

manuale cremonese

ELETTROTECNICA

Quarta edizione

Per i Nuovi Tecnici a indirizzo
Elettrotecnica ed Elettronica
articolazione *Elettrotecnica* e
articolazione *Automazione*

- DISCIPLINE PROPEDEUTICHE
- ELETTROTECNICA ed ELETTRONICA
- AUTOMAZIONE

ZANICHELLI

PREFAZIONE

La quarta edizione del manuale Cremonese di **Elettrotecnica** è stata profondamente rivista e aggiornata per rispondere alle esigenze didattiche dei Nuovi Istituti Tecnici, in particolare per l'indirizzo di Elettrotecnica ed Elettronica nell'articolazione *Elettrotecnica* e nell'articolazione *Automazione*.

Un unico volume raccoglie ora le **discipline propedeutiche** e la **trattazione specialistica**.

La prima parte, propedeutica, contiene argomenti che dovrebbero essere già acquisiti, ma che si è ritenuto utile riproporre nelle linee essenziali per consentire sempre allo studente una agevole consultazione. La sezione è anche stata aggiornata e in alcuni casi profondamente rivista (*fisica, matematica*) per rendere la trattazione dei contenuti coerenti con le attuali indicazioni ministeriali sulle materie di insegnamento; si è inoltre ritenuto utile aggiungere specifici approfondimenti (*statistica, matematica finanziaria, impatto ambientale, rifiuti, qualità e sicurezza nei luoghi di lavoro*).

Nella sezione specialistica si è privilegiata la componente disciplinare caratterizzante: si è intervenuti sulla parte di **elettrotecnica** aggiornando e rendendo più fruibile la consultazione e più didattica la trattazione, inserendo diversi capitoli di elettronica di base alla luce delle nuove Linee guida ministeriali. Particolare cura è stata rivolta ai capitoli di *Macchine elettriche, Macchine elettriche speciali e Motori a commutazione elettronica* in virtù del loro sempre più diffuso utilizzo.

La stretta attinenza del programma di elettrotecnica e di elettronica con le materie di **automazione** ha convinto i curatori ad approfondire questo tema con particolare riferimento alle più recenti applicazioni industriali del PLC. Si è poi organizzato in una unica trattazione l'argomento di *Impianti, materiali e apparecchiature, progettazione* aggiornandolo alla normativa vigente.

L'editore desidera ringraziare i curatori scientifici e didattici: in particolare *Antonino Liberatore* per la grande esperienza della manualistica Cremonese messa a disposizione; *Licia Marcheselli* per i continui consigli sulla didattica e sulle prospettive dell'insegnamento nei Nuovi Tecnici; *Giovanni Naldi* per la supervisione scientifica e il controllo dell'aggiornamento; *Michele Monti* per aver curato con grande dedizione la parte specialistica dando nuova forza a un manuale ormai classico.

Un ringraziamento infine a tutti i collaboratori, citati nella tavola degli autori, provenienti da Università, Aziende e Istituti tecnici, per il grande impegno profuso.

AUTORI

BECCARI MARIO *Impianti per il trattamento e lo smaltimento dei rifiuti*

BONOLI ALESSANDRA *Impatto ambientale • Impianti per il trattamento e lo smaltimento dei rifiuti*

BONOMO MARIO *Illuminotecnica*

BORCHI EMILIO *Fisica*

CABRUCCI ANDREA *Unità di misura*

CARFAGNI MONICA *Disegno tecnico • Autocad 2D*

CARRARA GIANFRANCO *Disegno tecnico*

CAVALLI CAMILLA *Disegno tecnico*

CAVALLI MARIA ADELAIDE *Disegno tecnico*

CITTI PAOLO *Sicurezza nei luoghi di lavoro: strumenti e metodi per l'analisi e la valutazione dei rischi • Qualità nel contesto industriale*

DAPPORTO PAOLO *Chimica*

DI GERLANDO ANTONINO *Azionamenti con macchine elettriche • Macchine elettriche speciali • Tecnologie elettriche*

DI GIUDA GIUSEPPE MARTINO *Impatto ambientale • Impianti per il trattamento e lo smaltimento dei rifiuti*

FERRARIO MARCO LINO *Tecnologie informatiche*

GIORGETTI ALESSANDRO *Qualità nel contesto industriale*

GRASSO FRANCESCO *Energie rinnovabili • Risparmio ed efficienza energetica*

GUIDI PAOLO *Principi di economia e matematica finanziaria • Azionamenti con macchine elettriche • Trazione elettrica • Disegno elettrico ed elettronico • Centrali di produzione dell'energia elettrica • Trasporto e produzione dell'energia elettrica • Sistemi di acquisizione, elaborazione e distribuzione dati • Sistemi di controllo analogici e digitali • Impianti per l'automazione industriale • Controllori logici programmabili (PLC) • Fondamenti di robotica • Elementi di domotica • Software per l'automazione industriale*

LAFFI MARIA CRISTINA *Disegno tecnico*

LAMBORGHINI STEFANO *Disegno tecnico*

LANDI NEDO *Controllori logici programmabili (PLC)*

LIBERATORE ANTONINO *Complementi di matematica • Elettrotecnica • Macchine elettriche • Disegno elettrico ed elettronico • Elettronica analogica*

LORUSSO NICOLA *Elettronica digitale • Microprocessori e*

microcontrollori • Sistemi di acquisizione, elaborazione e distribuzione dati

MANETTI STEFANO *Elettronica analogica*

MARCHESELLI LICIA *Matematica • Complementi di matematica • Statistica e calcolo delle probabilità*

MARINI MAURO *Matematica • Complementi di matematica • Statistica e calcolo delle probabilità*

MARIOTTI ALBERTO *Controllori logici programmabili (PLC)*

MARTINI DAVID *Misure elettriche ed elettroniche*

MARTINI PIETRO *Misure elettriche ed elettroniche • Tecnologie elettriche • Convertitori statici • Elettronica analogica*

MIRANDOLA STEFANO *Microprocessori e microcontrollori • Elettronica analogica*

MONTI MICHELE *Tecnologie industriali: materiali e lavorazioni • Elettrotecnica • Misure elettriche ed elettroniche • Macchine elettriche • Macchine elettriche speciali • Motori a commutazione elettronica • Tecnologie elettriche*

MONTICELLI MAURIZIO *Energie rinnovabili • Risparmio ed efficienza energetica • Certificazione ed efficienza energetica degli edifici • Impianti, materiali e apparecchiature, progettazione*

NALDI GIOVANNI *Unità di misura*

NESI STEFANIA *Chimica*

PAGNOTTA ROMANO *Impatto ambientale*

PALLANTE PIERO *Fisica*

PARRETTI CHIARA *Qualità nel contesto industriale*

PATELLI STEFANO *Principi di economia e matematica finanziaria*

PEZZI MARIO *Elettrotecnica • Macchine elettriche • Macchine elettriche speciali • Motori a commutazione elettronica • Tecnologie elettriche*

POGGI MARCO *Unità di misura • Disegno tecnico*

REATTI ALBERTO *Macchine elettriche • Criteri di scelta delle macchine elettriche e loro applicazioni*

SAMMARONE SERGIO *Tecnologie industriali: materiali e lavorazioni*

TORTOLI PIERO *Elettronica analogica*

VISTOLI IVO *Azionamenti con macchine elettriche • Macchine elettriche speciali • Tecnologie elettriche*

INDICE GENERALE

DISCIPLINE PROPEDEUTICHE

1 MATEMATICA	
1. GEOMETRIA	3
1.1. Formulario di geometria euclidea	3
1.2. Geometria analitica nel piano	6
1.3. Geometria analitica nello spazio	7
2. RICHIAMI DI ALGEBRA DEGLI INSIEMI	8
2.1. Principali operazioni	8
2.2. Principali relazioni	9
2.3. Proprietà di relazioni e operazioni	9
2.4. Principio di dualità	10
2.5. Teorema di De Morgan	10
2.6. Operatori funzionalmente completi	11
2.7. Introduzione all'algebra di Boole	11
3. STRUTTURE ALGEBRICHE	12
3.1. Gruppo	12
3.2. Campo	13
3.3. Spazio vettoriale	13
3.4. Applicazioni lineari	13
4. POTENZE DI NUMERI	13
5. RADICALI E OPERAZIONI SU DI ESSI	14
6. LOGARITMI DI NUMERI	15
7. POLINOMI	15
7.1. Generalità	15
7.2. Regola di Ruffini	15
7.3. Massimo comune divisore	16
7.4. Fattorizzazione	16
7.5. Relazioni tra coefficienti e radici	16
8. EQUAZIONI E DISEQUAZIONI DI I E II GRADO	17
8.1. Identità ed equazioni	17
8.2. Disequazioni	17
9. TRIGONOMETRIA	18
9.1. Le funzioni goniometriche	18
9.2. Le equazioni goniometriche	18
9.3. Trigonometria piana	18
9.4. Risoluzione delle figure piane	21
10. NUMERI COMPLESSI	21
10.1. Definizione	21
10.2. Forma algebrica	21
10.3. Forma trigonometrica	26
10.4. Forma esponenziale e formule di Eulero	26
10.5. Radici	27
11. FUNZIONI REALI	27
11.1. Generalità	27
11.2. Grafici di funzioni elementari	27
11.3. Funzioni algebriche	30
11.4. Funzioni razionali	30
11.5. Funzioni monotone	30
11.6. Funzione composta	31
11.7. Funzione inversa	31
11.8. Limiti	31
11.9. Teoremi sui limiti	33
11.10. Limiti notevoli	34
11.11. Infinitesimi e infiniti	34
11.12. Funzioni continue	35
12. CALCOLO DIFFERENZIALE	36
12.1. Derivate	36
12.2. Regole di derivazione	37
12.3. Derivate di funzioni elementari	37
12.4. Derivata di funzione composta	37
12.5. Teoremi sulle funzioni derivabili	37
12.6. Massimi e minimi	38
12.7. Forme indeterminate	39
12.8. Derivate successive	40
13. CALCOLO INTEGRALE	40
13.1. Primitive	40
13.2. Regole di integrazione	40
13.3. Integrazione di funzioni razionali	42
13.4. Integrale definito: definizione e proprietà	42
13.5. Tavola di integrali definiti	43
14. SERIE	43
14.1. Successioni	43
14.2. Teoremi sui limiti	45
14.3. Serie numeriche	45
14.4. Criteri di convergenza	45
14.5. Somma e prodotto di due serie	46
14.6. Serie di potenze	47
14.7. Serie di Taylor	48
14.8. Sviluppi di funzioni elementari	48
15. EQUAZIONI DIFFERENZIALI	48
15.1. Equazioni differenziali del primo ordine	48
15.2. Equazioni differenziali lineari	51
15.3. Equazioni lineari a coefficienti costanti	52
15.4. Sistemi lineari	53
2 COMPLEMENTI DI MATEMATICA	
1. MATRICI E SISTEMI LINEARI	55
1.1. Matrici	55
1.2. Determinante	55
1.3. Proprietà del determinante	56
1.4. Operazioni tra matrici	57
1.5. Matrice inversa e matrice aggiunta	57
1.6. Matrice esponenziale	58
1.7. Autovalori e autovettori	58
1.8. Sistemi lineari	58
2. CRITERIO DI HURWITZ	59
3. STABILITÀ DI UNA EQUAZIONE DIFFERENZIALE	60
4. FUNZIONI DI PIÙ VARIABILI	60
4.1. Derivate parziali	60

4.2. Derivata di funzione composta	61	3.2. La concezione classica della probabilità	88
4.3. Analisi vettoriale	62	3.3. La concezione statistica della probabilità	88
4.4. Derivata direzionale	62	3.4. La concezione soggettiva della probabilità	88
4.5. Funzioni implicite	62	3.5. L'impostazione assiomatica della probabilità	89
4.6. Massimi e minimi	63	3.6. La probabilità della somma logica di eventi	89
4.7. Derivazione e integrazione	63	3.7. La probabilità condizionata	89
4.8. Curve e integrale curvilineo	63	3.8. La probabilità del prodotto logico di eventi	89
5. ANALISI COMPLESSA	64	3.9. Il problema delle prove ripetute	89
5.1. Funzioni elementari	64	3.10. Il teorema di Bayes	89
5.2. Funzioni analitiche	65	3.11. I giochi aleatori	89
5.3. Integrale	65	3.12. Le variabili casuali discrete e le distribuzioni di probabilità	89
5.4. Serie di Taylor e di Laurent	66	3.13. I valori caratterizzanti una variabile casuale discreta	90
5.5. Singolarità	66	3.14. Le distribuzioni di probabilità di uso frequente ...	90
5.6. Residui	67	3.15. Le variabili casuali standardizzate	90
5.7. Funzioni reali positive	67	3.16. Le variabili casuali continue	90
6. FUNZIONI DI BESSEL	68	4. STATISTICA INFERENZIALE	91
6.1. Gamma euleriana	68	4.1. La popolazione e il campione	91
6.2. Funzioni di Bessel	68	4.2. I parametri della popolazione e del campione	92
7. ANALISI DI FOURIER	68	4.3. La distribuzione della media campionaria	92
7.1. Sviluppo in serie di Fourier di funzioni periodiche	68	4.4. Particolari distribuzioni campionarie	92
7.2. Forma complessa dello sviluppo in serie di Fourier	69	4.5. Gli stimatori e le loro proprietà	92
7.3. L'integrale e la trasformata di Fourier	72	4.6. La stima puntuale	92
8. TRASFORMATA DI LAPLACE	72	4.7. La stima per intervallo della media	93
8.1. Generalità	72	4.8. La stima per intervallo della differenza fra due medie	93
8.2. Definizione di trasformata di Laplace	72	4.9. La stima per intervallo di una percentuale	93
8.3. Trasformata inversa	73	4.10. La verifica delle ipotesi	94
8.4. Proprietà della trasformata	73	5. TEORIA DEGLI ERRORI	94
8.5. Scomposizione in fratti semplici (frazionamento parziale). Trasformata inversa	76	5.1. Generalità	94
8.6. Teorema del valore iniziale	77	5.2. Misurazioni eseguite con lo stesso grado di precisione	95
8.7. Teorema del valore finale	77	5.3. Misurazioni eseguite con diverso grado di precisione	96
8.8. Soluzioni delle equazioni integrodifferenziali	77	5.4. Misurazioni indirette e propagazione degli errori	96
9. TRASFORMATA ZETA (Z)	78	4 UNITÀ DI MISURA	
9.1. Premessa	78	1. GENERALITÀ	99
9.2. Definizioni	78	2. GRANDEZZE FONDAMENTALI E RELATIVE UNITÀ	99
9.3. Esempi di trasformata Z	78	3. MULTIPLI E SOTTOMULTIPLI	100
9.4. Proprietà della trasformata Z	79	3.1. Esempi di applicazione	100
9.5. Convoluzione discreta	80	3.2. Uso delle unità SI e dei loro multipli e sottomultipli	100
9.6. Trasformata inversa	80	4. GRANDEZZE FISICHE E UNITÀ DI MISURA	100
9.7. Risoluzione di equazioni alle differenze	80	5. TABELLE DI CONVERSIONE	107
3 STATISTICA E CALCOLO DELLE PROBABILITÀ	85	6. IMPIEGO DELLE TABELLE DI CONVERSIONE DELLE UNITÀ DI MISURA	110
1. CALCOLO COMBINATORIO	85	6.1. Premessa	110
1.1. Permutazioni semplici	85	6.2. Note esplicative	110
1.2. Disposizioni semplici	85	5 FISICA	
1.3. Combinazioni semplici. Binomio di Newton	85	1. VETTORI	111
1.4. Disposizioni con ripetizione	86	1.1. Grandezze scalari e vettoriali	111
1.5. Combinazioni con ripetizione	86	1.2. Somma e differenza di due vettori	112
1.6. Permutazioni con ripetizione. Polinomio di Leibnitz	86	1.3. Prodotto scalare	112
2. STATISTICA	86	1.4. Prodotto vettoriale	112
2.1. Popolazione, carattere, frequenza	86	2. CINEMATICA	113
2.2. I dati statistici	87	2.1. Cinematica del punto materiale	113
2.3. Gli indici di posizione centrale	87	2.2. Cinematica del corpo rigido	115
2.4. Gli indici di variabilità	87	3. STATICA	115
2.5. I rapporti statistici	87		
2.6. L'interpolazione statistica	87		
2.7. La dipendenza, la regressione e la correlazione ...	87		
3. CALCOLO DELLE PROBABILITÀ	88		
3.1. Gli eventi	88		

