

# Sommario

<b>Prefazione</b> .....	XV
<b>Presentazione</b> .....	XVII
<b>Ringraziamenti</b> .....	XXI

## Parte I

### Fondamenti di pneumatica

#### Capitolo 1

##### Principi di fisica

1.1 Struttura della materia .....	3
1.2 Massa .....	3
1.3 Volume .....	4
1.4 Densità .....	4
1.5 Pressione.....	5
1.6 Portata.....	7
1.7 Lavoro, energia e potenza.....	9
1.8 Temperatura .....	10
1.9 Calori specifici .....	11
1.10 Viscosità .....	12
1.11 Scambi termici .....	13
1.12 Velocità del suono.....	16

#### Capitolo 2

##### Sistemi di misura

2.1 Sistema di misura S.I.....	17
2.2 Conversioni tra diversi sistemi di misura .....	19

## Capitolo 3

### L'aria compressa e le sue leggi

3.1	Caratteristiche dell'aria compressa . . . . .	25
3.2	Equazione di stato e trasformazioni . . . . .	27
3.3	Equazione di continuità . . . . .	31
3.4	Equazione dell'energia . . . . .	31
3.5	Umidità dell'aria compressa . . . . .	32

## Capitolo 4

### Movimento dell'aria nei componenti pneumatici

4.1	Tipi di flusso . . . . .	35
4.2	Flusso in ambiente confinato e in ambiente libero . . . . .	36
4.3	Flusso laminare e flusso turbolento . . . . .	38
4.4	Perdite di pressione nei tubi . . . . .	39
4.5	Perdite localizzate . . . . .	42
4.6	Getti . . . . .	45
4.7	Effetto parete e interazione tra flussi in movimento . . . . .	49
4.8	Flussi negli ugelli ideali . . . . .	51
4.9	Flussi negli ugelli reali e nelle valvole pneumatiche . . . . .	57

## Parte II

## Strumentazione

## Capitolo 5

### Principi di misure

5.1	Misura delle grandezze fisiche . . . . .	63
5.2	Accuratezza, ripetibilità ed errori di misura . . . . .	65
5.3	Sensori e trasduttori . . . . .	66

## Capitolo 6

### Misura della pressione

6.1	Strumenti e campi di misura . . . . .	67
6.2	Manometri meccanici . . . . .	68
6.3	Trasduttori di pressione . . . . .	75
6.4	Misure dinamiche di pressione . . . . .	76

## Capitolo 7

### Misura della portata

7.1	Strumenti per la misura della portata . . . . .	79
7.2	Diaframmi, bocchigli, tubi di Venturi . . . . .	80

7.3	Flussimetri a galleggiante . . . . .	82
7.4	Misuratori volumetrici . . . . .	84
7.5	Metodi basati su misure di velocit� . . . . .	85

## Capitolo 8

### Misura di altre grandezze

8.1	Misura della temperatura . . . . .	89
8.2	Altre misure . . . . .	91

## Parte III

# Controllo del movimento e della forza nell'automazione

## Capitolo 9

### La pneumatica dalle prime applicazioni all'Industria 4.0

9.1	Origini della pneumatica . . . . .	95
9.2	La pneumatica come mezzo per la distribuzione dell'energia . . . . .	98
9.3	Il secondo dopoguerra e il superamento della forza muscolare . . . . .	100
9.4	La fluidica e la rivoluzione culturale . . . . .	102
9.5	Struttura dei sistemi automatici . . . . .	107
9.6	La logica pneumatica e l'evoluzione dei componenti pneumatici . . . . .	109
9.7	Dal PLC alla mecatronica e oltre . . . . .	112

## Capitolo 10

### L'approccio sistemistico nel progetto dei sistemi automatici

10.1	Struttura funzionale dei sistemi automatici . . . . .	115
10.2	Il confronto e l'integrazione delle tecnologie . . . . .	118
10.3	Caratteristiche e ruolo della pneumatica nell'automazione . . . . .	122
10.4	I sistemi complessi e l'intelligenza distribuita . . . . .	122

