituito dal consumo dell'energia faccia parte del capitolato d'onori e che al momento della valutazione dei progetti si tenga appunto conto in modo adeguato degli aspetti costituiti dal consumo dell'energia e dall'inquinamento ambientale. Non si tratta quindi di allestire concetti dettagliati d'impiantistica bensì di stabilire e di verificare i principi fondamentali e determinanti. Ha riscosso successo la valutazione, eseguita secondo i criteri seguenti, dei progetti inoltrati con i bandi di concorso:

- concetto dell'energia (tecnologie previste, utilizzazione di fonti d'energia rinnovabili, possibilità di realizzazione, complessità). Un concetto che tenga conto in modo particolare della luce naturale permette soluzioni vantaggiose dal punto di vista dell'impiantistica. Un buon concetto dell'energia si basa sulla capacità di accumulazione termica dell'edificio quale complemento all'impiantistica

usuale (riscaldamento, ventilazione ed eventualmente condizionamento).

- Suddivisione in zone in funzione del tipo di locale, rispettivamente della sua utilizzazione (suddivisione in zone con ventilazione naturale e ventilazione meccanica con esigenze diverse).
- Concetto di centrali e di condotti d'aerazione (allacciamento orizzontale e verticale). Ciò dovrebbe permettere, per quanto possibile, collegamenti brevi tra la presa dell'aria esterna, le centrali ed i locali.
- Flessibilità per quanto concerne gli impianti e le loro modificazioni successive.
- Investimenti e redditività.

Onde poter raggiungere questi obiettivi, al momento dell'allestimento dei documenti del bando di concorso è necessaria la collaborazione di un esperto del settore dell'energia e dei problemi dell'impiantistica che sia anche membro della giuria.

#### 4.1.2 Lavori di concezione preliminari

Per molti progetti di costruzione, ancora oggi non vengono effettuati o vengono effettuati solo in modo approssimativo studi preliminari concernenti il tipo e la necessità d'impianti di ventilazione o di condizionamento. Lo stesso vale per altri tipi di studio nel settore della progettazione dell'impiantistica, in modo particolare per quanto concerne la relazione tra l'impiantistica e l'edificio stesso (concetto globale). Il motivo di questa situazione è basato certamente sul fatto che fino ad oggi la retribuzione di un tale lavoro non è regolata in modo soddisfacente e, di conseguenza, non viene richiesta la collaborazione di un progettista dell'impiantistica, rispettivamente di un tecnico specialista del settore.

Il problema della retribuzione adeguata dei lavori di concezione preliminari può essere risolto nell'ambito del Regolamento degli onorari SIA 108 [4.16], aggiungendo questi lavori alla fase 0 (fase degli studi preliminari) ed indennizzandoli a parte.

L'importanza di questi studi preliminari spesso non è abbastanza riconosciuta sia dai committenti, sia dagli architetti ed anche dai progettisti dell'impiantistica. Di conseguenza manca la disponibilità a chiamare in causa tempestivamente lo specialista dell'impiantistica, onorandone a parte le prestazioni. La so-

luzione di retribuire la fase 0 e di dedurre in seguito tale somma dalle fasi seguenti non è affatto soddisfacente. Con una tale regolamentazione sarebbe difficile ottenere pareri neutrali ed equi e, nel caso in cui fosse chiamato in causa, a parte, uno specialista per la fase 0, potrebbero insorgere conflitti inutili con l'ingegnere specializzato cui incombe la responsabilità delle fasi seguenti.

#### 4.1.3 Progettazione d'impianti efficienti sotto l'aspetto energetico

Un impianto concepito per economizzare energia e dimensionato nel modo migliore, permette in generale di ridurre i costi d'investimento, ma causa pure una mole più elevata di lavoro nel settore della progettazione e costituisce spesso un rischio maggiore per l'ingegnere specializzato. L'interesse dei progettisti a concepire impianti parsimoniosi sotto l'aspetto energetico è quindi spesso limitato, giacché essi temono che alle spese più elevate che ne conseguono corrispondano retribuzioni minori.

A lunga scadenza la regolamentazione concernente gli onorari dovrebbe essere rielaborata tenendo conto di questa problematica. Una soluzione nell'ambito della regolamentazione in vigore per gli onorari consisterebbe nel convincere innanzi tutto i committenti che gli impianti più semplici o dimensionati al minimo corrispondono ad un grado di difficoltà più elevato degli impianti convenzionali dimensionati in modo generoso. D'altro canto i progettisti dovrebbero essere sufficientemente abili da progettare anche impianti semplici dal livello tecnico elevato. Con ciò s'intende espressamente uno standard di progettazione tecnicamente elevato e non, in primo luogo, uno standard tecnicamente elevato dell'impianto progettato. Per i chiarimenti particolari dovrebbero eventualmente essere richiesti mandati complementari.

#### 4.1.4 Messa in esercizio, collaudo, controllo ulteriore

I principi fondamentali del collaudo d'impianti di ventilazione e di condizionamento sono stabiliti al capitolo 4 della raccomandazione SIA V382/1 [4.17].

Le misurazioni effettuate su impianti esistenti, anche convenzionali, dimostrano spesso che gli stessi non lavorano come progettato. Sulla base delle poche misurazioni eseguite si può presumere che spesso i difetti restano sconosciuti a causa del fatto che non sono state eseguite misurazioni complete al momento del collaudo.

Il Regolamento concernente gli onorari SIA 108 prevede per il settore della ventilazione, del condizionamento e del raffreddamento una percentuale del 10% degli onorari per la prestazione parziale 12 «direzione tecnica dei lavori», ed un'altra percentuale del 10% per la fase finale, ivi compresa la prestazione parziale 15 «lavori di garanzia». Questi onorari dovrebbero permettere un collaudo coscienzioso, nonché un controllo dei difetti che devono essere eliminati. È possibile che la problematica consista nel fatto che il progettista e l'installatore sono due parti in causa legate l'una all'altra e che dovrebbero controllarsi a vicenda.

Per migliorare questa situazione è necessario adottare le due misure seguenti:

- esecuzione più conseguente delle procedure di collaudo note, ciò che consiste nell'allestire in modo completo i verbali di collaudo della SITC 88-1 Ventilazione [4.20], nonché l'esecuzione delle misurazioni e delle costatazioni necessarie a questo scopo per ogni singolo impianto di ventilazione e di condizionamento.
- Esecuzione di un controllo successivo. Esso può aver luogo per il tramite del committente, del progettista oppure di un terzo, indipendente. In quest'ultimo caso sarebbe vantaggioso se questa persona, ad esempio un collaboratore della fase 0, conoscesse già l'impianto. La retribuzione di queste prestazioni potrebbe aver luogo ad esempio facendo in modo che il primo controllo ulteriore vada a carico del committente sotto la forma di spesa supplementare. Se durante il controllo si notano dei difetti, i controlli ulteriori saranno a carico della parte responsabile di tali difetti.

## 4.2 Scelta dei sistemi

### Principi

- Grazie alle nuove leggi sull'energia ed alle raccomandazioni SIA V382/1-3, in futuro dovrebbe essere possibile progettare impianti di ventilazione e di condizionamento efficienti sotto l'aspetto energetico, nonché controllare in modo critico la necessità di raffreddare o umidificare l'aria dei locali.
- Saranno soprattutto i progettisti finora piuttosto spensierati ad essere obbligati a modificare il loro sistema di progettazione. Per la maggior parte degli impianti verranno fatte raccomandazioni per quanto concerne il limite della velocità massima dell'aria oppure le perdite di pressione (paragrafo 3.4.4). In casi singoli saranno tuttavia possibili deviazioni motivate verso l'alto o verso il basso.
- Per una valutazione del fabbisogno globale di energia occorre tener conto dell'elevata efficacia dell'energia elettrica. Si può in generale raccomandare che il fabbisogno di energia elettrica (ad es. per il trasporto dell'aria) venga ponderato con un'efficacia di 3, mentre il fabbisogno di energia termica per il riscaldamento lo sia con un'efficacia di 1.
- Occorre fare in modo che il flusso dell'aria di alimentazione degli impianti corrisponda a quello dell'aria esterna igienica. Si devono esaurire tutte le possibilità di riduzione delle emissioni di calore e di sostanze nocive nel locale (riduzione alla fonte). Nel caso in cui per l'asportazione di carichi termici più elevati fosse necessario un flusso maggiore dell'aria di alimentazione, dovrebbe essere previsto un raffreddamento per radiazione oppure un raffreddamento locale dell'aria riciclata (paragrafo 3.3).

La figura 4.1 fornisce una panoramica della procedura generale che deve essere seguita al momento della progettazione secondo SIA V382/3 [4.19].

Tutte le tre strategie di ventilazione – ventilazione attraverso le finestre, impianto meccanico per l'aria viziata, impianto di ventilazione e di condizionamento con aria di alimentazione ed aria viziata – sono fondamentalmente possibili qualora esistano finestre e qualora l'inquinamento esterno permetta di aprire le finestre (determinante è soprattutto l'inquinamento fonico, secondo il paragrafo 3.1.4 della presente documentazione, rispettivamente la cifra 3 della raccomandazione SIA V382/3).

Nel caso d'inquinamento esterno elevato, di locali senza finestre oppure di esigenze elevate per quanto concerne l'utilizzazione, è giustificata la costruzione d'impianti di ventilazione e di condizionamento oppure d'impianti meccanici per l'aria viziata. Questi argomenti non giustificano ancora, tuttavia, la necessità di un raffreddamento o di un'umidificazione dell'aria ambiente; ciò dovrebbe essere verificato separatamente secondo quanto prescritto da SIA V382/3 (cifre 4.5 e 4.6).

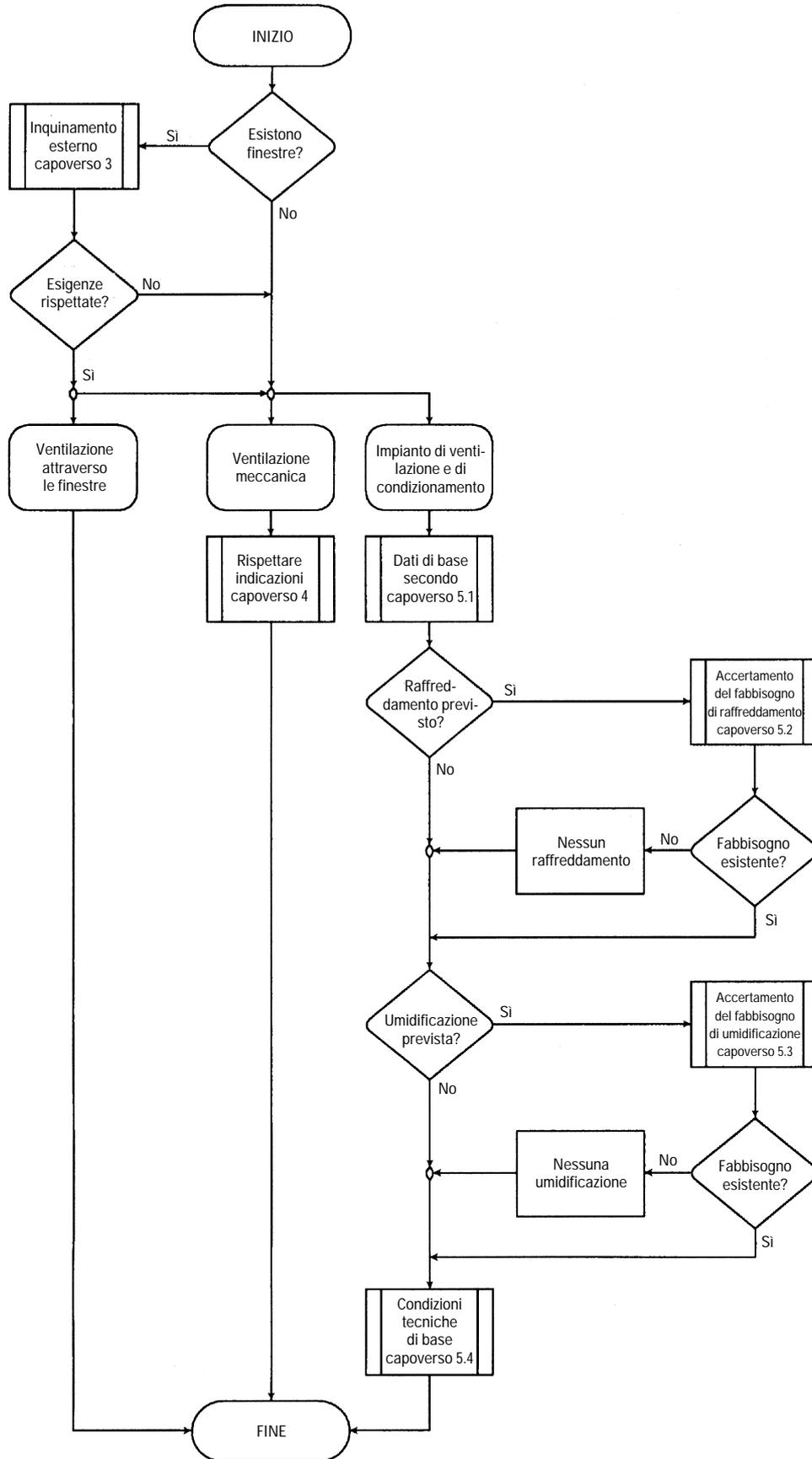


Figura 4.1  
Panoramica del procedimento da seguire per la progettazione secondo SIA V382/3 [4.19]  
(le indicazioni concernenti i capoversi si riferiscono alla raccomandazione SIA V382/3)

#### 4.2.1 Possibilità e limiti della ventilazione attraverso le finestre

Al momento dell'apertura delle finestre il ricambio dell'aria avviene per ventilazione immediata.

D'inverno, quando l'aria esterna è più fredda di quella interna e quando non soffia il vento, l'aria fredda penetra dalla parte inferiore dell'apertura, mentre l'aria calda sfugge dalla parte superiore. È allora impossibile evitare le correnti d'aria, anche nei locali muniti di radiatori sotto le finestre. Il ricambio d'aria deve essere rapido e di breve durata. Questo sistema non è adatto per un tipo di ventilazione continua d'inverno. È invece valido dal punto di vista energetico per una ventilazione breve ed intensa, giacché evita un raffreddamento eccessivo dell'edificio.

In estate l'intensità della ventilazione attraverso le finestre dipende soprattutto dal vento, ma anche dalla differenza tra le temperature delle diverse facciate dell'edificio, differenza dovuta all'irradiazione solare.

Nel caso di ventilazione trasversale, ossia allorché si aprono contemporaneamente le finestre su due o parecchi lati dell'edificio, il ricambio d'aria è particolarmente elevato ed in pochi minuti può essere completo.

La tabella 4.1 contiene valori indicativi approssimativi concernenti il ricambio d'aria orario medio che è possibile ottenere mediante la ventilazione attraverso le finestre.

La ventilazione più favorevole può essere ottenuta mediante finestre scorrevoli oppure con altre soluzioni che permettono di modificare le dimensioni dell'apertura a seconda del fabbisogno. Ad ogni modo anche con questo sistema di ventilazione (ventilazione continua) non è possibile garantire un ricambio d'aria controllato.

Posizione delle finestre	Ricambio d'aria
Finestre, porte chiuse *	0 - 0.5 h <sup>-1</sup>
Finestre ribaltate, nessun avvolgibile	0.3 - 1.5 h <sup>-1</sup>
Finestre a metà aperte	5 - 10 h <sup>-1</sup>
Finestre aperte completamente	10 - 15 h <sup>-1</sup>
Finestre aperte sulle facciate opposte	fino a 40 h <sup>-1</sup>

\* Ventilazione attraverso i giunti

Tabella 4.1  
Valori indicativi approssimativi per il ricambio d'aria ottenuto con ventilazione attraverso le finestre [4.13]

#### Vantaggi della ventilazione attraverso le finestre

- rinnovamento dell'aria semplice e poco costoso
- nessun fabbisogno di energia per il trasporto dell'aria
- ben accettato dagli utenti
- in estate possibilità di ventilazione intensa durante la notte ed al mattino.

#### Svantaggi della ventilazione attraverso le finestre

- nessun controllo del ricambio d'aria
- correnti d'aria in inverno
- eventuali conflitti nei grandi uffici occupati da molte persone
- nessun ricupero del calore
- nessun trattamento dell'aria
- inquinamento eventuale dovuto al rumore ed ai gas di scarico
- eventuali problemi di sicurezza (ventilazione notturna).

Dal punto di vista energetico, qualora si volesse sostituire la ventilazione attraverso le finestre con una ventilazione meccanica, il risparmio energetico dovuto al ricupero del calore in inverno deve essere confrontato con il costo dell'energia necessaria al trasporto dell'aria. Secondo i dati contenuti alla cifra 5 2 6 della raccomandazione SIA V382/3, in tal caso per la definizione d'impianti efficienti sotto l'aspetto energetico si dovrebbe tener conto, soppesando con cura la fattispecie, del fabbisogno di energia elettrica per il trasporto dei mezzi (aria ed acqua) con un'efficacia di 3, nonché del fabbisogno di energia termica per il riscaldamento ed eventualmente il raffreddamento con un'efficacia di 1.

Dal punto di vista energetico si raggiungono in generale i limiti della ventilazione attraverso le finestre quando, durante il periodo di occupazione, a causa di un'occupazione densa da parte di persone (meno

di 15 m<sup>2</sup>/persona circa) oppure ad emissioni elevate di sostanze nocive (se, ad esempio, si fuma su una superficie specifica minore di 30 m<sup>2</sup>/persona circa) è necessario un flusso medio di aria esterna superiore 1.7 m<sup>3</sup>/h m<sup>2</sup> (ciò che corrisponde ad un ricambio medio d'aria di circa 0.7 h per un'altezza del locale di circa 2.50 m). Alcuni esempi di calcolo concernenti questa problematica si trovano in [4.22].

Nel caso di singoli uffici esterni o di piccoli uffici collettivi, la ventilazione attraverso le finestre costituisce generalmente la soluzione accettata più favorevolmente dagli utenti. Possono eventualmente insorgere conflitti allorché troppe persone devono mettersi d'accordo sull'apertura delle finestre.

#### 4.2.2 Impianti meccanici per l'aria viziata

Gli impianti meccanici per l'aria viziata sono costituiti da ventilazioni forzate per mezzo di un ventilatore (ventilazioni meccaniche). L'aria viene soffiata dal locale verso l'esterno mediante un ventilatore, mentre a causa della depressione provocata l'aria dei locali vicini oppure l'aria esterna penetra attraverso le aperture sistemate di proposito o involontariamente. Se si fa in modo che l'aria possa affluire liberamente attraverso passaggi adeguati, gli impianti meccanici per l'aria viziata costituiscono il mezzo più efficace per migliorare la qualità dell'aria stessa.

Per questi impianti di ventilazione senza trattamento dell'aria e senza alimentazione meccanica dell'aria esterna, secondo la cifra 4 SIA V382/3 [4.19] valgono i principi seguenti:

- gli impianti meccanici per l'aria viziata dovrebbero essere dimensionati in modo che per i locali ricordati il flusso dell'aria viziata potrebbe essere comandato in funzione del fabbisogno.
- Per il dimensionamento di ventilatori centrali occorre tener conto della contemporaneità dell'utilizzazione. Per adeguare l'esercizio al fabbisogno del momento è opportuno fare una scelta tra azionamenti regolabili a parecchi stadi oppure in modo continuo.
- Nel caso di flussi di aria viziata, asportati da locali riscaldati e che superano i 2500 m<sup>3</sup>/h, occorre prevedere un'adduzione controllata dell'aria di ricambio con ricupero del calore.
- Eventuali zone tagliafuoco inserite nella costruzione non devono essere collegate l'una con l'altra.

#### 4.2.3 Impianti di ventilazione e di condizionamento con aria di alimentazione ed aria viziata

Secondo le prescrizioni SIA V382/1, gli impianti di ventilazione e di condizionamento comprendono un sistema per l'aria di alimentazione ed un sistema per l'aria viziata. A seconda del trattamento dell'aria si distinguono quattro tipi d'impianto, secondo la tabella 4.2.

Impianti di ventilazione e di condizionamento	Trattamento dell'aria di alimentazione *			
	F	C	U	R
Impianto di ventilazione	●	●		
Impianto di ventilazione con umidificazione	●	●	●	
Impianto di ventilazione con raffreddamento	●	●		●
Impianto di condizionamento	●	●	●	●

\* F = filtri  
 C = calore (riscaldamento)  
 U = umidificazione  
 R = raffreddamento, deumidificazione (regolata oppure con raffreddamento)

Tabella 4.2 Designazione degli impianti di ventilazione e di condizionamento [4.17]

Un raffreddamento o un'umidificazione dell'aria dei locali devono essere effettuati solo qualora ciò sia necessario. Indicazioni in questo senso si trovano nei paragrafi 4.5 e 4.6.

#### 4.2.4 Asportazione di calore e di sostanze nocive

Il principio essenziale per la realizzazione d'impianti di ventilazione e di condizionamento efficienti sotto l'aspetto energetico è quello di esaurire assolutamente tutte le possibilità esistenti per la riduzione delle emissioni di calore e di sostanze nocive che si presentano nel locale (riduzione alla fonte). Le emissioni che possono essere evitate non devono essere diluite ed asportate soltanto mediante un aumento del flusso d'aria.

Misure per la riduzione dei carichi termici nel locale:

- tutte le finestre di un locale raffreddato devono disporre di una protezione efficace contro il sole oppure di un'attrezzatura adeguata per creare ombra. Per quanto concerne l'irradiazione solare, attraverso le finestre dovrebbe essere ottenuto un coefficiente di trasmissione dell'energia, compresa la protezione contro il sole, di  $g = 0.15$  oppure minore. Valori indicativi di costruzioni tipiche si trovano alla cifra 7 3 2 della raccomandazione SIA V382/2 (cfr. anche paragrafo 4.5).
- Scelta di macchine e di apparecchi tali da permettere un risparmio dell'energia, nonché un concetto d'illuminazione adeguato. Utilizzazione soltanto in caso di bisogno.
- Nel caso di fonti singole importanti occorre prevedere un raffreddamento ad acqua oppure un'asportazione diretta del calore in un sistema di ventilazione chiuso oppure mediante cappe di aspirazione, affinché il calore residuo non venga sentito in tutto il locale. Nel caso di apparecchi con un'elevata produzione di calore è anche possibile la loro installazione in locali adiacenti e tali da permettere temperature ambiente molto più elevate.

Misure per la riduzione dell'emissione di sostanze nocive nel locale:

- scegliere materiali da costruzione ed impianti interni a debole emissione di sostanze nocive. Informazioni concernenti le emissioni dei materiali da costruzione più importanti vengono attualmente allestite e saranno pubblicate dalla SIA.
- Nel caso in cui non sia possibile evitare fonti importanti di sostanze nocive, occorre prevedere un'asportazione diretta delle stesse per mezzo di un sistema di ventilazione chiuso oppure mediante cappe di aspirazione. Eventualmente potrà essere utile sistemare tali fonti in locali adiacenti.
- Nel caso di utilizzazioni con emissioni di sostanze nocive differenziate (ad es. con o senza fumatori) occorre prevedere una separazione architettonica dei locali.

Se per l'asportazione dei carichi termici esistenti è necessario aumentare il flusso di ventilazione necessario per motivi igienici, sotto l'aspetto energetico è raccomandabile l'utilizzazione di apparecchi di

raffreddamento mediante aria riciclata oppure mediante radiazione, utilizzando l'acqua quale termovettore.

La posizione ed il tipo di funzionamento delle aperture per l'aria di alimentazione e per l'aria viziata, il tipo e la sistemazione delle fonti di calore, nonché le temperature e le superfici che racchiudono il locale determinano il movimento d'aria nel locale e, di conseguenza, l'efficienza di una ventilazione nello stesso. Per quanto concerne l'aspetto energetico occorre scegliere sistemi che permettano una buona efficienza del sistema di ventilazione senza rendere necessario un aumento delle quantità di aria esterna richieste per motivi d'igiene. Ciò può essere ottenuto sia con i sistemi classici di ventilazione mista, sia con il sistema, sempre più utilizzato, di ventilazione mediante spostamento dell'aria. Occorre evitare i cortocircuiti del flusso, a causa dei quali negli sbocchi dell'aria viziata giunge aria di alimentazione, senza aver dapprima ventilato la zona di soggiorno.

Nel caso di una ventilazione per spostamento d'aria il movimento della stessa, alla presenza di fonti di calore nel locale, sarà dominato da un flusso ascendente. Senza fonti di calore nel locale, la ventilazione per spostamento d'aria provoca una ventilazione forzata e l'aria più fredda, e di conseguenza più pesante, scorre dolcemente a livello del pavimento e spinge l'aria ambiente calda in alto verso gli sbocchi dell'aria viziata. Questa aria forzata non va tuttavia confusa con l'aria forzata con poca turbolenza, nota nel campo della tecnologia dei procedimenti industriali e della tecnologia medica; in tali casi, un flusso di forma allungata viene sempre spinto forzatamente ed in grandi quantità attraverso zone ben definite del locale.

Sulla base di ricerche effettuate in Norvegia ed in Danimarca [4.10], in questi ultimi anni anche in Svizzera sono stati effettuati grandi sforzi per comprendere meglio i fenomeni di spostamento dell'aria nei locali ventilati e gli effetti dei nuovi sistemi, come la ventilazione per spostamento d'aria oppure i soffitti freddi. I risultati di questo programma di ricerca «Ventilazione ed energia nell'edificio» verranno pubblicati, per l'uso pratico, in una collana di documenti di 7 volumi (cfr. paragrafo 1.4.2, in particolare ERL 7).

## 4.3 Ricupero del calore

### Principi

- A parte poche eccezioni, gli impianti di ventilazione e di condizionamento dovranno sempre essere equipaggiati con un impianto di ricupero del calore (RDC).
- La scelta del sistema avviene in funzione delle condizioni specifiche dell'oggetto. Non esiste alcun sistema perfetto, ossia in grado di soddisfare tutti i fabbisogni.
- Nella tecnica di ventilazione e di condizionamento il ricupero del calore dipende da un dimensionamento accurato, motivo per cui è determinante il guadagno annuo netto d'energia. In tal caso occorre prendere in considerazione un eventuale fabbisogno di energia elettrica con un'efficacia di circa 3 in confronto all'energia termica.
- Secondo punti di vista economici, gli impianti RDC ben dimensionati costituiscono, nella maggioranza dei casi, un investimento redditizio, anche con i prezzi odierni dell'energia (troppo bassi).

Sotto l'aspetto energetico, negli impianti di ricupero del calore occorre tener conto degli aspetti seguenti:

- il fabbisogno di energia per il riscaldamento e l'eventuale umidificazione dell'aria esterna vengono ridotti.
- Il fabbisogno di energia per il trasporto dell'aria viene aumentato a causa della perdita di pressione nel sistema RDC (eventualmente compresi i filtri accessori per l'aria viziata) e crea, di conseguenza, un fabbisogno di energia supplementare per gli impianti ausiliari (ad es. per un circuito intermedio acqua-glicole).

Gli impianti di ricupero del calore permettono un risparmio di energia per il riscaldamento ed inoltre, se dimensionati in modo adeguato, creano i presupposti di un dimensionamento più favorevole di ulteriori componenti dell'impianto. Il sistema RDC, infatti, presenta il miglior rendimento in condizioni estreme (massime differenze di temperatura, rispettivamente di entalpia), ciò che gli permette di eliminare le punte di carico.

Per progettare correttamente gli impianti di ricupero del calore, bisogna non solo conoscere il rendimento dei componenti nel punto d'esercizio ideale, ma conoscere anche il loro comportamento in condizioni d'esercizio differenti. Poiché gli impianti di ricupero del calore necessitano anche di energia, in ultima analisi interessa l'utile netto. Gli impianti di ricupero del calore non dovrebbero perciò essere dimensionati per la temperatura esterna più bassa (o più elevata), per le quali deve essere ancora sufficiente l'impianto di ventilazione, bensì per il miglior grado di utilizzazione annuale.

Si fa una distinzione tra il rendimento massimo possibile ed il rendimento ottimale dell'impianto di ricupero del calore. In un impianto di ventilazione con una forte accumulazione di calore estraneo, l'impianto ottimale di ricupero del calore sarà progettato e dimensionato in altro modo che non nel caso in cui sia presente soltanto una debole accumulazione di calore estraneo.

Al momento del dimensionamento occorre tener conto di molte condizioni non tecniche, quali il prezzo dei combustibili fossili e dell'elettricità, le percentuali corrispondenti del rincaro, gli interessi attuali e futuri del capitale, il periodo d'ammortamento, nonché gli obiettivi generali dello sforzo fatto per conseguire un risparmio. L'impianto ottimale di ricupero del calore non è quindi determinato soltanto da dati tecnici, ma anche da molte ipotesi economiche e di politica ambientale.

Il presupposto della progettazione dell'impianto RDC e di tutto l'impianto di ventilazione e di condizionamento deve essere un'analisi accurata di minimizzazione dei bisogni. D'altra parte, una ripartizione razionale degli impianti, nonché dei mezzi di comando e di regolazione adeguati, costituiscono le condizioni essenziali per un funzionamento parsimonioso e conforme al fabbisogno.

Per gli studi preliminari il progettista può basarsi su differenti nuove pubblicazioni. Basi fondamentali utili si trovano nel quaderno «Il ricupero del calore negli impianti di ventilazione e condizionamento» del programma d'impulso per l'impiantistica 1987 [4.8]. Dati utili si trovano anche nella direttiva 89-1 della SITC [4.21] che ogni progettista dovrebbe conoscere.

Una prima panoramica concernenti possibili sistemi RDC, a seconda della situazione, è fornita dalla figura 4.2.

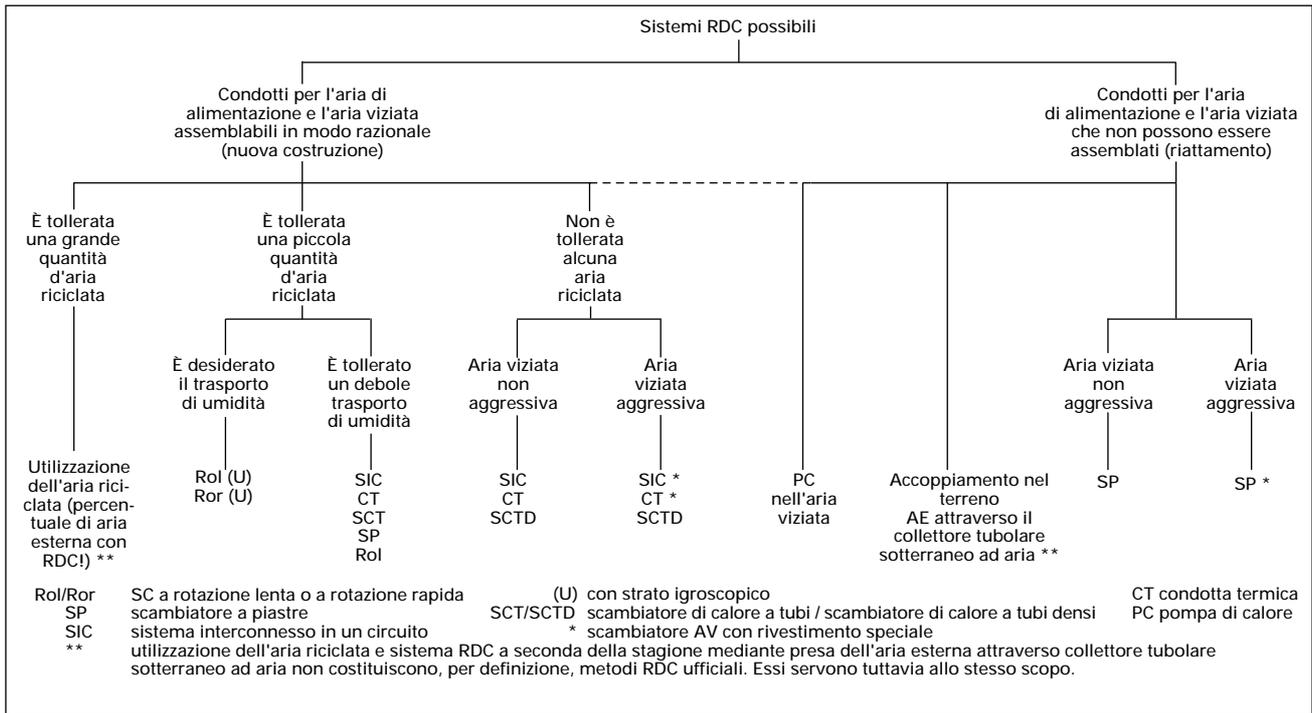
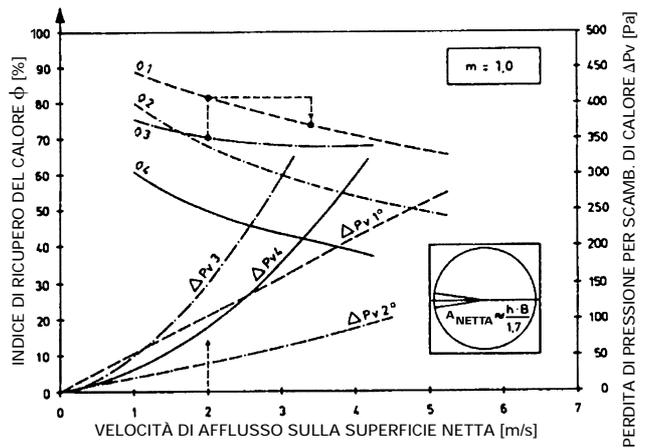


Figura 4.2  
Tabella dei criteri per una prima scelta tra le diverse possibilità di sistemi [4.8 completato]

Sulla base delle condizioni locali e di utilizzazione tecnica tutti i sistemi che entrano in considerazione devono essere dimensionati ed ottimizzati per mezzo dei dati grafici forniti dal produttore.

Oggi purtroppo soltanto i sistemi interconnessi in un circuito possono essere ottimizzati in modo affidabile sulla base di calcoli. Per gli altri sistemi (in particolare per i rotori rigenerativi) mancano ancora ampiamente le basi, rispettivamente non sono ancora state elaborate.

La figura 4.3 dimostra che gli indici di ricupero del calore e le perdite di pressione dei diversi componenti del sistema RDC devono essere confrontati tra di loro alle stesse condizioni di flusso.



- 1 Scambiatore di calore a rotazione ET12, RT10, PT10
- 2 Scambiatore di calore a rotazione ET7, PT5
- 3 Scambiatore a glicole 10RR / 2.5 mm, A (netta) = h·B
- 4 Condotta termica 6RR / 3.2 mm, diritta
- \* Dati del prospetto inverosimili

Figura 4.3  
Esempio di un paragone tra le prestazioni [4.8]

Nella prassi le condizioni di spazio pongono spesso chiari limiti. Le limitazioni reali di spazio fanno in modo che il paragone debba essere relativizzato. Se, ad esempio, deve essere fatto un paragone tra la variante con sistema a circuito e la variante a rotore, è opportuno chiedersi dapprima a quali velocità di afflusso abbia luogo l'esercizio. In un apparecchio di ventilazione la velocità di afflusso sul rotore è di circa 1.5-1.7 volte superiore a quella di uno scambiatore di calore a glicole, in cui lo spazio a disposizione viene sfruttato in modo migliore. Questo aumento della velocità ha come conseguenza un minor rendimento del rotore (a causa della mancanza di spazio) dal 5 al 10%. Tali rapporti, non immediatamente riconoscibili al momento del lavoro di progettazione usuale, rendono necessario il paragone solo tra varianti concrete.

Per motivi economici lo scambiatore a piastre è praticamente l'unica soluzione possibile nei piccoli impianti. Ma anche per questo sistema oggi mancano ancora dati di progettazione soddisfacenti. I fabbricanti dovrebbero in particolare pubblicare dati più precisi per quanto riguarda il pericolo di gelo e le misure da adottare a questo proposito [4.2].

Durante il lavoro pratico di progettazione l'ingegnere RDC prosegue normalmente in modo graduale. Uno strumento utile per i primi studi del sistema è costituito dalla curva della frequenza cumulativa delle temperature del punto scelto (cfr. figura 4.4). Se sono in gioco anche processi di umidificazione e di deumidificazione la curva della frequenza cumulativa è inoltre adatta nel caso dell'umidità assoluta che risulta dal rapporto probabile tra temperatura ed umidità. Al contrario del caso dell'impiego della curva della frequenza cumulativa per l'entalpia, sarà possibile mostrare e giudicare in modo differenziato l'importanza di variazioni della temperatura e dell'umidità. I dati meteorologici per differenti luoghi della Svizzera si trovano in [4.14].

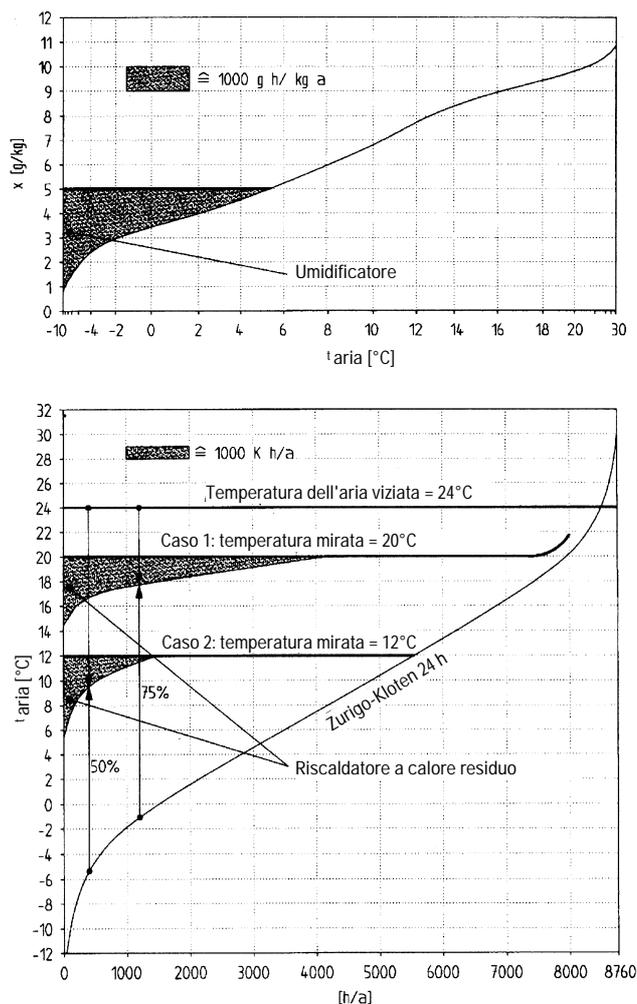


Figura 4.4  
Esempio di dimensionamento di un sistema RDC con curve della frequenza cumulativa della temperatura e dell'umidità

Nel caso 2 dell'esempio della figura 4.4 (temperatura mirata 12°C) un RDC di 50% è uguale (oppure perfino leggermente migliore) di un RDC di 75% come nel caso 1, in cui l'aria deve essere riscaldata ad una temperatura mirata di 20°C.

