
Manuali
Ingegneria

CINZIA BURATTI

**IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE E
CONDIZIONAMENTO**

Morlacchi Editore

1ª Edizione: maggio 2007

2ª Edizione: settembre 2015

Contributi nei Capitoli 7, 8 e 9: *Geremia Giottoli*

Composizione e disegni: *Elisa Lascaro, Domenico Palladino, Marco Vergoni,
Francesco Cristarella Orestano, Elisa Moretti, Roberto Fiorella*

ISBN: 978-88-6074-709-9

Copyright © 2015 by Morlacchi Editore, Perugia.

Tutti i diritti riservati. È vietata la riproduzione, anche parziale, con qualsiasi mezzo effettuata, compresa la copia fotostatica, non autorizzata.

Mail to: ufficiostampa@morlacchilibri.com | www.morlacchilibri.com

Finito di stampare nel mese di settembre 2015 da Digital Print-Service, Segrate (MI)

PREMESSA

I criteri per la progettazione degli impianti tecnici, ed in particolare degli impianti di climatizzazione e condizionamento, costituiscono un importante aspetto nella formazione degli ingegneri di primo livello che, alla luce della recente riforma didattica dei corsi di Laurea in Ingegneria, per inserirsi con successo nel mondo del lavoro devono possedere strumenti pratici di calcolo e dimensionamento.

È questo il taglio che è stato dato, in questi ultimi anni, al Corso di Impianti di Climatizzazione e Condizionamento, dalle cui lezioni svolte presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Perugia è tratto il presente testo e, prima ancora, dall'a.a. 1998-'99, al corso di Tecnica del Controllo Ambientale per gli allievi del Vecchio Ordinamento degli studi.

Il Corso di Impianti di Climatizzazione e Condizionamento è attivo dall'a.a. 2001-'02 ed è destinato agli allievi dei Corsi di Laurea Triennale in Ingegneria Civile, Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio e Ingegneria Meccanica, nonché ai collegati Corsi della Laurea Specialistica; esso ha lo scopo di fornire una descrizione delle diverse tipologie di impianto impiegate nell'edilizia, esaminando il sistema edificio-impianto dal punto di vista del benessere termoigrometrico e di qualità dell'aria interna, e di definire criteri e strumenti di carattere applicativo per la progettazione delle principali tipologie di impianto di condizionamento di tipo convenzionale.

Il testo contiene una parte iniziale (Cap. 1 e 2) nella quale sono definite le condizioni interne di benessere in relazione al comfort termoigrometrico e di qualità dell'aria. Nel terzo capitolo, dopo una definizione delle condizioni esterne ed interne di progetto, è affrontato il calcolo dei carichi termici estivi ed invernali, alla base del dimensionamento degli impianti. Successivamente è effettuata una classificazione e una descrizione delle diverse tipologie di impianto (Cap. 4) e sono quindi forniti i criteri per la progettazione degli impianti di riscaldamento (Cap. 5), con la relativa normativa (Cap. 6), e degli impianti di condizionamento dell'aria (Cap. 7 e 8). Nelle Appendici sono forniti, infine, una descrizione delle principali strumentazioni di misura dei parametri termoigrometrici ambientali, utile in fase di progettazione e collaudo, e alcuni richiami di psicrometria, per facilitare la comprensione dei processi nei trattamenti dell'aria.

Un sentito ringraziamento a tutti coloro che, con perizia e dedizione, hanno pazientemente contribuito alla revisione delle bozze ed alla cura dell'impaginazione e della grafica del testo.

Perugia, maggio 2007

Cinzia Buratti

PREMESSA ALLA SECONDA EDIZIONE

La continua evoluzione della Normativa in materia di risparmio energetico e, nel contempo, degli ordinamenti dei Corsi di Laurea in Ingegneria hanno di fatto reso obsoleti alcuni contenuti di questo testo.