## Capitolo 11

### Il controllo del movimento

11.1	Introduzione . . . . .	125
11.2	Movimento lineare . . . . .	126
11.3	Cilindri pneumatici . . . . .	127
11.4	Comando dei cilindri mediante valvole di controllo direzione . . . . .	132
11.5	Azionamenti delle valvole e stabilit� delle posizioni di lavoro . . . . .	137
11.6	Valvole per il comando dei circuiti e valvole per l'azionamento dei cilindri . . . . .	141

11.7 Azionamenti elettromeccanici e motori elettrici lineari . . . . .	146
11.8 Confronto tra assi lineari pneumatici e assi lineari elettrici . . . . .	147
11.9 Movimento angolare intermittente. . . . .	149
11.10 Movimento rotativo continuo. . . . .	150

## Capitolo 12

### Il controllo della forza

12.1 Forza e presa. . . . .	153
12.2 Azionamenti pneumatici ed elettrici per il controllo della forza . . . . .	154

## Capitolo 13

### Movimenti e forze nei sistemi automatici

13.1 Combinazione dei diversi movimenti nei sistemi automatici. . . . .	157
13.2 Architetture meccaniche delle macchine automatiche. . . . .	158
13.3 Presa e controllo della forza . . . . .	162

## Parte IV

# Componenti per l'automazione

## Capitolo 14

### Attuatori pneumatici per l'automazione

14.1 Attuatori pneumatici e specializzazione delle funzioni . . . . .	171
14.2 Cilindri per uso generico . . . . .	172
14.3 Cilindri specializzati . . . . .	176
14.4 Cilindri per ambienti particolari . . . . .	177
14.5 Cilindri compatti . . . . .	179
14.6 Cilindri con doppia asta . . . . .	181
14.7 Cilindri tandem . . . . .	182
14.8 Cilindri a più posizioni. . . . .	184
14.9 Cilindri con freno. . . . .	186
14.10 Cilindri guidati e slitte pneumatiche . . . . .	190
14.11 Cilindri senza asta . . . . .	195
14.12 Cilindri telescopici . . . . .	200
14.13 Cilindri a basso attrito e cilindri senza guarnizioni. . . . .	201
14.14 Cilindri intelligenti. . . . .	204
14.15 Cilindri di arresto. . . . .	205
14.16 Cilindri a membrana. . . . .	206
14.17 Cilindri a soffietto, muscoli pneumatici, attuatori deformabili . . . . .	211
14.18 Cilindri rotanti . . . . .	216
14.19 Tavole rotanti . . . . .	222
14.20 Pattini ad aria . . . . .	224

**Capitolo 15****Prestazioni e scelta di un cilindro pneumatico**

15.1 Scegliere il cilindro adatto a un'applicazione . . . . .	227
15.2 Forze sviluppate e masse frenabili . . . . .	228
15.3 Dimensionamento ad attrito dei piccoli attuatori. . . . .	233
15.4 Consumo energetico. . . . .	234
15.5 Montaggio dei cilindri nei sistemi automatici . . . . .	236
15.6 Standardizzazione e norme . . . . .	243
15.7 Caratteristiche costruttive dei cilindri pneumatici. . . . .	245
15.8 Guarnizioni usate nei cilindri. . . . .	250
15.9 Materiali e caratteristiche delle guarnizioni . . . . .	256
15.10 Attrito nei cilindri pneumatici . . . . .	258

**Capitolo 16****Unità elettriche per l'automazione**

16.1 Assi elettrici . . . . .	263
16.2 Cilindri elettrici . . . . .	265
16.3 Motori elettrici lineari e unità elettriche rotative. . . . .	268

**Capitolo 17****Sistemi oleopneumatici per il controllo del moto e unità di potenza**

17.1 Introduzione . . . . .	271
17.2 Stabilizzazione del moto di avanzamento con l'oleopneumatica . . . . .	272
17.3 Unità di potenza . . . . .	278
17.4 Ammortizzatori idraulici . . . . .	283

**Capitolo 18****La presa nell'automazione**

18.1 Introduzione . . . . .	287
18.2 Pinze pneumatiche circolari e parallele . . . . .	288
18.3 Pinze elettriche . . . . .	294
18.4 Presa con attuatori pneumatici flessibili e dita deformabili. . . . .	295
18.5 Presa senza contatto . . . . .	297
18.6 Organi di presa a vuoto . . . . .	298
18.7 Generatori di vuoto . . . . .	302
18.8 Valvole e riduttori per vuoto. . . . .	308