In questo stadio i rendimenti dei componenti possono essere utilizzati, sotto forma di valutazioni, con sufficiente esattezza. Questo lavoro di progettazione sfocia non di rado in una rielaborazione di tutto il sistema e, di conseguenza, in un miglioramento delle condizioni limite per il RDC - se del caso con effetti che si ripercuotono anche sul progetto architettonico.

Un vantaggio di questa tecnica di progettazione è costituito dal fatto che essa permette un paragone grafico dei gradi ore che risultano ogni anno per le diverse possibilità di soluzione. La quantità di calore annuo viene calcolata moltiplicando i gradi ore per la capacità termica media. Qualora abbiano importanza anche l'umidificazione e la deumidificazione, viene utilizzata in modo complementare anche la curva della frequenza cumulativa per l'umidità assoluta, nel qual caso i grammi ora per anno esprimono la superficie equivalente.

Quando si hanno a disposizione questi studi è razionale prendere contatto con i fornitori dei singoli componenti. A seconda delle loro conoscenze e delle loro capacità tecniche essi potranno proporre un'ottimizzazione più o meno fidata. È questo l'ultimo momento in cui il progettista ha la possibilità di chiarire che nella seconda fase di progettazione, ossia durante la progettazione per l'esecuzione, possono essere considerati solo i componenti per i quali il produttore è in grado di dare precise indicazioni:

- nel caso d'impianti da medi a grandi fanno parte di queste informazioni un'ottimizzazione dettagliata e verificabile delle varianti d'esecuzione possibili secondo criteri di ottimizzazione a scelta. In questo campo sono ad esempio compresi i circuiti idraulici dei fluidi, le variazioni geometriche delle lamine, le forme delle piastre, le ondulazioni, le resistenze, l'utilizzazione di energia ausiliaria, gli ammortamenti, ecc.
- A ciò si aggiungono i dati concernenti la protezione contro la corrosione e la durata di vita che ci si può aspettare con l'influsso corrispondente della potenza e dei costi d'acquisto.
- A ciò si aggiungono inoltre anche i dati concernenti il fabbisogno di energia e l'inquinamento dell'ambiente per la produzione e l'eliminazione dei componenti.

La figura 4.5 indica l'andamento dell'energia netta recuperata in funzione dell'indice di recupero del calore per due diverse temperature limite. Nel caso dell'impianto A il calore può essere sfruttato soltanto fino ad una temperatura di 12°C, poiché all'aria esterna trattata si aggiunge ancora aria riciclata. Ciò significa che l'impianto RDC è in funzione solo a temperature esterne minori di circa 11°C. L'indice di recupero del calore ottimale è per questo motivo  $\phi = 60\%$ . Nel caso dell'impianto B il calore può tuttavia essere sfruttato fino ad una temperatura di 20°C. Da

ciò risulta un indice di recupero del calore ottimale di  $\phi = 82\%$ , che viene limitato a causa del fatto che l'aria di smaltimento non deve essere raffreddata ulteriormente a causa del pericolo di gelo.

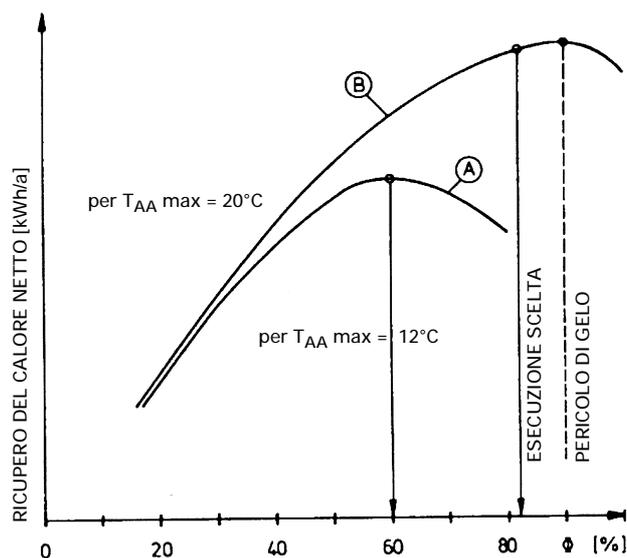


Figura 4.5  
Dipendenza dell'esecuzione ottimale dai settori di utilizzazione [4.8]

Un impianto RDC non dovrebbe mai essere definito solo con una potenza o un rendimento in uno solo punto d'esercizio, bensì mediante l'energia netta recuperata annualmente. Occorre tener conto di questo fatto al momento della messa al bando (cfr. [4.21]).

## 4.4 Ventilazione di appartamenti

### Principi

- La ventilazione di appartamenti in Svizzera avviene secondo sistemi tradizionali, ossia mediante l'apertura più o meno razionale delle finestre e a causa della mancanza di tenuta stagna della costruzione. Un recupero del calore non è possibile con questo tipo di ventilazione.
- Nelle regioni con periodi di riscaldamento lunghi la ventilazione di base degli appartamenti avviene per lo più mediante semplici impianti meccanici muniti di RDC.
- Se in Svizzera si esamina l'utilizzazione di una ventilazione meccanica degli appartamenti sulla base di condizioni limite particolari (rumore, sporcizia, sicurezza, debole fabbisogno di energia globale) occorre tener conto dell'energia elettrica ausiliaria necessaria corrispondentemente alla sua importanza (vedi riquadro alla fine del capitolo).
- Con i prezzi odierni dell'energia e secondo punti di vista puramente economici, le ventilazioni meccaniche degli appartamenti costituiscono investimenti poco redditizi. Nel caso di un dimensionamento adeguato esse possono tuttavia contribuire alla riduzione del consumo di energia negli edifici.

Evitando i ponti termici e gli isolamenti insufficienti non si riducono soltanto il consumo di energia e l'inquinamento ambientale, ma si aumenta anche il comfort, segnatamente:

- temperature maggiori delle superfici interne offrono una sensazione di comfort anche con una temperatura ambiente minore.
- Grazie alle potenze calorifiche minori dei corpi riscaldanti si manifestano minori vortici d'aria e di pulviscolo.
- Temperature ambientali minori ed inquinamenti minori dovuti al pulviscolo fanno in modo che un'umidità ambiente meno elevata sembri ancora confortevole.

- Le temperature minori dei corpi riscaldanti permettono l'utilizzazione di produttori di calore che presentano un livello di temperatura meno elevato e, di conseguenza, un'utilizzazione di calore ambiente e di calore residuo mediante pompe di calore.

Se la finestra con la sua intelaiatura è strutturata in modo da poter essere ottimizzata mediante possibilità d'isolamenti flessibili e di creazione d'ombra, le misure di risparmio energetico potranno permettere, anche in questo caso, miglioramenti del comfort e semplificazioni sotto l'aspetto tecnico:

- durante il periodo di riscaldamento la finestra energeticamente buona permette la penetrazione di calore solare nella quantità desiderata ed evita irradiazioni troppo elevate in estate.
- La finestra buona sotto l'aspetto della coibentazione termica ed a tenuta stagna permette non soltanto di diminuire le dimensioni dei corpi riscaldanti, ma anche di modificare la loro ripartizione sulla facciata evitando di installarne uno sotto ogni finestra.

Con questi presupposti perfino il riscaldamento tramite il pavimento può diventare nuovamente un sistema di riscaldamento assolutamente razionale, giacché la temperatura del pavimento deve essere solo di 1-2 K superiore alla temperatura dell'aria del locale. Nel caso di una temperatura di andata limitata si verificherebbe inoltre uno scambio di calore tra i locali molto caldi ed i locali più freddi.

Dipende da diverse condizioni limite il modo in cui l'aria esterna necessaria, possibilmente adeguata al fabbisogno, penetra all'interno dell'edificio e da questo esce nuovamente all'esterno portando seco il massimo di emissioni possibile. Nel caso della ventilazione di appartamenti bisogna fare una distinzione tra i diversi tipi di case e tra condizioni di locazione e condizioni di proprietà. Un ulteriore parametro che non bisogna sottovalutare è costituito dall'occupazione dell'appartamento, più o meno continua durante il corso della giornata, oppure con lunghi periodi di assenza per motivi professionali.

L'architetto che si occupa di case unifamiliari può spesso combinare il necessario approvvigionamento di aria esterna con lo sfruttamento passivo dell'energia solare, nella misura in cui l'aria viene aspirata e preriscaldata attraverso elementi principali del rivestimento esterno riscaldati mediante l'irradiazione

ne solare. Spesso le «superfici con collettori» a disposizione e lo spazio per i canali di ventilazione dimensionati in modo generoso sono sufficientemente grandi da permettere di rinunciare a ventilatori azionati elettricamente. Nel caso di costruzioni più alte, i collegamenti interni su parecchi piani permettono di trarre profitto dalle correnti ascendenti naturali. Gli sforzi che ne derivano sono tuttavia molto utili, giacché il tipo di casa unifamiliare libera è senz'altro molto più sfavorito sotto l'aspetto energetico di quanto non lo siano costruzioni più addensate. Ventilatori di qualsiasi tipo non dovrebbero essere utilizzati se non quando sia possibile garantire un buon fattore di amplificazione termoelettrica (vedi riquadro al termine del presente paragrafo).

Nella casa plurifamiliare il sistema di ventilazione è generalmente meccanico a causa delle condizioni di spazio più ristrette e del livello di occupazione notevolmente più elevato. In tale caso il progettista deve decidere sia per una soluzione più o meno decentralizzata, sia per una soluzione centralizzata. Anche in questo caso occorre ovviamente lavorare con quantità di aria di alimentazione minimizzate. Le prese dell'aria viziata si concentrano nei locali con elevato fabbisogno di ricambio d'aria, ossia le cucine, i bagni ed i WC.

Astrazione fatta del dispendio più elevato per la progettazione e per la direzione dei lavori, i sistemi di ventilazione centralizzati in modo razionale presentano notevoli vantaggi rispetto a quelli decentralizzati:

- la presa dell'aria esterna e gli sbocchi dell'aria di smaltimento sono più facilmente controllabili sotto l'aspetto dell'igiene dell'aria.
- I cicli legati alle stagioni, nonché al giorno ed alla notte possono essere sfruttati per il recupero del calore (ad es. collettore tubolare sotterraneo).
- I sistemi RDC di grandi dimensioni sono più efficienti di parecchi sistemi singoli di piccole dimensioni.
- I ventilatori e gli azionamenti di grandi dimensioni hanno chiaramente rendimenti migliori dei piccoli ventilatori.
- Le perdite di pressione un po' più elevate per il trasporto dell'aria presentano il vantaggio che la distribuzione dell'aria viene disturbata solo minimamente da influssi esterni, quali il vento e le correnti ascendenti.

- Occorre dedicare una grande attenzione al filtraggio dell'aria.
- Le spese e gli utili di sistemi centralizzati possono essere più facilmente misurati e valutati.

Sul piano economico/ecologico la ventilazione meccanica delle abitazioni non dovrebbe costare più di 450.- franchi per megawattora risparmiati annualmente (valore sperimentale dell'Ufficio dell'energia del canton Zurigo, stato 1992).

Per quanto concerne l'utilizzazione razionale di energia elettrica, è importante verificare il fattore di amplificazione elettrotermica e, se del caso, correggerlo!

---

Il concetto di amplificatore elettrotermico è stato introdotto e definito in [4.4]. Esso indica il rapporto tra l'energia termica prodotta oppure l'energia fossile economizzata e l'energia elettrica consumata. I valori tipici per l'amplificazione elettrotermica (AET) sono i seguenti:

AET = ca 3	per pompe di calore a motore elettrico
AET = ca 7-25	per il recupero del calore oppure l'utilizzazione del calore residuo con energia elettrica utilizzata quale energia ausiliaria
AET = ca 5-10	per impianti moderni di aria di ricambio, in confronto ad impianti convenzionali
AET = ca 7.5-15	per veicoli elettrici leggeri in paragone ad automobili convenzionali con motore a benzina

Per tener conto della grande efficacia dell'energia elettrica e dei rischi che possono insorgere al momento della sua produzione, l'amplificazione elettrotermica media di sistemi razionali dovrebbe essere superiore a 3.

---

## 4.5 Necessità di un raffreddamento dell'aria ambiente

### Principi

- I criteri validi per la valutazione della necessità di un raffreddamento dell'aria ambiente sono reperibili alla cifra 5.2 della raccomandazione SIA V382/3 [4.19]. Occorre inoltre rispettare anche le prescrizioni emanate dalle autorità.
- Un presupposto basilare per la prova del fabbisogno di un raffreddamento dell'aria ambiente è costituito dal rispetto delle esigenze edilizie minime. Ciò vale in modo particolare per una protezione esterna efficace contro il sole e per una capacità di accumulazione termica sufficiente della costruzione.
- Il fabbisogno di un raffreddamento dell'aria ambiente è dato quanto è soddisfatto uno dei criteri seguenti:
  - caso speciale con esigenze particolari per quanto concerne il clima ambiente
  - carichi interni elevati
  - temperatura dell'aria ambiente massima d'estate troppo elevata senza raffreddamento (cfr. paragrafo 3.1.3.1)
  - impianto ottimo sotto l'aspetto energetico anche con il raffreddamento. Soprattutto nel caso di un'utilizzazione delle nuove tecnologie con raffreddamento per radiazione e raffreddamento mediante la massa dell'edificio, un raffreddamento può essere spesso realizzato senza un consumo più elevato di energia.
- Il fabbisogno di energia per un raffreddamento meccanico può essere ridotto oppure addirittura soppresso qualora si utilizzino le tecniche seguenti:
  - ventilazione notturna (paragrafo 4.7)
  - raffreddamento della soletta di calcestruzzo (paragrafo 4.8)
  - soffitti freddi (paragrafo 4.9)
  - collettore tubolare sotterraneo ad aria (paragrafo 4.10)
  - sonde geotermiche (paragrafo 4.11)

## 4.6 Necessità di un'umidificazione dell'aria ambiente

### Principi

- I criteri validi per la valutazione della necessità di un'umidificazione dell'aria ambiente sono reperibili alla cifra 5.3 della raccomandazione SIA V382/3 [4.19]. Occorre inoltre rispettare anche le prescrizioni emanate dalle autorità.
- La prova del fabbisogno di un'umidificazione dell'aria ambiente è data quanto è soddisfatto uno dei criteri seguenti:
  - caso speciale con esigenze particolari per quanto concerne il clima ambiente
  - l'umidità minima dell'aria ambiente è troppo bassa senza umidificazione (cfr. paragrafo 3.1.3.3).
- Negli edifici adibiti ad ufficio e ad abitazione non è in generale necessaria alcuna umidificazione dell'aria ambiente. I reclami a causa dell'aria troppo secca sono spesso da ascrivere a temperature dei locali troppo elevate, a quantità d'aria esterna troppo elevate, ad un contenuto troppo elevato di pulviscolo nell'aria oppure ad altri corpi estranei presenti nell'aria.

## 4.7 Ventilazione notturna

### Principi

- D'estate con l'aiuto di una ventilazione notturna adeguata può essere attivata la capacità di accumulazione termica delle pareti che delimitano i locali e dell'arredamento, ciò che rende possibile una riduzione sensibile delle temperature estive massime dei locali.
- Per una ventilazione notturna efficace le superfici che delimitano i locali devono avere una capacità di accumulazione termica sufficiente e durante le ore notturne occorre ottenere un ricambio d'aria esterna di almeno  $3 \text{ h}^{-1}$  mediante la ventilazione attraverso le finestre oppure con un impianto di ventilazione e di condizionamento.
- Nel caso di una ventilazione meccanica, per la valutazione della necessità di una ventilazione notturna occorre tener conto del fabbisogno d'energia più elevato per il trasporto dell'aria.

Impianti di ventilazione efficaci con raffreddamento o impianti di condizionamento sono stati installati fino a poco tempo fa più o meno senza riflettere tanto. Oggi si tenta, in modo più intelligente e piacevole, di rimediare alla mancanza di comfort dovuta a temperature troppo elevate dell'aria ambiente anche senza un raffreddamento meccanico. Uno di questi modi è costituito dalla ventilazione notturna.

Chi ha la fortuna di poter lasciare aperte le proprie finestre durante i periodi di grande calore estivo conosce il benessere offerto dall'aria notturna rinfrescante. La massa dell'edificio all'interno dei locali e l'arredamento restituiscono all'aria notturna il calore che hanno immagazzinato durante il giorno. Al mattino l'utente inizia la giornata con una massa di accumulazione raffreddata che durante il giorno può nuovamente assorbire il calore senza che la temperatura dell'aria ambiente debba raggiungere valori troppo elevati.

La figura 4.6 illustra l'andamento tipico della temperatura dell'aria esterna durante un giorno estivo con una temperatura massima di  $30^\circ\text{C}$  ed un'ampiezza di  $7.5 \text{ K}$  [4.18]. Il massimo della temperatura esterna dell'aria si verifica circa attorno alle ore 16, mentre il minimo è alle ore 4 (ora legale).

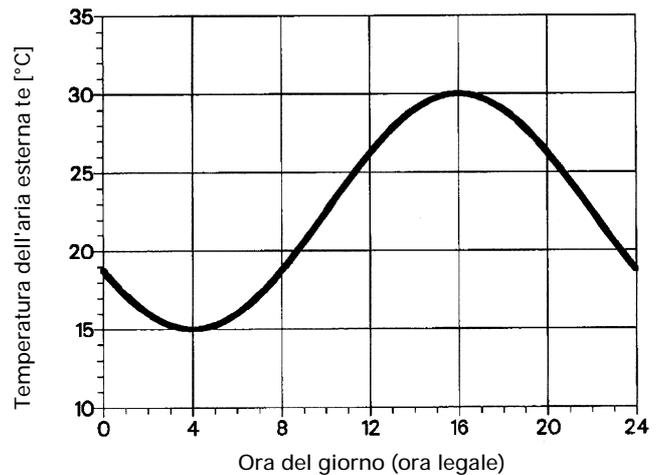


Figura 4.6  
Andamento giornaliero della temperatura dell'aria esterna in un caldo giorno estivo [4.18]

Per una ventilazione notturna efficace devono essere adempite le condizioni seguenti:

- l'aria esterna deve essere di almeno  $2 \text{ K}$  più fredda dell'aria del locale. Secondo la figura 4.6 esistono buoni presupposti per una ventilazione notturna efficace soprattutto dalle ore 23 fino all'inizio del lavoro.
- La costruzione deve essere almeno di pesantezza media e con una massa di accumulazione per locale di  $m > 350 \text{ kg/m}^2$ , secondo SIA V382/2, cifra 5.2. Particolarmente favorevoli sono le solette di calcestruzzo visibili e le pareti massicce, mentre sono sfavorevoli i rivestimenti termici o acustici sul lato interno degli elementi della costruzione.
- L'aria fresca della notte deve fluire per quanto possibile direttamente lungo gli elementi accumulatori della costruzione. Per una ventilazione notturna efficace, il ricambio d'aria deve essere di almeno  $3 \text{ h}^{-1}$ . La ventilazione notturna può aver luogo attraverso le finestre oppure mediante un impianto di ventilazione e di condizionamento. Nel caso della ventilazione attraverso le finestre occorre tener conto degli aspetti costituiti dalla sicurezza, dalla protezione contro le intemperie, dall'inquinamento fonico e dall'inquinamento ambientale. Nel caso di una ventilazione meccanica occorre invece tener conto del fabbisogno d'energia per il trasporto dell'aria. Per la riduzione della stessa durante il funzionamento della ventilazione notturna è raccomandabile l'inserimento di un by-pass dei componenti per il trattamento dell'aria. Eventualmente è sufficiente anche l'utilizzazione del solo sistema per l'asportazione dell'aria viziata. Anche in questo caso il fattore di amplificazione elettrotermica (paragrafo 4.4) costituisce uno strumento di valutazione utilizzabile.

## 4.8 Raffreddamento di solette di calcestruzzo

### Principi

- Rispetto alla ventilazione notturna (paragrafo 4.7) un'attivazione notevolmente migliore della capacità di accumulazione termica è possibile mediante il raffreddamento delle solette di calcestruzzo con tubi annegati nel calcestruzzo stesso e percorsi da una corrente d'acqua. Questa soluzione presenta due vantaggi decisivi:
  - il trasporto del calore avviene mediante l'acqua ed è, di conseguenza, notevolmente più efficiente di quello effettuato con l'aria.
  - L'asportazione del calore non avviene durante il giorno poiché allora lo stesso viene accumulato, bensì durante la notte quando l'aria fresca è a disposizione per un esercizio free cooling.
- Contrariamente ai soffitti freddi a radiazione diretta (paragrafo 4.9), diventati molto di moda, il raffreddamento delle solette di calcestruzzo, spostato di fase, impedisce un comportamento irresponsabile da parte degli utenti, poiché di giorno non v'è a disposizione alcuna macchina frigorifera per eliminare i carichi.

Nelle nuove costruzioni e nelle costruzioni riattate munite di solette di calcestruzzo, il raffreddamento tramite le solette permette di attivare la grande capacità di accumulazione termica del calcestruzzo in modo ancora superiore di quanto sia possibile con la ventilazione notturna menzionata al paragrafo 4.7.

L'asportazione del calore accumulato durante la giornata avviene mediante tubi di raffreddamento annegati nel calcestruzzo. Per questo si utilizza acqua che ha un'efficacia maggiore dell'aria ed una capacità di trasporto parimenti maggiore. Il calore accumulato dall'acqua può essere asportato con l'aria notturna per mezzo di un refrigeratore dell'aria. Spesso è sufficiente anche il livello di temperatura del sottosuolo per raffreddare l'aria circolante alla temperatura desiderata di circa 19°C. In questo caso il fattore di amplificazione elettrotermica è ancora più favorevole che non mediante il refrigeratore dell'aria.

La figura 4.7 mostra una simulazione dinamica ad una dimensione di una soletta di calcestruzzo raffreddata da un lato in superficie mediante aria e dall'altro mediante tubi d'acqua annegati nella massa del calcestruzzo stesso. Ammesso che la temperatura dell'aria è di 17°C e che l'acqua, a causa delle perdite nello scambiatore di calore, è a 19°C, risulta chiara la superiorità del raffreddamento delle solette di calcestruzzo mediante tubi annegati percorsi dall'acqua, in paragone ad un raffreddamento notturno convenzionale.

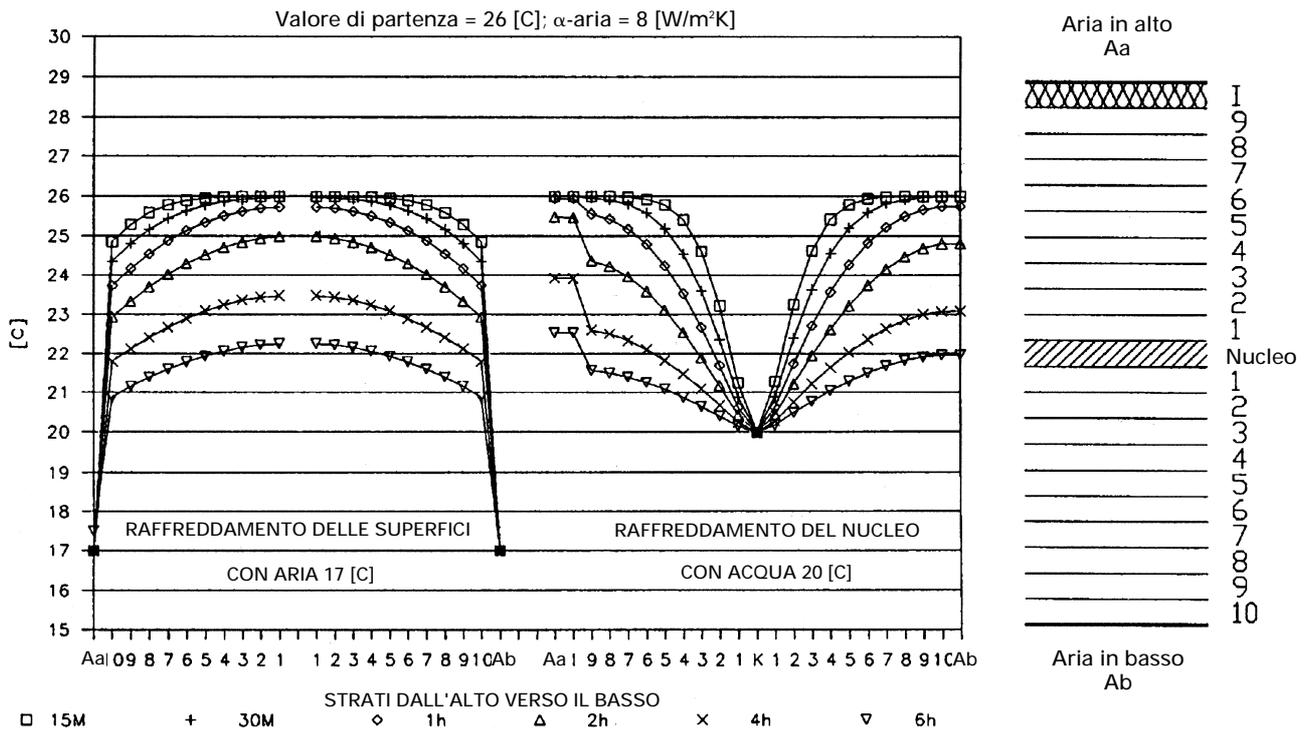


Figura 4.7  
 Paragone tra il raffreddamento di una soletta di calcestruzzo con aria sulle superfici e con tubi con acqua annegati nel nucleo del calcestruzzo, per differenti lassi di tempo [4.11] (M = minuti, h = ore)

## 4.9 Soffitti freddi

### Principi

- I soffitti freddi sono formati da elementi cavi, disposti al di sotto della soletta e attraversati sia dall'acqua, sia dall'aria. Si tratta di un mezzo dolce, ma efficace di raffreddamento del locale.
- Al momento del dimensionamento dei soffitti freddi occorre tener conto del fatto che deve essere evitata la formazione di acqua di condensazione.
- La comodità e l'efficacia dei soffitti freddi incita l'utente a maggiori esigenze per quanto concerne il comfort ed anche ad un comportamento troppo spensierato. Occorre limitare la potenza di raffreddamento alla quantità realmente necessaria, onde evitare un consumo inutile di energia.

Dieci o quindici anni fa il controsoffitto è caduto in disuso, soprattutto per motivi igienici. Esso è stato sostituito da sistemi nei quali l'aria di alimentazione è addotta attraverso canali o tubi alle prese per l'aria stessa. A nessuno è passato per la mente che allo stesso tempo si perdeva una superficie di raffreddamento efficace. L'aria di alimentazione veniva infatti soffiata ad una temperatura di 16°C attraverso il vuoto del controsoffitto, cosicché lo stesso faceva il proprio servizio quale superficie irradiante.

Dopo aver dimenticato per alcuni anni questo «soffitto refrigerante», esso è stato riscoperto sotto una nuova forma. Invece del raffreddamento mediante ventilazione esso è stato provvisto, soprattutto per carichi maggiori, di un raffreddamento ad acqua notevolmente più efficace. Un ulteriore e forse ancora maggiore «vantaggio» risiede nel fatto che viene a cadere il faticoso calcolo delle perforazioni sistemate a forma di scacchiera. Al contrario, i produttori odierni di soffitti freddi prendono letteralmente a braccetto, con le parole e con i fatti, il progettista entusiasta!

È naturalmente ovvio che mediante un soffitto raffreddato ad acqua il calore può essere asportato fuori da un locale in modo notevolmente più conveniente che non con un sistema che funziona puramente ad aria.

Contemporaneamente non si presta spesso attenzione al fatto che il soffitto freddo, molto confortevole ed efficace, incita l'utente ad esigenze più elevate per quanto concerne il comfort, nonché ad un suo comportamento più spensierato. Ad esempio, il fatto di non abbassare una tapparella con sufficiente tempestività non provoca certo immediatamente nell'utente un senso di mancanza di comfort!

Occorre anche tener conto del fatto che i soffitti ad irradiazione raffreddati in modo diretto hanno bisogno del loro mezzo refrigerante proprio nel momento in cui fa più caldo e quando la produzione di freddo necessita in modo specifico di una maggior quantità di energia elettrica.

Il sistema moderno dei soffitti freddi è il benvenuto per risolvere i difficili problemi di raffreddamento. Occorre tuttavia sincerarsi che il dimensionamento corrisponda alle esigenze e non scordare che lo strato di calcestruzzo situato proprio al di sopra può senz'altro prender parte senza ostacoli al ruolo dinamico di tampone di accumulazione.

## 4.10 Collettore tubolare sotterraneo ad aria

### Principi

- Con i collettori tubolari sotterranei ad aria, l'aria esterna viene aspirata attraverso un sistema di tubazioni interrato per riscaldare l'aria esterna d'inverno e raffreddarla d'estate.
- Il potenziale energetico del collettore tubolare sotterraneo ad aria è molto elevato, poiché è relativamente piccolo il dispendio complementare di energia ausiliaria (corrente elettrica).
- Per non pregiudicare la qualità igienica dell'aria di alimentazione, nel collettore tubolare sotterraneo ad aria occorre evitare la formazione di sacche di condensazione e garantire buone possibilità di controllo e di pulitura.

Negli impianti per l'aria di ricambio muniti di collettore tubolare sotterraneo ad aria, l'aria esterna viene aspirata attraverso tubazioni poste nel terreno, ad esempio sotto le lastre di rivestimento. Con questo sistema l'aria esterna viene riscaldata d'inverno e raffreddata d'estate. La temperatura del terreno attorno alle tubazioni e, di conseguenza, il rendimento del collettore tubolare sotterraneo ad aria, vengono fortemente influenzati dalla natura del suolo (contenuto d'acqua) e dalla temperatura del locale situato immediatamente al di sopra dello stesso (cantine o autorimesse non riscaldate). I collettori tubolari sotterranei ad aria sono perfettamente indicati per ridurre le punte di carico che si manifestano per breve tempo in estate ed in inverno.

La figura 4.8 illustra l'esempio di un collettore tubolare sotterraneo ad aria nella sua fase di costruzione; si tratta di 43 tubi posati nella falda freatica. I tubi di materia sintetica, lunghi 23 m, con un diametro interno di 23 cm sono disposti a 1.15 m trasversalmente all'edificio ed a 0.80 m sotto la soletta in pendenza.

Con questo collettore tubolare sotterraneo ad aria sono state raggiunte le prestazioni seguenti (valori misurati):

- estate (temperatura dell'aria esterna = 32°C):  
temperatura di uscita dal collettore = 22°C  
potenza di raffreddamento = 55 kW (17150 m<sup>3</sup>/h)

- inverno (temperatura dell'aria esterna = -11°C):  
temperatura di uscita dal collettore = 6°C  
potenza di riscaldamento = 65 kW (12000 m<sup>3</sup>/h)

Negli edifici con impianti per l'aria di ricambio l'utilizzazione di un collettore tubolare sotterraneo ad aria è redditizia se, in combinazione con una ventilazione notturna, si può rinunciare ad un impianto frigorifero. In tal caso è possibile costruire edifici che favoriscono il risparmio energetico ed offrono un livello di comfort elevato, come ad esempio:

- edifici per uffici
- costruzioni per l'industria ed il commercio
- scuole
- case unifamiliari e plurifamiliari.

Il collettore tubolare sotterraneo ad aria viene fatto funzionare in estate ed in inverno. Nella mezza stagione, con temperature dell'aria esterna oscillanti tra 6 e 21°C circa il collettore non è in esercizio, poiché il ricupero del calore è sufficiente per garantire le temperature necessarie dell'aria di alimentazione. Solo in estate il collettore viene messo nuovamente in funzione, quando la temperatura dell'aria ambiente supera un certo limite (ad es. 24°C).

In inverno ha luogo la regolazione della temperatura dell'aria di alimentazione in cascata con il ricupero del calore, in seguito con il collettore tubolare sotterraneo ad aria (regolazione progressiva delle valvole) ed eventualmente inserendo il riscaldatore a calore residuo. Se le temperature dell'aria di alimentazione < = 16°C sono sufficienti, nel caso di un dimensionamento corretto del collettore tubolare sotterraneo ad aria si può rinunciare anche al riscaldatore a calore residuo.

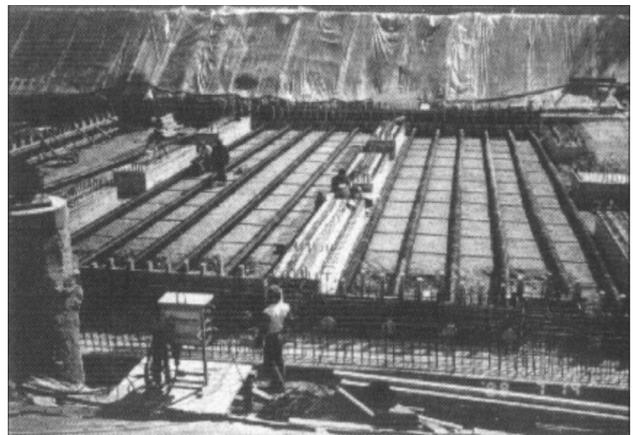


Figura 4.8  
Veduta di un collettore tubolare sotterraneo ad aria durante la sua costruzione

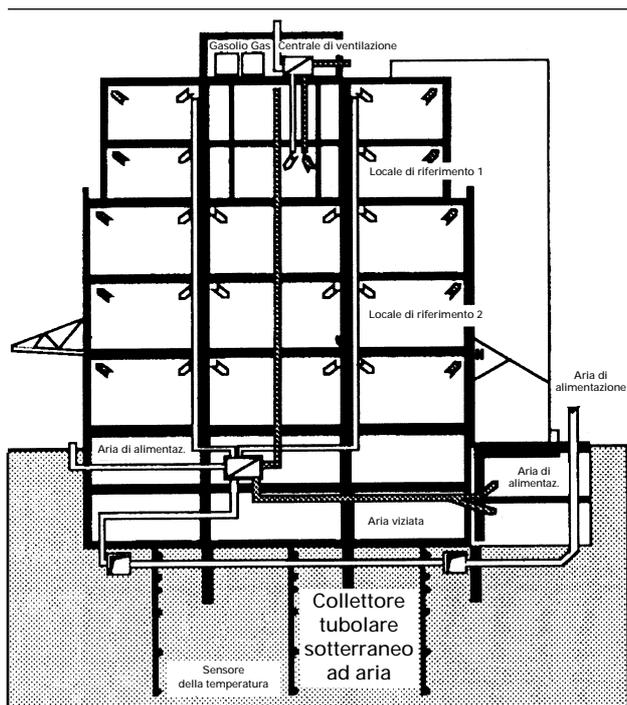


Figura 4.9  
Trasporto dell'aria in un edificio adibito ad uffici e al commercio mediante un collettore tubolare sotterraneo ad aria

Con l'ausilio del collettore tubolare sotterraneo ad aria la temperatura di alimentazione può sempre essere mantenuta al di sotto della temperatura dell'aria ambiente (presupposto per una ventilazione mediante spostamento d'aria).

Qui appresso seguono alcune semplici indicazioni concernenti il dimensionamento, delle quali occorrerebbe tener conto nel caso di un dimensionamento preliminare eseguito per una prima valutazione dei costi.

- Velocità max dell'aria:  
< 4 m/s
- Materiale per le canalizzazioni:  
tubazioni di cemento per le acque luride (suolo secco)  
tubi di PE per alta pressione (suolo bagnato)
- Lunghezza minima dei tubi:  
suolo secco > 30 m  
suolo bagnato > 20 m
- Diametro ottimale dei tubi:  
suolo secco  $\geq$  30 cm  
suolo bagnato < 25 cm

- Distanza laterale dei tubi:  
minima: 1 m  
ottimale: > 2 m
- Distanza dei tubi dalla piastra di base:  
massima possibile (almeno 0.6 m).

È inoltre opportuno tener conto di quanto segue:

- i tubi ed i collettori devono essere posati in pendenza, onde poter rimuovere un eventuale condensa.
- I collettori devono poter venire ispezionati onde poter controllare visivamente i tubi ed i loro raccordi.
- In un suolo umido i raccordi dei tubi ai collettori devono essere realizzati per mezzo di 2 manicotti a tenuta stagna posati all'esterno.

Nell'ambito del progetto di ricerca è previsto di mettere a disposizione dei progettisti un programma per PC per il dimensionamento dei collettori tubolari sotterranei ad aria per suolo secco e bagnato. Il programma permetterà di calcolare, di ora in ora, l'andamento delle prestazioni del collettore tubolare sotterraneo ad aria, tenendo conto delle più importanti condizioni limite (sistema di ventilazione, suolo, edifici).

I collettori tubolari sotterranei ad aria presentano un'amplificazione elettrotermica ottimale (definizione al paragrafo 4.4). A paragone dei sistemi convenzionali i collettori tubolari sotterranei ad aria raggiungono, in estate ed in inverno, amplificazioni elettrotermiche da 60 ad 80 (coefficiente di funzionamento delle pompe di calore < 3 e delle macchine frigorifere < 4).