Da qui è nata l'esigenza di una Seconda Edizione, nella quale sono stati sostanzialmente modificati e aggiornati il Capitolo 6, dedicato alla Normativa in materia di risparmio energetico e certificazione energetica degli edifici, nel quale è stato sintetizzato il quadro legislativo in vigore al 2007, anno della Prima Edizione, ed è stato introdotto il complesso scenario attuale, corredato di tutti i riferimenti necessari alla sua comprensione. Ciò ha avuto ripercussioni anche sulle modalità di calcolo dei carichi termici, descritte nel Capitolo 3, basate su nuove Normative Tecniche alle quali la legislazione attualmente vigente fa riferimento.

L'evoluzione degli Ordinamenti degli Studi dei Corsi di Laurea in Ingegneria Meccanica e Ingegneria Civile dell'Università di Perugia ha inoltre imposto l'integrazione del testo con alcuni argomenti, al fine di renderne i contenuti congruenti con i programmi dei nuovi corsi di Impianti Termotecnici e Impianti Tecnici per l'Edilizia. Il vecchio Capitolo 8, dedicato alle centrali tecnologiche, è stato pertanto profondamente revisionato e ampliato ed ha dato luogo a tre capitoli distinti: uno dedicato ai generatori di calore (Capitolo 8), uno alle macchine frigorifere, comprendente anche le pompe di calore (Capitolo 9), uno ai sistemi di regolazione (Capitolo 10); il Capitolo 7, inoltre, è stato integrato con un'ampia parte dedicata alle unità di trattamento aria. In questo lavoro fondamentale è stata la collaborazione con l'ing. Geremia Giottoli, che ringrazio sentitamente e che ha contribuito in maniera sostanziale alla stesura e alla revisione di queste nuove parti, mettendo a disposizione la sua pluriennale esperienza di progettista, direttore dei lavori e collaudatore di impianti, nonché di docente a contratto presso l'Università di Perugia e l'Università Telematica Guglielmo Marconi.

Per ultimi, ma non meno importanti, vorrei ringraziare tutti coloro che, con pazienza e impegno, hanno contribuito alla cura formale e grafica del testo.

Perugia, settembre 2015

Cinzia Buratti

Indice dei contenuti

Capitolo 1

BENESSERE TERMOIGROMETRICO

1.1	Introduzione	pag.	1
1.2	Bilancio termoigrometrico del corpo umano	pag.	2
1.3	Gli indici del benessere.....	pag.	9
1.4	Temperatura dell'aria	pag.	13
1.5	Umidità relativa	pag.	15
1.6	Velocità dell'aria.....	pag.	16
1.7	Cause di discomfort locale.....	pag.	18
	1.7.1 L'asimmetria radiante.....	pag.	19
	1.7.2 Il gradiente termico verticale.....	pag.	20
	1.7.3 La temperatura del pavimento	pag.	22
	1.7.4 Le correnti d'aria	pag.	23
1.8	I diagrammi del benessere	pag.	25
	1.8.1 I diagrammi del benessere di Fanger	pag.	25
	1.8.2 Il diagramma ASHRAE del benessere	pag.	28
1.9	Riferimenti normativi	pag.	29
1.10	I nuovi modelli adattivi	pag.	29
1.11	Elenco dei simboli.....	pag.	32
1.12	Bibliografia	pag.	33

Capitolo 2

QUALITÀ DELL'ARIA INTERNA E SISTEMI DI FILTRAZIONE

2.1	Generalità	pag.	37
2.2	Principali inquinanti.....	pag.	38
2.3	Unità <i>olf</i> e <i>decipol</i>	pag.	42
2.4	Sindrome da edifici insalubri.....	pag.	42
2.5	Determinazione della portata d'aria di ventilazione	pag.	44
	2.5.1 Normative in materia di ventilazione.....	pag.	44
	2.5.2 Metodi prestazionali: CEN Ventilation of buildings - Design criteria for the indoor environment.....	pag.	45
	2.5.3 Metodi prescrittivi: ASHRAE 62.1-2010	pag.	52
2.6	Sistemi di filtrazione.....	pag.	56
	2.6.1 Generalità	pag.	56
	2.6.2 Classificazione dei filtri in base al principio di funzionamento	pag.	57