3.1. Le forze	115	1.7. Chimica nucleare	185
3.2. Forze elastiche, forza peso, forze di attrito	116	1.8. Chimica inorganica	187
3.3. Condizioni per l'equilibrio	117	1.9. Chimica organica	194
4. DINAMICA	118	7 TECNOLOGIE INFORMATICHE	
4.1. Principio di inerzia e sistemi di riferimento inerziali	118	1. RAPPRESENTAZIONE NUMERICA DELL'INFORMAZIONE	201
4.2. Secondo principio della dinamica per un punto materiale	118	1.1. Le macchine e le informazioni	201
4.3. Quantità di moto di un punto materiale	119	1.2. Sistemi di numerazione	201
4.4. Lavoro di una forza e potenza	119	1.3. Codifiche binarie	203
4.5. Energia potenziale ed energia cinetica	120	2. STRUTTURA DEI SISTEMI DI ELABORAZIONE	209
4.6. Conservazione dell'energia meccanica	120	2.1. Introduzione ai sistemi di elaborazione	209
4.7. Principio di azione-reazione e dinamica dei sistemi	121	2.2. Strutture di memorizzazione dei dati	211
4.8. Dinamica del corpo rigido	122	2.3. Comunicazione fra elaboratori	213
4.9. Gravitazione universale	124	3. PRINCIPALI SISTEMI OPERATIVI	216
4.10. Moti armonici e periodici	125	3.1. Windows	216
4.11. Problemi di urto	125	3.2. Linux	222
5. PROPRIETÀ MECCANICHE DEI SOLIDI	126	3.3. Android	225
6. FLUIDI	127	3.4. Mac OS X	228
6.1. Pressione	127	3.5. Altri sistemi operativi per dispositivi mobili	230
6.2. Statica dei fluidi	128	4. PRINCIPALI APPLICAZIONI	233
6.3. Statica dell'atmosfera	128	4.1. Wordprocessor	233
6.4. Legge di Boyle e Mariotte	129	4.2. Fogli elettronici	236
6.5. Dinamica dei fluidi	129	4.3. Visual Basic for Applications	242
7. TERMODINAMICA	131	4.4. Presentazioni	258
7.1. Temperatura	132	4.5. Altre applicazioni	259
7.2. Dilatazione termica dei solidi e dei liquidi	132	8 DISEGNO TECNICO	
7.3. Equazione di stato	133	1. NORME FONDAMENTALI	267
7.4. Calore	133	1.1. Formato dei fogli	267
7.5. Cambiamenti di stato	134	1.2. Tipi e grossezza delle linee	267
7.6. Trasmissione del calore	136	1.3. Scale di rappresentazione	268
7.7. Primo principio della termodinamica	137	1.4. Requisiti generali per la scrittura	275
7.8. Secondo principio della termodinamica	137	2. COSTRUZIONI GEOMETRICHE	275
8. CAMPO ELETTRICO	139	2.1. Divisione di segmenti e di angoli	275
8.1. La carica elettrica e le sue proprietà	139	2.2. Ovali e ovali	276
8.2. La Legge di Coulomb	139	2.3. Le curve coniche	276
8.3. Campo elettrico e potenziale elettrico	140	2.4. Ellissi	276
8.4. Corrente elettrica e leggi di Ohm	142	2.5. Parabole	277
9. CAMPO MAGNETICO	144	2.6. Iperboli	277
9.1. Induzione elettromagnetica	146	3. PRINCIPI GENERALI DI RAPPRESENTAZIONE	278
10. OTTICA	147	3.1. Rappresentazione in proiezione ortogonale	278
10.1. Caratteristiche della radiazione luminosa	147	3.2. Rappresentazione in proiezione assonometrica	280
10.2. Ottica geometrica	147	3.3. Gli elementi fondamentali dell'assonometria	280
10.3. Ottica fisica	151	3.4. Sezioni	280
11. ONDE	154	3.5. Tratteggi	282
11.1. Generalità sulle onde	154	3.6. Particolarità di rappresentazione	282
11.2. Velocità di propagazione delle onde	155	3.7. Quotatura	282
11.3. Energia trasportata dalle onde	156	3.8. Complessivi	288
11.4. Interferenza	156	9 AUTOCAD 2D	
11.5. Onde stazionarie	156	1. INTRODUZIONE	291
11.6. Battimenti	157	2. AMBIENTE DI LAVORO	291
11.7. Onde sonore ed Effetto Doppler	157	3. IMMISSIONE DEI COMANDI	294
6 CHIMICA		4. IMMISSIONE DI COORDINATE	295
1. CHIMICA GENERALE, INORGANICA E ORGANICA	159	5. CREAZIONE, ORGANIZZAZIONE E VISUALIZZAZIONE DEL DISEGNO	295
1.1. Atomo e sistema periodico degli elementi	159	5.1. Inizio di un nuovo disegno	295
1.2. Legame chimico e composti chimici	166	5.2. Unità e formato dell'unità di disegno	296
1.3. Reazioni chimiche e stechiometria	176	5.3. Layer	297
1.4. Equilibri chimici	177	5.4. Spazio modello e spazio carta	299
1.5. L'energia e la velocità di reazione	180	5.5. Strumenti per la visualizzazione	300
1.6. Ossidoriduzioni e Elettrochimica	182	6. STRUMENTI DI DISEGNO	300
		7. STRUMENTI DI MODIFICA	300

8. BLOCCHI	304	9.4. Istogramma	363
9. QUOTE E TESTI	309	9.5. I diagrammi di correlazione	365
9.1. Quote	309	9.6. Diagramma di Pareto	365
9.2. Stili di quota	309	10. CONTROLLO STATISTICO DELLA QUALITÀ	366
9.3. Testi	312	10.1. La capacità di processo	367
9.4. Stili di testo	312	10.2. Le carte di controllo	368
10 PRINCIPI DI ECONOMIA E MATEMATICA FINANZIARIA		13 TECNOLOGIA INDUSTRIALE	
1. PRINCIPI DI ECONOMIA	315	1. PROPRIETÀ DEI MATERIALI	373
1.1. Bisogni, beni, utilità	315	1.1. Tipi di materiali	373
1.2. La produzione	316	1.2. Tipi di proprietà	373
1.3. Il mercato	317	2. PROVE DI LABORATORIO	377
1.4. La moneta	317	2.1. Relazione sollecitazione-deformazione	377
1.5. Caratteristiche della moneta	317	2.2. Prova di resistenza a trazione	377
2. IMPRESA, AZIENDA E SOCIETÀ	318	2.3. Prova di resistenza a compressione	377
2.1. Enti economici	318	2.4. Prova di resistenza a flessione	378
2.2. Impresa	318	2.5. Prova di resistenza a torsione	378
2.3. Azienda	319	2.6. Prova di resistenza a taglio	378
2.4. Società	320	2.7. Prova di resilienza Charpy	378
2.5. Organizzazione dell'impresa	321	2.8. Prove di durezza	378
2.6. Fine dell'impresa	322	3. FERRO E SUE LEGHE	380
2.7. Utile dell'impresa	322	3.1. Ferro	380
3. CAPITOLATI E PREVENTIVI	323	3.2. Il processo siderurgico	380
3.1. Contratto	323	3.3. Il diagramma di stato delle leghe Fe-C	381
3.2. Capitolati	324	3.4. Ghisa	381
3.3. Preventivi	325	3.5. Acciaio	383
4. MATEMATICA FINANZIARIA	326	4. MATERIALI METALLICI NON FERROSI	386
4.1. Interesse semplice	326	4.1. Alluminio e sue leghe	386
4.2. Interesse composto	326	4.2. Rame e sue leghe	386
4.3. Interesse convertibile	327	4.3. Magnesio e sue leghe	387
4.4. Mutui	328	4.4. Altri elementi	387
4.5. Riparti	328	4.5. Sinterizzati	388
11 SICUREZZA NEI LUOGHI DI LAVORO: STRUMENTI E METODI PER L'ANALISI E LA VALUTAZIONE DEI RISCHI		5. MATERIALI NATURALI	388
1. INTRODUZIONE	331	5.1. Legno	388
2. DEFINIZIONI	332	5.2. Rocce	390
3. VALUTAZIONE DEI RISCHI	333	5.3. Materiali per costruzioni	391
4. MODALITÀ DI VALUTAZIONE DEI RISCHI	333	5.4. Ceramiche	391
5. PROCESSO DI VALUTAZIONE DEI RISCHI	334	5.5. Vetro	391
6. INDIVIDUAZIONE DEI PERICOLI	335	6. RESINE SINTETICHE	391
7. STIMA DEI RISCHI	337	6.1. Resine termoplastiche	391
8. MISURE DI TUTELA	337	6.2. Resine termoindurenti	391
9. PROCEDURE STANDARDIZZATE PER PICCOLE E MEDIE IMPRESE	341	7. MATERIALI COMPOSITI	392
10. DISPOSITIVI DI PROTEZIONE INDIVIDUALE	344	7.1. Cemento armato	392
12 QUALITÀ NEL CONTESTO INDUSTRIALE		7.2. Compositi sintetici	392
1. DEFINIZIONE DI QUALITÀ	351	8. ALTRI MATERIALI	392
2. INNOVATORI DELLA QUALITÀ	351	8.1. Abrasivi	392
3. STORIA DELLA QUALITÀ	351	8.2. Acidi	392
4. NASCITA DELLE NORME ISO 9000	353	8.3. Combustibili	392
5. ITER DI CERTIFICAZIONE	356	8.4. Detergenti	392
6. DEFINIZIONE DEI REQUISITI E ANALISI DEL CLIENTE	357	8.5. Fibre tessili	392
7. COSTI DELLA NON-QUALITÀ	358	8.6. Lubrificanti	393
8. APPROCCIO PER PROCESSI	359	8.7. Protettivi	393
9. I SETTE STRUMENTI DELLA QUALITÀ	360	8.8. Refrattari	393
9.1. Il diagramma causa-effetto	360	9. CICLO DI LAVORAZIONE	393
9.2. La stratificazione dei dati	361	9.1. Metodi di lavorazione	393
9.3. Le schede di controllo	361	9.2. Foglio di lavorazione	393
		9.3. Tracciatura	394
		10. LAVORAZIONI AL BANCO	394
		10.1. Fissaggio del pezzo	394
		10.2. Criteri di sicurezza per le lavorazioni	394
		10.3. Tipi di lavorazione	394
		10.4. Taglio	394
		10.5. Limatura	395

10.6. Piallatura	395	16 ENERGIE RINNOVABILI	
10.7. Foratura	396	1. INTRODUZIONE	453
10.8. Alesatura	397	1.1. Richiesta di energia primaria nel mondo	453
10.9. Levigatura	397	1.2. Bilancio elettrico italiano	453
10.10. Piegatura	398	1.3. Le energie rinnovabili: dati attuali e potenzialità di sviluppo	453
11. LAVORAZIONI ALLE MACCHINE UTENSILI	398	1.4. I limiti delle energie rinnovabili	454
11.1. Tornitura	398	1.5. Accumulo dell'energia elettrica	454
11.2. Fresatura	401	1.6. Riserve di energia primaria fossile accertate e costi	456
11.3. Rettificatura	404	1.7. Costo di produzione dell'energia da fonti rinnovabili	456
12. COLLEGAMENTI	404	1.8. Incentivi, contributi e finanziamenti: la legislazione nazionale e comunitaria	458
12.1. Tipi di collegamenti	404	1.9. Ritorno energetico sull'investimento energetico ..	460
12.2. Filettatura	404	2. SOLARE FOTOVOLTAICO	460
12.3. Incastri	405	2.1. Descrizione del fenomeno fisico	460
12.4. Saldatura	407	2.2. Forme e tecnologie costruttive	462
13. TRATTAMENTI TERMICI	409	2.3. Descrizione e componenti del sistema	463
13.1. Ciclo termico	409	2.4. Funzionamento in isola e in rete	465
13.2. Tempra	410	2.5. Dimensionamento	466
13.3. Rinvenimento	410	2.6. Aspetti tecnici e normativi per l'installazione	470
13.4. Bonifica	410	2.7. Esempio di dimensionamento di un impianto fotovoltaico da 3 kW	470
13.5. Ricottura	410	3. ENERGIA IDROELETTRICA	471
13.6. Normalizzazione	411	3.1. Descrizione della risorsa idrica	471
13.7. Cementazione	411	3.2. Tecnologie attuali	473
13.8. Nitrurazione	411	3.3. Modalità realizzative per impianti idroelettrici	473
14. AUTOMAZIONE	411	3.4. Aspetti tecnici e normativi	476
14.1. Macchine a controllo numerico	411	3.5. Esempi di impianti mini-idro	477
14.2. Centri di lavoro	412	4. ENERGIA EOLICA	477
14.3. Robot	413	4.1. Descrizione della risorsa eolica	477
14 IMPATTO AMBIENTALE		4.2. Calcolo della massima potenza	479
1. ALTERAZIONE DEI SISTEMI, ORIGINE DEGLI INQUINANTI	415	4.3. Tecnologie attuali e forme costruttive	479
1.1. Generalità	415	4.4. Scelta del sito e studio anemologico	480
1.2. L'inquinamento atmosferico	415	4.5. Studio di fattibilità	480
1.3. Inquinamento del suolo e del sottosuolo	417	4.6. Impatto ambientale	481
1.4. Inquinamento delle acque	418	4.7. Esempio di impianto	481
2. BASI NORMATIVE PER LA TUTELA DEL PATRIMONIO AMBIENTALE: VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE	421	5. BIOMASSE	482
2.1. La Valutazione di Impatto Ambientale	421	5.1. Il principio fisico	482
2.2. La tutela della qualità dell'aria	423	5.2. Classificazione delle biomasse per uso energetico ..	483
2.3. Tutela del suolo	424	5.3. Calcolo della disponibilità di biomasse	483
2.4. Tutela delle acque	424	5.4. Calcolo del potenziale energetico delle biomasse	483
15 IMPIANTI PER IL TRATTAMENTO E LO SMALTIMENTO DEI RIFIUTI		5.5. Il potere calorifico	484
1. PREMESSA	427	5.6. I processi di conversione energetica	485
1.1. Definizione e classificazione dei rifiuti	427	5.7. Le filiere di conversione energetica	486
1.2. La scala di priorità dell'Unione Europea	428	5.8. Tipologie di impianto e componenti caratterizzanti	486
1.3. Produzione e caratteristiche dei rifiuti urbani	429	5.9. Dati e caratteristiche delle caldaie e dei generatori alimentati a biomasse	488
1.4. Produzione e caratteristiche dei rifiuti speciali e dei rifiuti pericolosi	431	6. ENERGIA GEOTERMICA	488
2. GESTIONE INTEGRATA DEI RIFIUTI	431	6.1. Introduzione	488
2.1. Raccolta differenziata e riciclo	431	6.2. Le pompe di calore geotermiche	489
2.2. Compostaggio	432	6.3. Definizione di EER e COP	490
2.3. Selezione e Trattamento Meccanico Biologico (TMB)	435	6.4. Scambiatori geotermici	491
2.4. Il combustibile da rifiuto (CDR) e il combustibile solido secondario (CSS)	437	6.5. Principali componenti	491
2.5. Incenerimento	439	6.6. La progettazione di un impianto geotermico	492
2.6. Discarica	440	6.7. Esempio di calcolo	494
APPENDICE 1 – ESEMPI DI PROCEDURA DI GESTIONE DI UN RIFIUTO SPECIALE	445	7. ALTRE FONTI RINNOVABILI	495
APPENDICE 2 – IL SISTRI	451	7.1. Energia da maree e moto ondoso	495
		7.2. Solare termico	495
		7.3. Solare termodinamico	497