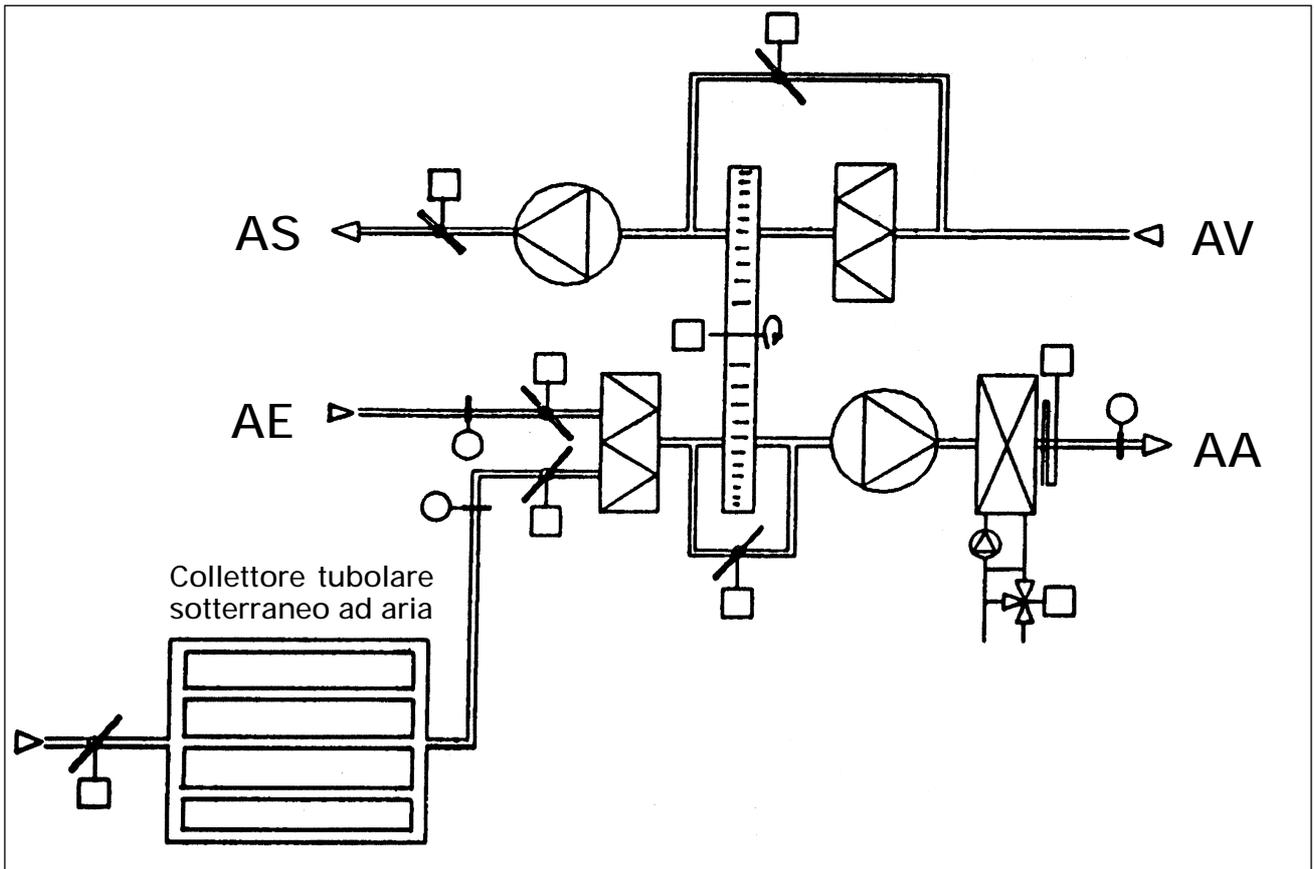


Figura 4.10  
 Schema di principio di un impianto per l'aria di ricambio con collettore tubolare sotterraneo ad aria

## 4.11 Sonde geotermiche

### Principi

- Le sonde geotermiche sono sonde verticali mediante le quali è possibile sfruttare la temperatura più o meno costante del suolo a profondità che vanno da alcune decine fino ad alcune centinaia di metri.
- In questo modo è possibile sottrarre calore dal suolo durante l'inverno, per restituirglielo in estate. Per raggiungere le temperature necessarie, in inverno deve essere utilizzata una pompa di calore. In estate la miscela acqua/glicole, che circola nelle sonde geotermiche, può essere utilizzata direttamente per il raffreddamento mediante uno scambiatore di calore.
- Per la valutazione dell'opportunità di un impianto di sonde geotermiche occorre tener conto del fabbisogno di energia per il trasporto dei mezzi.

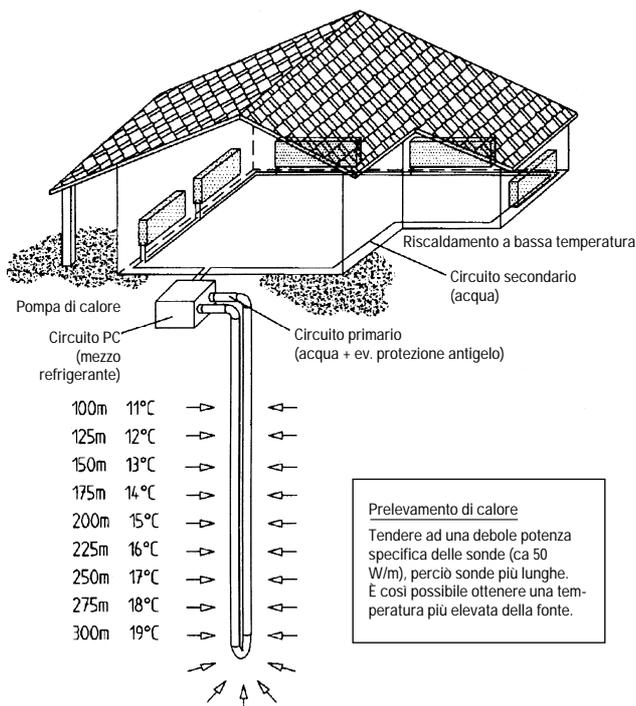


Figura 4.11  
Schema di principio di un impianto di sonde geotermiche

### 4.11.1 Riscaldamento in inverno

Per lo sfruttamento del calore del suolo a profondità che vanno da alcune decine ad alcune centinaia di metri («geotermica a bassa profondità») vengono utilizzate sonde geotermiche verticali. In questo settore l'energia utilizzabile è presente sotto forma di calore, per lo più con una temperatura minore di 20°C. Questo calore viene sottratto ad un suolo generalmente secco, ossia privo di acqua sotterranea. Una sonda geotermica consiste essenzialmente di un circuito chiuso ad acqua, il cosiddetto circuito primario. Il sistema di tubi necessario è portato in profondità mediante una o parecchie trivellazioni, per lo più verticali. Il termovettore, costituito da acqua con un'aggiunta di circa 25% vol di antigelo, viene pompato attraverso il sistema per sottrarre il calore. La miscela acqua-antigelo cede tale calore ad una pompa di calore passando attraverso uno scambiatore di calore. In tal modo non vi è alcun contatto diretto tra il mezzo refrigerante della pompa di calore ed il mezzo termovettore della sonda geotermica. Nella pompa di calore l'energia sottratta in questo modo dal circuito primario viene portata ad un livello di temperatura utilizzabile per un sistema di riscaldamento, rispettivamente di ventilazione. Con questi sistemi è possibile raggiungere coefficienti di rendimento medi dell'impianto superiori a 3 [4.3, 4.15].

### Dati critici di dimensionamento

Le ripartizioni della temperatura del suolo, che è il vero e proprio fornitore di energia, variabili durante la giornata ed anche a lunga scadenza, rendono difficile il dimensionamento ottimale di un impianto di sonde geotermiche. Al momento della progettazione di un tale impianto è quindi necessario tener conto dei dati seguenti:

- fabbisogno d'energia della casa. Esso viene determinato dalle dimensioni dell'edificio, dal tipo di costruzione, nonché dall'orientamento e dalla situazione climatica.
- La temperatura di mandata più elevata richiesta dal circuito di riscaldamento. Essa viene influenzata dalla scelta del sistema di riscaldamento (ad es. riscaldamento a bassa temperatura) e dal suo dimensionamento.
- Il risparmio energetico che s'intende ottenere. Quanto minore è il consumo di energia secondaria desiderato, tanto maggiori saranno i costi dell'impianto.

- La temperatura nel circuito primario. Essa viene determinata essenzialmente dalla geometria della sonda geotermica, dalla portata del circuito, nonché dalla natura del suolo. Regola empirica: per un numero di 2000 h/a di servizio della pompa di calore, occorre calcolare circa 20 m di lunghezza della sonda per ogni kW di potenza calorifica desiderata (50 W/m).

#### Potenzialità calorifica della pompa di calore

La potenzialità calorifica della pompa di calore deve essere calcolata con una certa generosità. Le pompe di calore dimensionate in modo troppo ristretto sono causa di lunghi periodi di servizio e di un sovraccarico dell'impianto delle sonde geotermiche. A causa della mancanza di «periodi di ripresa» (flusso di calore) la temperatura utile della fonte di calore diminuisce e, di conseguenza, diminuisce anche la potenzialità calorifica. La redditività ne risulta ostacolata e non è più possibile raggiungere le temperature ambiente desiderate.

La scelta della pompa di calore dimensionata in modo corretto costituisce quindi la prima condizione importante per la progettazione e la realizzazione di un impianto di pompe di calore efficiente. La sicurezza dell'esercizio viene di conseguenza garantita per una vasta gamma di varianti di dimensionamento della/e sonda/e geotermica/che. Una pompa di calore è tuttavia economicamente interessante e razionale sotto l'aspetto del risparmio di energia solo se può lavorare in modo efficiente. Quanto minore è la differenza di temperatura tra la fonte di calore e lo sfruttamento dello stesso, tanto maggiore sarà la quantità di calore fornita dalla fonte stessa e, di conseguenza, tanto minore sarà la percentuale di energia ausiliaria. Il bilancio dell'energia sarà di conseguenza positivo.

#### 4.11.2 Raffreddamento in estate

Le sonde geotermiche, utilizzate in inverno quali fonti di calore per le pompe termiche, in estate possono essere utilizzate per il raffreddamento dell'aria esterna. Durante i mesi estivi, ossia con temperature esterne superiori a 24°C circa, la miscela acqua/glicole che circola nella sonda geotermica viene a questo scopo trasportata in un circuito di raffreddamento. Non esistono dati sicuri sulle prestazioni di raffreddamento che ci si possono attendere, poiché finora non sono state eseguite misurazioni sistematiche. Si valuta che per circa 1000 ore di funzionamento durante l'estate

è possibile ottenere una potenza di raffreddamento di circa 50% della potenza calorifica ottenuta in inverno, ossia circa 25 W/m.

Mediante questa combinazione di sottrazione di calore in inverno a scopo di riscaldamento e di aggiunta di calore in estate a scopo di raffreddamento, è possibile migliorare il rendimento della pompa di calore.

Il fabbisogno di potenza per l'azionamento delle pompe di circolazione e del ventilatore (resistenza maggiore del refrigeratore a causa delle maggiori superfici di scambio e di temperature più elevate dell'acqua di raffreddamento) è di circa 10-15% superiore a quello di un impianto frigorifero convenzionale.

## 4.12 Comando e regolazione adeguati al fabbisogno

### Principi

- Mediante adeguate misure occorre dapprima accertarsi che gli impianti di ventilazione e di condizionamento siano in servizio soltanto quando ciò è necessario.
- Durante il funzionamento degli impianti occorre fare in modo che gli stessi lavorino per quanto possibile secondo il fabbisogno e che adempiano il proprio compito con un dispendio d'energia per quanto possibile limitato.
- Le misure più semplici, quali la commutazione manuale ed i temporizzatori, sono spesso le più efficaci. Nel caso di un dimensionamento degli impianti adeguato al fabbisogno, le soluzioni costose con un flusso volumetrico variabile hanno un'importanza minore di quanto non lo si credesse ancora alcuni anni fa.

Il modo più semplice per adattare il funzionamento dell'impianto di ventilazione al fabbisogno è ancora costituito dall'inserimento e dal disinserimento dell'impianto stesso. Ciò può avvenire come segue:

- commutatore manuale  
Viene azionato quando si entra o si esce dal locale, oppure mediante ventilazione tramite le finestre. L'efficacia del commutatore manuale varia secondo la disciplina degli utenti.
- Temporizzatore  
Nel caso di utilizzazioni con un andamento giornaliero e settimanale definito, un temporizzatore può offrire servizi validi con poca spesa.
- Contatto d'apertura di finestre  
A finestre aperte il funzionamento di un impianto di ventilazione rappresenta chiaramente uno spreco di energia. Mediante contatti d'apertura delle finestre può essere ottenuto un disinserimento automatico dell'impianto di ventilazione quando la finestra viene aperta.
- Sensore di movimento  
La presenza di persone in un locale può essere rilevata in modo preciso mediante rivelatori di mo-

vimento (rivelatori a raggi infrarossi). Questo segnale può essere utilizzato in modo sicuro per il comando (inserimento e disinserimento) dell'impianto di ventilazione.

Nel caso di un'utilizzazione variabile, la quantità di aria può essere regolata mediante un sensore di sostanze nocive in modo tale da poter rispettare precisi valori limite. Quali sensori di sostanze nocive possono essere utilizzati:

- sensori di CO<sub>2</sub>  
I sensori di CO<sub>2</sub> sono adatti per i locali nei quali non si fuma (valore limite provato = 800 ppm di CO<sub>2</sub> + funzione complementare di lavaggio prima dell'inizio dell'utilizzazione).
- Sensori di miscele di gas  
I sensori di questo tipo sono adatti per i locali nei quali si fuma.

## 4.13 Impianti con flusso volumetrico variabile (VAV)

### Principi

- Gli impianti VAV sono adatti per utilizzazioni molto variate, allo scopo di ottenere un funzionamento adeguato ai bisogni. In caso di un dimensionamento adeguato al fabbisogno, la necessità d'impianti VAV è giustificata solo in questi casi particolari.
- Negli impianti VAV tutti i componenti devono essere dimensionati in funzione del flusso d'aria variabile. I regolatori meccanici VAV devono essere evitati a causa dell'elevata perdita di pressione.

La variazione del flusso volumetrico dell'aria era già stata utilizzata al tempo in cui s'impiegava ancora su vasta scala il raffreddamento mediante l'aria di alimentazione. Quando era desiderata una temperatura costante dell'aria di alimentazione si era obbligati a variare il flusso volumetrico per regolare la potenza.

Nel caso di un dimensionamento adeguato al fabbisogno, i flussi volumetrici dell'aria massimi vengono ridotti al minimo giustificabile (paragrafi 3.3 e 4.2.4). In tal modo, nel caso di dimensionamenti eseguiti anticipatamente, con flussi volumetrici elevati, occorre assolutamente mantenere il fabbisogno di spazio usuale. Possono così facilmente essere rispettati i provvedimenti adottati per la riduzione delle perdite di pressione secondo il paragrafo 3.4.4.

L'installazione d'impianti con flusso volumetrico variabile (VAV) è opportuna per poter permettere un esercizio adeguato al fabbisogno nel caso di utilizzazioni fortemente variabili. Nel caso del dimensionamento, testé menzionato, adeguato al fabbisogno degli impianti, la necessità d'impianti VAV esiste solo in questi casi particolari.

Da un impianto VAV si esige che possa fornire individualmente ad ogni locale il flusso d'aria necessario, indipendentemente da qualsiasi stato d'esercizio dell'impianto. Tutti i componenti devono perciò essere dimensionati in funzione del flusso variabile dell'aria.

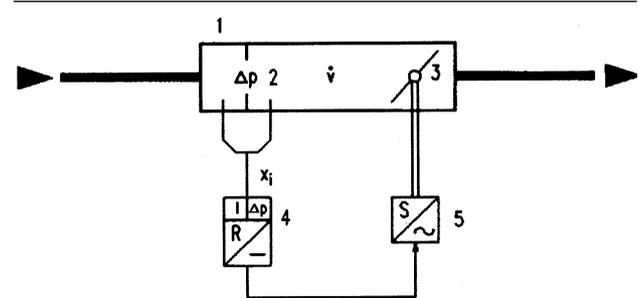
### Regolatore del flusso volumetrico

I regolatori del flusso volumetrico devono garantire che i locali ricevano i flussi volumetrici d'aria neces-

sari, indipendentemente dalla pressione esistente sul momento nella rete dei canali d'aerazione.

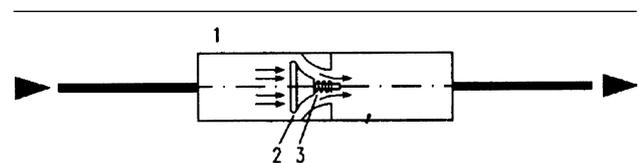
La figura 4.12 illustra il principio di un regolatore del flusso volumetrico con misurazione dello stesso (ad es. per mezzo di un diaframma) ed una valvola regolata in modo adeguato. Nella figura 4.13 è rappresentato il principio di un regolatore meccanico del flusso volumetrico con regolazione automatica per mezzo della pressione del canale.

Al momento della scelta del regolatore del flusso volumetrico occorre tener conto del fatto che la pressione minima d'entrata, necessaria per la regolazione, deve restare bassa. Poiché questa pressione è nettamente maggiore in un regolatore VAV meccanico di quanto non lo sia in un regolatore VAV con dispositivo di misurazione, occorre evitare l'utilizzazione di regolatori meccanici per motivi energetici.



- 1 Regolatore del flusso volumetrico
- 2 Misurazione (diaframma, croce, ecc.)
- 3 Valvola
- 4 Regolatore
- 5 Servomotore

Figura 4.12  
Regolatore VAV con misurazione ( $\Delta p_{\min} = \text{ca } 20 \text{ Pa}$ )



- 1 Regolatore del flusso volumetrico
- 2 Cono di regolazione
- 3 Molla

Figura 4.13  
Regolatore VAV meccanico ( $\Delta p_{\min} = \text{ca } 80 \text{ Pa}$  nel caso di una piccola quantità d'aria)

## Ventilatore

Anche il ventilatore deve potersi adeguare al fabbisogno.

Affinché i regolatori del flusso volumetrico possano funzionare è importante che in tutta la rete dei canali d'aerazione sia presente una pressione sufficiente. Eventualmente sono necessari parecchi punti di misurazione.

Bocchette d'immissione per l'aria di alimentazione

Al momento della scelta della bocchetta d'immissione per l'aria di alimentazione e del suo dimensionamento occorre fare in modo che essa sia adatta ai flussi volumetrici variabili (100%-30%) per poter garantire un ricambio sufficiente dell'aria del locale anche a carico parziale. I sistemi con elevato volume d'immissione e ventilazione naturale adempiono a questo compito senza ausilio meccanico particolare.

## Bibliografia capitolo 4

- [4.1] Arbeitsgemeinschaft Wärmepumpen AWP  
Technische Dokumentation der TK über  
Wärmepumpenheizungsanlagen  
AWP Zürich, Oktober 1991
- [4.2] E. Beck  
Über das Einfrieren von Plattenwärme-  
tauschern  
HLH Band 43 (1992) Nr. 7, Seiten 370-374
- [4.3] Ufficio federale dell'energia UFE  
Erdwärmesonden-Heizanlagen  
Studie Nr. 46, September 1989
- [4.4] Ufficio federale dei problemi congiunturali  
RAVEL nel settore del calore - fascicolo 1  
Elettricità e calore  
N. di ordinazione 724.357 i
- [4.5] Ufficio federale dei problemi congiunturali  
RAVEL nel settore del calore - fascicolo 2  
Ricupero del calore ed utilizzazione del calore  
residuo  
N. di ordinazione 724.355 i
- [4.6] Ufficio federale dei problemi congiunturali  
RAVEL nel settore del calore - fascicolo 3  
Pompe di calore  
N. di ordinazione 724.356 i
- [4.7] Ufficio federale dei problemi congiunturali  
RAVEL nel settore del calore - fascicolo 4  
Cogenerazione  
N. di ordinazione 724.358 i
- [4.8] Ufficio federale dei problemi congiunturali  
Programma d'impulso per l'impiantistica 1987  
Il ricupero del calore negli impianti di  
ventilazione e condizionamento  
N. di ordinazione 724.709 i
- [4.9] F. Haberda, V. Meyringer, L. Trepte  
Bestandesaufnahme zur Ausführung von  
Lüftungsanlagen im Wohnungsbau  
Bundesministerium für Forschung und  
Technologie BMFT-FB-T 86-230
- [4.10] Hans Martin Mathisen  
Analysis and Evaluation of Displacement  
Ventilation  
Dissertation NTH Trondheim  
VVS-rapport 1989:2

- [4.11] R. Meierhans, D. Brühwiler  
Intensive Nutzung der Gebäudespeicher-  
masse zur nächtlichen Kühlung  
7. Schweizerisches Statusseminar 1992  
Energieforschung im Hochbau
- [4.12] V. Meyringer  
Voraussetzungen für den energiewirt-  
schaftlich sinnvollen Einsatz von  
Lüftungsanlagen im Wohnungsbau  
Bundesministerium für Forschung und  
Technologie BMFT-FB-T 86-240
- [4.13] Recknagel, Sprenger, Hönnmann  
Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik  
Verlag Oldenbourg, Ausgabe 1992/93  
ISBN 3-486-26212-2
- [4.14] Società svizzera degli ingegneri e degli  
architetti SIA  
Meteodaten für die Haustechnik  
Dokumentation D 012, Januar 1987
- [4.15] Società svizzera degli ingegneri e degli archi-  
tetti SIA ed Ufficio federale dell'energia UFE  
Base de dimensionnement des systèmes ex-  
ploitant la chaleur du sol à basse température  
Dokumentation D 025, Mai 1988
- [4.16] Società svizzera degli ingegneri e degli  
architetti SIA  
Regolamento concernente le prestazioni  
e gli onorari degli ingegneri meccanici  
ed elettrotecnici, nonché degli ingegneri  
specializzati nell'impiantistica  
Regolamento SIA 108, edizione 1984
- [4.17] Società svizzera degli ingegneri e degli  
architetti SIA  
Esigenze tecniche degli impianti di ventilazio-  
ne e di condizionamento  
Raccomandazione SIA V382/1, edizione 1992
- [4.18] Società svizzera degli ingegneri e degli  
architetti SIA  
Fabbisogno di potenza di raffreddamento  
degli edifici  
Raccomandazione SIA V382/2, edizione 1992
- [4.19] Società svizzera degli ingegneri e degli  
architetti SIA  
Accertamento del fabbisogno degli impianti  
di ventilazione e di condizionamento  
Raccomandazione SIA V382/3, edizione 1992
- [4.20] Società svizzera degli ingegneri termici  
e climatici SITC  
Verbale di collaudo per gli impianti  
di riscaldamento, ventilazione, frigoriferi  
e di pompe di calore  
Direttiva SITC 88-1
- [4.21] Società svizzera degli ingegneri termici  
e climatici SITC  
Impianti di recupero del calore negli impianti  
di ventilazione e di condizionamento  
Direttiva SITC 89-1
- [4.22] Urs Steinemann  
Arbeitsbericht zur Definition energetisch  
guter Lüftungstechnischer Anlagen  
Bericht US 92-14-01 vom Dezember 1992  
im Auftrag des SIA und des BEW
- [4.23] TÜV Rheinland  
Lüftung im Wohnungsbau  
Bericht Statusseminar, ISBN 3-88585-172-5  
Dokumentation D 025, Mai 1988
- [4.24] Carl-Georg Ungerland  
Die Lüftung als notwendige Voraussetzung  
für ein gesundes Wohnklima  
Buchenweg 7, D-8200 Rosenheim
- [4.25] H. Werner, W. Fies  
Fortschrittliche Systeme  
für die Wohnungslüftung, Teil B  
IPB-Bericht EB-21, 1989  
Fraunhoferinstitut für Bauphysik, Stuttgart



---

## 5. Ventilatori

---

5.1	Tipi di ventilatori	76
5.1.1	Standardizzazione	76
5.1.2	Pressione, flusso volumetrico e rendimento	77
5.1.3	Generazione di rumore	79

---

5.2	Curve caratteristiche dei ventilatori	80
5.2.1	Ventilatori radiali	80
5.2.2	Ventilatori assiali	85
5.2.3	Ventilatori tangenziali	87

---

5.3	Leggi dei gas, della proporzionalità e dell'affinità	88
5.3.1	Influsso della densità dell'aria	88
5.3.2	Leggi della proporzionalità	89
5.3.3	Leggi dell'affinità	90

---

5.4	Curva caratteristica della rete e punto di funzionamento	90
-----	--	----

---

5.5	Possibilità di regolazione	91
-----	----------------------------	----

---

5.6	Perdite durante il montaggio	98
-----	------------------------------	----

---

	Bibliografia capitolo 5	98
--	-------------------------	----

---



## 5. Ventilatori

Le macchine fluidodinamiche utilizzate nella tecnica di ventilazione hanno il compito di trasformare, con il minor rumore possibile e senza perdite, l'energia elettrica nell'energia costituita dalla pressione e dal movimento di un flusso volumetrico d'aria. Nella gamma di pressione fino a circa 25 kPa queste macchine vengono definite ventilatori e nel caso di pressioni più elevate sono dette soffianti.

Grazie ai miglioramenti degli isolamenti termici estivi ed invernali dell'edificio, negli ultimi anni è fortemente diminuito il consumo di energia elettrica per il riscaldamento ed il raffreddamento. In questo modo il consumo di energia elettrica per il trasporto dell'aria costituisce sempre più il fulcro degli sforzi di risparmio.

Oggi il consumo di energia per il trasporto dell'aria è spesso ancora troppo elevato. Onde migliorare queste condizioni i ventilatori devono essere scelti con maggiore oculatezza e, se del caso, combinati in modo razionale, fatti funzionare correttamente e regolati in modo da evitare le perdite. Soprattutto nel caso di ventilatori e di motori di piccole dimensioni sono ancora molto diffusi i rendimenti globali dell'ordine del 25%. Il presupposto basilare ed essenziale per un esercizio efficiente sotto l'aspetto energetico risiede in una minimizzazione, in un comando o in una regolazione dei flussi volumetrici dell'aria corrispondenti ai fabbisogni e nel fatto che le perdite di pressione per il trattamento e la distribuzione dell'aria siano progettate in un modo tanto modesto, quanto redditizio da potere essere ancora giustificabili. Occorre ancora notare che i ventilatori ed i motori vengono scelti in modo corretto solo se è stato eseguito un calcolo affidabile delle perdite di pressione.

## 5.1 Tipi di ventilatori

### 5.1.1 Standardizzazione

Benché i diversi tipi di ventilatori coincidano per quanto concerne la loro struttura, si può fare una prima distinzione approssimativa tra ventilatori assiali e ventilatori radiali.

#### Ventilatori assiali

I diversi tipi di ventilatori assiali vanno dal ventilatore da soffitto a rotazione lenta, passando per il ventilatore ad elica da parete, fino al ventilatore assiale ad alto regime e con pale ad angolo spostabile e distributori.

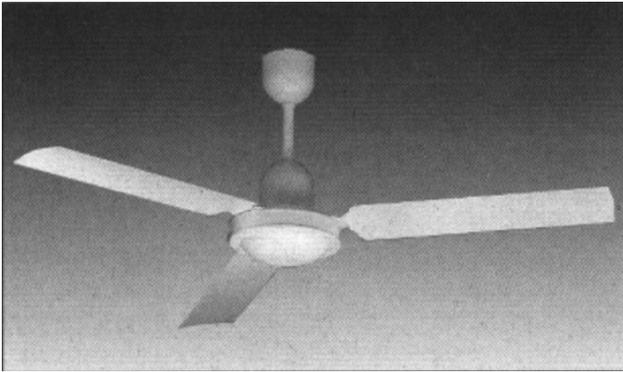


Figura 5.1  
Ventilatore per soffitto a rotazione lenta

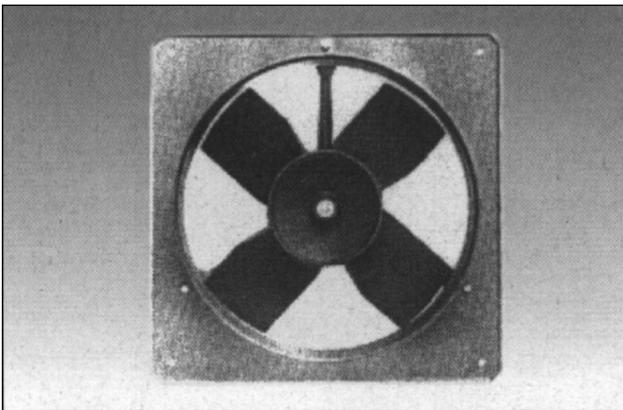


Figura 5.2  
Ventilatore ad elica per parete

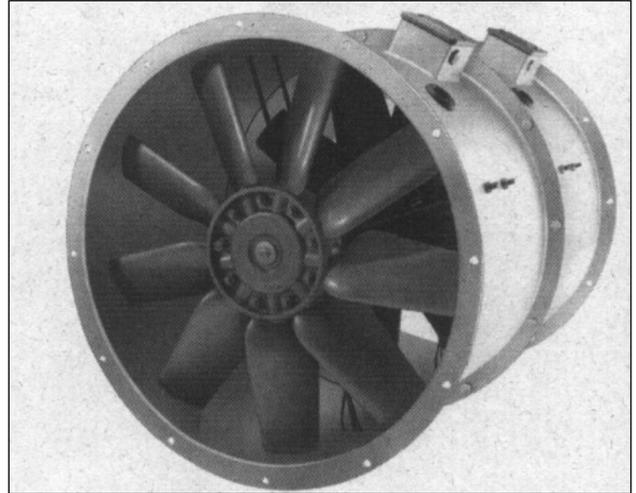


Figura 5.3  
Ventilatore assiale ad alta velocità, a due stadi, con regolazione dell'angolo delle pale

## Ventilatori radiali

I diversi tipi di ventilatori radiali vanno dal ventilatore con rotore a tamburo, costruito in modo relativamente leggero fino ai ventilatori radiali ad alta pressione, passando dal ventilatore ad alto rendimento con pale ripiegate all'indietro e munito di distributori.

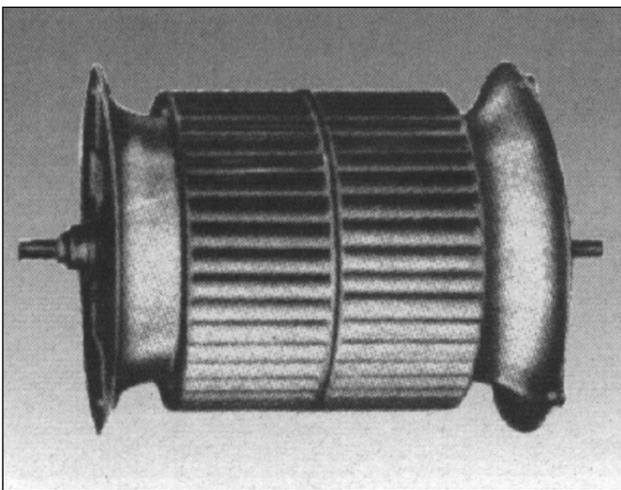


Figura 5.4  
Ventilatore con rotore a tamburo-ventilatore radiale

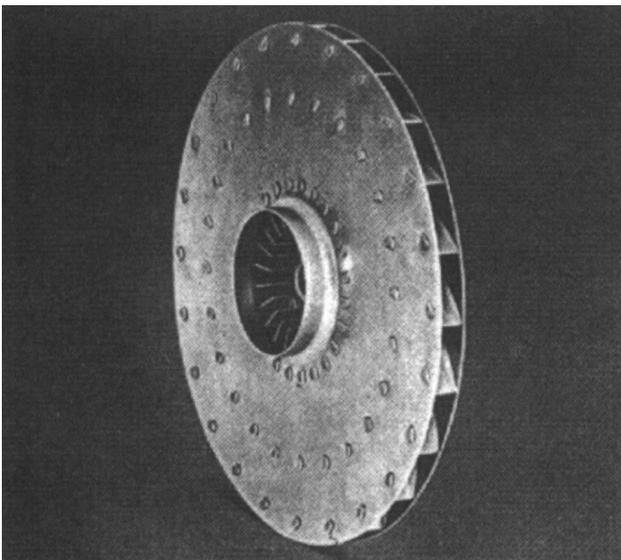


Figura 5.5  
Ventilatore radiale ad alta pressione

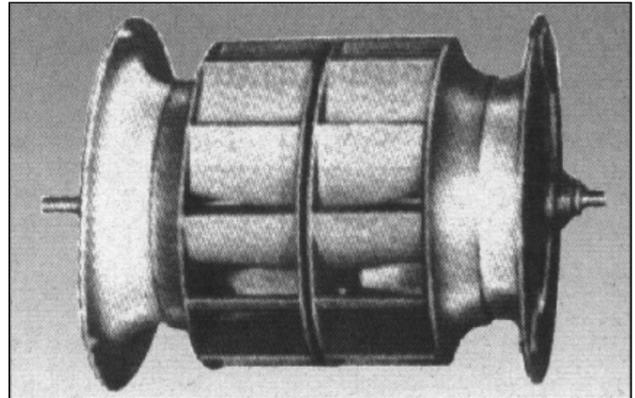


Figura 5.6  
Ventilatore radiale ad alto rendimento  
(pale profilate o non profilate)

Un'ulteriore variante dei ventilatori radiali è costituita dal ventilatore tangenziale, utilizzata prevalentemente per l'impiego con scambiatori di calore oppure per il raffreddamento di apparecchi.

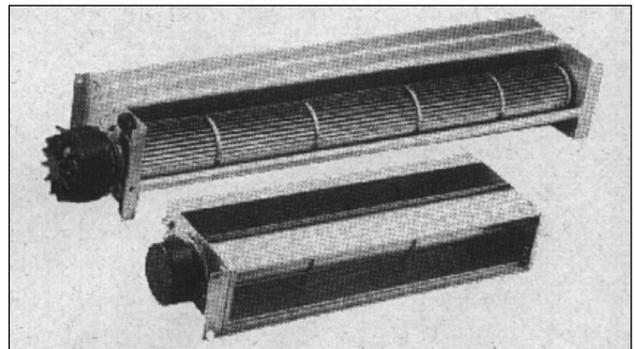


Figura 5.7  
Ventilatore tangenziale

### 5.1.2 Pressione, flusso volumetrico e rendimento

I ventilatori radiali ad alto rendimento con pale ripiegate all'indietro (non profilate o profilate) si distinguono dagli altri ventilatori radiali grazie ai loro rendimenti chiaramente migliori ed alle loro curve più ripide. I ventilatori radiali ad alto rendimento coprono inoltre una gamma di pressioni molto più estesa. I ventilatori con rotore a tamburo, anche a grandezza uguale, forniscono invece un flusso volumetrico d'aria circa due volte maggiore di quello fornito dai ventilatori ad alto rendimento [5.3].