2.6.3	Classificazione dei filtri in base all'efficienza di filtrazione ...pag.	64
2.6.4	Criteri di scelta dei sistemi di filtrazione.....pag.	71
2.7	Elenco dei simboli.....pag.	74
2.8	Bibliografia.....pag.	75

Capitolo 3

CALCOLO DEI CARICHI TERMICI

3.1	Generalità.....pag.	77
3.2	Calcolo in condizioni estive e invernali.....pag.	79
3.3	I carichi termici estivi.....pag.	81
3.4	I carichi termici invernali.....pag.	82
3.5	Condizioni esterne di progetto.....pag.	83
3.6	Condizioni interne di progetto.....pag.	88
3.7	Trasmissione attraverso l'involucro edilizio.....pag.	89
	3.7.1 Pareti opache.....pag.	90
	3.7.2 Pareti vetrate.....pag.	97
	3.7.3 Coperture.....pag.	100
	3.7.4 Solai.....pag.	101
3.8	Irraggiamento solare.....pag.	101
	3.8.1 Irraggiamento solare sulle pareti opache.....pag.	102
	3.8.2 Irraggiamento solare sulle pareti vetrate.....pag.	103
	3.8.3 Metodo della differenza di temperatura equivalente.....pag.	105
3.9	Ponti termici.....pag.	109
3.10	Infiltrazioni d'aria e ventilazione.....pag.	111
3.11	Carichi termici interni.....pag.	112
	3.11.1 Persone.....pag.	114
	3.11.2 Macchinari e illuminazione.....pag.	114
	3.11.3 Altri contributi.....pag.	116
3.12	Calcolo del carico termico secondo la UNI EN 12831.....pag.	117
3.13	Elenco dei simboli.....pag.	121
3.14	Bibliografia.....pag.	123

Capitolo 4

CLASSIFICAZIONE DEGLI IMPIANTI

4.1	Generalità.....pag.	125
4.2	Impianti di riscaldamento e climatizzazione.....pag.	126
	4.2.1 Impianti centralizzati.....pag.	126
	4.2.2 Impianti e apparecchi autonomi.....pag.	132
4.3	Impianti di condizionamento: classificazione.....pag.	133

4.4	Impianti a tutt'aria	pag.	136
	4.4.1 Impianti a portata costante	pag.	136
	4.4.2 Impianti a portata variabile.....	pag.	136
	4.4.3 Sistemi monocondotto e a doppio condotto.....	pag.	137
	4.4.4 Sistemi multizone.....	pag.	138
4.5	Impianti di condizionamento misti aria-acqua.....	pag.	140
	4.5.1 Impianti misti con ventilconvettori.....	pag.	141
	4.5.2 Impianti misti a induzione	pag.	142
	4.5.3 Impianti a due, tre o quattro tubi.....	pag.	143
4.6	Elenco dei simboli.....	pag.	146
4.7	Bibliografia	pag.	146

Capitolo 5

IMPIANTI DI RISCALDAMENTO: CRITERI DI PROGETTO

5.1	Generalità	pag.	149
5.2	Elementi terminali	pag.	150
	5.2.1 Radiatori	pag.	151
	5.2.2 Ventilconvettori ed areotermi	pag.	153
	5.2.3 Pannelli radianti	pag.	154
	5.2.4 Dimensionamento.....	pag.	158
5.3	Rete di distribuzione	pag.	162
	5.3.1 Tubazioni e collettori: tipologie e dimensionamento	pag.	162
	5.3.2 Vaso di espansione: tipologie e dimensionamento.....	pag.	169
	5.3.3 Pompe di circolazione: tipologie e dimensionamento.....	pag.	171
5.4	Elenco dei simboli.....	pag.	176
5.5	Bibliografia	pag.	177

Capitolo 6

SISTEMA EDIFICIO-IMPIANTO: QUADRO NORMATIVO

6.1	Introduzione	pag.	179
6.2	Legge n. 10 del 9 gennaio 1991	pag.	180
6.3	D.P.R. 412/1993.....	pag.	181
6.4	D.Lgs. 192/2005 e 311/2006.....	pag.	183
6.5	D.P.R. 59/2009.....	pag.	185
6.6	D.M. 26 giugno 2009	pag.	185
6.7	Legge n. 90 del 3 agosto 2013	pag.	187
6.8	D.M. 26 giugno 2015	pag.	188
6.9	Normativa tecnica per la progettazione e la certificazione energetica di edifici ed impianti.....	pag.	196