3.7. Flusso del vettore B attraverso una superficie non chiusa.....	617	3.2. Strumenti digitali.....	675
3.8. Tensione magnetica o forza magnetomotrice.....	617	3.3. Caratteristiche degli strumenti analogici.....	676
3.9. Circuiti magnetici.....	618	3.4. Strumenti analogici di laboratorio.....	676
3.10. Legge di Faraday-Neumann. Legge di Lenz.....	618	4. MISURE DI LABORATORIO.....	679
3.11. Autoinduzione. Legge di Ohm per i circuiti induttivi in regime variabile.....	619	4.1. Misure di corrente.....	679
3.12. Collegamento in serie e in parallelo di induttanze.....	619	4.2. Misure di tensione.....	680
3.13. Espressioni del coefficiente di autoinduzione.....	619	4.3. Misure di potenza.....	682
3.14. Mutua induzione.....	619	4.4. Misure di energia.....	683
3.15. Energia connessa con i campi magnetici.....	620	4.5. La misura della potenza nei sistemi trifase.....	684
3.16. Espressione del coefficiente di mutua induzione.....	621	5. STRUMENTI ELETTRONICI.....	686
3.17. Analogie tra campi magnetici ed elettrici e tra bipoli induttivi e capacitivi.....	621	5.1. Gli strumenti elettronici per la misura delle grandezze elettriche.....	686
3.18. Forza portante di un elettromagnete.....	621	5.2. Le misure di corrente e di tensione in corrente continua.....	687
3.19. F.e.m. indotta in un conduttore di lunghezza l che si muove in un campo magnetico di induzione B con velocità v	622	5.3. Le misure in corrente alternata.....	688
3.20. Forza meccanica su un conduttore di lunghezza l immerso in un campo magnetico di induzione B percorso da corrente I	622	5.4. Le misure di forti correnti e di alte tensioni.....	689
3.21. Azioni elettrodinamiche.....	623	5.5. Le misure di impedenza (o di ammettenza).....	690
3.22. Correnti di Foucault.....	623	5.6. Strumenti misuratori di impedenza.....	690
4. SEGNALI E FORME D'ONDA.....	623	6. PROVA A VUOTO, PROVA IN CORTOCIRCUITO, RENDIMENTO DELLE MACCHINE ROTANTI.....	694
4.1. Generalità.....	623	6.1. Macchina asincrona.....	694
4.2. Caratteristiche generali dei segnali.....	623	6.2. Macchina sincrona.....	696
4.3. Segnali di uso più frequente.....	625	6.3. Motori in corrente continua.....	698
5. ANALISI DI CIRCUITI E RETI IN REGIME SINUSOIDALE.....	628	7. MISURA DELLA POTENZA NEL CAMPO DELLE RADIOFREQUENZE E DELLE MICROONDE.....	701
5.1. Generalità.....	628	7.1. Introduzione.....	701
5.2. Bipoli puramente resistivi.....	628	7.2. Unità e definizioni.....	701
5.3. Bipoli puramente induttivi.....	629	7.3. Metodi per la misura della potenza.....	702
5.4. Bipoli puramente capacitivi.....	630	7.4. La misura della potenza mediante circuiti integrati particolari.....	704
5.5. Legge di Ohm per un bipolo passivo RLC serie.....	631	8. MISURE DI FREQUENZA, PERIODO E FASE.....	705
5.6. Ammettenza.....	633	8.1. Principio di funzionamento del contatore elettronico.....	705
5.7. Criterio generale per la risoluzione dei circuiti e delle reti in regime sinusoidale.....	635	8.2. I contatori per la misura della frequenza nel campo delle microonde.....	706
5.8. Potenza in regime sinusoidale.....	638	8.3. Precisione delle misure con i contatori numerici.....	710
5.9. Rifasamento.....	639	8.4. Alcune applicazioni delle misure di intervalli di tempo.....	711
5.10. Potenza complessa. Teorema di Boucherot. Potenza deformante.....	640	8.5. I contatori reciproci.....	711
5.11. Circuiti risonanti.....	640	9. ANALIZZATORE DI SPETTRO E ANALIZZATORE DI RETI.....	712
5.12. Adattamento di carico.....	646	9.1. Introduzione.....	712
5.13. Adattamento d'impedenza nei circuiti risonanti parallelo.....	646	9.2. L'analizzatore di spettro.....	712
6. SISTEMI TRIFASE.....	648	9.3. Il generatore di inseguimento (<i>tracking generator</i>).....	715
6.1. Definizioni.....	648	9.4. Glossario dei termini più comuni riguardanti l'uso dell'analizzatore di spettro.....	715
6.2. Collegamenti caratteristici dei sistemi trifase.....	648	9.5. Applicazioni dell'analizzatore di spettro.....	716
6.3. Rifasamento di carico trifase.....	652	9.6. L'analizzatore di reti.....	717
6.4. Sistemi dissimmetrici.....	653	9.7. Confronto fra l'analizzatore di spettro e l'analizzatore di reti.....	719
APPENDICE – FENOMENI TRANSISTORINEI CIRCUITI ELETTRICI LINEARI.....	655	10. MISURA DELLA CIFRA DI RUMORE.....	719
20 MISURE ELETTRICHE ED ELETTRONICHE		10.1. Introduzione e definizione.....	719
1. IL CAMPO DELLE MISURE.....	671	10.2. Misura del fattore di rumore o della cifra di rumore.....	719
2. ERRORI DI MISURA.....	671	11. OSCILLOSCOPIO ANALOGICO E DIGITALE.....	721
2.1. La misura delle grandezze fisiche.....	672	11.1. L'oscilloscopio analogico.....	721
2.2. Tipi di errore e valutazione del limite superiore dell'errore.....	672	11.2. L'oscilloscopio digitale.....	722
2.3. Medie e scarti.....	673	11.3. Le sonde degli oscilloscopi.....	724
3. STRUMENTI DI MISURA.....	674	12. COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA.....	725
3.1. Strumenti analogici.....	674	12.1. Introduzione.....	725
		12.2. I segnali di disturbo.....	725

12.3. I livelli di disturbo tollerabili.....	726	2. DISPOSITIVI ATTIVI DEGLI AMPLIFICATORI.....	765
12.4. La misura del rumore condotto.....	727	2.1. Circuiti equivalenti dei dispositivi attivi discreti e integrati.....	765
12.5. Confronto fra i livelli di rumore misurati secondo normative diverse.....	728	2.2. Circuiti equivalenti elettrici.....	766
12.6. La misura del rumore irradiato.....	728	3. CIRCUITI EQUIVALENTI FISICI.....	766
12.7. Richiami su alcune grandezze riguardanti le emissioni per irradiazione.....	730	3.1. Circuito equivalente per i transistor bipolari.....	766
12.8. La suscettibilità elettromagnetica.....	731	3.2. Circuito equivalente dei transistor a effetto di campo.....	767
21 CONVERTITORI STATICI		4. RETI DI POLARIZZAZIONE.....	767
1. RADDRIZZATORI.....	733	4.1. Generalità.....	767
1.1. Introduzione.....	733	4.2. Stabilizzazione del punto di lavoro del BJT.....	768
1.2. Classificazione.....	733	4.3. Polarizzazione dei circuiti integrati lineari.....	768
1.3. Raddrizzatore trifase a onda intera su carico ohmico e induttivo.....	734	4.4. Polarizzazione del JFET.....	768
1.4. Effetti della reattanza di dispersione dei trasformatori.....	734	5. ANALISI NEL DOMINIO DELLA FREQUENZA.....	769
1.5. Filtri.....	735	6. REAZIONE NELL'ANALISI E NEL PROGETTO DEGLI AMPLIFICATORI.....	770
1.6. Protezioni dei raddrizzatori.....	735	6.1. Effetti della retroazione.....	771
2. CONVERTITORI CA/CC A CONTROLLO DI FASE.....	735	7. ANALISI E SINTESI DEGLI AMPLIFICATORI REAZIONATI.....	771
2.1. Introduzione.....	735	8. STABILITÀ DEGLI AMPLIFICATORI REAZIONATI.....	771
2.2. Convertitori rigenerativi e non rigenerativi monofase.....	736	9. SINTESI DEGLI AMPLIFICATORI.....	771
2.3. Circuiti monofase a onda intera.....	737	9.1. Generalità.....	771
2.4. Circuiti trifase a semionda.....	737	10. AMPLIFICAZIONE DEI SEGNALI DI PICCOLA AMPIEZZA.....	772
2.5. Convertitori monofase a onda intera su carico con forza controelettromotrice.....	740	10.1. Amplificazione di piccoli segnali nel campo delle basse frequenze.....	772
2.6. Convertitore trifase su carico con forza controelettromotrice.....	740	10.2. Amplificazione dei segnali nel campo delle radiofrequenze.....	772
2.7. Filtraggio nei convertitori con tiristori.....	740	11. AMPLIFICATORI OPERAZIONALI.....	772
2.8. Circuiti di innesco per i convertitori a tiristori.....	741	11.1. Introduzione.....	772
2.9. Convertitori a controllo di fase reazionati.....	742	11.2. Amplificatore operazionale ideale.....	773
3. CONVERTITORI CA/CAA CONTROLLO DI FASE.....	743	11.3. Amplificatore operazionale reale.....	773
3.1. Generalità.....	743	11.4. Configurazioni circuitali di base.....	775
3.2. Cicloconvertitori.....	744	11.5. Regole per l'analisi semplificata.....	775
4. REGOLATORI A COMMUTAZIONE.....	746	11.6. Comportamento dell'A.O. a frequenze elevate... ..	776
4.1. Generalità.....	746	11.7. Compensazione in frequenza.....	776
4.2. Tipologie dei regolatori a commutazione.....	746	11.8. Compensazione della corrente di polarizzazione e della tensione di offset.....	777
4.3. Circuiti di controllo.....	747	11.9. Comportamento dell'A.O. per grandi segnali.....	778
4.4. Circuiti di protezione e ausiliari.....	748	12. APPLICAZIONI LINEARI DEGLI A.O.....	778
4.5. Regolatori a tiristori (<i>chopper</i>).....	748	12.1. Amplificatori differenziali.....	778
5. CONVERTITORI CC/CC.....	749	12.2. Sommatore.....	778
5.1. Convertitori autooscillanti.....	749	12.3. Convertitore corrente-tensione.....	779
5.2. Convertitore flyback.....	750	12.4. Convertitori tensione-corrente.....	779
5.3. Convertitore forward.....	751	12.5. Amplificatori di corrente.....	780
5.4. Configurazione push-pull.....	752	12.6. Integratore.....	780
5.5. Convertitore di Cuk.....	752	12.7. Derivatore.....	781
5.6. Configurazioni a mezzo ponte e a ponte.....	752	12.8. Amplificatori in corrente alternata.....	781
5.7. Convertitori a uscite multiple.....	753	12.9. Generatori di tensione continua.....	782
5.8. Convertitori risonanti e quasi risonanti.....	753	12.10. Generatori di corrente continua.....	782
5.9. Convertitori in classe E.....	754	13. APPLICAZIONI NON LINEARI DELL'A.O.....	783
5.10. Circuiti ausiliari.....	755	13.1. Raddrizzatore di precisione.....	783
6. CONVERTITORI CC/CA.....	756	13.2. Amplificatore logaritmico.....	784
6.1. Generalità.....	756	14. COMPARATORI E LIMITATORI.....	784
6.2. Inverter a transistor.....	756	14.1. Comparatore.....	784
6.3. Inverter a ferrorisonanza.....	758	14.2. Rivelatore del passaggio per zero.....	784
6.4. Inverter a tiristori.....	759	14.3. Trigger di Schmitt.....	785
6.5. Inverter trifase.....	760	14.4. Limitatori di tensione.....	786
APPENDICE – SINTESI DEI DIODI A SEMICONDUOTTORE.....	763	15. FILTRI ELETTRONICI.....	786
		15.1. Quadripoli lineari.....	786
22 ELETTRONICA ANALOGICA		16. FILTRI PASSIVI.....	787
1. AMPLIFICATORI A TRANSISTOR.....	765	16.1. Filtri <i>RC</i> e <i>RL</i> (1° ordine).....	788
		16.2. Filtri <i>RLC</i> (2° ordine).....	789