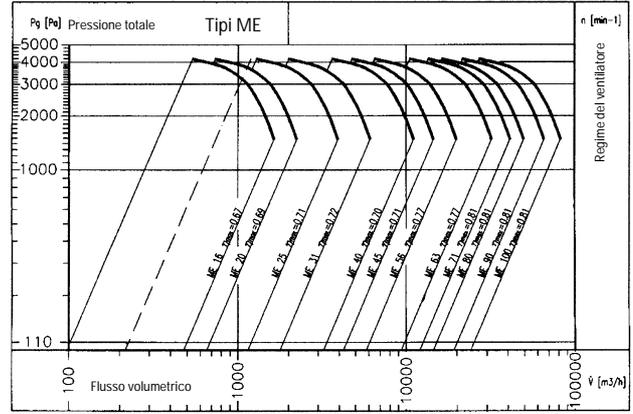
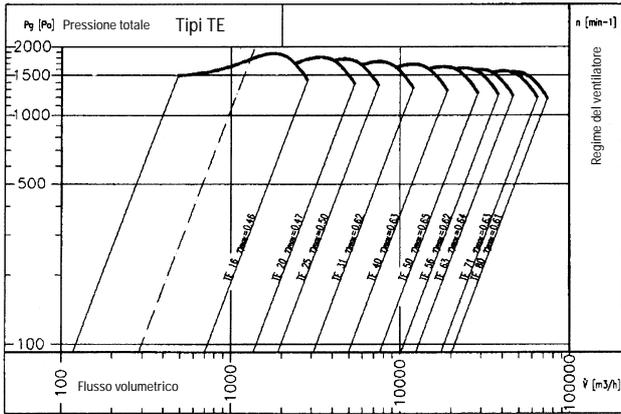


Figura 5.8 Settori d'applicazione e rendimento massimo dei ventilatori con rotore a tamburo (tipi TE, a sinistra) e dei ventilatori radiali ad alto rendimento (tipi ME, a destra) [5.5]

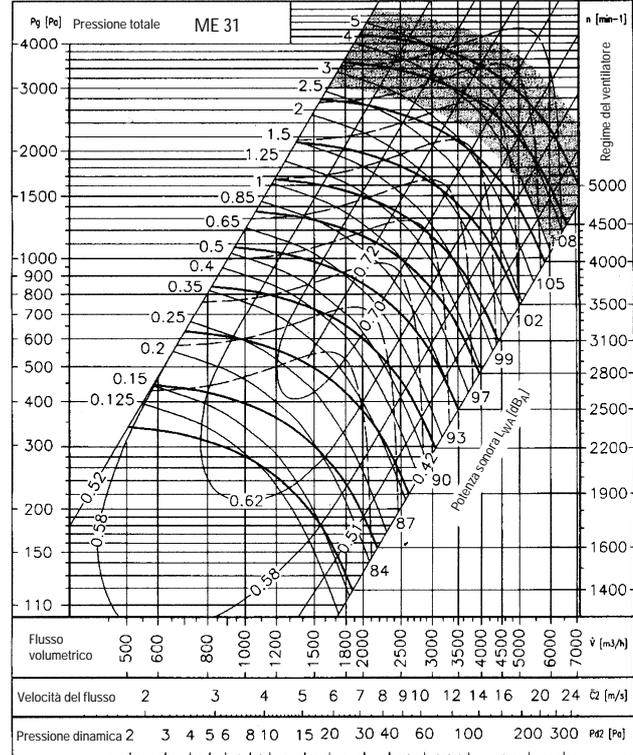
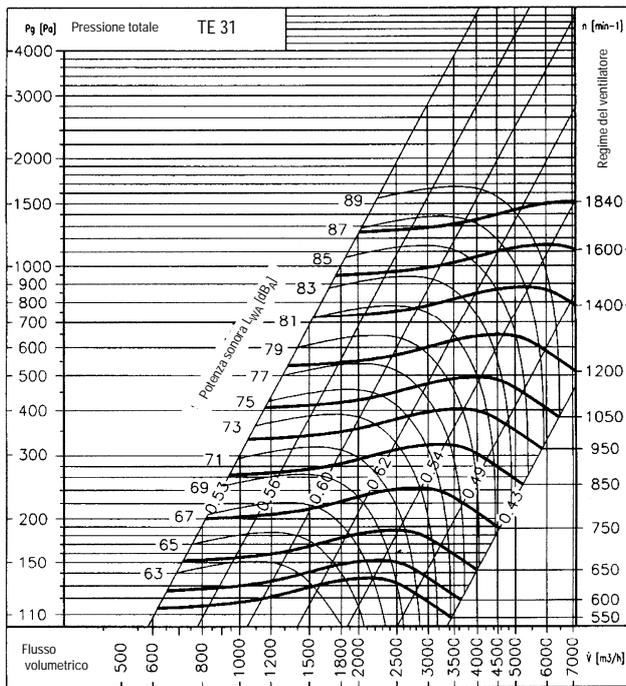


Figura 5.9 Diagrammi delle curve caratteristiche di un ventilatore con rotore a tamburo (TE 31, a sinistra) e di un ventilatore radiale ad alto rendimento (ME 31, a destra) a confronto diretto [5.5]

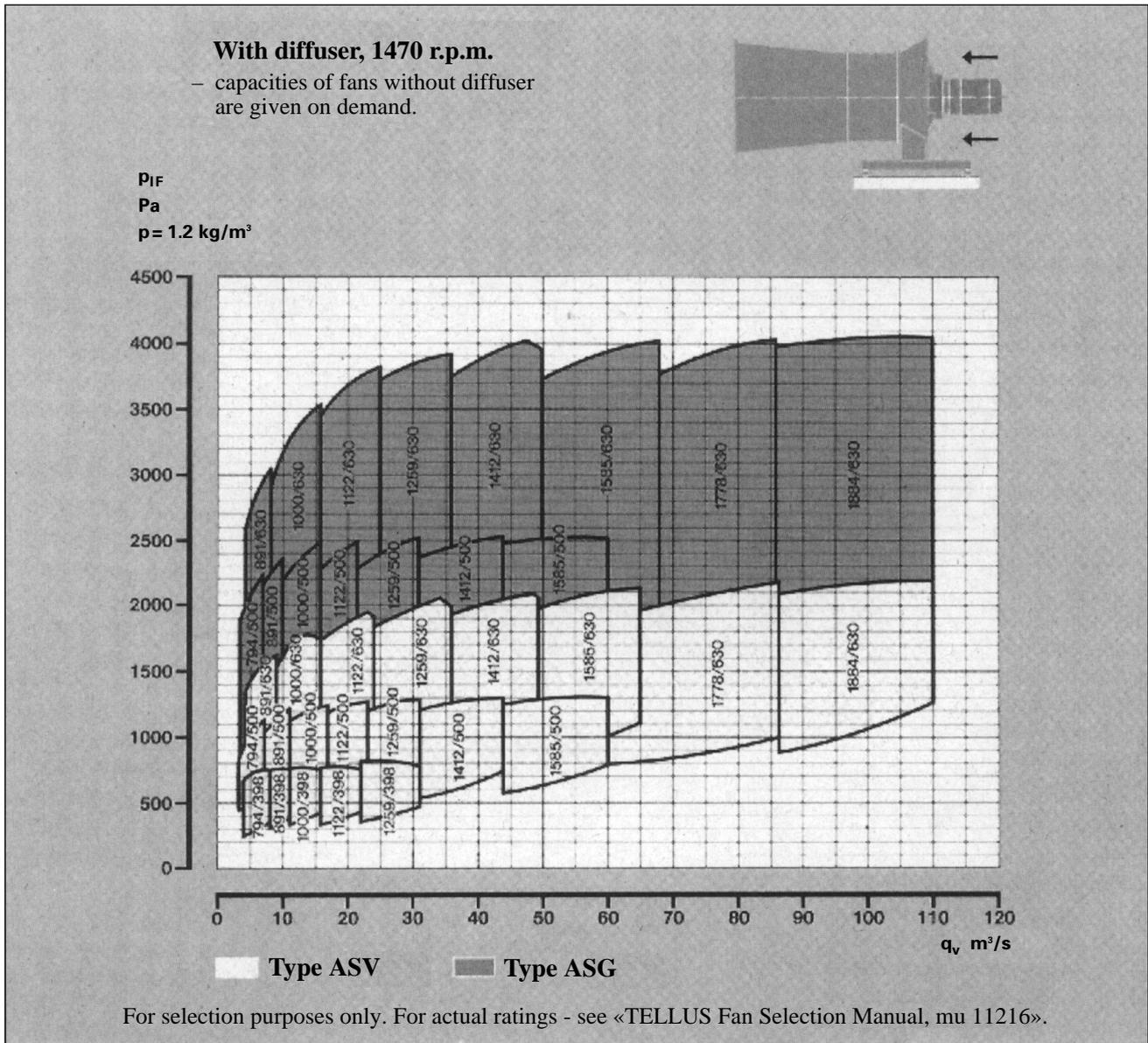


Figura 5.10  
 Settori d'impiego dei ventilatori assiali [5.4]

### 5.1.3 Generazione di rumore

Se si fa il paragone tra il rumore generato da singoli ventilatori di tipi di costruzione diversi, al momento del loro miglior rendimento si nota che non è possibile evidenziare differenze sistematiche. A maggior ragione si deve quindi tener conto delle indicazioni dei fabbricanti, giacché dettagli di esecuzione o tolleranze di costruzione possono creare differenze sensibili.

In casi critici vale la pena di prevedere uno spazio di riserva per potere successivamente, qualora ciò sia necessario, incorporare ammortizzatori più lunghi e ciò anche se non era stato previsto al momento dei calcoli e del bando di concorso. Generalmente si calcola che il rumore supplementare, generato dal ventilatore e dovuto all'aumento della pressione necessaria per vincere le perdite di carico dell'ammortizzatore, è circa 10 volte minore dell'attenuazione acustica provocata dall'ammortizzatore stesso.

## 5.2 Curve caratteristiche dei ventilatori

### Principi

- I ventilatori radiali ad alto rendimento, con pale ripiegate all'indietro, scelti in modo corretto, consumano meno energia e sono meno rumorosi dei ventilatori con rotore a tamburo, molto meno costosi.
- Nelle applicazioni usuali della tecnica di ventilazione, anche i ventilatori assiali hanno spesso un rendimento minore di quello dei ventilatori radiali ad alto rendimento.

Se il progettista vuole valutare ed utilizzare in modo corretto le caratteristiche specifiche dei diversi tipi di ventilatori, occorre che egli possieda le più importanti conoscenze basilari della tecnica di ventilazione. Per restare in questo campo a livello di un aiuto pratico, si è qui rinunciato a trattare tutta la teoria dettagliata che può, se necessario, essere reperita nei manuali specializzati. Lo stesso vale per le curve caratteristiche prive di dimensioni che in pratica vengono raramente utilizzate.

### 5.2.1 Ventilatori radiali

Nel settore dei ventilatori radiali si fa una prima distinzione a seconda dei diversi angoli formati dalle pale all'uscita della ruota.

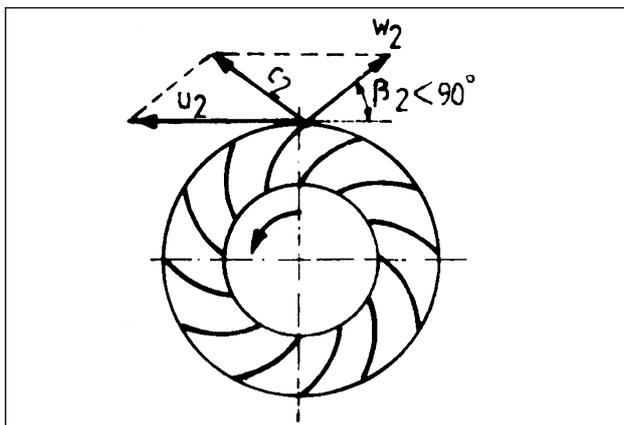


Figura 5.11  
Ruota con pale ripiegate all'indietro [5.3]  
(rendimento 70-85%)

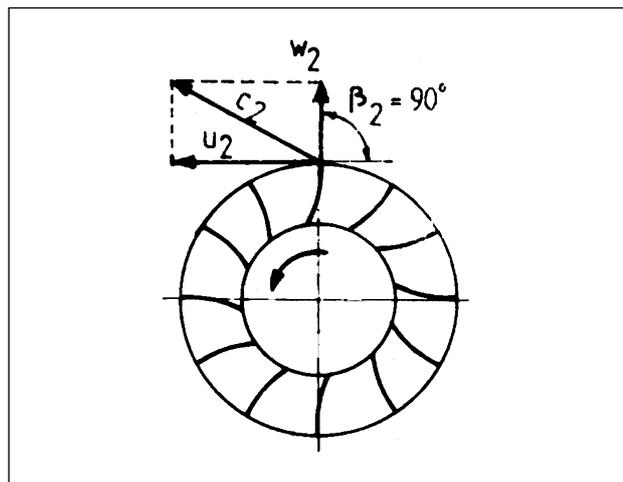


Figura 5.12  
Ruota con pale radiali [5.3] (per la tecnica di trasporto)

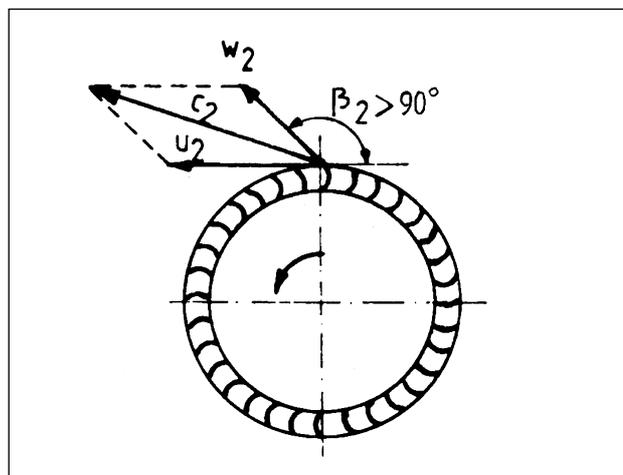


Figura 5.13  
Ruota con pale ripiegate in avanti [5.3]  
(ventilatore con rotore a tamburo, rendimento 50-70%)

Mentre la ruota con pale ripiegate all'indietro raggiunge il miglior rendimento, la ruota con rotore a tamburo, con le sue pale ripiegate in avanti, presenta la stessa pressione statica per una velocità periferica inferiore. A dimensioni e prestazioni uguali, il ventilatore con rotore a tamburo genera quindi meno rumore, anche se il suo rendimento è peggiore e la potenza che esso assorbe è più elevata di quella della ruota con pale ripiegate all'indietro. Questo paragone è bensì utilizzabile, ma non senza aver prima preso in considerazione diversi elementi (cfr. figure 5.20 e 5.21).

Le pale radiali vengono utilizzate soprattutto nella tecnica di trasporto dell'aria a causa della loro resistenza all'insudiciamento. Nella presente documentazione si è rinunciato ad ogni ulteriore commento a questo proposito.

Il flusso dell'aria nella ruota a pale

Poiché nel ventilatore radiale si tratta di accelerare il flusso dell'aria mediante la ruota a pale e di trasformare nella chiocciola l'energia cinetica, prodotta in questo modo, in pressione, la velocità relativa del flusso dell'aria potrebbe essere diminuita già nel canale delle pale e l'energia dinamica essere così trasformata in pressione. Ciò ha tuttavia ben chiari limiti, poiché l'angolo dell'apertura dei diffusori è molto limitato.

È questo il motivo per cui, nel caso di rapporti maggiori, occorre fare in modo di ottenere, mediante una riduzione della larghezza della ruota, una sezione quasi stabile del flusso dell'aria. Nei ventilatori con rotore a tamburo ciò non ha importanza a causa della differenza minima delle superfici d'entrata e di uscita dei canali delle pale.

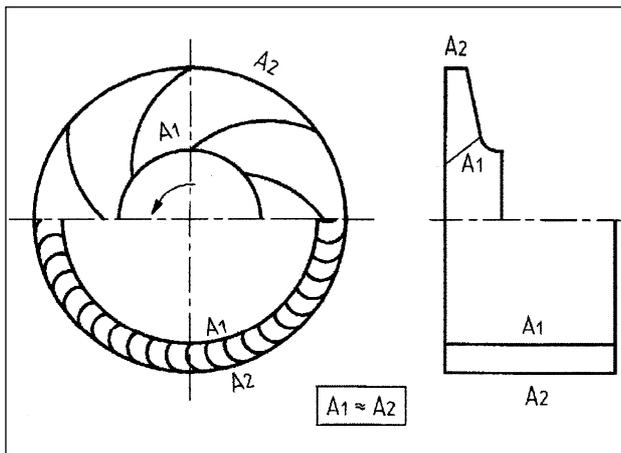


Figura 5.14  
Realizzazione di ruote a pale con o senza restringimento

L'angolo delle pale all'entrata della ruota deve adempiere alle stesse esigenze in tutti i tipi di ruota. Poiché l'entrata dell'aria senza ostacoli avviene in modo radiale, l'angolo delle pale si regola a seconda del flusso volumetrico (ossia secondo la velocità d'entrata radiale, risultante dal flusso volumetrico e dalla superficie d'entrata di tutti i canali delle pale) e a seconda della velocità periferica degli spigoli interni delle pale. Nella maggior parte dei modelli è di circa 35°. Sulla base delle indicazioni fornite dalla figura 5.15 si ottiene un flusso d'aria con una velocità assoluta  $c_1$  per quanto concerne lo spazio all'entrata del canale delle pale ed una velocità relativa  $w_1$  per quanto concerne la ruota.

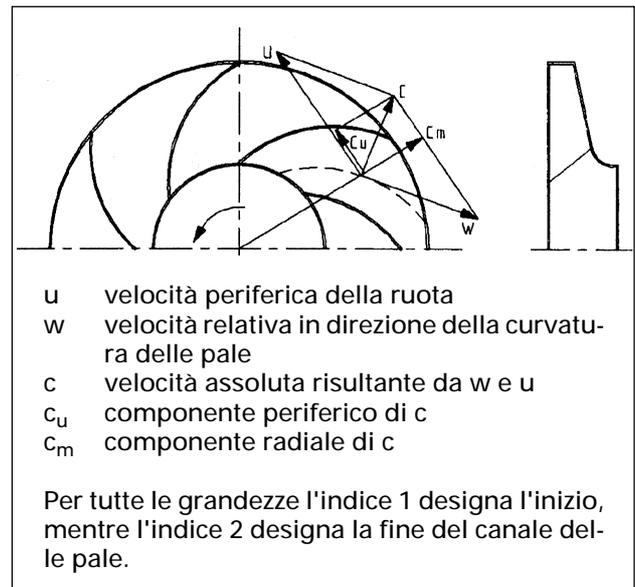


Figura 5.15  
Triangolo della velocità sulla ruota

Appare senz'altro evidente che le pale fortemente ricurve del ventilatore con rotore a tamburo inducono una velocità assoluta di uscita  $c_2$  relativamente più elevata di quanto non lo facciano le pale molto meno ricurve di una ruota ripiegata all'indietro che gira con una velocità periferica uguale (figure 5.11 e 5.13). Contemporaneamente appare tuttavia chiaro che nel caso del ventilatore con rotore a tamburo le perdite per urto sono maggiori e, di conseguenza, deve essere minore il rendimento a causa dello spostamento dell'aria più critico su un tratto breve. Il fatto che il ventilatore con rotore a tamburo si è acquistato, ciò nonostante, la fama di funzionare con minor rumore anche a parità di dimensioni è da ascrivere al numero di giri chiaramente minore.

Curva caratteristica teorica e reale

L'aumento della pressione che si può ottenere in teoria con un numero infinito di pale e senza tener conto delle perdite per urto comprende tre componenti:

- aumento statico della pressione  
Esso risulta dalla differenza di  $u_2^2 - u_1^2$  e dipende quindi dal rapporto tra il diametro ed il numero dei giri.
- Aumento dinamico della pressione  
Esso risulta dalla differenza di  $c_2^2 - c_1^2$  e dipende dall'angolo delle pale  $\beta_2$ , dal diametro e dal numero dei giri.
- Ricupero statico della pressione  
Esso risulterebbe dalla differenza tra la velocità relativa del flusso dell'aria nel canale delle pale  $w_1^2 - w_2^2$ . Il guadagno è tuttavia esiguo, poiché, per i motivi menzionati in precedenza, la differenza di velocità viene mantenuta bassa dal tipo di struttura.

$$\Delta p_{th\infty} = \frac{\rho}{2} [(u_2^2 - u_1^2) + (c_2^2 - c_1^2) + (w_1^2 - u_1^2)]$$

Sulla base dei principali fattori geometrici determinanti, per i diversi tipi di ruota a pale risulta un andamento tipico della differenza di pressione  $\Delta p_{th}$  teoricamente ottenibili in funzione della produzione oraria del volume d'aria  $\dot{V}$  secondo la figura 5.16. Per completezza occorre qui rammentare ancora una volta la ruota munita di pale ad estremità radiali.

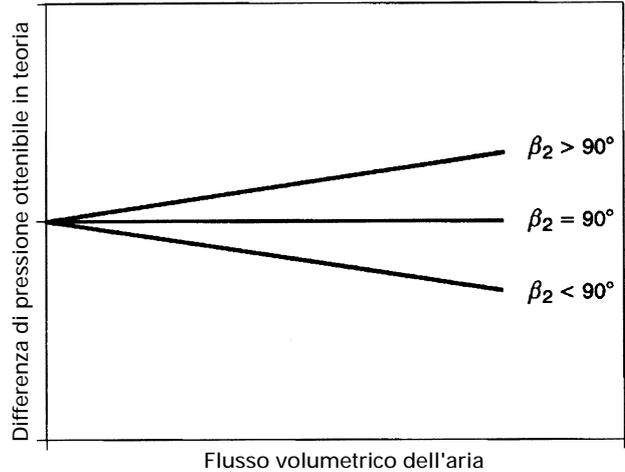


Figura 5.16  
Andamento tipico di  $\Delta p_{th}$

A causa di perdite diverse, in caso di flusso effettivo nel ventilatore ha luogo un mutamento considerevole della curva caratteristica teorica. La curva caratteristica effettiva di un ventilatore può essere sempre decrescente oppure presentare un vertice o un punto di flesso.

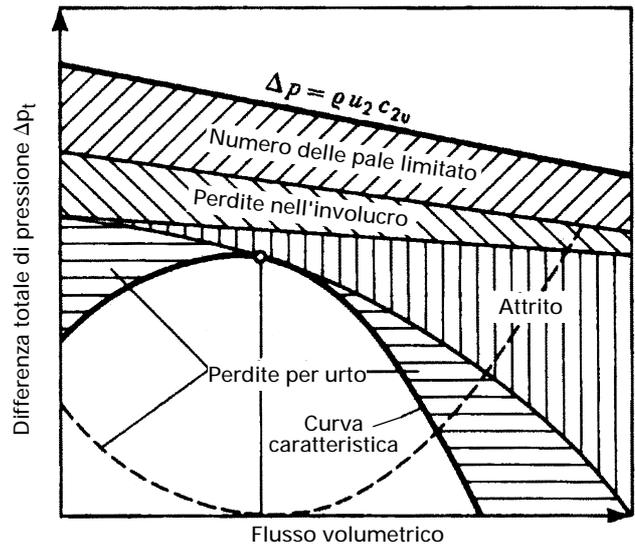


Figura 5.17  
Modificazione della curva caratteristica teorica a causa delle perdite [5.6]

Poiché i settori d'impiego dei singoli tipi di ventilatori sono notevolmente grandi, le curve caratteristiche vengono riportate di regola e per motivi di spazio su carta con scala logaritmica doppia. Per i numeri di giri che sono presi in considerazione, le curve caratteristiche vengono rappresentate nel settore dei rendimenti e dei punti d'esercizio ottimali. Le curve per la determinazione del fabbisogno di potenza, del rendimento e della potenza sonora vengono di regola parimenti riportate nei diagrammi delle curve caratteristiche. Un esempio di un diagramma completo delle curve caratteristiche di un ventilatore radiale è illustrato alla figura 5.18.

MITTELDRUCKVENTILATOR  
ZWEISEITIG SAUGEND MIT RÜCKWARTSGEKÜMMTEN SCHAUFELN.  
VENTILATORE A PRESSIONE MEDIA  
APERTURA DOPPIA CON PALE RIPIEGATE ALL'INDIETRO

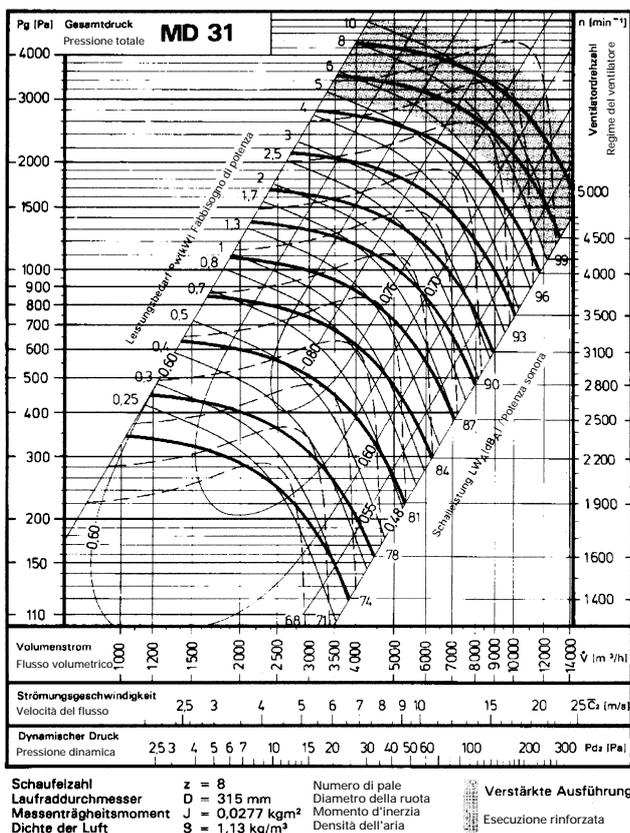


Figura 5.18  
Esempio di un diagramma delle curve caratteristiche [5.5]

Sulla base del flusso volumetrico, della pressione totale necessaria e del rendimento può essere calcolata la potenza dell'albero  $P$  del ventilatore.

$$P = \frac{\Delta p_{\text{tot}} \cdot \dot{V}}{\eta_v \cdot 3600}$$

$P$  potenza dell'albero del ventilatore [W]

$\Delta p_{\text{tot}}$  differenza totale di pressione [Pa]

$\dot{V}$  flusso volumetrico [m<sup>3</sup>/h]

$\eta_v$  rendimento del ventilatore [-]

Paragone tra le curve caratteristiche effettive

Per una miglior comprensione delle caratteristiche specifiche del ventilatore seguono alcuni paragoni pratici.

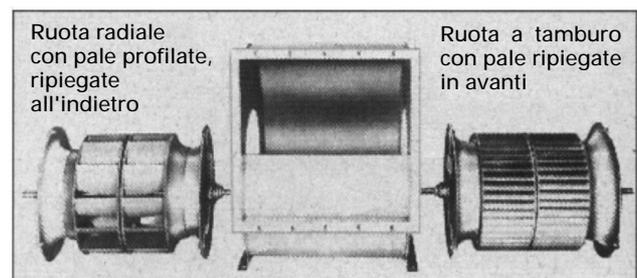


Figura 5.19  
Rotore a tamburo e ruota a pale ad alto rendimento [5.3]

Supponiamo che sia data una chiocciola per una ruota della grandezza ME 31 che abbia una sola apertura. Paragoniamo le caratteristiche del ventilatore quando viene utilizzato, a scelta, un rotore a tamburo oppure una ruota ad alto rendimento.

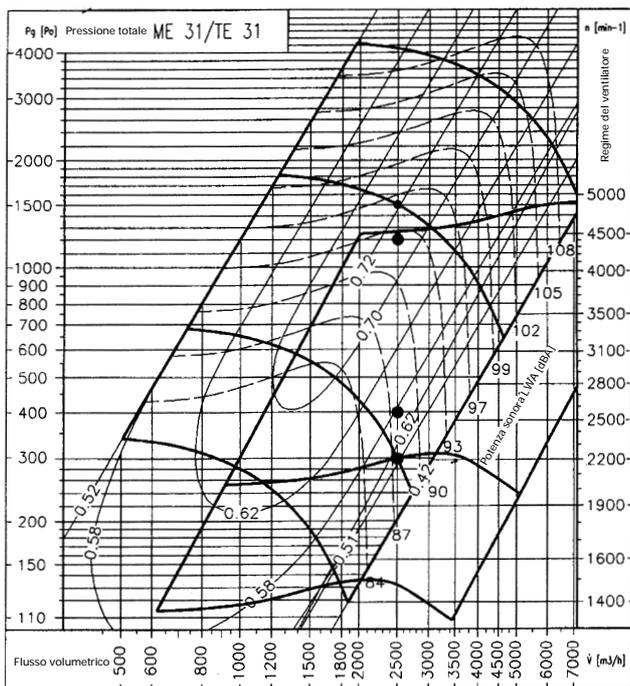


Figura 5.20  
Diagramma delle curve caratteristiche del ventilatore con rotore a tamburo e del ventilatore radiale ad alto rendimento di uguali dimensioni [5.5]

Il fatto che nella maggior parte dei libri di testo le caratteristiche di due ruote vengano paragonate nel caso di uguali dimensioni causa spesso l'insorgere di problemi di comprensioni e causa valutazioni errate. Nella figura 5.20 è chiaramente visibile che i migliori rendimenti di ambedue le ruote sono molto lontani l'uno dall'altro. Esse non possono, di conseguenza, essere adatte per lo stesso punto d'esercizio! Se tuttavia, ad esempio, un impianto con un flusso volumetrico determinato presenta una perdita di pressione maggiore a causa dell'inserimento di filtri migliori e di un RDC, è spesso razionale installare nello stesso involucro una ruota ad alto rendimento della stessa grandezza fisica.

Esempio:

supponiamo che le condizioni di funzionamento iniziali si trovassero a 2500 m<sup>3</sup>/h e con una pressione totale di 300 Pa. Se la nuova perdita di pressione viene ora aumentata a 400 Pa, si ottiene lo stesso rendimento per ambedue i tipi di ruota (58%), anche se non si tratta del rendimento migliore. Nel caso di perdite di pressione fino a 1500 Pa, la ruota ad alto rendimento diventa sempre migliore, mentre il ventilatore con rotore a tamburo lavora con un rendimento peggiore e con un fabbisogno crescente di pressione.

Parametro	TE 31	ME 31	TE 31	ME 31	TE 31	ME 31
$\dot{V}$ [m <sup>3</sup> /h]	2500	2500	2500	2500	2500	2500
$\Delta p_{tot}$ [Pa]	300	300	500	500	1200	1200
$\eta_v$ [%]	60.0	52.0	60.5	60.5	55.0	71.0
$L_{WA}$ [dB(A)]	72.5	87.5	76.5	88.0	86.0	92.0
$n$ [min <sup>-1</sup> ]	830	2000	1120	2300	1780	3000
$P$ [W]	345	400	575	575	1515	1175

Tabella 5.1  
Dati caratteristici del ventilatore con rotore a tamburo TE 31 e del ventilatore radiale ad alto rendimento ME 31 [5.5]

Se invece già allo stadio di progettazione è possibile scegliere tra il ventilatore con rotore a tamburo e la ruota ad alto rendimento, occorre effettuare il paragone sulla base del miglior rendimento. È questo il motivo per cui il ventilatore con pale ripiegate all'indietro verrà scelto per lo più con una grandezza da una a due volte superiore a quella dell'altro.

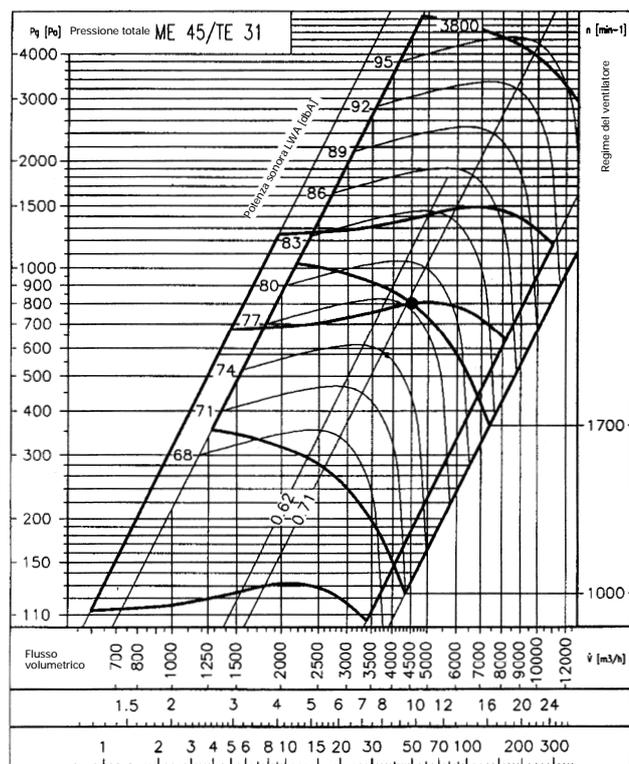


Figura 5.21  
Diagramma delle curve caratteristiche del ventilatore con rotore a tamburo e ventilatore radiale ad alto rendimento di dimensioni diverse [5.5]

Sulla base dell'esempio summenzionato, costituito dal paragone tra un ventilatore con rotore a tamburo della serie TE 31 con un ventilatore radiale ad alto rendimento del tipo ME 45 si vede che i punti ottimali d'esercizio sono vicini.

Facendo un paragone in un punto di funzionamento vicino a quello pratico, risulta in modo chiaro che il ventilatore due volte più grande (e, di conseguenza, naturalmente anche un po' più costoso) presenta chiari vantaggi. A  $4500 \text{ m}^3/\text{h}$  e  $800 \text{ Pa}$ ,  $P = 1430 \text{ W}$  invece di  $2025 \text{ W}$ , mentre  $L_W$  è di  $77.5 \text{ dB(A)}$ , invece di  $84.5 \text{ dB(A)}$ . In questo caso il ventilatore radiale a rendimento elevato non è solo notevolmente migliore sotto l'aspetto energetico, ma anche più silenzioso! Soltanto utilizzando regolazioni di strozzamento il comportamento a carico parziale del ventilatore con rotore a tamburo può diventare nuovamente favorevole (cfr. paragrafo 5.5).

### 5.2.2 Ventilatori assiali

L'ultimo esempio costituisce una specie di transizione verso i ventilatori assiali che nell'epoca degli ap-

parecchi monoblocco hanno un ruolo un po' subordinato. Tuttavia, almeno con le nuove tecniche di ventilazione che prendono in considerazione una ventilazione notturna per il raffreddamento dell'edificio, il ventilatore assiale dovrebbe vivere un periodo di rinascita, almeno come modello da soffitto. Ma anche per la gestione delle masse di accumulazione in applicazioni solari attive e passive, forme più semplici di ventilatori assiali dovrebbero sempre più essere utilizzate in futuro. I tipi di ventilatori assiali non possono essere classificati semplicemente secondo gli angoli delle loro pale. Viene perciò fatta la distinzione seguente:

- ventilatori ad elica o ventilatori per la circolazione dell'aria senza involucro,
- ventilatori per pareti e per finestre con un anello o un involucro e
- esecuzioni più costose con pale spostabili, distributori, diffusori o persino con ruote anticoppia.

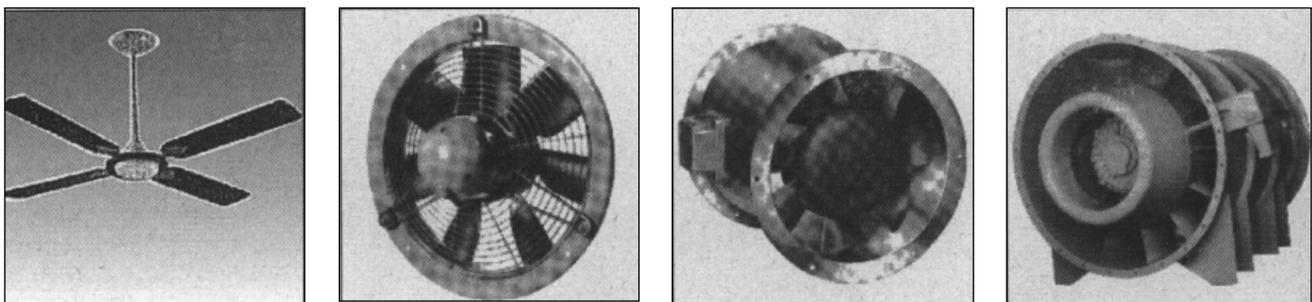


Figura 5.22  
Tipi di ventilatori assiali (ventilatore per soffitto, ventilatore per parete, ventilatore ad involucro semplice, ventilatore a pressione media con distributore ausiliario e diffusore a mozzo)

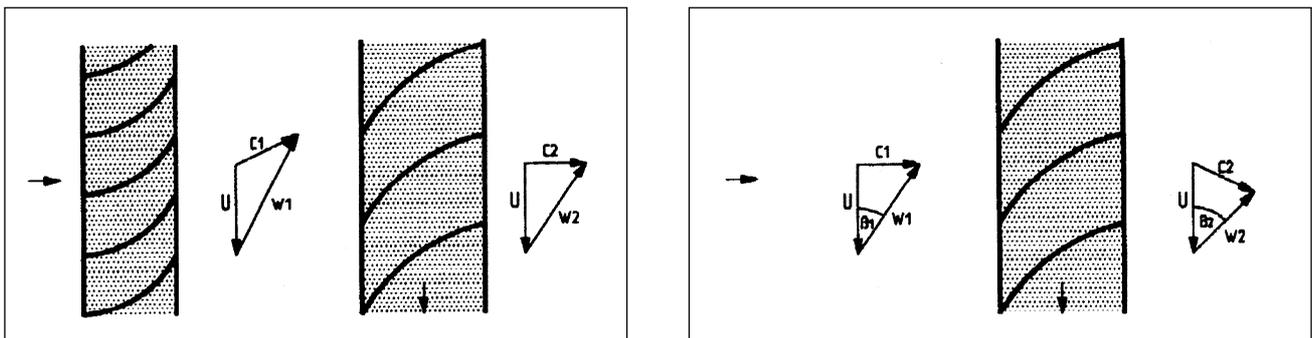


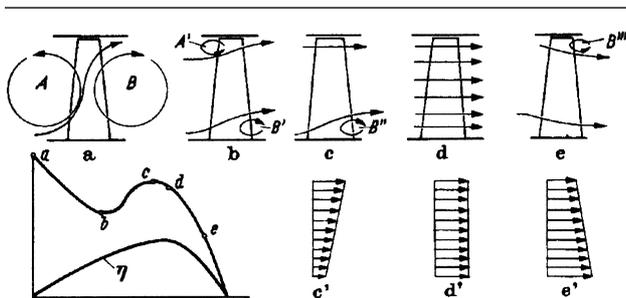
Figura 5.23  
Triangoli della velocità di ventilatori assiali con e senza distributore

Anche nel ventilatore il flusso dell'aria nella ruota viene rappresentato da triangoli d'entrata e di uscita. La ruota imprime un movimento di torsione al flusso d'aria che viene eliminato e trasformato in pressione supplementare mediante l'impiego di un distributore (prima o dopo la ruota).

La pressione che si può ottenere teoricamente, senza considerare le perdite di flusso come nel caso del ventilatore radiale, può essere rappresentata come segue:

$$\Delta p_{th\infty} = \frac{\rho}{2} [(w_1^2 - w_2^2) + (C_2^2 - C_1^2)]$$

Contrariamente ai ventilatori radiali, i ventilatori assiali presentano all'interno del diagramma delle loro curve caratteristiche una zona pronunciata di stacco, il cosiddetto settore instabile (figura 5.24).



- a Se la portata è nulla, i vortici che si formano all'entrata ed all'uscita riempiono tutto lo spazio disponibile sia per l'aspirazione, sia per la pressione.
- b Funzionamento nel punto più basso della curva caratteristica con stacchi sul retro delle pale all'entrata.
- c Funzionamento al vertice della curva caratteristica con stacco sul retro della pala.
- d Funzionamento al rendimento massimo con flusso regolare.
- e Funzionamento in caso di sovraccarico con spostamento del flusso verso l'interno.

Figura 5.24  
Rappresentazione schematica delle condizioni di flusso di un ventilatore assiale in diversi stati di strozzamento [5.2]

La maggior parte dei produttori di ventilatori assiali indica nei diagrammi delle curve caratteristiche soltanto il settore stabile oppure segna in modo chiaro i limiti di tale settore. Il limite a sinistra del settore stabile è spesso definito come limite di pompaggio.

Per evitare anomalie del funzionamento è necessario che il tecnico della ventilazione conosca la problematica del settore instabile. Se un punto di funzionamento si sposta in direzione della zona di stacco a causa di un dimensionamento difettoso oppure di modificazioni subentrate nell'impianto, è possibile che si verifichino danni ai componenti meccanici del ventilatore.

Nel caso di un funzionamento nel settore instabile, il pericolo elevato di un danneggiamento meccanico del ventilatore risiede nel fatto che al momento di modificazioni minime del sistema si formino vortici (del tutto o in parte in modo repentino) e che in tal modo gli indici di ricambio d'aria si modifichino altrettanto rapidamente. Ciò significa un manifestarsi improvviso di forze sulle pale della ruota. Poiché durante il funzionamento nel settore instabile i vortici continuano a formarsi, ciò causa una continua oscillazione avanti e indietro del punto di funzionamento.