6.10	Elenco dei simboli	pag.	198
6.11	Bibliografia	pag.	199

Capitolo 7

IMPIANTI DI CONDIZIONAMENTO: CRITERI DI PROGETTO

7.1	Componenti di un impianto di condizionamento a tutt'aria	pag.	201
7.2	Componenti di un impianto di condizionamento misto	pag.	201
7.3	Trattamenti dell'aria	pag.	202
	7.3.1 Impianti a tutt'aria	pag.	202
	7.3.2 Impianti misti aria-acqua	pag.	205
7.4	Calcolo della portata d'aria di progetto	pag.	208
	7.4.1 Impianti a tutt'aria	pag.	208
	7.4.2 Impianti misti aria-acqua	pag.	210
7.5	Unità di trattamento dell'aria	pag.	211
	7.5.1 Tipologie	pag.	211
	7.5.2 Caratteristiche costruttive	pag.	214
	7.5.3 Dimensionamento	pag.	224
7.6	Rete di distribuzione dell'aria	pag.	227
	7.6.1 Classificazione dei canali di distribuzione dell'aria	pag.	229
	7.6.2 Caratteristiche costruttive dei canali	pag.	230
	7.6.3 Dimensionamento	pag.	232
	7.6.4 Calcolo delle perdite di carico totali del circuito	pag.	236
7.7	Elementi terminali e rete di distribuzione dell'acqua	pag.	238
7.8	Terminali di immissione dell'aria	pag.	239
	7.8.1 Generalità	pag.	239
	7.8.2 Terminali per la distribuzione a flusso turbolento	pag.	240
	7.8.3 Terminali per la distribuzione a dislocamento	pag.	244
	7.8.4 Terminali per la distribuzione a flusso laminare	pag.	245
	7.8.5 Altri tipi di terminali di immissione dell'aria	pag.	245
	7.8.6 Applicazioni	pag.	246
	7.8.7 Griglie ed elementi di ripresa	pag.	247
	7.8.8 Dimensionamento	pag.	247
7.9	Elenco dei simboli	pag.	251
7.10	Bibliografia	pag.	252

Capitolo 8

GENERATORI DI CALORE

8.1	Caldaie	pag.	253
	8.1.1 Tipologie	pag.	254

8.1.2	Caratteristiche costruttive	pag.	264
8.1.3	Dimensionamento	pag.	265
8.1.4	Ulteriori criteri di scelta	pag.	269
8.2	Bruciatori	pag.	273
8.2.1	Tipologie e caratteristiche costruttive	pag.	274
8.2.2	Dimensionamento	pag.	280
8.3	Accessori per il funzionamento	pag.	281
8.3.1	Camini e canne fumarie	pag.	281
8.3.2	Dispositivi di sicurezza, protezione e controllo	pag.	284
8.4	Sistemi di regolazione dei generatori di calore	pag.	287
8.5	Pannelli solari termici	pag.	288
8.5.1	Caratteristiche costruttive	pag.	288
8.5.2	Tecnologie impiantistiche	pag.	291
8.5.3	Serbatoio di accumulo	pag.	293
8.5.4	Dimensionamento	pag.	294
8.6	Celle a combustibile	pag.	295
8.7	Elenco dei simboli	pag.	298
8.8	Bibliografia	pag.	299