17. FILTRI ATTIVI.....	790	6. REGISTRI.....	828
17.1. Filtri attivi del 1° ordine.....	792	6.1. Classificazione e caratteristiche.....	828
17.2. Filtri attivi del 2° ordine.....	792	6.2. Registri a scorrimento (<i>shift register</i>).....	829
17.3. Filtri attivi VCVS.....	792	6.3. Registri di memoria.....	832
17.4. Filtro VCVS passa basso.....	793	7. CONTATORI.....	833
17.5. Filtro VCVS passa alto.....	793	7.1. Caratteristiche e classificazione.....	833
17.6. Filtri a reazione multipla passa banda.....	793	7.2. Contatori asincroni.....	834
17.7. Filtri attivi universali (a variabili di stato).....	794	7.3. Contatori asincroni con modulo $M < 2^n$	837
17.8. Filtri universali integrati.....	795	7.4. Limiti di funzionamento dei contatori asincroni.....	839
17.9. Filtri attivi di ordine superiore.....	796	7.5. Contatori sincroni.....	840
18. OSCILLATORI.....	796	7.6. Contatori sincroni con $M < 2^n$	844
18.1. Prestazioni.....	796	7.7. Limiti di funzionamento dei contatori sincroni.....	846
19. CONDIZIONI DI OSCILLAZIONE.....	796	7.8. Confronto tra contatori sincroni e asincroni.....	847
20. OSCILLATORI SINUSOIDALI A BASSA FREQUENZA DI TIPO RC.....	797	7.9. Contatori a più decadi.....	848
20.1. Oscillatore a ponte di Wien.....	797	7.10. Contatori come divisori di frequenza.....	848
20.2. Oscillatore a T-pontato.....	797	7.11. Contatori integrati MSI TTL e CMOS.....	849
20.3. Oscillatori a sfasamento.....	797	8. MEMORIE.....	849
21. OSCILLATORI PER ALTA FREQUENZA.....	797	8.1. Caratteristiche e classificazione.....	849
21.1. Oscillatori a quarzo.....	798	8.2. Memorie a lettura e scrittura (RAM).....	851
22. GENERATORI DI SEGNALE.....	799	8.3. RAM statica.....	851
22.1. Generatore d'onda quadra.....	799	8.4. RAM dinamica.....	853
22.2. Generatore d'onda triangolare.....	799	8.5. Confronto tra SRAM e DRAM.....	853
22.3. Circuiti integrati temporizzatori.....	800	8.6. ROM.....	854
23. ELETTRONICA DIGITALE.....		8.7. ROM a maschera.....	854
1. SISTEMI DI NUMERAZIONE.....	803	8.8. ROM programmabili.....	854
1.1. Definizioni.....	803	8.9. Banco di memoria.....	857
2. PORTE LOGICHE.....	803	9. DISPOSITIVI LOGICI PROGRAMMABILI.....	858
2.1. Definizioni.....	803	9.1. PLD.....	859
2.2. Logica positiva e negativa.....	803	9.2. SPLD.....	859
2.3. Porte logiche elementari.....	804	9.3. ASIC full custom.....	860
2.4. Porte logiche universali.....	804	9.4. ASIC semicustom.....	860
2.5. Porte XOR e XNOR.....	804	9.5. Linguaggi di programmazione.....	860
2.6. Porte logiche speciali.....	806	10. FAMIGLIE LOGICHE INTEGRATE.....	861
2.7. Gating dei segnali digitali.....	807	10.1. Scale di integrazione degli integrati digitali.....	861
3. CIRCUITI COMBINATORI.....	807	10.2. Caratteristiche delle famiglie logiche.....	861
3.1. Sintesi di circuiti combinatori.....	807	10.3. Famiglia logica TTL.....	864
3.2. Analisi di circuiti combinatori.....	809	10.4. Famiglia logica CMOS.....	865
3.3. Itinerari e livelli.....	810	10.5. Famiglia logica BiCMOS.....	867
4. CIRCUITI INTEGRATI COMBINATORI.....	813	10.6. Famiglia logica ECL.....	867
4.1. Definizioni.....	813	10.7. Interfacce tra famiglie logiche.....	867
4.2. Codificatore (<i>encoder</i>).....	813	11. SISTEMI DI NUMERAZIONE.....	868
4.3. Decodificatore (<i>decoder</i>).....	814	11.1. Sistema di numerazione binario.....	868
4.4. Multiplexer.....	815	11.2. Sistema di numerazione esadecimale.....	868
4.5. Demultiplexer.....	816	11.3. Conversione tra sistemi di numerazione.....	868
4.6. Comparatore.....	817	11.4. Rappresentazione dei numeri relativi nel sistema binario.....	869
4.7. Generatore/rivelatore di parità.....	817	11.5. Le quattro operazioni nel sistema binario.....	871
4.8. Convertitore di codice.....	817	11.6. Somma algebrica con complemento a 1 e complemento a 2.....	871
4.9. Circuiti aritmetici.....	817	12. CODICI BINARI.....	871
5. LATCH E FLIP-FLOP.....	819	12.1. Definizioni.....	871
5.1. Latch <i>SR</i>	819	12.2. Codici numerici.....	872
5.2. Il problema della corsa critica.....	822	12.3. Codici alfanumerici.....	873
5.3. Flip-flop comandati su un fronte di clock.....	822	12.4. Codici a controllo di errore.....	873
5.4. Tecnica della commutazione sul fronte di clock.....	822	13. ALGEBRA DI BOOLE.....	874
5.5. Flip-flop pulse triggered.....	824	13.1. Definizioni.....	874
5.6. Flip-flop data lock-out.....	825	13.2. Operazioni booleane elementari.....	874
5.7. Flip-flop <i>SR</i>	825	13.3. Teoremi, proprietà e regole.....	875
5.8. Flip-flop <i>D</i>	825	13.4. Funzioni booleane.....	876
5.9. Flip-flop <i>JK</i>	826	13.5. Condizioni non specificate.....	878
5.10. Flip-flop <i>T</i>	826	13.6. Operazioni universali.....	879
5.11. Ingressi asincroni.....	826	13.7. Metodi di minimizzazione di una funzione booleana.....	879
5.12. Caratteristiche statiche e dinamiche.....	827		

24 MICROPROCESSORI E MICROCONTROLLORI

1. MICROPROCESSORI	883
1.1. Parametri e prestazioni	883
1.2. Architettura	883
1.3. Linguaggio di programmazione	889
1.4. Tecniche di indirizzamento	891
1.5. Il microprocessore 8086/8088	891
1.6. CISC e RISC	892
2. MICROCONTROLLORI	893
2.1. Il microcontrollore PIC 16F84A	894
3. ARDUINO	907
3.1. Caratteristiche della scheda Arduino Uno	908
3.2. Input e Output	908
3.3. Sintassi del linguaggio C per Arduino	909
3.4. Informazioni generali sulla programmazione di Arduino	909
3.5. Struttura di un programma (<i>sketch</i>)	909
3.6. Le istruzioni fondamentali	910
3.7. Lettura e scrittura di valori digitali sui pin	910
3.8. Lettura di valori analogici sui pin	910
3.9. Uscita analogica (PWM) sui pin digitali (3, 5, 6, 9, 10, 11)	911
3.10. Strutture di controllo del flusso del programma	911
3.11. Funzioni matematiche e trigonometriche	913
3.12. Le funzioni	913
3.13. Gli interrupt	914
3.14. Le librerie	914
25 MACCHINE ELETTRICHE	
1. CLASSIFICAZIONE	917
2. MODELLI E ANALISI DELLE MACCHINE ELETTRICHE	918
2.1. Il rendimento	918
2.2. Le perdite nelle macchine elettriche	918
2.3. Comportamento termico	921
2.4. Prove e collaudo delle macchine elettriche	923
3. TRASFORMATORE MONOFASE	925
3.1. Considerazioni sui flussi magnetici	925
3.2. Convenzioni sulle tensioni e sulle potenze. Fase delle tensioni indotte e delle correnti	926
3.3. Equazioni fondamentali in regime sinusoidale	926
3.4. Funzionamento a carico. Diagramma vettoriale	928
3.5. Funzionamento a vuoto	929
3.6. Funzionamento in corto circuito	930
3.7. Trasformatore ideale	930
3.8. Reti equivalenti	932
3.9. Caduta di tensione	935
3.10. Caratteristiche esterne	938
3.11. Perdite e rendimento	939
3.12. Parallelo dei trasformatori	939
3.13. Prove a vuoto e di corto circuito	940
4. TRASFORMATORE TRIFASE	944
4.1. Generalità	944
4.2. Caratteristiche dei vari tipi di collegamento	945
4.3. Trasformatori a tre colonne	946
4.4. Rapporto di trasformazione	947
4.5. Reti equivalenti	951
4.6. Caduta di tensione	951
4.7. Trasformatori in parallelo	951
4.8. Prove a vuoto e di corto circuito	952
5. TRASFORMATORI SPECIALI	956
5.1. Autotrasformatori	956
5.2. Trasformatori a corrente costante	957

5.3. Trasformatori di misura	958
6. MACCHINE ASINCRONE	960
6.1. Campi magnetici rotanti	960
6.2. Campi rotanti trifasi	960
6.3. Principio di funzionamento del motore asincrono trifase	962
6.4. Tensioni indotte	962
6.5. Equazioni fondamentali. Reazione rotorica	963
6.6. Reti equivalenti	964
6.7. Funzionamento a vuoto	966
6.8. Funzionamento a carico. Perdite	966
6.9. Rendimento	966
6.10. Diagramma circolare	967
6.11. Caratteristica meccanica	968
6.12. Avviamento	968
6.13. Frenatura elettrica	970
6.14. Motori asincroni monofasi	971
6.15. Generatori asincroni	974
7. MACCHINE SINCRONE	977
7.1. Tensioni indotte	977
7.2. Circuiti d'indotto trifasi	977
7.3. Funzionamento a vuoto	978
7.4. Effetti della corrente d'indotto	979
7.5. Studio della macchina sincrona	979
7.6. Curve caratteristiche	981
7.7. Regolazione della tensione degli alternatori in funzionamento isolato (autonomo)	981
7.8. Coppia e potenza	982
7.9. Parallelo degli alternatori	982
7.10. Motori sincroni	984
7.11. Impiego della macchina sincrona per il rifasamento	987
8. GENERATORI A COLLETTORE IN CORRENTE CONTINUA	988
8.1. Generalità	988
8.2. Funzionamento a vuoto	988
8.3. Funzionamento a carico	988
8.4. Perdite. Rendimento	989
8.5. Dinamo con eccitazione indipendente	990
8.6. Dinamo con eccitazione in derivazione	990
9. MOTORI A COLLETTORE IN CORRENTE CONTINUA	994
9.1. Generalità	994
9.2. Funzionamento a vuoto	995
9.3. Funzionamento a carico	995
9.4. Rendimento	996
9.5. Motori con eccitazione indipendente e in derivazione	996
9.6. Motori con eccitazione in serie	998
26 MOTORI A COMMUTAZIONE ELETTRONICA	
1. GENERALITÀ	1003
2. MOTORI A PASSO	1003
2.1. Introduzione	1003
2.2. I tre tipi di motori a passo	1004
2.3. Comportamento del motore a passo e sue caratteristiche	1009
2.4. Definizioni delle grandezze e dei parametri caratteristici	1014
2.5. Circuiti di pilotaggio	1014
2.6. Conclusioni	1018
3. MOTORI IN CORRENTE CONTINUA BRUSHLESS	1019
3.1. Introduzione	1019

3.2. Alcuni particolari costruttivi	1021	4.3. Trasmissione a ingranaggi.....	1081
3.3. Principio di funzionamento del motore brushless con f.e.m. trapezoidale.....	1021	5. FATTORI GUIDA NELLA SCELTA DEL MOTORE	1082
3.4. Coppia-velocità	1023	5.1. Parametri di riferimento.....	1082
3.5. Conclusioni.....	1024	6. FATTORI DI SERVIZIO.....	1085
27 AZIONAMENTI CON MACCHINE ELETTRICHE		7. TECNICHE PER L'INVERSIONE DI MARCIA DEI MOTORI.....	1085
1. GENERALITÀ.....	1027	8. FRENATURA DEI MOTORI ELETTRICI.....	1086
2. COMPONENTI.....	1028	8.1. Generalità.....	1086
2.1. Tipologie di convertitori statici.....	1028	8.2. Frenatura in controcorrente.....	1086
2.2. Tipologie di motori elettrici.....	1029	8.3. Frenatura dinamica.....	1087
3. CLASSIFICAZIONE	1030	8.4. Frenatura rigenerativa	1087
3.1. In base alle applicazioni.....	1030	30 TRAZIONE ELETTRICA	
3.2. In base alle modalità di controllo	1031	1. CONCETTI INTRODUTTIVI.....	1091
3.3. In base alle caratteristiche strutturali	1034	1.1. Concetto di trazione elettrica.....	1091
4. APPLICAZIONI	1035	1.2. Vantaggi della trazione elettrica.....	1092
4.1. Macchine utensili.....	1035	1.3. Limiti di convenienza della trazione elettrica	1092
4.2. Cementerie.....	1035	1.4. Note storiche.....	1092
4.3. Industria chimica.....	1035	2. TRAZIONE FERROVIARIA	1093
4.4. Industria tessile.....	1035	2.1. Impianti di trazione.....	1093
4.5. Cartiere.....	1036	2.2. Note storiche.....	1093
4.6. Trattamento dei fluidi.....	1036	2.3. Progetto delle linee	1094
4.7. Industria siderurgica.....	1036	2.4. Alimentazione delle linee	1095
4.8. Sollevamento dei carichi.....	1036	2.5. Struttura delle linee.....	1097
4.9. Lavorazione di plastica e gomma.....	1038	2.6. Struttura della sede ferroviaria.....	1098
4.10. Moti incrementali	1038	2.7. Meccanica del mezzo di trazione	1099
5. RIFERIMENTI NORMATIVI	1039	2.8. Alimentazione del mezzo di trazione.....	1101
		2.9. Azionamenti.....	1104
		2.10. Manovre	1111
28 MACCHINE ELETTRICHE SPECIALI		3. TRAZIONE URBANA TRADIZIONALE.....	1115
1. MOTORI ELETTRICI DI PICCOLA POTENZA	1041	3.1. Filovie.....	1115
1.1. Generalità.....	1041	3.2. Tramvie	1117
1.2. Motore sincro.....	1042	3.3. Metropolitana.....	1120
1.3. Motore asincro.....	1046	4. APPLICAZIONI PARTICOLARI	1121
1.4. Motori in corrente continua.....	1055	4.1. Trazione ad accumulatori.....	1121
2. SERVOMOTORI.....	1056	4.2. Trazione diesel-elettrica.....	1124
2.1. Generalità.....	1056	4.3. Ferrovie a cremagliera.....	1127
2.2. Tipologie.....	1057	5. NUOVE TECNOLOGIE.....	1128
3. MICROMOTORI E PICCOLI ATTUATORI.....	1063	5.1. Monorotaie.....	1128
3.1. Generalità.....	1063	5.2. Treni a levitazione magnetica.....	1131
3.2. Motori monofasi asincroni a poli schermati	1063	5.3. Alta velocità.....	1132
3.3. Motori monofasi sincroni	1065	31 DISEGNO ELETTRICO ED ELETTRONICO	
3.4. Motori a collettore con rotore a doppio e triplo T.....	1069	1. SEGNI GRAFICI.....	1135
3.5. Motori a ferro rotante.....	1071	1.1. Segni grafici secondo le Norme CEI	1135
3.6. Motore a bobina mobile.....	1071	1.2. Tracciamento dei segni grafici.....	1135
3.7. Piccoli attuatori	1072	1.3. Segni grafici per diagrammi di flusso.....	1135
4. FRENI E FRIZIONI ELETTROMAGNETICHE.....	1075	1.4. Segni grafici secondo le Norme MIL	1135
4.1. Generalità	1075	1.5. Segni grafici per impianti pneumatici e oleoidraulici.....	1135
4.2. Freni e frizioni azionati da solenoidi	1076	2. CLASSIFICAZIONE DEGLI SCHEMI ELETTRICI.....	1153
4.3. Freni e frizioni a isteresi magnetica.....	1077	3. REALIZZAZIONE DI SCHEMI ELETTRICI	1156
4.4. Freni e frizioni a correnti parassite.....	1077	32 INGEGNERIA, MATERIALI E APPARECCHIATURE, PROGETTAZIONE	
4.5. Freni e frizioni a polvere magnetica	1078	1. LEGISLAZIONE E NORMATIVA PER IL SETTORE ELETTRICO.....	1159
4.6. Freni e frizioni a ferro rotante.....	1078	1.1. Legislazione settore elettrico	1159
4.7. I motori autofrenanti	1078	1.2. Normativa tecnica.....	1167
29 CRITERI DI SCELTA DELLE MACCHINE ELETTRICHE E LORO APPLICAZIONI		2. CLASSIFICAZIONE E PRINCIPALI FENOMENI	1171
1. INTRODUZIONE	1079	2.1. Classificazione degli impianti	1171
2. TECNICHE DI AZIONAMENTO.....	1080	2.2. Sovratensioni.....	1175
3. SISTEMI DI CONNESSIONE FRA MOTORI E MACCHINE.....	1080	2.3. Sovracorrenti.....	1177
4. SISTEMI DI TRASMISSIONE	1080	3. PROTEZIONE DEGLI IMPIANTI	1184
4.1. Trasmissione a cinghia	1080		
4.2. Trasmissione a catena.....	1081		