A causa del fatto che il punto migliore di un ventilatore assiale è sempre relativamente vicino al vertice c e, di conseguenza, all'inizio della zona di stacco, appare sempre più evidente la necessità di un dimensionamento estremamente accurato e preciso. Ciò è necessario soprattutto per il funzionamento di ventilatori assiali posti in parallelo.

Il limite di pompaggio dei ventilatori assiali può essere ampiamente evitato per mezzo di un anello di stabilizzazione. In tal caso si tratta di una camera a forma di anello o di un anello cilindrico prima della ruota. Soprattutto nel caso di un funzionamento in parallelo di parecchi ventilatori assiali, è assolutamente raccomandata l'installazione di anelli di stabilizzazione. Dati più precisi a questo proposito sono reperibili nei documenti forniti dal fabbricante.

La figura 5.25 illustra il diagramma delle curve caratteristiche di un ventilatore assiale con 6 ed 8 pale. Il ventilatore con 6 pale raggiunge un rendimento massimo di circa 83%, mentre quello con 8 pale di circa 78%.

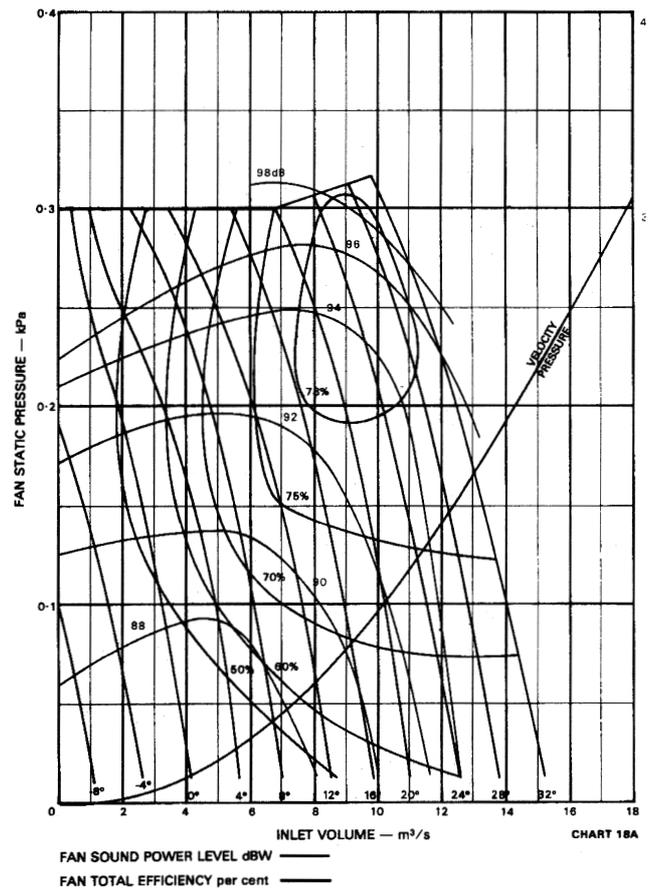
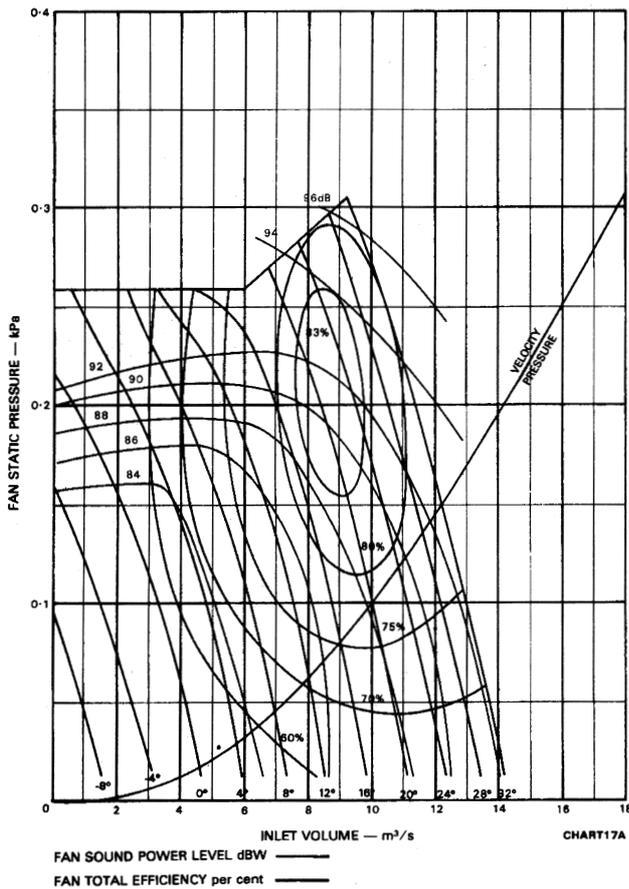


Figura 5.25  
Esempio del diagramma delle curve caratteristiche di un ventilatore assiale con 6 (a sinistra) e 8 (a destra) pale regolabili [5.4]

### 5.2.3 Ventilatori tangenziali

Esistono i seguenti tipi di ventilatori tangenziali:

- con distributore interno (figura 5.26)
- senza distributore interno ma con involucri dalla forma speciale (figura 5.27).

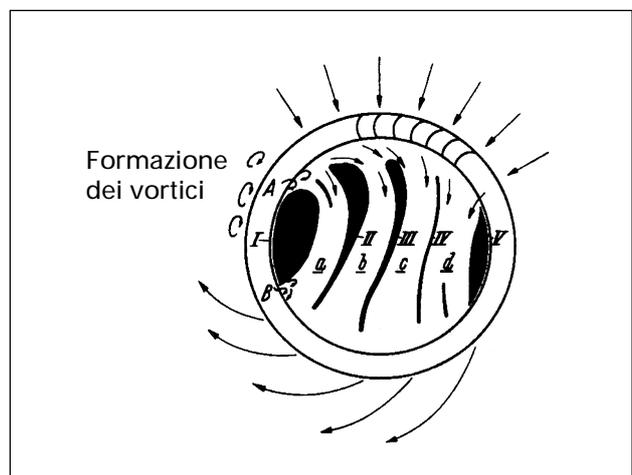


Figura 5.26  
Ventilatore tangenziale con distributore interno [5.2]

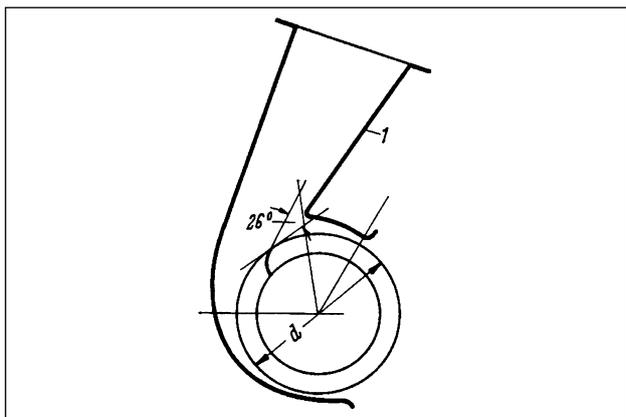


Figura 5.27  
Ventilatore tangenziale con involucro [5.2]

La figura 5.28 illustra un esempio delle curve caratteristiche di un ventilatore tangenziale con involucro.

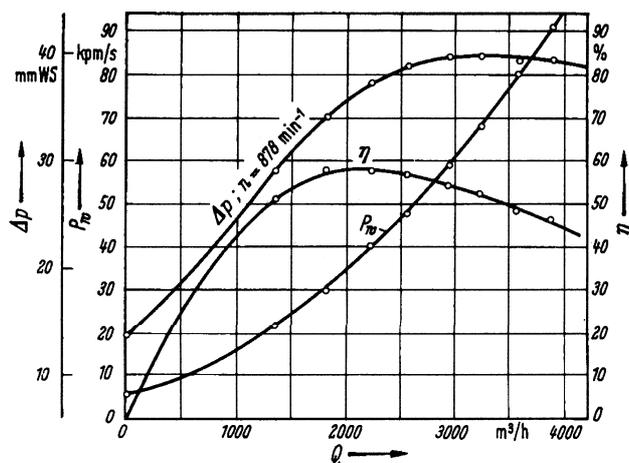


Figura 5.28  
Curve caratteristiche di un ventilatore tangenziale con involucro [5.2]

Sulla base del rendimento modesto che raggiunge un massimo di 60% circa e della curva caratteristica che manifesta una chiara tendenza verso l'instabilità, l'utilizzazione dei ventilatori tangenziali è piuttosto limitata. Nell'impiantistica i tipici settori d'impiego dei ventilatori tangenziali sono i seguenti:

- apparecchi ad induzione
- condizionatori
- tende d'aria per le porte.

## 5.3 Leggi dei gas, della proporzionalità e dell'affinità

### Principi

- Le leggi di conversione servono alla previsione aritmetica quando, a partire dalla curva caratteristica nominale di un ventilatore, è necessario eseguire una conversione in un'altra condizione di funzionamento oppure in modelli simili (di dimensioni maggiori o minori).

#### 5.3.1 Influsso della densità dell'aria

I dati forniti dal fabbricante servono sempre per una determinata densità dell'aria, precisata nei documenti.

Modificazioni della densità dell'aria a velocità di rotazione costante (rispettivamente modificazione della temperatura assoluta del medesimo fluido trasportatore) non causano una modificazione del flusso volumetrico dell'aria. È questo il motivo per cui i ventilatori vengono spesso chiamati macchine fluidodinamiche. Le pressioni (statiche, dinamiche, totali) e, di conseguenza, anche il fabbisogno di potenza mutano proporzionalmente alla densità.

$$\dot{V} = \text{costante}$$

$$\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{T_2}{T_1}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{T_2}{T_1}$$

### 5.3.2 Leggi della proporzionalità

Le leggi della proporzionalità vengono applicate quanto il regime di un ventilatore determinato viene modificato.

Poiché, in caso di modificazioni del regime, i triangoli della velocità diventano proporzionalmente più grandi o più piccoli sulla base dell'angolo delle pale che rimane costante, anche il flusso volumetrico si modifica in modo proporzionale. Poiché la pressione viene calcolata da  $w^2 \cdot \rho / 2$ , l'aumento di pressione nel ventilatore si modifica con il quadrato del flusso volumetrico, rispettivamente del numero dei giri. Corrispondentemente cambia il fabbisogno di potenza proporzionalmente alla terza potenza del numero dei giri.

$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^1$$

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

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

#### Esempio

Un ventilatore gira con  $2000 \text{ min}^{-1}$  e trasporta solo 80% del flusso volumetrico d'aria desiderato. A quale numero di giri deve essere portato per raggiungere il valore effettivo?

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

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

$$\underline{n_2} = \frac{2000 \cdot 100}{80} = \underline{2500 \text{ min}^{-1}}$$

#### Esempio

Il flusso volumetrico dell'aria di un ventilatore può essere ridotto da  $3600 \text{ m}^3/\text{h}$  alla metà grazie ad un migliore tecnica d'immissione dell'aria nei locali. Con  $3600 \text{ m}^3/\text{h}$  e con un rendimento totale del 70%, esso doveva generare una pressione totale di 400 Pa. Non deve essere mantenuta alcuna contropressione per regolatori del flusso volumetrico o simili.

$$P_1 = \frac{\Delta p_{\text{tot}} \cdot \dot{V}}{\eta} = \frac{400 \cdot 3600}{0.7 \cdot 3600} = 571 \text{ W}$$

$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{3600}{1800} = 2$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 = 2^3 = 8$$

$$\Rightarrow \underline{P_2} = \frac{P_1}{8} = \frac{571}{8} = \underline{71 \text{ W}}$$

Rimane ancora soltanto da verificare se il rendimento del ventilatore valido per il primo punto di funzionamento è ancora valido anche per il nuovo punto di funzionamento, oppure se è necessario tener conto del rendimento diverso. Questa conversione avviene come segue:

$$P_{2 \text{ eff}} = \frac{P_2 \cdot \eta_1}{\eta_2}$$

### 5.3.3 Leggi dell'affinità

Le leggi dell'affinità sono applicate ai ventilatori che hanno uno stesso numero di giri, che sono geometricamente simili e le cui dimensioni vengono aumentate o diminuite proporzionalmente. Ciò significa che gli angoli rimangono uguali e che tutte le misure vengono modificate con un fattore costante.

$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^3$$

$$\frac{\Delta p_{\text{tot1}}}{\Delta p_{\text{tot2}}} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^5$$

#### Esempio

Un ventilatore con un diametro della ruota  $d_1 = 315$  mm trasporta a  $n = 1000 \text{ min}^{-1}$  un flusso volumetrico di  $\dot{V}_1 = 1500 \text{ m}^3/\text{h}$ . A quale velocità dovrebbe girare un ventilatore simile con un diametro della ruota  $d_2 = 250$  mm per trasportare la stessa quantità?

Secondo la legge delle affinità:

$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2'} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^3$$

$$\Rightarrow \dot{V}_2' = \frac{\dot{V}_1}{(d_1/d_2)^3}$$

$$\dot{V}_2' = \frac{1500}{(315/250)^3} = 750 \text{ m}^3/\text{h}$$

Secondo la legge della proporzionalità:

$$\frac{n_2'}{n_2} = \frac{\dot{V}_2'}{\dot{V}_2}$$

$$\Rightarrow n_2 = \frac{n_2'}{\dot{V}_2'/\dot{V}_2}$$

$$n_2 = \frac{1000}{750/1500} = \underline{\underline{2000 \text{ min}^{-1}}}$$

## 5.4 Curva caratteristica della rete e punto di funzionamento

### Principi

- La determinazione del punto di funzionamento costituisce la base per la comprensione delle correlazioni nel settore idraulico. Nel quadro di RAVEL ci si limita tuttavia a rimandare alla bibliografia specializzata.

La perdita di pressione in una determinata rete dei canali d'aerazione è composta dalla somma di tutte le perdite di carico singole e delle perdite di carico nei tubi lungo tutto il passaggio dell'aria. La maggior parte di questi elementi di resistenza vengono attraversati in modo turbolento e modificano la propria resistenza proporzionalmente alla pressione dinamica e, di conseguenza, al quadrato della modificazione del flusso volumetrico. Le perdite di carico singole in un regime laminare con una dipendenza lineare tra la perdita di pressione ed il flusso volumetrico dell'aria sono molto rare a causa delle velocità usuali. Esse si manifestano praticamente soltanto nei filtri di materiale in sospensione, nei quali le velocità nel substrato del filtro sono di  $2 \text{ cm/s}$ .

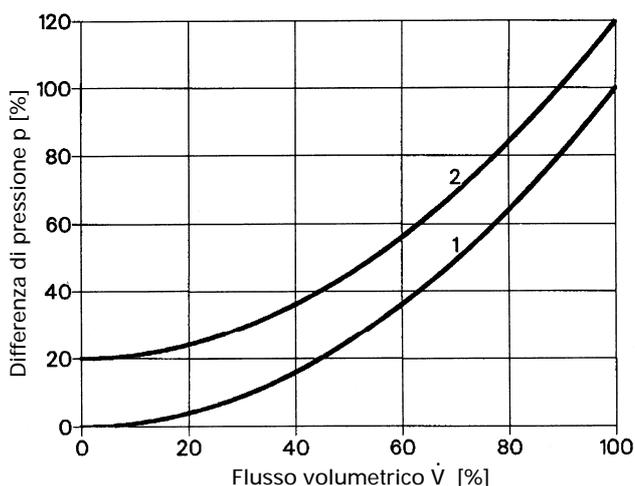


Figura 5.29  
Curva caratteristica della rete nel caso di un flusso turbolento  
1: senza pressione all'entrata  
2: con pressione costante all'entrata  
(ad es. per i regolatori automatici del flusso volumetrico)

Se un ventilatore deve convogliare il proprio flusso volumetrico attraverso una rete di tubi con una curva caratteristica della rete ben determinata, il punto di funzionamento si trova nel punto in cui s'intersecano la curva caratteristica del ventilatore e la curva caratteristica della rete.

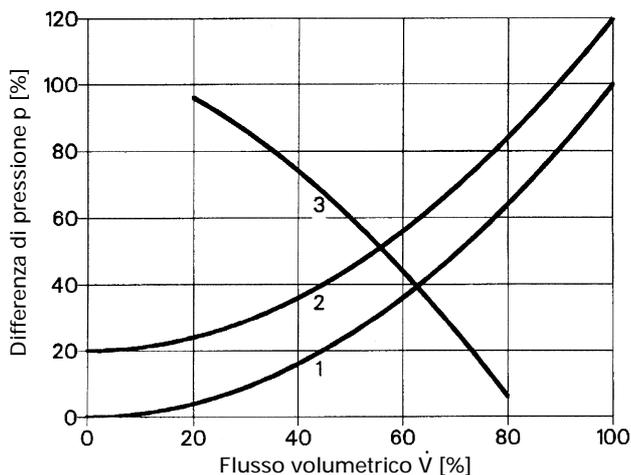


Figura 5.30

Punto di funzionamento nel punto d'intersezione tra la curva caratteristica del ventilatore e la curva caratteristica della rete

- 1: curva caratteristica della rete senza pressione all'entrata
- 2: curva caratteristica della rete con pressione costante all'entrata
- 3: curva caratteristica del ventilatore

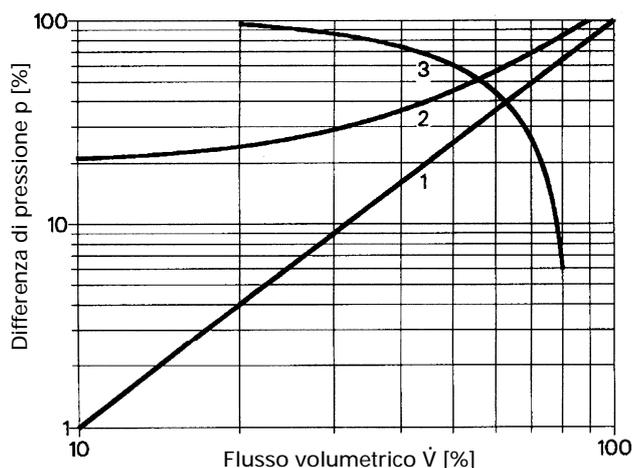


Figura 5.31

Punto di funzionamento, rappresentazione delle curve caratteristiche su carta con scala logaritmica doppia

Una rappresentazione differenziata delle più diverse combinazioni delle curve caratteristiche della rete e dei ventilatori si trova, ad esempio, in [5.1, capitolo 7.7].

## 5.5 Possibilità di regolazione

### Principi

- La possibilità di regolazione ha un ruolo molto importante per il risparmio dell'energia elettrica.
- La regolazione mediante by-pass deve essere evitata.
- Nel caso di ventilatori radiali, la regolazione per torsione ha un campo di applicazione molto ristretto e viene sostituita sempre più dalla regolazione del numero di giri, a causa della complessità meccanica del sistema.
- La regolazione per strozzamento può trovare una giustificazione nel caso di piccoli ventilatori con rotore a tamburo.
- La regolazione del numero di giri è la soluzione più elegante per tutti i tipi di ventilatori.

Nei moderni impianti di ventilazione e di condizionamento esistono parecchi motivi per variare il flusso volumetrico dell'aria gradualmente o in modo continuo. Nel caso di condizioni meteorologiche estreme in estate ed in inverno, un adattamento del flusso volumetrico dell'aria adeguato al fabbisogno permette una riduzione del consumo d'energia per il trattamento dell'aria. Poiché secondo il paragrafo 5.3.2 il fabbisogno di potenza all'albero del ventilatore cambia proporzionalmente alla terza potenza del numero di giri, rispettivamente del flusso volumetrico dell'aria, il funzionamento adeguato al fabbisogno riveste grande importanza, soprattutto per la riduzione del consumo dell'energia necessaria al trasporto dell'aria.

Per i ventilatori radiali esistono le possibilità di regolazione seguenti:

- regolazione del numero di giri
  - cinghie trapezoidali regolabili
  - modificazione del numero di giri del motore (capitolo 6)
- regolazione della torsione
  - distributori per angolo d'entrata
- regolazione mediante by-pass
  - valvola di cortocircuito
- regolazione per strozzamento
  - valvola di strozzamento

Per l'utilizzazione razionale dell'energia elettrica è interessante non solo la potenza necessaria per il funzionamento dell'albero del ventilatore, bensì anche la potenza elettrica che deve essere prelevata dalla rete. Le figure seguenti forniscono una panoramica qualitativa sulle correlazioni. L'osservazione di queste figure indica che la regolazione del numero di giri non presenta vantaggi soltanto per quanto concerne il consumo d'energia, bensì anche per quanto riguarda il livello di rumore.

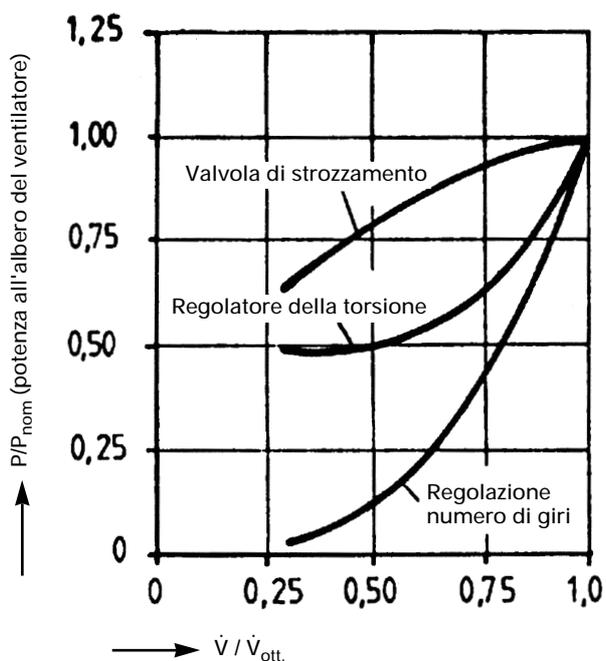


Figura 5.32 Fabbisogno di potenza nel caso di un flusso volumetrico variabile [5.3]

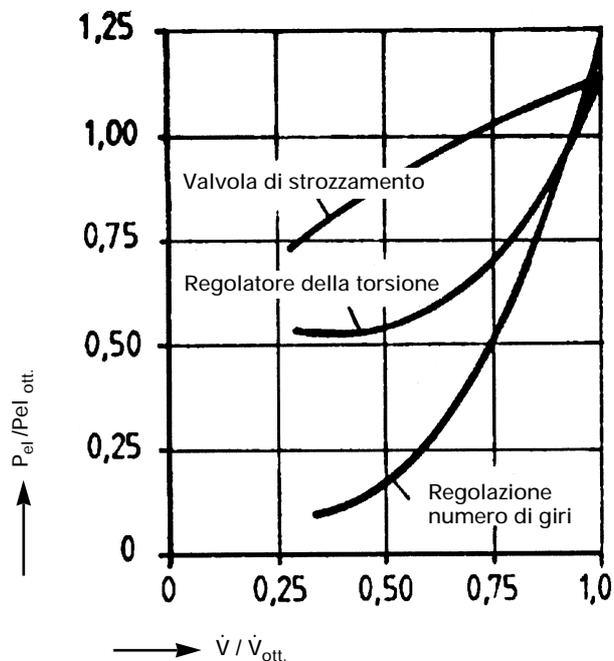


Figura 5.33 Potenza reale assorbita nel caso di un flusso volumetrico variabile [5.3]

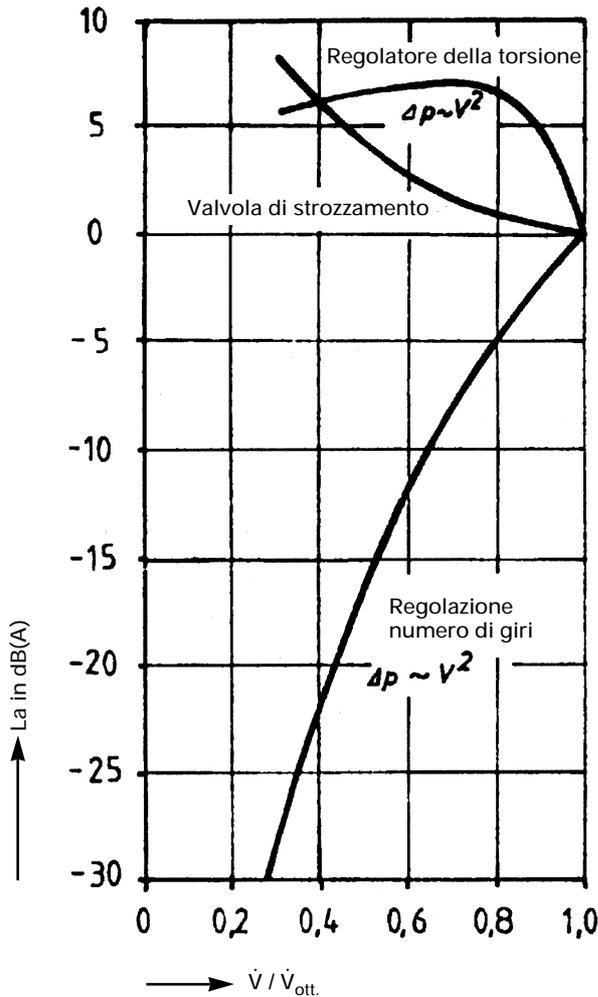


Figura 5.34  
Livello del rumore nel caso di un flusso volumetrico variabile [5.3]

### Regolazione mediante by-pass

La regolazione mediante by-pass non potrà mai essere utilizzata nel quadro di un impiego razionale dell'energia elettrica. Mentre il flusso volumetrico dell'aria verso la rete può essere ridotto, aumenta invece il flusso volumetrico attraverso il ventilatore. Ne consegue un aumento molto notevole della potenza assorbita.

L'esempio della figura 5.35 mostra che mediante l'apertura del by-pass il flusso volumetrico nella rete diminuisce da 1 a 4 (ossia da 60000 a 48000 m<sup>3</sup>/h) e che, contemporaneamente, il ventilatore trasporta una maggiore quantità d'aria (76000 m<sup>3</sup>/h) a causa della diminuzione del livello della pressione. Il rendimento diminuisce da 80 a 59%. Il risultato della regolazione mediante by-pass consiste quindi in una diminuzione dell'aria trasportata e in un aumento del consumo di energia elettrica!

Nei ventilatori con rotore a tamburo potrebbe perfino succedere che il punto di funzionamento si sposti in modo tale all'apertura del by-pass da causare un aumento del flusso volumetrico nella rete.

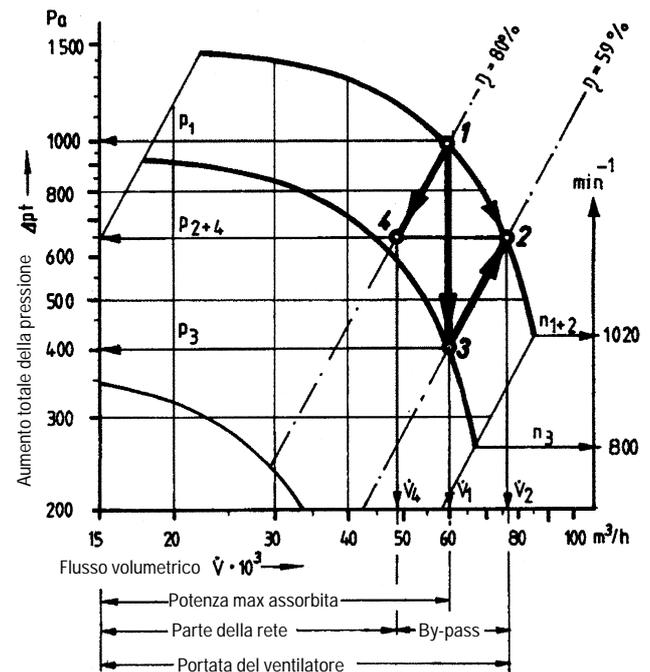


Figura 5.35  
Esempio di una regolazione mediante by-pass [5.3]

Regolazione per strozzamento

Per i piccoli ventilatori nel caso concreto occorre verificare come si comporta la potenza assorbita per un semplice strozzamento nel settore previsto del flusso volumetrico. Rispetto alla regolazione del numero di giri, la regolazione per strozzamento può eventualmente essere migliore sotto l'aspetto energetico, giacché le perdite dovute alla regolazione del numero di giri nei piccoli motori e nel caso di piccole deviazioni del flusso volumetrico nominale dell'aria potrebbero essere maggiori. Se la regolazione per strozzamento dovesse trovare la propria applicazione nel caso di piccoli motori, occorre fare in modo che il punto di funzionamento più frequente si trovi nella zona di rendimento ottimale. In ogni caso occorre scegliere, se possibile, la portata massima a destra del settore di rendimento ottimale. Le figure 5.36 e 5.37 mostrano che il ventilatore con rotore a tamburo è più adatto per la semplice regolazione per strozzamento del ventilatore radiale ad alto rendimento, in cui la potenza assorbita diminuisce di poco a causa dell'aumento della pressione statica.

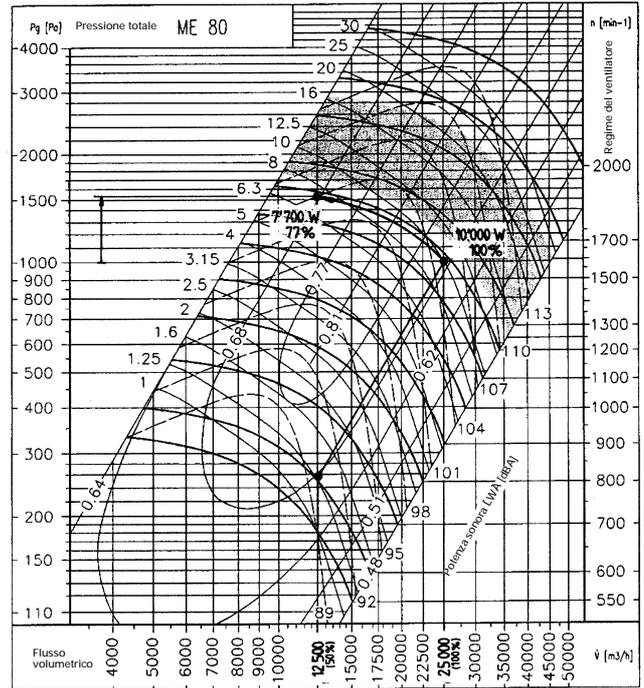


Figura 5.37  
Regolazione per strozzamento di un ventilatore radiale ad alto rendimento. Flusso volumetrico da 100 a 50%, potenza assorbita da 100 a 77%

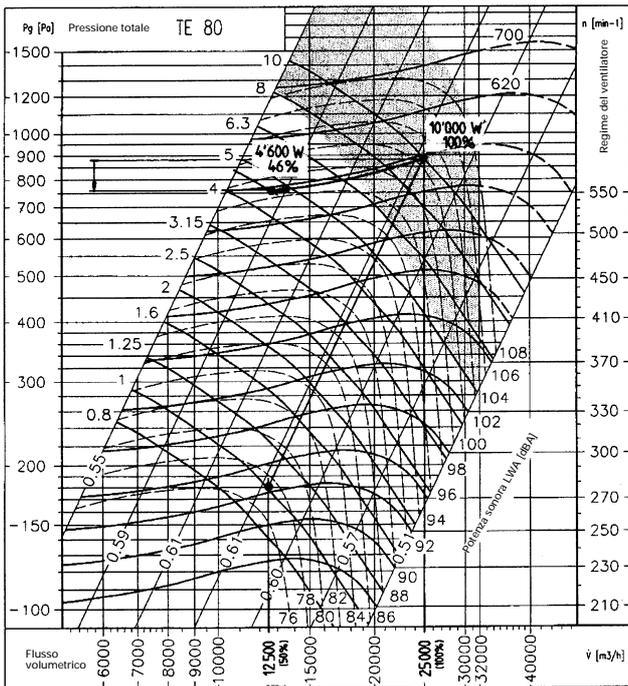


Figura 5.36  
Regolazione per strozzamento di un ventilatore con rotore a tamburo. Flusso volumetrico da 100 a 50%, potenza assorbita da 100 a 46%

### Regolazione a torsione

Un mezzo economico per ridurre progressivamente i flussi volumetrici a circa  $\frac{2}{3}$  del valore massimo consiste nella regolazione a torsione mediante pale direttrici regolabili. A seconda del tipo di raccordo e dello spazio a disposizione per l'aspirazione, si può fare una scelta tra due distributori a flusso assiale ed un distributore a flusso radiale.

Nel caso dei ventilatori assiali, la torsione sarà generata sulla ruota sia mediante un distributore, sia mediante una prerotazione della ruota stessa.

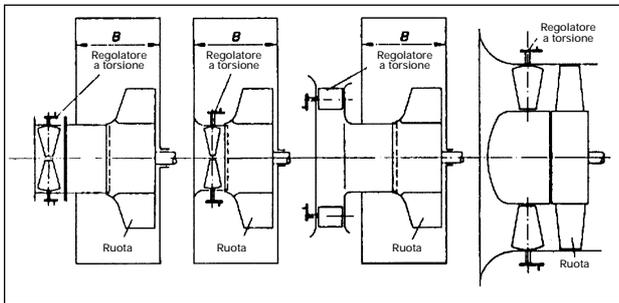


Figura 5.38  
Diversi tipi di regolatori a torsione [5.1]

Il regolatore a torsione genera una torsione all'entrata della ruota e modifica, di conseguenza, la direzione d'entrata dell'aria nel canale delle pale. È così possibile generare una torsione di movimento identico o opposto.

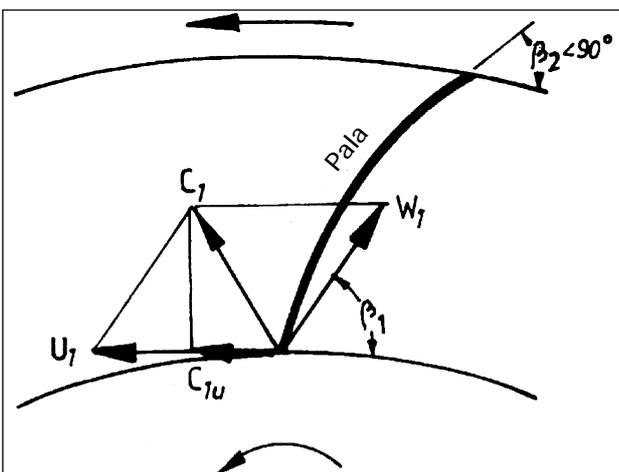


Figura 5.39  
Torsione di uguale direzione [5.3] ( $c_{1u}$  positiva, diminuzione del flusso volumetrico)

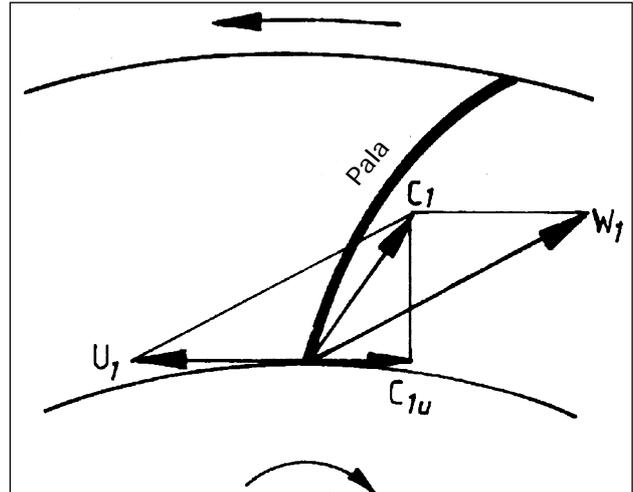


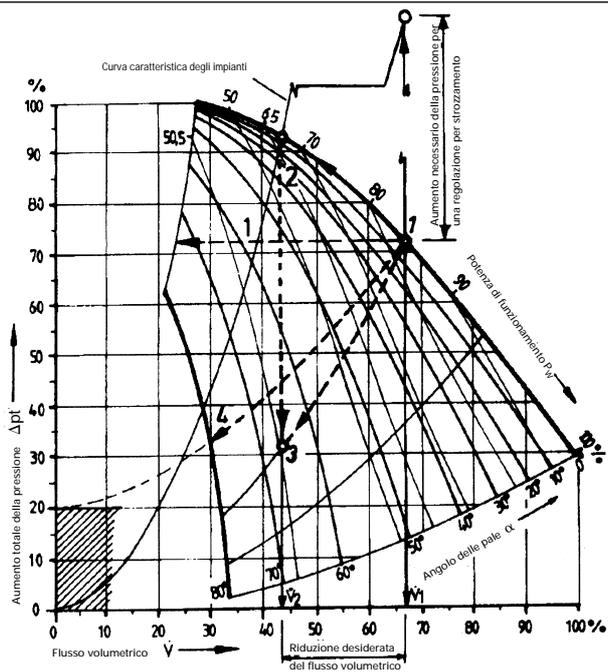
Figura 5.40  
Torsione in senso contrario [5.3] ( $c_{1u}$  negativa, aumento del flusso volumetrico. Utilizzato in pratica, tuttavia, solo nei ventilatori assiali)

I regolatori a torsione sono adatti solo per i ventilatori radiali ad alto rendimento e per i ventilatori assiali. Nel caso dei ventilatori con rotore a tamburo, che hanno i canali delle pale relativamente larghi, si manifesterebbero forti flussi secondari tridimensionali, con le perdite e le instabilità conseguenti.

Ad ogni posizione delle pale direttrici nasce una nuova curva caratteristica del ventilatore che si trova al di sotto della curva caratteristica nel caso che il regolatore sia completamente aperto.

Pur facendo astrazione del fatto che i punti di funzionamento nel caso della regolazione a torsione si spostano nella zona di rendimento ottimale, sia il flusso volumetrico, sia la pressione diminuiscono nella misura desiderata. Ambedue sono assolutamente in contrapposizione con la regolazione per strozzamento.