Capitolo 9

MACCHINE FRIGORIFERE E POMPE DI CALORE

9.1	Gruppi frigoriferi a compressione tradizionali	pag.	301
9.1.1	Tipologie e componenti	pag.	301
9.1.2	Caratteristiche costruttive	pag.	309
9.1.3	Dimensionamento ed elementi di scelta	pag.	311
9.1.4	Accessori per il funzionamento	pag.	313
9.2	Gruppi frigoriferi ad anidride carbonica	pag.	320
9.3	Gruppi frigoriferi ad assorbimento	pag.	322
9.3.1	Tipologie e componenti	pag.	322
9.3.2	Dimensionamento ed elementi di scelta	pag.	326
9.3.3	Accessori per il funzionamento	pag.	328
9.4	Collocazione della centrale frigorifera	pag.	329
9.5	Cenni sulle Celle di Peltier	pag.	330
9.6	Pompe di calore	pag.	332
9.6.1	Generalità	pag.	332
9.6.2	Tipologie	pag.	332
9.6.3	Classificazione in base alla sorgente fredda e al fluido riscaldato	pag.	337
9.6.4	Impianti monovalenti e bivalenti	pag.	341
9.6.5	Classificazione in base alla taglia	pag.	345

9.6.6 Sistemi a espansione diretta.....	pag.	347
9.7 Elenco dei simboli.....	pag.	351
9.8 Bibliografia.....	pag.	352

Capitolo 10

CENNI SULLA REGOLAZIONE DEGLI IMPIANTI

10.1 Generalità.....	pag.	353
10.2 La tecnica della regolazione.....	pag.	353
10.3 Gli algoritmi di regolazione.....	pag.	356
10.3.1 ON/OFF o tutto/niente.....	pag.	356
10.3.2 Azione proporzionale P.....	pag.	357
10.3.3 Azione proporzionale integrale PI.....	pag.	359
10.3.4 Azione proporzionale integrale derivativa PID.....	pag.	360
10.4 La regolazione negli impianti a tutt'aria a portata costante.....	pag.	362
10.5 La regolazione negli impianti a tutt'aria a portata variabile.....	pag.	363
10.6 La regolazione negli impianti misti a ventilconvettori.....	pag.	363
10.7 Elenco dei simboli.....	pag.	365
10.8 Bibliografia.....	pag.	365

Appendice A

RILIEVO DEI PARAMETRI TERMOIGROMETRICI AMBIENTALI.....	pag.	369
--	------	-----

Appendice B

RICHIAMI DI PSICROMETRIA.....	pag.	387
-------------------------------	------	-----

BENESSERE TERMOIGROMETRICO

1.1 Introduzione

Nella società moderna la maggioranza delle persone trascorre gran parte del proprio tempo in ambienti confinati, in presenza di un clima artificiale. La realizzazione di condizioni di benessere all'interno di un ambiente confinato è pertanto uno dei principali obiettivi per le figure professionali chiamate alla progettazione degli edifici. Il benessere diventa un elemento di progetto, dal quale prendono spunto le soluzioni edilizie e impiantistiche; esso include anche fattori *non termici* come la qualità dell'aria, l'illuminazione e l'acustica. Nel presente testo si focalizzerà l'attenzione sul benessere termoigrometrico e sulla qualità dell'aria.

L'American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) [1] definisce il benessere come quella *condizione mentale che esprime soddisfazione nei confronti dell'ambiente termico*; una condizione necessaria per avere una sensazione di benessere termoigrometrico è quella di garantire la neutralità termica all'interno dell'ambiente stesso, ovvero quella condizione per la quale un soggetto non desidera né un ambiente più caldo né un ambiente più freddo. Questo non è tuttavia un requisito sufficiente per garantire il comfort, il quale dipende da numerosi parametri come la temperatura dell'aria e delle superfici radianti, l'umidità relativa, la velocità e la purezza dell'aria, la resistenza termica dell'abbigliamento e il livello di attività svolta dagli occupanti.

La sensazione di benessere, infine, non è solo il risultato dell'azione simultanea di detti parametri, ma anche di fattori di ordine psicologico, a dimostrazione del fatto che lo stato di comfort termoigrometrico è una condizione soggettiva; gli occupanti di uno stesso ambiente, infatti, possono esprimere un differente giudizio di sensazione, per cui esiste sempre una percentuale di persone che si dichiara insoddisfatta nei confronti dell'ambiente termico in cui si trova.

Per caratterizzare globalmente la sensazione termica che si ha all'interno di un ambiente, sono stati introdotti numerosi indici del benessere, che tengono conto dei parametri sopra elencati e dei quali si discuterà nel seguito.