3.1. Protezione contro le sovracorrenti.....	1184	1.2. Classificazione dei materiali isolanti secondo le norme CEI	1506
3.2. Protezione contro abbassamenti di tensione.....	1192	1.3. Principali materiali isolanti	1506
3.3. Protezioni da sovratensioni	1192	2. CONDENSATORI	1510
3.4. Sezionamento e comando	1194	2.1. Utilizzo e comportamento reale	1510
4. PROTEZIONE CONTRO GLI INFORTUNI ELETTRICI.....	1196	2.2. Caratteristiche elettriche	1511
4.1. Pericolosità della corrente elettrica	1196	2.3. Caratteristiche costruttive	1511
4.2. Tensione totale di terra, di contatto e di passo.....	1198	2.4. Condensatori variabili	1512
4.3. Protezione contro i contatti diretti e indiretti	1199	2.5. Codici di identificazione dei condensatori	1512
4.4. Protezione con interruttore differenziale in casi particolari	1210	3. MATERIALI CONDUTTORI.....	1512
4.5. Impianto di messa a terra	1210	3.1. Caratteristiche dei materiali più comuni	1512
5. TIPOLOGIE REALIZZATIVE	1223	3.2. Elementi di dimensionamento	1513
5.1. Progetto	1223	3.3. Principali materiali conduttori utilizzati in elettromeccanica.....	1514
5.2. Impianti elettrici civili	1223	3.4. Conduttori per avvolgimenti	1515
5.3. Impianti nei locali tecnici.....	1242	3.5. Spazzole	1520
5.4. Impianti elettrici industriali.....	1245	3.6. Conduttori per resistori	1520
5.5. Impianti elettrici speciali	1249	3.7. Proporzionamento di resistori per riscaldamento ..	1521
5.6. Cabine di trasformazione	1284	4. RESISTORI.....	1522
6. MATERIALI ELETTRICI E APPARECCHIATURE	1299	4.1. Resistori fissi.....	1522
6.1. Cavi elettrici in bassa e media tensione.....	1299	4.2. Resistori variabili.....	1523
6.2. Apparecchiature e componenti di bassa tensione ..	1329	4.3. Tempo di avviamento a coppia accelerante costante pari alla nominale.....	1526
6.3. Apparecchiature di media tensione	1394	4.4. Resistori non lineari	1526
6.4. Apparecchiature per atmosfere esplosive	1394	4.5. Parametri caratteristici dei resistori	1529
7. VERIFICHE SUGLI IMPIANTI ELETTRICI	1399	4.6. Criteri di dimensionamento dei resistori	1529
7.1. Generalità	1399	5. MATERIALI MAGNETICI.....	1531
7.2. Verifiche sugli impianti di terra	1399	5.1. Proprietà dei materiali magnetici	1531
7.3. Normativa di riferimento	1410	5.2. Valori numerici delle proprietà dei materiali magnetici	1533
7.4. Valutazione dei rischi e procedure di sicurezza	1411	5.3. Principali materiali magnetici	1536
7.5. Verifica della compatibilità della grandezza da misurare e l'ambiente di misura con le caratteristiche dello strumento	1411	6. INDUTTORI.....	1536
7.6. Stima dell'incertezza di misura.....	1412	6.1. Parametri caratteristici	1536
7.7. Gestione e controllo della strumentazione.....	1414	6.2. Caratteristiche costruttive degli induttori	1537
8. ESEMPI DI RIEPILOGO	1416	7. TRASFORMATORI.....	1538
APPENDICE A – CONDUTTORI, CONDUTTURE E CAVI ..	1423	7.1. Nucleo magnetico	1538
APPENDICE B – APPARECCHI DI MEDIA TENSIONE ..	1460	7.2. Tipi di avvolgimento	1540
33 ILLUMINOTECNICA		7.3. Sovratemperatura e raffreddamento	1540
1. GRANDEZZE FOTOMETRICHE	1467	7.4. Elementi di dimensionamento di trasformatore trifase a colonne in olio, a 50 Hz, per distribuzione (25 ÷ 3000 kVA)	1542
1.1. Flusso luminoso.....	1467	7.5. Trasformatori di distribuzione inglobati in resina..	1547
1.2. Intensità luminosa.....	1468	7.6. Autotrasformatore.....	1549
1.3. Illuminamento	1468	7.7. Piccoli trasformatori monofase.....	1550
1.4. Luminanza	1469	8. MACCHINE ROTANTI	1552
2. SORGENTI LUMINOSE.....	1470	8.1. Tipi costruttivi	1552
2.1. Grandezze caratteristiche.....	1470	8.2. Strutture magnetiche	1553
2.2. Apparecchiature ausiliarie	1471	8.3. Avvolgimenti.....	1555
2.3. Caratteristiche di funzionamento	1471	8.4. Formule di dimensionamento	1561
2.4. Principi di funzionamento	1473	9. MOTORI TRIFASE A INDUZIONE (ASINCRONI).....	1561
2.5. Tipi di sorgenti	1474	9.1. Generalità	1561
3. APPARECCHI D'ILLUMINAZIONE	1488	9.2. Esempio di proporzionamento di massima di motore asincrono trifase in bassa tensione	1562
3.1. Ottiche.....	1488	9.3. Inversione del senso del moto.....	1564
3.2. Rappresentazione delle caratteristiche di emissione luminosa.....	1489	9.4. Regolazione della velocità	1565
3.3. Apertura del fascio luminoso.....	1490	9.5. Motori con rotore avvolto	1565
4. PROGETTAZIONE DEGLI IMPIANTI.....	1490	10. MOTORI ASINCRONI MONOFASE	1567
4.1. Illuminazione d'interni	1490	10.1. Motori monofase a polo suddiviso (<i>shaded-pole</i>)	1567
4.2. Strade di traffico e aree urbane	1495	10.2. Motori monofase a fase ausiliaria resistiva (<i>split-phase</i>)	1567
5. ALIMENTAZIONE	1502	10.3. Motori monofase con condensatore permanentemente inserito	1568
34 TECNOLOGIE ELETTRICHE			
1. MATERIALI ISOLANTI	1505		
1.1. Principali proprietà dei materiali isolanti	1505		

10.4. Dimensionamento di base di un motore monofase	1569
10.5. Motori trifase usati come monofase	1569
11. LA MACCHINA SINCRONA	1570
11.1. Generalità	1570
11.2. Indotto (statore)	1570
11.3. Induttore (rotore)	1571
11.4. Alternatore a poli salienti di media potenza	1572
11.5. Esempio di progetto di massima	1573
12. MACCHINE A CORRENTE CONTINUA	1574
12.1. Generalità	1574
12.2. Il progetto di un motore a CC	1575
12.3. Esempio numerico di progetto di un motore a CC	1580
35 CENTRALI DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA	
1. GENERALITÀ	1581
1.1. Fonti energetiche primarie	1581
1.2. Diagrammi di carico	1582
2. IMPIANTI IDROELETTRICI	1583
2.1. Funzionamento	1583
2.2. Tipologie d'impianto	1583
2.3. Elementi costruttivi	1584
2.4. Considerazioni energetiche	1589
3. IMPIANTI TERMOELETTRICI	1590
3.1. Funzionamento	1590
3.2. Tipologie d'impianto	1590
3.3. Elementi costruttivi	1591
3.4. Cicli termici	1593
3.5. Considerazioni energetiche	1594
4. IMPIANTI NUCLEARI	1595
4.1. Funzionamento	1595
4.2. Tipologie d'impianto	1596
4.3. Elementi costitutivi	1596
4.4. Considerazioni energetiche	1597
5. CENTRALI E AMBIENTE	1597
5.1. Centrali idroelettriche	1597
5.2. Centrali termoelettriche	1597
5.3. Centrali nucleari	1598
36 TRASPORTO E DISTRIBUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA	
1. GENERALITÀ	1599
2. RETI DI DISTRIBUZIONE	1600
3. LINEE AEREE	1600
3.1. Conduttori	1601
3.2. Sostegni	1602
3.3. Isolatori	1603
3.4. Funi di guardia	1604
3.5. Organi di collegamento e fissaggio	1604
4. LINEE IN CAVO	1604
4.1. Struttura dei cavi	1604
4.2. Tipi di posa	1605
4.3. Caratteristiche elettriche	1605
4.4. Cavi in bassa tensione	1607
5. MODELLO EQUIVALENTE DELLE LINEE	1608
5.1. Resistenza di linea	1608
5.2. Reattanza di linea	1609
5.3. Conduttanza di linea	1609
5.4. Suscettanza di linea	1610
6. LINEE CORTE	1610
6.1. Caduta di tensione industriale	1611
6.2. Rendimento	1611

7. CALCOLO ELETTRICO DELLE LINEE	1612
7.1. Criterio della perdita di potenza	1612
7.2. Criterio della caduta di tensione ammissibile	1613
7.3. Criterio della caduta di tensione unitaria	1615
7.4. Criterio della temperatura ammissibile	1616
7.5. Criterio dei momenti amperometrici	1616

AUTOMAZIONE

37 SENSORI E CIRCUITI APPLICATIVI

1. INTRODUZIONE	1621
1.1. Parametri tipici dei sensori	1621
1.2. Circuiti di amplificazione lineare	1622
1.3. Circuiti non lineari	1623
1.4. Circuiti di conversione corrente-tensione	1623
1.5. Circuiti di conversione tensione-corrente	1624
1.6. Configurazioni di uscita	1624
2. SENSORI DI TEMPERATURA	1626
2.1. Termocopie	1626
2.2. Termoresistenze	1630
2.3. Termistori	1633
2.4. Circuiti integrati	1637
3. SENSORI DI UMIDITÀ	1639
3.1. Generalità	1639
3.2. Sensori di umidità capacitivi	1640
3.3. Sensori di umidità resistivi	1642
3.4. Sensori di umidità a conduttività termica	1642
4. SENSORI DI PRESSIONE	1643
4.1. Generalità	1643
4.2. Sensori di pressione piezoresistivi	1644
5. SENSORI DI FORZA	1646
5.1. Generalità	1646
5.2. Estensimetri	1647
5.3. Celle di carico	1647
6. SENSORI DI POSIZIONE, VELOCITÀ E ACCELERAZIONE	1648
6.1. Generalità	1648
6.2. Potenzimetri	1649
6.3. LVDT	1651
6.4. Encoder	1652
6.5. Dinamo tachimetriche	1655
6.6. Accelerometri	1656
7. SENSORI DI CAMPO MAGNETICO	1658
7.1. Generalità	1658
7.2. Sensori per campi di bassa intensità	1658
7.3. Sensori per campi di media intensità	1659
7.4. Sensori per campi di alta intensità	1661
7.5. Misure di corrente con sensori magnetici	1665
8. SENSORI DI RADIAZIONE LUMINOSA	1665
8.1. Generalità	1665
8.2. Materiali ottici	1666
8.3. Caratterizzazione dei sensori di radiazione luminosa	1666
8.4. Sensori di tipo termico	1667
8.5. Sensori di tipo fotonico	1667

38 SISTEMI DI ACQUISIZIONE, ELABORAZIONE E DISTRIBUZIONE DATI

1. ELABORAZIONE E CONVERSIONE DEI SEGNALI ..	1673
1.1. Segnali analogici e digitali	1673
1.2. Conversione analogico/digitale	1673
1.3. Conversione digitale/analogica	1676
1.4. I codici	1676

9. PLC SCHNEIDER	1796	12. SEQUENZE CICLICHE	1835
9.1. Programmazione	1797	13. TECNICHE DI COMANDO	1836
10. PLC OMRON	1804	13.1. Metodo diretto	1836
10.1. Installazione e montaggio	1804	14. ARRESTO DI EMERGENZA	1836
10.2. Cablaggio	1805	PARTE 4 – SCHEMI PER CIRCUITI	
10.3. Programmazione	1806	ELETTROPNEUMATICI	1837
10.4. Compilazione, salvataggio e caricamento	1807	15. CIRCUITI ELETTROPNEUMATICI	1837
10.5. Simulazione	1807	16. SCHEMI ELEMENTARI	1837
11. PLC SIMATIC	1807	17. SEQUENZE CICLICHE	1838
11.1. S7-200	1807	18. ARRESTO DI EMERGENZA	1838
11.2. S7-300	1810	PARTE 5 – PRINCIPI GENERALI DI	
11.3. Serie S7-400	1810	OLEOIDRAULICA	1838
11.4. S7-1200	1811	19. FLUIDI IDRAULICI	1838
11.5. S7-1500	1813	19.1. Introduzione	1838
11.6. Ambiente di sviluppo STEP 7 Micro/Win	1814	19.2. Caratteristiche generali	1839
11.7. Ambiente di sviluppo STEP 7	1816	19.3. Caratteristiche fisiche	1840
42 CIRCUITI E IMPIANTI PNEUMATICI		19.4. Caratteristiche chimiche	1841
E OLEOIDRAULICI		20. POMPE E MOTORI	1841
PARTE 1 – INTRODUZIONE	1819	20.1. Pompe oleoidrauliche	1841
1. PROPRIETÀ GENERALI DEI FLUIDI	1819	20.2. Regolatori di portata	1841
1.1. Caratteristiche dei fluidi comprimibili e		20.3. Motori oleoidraulici	1843
incomprimibili	1819	21. VALVOLE	1843
1.2. Leggi generali per lo studio dei fluidi ideali	1819	21.1. Componenti di regolazione	1843
2. SISTEMI DI MISURA E STRUMENTAZIONE	1820	21.2. Valvole di regolazione della pressione	1843
2.1. Sistemi di misura	1820	21.3. Valvole di regolazione della portata	1843
2.2. Strumenti di misura	1820	21.4. Valvole di regolazione della direzione	1843
2.3. Misure di pressione	1820	21.5. Valvole di regolazione della potenza	1843
2.4. Misure di portata	1821	21.6. Scambiatori di calore	1844
2.5. Misure di temperatura	1822	21.7. Componenti accessori	1844
2.6. Misure di posizione	1822	PARTE 6 – SCHEMI PER CIRCUITI	
PARTE 2 – PRINCIPI GENERALI DI PNEUMATICA	1822	OLEOIDRAULICI	1845
3. PRODUZIONE, DISTRIBUZIONE E TRATTAMENTO		22. CIRCUITI E IMPIANTI	1845
DELL'ARIA COMPRESSA	1822	22.1. Circuiti oleoidraulici fondamentali	1845
3.1. Produzione dell'aria compressa	1822	22.2. Generazione della potenza idraulica	1845
3.2. Tipi di compressori	1823	22.3. Centraline oleoidrauliche	1846
3.3. Trattamento dell'aria compressa	1823	22.4. Circuiti di controllo della portata	1847
4. MOTORI PNEUMATICI LINEARI E ROTATIVI	1823	22.5. Circuiti rigenerativi	1848
4.1. Generalità sugli attuatori	1823	22.6. Circuiti di sincronismo	1848
4.2. Cilindri pneumatici	1823	22.7. Circuiti di riempimento	1849
4.3. Tipi di cilindri pneumatici	1824	22.8. Circuiti di controllo degli azionamenti	1849
4.4. Motori pneumatici rotativi	1824	22.9. Circuiti di sicurezza	1849
4.5. Tipi di motori	1825	43 FONDAMENTI DI ROBOTICA	
5. VALVOLE	1825	1. CONCETTI GENERALI	1851
5.1. Valvole pneumatiche	1825	1.1. Robot	1851
5.2. Valvole di controllo della direzione	1825	1.2. Robotica	1852
5.3. Schemi costruttivi più diffusi	1826	1.3. Applicazioni	1852
5.4. Valvole di intercettazione	1827	1.4. Robotica industriale	1853
5.5. Valvole di pressione	1827	2. SISTEMA MECCANICO	1854
5.6. Valvole di controllo del flusso	1828	2.1. Anatomia	1854
6. CIRCUITI E IMPIANTI	1829	2.2. Meccanica dei robot	1856
6.1. Introduzione	1829	2.3. Requisiti strutturali	1856
6.2. Diagramma delle fasi	1829	2.4. Manipolatori	1857
7. LOGICA PNEUMATICA E INTERFACCIAMENTO	1830	2.5. Robot mobili	1858
7.1. Elementi di logica pneumatica	1830	2.6. Studio del modello	1859
7.2. Elementi pneumologici e micropneumatici	1830	3. SISTEMA DI ATTUAZIONE	1864
7.3. Organizzazione di sistemi automatici	1831	3.1. Trasformazioni energetiche	1864
7.4. Sistemi programmabili	1832	3.2. Tipi di azionamento	1864
PARTE 3 – SCHEMI PER CIRCUITI PNEUMATICI	1832	3.3. Componenti	1864
8. CIRCUITI PNEUMATICI	1832	4. SISTEMA SENSORIALE	1865
9. SCHEMI ELEMENTARI	1832	4.1. Funzioni tipiche	1865
10. FUNZIONI LOGICHE	1833	4.2. Impiego dei sensori	1865
11. TEMPORIZZATORI E CONTATORI	1834	4.3. Sistemi di visione	1865