## Capitolo 19

### **Motori e utensili pneumatici**

19.1	Caratteristiche generali dei motori pneumatici rotativi . . . . .	311
19.2	Tipi di motori pneumatici . . . . .	312
19.3	Motori a stantuffo . . . . .	314
19.4	Motori a palette . . . . .	315
19.5	Caratteristiche operative . . . . .	317
19.6	Motori con riduttori e utensili pneumatici rotativi . . . . .	320
19.7	Utensili pneumatici a percussione . . . . .	322

## Capitolo 20

### **Valvole pneumatiche di controllo direzione**

20.1	Introduzione . . . . .	325
20.2	Valvole a cassetto e valvole a otturatore . . . . .	326
20.3	Valvole a centri aperti e a centri chiusi . . . . .	332
20.4	Valvole a più posizioni di lavoro . . . . .	335
20.5	Modelli realizzativi di valvole . . . . .	338
20.6	Valvole per la gestione generale dei circuiti . . . . .	346
20.7	Intercambiabilità di comandi pneumatici ed elettrici nei sistemi meccatronici . . . . .	353

## Capitolo 21

### **Valvole e dispositivi ausiliari**

21.1	Introduzione . . . . .	355
21.2	Valvole ausiliarie . . . . .	355
21.3	Temporizzatori e contaimpulsi . . . . .	364
21.4	Valvole limitatrici di pressione . . . . .	369
21.5	Valvole di regolazione della velocità dei cilindri . . . . .	370
21.6	Valvole di blocco della posizione di arresto . . . . .	381
21.7	Valvole di regolazione delle pressioni nelle camere dei cilindri . . . . .	385

## Capitolo 22

### **Elettrovalvole e interfacce**

22.1	Elementi di interfaccia . . . . .	395
22.2	Azionamenti elettrici usati nelle elettrovalvole digitali . . . . .	396
22.3	Elettrovalvole pneumatiche . . . . .	400
22.4	Elettrovalvole elettromagnetiche . . . . .	400
22.5	Elettrovalvole piezoelettriche . . . . .	411
22.6	Pressostati e trasduttori di pressione . . . . .	412
22.7	Interfacce bassa pressione-alta pressione . . . . .	414

## Capitolo 23

### Sensori e fine corsa

23.1	Introduzione . . . . .	417
23.2	Sensori di prossimità e sensori a intercettazione . . . . .	418
23.3	Valvole pneumatiche ad azionamento meccanico . . . . .	419
23.4	Sensori pneumatici . . . . .	425
23.5	Sensori elettrici di prossimità . . . . .	434
23.6	Sensori ottici . . . . .	438
23.7	Sensori magnetici per cilindri pneumatici . . . . .	440
23.8	Sensori di fine corsa pneumatici virtuali . . . . .	443

## Capitolo 24

### Tubi, raccordi e accessori per impianti a bordo macchina

24.1	Introduzione . . . . .	447
24.2	Tubi per sistemi pneumatici . . . . .	447
24.3	Raccordi a portagomma e automatici . . . . .	449
24.4	Giunti a innesto rapido . . . . .	452
24.5	Giunti rotanti . . . . .	454
24.6	Silenziatori . . . . .	455
24.7	Catene portacavi . . . . .	458

## Capitolo 25

### Prestazioni e scelta delle valvole pneumatiche

25.1	Esigenze applicative e caratteristiche di funzionamento delle valvole . . . . .	461
25.2	Scegliere la tipologia di montaggio di una valvola . . . . .	462
25.3	Verificare l'azionamento di una valvola . . . . .	472
25.4	Caratteristiche di flusso e coefficienti di valvola . . . . .	474
25.5	Diametro equivalente e portata nominale . . . . .	487
25.6	Tempi di risposta e frequenze di lavoro . . . . .	488
25.7	Dati per l'utilizzo delle valvole . . . . .	493

## Parte V

### Tecniche di controllo per sistemi elettropneumatici digitali

## Capitolo 26

### Algebra logica e componenti pneumologici

26.1	Significato dei segnali digitali . . . . .	499
26.2	Funzioni logiche e teoremi fondamentali . . . . .	500
26.3	Operatori logici combinatori . . . . .	504