La figura 5.41 illustra un esempio dell'effetto di una regolazione a torsione e di una regolazione per strozzamento per la riduzione del flusso volumetrico dell'aria a circa  $\frac{2}{3}$  del valore iniziale. Mediante la regolazione a torsione il punto di funzionamento si sposta da 1 a 3, con la regolazione per strozzamento da 1 a 2. In questo modo la potenza assorbita diminuisce nel caso della regolazione per strozzamento solo fino a circa 70%, mentre in quello della regolazione a torsione fino a circa 50%.



- 1 Punto di funzionamento nel caso di flusso volumetrico nominale e pressione nominale
- 2 Punto di funzionamento nel caso di flusso volumetrico ridotto mediante regolazione per strozzamento
- 3 Punto di funzionamento nel caso di flusso volumetrico ridotto mediante regolazione a torsione

Figura 5.41  
Regolazione a torsione paragonata alla regolazione per strozzamento [5.3]

Se si vuole regolare mantenendo una pressione o un flusso volumetrico costanti, occorre fare in modo che i punti di funzionamento più frequenti siano situati nella gamma di rendimento ottimale.

Qualora si debba eseguire la regolazione sulla base della curva caratteristica della rete, per ottenere una gamma di regolazione più ampia, per il ventilatore può essere utilizzato un motore a due stadi.

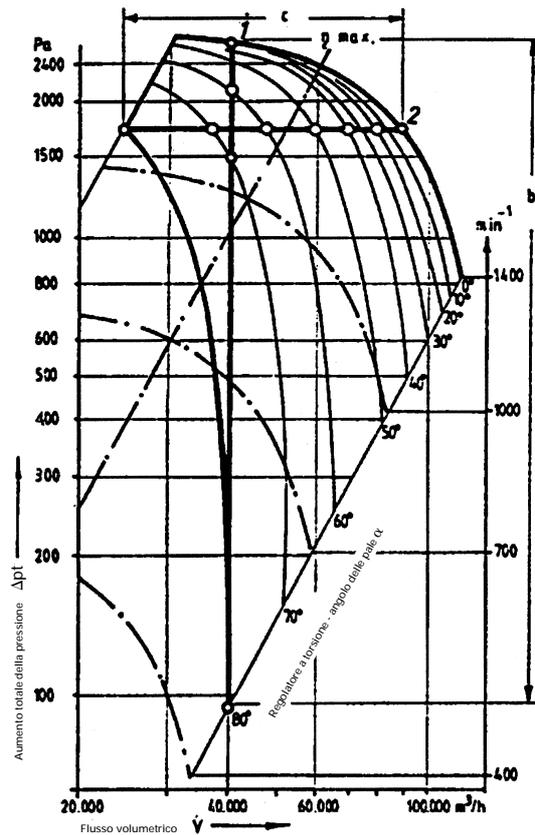


Figura 5.42  
Controllo dei punti di funzionamento nell'ambito del settore di regolazione [5.3]

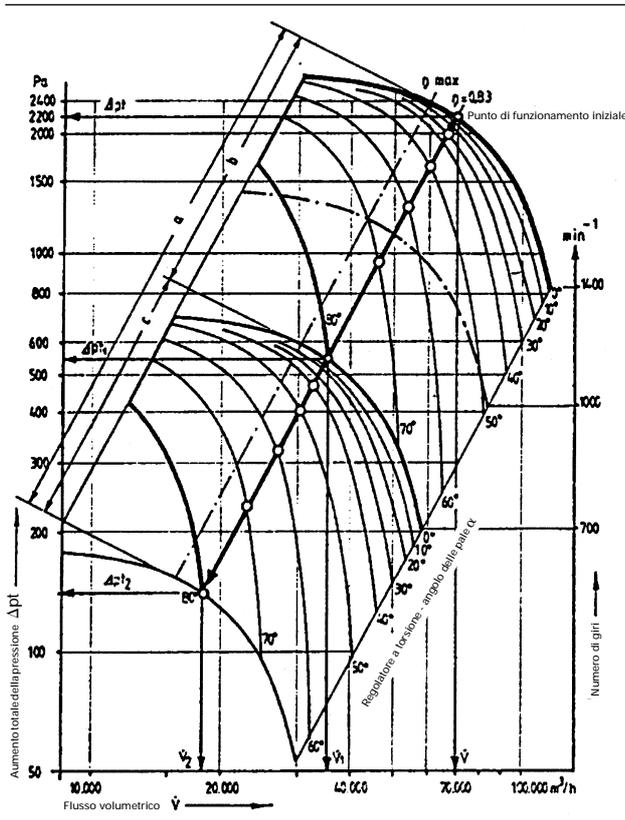


Figura 5.43  
Combinazione di regolazione del numero di giri e regolazione a torsione [5.3]

### Regolazione del numero di giri

La soluzione senza dubbio più elegante per il ventilatore è costituita dalla regolazione del numero di giri. I progressi già effettuati e quelli futuri nel settore della regolazione dei motori (cfr. capitolo 6) offrono al ventilatore con la regolazione del numero di giri le migliori opportunità per il futuro. Un ulteriore miglioramento può essere raggiunto rinunciando al funzionamento mediante la cinghia. In futuro l'albero motore dovrebbe essere unito direttamente alla ruota. Quest'ultima dovrebbe avere la propria sede in un involucro leggero ed a buona tenuta stagna, motivo per cui occorre tuttavia fare in modo che l'involucro possa essere sufficiente sotto l'aspetto fonotecnico. Questo tipo di costruzione è già stato realizzato per il ventilatore assiale.

Per terminare, la figura 5.44 fornisce ancora un paragone tra il fabbisogno di potenza di un ventilatore con regolazione del numero di giri ed il fabbisogno di potenza di un ventilatore a parecchi stadi con regolazione a torsione.

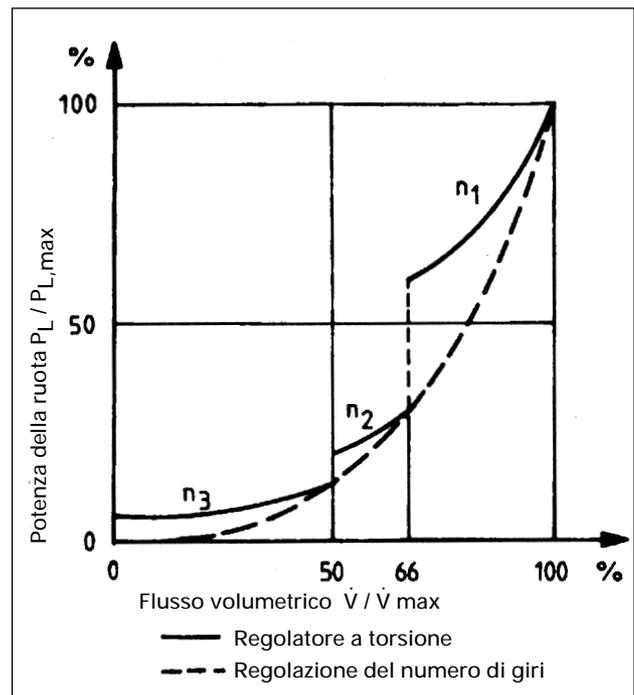


Figura 5.44  
Fabbisogno di potenza per la regolazione a torsione in combinazione con un motore con numero di poli variabile in paragone con la regolazione del numero di giri [5.1]

## 5.6 Perdite durante il montaggio

I diagrammi delle curve caratteristiche dei ventilatori vengono stabiliti dopo prove effettuate su banchi di prova normalizzati. Un ventilatore supera le perdite di pressione degli apparecchi per la misurazione del flusso volumetrico. Il ventilatore in prova viene inserito nel sistema in modo tale che aspira liberamente e scarica sotto controllo.

Nella prassi i ventilatori aspirano e soffiano sempre in una rete di canali oppure in un elemento monoblocco limitato nello spazio.

La perdita dal lato dell'aspirazione e da quello della pressione può essere calcolata mediante coefficienti di resistenza reperibili nella bibliografia specializzata. Nel caso di un montaggio razionale, sia dal lato dell'aspirazione, sia da quello dello scarico dell'aria, si valuta che tali valori siano situati tra 1 e 2.

Se i ventilatori vengono raccordati direttamente a sistemi di canali ed a sistemi di tubi, i pezzi di transito nei raccordi devono essere eseguiti in modo molto accurato, onde poter ottenere risultati migliori che non con un monoblocco di buona qualità.

## Bibliografia capitolo 5

- [5.1] Arbeitskreis der Dozenten für Klimatechnik  
Lehrbuch der Klimatechnik  
Band 3, Bauelemente  
Verlag C.F. Müller, Karlsruhe, 2. Auflage  
ISBN 3-7880-7207-5
- [5.2] Bruno Eck  
Ventilatoren  
Springer-Verlag, 5. Auflage  
ISBN 3-540-05600-9
- [5.3] J. Lexis  
Radialventilatoren in der Praxis  
Gentner Verlag Stuttgart  
ISBN 3-87247-278 x
- [5.4] Novenco Variax  
Tellus - Variable pitch axial flow fans  
DK-4700 Naestved
- [5.5] Paul Wirz AG  
Ventilatorenbau  
3000 Bern 22
- [5.6] Recknagel, Sprenger, Hönmann  
Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik  
Verlag Oldenbourg, Ausgabe 1992/93

## 6. Sistemi di azionamento per ventilatori

---

6.1	Approvvigionamento di energia elettrica	101
6.1.1	Sicurezza di approvvigionamento	101
6.1.2	Frequenza e tensione	102
6.1.3	Disturbi sulla rete elettrica	102

---

6.2	Motori elettrici (motori trifase asincroni)	103
6.2.1	Tipi di costruzione	103
6.2.2	Normalizzazione	104
6.2.3	Caratteristiche generali dei motori a gabbia di scoiattolo	108

---

6.3	Misurazione della potenza	113
-----	---------------------------	-----

---

6.4	Trasmissione	114
-----	--------------	-----

---

6.5	Regolazione del numero di giri	115
6.5.1	Modificazione del numero di paia di poli	115
6.5.2	Modificazione dello slittamento	117
6.5.3	Regolazione con tiristori	117
6.5.4	Regolazione a comando di frequenza	117
6.5.5	Modificazione del rendimento	119

---

6.6	Protezione contro le esplosioni	120
-----	---------------------------------	-----

---

6.7	Acustica	120
-----	----------	-----

---

	Bibliografia capitolo 6	121
--	-------------------------	-----

---



## 6. Sistemi di azionamento per ventilatori

Nella presente documentazione il sistema di azionamento dei ventilatori viene considerato come una combinazione tra

- approvvigionamento di energia elettrica,
- meccanismo di azionamento (motore) e
- trasmissione.

Nella tecnica di ventilazione e di condizionamento per l'azionamento dei ventilatori vengono utilizzati in pratica esclusivamente motori elettrici. L'approvvigionamento energetico viene quindi considerato in rapporto all'energia elettrica.

Sulla base del fatto che già oggi la maggior parte di tutti i motori elettrici è costituita da motori ad induzione, le osservazioni seguenti si concentrano sui motori trifase asincroni con una potenza variabile tra 100 W e 100 kW.

Recentemente si annette nuovamente importanza al termine «trasmissione», poiché da un lato si osserva una certa tendenza a sostituire la cinghia trapezoidale con la cinghia piana, mentre dall'altro, a causa della regolazione della velocità dei motori, si può ritornare all'accoppiamento diretto mediante un giunto per alberi.

In ogni caso il sistema di azionamento deve sempre essere considerato in combinazione con la macchina operatrice ed il comando eventuale della potenza di quest'ultima nella rete dell'impianto idraulico, nonché della sua utilizzazione sul piano pratico.

Un'utilizzazione ottimale dell'energia elettrica si basa su un'interazione ideale di questi componenti.

### 6.1 Approvvigionamento di energia elettrica

Come già rammentato all'inizio, le macchine operatrici utilizzate per il trasporto di flussi volumetrici d'aria, nella maggioranza dei casi vengono fatte funzionare per mezzo di motori asincroni muniti di rotore a gabbia e, di conseguenza, alimentati con corrente elettrica trifase.

A questo punto non esistono né lo spazio necessario, né la necessità di una descrizione della produzione di corrente elettrica, del trasporto e della trasformazione della stessa nella corrente necessaria per i motori utilizzati nell'impiantistica. Il nostro punto d'interazione è costituito dalla rete di elettricità a bassa tensione sostituita, se del caso, dal gruppo elettrogeno di emergenza o da un generatore di forza e di calore privato (GFC).

#### 6.1.1 Sicurezza di approvvigionamento

Per le regioni svizzere che non sono troppo isolate l'approvvigionamento è garantito in modo sufficiente e tale da non rendere quindi generalmente necessario prevedere un gruppo elettrogeno di emergenza per gli impianti di ventilazione. Osservazioni eseguite sull'arco di parecchi anni all'ospedale universitario di Zurigo hanno dimostrato, ad esempio, che le interruzioni dell'erogazione dell'energia elettrica ai morsetti dei motori degli impianti di ventilazione in oltre il 90% dei casi erano dovute a guasti tra la stazione di trasformazione dell'edificio ed i morsetti del motore. Per questo motivo anche le stazioni di ventilazione per le sale operatorie ed il reparto cure intense non sono allacciate a reti di emergenza.

Ovviamente deve esistere un concetto di comportamento da adottare durante le interruzioni di corrente elettrica previste, ad esempio durante le prove eseguite con impianti per la corrente d'emergenza. In casi particolarmente delicati (ad es. reparti sterili) vengono mantenute solo le funzioni che permettono il mantenimento di una pressione minima.

Prima che il tecnico della ventilazione accampi pretese per quanto concerne la necessità di una rete per la corrente d'emergenza, dovrebbe essere eseguita un'analisi accurata delle conseguenze di una lunga interruzione di corrente elettrica, tenendo conto di tutti gli influssi attenuanti e di tutte le misure che possono essere adottate nell'ambito dell'esercizio.

Per le regioni isolate le aziende elettriche forniscono informazioni concernenti la frequenza e la durata delle interruzioni di energia elettrica avvenute.

### 6.1.2 Frequenza e tensione

Al momento la Svizzera sta preparandosi al cambiamento di tensione della rete elettrica previsto per l'Europa.

Le tensioni ancora utilizzate oggi e la nuova tensione normalizzata per tutta l'Europa sono riunite nella figura 6.1.

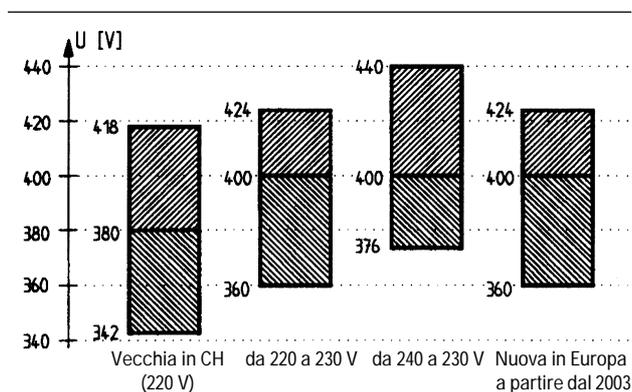


Figura 6.1  
Adattamento della tensione in Europa a 230/400 V 50 Hz

Durante il funzionamento di un motore al limite inferiore della tolleranza di tensione della rete, le conseguenze sono le seguenti:

- negative    lo slittamento aumenta  
              il numero di giri diminuisce  
              aumenta il pericolo di sovraccarico termico  
              diminuisce il rendimento
- neutre     la coppia di avviamento diminuisce
- positive    il coseno phi aumenta  
              la corrente di avviamento diminuisce

L'influsso della tensione della rete sulla potenza reale è espressa dalla formula seguente:

$$P = P_N \left( \frac{U}{U_N} \right)^a$$

- P            potenze reali alla tensione U
- P<sub>N</sub>        potenza reale nominale alla tensione U<sub>N</sub>
- U            tensione effettiva
- U<sub>N</sub>        tensione nominale
- a            esponente dell'influsso della tensione

Per i motori l'esponente a = 0. Nei motori la tensione non ha quindi influsso alcuno sulla potenza reale. In contrapposizione a ciò, l'esponente raggiunge ad esempio, nelle lampade ad incandescenza, un valore di a = 1.6 e negli apparecchi di riscaldamento un valore di a = 2.0.

L'aumento della tensione sulla rete è favorevole alle aziende elettriche, giacché in questo modo le perdite dovute al trasporto diminuiscono leggermente e migliora, di conseguenza, la capacità di trasporto delle reti esistenti.

Attenzione: i riscaldamenti elettrici e gli aerotermini non regolati hanno un consumo di elettricità superiore del 20% quando la tensione aumenta al limite superiore.

La frequenza della corrente elettrica trifase delle nostre reti è di 50 Hz, mentre la frequenza normalizzata negli USA ed in Canada è di 60 Hz. Anche nei paesi dell'Europa dell'est si lavora parimenti con 50 Hz.

Questi presupposti differenti hanno la conseguenza che i motori con un numero uguale di poli ruotano più rapidamente a 60 Hz e, con un momento uguale della coppia, forniscono di conseguenza una potenza più elevata.

Poiché il fabbisogno di potenza delle macchine fluidodinamiche, ad un numero più elevato di giri, aumenta più fortemente che non la potenza fornita dal motore, possono insorgere dei problemi. Nel caso contrario la conseguenza sarebbe una diminuzione del volume d'aria.

### 6.1.3 Disturbi sulla rete elettrica

Nei capitoli 6.5.3 «Regolazione con tiristori» e 6.5.4 «Regolazione a comando di frequenza» ci occuperemo del tema concernente il disturbo causato dalle armoniche superiori.

Per gli azionamenti di piccole dimensioni, per i quali vengono scelti prevalentemente, per motivi economici, motori a corrente alternata monofase, occorre fare in modo di salvaguardare l'equilibrio tra le tre fasi della rete.

## 6.2 Motori elettrici (motori trifase asincroni)

### Principi

- Nonostante la loro buona qualità, i piccoli motori utilizzati per l'azionamento di ventilatori non superano rendimenti da 80 a 90%.
- I motori a poli spaccati ed i motori a collettore, utilizzati soprattutto per i rotorii esterni, hanno un rendimento notevolmente minore che oscilla dal 30 al 50%.
- All'IHS 1993 sono stati presentati nuovi motori con rotore esterno ed a commutazione elettronica, dai quali ci si può attendere un miglioramento notevole (soprattutto in rapporto con la regolazione dei giri adatta a questo scopo).
- La normalizzazione è insufficiente e non corrisponde allo spirito di RAVEL. Manca un obbligo di dichiarazione dei rendimenti da parte del produttore per un'ampia gamma di velocità di rotazione e di potenze a carico parziale.

### 6.2.1 Tipi di costruzione

Nel motore a gabbia di scoiattolo (trifase o monofase) il rotore consiste di un corpo cilindrico di lamiera munito di scanalature, nelle quali sono sistemate delle sbarre che alle due estremità sono collegate con una gabbia chiusa, ossia cortocircuitate. Per potersi mettere in movimento, il motore deve avere una frequenza di rotazione minore di quella dello statore, ciò che gli permette di girare in modo asincrono.

Il rendimento del motore viene aumentato da un dimensionamento generoso dei componenti dello statore.

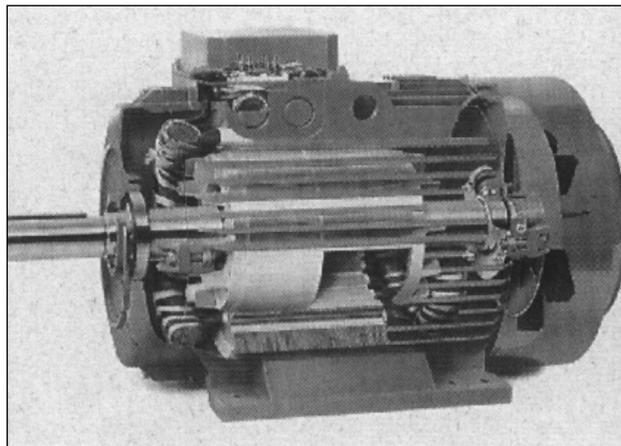


Figura 6.2  
Spaccato di un motore trifase a gabbia di scoiattolo [6.2]  
(tipo di protezione IP 54.862021)

I motori con rotore esterno sono molto diffusi nella costruzione dei ventilatori. L'avvolgimento dello statore si trova nella parte più interna del motore, cosicché le sue spire di rame sono molto strette l'una contro l'altra. Il motore ruota attorno allo statore, che rimane fisso. Sotto l'aspetto costruttivo ciò presenta il vantaggio che la ruota del ventilatore può essere fissata direttamente sul motore stesso. L'eliminazione della cinghia di trasmissione, causa di molte perdite, ha portato, onde poter adeguare il numero di giri, ad un'ampia diffusione della regolazione mediante modificazione dello slittamento. Questo tipo di regolazione, pure fonte di molte perdite e per di più causa di molti disturbi, avviene mediante una riduzione della tensione.

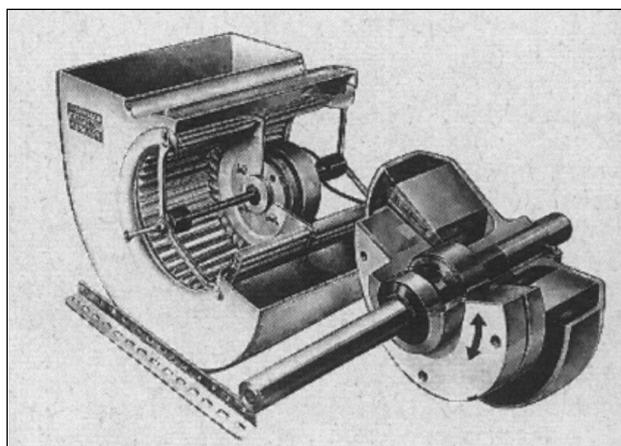


Figura 6.3  
Ventilatore compatto con regolazione del numero di giri  
mediante modificazione dello slittamento

Nuovi sviluppi di motori a rotorii esterni, con eccitazione permanente (magneti permanenti nel rotore) permettono tuttavia di attendersi dei miglioramenti. All'IHS 1993 sono state presentate diverse forme di ventilatori (assiali, tangenziali, radiali) muniti di tali motori. I dati tecnici dovrebbero essere a disposizione a partire dalla primavera del 1994.

### 6.2.2 Normalizzazione

Nel nostro Paese esistono due organismi internazionali che si occupano della pubblicazione di norme concernenti i motori. Si tratta della CEI (Commissione elettrotecnica internazionale) e del CENELEC (Comitato europeo di normalizzazione elettrotecnica). In Europa le norme nazionali corrispondono in misura sempre maggiore a quelle del CENELEC e della CEI.

Il rispetto di queste norme garantisce che i motori IEC sono interscambiabili l'uno con l'altro per quanto concerne le dimensioni strutturali e le potenze.

Non esistono ancora valori limite normalizzati per quanto concerne i dati elettrici d'esercizio, quali il rendimento, il fattore di potenza ( $\cos \phi$ ), la coppia e lo slittamento. Lo spirito di competizione che regna attualmente fa tuttavia pensare ad certa normalizzazione, benché non si noti ancora chiaramente una vera tendenza verso rendimenti più elevati.

La dispersione tra rendimenti buoni e meno buoni dei motori che vengono offerti oggi sul mercato svizzero si situa, ad esempio, per un motore a quattro poli di 55 kW, tra l'85 ed il 94%. In un prossimo futuro si potranno riscontrare ottimi rendimenti, dell'ordine del 95%, nei motori di serie normalizzati di grandi dimensioni.

Generalmente peggiori per quanto concerne il rendimento sono i motori a poli spaccati ed i motori a collettore. Di questo gruppo fanno parte anche i motori a rotore esterno, diffusi su scala mondiale. I dati forniti dai produttori non permettono di farsi direttamente un'idea in merito ai rendimenti di tali sistemi. Si può tuttavia partire dal presupposto che i rendimenti globali dei motori e dei ventilatori, nonostante l'eliminazione delle perdite dovute alle cinghie trapezoidali, variano da 10 fino a 15% circa.

Per aumentare i rendimenti sono necessari sforzi tesi ad ottenere un obbligo di dichiarazione dei dati elettrotecnici più importanti dei motori e del loro sistema di regolazione eventuale. Contemporaneamente rivestono grande interesse anche i rendimenti a carico

parziale. Una regolamentazione a questo proposito viene elaborata attualmente nel quadro del Decreto sull'utilizzazione dell'energia della Confederazione.

### 6.2.2.1 Grandezza, stadi di potenza nominali e tipo di protezione

La grandezza dei motori normalizzati di un determinato tipo di costruzione, il numero di poli e la potenza nominale vengono determinati in funzione dell'altezza dell'asse, di una lettera complementare (S, M oppure L), nonché dal tipo di protezione.

Grandezza Altezza dell'asse [mm]	Potenza nominale [kW] Motori a gabbia di scoiattolo	
	IP 54	IP 23
56	0,06	
56	0,09	
63	0,12	
63	0,18	
71	0,25	
71	0,37	
80	0,55	
80	0,75	
90S	1,1	
90L	1,5	
100L	2,2	
100L	3	
112L	4	
132S	5,5	
132M	7,5	
160M	11	11
160L	15	15
160L	-	18,5
180M	18,5	22
180L	22	30
200M	-	-
200L	30	37
225S	37	45
225M	45	55

Tabella 6.1  
Parametri di motori normalizzati a quattro poli [6.2]

Secondo la pubblicazione CEI 34-5, il tipo di protezione viene indicato mediante l'abbreviazione IP (International Protection) seguita da due cifre caratteristiche, ad esempio IP 54.

- La prima cifra caratteristica indica il tipo di protezione dai contatti accidentali e la protezione da corpi estranei.
- La seconda cifra caratteristica fornisce informazioni concernenti la protezione dall'acqua.

I tipi di protezione più usati nell'impiantistica sono riassunti brevemente nella tabella 6.2.

Motore	Tipo di protezione	1ª cifra caratteristica Protezione contro i contatti	Protezione dai corpi estranei	2ª cifra caratteristica Protezione dall'acqua
Raffreddamento interno	IP 21	Contatto con le dita	Corpi estranei solidi, di media grandezza con $d > 12$ mm	Stillicidio verticale
	IP 22			Stillicidio obliquo fino a $15^\circ$
	IP 23			Acqua nebulizzata, obliqua, fino a $60^\circ$
Raffreddamento in superficie	IP 44	Contatto con utensili o simili	Corpi estranei solidi, piccoli con $d > 1$ mm	Spruzzi d'acqua da tutte le direzioni
	IP 54	Protezione totale dai contatti	Depositi nocivi di polvere	Spruzzi d'acqua da tutte le direzioni
	IP 55			Getti d'acqua da tutte le direzioni
	IP 65	Protezione totale dai contatti	Protezione contro la penetrazione della polvere	Getti d'acqua da tutte le direzioni
	IP 67			Motore sott'acqua in condizioni di pressione e di tempo stabilite

Tabella 6.2  
Tipi di protezione dei motori

### 6.2.2.2 Tipo di raffreddamento, classi di materiali isolanti e scelta della grandezza del motore

Il tipo di raffreddamento necessario ed il carico ammissibile dipendono dalla classe dei materiali isolanti utilizzati e dai parametri di raffreddamento esterni, nonché dall'altitudine del luogo e dalla temperatura ambiente.

Il tipo di raffreddamento viene definito mediante le due lettere IC (per Internal Cooling), seguite da due numeri ad una o a due cifre.

La tabella 6.3 contiene alcuni esempi d'identificazione del tipo di raffreddamento del motore con un solo circuito di raffreddamento. Le cifre caratteristiche hanno il significato seguente:

- la prima cifra descrive il tipo di circolazione del mezzo refrigerante.
- la seconda cifra descrive il tipo di azionamento utilizzato per spostare il mezzo refrigerante.

Identificazione	Breve descrizione
IC 01	Macchina con entrata ed uscita dell'aria libere, autoventilazione
IC 06	Macchina con entrata ed uscita dell'aria libere, raffreddamento mediante ventilatore fissato alla macchina, ma con azionamento separato
IC 11	Macchina con raccordo per tubi, un canale d'adduzione, raffreddamento indipendente
IC 17	Macchina con raccordo per tubi, un canale d'adduzione, ventilatore separato con azionamento indipendente
IC 21	Macchina con raccordo per tubi, un canale d'uscita, raffreddamento indipendente
IC 27	Macchina con raccordo per tubi, un canale d'uscita, ventilatore separato con azionamento indipendente
IC 31	Macchina con raccordo per tubi, canale d'entrata e d'uscita, raffreddamento indipendente
IC 37	Macchina con raccordo per tubi, canale d'entrata e d'uscita, ventilatore separato con azionamento indipendente
IC 41	Raffreddamento indipendente in superficie
IC 51	Macchina con scambiatore di calore incorporato e raffreddato dall'aria ambiente, raffreddamento indipendente

Tabella 6.3  
Identificazione del tipo di raffreddamento dei motori con un circuito di raffreddamento

Per i motori con due circuiti di raffreddamento, l'identificazione diventa un po' più complicata. Alcuni esempi sono riportati nella tabella 6.4. Le cifre caratteristiche hanno il significato seguente:

- il primo gruppo, formato da una lettera e da due cifre, indica il circuito di raffreddamento secondario, esterno, a bassa temperatura.
- Il secondo gruppo, formato parimenti da una lettera e da due cifre, indica il circuito di raffreddamento primario, a temperatura più elevata. La lettera A designa l'aria e la lettera W designa l'acqua. Se l'acqua costituisce il solo mezzo refrigerante, la lettera A può essere tralasciata.

Identificazione	Breve descrizione
IC 00 41	Macchina raffreddata in superficie, senza ventilatore
IC 01 51	Scambiatore di calore incorporato, raffreddato dall'aria ambiente, raffreddamento indipendente
IC 06 41	Macchina raffreddata in superficie con ventilatore incorporato e ad azionamento indipendente
IC W 37 A 71	Macchina raffreddata ad aria con scambiatore di calore incorporato, raffreddato ad acqua
IC W 37 A 81	Macchina chiusa con raffreddamento aria-acqua, con scambiatore ad acqua intercambiabile (tipo a cassetta)
IC W 37 A 75	Macchina con ventilazione interna mediante ventilatore non azionato dalla macchina stessa e con scambiatore di calore incorporato, raffreddato ad acqua

Tabella 6.4  
Identificazione del tipo di raffreddamento di motori con due circuiti di raffreddamento

I motori in esecuzione standardizzata sono previsti per l'esercizio ad una temperatura ambiente massima di 40°C ed un'altitudine massima di ubicazione di 1000 m s.l.m. Ogni variazione richiede una correzione della potenza nominale.

Con temperature dei mezzi refrigeranti che si scostano dai 40°C, la potenza del motore, a dipendenza delle classi del materiale isolante B e F secondo CEI 85 (indicata sulla targhetta segnaletica), deve essere convertita, rispetto alla potenza nominale, come segue:

$$P_M = C_t \cdot P_N$$

$P_M$  potenza del motore per una temperatura del mezzo refrigerante  $t$

$P_N$  potenza nominale del motore per una temperatura del mezzo refrigerante di 40°C

$C_t$  fattore di correzione per la temperatura del mezzo refrigerante  $t$  secondo la tabella 6.5

Temperatura del mezzo refrigerante $t$ [°C]	Fattore di correzione $C_t$ per la classe del materiale isolante	
	B	F
30	1,06	1,05
35	1,03	1,02
40	1,00	1,00
45	0,96	0,97
50	0,92	0,94
55	0,87	0,91
60	0,82	0,87

Tabella 6.5  
Fattore  $C_t$  per l'adattamento della potenza per una temperatura del mezzo refrigerante  $t$  (altitudine di ubicazione 1000 m s.l.m.)

Per altitudini di ubicazione superiori a 1000 m s.l.m. e per una temperatura del mezzo refrigerante costante di 40°C deve essere ridotta la potenza del motore.

$$P_M = C_H \cdot P_N$$

$P_M$  potenza del motore per l'altitudine di ubicazione  $H$

$P_N$  potenza nominale del motore a 1000 m s.l.m.

$C_H$  fattore di correzione per l'altitudine di ubicazione  $H$  secondo la tabella 6.6

Altitudine di ubicazione H [m s.l.m.]	Fattore di correzione $C_H$ per la classe di materiale isolante	
	B	F
1000	1,00	1,00
1500	0,98	0,98
2000	0,97	0,97
2500	0,93	0,94
3000	0,92	0,93
3500	0,83	0,90
4000	0,78	0,88

Tabella 6.6  
Fattore  $c_H$  per la riduzione della potenza per un'altitudine di ubicazione H (temperatura del mezzo refrigerante 40°C)

Se la capacità di raffreddamento, diminuita a causa dell'altitudine dell'ubicazione, può essere compensata da una temperatura più bassa del mezzo refrigerante, la riduzione della potenza è minore a causa appunto dell'altitudine dell'ubicazione. Per lo sfruttamento della potenza nominale completa del motore ( $c_H = 1$ ) le temperature d'entrata dei mezzi refrigeranti non possono superare i valori limite indicati nella tabella seguente.

Altitudine di ubicazione H [m s.l.m.]	Temperatura massima ammessa del mezzo refrigerante t [°C] per la classe di materiale isolante	
	B	F
1000	40	40
1500	36	35
2000	32	30
2500	28	25
3000	24	20
3500	20	15
4000	16	10

Tabella 6.7  
Temperatura massima ammessa del mezzo refrigerante, a seconda dell'altitudine di ubicazione H per la potenza nominale completa ( $C_H = 1$ )

Se è noto il fabbisogno di potenza  $P_L$  di una macchina operatrice, è possibile determinare come segue la potenza nominale necessaria del motore  $P_N$ , a seconda dell'altitudine di ubicazione, della temperatura massima dell'aria di raffreddamento e della classe di materiale isolante prescritta.

$$P_N = \frac{P_L}{C_t \cdot C_H}$$

$P_N$  potenza nominale del motore

$P_L$  fabbisogno di potenza

$C_t$  fattore di correzione secondo la tabella 6.5

$C_H$  fattore di correzione secondo la tabella 6.6

Al momento della scelta della grandezza del motore occorre rammentarsi che è il fabbisogno di potenza della macchina operatrice a determinare la potenza fornita dal motore e, di conseguenza, anche la potenza assorbita dalla rete (e di un eventuale convertitore).

Se ad esempio un ventilatore richiede 12 kW, il motore fornirà questi 12 kW indipendentemente dal fatto che sia stato progettato per 10 kW o per 15 kW. Un motore di 10 kW che deve funzionare a 1000 m di altitudine s.l.m. con una temperatura ambiente di 40°C sarebbe perciò sempre in sovraccarico del 20%.

La conseguenza diretta di un sovraccarico del motore è l'aumento della temperatura delle spire dell'avvolgimento al di là di un valore limite previsto che, per il materiale isolante utilizzato, garantisce ancora una durata di vita soddisfacente (30000 h). I sorpassi della temperatura limite di 8-10 K diminuiscono la durata di vita dell'isolamento di circa la metà. 20 Kelvin di sovratemperatura significano una diminuzione del 75% della durata di vita.

Un aumento della durata di vita del fattore 4 può essere ottenuto, qualora il motore delle stesse dimensioni sia munito di materiale isolante della classe F invece che della classe B.

#### 6.2.2.3 Identificazione dei tipi di raccordo

Nella pubblicazione CEI 34-8 vengono unificate le basi d'identificazione dei raccordi.

Se la targhetta segnaletica con indicazione della potenza di un motore trifase indica tensioni sia per un collegamento a stella, sia per un collegamento a triangolo, ciò significa che il motore può essere utilizzato ad esempio a 230 V, ma anche a 400 V. A 230 V l'avvolgimento sarà collegato a triangolo, come nello schema di sinistra della figura 6.4. A 400 V es-

so sarà collegato a stella, come nello schema di destra della figura 6.4. I punti di collegamento sono quindi ordinati secondo la figura a destra.

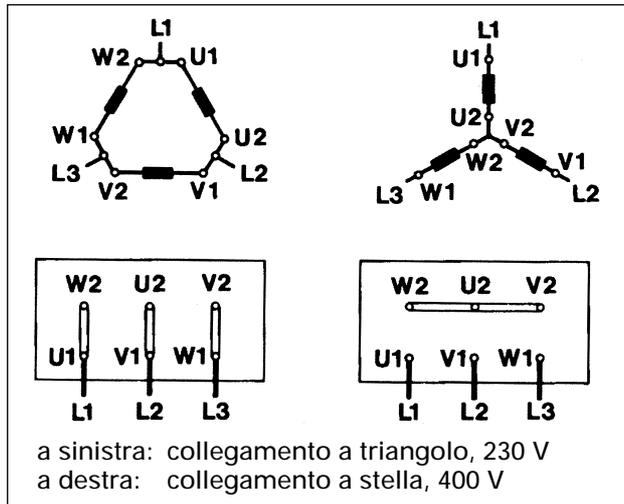


Figura 6.4  
Schema di collegamento dell'avvolgimento e dei morsetti nel caso di un collegamento a triangolo ed a stella

Motor° 3°	50/60Hz	IEC° 34-1
MBT° 112° M		2860/3460r/min
4/4.6° kW	Cl. F	cos° φ° = ° 0.90
380-420/440-480V° Y		8.1/8.1A
220-240/250-280V° ~		14.0/14.0A
No.° MK° 142031-AS	IP° 55	30 kg

Figura 6.5  
Esempio di una targhetta segnaletica

I dati tratti dalla targhetta segnaletica permettono di calcolare nel modo seguente il rendimento alla potenza nominale:

$$\eta = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi}$$

- $\eta$  rendimento [-]
- P potenza [W]
- U tensione [V]
- I corrente [A]
- $\cos\varphi$  fattore di potenza [-]

La figura 6.5 indica l'esempio di una targhetta segnaletica. Con i dati di questo esempio risulta il seguente rendimento per la potenza nominale:

$$\eta = \frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 8.1 \cdot 0.90} = 0.79$$

### 6.2.3 Caratteristiche generali dei motori a gabbia di scoiattolo

Nel paragrafo 6.2.2.2 è già stata trattata la scelta corretta della potenza di un motore elettrico. Oltre alle conseguenze di un sovraccarico dovuto all'età dell'isolamento dell'avvolgimento, occorre tener conto ancora di altri fattori che esercitano un influsso sul grado di utilizzazione.