5. SISTEMA DI CONTROLLO.....	1866	6. STANDARD DOMOTICI.....	1877
5.1. Caratteristiche	1866	7. NORMATIVA	1878
5.2. Struttura	1866	8. CARATTERISTICHE DEGLI IMPIANTI DOMOTICI .	1878
5.3. Tecniche di controllo.....	1867	9. SISTEMI DOMOTICI COMMERCIALI	1879
5.4. Sicurezza	1867	9.1. Sistema MyHome (BTicino)	1879
6. PROGRAMMAZIONE	1868	9.2. Sistema KNX (Schneider Electric).....	1883
6.1. Ambiente	1868	10. APPLICAZIONI DEL PLC ALL'AUTOMAZIONE	
6.2. Criteri	1868	CIVILE	1885
6.3. Tecniche	1868	45 SOFTWARE PER L'AUTOMAZIONE	
6.4. Linguaggi	1869	INDUSTRIALE	
7. ROBOT LEGO.....	1870	1. PROGRAMMA LABVIEW	1887
7.1. Concetti introduttivi	1870	1.1. Interfaccia grafica	1887
7.2. Programmazione	1871	1.2. Pannello frontale.....	1888
7.3. Esempio applicativo.....	1872	1.3. Diagramma a blocchi	1888
44 ELEMENTI DI DOMOTICA		1.4. Simulazione	1889
1. CONCETTI INTRODUTTIVI.....	1873	1.5. Esempi elementari di programmazione	1889
2. CARATTERISTICHE DEI SISTEMI DOMOTICI	1873	1.6. Programmazione avanzata	1891
3. CLASSIFICAZIONE DEI SISTEMI DOMOTICI	1874	1.7. Funzioni grafiche	1892
4. TOPOLOGIA DELLE RETI.....	1875	1.8. Interfacciamento	1893
5. MEZZI TRASMISSIVI	1875	2. PROGRAMMA MULTISIM	1895
5.1. Sistemi a bus	1875	2.1. Realizzazione di un circuito	1895
5.2. Sistemi a onde convogliate.....	1876	2.2. Prove di simulazione	1896
5.3. Sistemi senza fili.....	1877	2.3. Applicazioni	1896

NOTE PER LA CONSULTAZIONE DEL VOLUME

In ciascun capitolo i riferimenti di figure, tabelle, formule ed esempi sono numerati in ordine crescente e sempre preceduti dal numero del capitolo (per es. tab. 42.5, fig. 37.2)

I rimandi ad altri paragrafi sono preceduti dal simbolo § e riportano il numero del capitolo in grassetto (§ **38.1.4**)

Sarà poi

$$\Delta R = 0,237 \cdot 17 = 4,03 \Omega$$

2.3. Conduttanza e conduttività

Si definisce conduttanza la grandezza

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{\rho \frac{l}{S}} = \frac{1}{\rho} \frac{S}{l}$$

con già noto significato di simboli.

Ponendo $\gamma = 1/\rho$ si ottiene $G = \gamma S/l$.

La grandezza γ è denominata *conduttività*.

Le unità di misura di G e di γ sono rispettivamente Ω^{-1} , definito siemens (S), e $\Omega^{-1} \cdot \text{m}/\text{mm}^2$ ovvero $\text{S} \cdot \text{m}/\text{mm}^2$.

2.4. Legge di Ohm

La legge di Ohm è espressa dalla seguente relazione:

$$R = \frac{V_{AB}}{I}$$

e sancisce la costanza del rapporto tra la tensione ai capi di un conduttore e la corrente che vi circola (fig. 19.7).

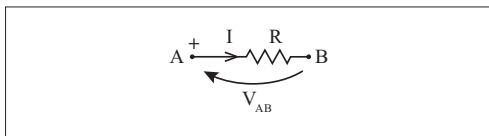


FIGURA 19.7 Legge di Ohm.

2.5. Caduta di tensione

Tra due punti A, B di un conduttore esiste, come è noto, una d.d.p. se, posta in uno dei due punti una carica elettrica, questa viene a possedere dell'energia potenziale rispetto all'altro punto. Questa d.d.p. è detta caduta di tensione (c.d.t.) (fig. 19.8).

$$V_A = V_A - V_0 = V_A - 0$$

(tensione in A)

$$V_B = V_B - V_0 = V_B - 0$$

(tensione in B)

$$V_{AB} = V_A - V_B \text{ con } V_A > V_B$$

(caduta di tensione)

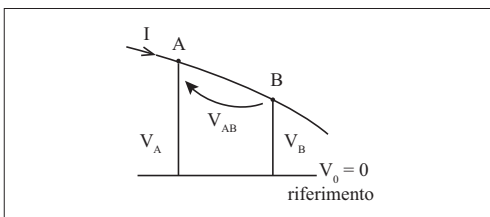


FIGURA 19.8 Caduta di tensione.

2.6. Circuito elettrico

Nella forma più semplice il circuito elettrico è riconducibile sempre a un generatore (riceve energia in forma non elettrica e la trasforma in energia elettrica), a una linea (collega il generatore all'utilizzatore) e un utilizzatore (utilizza l'energia elettrica trasformandola nella forma richiesta), come rappresentato in fig. 19.9.

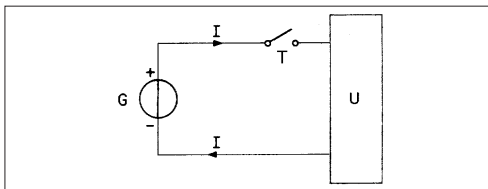


FIGURA 19.9 Schema semplificato di circuito elettrico.

2.7. Convenzioni di segno

L'energia fluisce in un circuito dal generatore verso l'utilizzatore. Il senso può essere individuato in base alle convenzioni di segno valide per tensioni e correnti: in un generatore la corrente esce dal morsetto positivo «+» ed entra da quello negativo «-» (l'energia fluisce nel senso uscente della corrente dal morsetto «+»); in un utilizzatore la corrente entra dal morsetto «+» ed esce da quello «-» (l'energia fluisce nel senso entrante della corrente dal morsetto «+»).

2.8. Ordini di grandezza

Gli ordini di grandezza di tensioni e correnti di impiego normale in elettrotecnica sono riportati in tab. 19.4.

TABELLA 19.4 Ordine di grandezza di tensioni e correnti di impiego normale in elettrotecnica.

Tensione/corrente	Impiego
4 ÷ 12 V	Pile e accumulatori portatili
6 ÷ 24 V	Impianti di bordo per veicoli
24 ÷ 60 V	Telefonia
10 ÷ 100 V	Impianti elettrochimici
230 V	Distribuzione domestica
400 V	Distribuzione industriale
500 V	Trazione tranviaria
1,5 ÷ 12 kV	Trazione ferroviaria
5 ÷ 60 kV	Trasporto a media distanza
60 ÷ 400 kV	Trasporto a grande distanza
1 ÷ 10 mA	Telecomunicazioni
10 ÷ 200 mA	Amplificatori, radiotecnica
0,1 ÷ 5 A	Applicazioni domestiche
5 ÷ 100 A	Applicazioni industriali
50 ÷ 300 A	Trazione
1 ÷ 10 kA	Elettrochimica e forni ad arco

25

MACCHINE ELETTRICHE

ANTONINO LIBERATORE • ALBERTO REATTI • MARIO PEZZI • Rev. MICHELE MONTI

1. CLASSIFICAZIONE

Le macchine elettriche possono lavorare con:

- corrente alternata (c.a.);
- corrente continua (c.c.).

Le macchine a c.a. si distinguono, poi, in:

- macchine statiche a induzione (trasformatori, reattori, amplificatori magnetici);
- macchine asincrone (motori, generatori, regolatori di tensione e fase);
- macchine sincrone (generatori sincroni o alternatori, motori compensatori o condensatori rotanti);
- macchine speciali (motori monofasi a collettore, in serie, a repulsione semplice, a repulsione Deri, motori trifasi a collettore, in serie, in derivazione);
- macchine di conversione della corrente (gruppo convertitore, motore-generatore, convertitore o commutatore rotante, raddrizzatore statico, convertitori AC/AC).

Le macchine a c.c. si distinguono, invece, in:

- generatori di c.c. o dinamo (a eccitazione indipendente, a eccitazione in serie, in derivazione, composta);
- motori a c.c. (con eccitazione indipendente, in serie, in parallelo, composta);
- macchine speciali: dinamo Rosenberg, amplificatori rotanti (amplidina, rototrol), metadinamo (metatrasformatore, metageneratrice, metamotore);
- macchine statiche di conversione della corrente (invertitori, convertitori DC/AC).

Macchine statiche

Sono quelle per le quali il circuito magnetico, fisso, porta nell'esecuzione più semplice due avvolgimenti (uno primario e uno secondario) anch'essi fissi (fig. 25.1). La macchina risulta *eccitata* dalla tensione o dalla corrente variabile ad un avvolgimento cosicché il flusso nel circuito magnetico è anch'esso variabile nel tempo, per cui indurrà una f.e.m. nell'altro avvolgimento.

La potenza elettrica che si trasferisce da un avvolgimento all'altro è massima solo se il circuito magnetico risulta di riluttanza molto piccola. Ciò impone traferri ridotti al minimo (al limite nulli) e materiali magnetici ad alta permeabi-

lità. A questo tipo di macchina appartengono i trasformatori (e gli autotrasformatori) mono e polifasi. I variatori di fase ad induzione, pur non rotando durante il funzionamento, fanno parte invece delle macchine rotanti.

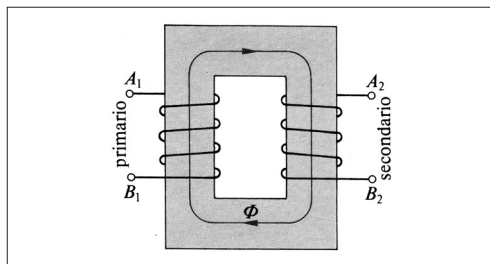


FIGURA 25.1 Schematizzazione di un trasformatore monofase a due avvolgimenti.

Macchine rotanti

Il circuito magnetico principale può essere a *traferro costante* (fig. 25.2a) oppure a *traferro variabile* (fig. 25.2b). Il traferro è lo spazio compreso tra *statore*, parte fissa della macchina, e il *rotore*, parte rotante della macchina.

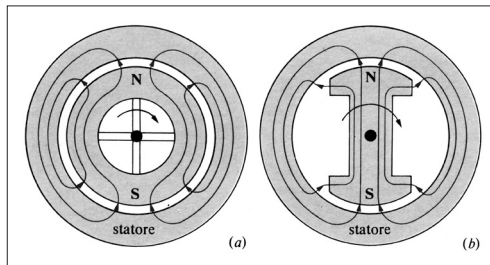


FIGURA 25.2 Schematizzazione della parte attiva in ferro di una macchina a traferro costante (a) e a traferro variabile (b). Si dice che la macchina è *isotropa* quando la riluttanza di un qualsiasi circuito magnetico che interessi statore e rotore, riluttanza dovuta sostanzialmente al traferro (aria), è di valore indipendente dalla posizione assunta, rispetto alla direzione degli assi polari, dalle linee di flusso del circuito magnetico. Da questo punto di vista la macchina (a) è isotropa mentre la macchina (b) è anisotropa.

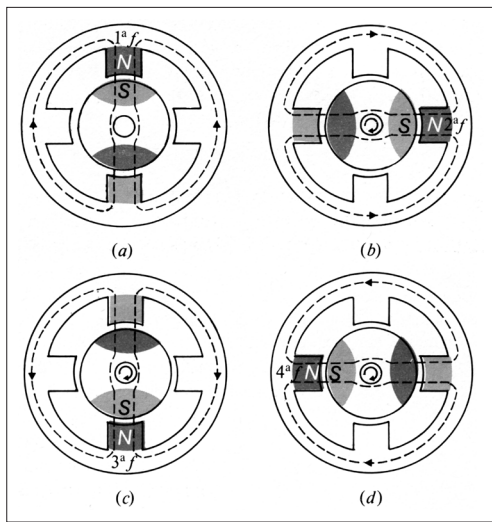


Figura 26.9 I tre passi b) c) d) successivi alla posizione di partenza a) riguardano il motore a passo di tipo a magneti permanenti della figura precedente, nella sequenza di commutazione per rotazione destrogira. Il polo statorico eccitato è quello più scuro.

La caratteristica statica (ideale) della coppia dovuta all'interazione elettromagnetica statore-rotore in funzione dell'angolo di rotazione del rotore, nel campo di un intero giro e qualora rimanente eccitata sempre la stessa fase, appare in fig. 26.10.

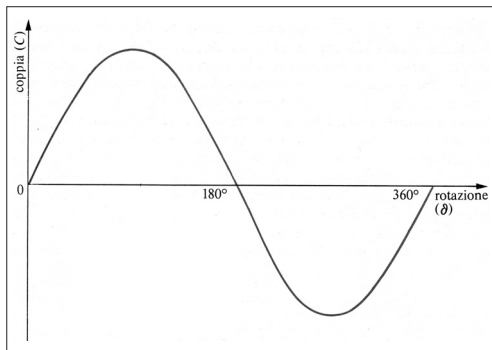


FIGURA 26.10 Andamento (ideale) della coppia statica in funzione dell'angolo di rotazione θ per un trasduttore elettromagnetico strutturalmente come quello di fig. 26.2, dove però il rotore è a magneti permanenti. Come si vede il periodo corrisponde a 360° e tale rimane anche per il dispositivo di fig. 26.8 se riferito ad una fase.