26.4	Operatori logici sequenziali e altre funzioni . . . . .	508
26.5	Circuiti per operazioni logiche . . . . .	514
26.6	Uso di componenti pneumatici per funzioni logiche . . . . .	515

## Capitolo 27

### Organizzazione e cicli di un sistema automatico

27.1	Sistemi a tempo e sistemi a eventi . . . . .	521
27.2	Diagramma movimenti-fasi e diagramma movimenti-tempi. . . . .	523
27.3	Rappresentazione di cicli con la tecnica del grafcet. . . . .	527
27.4	Uso del grafcet nei cicli automatici . . . . .	531

## Capitolo 28

### Circuiti per sistemi automatici

28.1	Sistemi a logica cablata e sistemi programmabili . . . . .	537
28.2	Circuiti a tempo con contatori binari . . . . .	538
28.3	Circuiti a eventi con memorie pari agli attuatori . . . . .	541
28.4	Circuiti con memorie ausiliarie . . . . .	545
28.5	Circuiti con memorie di fase: i sequenziatori. . . . .	546
28.6	Uso della tecnica dei sequenziatori . . . . .	548
28.7	Gestione delle emergenze e dei sottocicli con i sequenziatori . . . . .	553

## Capitolo 29

### Sistemi elettropneumatici: relè, PLC e bus

29.1	L'integrazione tra pneumatica ed elettronica: la meccatronica . . . . .	557
29.2	Relè e contattori . . . . .	559
29.3	Grafcet contratto. . . . .	564
29.4	Controlli con relè . . . . .	568
29.5	Controllori elettronici programmabili (PLC). . . . .	569
29.6	Linguaggi di programmazione. . . . .	572
29.7	I bus . . . . .	576

## Capitolo 30

### Organizzazione dei sistemi elettropneumatici

30.1	Posizionare i componenti di controllo e sceglierne il collegamento . . . . .	581
30.2	Valvole singole e isole di valvole . . . . .	582
30.3	Collegamento a PLC con connessioni cablate e con bus . . . . .	582
30.4	Linee di collegamento bus . . . . .	587
30.5	Sistemi automatici con mezzi wireless. . . . .	589
30.6	Evoluzioni con Industria 4.0. . . . .	591



## **Parte VI**

### **Pneumatica proporzionale**

#### **Capitolo 31**

##### **Elettrovalvole proporzionali**

31.1	Introduzione . . . . .	597
31.2	Azionamenti nelle elettrovalvole proporzionali . . . . .	599
31.3	Elettrovalvole proporzionali in pressione . . . . .	601
31.4	Elettrovalvole proporzionali in portata . . . . .	612
31.5	Riduttori motorizzati . . . . .	618
31.6	Caratteristiche di funzionamento delle elettrovalvole proporzionali . . . . .	619

#### **Capitolo 32**

##### **Sistemi pneumatici proporzionali per l'automazione**

32.1	Controlli con elettrovalvole proporzionali . . . . .	623
32.2	Attuatori pneumatici controllati in forza . . . . .	624
32.3	Attuatori pneumatici controllati in posizione . . . . .	624
32.4	Sistemi con controlli misti . . . . .	631

## **Parte VII**

### **Simulazione e progettazione dei sistemi pneumatici**

#### **Capitolo 33**

##### **Elementi di modellazione dei sistemi pneumatici**

33.1	Introduzione . . . . .	635
33.2	Analogia elettrica e parametri dei sistemi pneumatici . . . . .	636
33.3	Resistenze pneumatiche . . . . .	638
33.4	Capacità pneumatiche . . . . .	640
33.5	Induttanze pneumatiche . . . . .	643
33.6	Esempi di modellazione a parametri concentrati . . . . .	644
33.7	Tubi di collegamento: modelli a parametri distribuiti . . . . .	647

#### **Capitolo 34**

##### **Progetto dei circuiti pneumatici**

34.1	Introduzione . . . . .	651
34.2	Disegno dello schema dei circuiti . . . . .	652
34.3	Abbinamento di valvole e di cilindri . . . . .	653
34.4	Programmi di simulazione di circuiti pneumatici . . . . .	656
34.5	Installazione dei componenti pneumatici a bordo macchina . . . . .	658