Se un motore viene ad esempio sovradimensionato in modo inutile, esso funzionerà sempre in condizioni e con valori d'esercizio sfavorevoli. Sarà inoltre inutilmente più elevata la corrente di avviamento che ha un certo rapporto con la grandezza del motore. L'andamento qualitativo dei parametri più importanti è visibile nella figura 6.6.

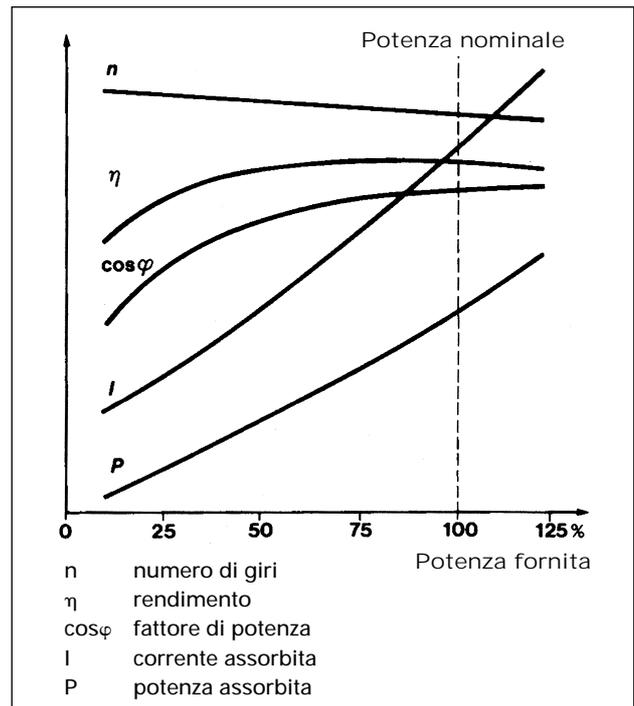


Figura 6.6  
Andamento qualitativo dei parametri più importanti a seconda della potenza fornita dal motore [6.2]

## 6.2.3.1 Caratteristiche di avviamento

L'andamento caratteristico e qualitativo del momento della coppia e della corrente di un motore a gabbia di scoiattolo è rappresentato nella figura 6.7.

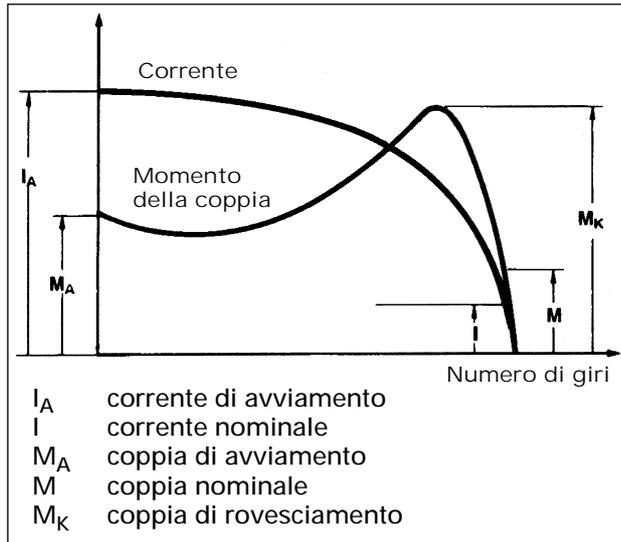


Figura 6.7  
Corrente e coppia quale funzione del numero di giri di un motore trifase [6.2]

Al momento dell'inserimento il motore sviluppa la cosiddetta coppia di avviamento e la corrente d'inserimento scorre. Durante la fase di accelerazione la corrente diminuisce e raggiunge la corrente nominale se il funzionamento è a carico nominale. Il valore della massima coppia di rotazione (coppia di rovesciamento) costituisce una misura per la capacità possibile di sovraccarico del motore, sovraccarico che, per motivi termici, può essere tenuto in considerazione solo per breve tempo.

L'accelerazione corretta del motore fino al numero di giri nominale è possibile solo se la coppia di carico della macchina operatrice è minore in ogni momento della coppia esistente nel motore. Alla coppia di carico momentaneo della macchina operatrice si sommano durante i processi di accelerazione anche le masse rotanti di ambedue le macchine, ciò che esercita un influsso sul tempo di avviamento.

Un andamento caratteristico e qualitativo di una coppia del motore rispetto alle coppie di carico e di accelerazione è rappresentato alla figura 6.8

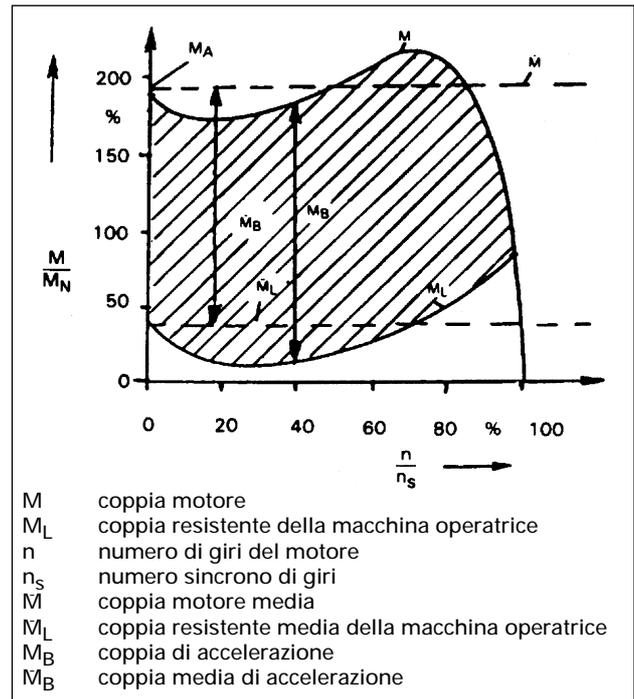


Figura 6.8  
Andamento caratteristico della coppia motore  $M$  e della coppia resistente  $M_L$  sulla base dell'esempio del motore di un ventilatore [6.3]

Il tempo di avviamento che a causa del forte flusso di corrente genera riscaldamenti elevati, dipende dal momento d'inerzia delle masse, dal numero di giri finale e dalla coppia di accelerazione del motore.

I momenti d'inerzia delle masse dei ventilatori non sono critiche per l'avviamento dei motori a gabbia di scoiattolo, se si paragonano con altri compiti del motore.

Solo nel caso di alcuni ventilatori industriali di grandi dimensioni si consiglia, allo scopo di proteggere il motore, di sceglierlo di una o due grandezze di costruzione maggiori, allo scopo di abbreviare il tempo di avviamento. Dal punto di vista della rete di distribuzione dell'energia elettrica sarebbe tuttavia meglio utilizzare un mezzo ausiliario per un avviamento più dolce (cfr. paragrafo 6.2.3.2).

Passando da un numero di giri elevato ad un numero di giri ridotto, nei ventilatori di grandi dimensioni dovrebbe essere inserito un dispositivo di ritardo della commutazione, ossia in pratica un relè a tempo che deve essere in grado di garantire che non trascorra

no alcuni secondi tra il disinserimento del numero di giri elevato e l'inserimento del successivo numero di giri minore. È così possibile evitare gli strappi repentini nella trasmissione.

### 6.2.3.2 Aiuti per l'avviamento

Esistono diversi tipi di avviamento per fare in modo che lo stesso sia più dolce. Nel caso di motori con una potenza nominale superiore 3-5 kW, la maggior parte delle aziende elettriche proibiscono un avviamento diretto del motore allo stadio di giri più elevato.

Nel caso di avviamento stella-triangolo il motore, che possiede ad esempio un avvolgimento previsto per 400 V, viene messo in moto con gli avvolgimenti collegati a stella. A questo scopo ognuna delle estremità dei tre avvolgimenti viene collegata a ponte mediante un contattore. I tre conduttori di corrente vengono collegati alle altre tre estremità libere degli avvolgimenti. In tal modo la tensione si trova tra due fasi (400 V) su due avvolgimenti di volta in volta inseriti l'uno dopo l'altro. La tensione per ogni avvolgimento viene per questo motivo diminuita del fattore radice di 3. Scorre una corrente corrispondentemente minore e l'avviamento è più lento. Se con questa tensione la coppia del motore e la coppia del carico del ventilatore parzialmente accelerato sono uguali, i tre avvolgimenti vengono collegati a triangolo ed il motore funziona con la sua tensione nominale e la sua corrente nominale alla coppia nominale, che corrisponde ancora una volta alla coppia del carico nominale del ventilatore.

La punta di corrente che si verifica al momento della commutazione non è tuttavia molto minore che nel caso di un avviamento diretto. La sua durata è invece molto più breve.

Un avviamento dolce può essere garantito senza problemi qualora venga prevista una regolazione del numero di giri del motore oppure qualora una variazione progressiva della frequenza possa aver luogo con un consumo minimo.

### 6.2.3.3 Numero di giri

Il numero di giri di un motore trifase dipende dalla frequenza della rete e dal numero di paia di poli dell'avvolgimento del rotore.

$$n = \frac{f \cdot 60}{p}$$

n numero di giri [min<sup>-1</sup>]  
f frequenza della rete [Hz, s<sup>-1</sup>]  
p numero di paia di poli [-]

Numero di paia di poli	Numero sincrono di giri [min <sup>-1</sup> ] a	
	50 Hz	60 Hz
1	3000	3600
2	1500	1800
3	1000	1200
4	750	900
5	600	720
6	500	600

Tabella 6.8  
Numero di giri sincroni del motore

Un motore asincrono può raggiungere a vuoto quasi il numero sincrono di giri; alla potenza nominale tale numero di giri è leggermente inferiore.

Lo slittamento si ottiene mediante l'equazione seguente:

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1}$$

s slittamento  
n<sub>1</sub> numero sincrono di giri  
n numero asincrono di giri

Lo slittamento varia proporzionalmente al carico.

Esempio

Motore a 4 poli, 4 kW, 380 V, 50 Hz, 1425 min<sup>-1</sup>

$$s \text{ a } 4 \text{ kW} = \frac{1500 - 1425}{1500} = 0.05$$

ciò che corrisponde a 1500 - 1425 = 75 min<sup>-1</sup>

$$s \text{ a } 3 \text{ kW} = \frac{3}{4} \cdot (1500 - 1425) = 56 \text{ min}^{-1}$$

n a 3 kW è dunque di 1500 - 56 = 1444 min<sup>-1</sup>

Lo slittamento è indirettamente proporzionale al quadrato della tensione.

Esempio

Motore a 4 poli, 4 kW, 380 V, 50 Hz, 1425 min<sup>-1</sup>  
Tensione di raccordo 346 V, 50 Hz

$$s \text{ a } 346 \text{ V} = \left(\frac{380}{346}\right)^2 \cdot \frac{1500 - 1425}{1500} = 0.06$$

ciò che corrisponde a  $\left(\frac{380}{346}\right)^2 \cdot (1500 - 1425) = 90 \text{ min}^{-1}$

n è quindi di 1500 - 90 = 1410 min<sup>-1</sup>

#### 6.2.3.4 Rendimento del motore

Il rendimento dei motori elettrici è fortemente influenzato dalla potenza sviluppata. Ciò significa che i rendimenti ottenuti aumentano con la potenza del motore.

Quale argomento in favore dell'utilizzazione di motori a gabbia di scoiattolo, nella figura 6 occorre richiamare nuovamente l'attenzione sui rendimenti raggiungibili e sul loro andamento nell'ambito dei casi d'esercizio usuali.

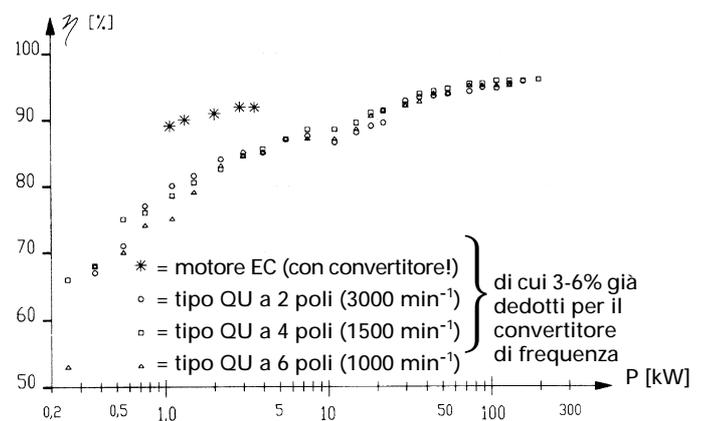
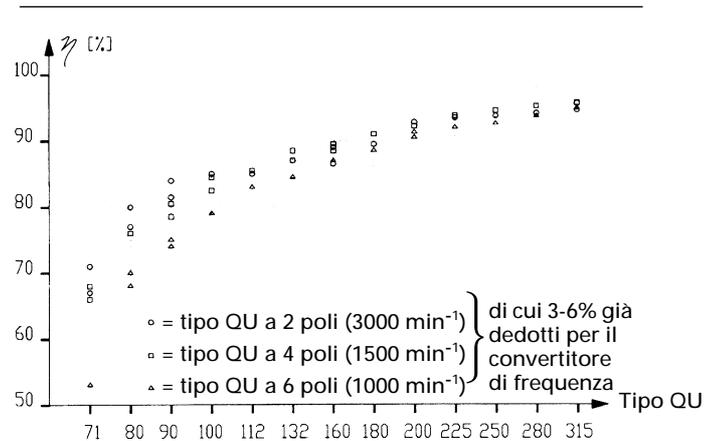


Figura 6.9  
Dipendenza del rendimento dalla dimensione (in alto),  
rispettivamente dalla potenza nominale (in basso)

Risulta chiaramente che perfino il motore monofase a gabbia di scoiattolo ha un rendimento superiore a quello dei motori a disco o dei motori a rotore esterno.

A ciò si aggiunge il fatto che questi motori vanno a priori nella direzione sbagliata con la loro semplice possibilità di regolazione mediante la modificazione dello slittamento!

Vanno parimenti valutate con precauzione le indicazioni dei rendimenti massimi, senza indicazione dei rendimenti a carico parziale per parecchi punti di funzionamento.

Dai motori futuri sarà possibile ottenere rendimenti maggiori mediante l'adozione delle misure seguenti:

- riduzione della resistenza dell'avvolgimento dello statore mediante sezioni maggiori del rame.
- Riduzione delle perdite nel ferro dello statore utilizzando acciai di alta qualità.
- Migliore ventilazione per il raffreddamento.
- Miglioramento dei cuscinetti e del grassaggio.

Una riduzione della resistenza dell'avvolgimento del rotore mediante maggiori sezioni del rame viene limitata dalla modificazione della caratteristica della coppia di rotazione.

Non sono state menzionate le cosiddette perdite per dispersione che sono le più difficili da rilevare, costituiscono dal 10 fino al 20% delle perdite globali e dipendono essenzialmente dalle tolleranze di fabbricazione.

Novità sul mercato dei motori

Nella primavera del 1993, nelle fiere specializzate è apparso un nuovo concetto di motore, sviluppato di recente, per la gamma di potenza fino a 5 kW: il motore (EC) con commutazione elettronica. Si tratta di un motore a collettori, rispettivamente di un motore a corrente continua senza spazzole (brushless DC-motor) che offre un ottimo rendimento anche a basse potenze.

Poiché fino ad oggi sono disponibili soltanto pochi dati, alcuni punti tipici sono stati riportati nella figura 6.9.

Nelle pubblicazioni viene spiegato il miglioramento sensibile del rendimento del motore EC dovuto all'eliminazione delle perdite per slittamento, di quelle dovute all'eccitazione e delle perdite ridotte del rame.

I motori EC possono essere costruiti sia con rotore interno, sia con rotore esterno. I motori EC con rotore esterno sarebbero, grazie alla loro compattezza, perfettamente indicati per la fabbricazione di ventilatori. Essi possono essere montati nella ruota stessa del ventilatore. È così possibile eliminare la trasmissione mediante cinghia.

Per i motori EC con magneti permanenti, ossia con campo magnetico costante, vale in generale quanto segue:

$n \text{ prop. } U$

Nei motori EC il numero di giri è quindi proporzionale alla tensione applicata.

Nel motore EC la coppia disponibile è proporzionale alla corrente che scorre nell'avvolgimento del motore:

$M \text{ prop. } I$

La coppia è determinante per stabilire la grandezza del motore. Il numero di giri è dato dalla tensione e può essere praticamente scelto liberamente.

#### 6.2.3.5 Il fattore di potenza

Il motore a induzione non sottrae soltanto dalla rete la potenza attiva che trasforma in lavoro meccanico, ma anche la potenza reattiva necessaria all'eccitazione, ma con cui non fornisce un lavoro reale.

Il fabbisogno di potenza reattiva ha tuttavia un influsso sulla quantità della corrente assorbita e, di conseguenza, sul carico della rete di distribuzione.

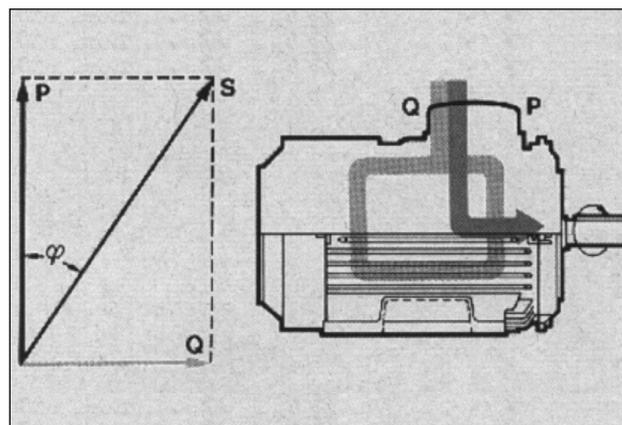


Figura 6.10  
Potenza reale P e potenza reattiva Q [6.2]

La potenza reale e la potenza reattiva, rappresentate nella figura 6.10 dai vettori P e Q, determinano la potenza apparente S. Il rapporto tra la potenza reale misurata in kW e la potenza apparente misurata in kVA, risultante come prodotto della misurazione di corrente e tensione, viene definito fattore di potenza. L'angolo tra P e S si chiama phi ed il valore del rapporto è quindi il coseno phi ( $\cos\phi$ ).

A seconda delle dimensioni del motore e del numero di poli, il valore del  $\cos\varphi$  varia da 0.6 (per piccoli motori e numero di poli elevato) a 0.9 (per motori di grandi dimensioni e piccolo numero di poli). Il fattore di potenza può anche essere misurato, cfr. a questo proposito il paragrafo 6.3.

## 6.3 Misurazione della potenza

### Principi

- La misurazione più semplice della potenza è possibile quando il motore possiede un proprio contatore di corrente.
- Qualora sia noto il fattore di potenza  $\cos\varphi$  di un motore è possibile accertare la sua potenza utile a partire dalla misurazione della tensione e della corrente.
- Mediante un wattmetro, un amperometro ed un voltmetro può essere determinato il fattore di potenza.

La potenza assorbita da un motore può in pratica essere accertata con i metodi seguenti:

- lettura del lavoro registrato da un contatore di corrente in kWh tra due intervalli di tempo e divisione per il tempo che è trascorso tra le due misurazioni.

Esempio:

durata della lettura	1/2 ora
differenza letta	10 kWh
potenza 10 kWh/0.5 h =	20 kW

- Misurazione della corrente in un conduttore mediante inserimento di un amperometro oppure mediante uno strumento a pinza per la corrente, misurando la tensione attraverso l'avvolgimento.

L'assorbimento di potenza è allora espresso come segue:

$$P = \sqrt{3} \cdot I \cdot U \cdot \cos\varphi$$

P	potenza reale [W]
I	corrente [A]
U	tensione [V]
$\cos\varphi$	sfasamento tra U e I [-]
$\sqrt{3} \cdot I \cdot U = S$	potenza apparente [VA]

Attenzione:

quando si misura la corrente mediante una pinza di misurazione, occorre fare attenzione di inserirla in un solo conduttore. Nel caso del carico simmetrico dei

motori per i ventilatori, in ogni conduttore scorre una corrente della stessa intensità, ma sfasata di  $1/3$ . La potenza determinata di volta in volta con una fase corrisponde anche alla potenza del motore, come se si trattasse di un motore ad una sola fase.

Mentre la potenza apparente è determinata dal prodotto della misurazione della corrente e della tensione, il  $\cos\varphi$  è costituito dal rapporto tra la potenza reale  $P$  (misurazione mediante il wattmetro) e la potenza apparente  $S = \sqrt{3} \cdot I \cdot U$ .

$$\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot I \cdot U}$$

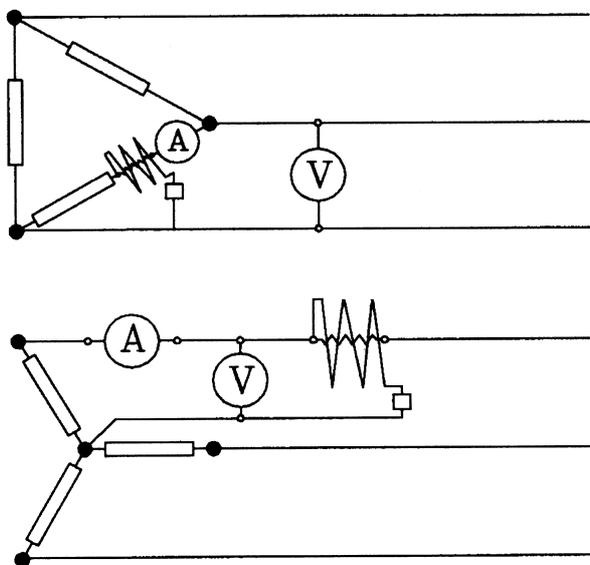


Figura 6.11  
Principio della misurazione della potenza nel collegamento a triangolo e nel collegamento a stella

Nel caso dei motori EC occorre tener conto dei principi seguenti:

- montare i contatori di energia prima dell'unità di commutazione
- eseguire le misurazioni della tensione prima dell'unità di commutazione
- eseguire le misurazioni di corrente dopo l'unità di commutazione.

## 6.4 Trasmissione

### Principi

- Il meccanismo di trasmissione più diffuso nella tecnica di ventilazione è costituito dalla trasmissione mediante cinghia trapezoidale.
- Oggi esiste ancora una controversia in merito alla superiorità delle cinghie piane. Il loro rendimento è probabilmente migliore dell'1-2%.
- Le trasmissioni dirette sono le migliori, poiché permettono di evitare la perdita per trasmissione.

La trasmissione mediante cinghia trapezoidale è molto diffusa nella tecnica di ventilazione, poiché permette un adattamento senza problemi del numero di giri del ventilatore alla perdita di pressione della rete. Ciò avviene mediante scambio delle pulegge delle cinghie trapezoidali, rispettivamente mediante la regolazione continua del diametro efficace nel caso di pulegge regolabili.

La cinghia trapezoidale stretta senza fine è il tipo di cinghia più diffuso. Per potenze maggiori entra in considerazione la cinghia trapezoidale a strisce, composta da due o parecchie cinghie trapezoidali strette, vulcanizzate insieme sotto forma di un unico nastro.

L'errore più diffuso consiste nel fatto che spesso, per insicurezza, vengono utilizzate cinghie doppie o multiple laddove sarebbe sufficiente una sola cinghia trapezoidale stretta di dimensione corretta. Un logorio irregolare è causa di rumore dovuto a vibrazioni, di uno sfruttamento maggiore di una singola cinghia e di una durata di vita ridotta.

Al momento le cinghie piane godono della reputazione di avere rendimenti migliori nel caso di grandi trasmissioni. Uno studio effettuato presso la scuola tecnica di Windisch su mandato dell'UCF ha dimostrato che la trasmissione era migliore solo di 1% nei ventilatori usati comunemente [6.5].

Mentre le trasmissioni con cinghie trapezoidali ben regolate possono presentare un rendimento che varia dal 96 al 97%, i sistemi di trasmissione ben regolati e che utilizzano cinghie piane possono offrire un rendimento fino al 97-98%.

Con piccoli diametri delle pulegge ed un funzionamento a carico ridotto dei ventilatori regolati mediante variazione del numero di giri, i rendimenti offerti dalla trasmissione mediante cinghie trapezoidali retrocedono fino all'80%.

La cinghia piana offre chiari vantaggi quando sono importanti un funzionamento poco rumoroso, nonché vibrazioni e logorio minimi.

Gli svantaggi della cinghia piana risiedono, oltre che nel prezzo superiore di oltre 50%, anche in una sollecitazione più elevata dei cuscinetti. Soprattutto i moderni cuscinetti per i motori non sono più in grado di adempiere queste elevate esigenze.

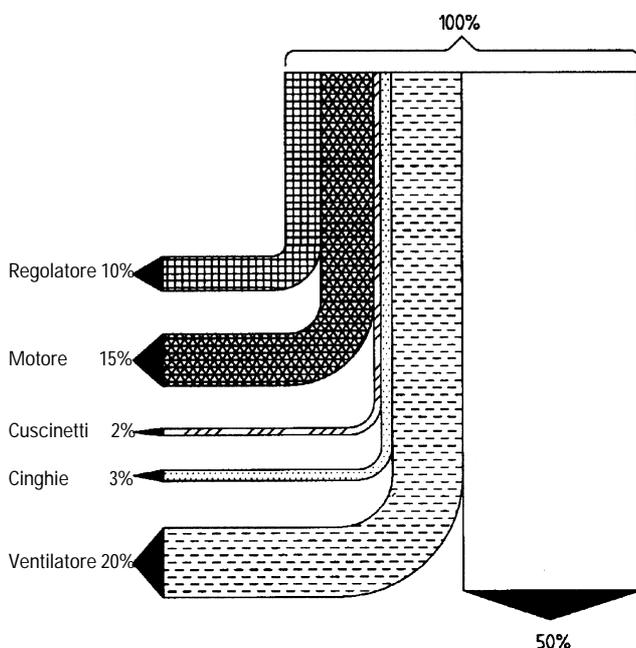


Figura 6.12  
Rappresentazione del flusso energetico di un ventilatore con trasmissione completa (gamma di potenza 3 kW) [6.6]

Le trasmissioni mediante cinghie trapezoidali provviste di pulegge troppo piccole, di inutili cinghie doppie e la cui tensione è stata mal regolata causano perdite oscillanti dal 10 al 20%. Oggi succede purtroppo spesso d'imbattersi in casi del genere.

Nell'ottica di RAVEL è evidente che in questo ambito sono ancora necessari netti miglioramenti!

## 6.5 Regolazione del numero di giri

### Principi

- Nell'ottica di RAVEL la regolazione del numero di giri deve sempre essere valutata su tutto l'arco dell'esercizio, soprattutto nel caso di un servizio a pieno carico, quando le perdite non sono trascurabili!

Nel paragrafo 5.5 sono state riepilogate le diverse possibilità di regolazione della pressione e del flusso volumetrico dei ventilatori. Con la tendenza a minimizzare i flussi volumetrici dell'aria, in generale, ed in particolare con l'importanza crescente dei sistemi di ventilazione regolati secondo il fabbisogno, la regolazione del numero di giri del ventilatore e, di conseguenza, del motore assume un'importanza sempre crescente.

Tra la frequenza della rete, il numero di paia di poli, lo slittamento ed il numero di giri esiste il rapporto seguente:

$$n = \frac{f \cdot 60 (1 - s)}{p}$$

n numero di giri [ $\text{min}^{-1}$ ]  
f frequenza della rete [ $\text{Hz}$ ,  $\text{s}^{-1}$ ]  
s slittamento [-]  
p numero di paia di poli [-]

Per principio è possibile regolare il numero di giri modificando sia il numero di paia di poli, sia lo scorrimento o la frequenza della rete. Nella prassi vengono utilizzate tutte le tre possibilità.

### 6.5.1 Modificazione del numero di paia di poli

Esistono tre possibilità di modificare il numero di paia di poli di un motore asincrono a gabbia di scoiattolo:

lo statore può essere munito

- di due o di parecchi avvolgimenti separati,
- di un avvolgimento a poli commutabili o
- di una combinazione dei tipi di avvolgimento summenzionati.

La regolazione del numero di giri mediante diversi numeri di paia di poli presenta il vantaggio che il rendimento rimane praticamente buono per tutti i numeri di giri. Teoricamente sono possibili anche innumerevoli combinazioni di numeri di giri. Ciò viene tuttavia fortemente limitato dal fabbisogno di spazio di parecchi avvolgimenti e di elevati numeri di paia di poli. In pratica si trovano quindi per lo più al massimo da due fino a tre avvolgimenti separati.

Parimenti per motivi di spazio, si vede raramente un numero di paia di poli superiore a 4 (8 poli) in combinazione con altri avvolgimenti. In caso contrario i motori diventerebbero troppo grandi per una data potenza. È questo il motivo per cui si dovrebbe più spesso prevedere l'impiego di due motori diversi che possono essere accoppiati direttamente alle due estremità dell'albero del ventilatore.

#### 6.5.1.1 Avvolgimenti separati

Come testé menzionato la grandezza sempre crescente dei motori costituisce il fattore che limita la possibilità di combinare liberamente diversi numeri di paia di poli.

Nei motori utilizzati per il funzionamento dei ventilatori si può ammettere, con un'approssimazione relativa, che un motore con due avvolgimenti separati potrebbe fornire alla massima velocità l'80% della potenza che potrebbe fornire un motore delle stesse dimensioni che avesse un solo avvolgimento e funzionasse con lo stesso numero di giri.

Le combinazioni teoricamente possibili sono riassunte nella tabella 6.9. Quando sono necessari tre regimi sarebbe razionale una ripartizione su due motori.

Numero di paia di poli	Numero sincrono di giri a 50 Hz [U/min]	Grandezza del motore per P = 15 kW
1	3000	160 M
2	1500	160 L
3	1000	180 L
4	750	200 L
1 + 2	3000/1500	180 M
2 + 3	1500/1000	180 M
3 + 4	1000/750	200 L
2 + 3 + 4	1500/1000/750	200 L
3 + 4 + 5	1000/750/600	225 S

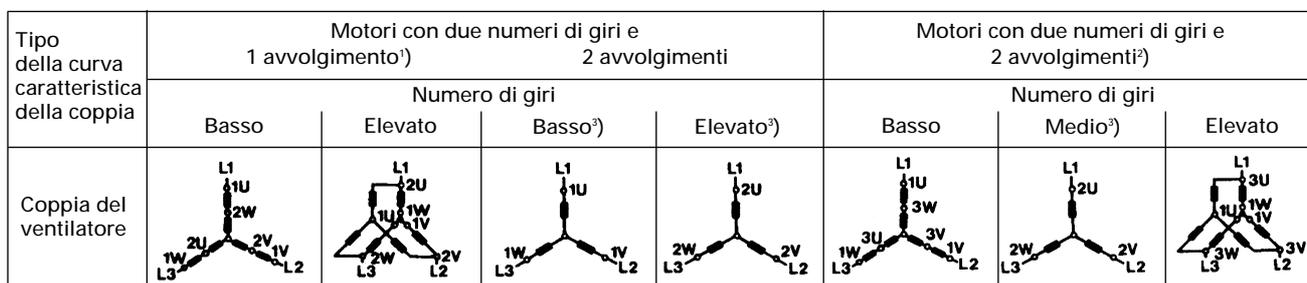
Tabella 6.9  
Parametri di motori con avvolgimenti separati

#### 6.5.1.2 Avvolgimenti a poli commutabili

Esistono diverse maniere per fare in modo che un avvolgimento sia a poli commutabili e, di conseguenza, per poter ottenere un miglior funzionamento del motore. A causa della possibilità di collegamento non complicata, in pratica vengono utilizzati per lo più soltanto il circuito Lindström-Dahlander oppure la Pulse Amplitude Modulation (PAM).

Con il circuito Dahlander si ottiene un rapporto del numero di paia di poli di 1:2. Con la Pulse Amplitude Modulation sarà possibile ottenere altri rapporti. È inoltre possibile un miglior sfruttamento della grandezza del motore.

Per l'azionamento dei ventilatori gli elementi dell'avvolgimento vengono collegati come alla figura 6.13.



<sup>1)</sup> Circuito Dahlander o PAM

<sup>2)</sup> Ad esempio per 8/6/4 poli. Uno degli avvolgimenti è collegato con un circuito Dahlander o PAM

<sup>3)</sup> L'avvolgimento può anche essere collegato a triangolo

Figura 6.13  
Esempi di avvolgimenti di statori e di collegamenti per diverse costruzioni di motori con parecchi numeri di giri [6.2]

### 6.5.2 Modificazione dello slittamento

L'utilizzazione della regolazione mediante modificazione dello slittamento rende necessario equipaggiare il rotore del motore con anelli collettori e con spazzole di contatto. Inserendo una resistenza esterna sull'avvolgimento del rotore esiste una possibilità semplice di regolazione del numero di giri.

Nel caso di una scelta adeguata del materiale e della costruzione (coppia massima allo stato di quiete), la modificazione dello slittamento può venire realizzata anche nei motori a gabbia di scoiattolo. La modificazione della tensione avviene per mezzo di un trasformatore, nel qual caso la coppia dipende dal quadrato della tensione. Le perdite sono esenti da armoniche. Altre sono le condizioni nel caso della regolazione per ritardo di fase, in cui l'alimentazione in tensione diventa lacunosa, causando armoniche.

Sulla base dell'andamento particolare della coppia dei ventilatori nel caso di modificazioni del numero di giri, la regolazione mediante slittamento è in certo qual modo sostenibile. Tutto all'opposto, ad esempio, il caso dell'azionamento di una gru, in cui la coppia del carico rimane uguale nel caso di un numero di giri più lenti e l'entità delle potenze erogate causa un riscaldamento della resistenza.

Nei ventilatori e nelle pompe centrifughe la coppia del carico diminuisce fortemente con la diminuzione del flusso volumetrico. In ogni caso la perdita raggiunge il massimo a circa  $\frac{2}{3}$  del numero nominale di giri, che ammonta a circa il 15% della potenza nominale.

### 6.5.3 Regolazione con tiristori

Anche nel caso della regolazione con tiristori il rotore del motore deve essere equipaggiato con anelli collettori. Il principio fondamentale di questo tipo di regolazione del numero di giri risiede nel fatto che al rotore viene prelevata potenza attraverso gli anelli collettori. Essa non viene tuttavia semplicemente riscaldata, bensì raddrizzata e restituita alla rete attraverso un trasformatore.

Mediante modificazione dell'angolo di accensione per i tiristori è possibile variare la potenza che deve essere restituita all'alimentazione.

La regolazione con tiristori causa variazioni nella forma sinusoidale della corrente del circuito del rotore.

Le perdite che ne insorgono rendono necessaria l'utilizzazione di un motore di dimensioni un po' maggiori. Al contrario di altre utilizzazioni, nel caso di numeri di giri minori il raffreddamento più debole non ha alcuna importanza per l'azionamento di macchine fluidodinamiche, poiché anche la coppia diminuisce al quadrato.

Con questo tipo di regolazione la rete viene disturbata da armoniche superiori.

### 6.5.4 Regolazione a comando di frequenza

La regolazione del numero di giri mediante una modificazione della frequenza sembra essere la più favorevole.

La figura 6.14 mostra la modificazione della curva caratteristica della coppia/ del numero di giri nel caso di un abbassamento della frequenza e di una modificazione proporzionale della tensione sul primario quale funzione della frequenza. La coppia di rovesciamento rimane invariata.

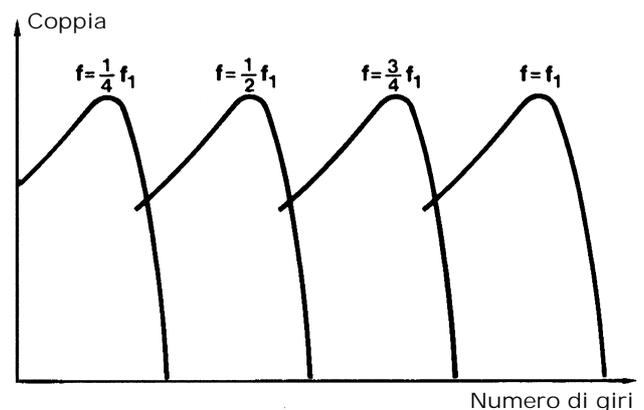


Figura 6.14  
Esempio dell'aspetto di una curva caratteristica della coppia a diverse frequenze e di una tensione proporzionale alla frequenza [6.2]

Poiché la coppia diminuisce al quadrato con il numero di giri, i convertitori di frequenza per le macchine fluidodinamiche vengono costruiti in maniera tale che la tensione diminuisce in modo più che proporzionale, ciò che causa perdite minori. Anche l'avvolgimento dello statore viene in parte utilizzato a questo scopo mediante un collegamento a stella ed a triangolo e viceversa, onde ottenere gradualmente un adattamento approssimativo.

Un tempo si utilizzavano convertitori rotanti. I convertitori statici usati attualmente hanno tuttavia contribuito alla redditività ed al successo della regolazione a comando di frequenza.

La rapida evoluzione nel settore dell'elettronica di potenza è sfociata nella produzione di convertitori di frequenza molto efficaci. Esistono qui diversi sistemi, a seconda della gamma di potenza e di altri presupposti. Tutti i sistemi hanno un punto in comune, costituito dal fatto che nel motore si manifestano perdite supplementari a causa della forma sinusoidale difettosa della tensione. Non è quindi possibile caricare continuamente il motore con una potenza nominale. In generale si prevede un sovradimensionamento del motore di circa il 10%, onde compensare le perdite supplementari.

La percentuale di armoniche superiori può talvolta essere causa di un certo aumento della rumorosità del motore ed anche di esigui impulsi momentanei, la cui frequenza in generale corrisponde al sestuplo della frequenza applicata.

Un sistema spesso ricorrente di convertitori di frequenza ha un elemento intermedio con una tensione continua costante ed una tensione d'uscita con modulazione di durata degli impulsi. Tali sistemi vengono generalmente definiti PWM, in cui PWM significa modulazione di durata degli impulsi (Pulse Width Modulation). La tensione continua costante viene così spezzettata in brevi impulsi, la cui durata è regolata in modo tale che con la durata totale dell'impulso, ossia la larghezza dell'impulso, nasce il rapporto richiesto tra tempo, tensione e superficie.