In pratica il rotore a magneti permanenti [in materiale ceramico (ferrite)] è come quello riportato in fig. 26.11 e viene impiegato ad esempio nel motore a passo denominato a denti (*claw-poled PM motor*) che costituisce un altro tipo di motore a magneti permanenti. Detto rotore serve ad uno statore (fig. 26.12) che si presenta doppio, cioè con due se-

zioni affiancate, coassiali, essendo ogni sezione a sua volta realizzata da due parti in ferro dolce munite di poli a forma di dente trapezoidale. I poli sono ricavati per tranciatura da una lamiera e quindi ripiegati per realizzare una struttura a simmetria cilindrica con un numero di denti uguale a quello dei poli rotorici. Le due parti in ferro vengono polarizzate da un unico avvolgimento a solenoide, il cui asse coincide con quello del motore, cosicché la magnetizzazione è di polarità alterna sia lungo il traferro con il rotore, sia tra i denti statorici (fig. 26.13). Poiché ogni sezione ha un avvolgimento che può essere eccitato nei due versi, cioè che realizza due fasi (ad esempio si chiami con A la fase eccitata in un verso e con A' la fase eccitata in verso opposto), di conseguenza un motore che possiede due sezioni (A, B) è caratterizzato in realtà da 4 fasi (A, A', B, B'). D'altra parte, costruttivamente, le espansioni polari delle due sezioni sono sfasate tra loro di $1/4$ del passo polare (i passi polari di statore e di rotore sono uguali, come riportato più sopra) per cui eccitando l'avvolgimento della fase A (con corrente *positiva*) si avrà una rotazione di $1/4$ di passo polare, ec-

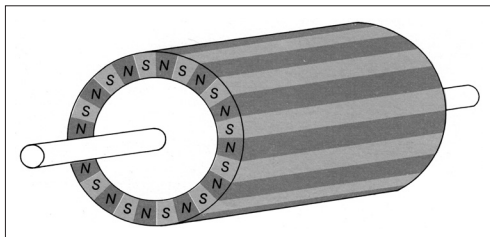


FIGURA 26.11 Esempio di rotore liscio per motori a passo di tipo a magneti permanenti (magnetizzazione radiale) con molti poli rotorici (qui le coppie polari sono 12 per cui $N_{pr} = 12$) per abbassare il valore dell'angolo di passo (con uno statore a quattro fasi si ha che $\theta_s = 7,5^\circ$).

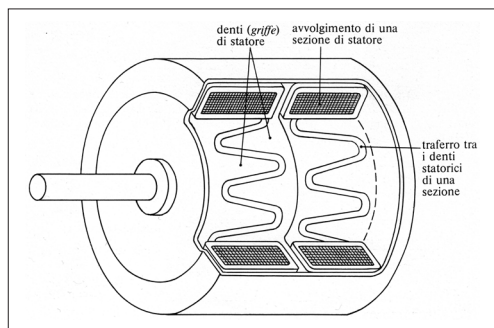


FIGURA 26.12 Motore a passo a magneti permanenti di tipo a denti (*griffe*). Lo spaccato mostra: le due sezioni di cui è composto il motore, gli avvolgimenti (a solenoide) di statore, i poli di statore a forma di dente (questi vengono magnetizzati, per ogni sezione, dal rispettivo avvolgimento, alternativamente di segno opposto a causa del particolare traferro tra i denti). Il rotore è nascosto tra i denti di statore. Il traferro statore-rotore è più piccolo di quello esistente tra i denti: ciò costringe il flusso statorico a penetrare nel sottostante rotore.

impianti termoelettrici, nucleari, geotermoelettrici e idroelettrici ad acqua fluente come *centrali di base*, facendole cioè funzionare in maniera continuativa e a un carico il più vicino possibile a quello nominale e affidando agli impianti idraulici alimentati da serbatoi e a quelli termoelettrici a combustibile pregiato la copertura delle punte (*centrali di punta*); ciò è in accordo con i fondamentali problemi tecnico-economici dei grandi impianti termoelettrici consentendo di raggiungere i massimi rendimenti nel rispetto della minima usura del macchinario.

2. IMPIANTI IDROELETTRICI

2.1. Funzionamento

Il principio di funzionamento di un impianto idroelettrico risiede nell'utilizzo dell'energia che una massa d'acqua è in grado di fornire quando viene fatta defluire ad una quota inferiore, ossia quando le viene fatto compiere un salto.

Ciò si ottiene ad esempio sbarrando un fiume mediante dighe che creano laghi artificiali, e immettendo le acque così raccolte in una tubazione (condotta forzata) che corre con forte pendenza il dislivello necessario per raggiungere il luogo di produzione denominato *centrale*; la spinta dell'acqua fa quindi ruotare una turbina accoppiata ad un generatore di energia elettrica (alternatore).

Uno schema a blocchi che descrive sinteticamente il funzionamento di un impianto idroelettrico viene rappresentato schematicamente in fig. 35.3.

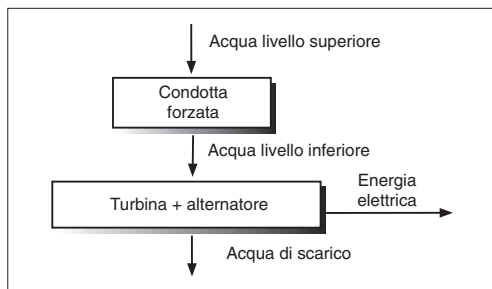


FIGURA 35.3 Schema a blocchi di impianto idroelettrico.

La centrale è l'edificio, o l'insieme di edifici, in cui sono installati i gruppi di produzione d'energia elettrica, con le relative apparecchiature di *protezione, comando e controllo*, nonché vari *servizi ausiliari*; alla centrale è annessa una stazione di *trasformazione e sezionamento* delle linee elettriche in partenza; le centrali possono essere realizzate all'aperto, seminterrate o in pozzo verticale, sotterranee o in caverna.

Negli impianti idroelettrici le trasformazioni energetiche fondamentali avvengono nelle *condotte forzate* (trasformano l'energia idraulica di posizione in energia idraulica di pressione, nella *turbina* (trasforma l'energia idraulica di pressione in energia meccanica di rotazione) e nell'*alter-*

natore (trasforma l'energia meccanica di rotazione in energia elettrica); le relazioni energetiche fra tali elementi sono schematizzate nella fig. 35.4.

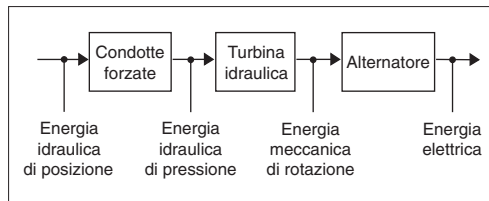


FIGURA 35.4 Trasformazioni energetiche.

Complementari a tali macchine principali sono gli organi di intercettazione della portata o *valvole di macchina* e l'organo *regolatore di velocità* che consente di mantenere costante la rotazione, e quindi la frequenza elettrica, e di variare la portata immessa nella turbina a seconda della potenza richiesta dalla rete.

Per produrre la potenza necessaria al funzionamento dell'impianto vengono sfruttati la *portata d'acqua* (corrisponde alla massa d'acqua che fluisce nell'unità di tempo) e la *caduta* (dislivello esistente tra il punto da cui proviene la massa d'acqua e la centrale di produzione).

A causa delle successive trasformazioni di energia il valore della potenza effettivamente utilizzabile si riduce a causa di perdite per attrito idraulico nelle condotte, perdite meccaniche negli organi rotativi e perdite elettriche e magnetiche nei generatori.

Il rapporto fra la potenza resa all'uscita del generatore elettrico e la potenza teorica è denominato rendimento globale dell'impianto; esso varia dall'80% al 90% a seconda del tipo di impianto e delle sue caratteristiche costruttive.

In un sistema di produzione misto come quello italiano gli impianti idroelettrici forniscono un contributo del tutto peculiare; basti pensare alla capacità di raccolta di acque provenienti dai ghiacciai e ai relativi salti disponibili, caratteristiche geografiche assenti in diversi altri paesi europei.

Ciò rende tali impianti particolarmente adatti a svolgere funzioni di punta e di riserva; oltre alla rapidità di entrata in servizio in caso di necessità, essi sono dotati di altri pregi quali la *flessibilità*, e cioè la capacità di seguire l'andamento del carico, la continuità e la sicurezza del servizio.

2.2. Tipologie d'impianto

In relazione alla *portata Q* e alla *caduta* (o *salto*) *H*, come evidenziato in fig. 35.5, si hanno impianti di *piccola, media e alta portata* e impianti a *bassa, media e alta caduta*.

In relazione al funzionamento si hanno *impianti ad acqua fluente* (non consentono la regolazione degli afflussi), *impianti a deflusso regolato* (consentono la modifica del regime delle portate) e *impianti di pompaggio* (consentono di creare una riserva d'acqua).

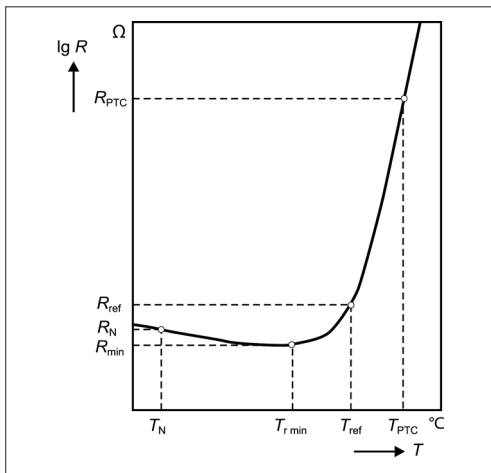


FIGURA 37.29 Caratteristica R/T tipica di un PTC.

Le applicazioni tipiche dei termistori PTC possono essere suddivise in due classi a seconda o meno che la corrente interna produca dei fenomeni di riscaldamento sensibili. La prima classe raggruppa il maggior numero d'applicazioni pratiche nelle quali l'elemento è usato come fusibile autoripristinabile a protezione di sovraccarichi o cortocircuiti, oppure come elemento riscaldante per soluzioni liquide o ancora come dispositivo di avviamento per motori. La seconda classe è quella in cui il PTC si comporta da vero e proprio sensore di misura e controllo di temperatura, in genere allo scopo di proteggere apparati da fenomeni di surriscaldamento. In questo caso si preferisce al posto di R_{ref} specificare R_{NAT} , definita come la resistenza nominale alla temperatura T_{NAT} all'interno della regione a α costante.

In particolari realizzazioni dei PTC si possono riscontrare dei coefficienti di temperatura di valore anche superiore a 30%/°C, decisamente maggiori di quelli di ogni altro sensore di temperatura resistivo. Occorre tuttavia notare che il campo di temperatura utile è piuttosto ristretto e ciò limita le applicazioni del sensore PTC al controllo di temperature nell'intorno di qualche grado a un valore prestabilito.

2.3.3 Resistori al silicio

Con la loro accuratezza e stabilità a lungo termine, i sensori resistivi al silicio forniscono un'attraente alternativa ai sensori convenzionali NTC e PTC. I principali vantaggi sono i seguenti.

- *Stabilità a lungo termine.* La resistenza del sensore a una data temperatura dipende essenzialmente dalla struttura chimica del silicio su cui è basato e la deriva nell'arco di vita del prodotto è molto ridotta. È stata stimata una deriva tipica di 0,2 °C (0,8 °C max) dopo 10 000 ore alla massima temperatura (150 °C).
- *Processo di fabbricazione standard.* Questo tipo di sensori beneficia indirettamente della tecnologia utilizzata per la realizzazione dei circuiti integrati convenzionali al

silicio, sia per quanto riguarda l'elemento sensibile che per il suo contenitore. Di conseguenza è possibile produrre questi componenti a basso costo in alti volumi.

- *Funzione caratteristica quasi lineare.* I sensori a resistenza di silicio mostrano una funzione caratteristica molto più lineare rispetto a quella degli NTC agevolando la progettazione dei circuiti di condizionamento a valle.

Il coefficiente di temperatura α tipico 25 °C vale $0,6 \pm 0,8\%/^{\circ}\text{C}$ a seconda del modello prescelto.

La linearità intrinseca permette accuratze dell'ordine di $\pm 1,5$ °C nell'intervallo di temperatura $-10 \div +60$ °C. Se si desiderano accuratze migliori si deve ricorrere all'aggiunta di opportune reti resistive oppure a tecniche di calcolo software basate su tabelle predefinite di coppie di valori R e T .

Nelle applicazioni pratiche di questo tipo di sensori si deve fare attenzione a certe peculiarità come la dipendenza della resistenza dalla corrente d'eccitazione a causa dell'effetto della densità di corrente all'interno del silicio e una certa sensibilità alla polarizzazione del voltaggio applicato. La corrente d'eccitazione consigliata è in genere di 1 mA, triplicando questo valore si può avere un aumento di R_{25} anche del 5%. Nella tab. 37.6 sono riportate le caratteristiche più rilevanti di alcuni resistori al silicio.

La caratteristica resistenza-temperatura di un sensore resistivo al silicio è quasi lineare e in molte applicazioni è sufficiente alimentare il sensore con una corrente costante di 1 mA (fig. 37.30a) e misurare la caduta ai suoi capi. Nei casi in cui sia richiesta una maggiore accuratezza è opportuno introdurre una resistenza linearizzatrice. Consideriamo il circuito di fig. 37.30b dove una resistenza R_L è stata aggiunta in parallelo al sensore. È possibile dimensionare R_L imponendo che l'errore sia nullo su tre punti di temperatura $T_a < T_b < T_c$ equidistanti. In questo caso si può scrivere

$$V_o(T_c) - V_o(T_b) = V_o(T_b) - V_o(T_a)$$

da cui

$$R_L // R_c - R_L // R_b = R_L // R_b - R_L // R_a$$

e infine

$$R_L = \frac{R_b(R_a + R_c) - 2R_aR_c}{R_a + R_c - 2R_b} \tag{37.5}$$

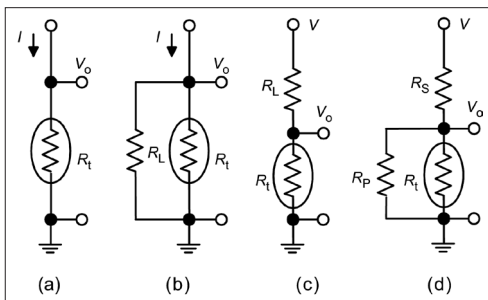


FIGURA 37.30 Linearizzazione di un sensore resistivo al silicio.

Tale metodo di stima può essere valido per I/O digitali standard, mentre nel caso di moduli analogici, di posizionamento o di comunicazione, la valutazione dell'impegno della memoria per ogni singolo canale di questo tipo è indicativamente almeno un ordine di grandezza maggiore, ma comunque estremamente variabile da un tipo di PLC a un altro.

La parte di memoria occupata dai dati è tanto maggiore quanto più complesso è il programma nell'ambito della manipolazione dei dati stessi.

3.3. Programmazione

Più un sistema possiede funzioni di programmazione sofisticate più è possibile risparmiare memoria e, nello stesso tempo, rendere più agevole sia la gestione sia la programmazione stessa del sistema; da ciò discende come le potenzialità del sistema di programmazione influiscono sul dimensionamento e quindi sulla scelta del PLC.

La possibilità di utilizzare strumenti software particolarmente sofisticati e ad alto livello può tuttavia essere spesso in contraddizione sia con le prestazioni, soprattutto nei confronti della velocità di esecuzione, sia con il costo del sistema.

3.4. Periferiche e opzioni

Talvolta, nella scelta del PLC, influisce anche la necessità di disporre di particolari opzioni e fra queste:

- video al posto del display di programmazione;
- possibilità di cambiare il programma durante il funzionamento, magari riservando, tramite opportuna protezione, tale operazione solo al personale autorizzato;
- necessità di interfacciamento con un computer supervisore;
- necessità di interfacce uomo-macchina particolarmente evolute;
- necessità di comunicazione.