## **Parte VIII**

# **Generazione e distribuzione dell'aria compressa**

### **Capitolo 35**

#### **Generazione dell'aria compressa**

35.1	Introduzione . . . . .	661
35.2	Compressione dell'aria . . . . .	664
35.3	Suddivisione dei compressori . . . . .	667
35.4	Compressione in più stadi . . . . .	670
35.5	Tipi di compressori . . . . .	671
35.6	Regolazione dei compressori . . . . .	681
35.7	Stazioni di compressione . . . . .	684
35.8	Dimensionamento del compressore e del serbatoio . . . . .	687
35.9	Filtrazione nelle stazioni di compressione . . . . .	692
35.10	Refrigerazione ed essiccamento dell'aria compressa . . . . .	697
35.11	Recupero energetico nelle stazioni di compressione . . . . .	706

### **Capitolo 36**

#### **Distribuzione dell'aria compressa**

36.1	Reti dell'aria compressa . . . . .	709
36.2	Linee di distribuzione modulari . . . . .	714
36.3	Dimensionamento delle tubazioni . . . . .	718
36.4	Moltiplicatori di pressione . . . . .	720
36.5	Aspetti energetici nella distribuzione dell'aria compressa . . . . .	723

### **Capitolo 37**

#### **Trattamento dell'aria compressa**

37.1	Introduzione . . . . .	725
37.2	Elementi inquinanti . . . . .	726
37.3	Filtri . . . . .	728
37.4	Riduttori e filtri-riduttori . . . . .	734
37.5	Lubrificatori . . . . .	742
37.6	Avviatori progressivi . . . . .	746
37.7	Gruppi e simboli . . . . .	750
37.8	Trattamento dell'aria con sistemi a bassa temperatura . . . . .	754

**Parte IX****Risparmio energetico, aspetti ecologici ed efficienza nei sistemi pneumatici****Capitolo 38****Risparmio energetico e aspetti ecologici**

38.1	Introduzione . . . . .	759
38.2	Flussi energetici nei sistemi ad aria compressa . . . . .	760
38.3	Energia e pressioni di lavoro nelle centrali di compressione . . . . .	761
38.4	Risparmio energetico nelle reti di tubazioni . . . . .	763
38.5	Tecniche di risparmio energetico nei circuiti pneumatici . . . . .	765
38.6	Lubrificazione con olio e pneumatica senza olio . . . . .	771
38.7	L'aria compressa come mezzo di accumulo dell'energia . . . . .	775
38.8	Dismissione delle apparecchiature alla fine del ciclo operativo. . . . .	777

**Capitolo 39****Efficienza nei sistemi pneumatici: sicurezza, affidabilità e vita**

39.1	Introduzione . . . . .	779
39.2	Sicurezza nei sistemi elettropneumatici . . . . .	780
39.3	Affidabilità e vita . . . . .	783
39.4	Affidabilità e vita delle valvole penumatiche. . . . .	785
39.5	Durata e guasti dei cilindri. . . . .	787
39.6	Diagnostica e manutenzione nei sistemi automatici elettropneumatici . . . . .	799

**Parte X****Applicazioni della tecnologia pneumatica****Capitolo 40****Pneumatica e produzione**

40.1	Introduzione . . . . .	803
40.2	Esigenze per il controllo dei processi. . . . .	804
40.3	Valvole per il controllo di fluidi . . . . .	807
40.4	Manifattura, industria meccanica e robotica . . . . .	813
40.5	Industria elettronica . . . . .	825
40.6	Industria alimentare . . . . .	828
40.7	Industria tessile. . . . .	833

## Capitolo 41

### **Pneumatica per l'ambiente, la mobilità, la salute e il benessere**

41.1	Introduzione .....	839
41.2	Agricoltura, acquacoltura e ambiente .....	840
41.3	Costruzioni, sport e divertimento .....	851
41.4	Mezzi di trasporto .....	852
41.5	Industria farmaceutica e campo medico .....	858

## **Appendici**

<b>Principali simboli ed esempi conformi alle norme ISO 1219-1 e altri simboli non normalizzati .....</b>	<b>871</b>
---	------------

<b>Simbologia .....</b>	<b>881</b>
-------------------------	------------

<b>Bibliografia .....</b>	<b>887</b>
---------------------------	------------

<b>Indice analitico .....</b>	<b>889</b>
-------------------------------	------------