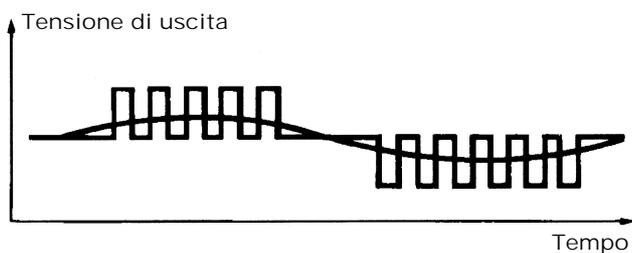


Figura 6.15  
Forma delle curve caratteristiche nel caso della modulazione di durata degli impulsi (PWM) [6.2]

Un altro tipo di convertitore con elemento intermedio della tensione continua è costituito dai convertitori con modulazione di ampiezza degli impulsi, abbreviato in PAM (da Pulse Amplitude Modulation). L'ampiezza della tensione di uscita varia e la frequenza viene controllata in modo da creare un rapporto proporzionale tra tensione e frequenza.

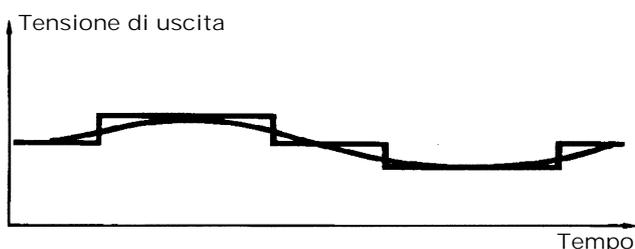


Figura 6.16  
Forma delle curve caratteristiche nel caso della modulazione di ampiezza degli impulsi (PAM) [6.2]

Il motore viene generalmente scelto in modo che la tensione nominale concordi con la tensione della rete. In questo modo si può utilizzare il motore allacciandolo direttamente alla rete, nel caso in cui il convertitore avesse un guasto.

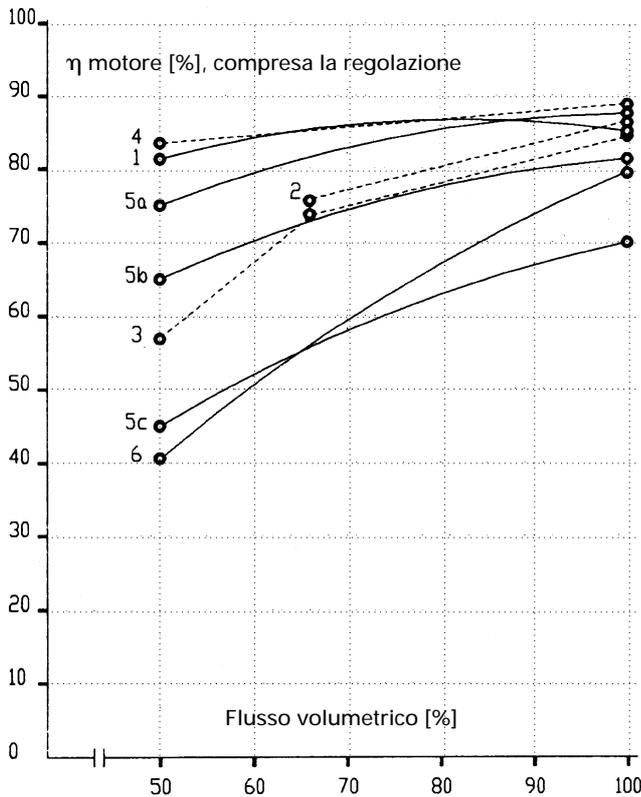
Esiste anche la possibilità di comandare il convertitore di frequenza mediante parecchi motori, tuttavia solo l'uno dopo l'altro. In tal caso il convertitore viene provvisto di un dispositivo mediante il quale si può staccare il motore dal convertitore, collegandolo direttamente alla rete.

Nel caso in cui la tensione nominale del motore concorda con la tensione della rete, il motore non può essere regolato ad un numero di giri superiore a quello nominale, mantenendo la coppia del carico, poiché il convertitore non può fornire una tensione superiore a quella della rete.

Un'altra limitazione della regolazione verso l'alto risiede nella struttura del rotore. Soprattutto nel caso di motori di grandi dimensioni e che girano a velocità elevate, l'aumento del numero di giri viene determinato dal numero critico di giri del motore e dalla velocità di centrifugazione massima ammissibile.

## 6.5.5 Modificazione del rendimento

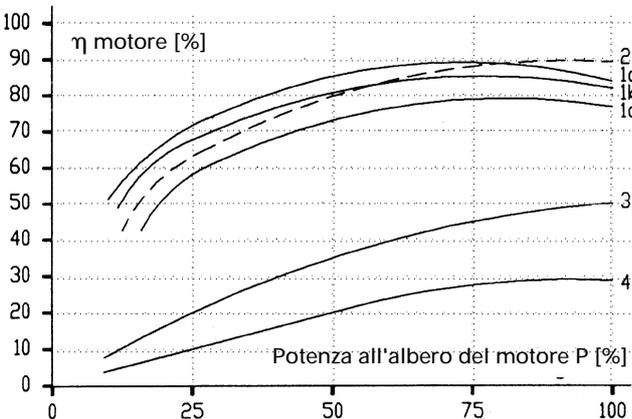
A seconda del tipo di regolazione del regime di giri, rispettivamente del flusso volumetrico, si delinea l'andamento qualitativo del rendimento del motore rappresentato alla figura 6.17.



- 1a motore trifase normalizzato, esecuzione normale 4 kW, regolazione mediante valvola di strozzamento  
• Attenzione: il rendimento totale diminuisce a circa 15% con un flusso volumetrico di 50%
- 2 motore a poli commutabili con due avvolgimenti separati di 6/8 poli
- 3 motore a poli commutabili con tre avvolgimenti separati di 4/6/8 poli
- 4 motore a poli commutabili con un avvolgimento di 4/8 poli (circuitto Dahlander)
- 5a motore normale compresa regolazione a comando di frequenza, potenza nominale 15 kW
- 5b motore normale compresa regolazione a comando di frequenza, potenza nominale 4 kW
- 5c motore normale compresa regolazione a comando di frequenza, potenza nominale 1.1 kW
- 6 motore speciale per regolazione mediante slittamento (ritardo di fase o trasformatore), potenza nominale 4 kW

Figura 6.17 Andamento qualitativo del rendimento in funzione della modificazione del numero di giri del motore

La figura 6.18 mostra l'andamento qualitativo del rendimento del motore in funzione della potenza ceduta all'albero motore per motori a 4 poli di diverso tipo di costruzione.



- 1a motore normalizzato trifase, esecuzione normale 15.0 kW
- 1b motore normalizzato trifase, esecuzione normale 4.0 kW
- 1c motore normalizzato trifase, esecuzione normale 1.1 kW
- 2 motore normalizzato trifase, ad elevato rendimento 15.0 kW
- 3 motore asincrono monofase con condensatore ausiliario 0.2 kW
- 4 motore a poli spaccati 0.2 kW

Figura 6.18 Andamento del rendimento del motore in funzione della potenza ceduta all'albero motore per motori a 4 poli di diverso tipo di costruzione

## 6.6 Protezione contro le esplosioni

Esistono ordinanze particolari per l'utilizzazione di apparecchi elettrici negli impianti nei quali esiste un rischio di esplosione dovuto a miscele di gas esplosivi, di prodotti esplosivi o di polveri infiammabili.

Per quanto concerne la protezione contro le esplosioni dei motori elettrici esistono due principi generali. In primo luogo si può costruire il motore in modo tale che non si possano verificare né un calore pericoloso, né scintille. Questa costruzione corrisponde al tipo di protezione EEx e, a sicurezza elevata. Il secondo procedimento si basa sul principio dell'isolamento del calore pericoloso o delle scintille nel motore, cosicché possa essere impedita un'accensione di miscele di gas esplosivi all'esterno dal motore stesso. A questo gruppo appartengono le esecuzioni con involucro resistente alla pressione EEx d, e l'esecuzione con involucro resistente alla sovrappressione EEx p.

## 6.7 Acustica

I valori limite per i rumori ammissibili dei motori sono stabiliti nella direttiva VDE 0530. Nel caso singolo i valori devono essere tratti dai dati tecnici forniti dal costruttore. Nella figura 6.19 sono rappresentati graficamente, quale esempio, i dati forniti da ABB per i motori a gabbia di scoiattolo, raffreddati in superficie, del tipo di costruzione QU e con il grado di protezione IP 54.

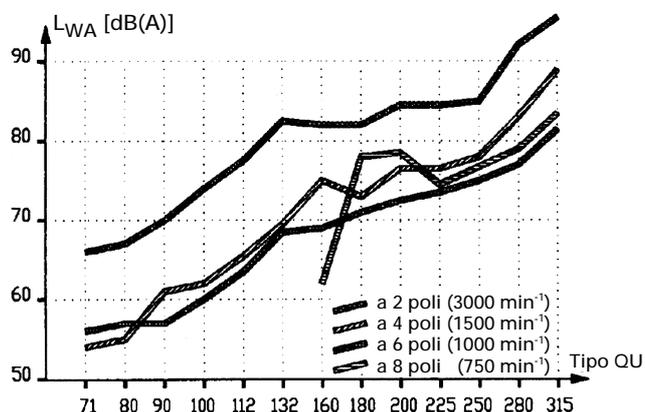


Figura 6.19  
Valori tipici di rumore causato da motori [6.1]

La scelta del numero di giri del motore riveste un ruolo essenziale per il livello di rumore. I valori che figurano nella tabella 6.10 sono tratti dai dati forniti da ABB:

Potenza [kW]	Numero di giri [min <sup>-1</sup> ]	Tipo QU	L <sub>WA</sub> [dB(A)]	η [%]
15	3000	160 M2	82.0	88.0
15	1500	160 L4	75.0	89.5
15	1000	180 L6	71.0	88.5
15	750	200 L8	78.5	91.0

Tabella 6.10  
Dati caratteristici di motori ABB [6.1]

Per esigenze più elevate possono essere utilizzate altre varianti di raffreddamento che possono sfociare in una riduzione sensibile del rumore.

In certi casi l'utilizzazione di motori silenziosi può permettere di rinunciare ad un silenziatore. Ciò può essere d'aiuto in due sensi: eliminazione della perdita di pressione dovuta al silenziatore e guadagno di spazio a favore di raccordi dei canali meglio formati prima e dopo il ventilatore.

## Bibliografia capitolo 6

- [6.1] ABB Elektromotoren GmbH  
Drehstrommotoren für Niederspannung  
Broschüre DE EMO/B 10-4002 DE, 1992-05
- [6.2] ABB Motors  
Der Drehstrommotor  
Broschüre A 10-2004 T, 1989-01
- [6.3] ABB Normelec AG  
Drehstrom-Asynchronmotoren  
Grundlagen und Dimensionierung
- [6.4] Ufficio federale dei problemi congiunturali  
Manuale RAVEL  
Sfruttare razionalmente l'elettricità  
ISBN 3-7281-1830-3, 1992
- [6.5] HTL Brugg-Windisch  
Vergleichende Untersuchung zwischen  
Keilriemen und Hochleistungsflachriemen  
Info Energie, 1989
- [6.6] G. Häussermann, Ziehl Abegg GmbH  
Energiesparpotential bei Ventilatoren  
Symposium RLT-Geräte, 4. September 1991,  
Essen



## 7. Liste di controllo

---

LC1	Lista di controllo per la progettazione dell'edificio	125
	Garantirsi il più presto possibile la collaborazione di uno specialista dell'impiantistica	125
	Ottimizzare la forma e l'orientamento dell'edificio, nonché le dimensioni delle finestre	125
	Buona coibentazione termica e buona tenuta stagna dell'involucro dell'edificio	125
	Elevata capacità di accumulazione termica della costruzione	125
	Scelta di materiali da costruzione e di arredamenti interni a basso tenore di emissioni	126
	Protezione efficace contro il sole	126
	Separazione in diverse zone di utilizzazione	126
	Concetto chiaro di protezione antincendio	126
	Disposizione e fabbisogno di spazio per le installazioni dell'impiantistica	127
	Concetto d'illuminazione	127
	Utilizzazione della luce naturale	127

---

LC2	Lista di controllo per la progettazione degli impianti di ventilazione e di condizionamento	128
	Determinazione chiara delle basi e delle condizioni di garanzia	128
	Adduzione di aria esterna a dipendenza dal fabbisogno	128
	Fabbisogno di potenza calorifica e di potenza di raffreddamento	128
	Fonti di calore interne	128
	Fonti locali di calore, di sostanze nocive e di umidità	128
	Circolazione dell'aria nel locale	128
	Free cooling	129
	Utilizzazione del calore residuo	129
	Utilizzazioni differenziate	129
	Impiego di collettori tubolari sotterranei ad aria	129
	Impiego di sonde geotermiche	129
	Concetto di misurazione	129

---

LC3	Lista di controllo per la progettazione di singoli componenti	130
	Debole fabbisogno di potenza per il trasporto dell'aria	130
	Buon rendimento dei ventilatori	130
	Ricupero del calore	131
	Umidificazione	131
	Macchine frigorifere	131
	Tubazioni per mezzi refrigeranti ed acqua fredda	131

---

LC4	Lista di controllo per la fase d'esercizio	132
	Mantenere una temperatura dell'aria ambiente adeguata allo scopo	132
	Mantenere un'umidità dell'aria ambiente adeguata allo scopo	132
	Scegliere un tipo d'esercizio ed un orario di funzionamento degli impianti di ventilazione e di condizionamento adeguati al fabbisogno	132
	Utilizzazione razionale della protezione contro il sole in inverno	132
	Evitare i carichi termici inutili in estate	133
	Controllo e manutenzione regolari	134
	Contabilità dell'energia	134
	Ottimizzazione degli impianti	134

---



# LC1

## Lista di controllo per la progettazione dell'edificio

Garantirsi il più presto possibile la collaborazione di uno specialista dell'impiantistica

Per garantire l'integralità del progetto tenendo conto delle interazioni tra edificio ed impiantistica è necessario garantirsi il più presto possibile la collaborazione di uno specialista dell'impiantistica o eventualmente di un consulente nel settore dell'energia.

La pratica ha dimostrato che gli eventuali costi supplementari che ne scaturiscono sono in generale largamente compensati dai risparmi sui costi d'investimento e di funzionamento.

Per ulteriori dati cfr. paragrafo 4.1

Ottimizzare la forma e l'orientamento dell'edificio, nonché le dimensioni delle finestre

La forma e l'orientamento dell'edificio, nonché le dimensioni delle finestre devono essere ottimizzati in funzione dell'orientamento delle facciate, tenendo conto della protezione contro il sole in estate ed in inverno, nonché dei guadagni termici dovuti all'irradiazione solare in inverno.

Per ulteriori dati cfr. paragrafi 4.1, 4.2

Buona coibentazione termica e buona tenuta stagna dell'involucro dell'edificio

In tutti gli edifici nuovi e nei locali raffreddati di vecchi edifici, la protezione contro il sole in estate ed in inverno deve adempiere le esigenze della norma SIA 180 e devono essere rispettati i valori limite della raccomandazione SIA 380/1. Per gli impianti ottimi sotto l'aspetto energetico occorre prevedere il rispetto dei valori mirati.

Un'attenzione particolare deve essere dedicata alle esigenze nel settore della tenuta stagna dell'involucro dell'edificio secondo l'allegato 7 della norma SIA 180. Gli edifici muniti d'impianti di ventilazione e di condizionamento devono essere per quanto possibile a tenuta stagna.

Per ulteriori dati cfr. paragrafi 3.2, 4.1, 4.5

Elevata capacità di accumulazione termica della costruzione

Affinché i locali raffreddati possano approfittare della capacità di accumulazione termica della costruzione occorre prevedere almeno un tipo di costruzione medio-pesante con una massa specifica di accumulazione del locale di  $m > 350 \text{ kg/m}^2$  secondo SIA V382/2, cifra 52. Per gli impianti ottimi sotto l'aspetto energetico è auspicabile  $m > 400 \text{ kg/m}^2$ . Per poter trarre profitto dalla massa d'accumulazione di una soletta di calcestruzzo con controsoffitto, occorre provvedere alla ventilazione dell'intercapedine su tutta la superficie ed avere un tasso di perforazione del soffitto superiore al 10% della superficie. Per una ventilazione notturna efficiente, l'aria deve entrare direttamente in contatto con la massa dell'edificio. Nel caso di misure acustiche occorre tener conto del fatto che l'isolamento fonico non deve coprire completamente le pareti.

Per ulteriori dati cfr. paragrafi 3.2, 4.1, 4.5, 4.7

# LC1

Scelta di materiali da costruzione e di arredamenti interni a basso tenore di emissioni

Si possono evitare le emissioni inutili con la scelta adeguata di materiali da costruzione e di arredamenti interni. È assolutamente necessario fare in modo di non dover aumentare la quantità d'aria dell'impianto di ventilazione al solo scopo di diluire ed asportare le emissioni che si sarebbero potute evitare.

Le informazioni concernenti le emissioni dei materiali da costruzione più importanti sono attualmente in allestimento e saranno pubblicate a cura della SIA.

Per ulteriori dati cfr. paragrafi 3.3, 4.2.4

Protezione efficace contro il sole

Tutte le superfici delle finestre di locali raffreddati devono disporre di una protezione efficace contro il sole oppure di un dispositivo adeguato per fare ombra. In vista della protezione contro il sole in estate, anche i locali d'abitazione e gli uffici non raffreddati dovrebbero disporre di una protezione efficace contro il sole.

In generale dovrebbe essere ottenuto un fattore di trasmissione totale dell'energia per l'irradiazione solare attraverso le finestre, compresa la protezione contro il sole, di  $g = 0.15$  oppure minore. Valori indicativi di combinazioni tipiche di vetri e protezione contro il sole sono reperibili alla cifra 7 3 2 della raccomandazione SIA V382/2. Al momento della scelta del dispositivo di protezione contro il sole occorre aver cura di non prevedere soltanto una buona protezione contro il sole, ma, nella misura del possibile, di ottenere anche una buona illuminazione naturale. Sulle facciate poste a nord si può in generale rinunciare ad una protezione contro il sole, rispettivamente può essere utilizzato un vetro leggermente riflettente contro l'irradiazione diffusa.

È raccomandabile l'utilizzazione di una protezione contro il sole esterna mobile con un comando automatico a seconda dell'orientamento della facciata.

Per ulteriori dati cfr. paragrafi 3.2, 4.2.4, 4.5

Separazione in diverse zone di utilizzazione

Mediante misure architettoniche (ed anche tecniche ed aziendali) occorre circoscrivere in limiti di spazio minimi le zone con particolari esigenze per quanto concerne il clima ambiente. Per le zone da raffreddare e quelle per fumatori e non fumatori è necessaria una separazione architettonica.

Per ulteriori dati cfr. paragrafi 3.2.4, 3.3, 4.5, 4.6

Concetto chiaro di protezione antincendio

La suddivisione delle zone tagliafuoco può esercitare un forte influsso sulla disposizione degli impianti di ventilazione e di condizionamento. Il concetto di protezione antincendio deve perciò essere stabilito tempestivamente in collaborazione con la polizia del fuoco. La disposizione delle centrali e dei condotti d'aerazione deve essere adattata in modo conseguente.

Per ulteriori dati cfr. paragrafi 4.1, 4.2

---

# LC1

---

## Disposizione e fabbisogno di spazio per le installazioni dell'impiantistica

Fin dall'inizio occorre tener conto in modo adeguato del fabbisogno di spazio per i canali d'aerazione e le centrali di ventilazione, nonché per le installazioni rimanenti dell'impiantistica. Indicazioni concernenti il fabbisogno di spazio per gli impianti di ventilazione e di condizionamento sono reperibili nell'allegato 1 della raccomandazione SIA V382/1.

Per evitare inutili perdite di pressione occorre prevedere tratti brevi tra la presa dell'aria esterna, la centrale ed i locali. La presa dell'aria esterna deve essere sistemata in modo che l'inquinamento iniziale dell'aria sia il minimo possibile. Nei grandi impianti potrebbe essere opportuna una suddivisione in parecchie centrali e parecchi condotti d'aerazione. In tal caso occorre tener conto adeguato del concetto di protezione antincendio. Quanto maggiore sarà la suddivisione della rete dei canali, tanto più facile sarà un adeguamento alle diverse zone tagliafuoco e tanto più flessibile sarà il sistema nel caso di modificazioni successive.

Per ulteriori dati cfr. paragrafi 4.1, 4.2

---

## Concetto d'illuminazione

Mediante un concetto d'illuminazione adeguato e nel caso di un'utilizzazione normale degli uffici, il calore residuo dell'illuminazione percettibile nel locale potrà in generale essere mantenuto attorno ai 10 W/m<sup>2</sup>. I valori indicativi per le densità luminose nominali e le potenze di raccordo specifiche dei corpi illuminanti sono reperibili nella cifra 6 2 1 della raccomandazione SIA V382/2. Durante il giorno l'illuminazione naturale dovrebbe essere sufficiente per l'utilizzazione degli uffici fino ad una profondità variabile da 5 fino a 6 m di profondità all'interno dei locali.

È raccomandabile una suddivisione, adeguata al fabbisogno, in diverse zone d'illuminazione ed una regolazione con almeno due livelli.

Per ulteriori dati cfr. paragrafi 3.2, 4.1, 4.2.4, 4.5

---

## Utilizzazione della luce naturale

L'esaurimento delle possibilità di utilizzazione della luce naturale permette una riduzione sensibile del fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale. Già le misure semplici, come le superfici delle finestre installate in modo adeguato (se possibile sistemazione in alto, con davanzali), i dispositivi regolabili di protezione contro il sole ed i colori chiari nei locali (ciò che è particolarmente importante nel caso dei soffitti), forniscono buoni risultati.

Per la determinazione dell'utilizzazione della luce naturale esistono oggi diversi programmi affidabili per PC.

Per ulteriori dati cfr. paragrafo 4.1

# LC2

## Lista di controllo per la progettazione degli impianti di ventilazione e di condizionamento

Determinazione chiara delle basi e delle condizioni di garanzia

Le esigenze poste alle condizioni dell'aria ambiente nella zona di soggiorno sono fissate nella raccomandazione SIA V382/1, mentre l'allegato 2 della stessa raccomandazione mette a disposizione un formulario con i dati tecnici del locale che dovrebbe essere riempito in collaborazione con il committente, tenendo conto di tutte le zone occupate.

Esigenze più elevate dovrebbero essere accettate soltanto in casi eccezionali e fondati. Durante il funzionamento degli impianti occorre fare in modo di sfruttare le esigenze massime ammesse per l'impianto stesso.

Per ulteriori dati cfr. paragrafi 3.1, 4.1, 4.5, 4.6

Adduzione di aria esterna a dipendenza dal fabbisogno

Nel caso di utilizzazioni con occupazione molto variabile da parte di persone oppure di altri carichi, occorre prevedere un apporto di aria esterna adeguato al fabbisogno, ad esempio per mezzo di una regolazione con un sensore di CO<sub>2</sub> o di miscele di gas. Spesso si rivela utile anche una messa in esercizio per mezzo di sensori di presenza/di sensori di movimento.

Per ulteriori dati cfr. paragrafi 3.1.4, 3.2.3, 4.2.4, 4.13

Fabbisogno di potenza calorifica e di raffreddamento

Il calcolo del fabbisogno di potenza calorifica e di potenza di raffreddamento dell'edificio viene fatto secondo le raccomandazioni SIA 384/2 e SIA V382/2.

Per ulteriori dati cfr. paragrafi 3.2, 4.5

Fonti di calore interne

Per la valutazione delle fonti di calore interne sono determinanti i carichi che risultano effettivamente, tenendo conto della loro contemporaneità e del loro andamento quotidiano. Occorre tener conto di questo fattore al momento del dimensionamento degli impianti utilizzati in estate ed in inverno. Indicazioni a questo proposito sono reperibili alla cifra 6 della raccomandazione SIA V382/2. I dati concernenti la potenza che si trovano sulla targhetta segnaletica non hanno alcuna importanza a questo proposito.

Per ulteriori dati cfr. paragrafi 3.2, 4.2.4, 4.5

Fonti locali di calore, di sostanze nocive e di umidità

Nella misura del possibile il calore che si presenta in modo concentrato, le sostanze nocive o l'umidità devono essere asportate direttamente affinché inquinino il meno possibile il clima ambiente. Per grandi fonti locali inevitabili, devono essere eseguite, nella misura del possibile, separazioni architettoniche.

Per ulteriori dati cfr. paragrafi 3.1, 3.2, 3.3, 4.2.4, 4.5

Circolazione dell'aria nel locale

La ventilazione del locale deve garantire un buon ricambio dell'aria del locale. Quale parametro serve l'efficacia della ventilazione che rappresenta il rapporto tra il tempo minimo di permanenza dell'aria nel locale ed il tempo medio di permanenza della sostanza nociva nel locale stesso.

Per ulteriori dati cfr. paragrafo 4.2.4

# LC2

---

Free cooling	<p>Le possibilità del free cooling (utilizzo diretta dell'aria fredda esterna, produzione di acqua fredda mediante torre di raffreddamento oppure impianto di raffreddamento successivo raffreddato ad aria, evitando la macchina frigorifera) devono essere sfruttate, qualora ciò permetta una riduzione del consumo globale di energia.</p> <p>Per ulteriori dati cfr. paragrafi 4.5, 4.7</p>
Utilizzazione del calore residuo	<p>Nell'edificio il calore residuo che si produce deve essere sfruttato nella misura in cui esista un fabbisogno e sia sostenibile economicamente l'utilizzazione del calore residuo.</p> <p>Per ulteriori dati cfr. paragrafo 4.3</p>
Utilizzazioni differenziate	<p>Per i locali nei quali esistono esigenze diverse per il clima ambiente e per i locali con orari d'esercizio diversi, il concetto dell'impianto deve permettere un funzionamento individuale. Qualora possibile le zone con utilizzazioni molto diverse devono essere separate architettonicamente.</p> <p>Per ulteriori dati cfr. paragrafi 3.1, 4.2.4, 4.5, 4.6, 4.12, 4.13</p>
Impiego di collettori tubolari sotterranei ad aria	<p>Per la riduzione del consumo di energia primaria deve essere esaminato l'impiego di collettori tubolari sotterranei ad aria per il preriscaldamento dell'aria esterna in inverno e per il raffreddamento dell'aria esterna in estate.</p> <p>Per ulteriori dati cfr. paragrafo 4.10</p>
Impiego di sonde geotermiche	<p>Per la riduzione del consumo di energia primaria deve essere esaminato l'impiego di sonde geotermiche.</p> <p>Per ulteriori dati cfr. paragrafo 4.11</p>
Concetto di misurazione	<p>Durante la progettazione dell'impianto devono essere stabiliti tempestivamente un adeguato concetto di misurazione e le possibilità di misurazioni necessarie che ne scaturiscono.</p> <p>Per ulteriori dati cfr. paragrafi 3.1, 4.1</p>

---

# LC3

## Lista di controllo per la progettazione di singoli componenti

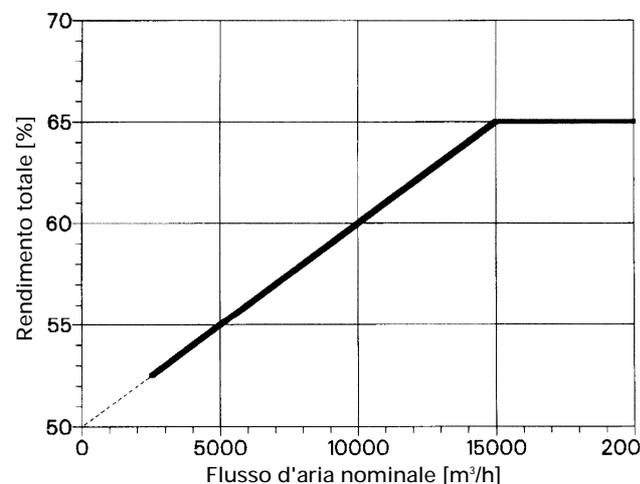
Debole fabbisogno di potenza per il trasporto dell'aria

Al momento del dimensionamento della rete dei canali d'aerazione e della scelta degli apparecchi occorre prevedere basse velocità di flusso e perdite di pressione esigue. Secondo SIA V382/3 la perdita totale di pressione (somma dell'impianto dell'aria di alimentazione e dell'aria viziata, compreso RDC) deve essere al massimo di 1200 Pa per un flusso volumetrico massimo dell'aria e filtri puliti. Per impianti ottimi sotto l'aspetto energetico vale un valore limite di 900 Pa.

Per ulteriori dati cfr. paragrafi 3.4, 4.2.4

Buon rendimento dei ventilatori

Secondo SIA V382/3 il rendimento totale dei ventilatori, compresi il motore e l'azionamento, nel punto ottimale deve raggiungere i valori seguenti secondo misurazioni effettuate al banco di prova:



Per impianti ottimi sotto l'aspetto energetico, il rendimento totale deve essere maggiore del 5%.

Occorre dedicare una particolare attenzione alle condizioni d'inserimento ed all'esercizio a carico parziale. Il dimensionamento deve avvenire in modo che in tutta la gamma di utilizzazione venga ottenuto il miglior rendimento possibile.

Per confrontare diversi apparecchi che hanno lo stesso compito occorre fare un paragone tra i loro rendimenti, ossia

$$\eta = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p_{\text{esterno}}}{P_{\text{motore}}}$$

$\dot{V}$  flusso volumetrico dell'aria [m³/s]

$p_{\text{esterno}}$  differenza tra le pressioni esterne totali [Pa]

$P_{\text{motore}}$  potenza assorbita dal motore [W]

Per ulteriori dati cfr. paragrafi 3.4, 5.2, 5.5, 5.6, 6.4, 6.5

# LC3

---

Ricupero del calore	<p>Gli impianti con aria di alimentazione riscaldata o raffreddata devono di regola essere equipaggiati con impianti per il ricupero del calore. Le esigenze si basano sulla direttiva SITC 89-1 «Impianti per il ricupero del calore».</p> <p>Per ulteriori dati cfr. paragrafo 4.3</p>
Umidificazione	<p>Quando è necessaria un'umidificazione dell'aria ambiente, essa deve limitarsi al minimo ammissibile ed avvenire generalmente in modo adiabatico. Un'umidificazione dell'aria ambiente deve di regola essere utilizzata insieme con il ricupero del calore con scambio di umidità.</p> <p>Per ulteriori dati cfr. paragrafi 3.1, 4.3, 4.6</p>
Macchine frigorifere	<p>Quando è necessaria una produzione meccanica del freddo, la temperatura dell'acqua fredda deve essere adeguata ai fabbisogni effettivi e più alta possibile, mentre la temperatura di condensazione deve rimanere più bassa possibile. Nel caso di punte di carico di breve durata occorre esaminare la possibilità dell'utilizzazione di accumulatori ad un livello di temperatura adeguato. Il calore residuo prodotto durante la generazione del freddo deve per quanto possibile essere utilizzato.</p> <p>Per ulteriori dati cfr. paragrafi 3.1, 4.5</p>
Tubazioni per mezzi refrigeranti ed acqua fredda	<p>Le tubazioni per i mezzi refrigeranti e per l'acqua fredda non devono essere protette soltanto dalla formazione di acqua di condensazione, bensì essere anche isolate allo scopo di mantenere minime le perdite di freddo.</p> <p>Prevedere la possibilità di mettere fuori servizio individualmente le diverse zone.</p>

---

# LC4

## Lista di controllo per la fase d'esercizio

Mantenere una temperatura dell'aria ambiente adeguata allo scopo

Il fabbisogno di energia per il riscaldamento ed il raffreddamento può essere ridotto in modo notevole se la temperatura dell'aria ambiente può variare liberamente nella gamma più larga possibile.

Durante l'«esercizio invernale» nei locali adibiti ad ufficio viene considerata adeguata una gamma di temperature dell'aria oscillante tra 19 e 24°C. Per il raffreddamento, in quanto lo stesso sia necessario, essa varia da 22 a 28°C, benché durante la canicola, ossia quando la temperatura esterna supera i 30°C, siano ammesse temperature interne più elevate.

In molti locali secondari la variazione di temperatura dell'aria può essere notevolmente maggiore. Essa dovrebbe per quanto possibile venire sfruttata.

Per ulteriori dati cfr. paragrafi 3.1, 3.2, 4.5

Mantenere un'umidità dell'aria ambiente adeguata allo scopo

Il limite del comfort varia per un'umidità relativa dell'aria oscillante dal 30 al 65%. È ammesso biologicamente che tale umidità relativa tocchi per pochi giorni all'anno il 20% u.r. oppure superi il livello normale aumentando a 75% u.r.

Negli edifici adibiti ad ufficio e ad abitazione non è in generale necessaria un'umidificazione dell'aria. Reclami a causa dell'aria troppo secca in inverno sono spesso da imputare a quantità di aria esterna troppo elevate, ad inquinamenti troppo elevati o a temperature troppo elevate dell'aria ambiente.

Per ulteriori dati cfr. paragrafi 3.1, 4.3, 4.6

Scegliere un tipo d'esercizio ed un orario di funzionamento degli impianti di ventilazione e di condizionamento adeguati al fabbisogno

Per quanto possibile occorre mirare ad un esercizio degli impianti di ventilazione e di condizionamento corrispondenti al fabbisogno.

La misura più efficace consiste in un disinserimento totale dell'impianto nelle ore in cui esso non è necessario. Ciò può venire realizzato in un modo molto semplice, ad esempio mediante un temporizzatore con programma settimanale.

Quando l'impianto deve essere in esercizio occorre trasportare solo la quantità d'aria necessaria. Per questo motivo l'impianto deve essere equipaggiato di trasmissioni a parecchi stadi o continue. Una regolazione automatica delle quantità d'aria può essere realizzata mediante sensori di CO<sub>2</sub> oppure sensori di miscele di gas.

Per ulteriori dati cfr. paragrafi 3.1, 4.12, 4.13

Utilizzazione razionale della protezione contro il sole in inverno

In inverno l'irradiazione solare attraverso le finestre costituisce un apporto salutare per la riduzione dell'energia necessaria per il riscaldamento. Durante la stagione fredda, la protezione contro il sole deve essere utilizzata soltanto come protezione contro l'abbagliamento per non ridurre, se possibile, i guadagni termici desiderati.

Durante le ore notturne gli avvolgibili esterni che si chiudono ermeticamente possono contribuire alla riduzione delle perdite per trasmissione ed il loro impiego è conseguentemente raccomandabile durante il periodo di riscaldamento.

# LC4

## Evitare i carichi termici inutili in estate

### a) Carichi esterni

In estate la protezione contro il sole deve impedire la penetrazione dell'irradiazione solare nei locali, giacché essa contribuirebbe ad un riscaldamento non desiderato del locale, rispettivamente ad un aumento del fabbisogno di raffreddamento. Utilizzando una protezione contro il sole occorre tener presente che ciò deve avvenire tempestivamente, ossia al primo impatto di un'irradiazione diretta contro la finestra e non soltanto a causa della formazione di temperature troppo elevate nei locali. In tal caso occorre tener presente che la posizione delle lamelle degli avvolgibili non permette soltanto una buona protezione contro il sole, ma anche un'utilizzazione migliore della luce naturale. In quanto ciò sia permesso da motivi di sicurezza, la protezione contro il sole non dovrebbe impedire durante le ore notturne il raffreddamento dei locali, eventualmente in combinazione con una ventilazione attraverso le finestre.

### b) Carichi esterni

Mentre durante l'inverno i carichi interni contribuiscono al riscaldamento del locale (anche se in modo poco efficiente), essi sono invece indesiderabili all'infuori del periodo di riscaldamento, giacché provocano un aumento della temperatura dell'aria ambiente, rispettivamente un aumento del fabbisogno di raffreddamento.

Per la riduzione dei carichi termici interni mediante macchine ed apparecchi occorre adottare le misure seguenti:

- verificare se esiste la necessità di base di apparecchi che generano calore
- verificare se è possibile un'installazione fuori dalle zone di comfort
- esaminare le possibilità di riduzione di erogazione del calore negli apparecchi esistenti (esercizio a carico parziale, stand-by, disinserimento qualora possibile)
- quando si tratta di acquistare nuovi apparecchi oppure di sostituire quelli esistenti, tener presenti un consumo ridotto di elettricità, la possibilità di un funzionamento adeguato al fabbisogno ed un'asportazione diretta del calore
- nel caso di carichi interni elevati inevitabili occorre verificare se esiste la possibilità di un'asportazione diretta del calore mediante un sistema chiuso ad acqua o ad aria

Per ulteriori dati cfr. paragrafi 3.2, 4.1, 4.4, 4.5

---

# LC4

---

## Controllo e manutenzione regolari

Occorre controllare regolarmente il rispetto delle misure summenzionate.

Una manutenzione regolare degli impianti deve sempre comprendere i punti seguenti:

- controllo e, qualora necessario, sostituzione degli strati filtranti
- controllo della tensione delle cinghie piane o di quelle trapezoidali
- pulitura dei componenti dell'impianto, compresi i passaggi per l'aria
- pulitura dei sensori e controllo dei valori nominali

Per ulteriori dati cfr. paragrafi 3.4, 4.1, 6.4

---

## Contabilità dell'energia

Prefiggersi l'allestimento di una contabilità dell'energia e l'esecuzione di paragoni con i valori dell'anno precedente. Al momento della progettazione dell'impianto occorre prendere in considerazione l'installazione dei dispositivi di misurazione necessari.

Per ulteriori dati cfr. paragrafi 3.4, 3.5, 4.1

---

## Ottimizzazione degli impianti

L'esperienza dimostra che in molti impianti esiste un potenziale di ottimizzazione elevato, qualora si tenga conto delle condizioni effettive d'esercizio e di utilizzazione. A questo scopo dopo il collaudo degli impianti è razionale eseguire ulteriori misurazioni e programmi di misurazione a lunga scadenza.

Per ulteriori dati cfr. paragrafo 4.1.4

---