Tutto ciò finisce con l'influire notevolmente sul dimensionamento del sistema in termini di I/O, di capacità di memoria e di modalità di programmazione.

4. STRUTTURA

Lo schema a blocchi di un PLC mette in evidenza gli stessi blocchi fondamentali di un qualunque microcomputer in quanto, come già accennato, tale dispositivo è da intendersi appunto un microcomputer dotato di specifiche caratteristiche per il suo uso in ambiente industriale; tale schema è visibile in fig. 41.2.

I suoi blocchi fondamentali sono:

- memoria interna;
- microprocessore;
- porte I/O;
- unità di programmazione.

L'unità di programmazione provvista di tastiera è collegata esternamente tramite cavo.

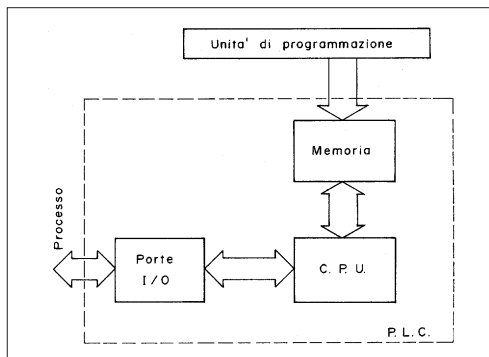


FIGURA 41.2 Schema a blocchi di un PLC (architettura di un microcomputer secondo Von Neumann).

Memoria interna. È composta da una memoria RAM, che è usata come memoria di lavoro (in essa si scrivono e da essa si leggono dati e programmi) e che, data la sua volatilità, rende necessario l'uso di batterie tampone o di gruppi di continuità, e da una memoria EPROM o EEPROM, il cui compito è quello di immagazzinare i programmi necessari al funzionamento intrinseco del sistema operativo (SO) e quindi che non devono essere alterati.

Microprocessore. Rappresenta il cuore del sistema. Scandisce ciclicamente gli ingressi, pone in esecuzione il programma e, sulla base dei risultati ottenuti, invia i relativi comandi agli attuatori.

Porte I/O. Permettono il collegamento con il «campo» e cioè con i trasduttori e gli attuatori. Data la modularità di molti PLC, queste porte sono rappresentate da dei moduli (di input e di output), ciascuno dei quali contiene un determinato numero di punti di collegamento raggruppati in una morsetteria; in corrispondenza di ogni morsetto è posto in genere un LED che ne identifica il suo stato (on-off). I vari moduli I/O affluiscono in genere a un rack di espansione che permette di ampliare le potenzialità del dispositivo rispetto a una sua struttura minima di base. I moduli I/O possono essere di tipo logico, numerico o analogico. Quelli di tipo logico possono ad esempio avere 1, 4, 8, 16, 32 ingressi logici.

Unità di programmazione. È un dispositivo esterno al PLC composto da una tastiera e un elemento di visualizzazione (display o monitor) e serve per la programmazione del PLC.

Attraverso delle interfacce il PLC può essere inoltre collegato con varie periferiche:

- dispositivo di simulazione: provvisto di interruttori per simulare gli ingressi e di LED per simulare le uscite, serve per verificare la perfetta funzionalità del programma prima che questo determini malfunzionamenti indesiderati del sistema reale; contribuisce inoltre alla rapida individuazione di un eventuale guasto all'interno del sistema;

to riferimento alle seguenti applicazioni: *comando di un cilindro a semplice effetto, comando di un cilindro a doppio effetto, comando con autoritenuta, comando temporizzato.*

Il *comando di un cilindro a semplice effetto* può essere *diretto* (quando premendo un pulsante si eccita direttamente la bobina dell'elettrovalvola) o *indiretto* (quando l'eccitazione della bobina avviene tramite relè pilota).

Per il *comando di un cilindro a doppio effetto* rimangono valide le stesse considerazioni.

Il *comando con autoritenuta* prevede la pressione di un pulsante di avvio per avviare la corsa di andata e di un pulsante di stop per avviare la corsa di ritorno; il comando è indiretto tramite relè pilota; il contatto di autoritenuta viene posto in parallelo al pulsante di avvio.

Il *comando temporizzato* ha lo scopo di creare un *ritardo intenzionale* nell'esecuzione di una determinata azione (ad esempio la corsa di un cilindro) a seguito di un comando (ad esempio la pressione di un pulsante); per queste applicazioni possono essere utilizzati relè temporizzatori con ritardo all'eccitazione e alla diseccitazione.

17. SEQUENZE CICLICHE

In fig. 42.45 viene riprodotto lo schema elettropneumatico per il comando di due cilindri a doppio effetto che funzionino seguendo il ciclo A+/A- semiautomatico e automatico.

Il cilindro A funziona rispettando un ciclo semiautomatico; premendo il pulsante PA viene avviato il ciclo in quanto l'eccitazione della bobina A+ dell'elettrovalvola porta il cilindro a fine corsa; raggiunta questa posizione il contatto di FCA+ si chiude eccitando la bobina A- con conseguente ritorno del cilindro a inizio corsa. Il cilindro B funziona rispettando un ciclo automatico; premendo il pulsante PB viene avviato il ciclo automatico in quanto l'eccitazione della bobina RA del relè ausiliario determina la chiusura dei contatti aperti del medesimo e la conseguente eccitazione della bobina dell'elettrovalvola B+ che porta il cilindro a fine corsa; questo funzionamento è possibile perché, anche se il contatto del finecorsa B- viene rappresentato aperto, in realtà è chiuso quando il cilindro si trova a inizio corsa; tale contatto consente quindi il passaggio di corrente; raggiunta la posizione di fine corsa la chiusura del contatto

aperto del finecorsa B+ determina l'eccitazione della bobina dell'elettrovalvola B- e il conseguente rientro del cilindro; l'operazione si ripete ciclicamente in quanto la richiusura del contatto di B- quando il cilindro ritorna a inizio corsa determina nuovamente l'uscita del cilindro; il ciclo si interrompe premendo il pulsante PBS.

18. ARRESTO DI EMERGENZA

In fig. 42.46 viene riportato un esempio di schema elettropneumatico che prevede l'impiego dell'arresto di emergenza.

Il funzionamento viene di seguito descritto. La corsa positiva ha inizio per entrambi i cilindri con la pressione del pulsante di avvio PA che eccita la bobina del relè temporizzatore T1 ritardato alla diseccitazione; trascorso il tempo di conteggio, se non si interviene con l'arresto di emergenza, entrambi i cilindri rientrano (quello a semplice effetto per la presenza della molla, quello a doppio effetto per la presenza del contatto FCA+ che chiudendosi attiva la bobina B-); se si interviene con l'arresto di emergenza AE mentre i cilindri sono usciti il cilindro a semplice effetto rientra immediatamente per la presenza della molla, quello a doppio effetto mantiene la posizione perché la bobina B- non può più essere attivata.

Parte 5 Principi generali di oleoidraulica

19. FLUIDI IDRAULICI

19.1. Introduzione

Il sistema di trasmissione oleoidraulico utilizza come sorgente di energia per la trasmissione e l'azionamento di potenza quella contenuta in un fluido in pressione, comunemente chiamato *oleoidraulico*, per distinguerlo dall'acqua, e costituito generalmente da olio minerale o sintetico di determinate caratteristiche.

Lo schema a blocchi di un impianto oleoidraulico viene riportato in fig. 42.47

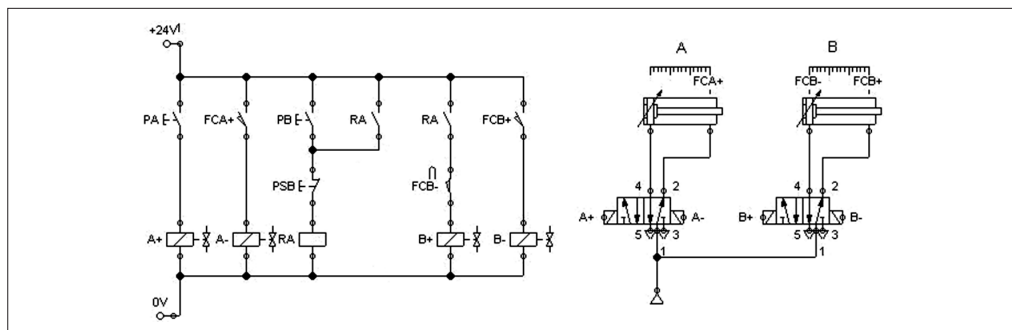


FIGURA 42.45 Schema elettropneumatico dell'azionamento relativo al ciclo A+/A-

- secondario, 159
- spin, 164
- relativi, rappresentazione nel sistema binario, 870
- con modulo e segno, 870
- in complemento a 1, 871
- in complemento a 2, 871
- binari negativi, 871
- binari positivi, 871
- NVRAM** (*Non Volatile RAM*), 856
- Nyquist**
- criterio di, 1721
- punto critico, 1721
- semplificato, 1721
- diagrammi di, 1714

O

OEM (*Original Equipment Manufacturer*), 216

Oggetto di un contratto, 324

Ohm

- leggi di, 142, 588
- per i circuiti induttivi in regime variabile, 619
- per un bipolo passivo RLC serie, 631
- prima legge, 142
- seconda legge, 143

Oleoidraulica, 1838

Oligopolio, 317

Olio, 1506, 1839

- minerale, 1839

Omron, 1804

- cablaggio, 1805
- caricamento, 1807
- compilazione, 1807
- installazione, 1804
- montaggio, 1804
- programmazione, 1806
- salvataggio, 1807
- serie CP SYSMAC, 1804
- simulazione, 1807

Onda/e, 154

- acustiche, 158
- battimento/i, 157
- frequenza di, 157
- densità media di energia, 156
- di pressione in un gas, 156
- effetto Doppler, 157
- elettromagnetiche nel vuoto, 156
- energia trasportata, 156
- fronte d', 151
- intensità dell', 156
- interferenza, 152, 156
- costruttiva, 156
- nodi, 156
- ventri, 156
- distruttiva, 156
- longitudinali, 155
- nei liquidi, 156
- lunghessa d', 155
- meccaniche in una sbarra, 155
- non polarizzata, 155
- piana, 154
- sinusoidale, 155
- piano di polarizzazione, 155
- polarizzata linearmente, 155

- polarizzazione circolare, 155
- polarizzazione ellittica, 155
- riflessa, 147
- rifratta, 147
- risonanza, 157
- sferiche sinusoidali, 155
- sonore, 157
- infrasuoni, 158
- soglia del dolore, 158
- soglia di udibilità, 158
- ultrasuoni, 158
- velocità, 158
- sorgenti coerenti, 156
- stazionarie, 156
- armoniche superiori, 157
- frequenza fondamentale, 157
- modi normali di vibrazione, 157
- trasversali, 155
- in corde, 155
- velocità di propagazione, 155

Ondametro eterodina, 705

Open drain, 865

Operatore vettoriale, 629

Operatori economici, 315

Operazioni booleane elementari, 875

- logiche, 11, 880
- nel sistema binario, 871
- prodotto logico (AND), 876
- segazione o complemento (NOT), 876
- somma logica (OR), 875
- tra, 57
- universali, 880

Opere

- di presa
- a pelo libero, 1586
- in pressione, 1586
- di sbarramento, 1585
- dighe di ritenuta in calcestruzzo, 1585
- a gravità, 1585
- ad arco, 1585
- in materiali sciolti, 1586
- traverse e paratoie, 1585
- di derivazione o paratoie mobili, 1585

Optoisolatori, 1777, 1778

OR (operazione logica), 11, 804, 1833

- esclusivo (XOR), 12, 804

Orbitali

- atomici, 159
- numeri quantici, 159
- principio di esclusione di Pauli, 164

Ordine di grandezza, 588

Organi di trasmissione, 1864

Organigramma, 322

Organismi paritetici, 333

Organizzazione, 318

- del lavoro nell'impresa, 321
- dell'impresa, 318, 321
- di un disegno, 295
- funzionale nell'impresa, 321
- gerarchica nell'impresa, 321
- mista nell'impresa, 322

Organo

- deliberativo, di una S.p.a., 320
- di controllo, di una S.p.a., 320

Oro (Au), 193

Oscillatore, 796

- a ponte di Wien, 797
- a quarzo, 798
- capacità di carico, 798
- overtone, 798
- parametri mozionali, 798
- a sfasamento, 797
- con rete di sfasamento 12R, 797
- a T-pontato, 797
- condizioni di oscillazione, 796
- criterio di
- Armstrong, 797
- Barkhausen, 797
- Colpitts, 797
- Hartley, 797
- per alta frequenza, 797

Oscillazioni

- permanenti, 1703

- smorzate, 1703

Oscillografo, 705

Oscilloscopio

- analogico, 721
- sonde, 724
- visualizzazione alternate mode, 722
- visualizzazione chopped mode, 722
- digitale, 722
- sonde, 724

Ossidazione, 1841

Ossidoriduzione, reazione, 182

Ossigeno (O), 191

Ottica, 147

- caratteristiche della radiazione luminosa, 147
- indice di rifrazione assoluto del mezzo, 147
- velocità della luce, 147
- in un mezzo materiale, 147
- nel vuoto, 147
- fisica, 151
- diffrazione, 152
- interferenza, 152
- anelli di Newton, 152
- esperienza di Young, 152
- nelle lamine sottili, 152
- principio di Huygens-Fresnel, 151
- fotoni, 147
- geometrica, 147
- angolo di incidenza, 148
- angolo di riflessione, 148
- angolo di rifrazione, 148
- angolo limite, 148
- diotro sferico, 150
- onda riflessa, 147
- onda rifratta, 147
- riflessione, 147
- totale, 148
- rifrazione, 147
- specchio
- piano, 148
- sferico, 149
- spettro elettromagnetico, 147
- teoria elettromagnetica, 147
- costante dielettrica, 156
- permeabilità magnetica, 156

Ottoni, 386

- comuni, 387

Consentito durante la prova di esame, indispensabile per la preparazione!

La quarta edizione del Manuale Cremonese di **Elettrotecnica** è stata profondamente rivista e aggiornata per rispondere alle esigenze didattiche dei Nuovi Istituti Tecnici, in particolare per l'indirizzo di *Elettrotecnica ed Elettronica* nell'articolazione *Elettrotecnica* e nell'articolazione *Automazione*.

In un solo volume sono raccolte le **discipline propedeutiche** (che trattano argomenti già acquisiti, ma che sono qui riproposti nelle linee essenziali per consentire sempre allo studente una agevole consultazione) e le **trattazioni specialistiche**. Il volume affronta non solo gli argomenti tradizionali del corso di elettrotecnica (macchine elettriche, motori a commutazione elettronica, impianti, illuminotecnica), ma anche automazione e azionamenti, fornendo inoltre indispensabili nozioni di elettronica di base.

Un manuale completo che accompagna lo studente durante lo studio fino all'Esame di Stato, ed è di efficace consultazione anche per il professionista grazie al ricco *indice analitico*: si spazia da discipline fondamentali quali la *fisica* e la *matematica* a specifici approfondimenti (*statistica*, *matematica finanziaria*) sino ad argomenti di stringente attualità, come il software per l'*automazione industriale*, la piattaforma *Arduino*, l'*impatto ambientale* e lo *smaltimento rifiuti*, la *qualità* e la *sicurezza nei luoghi di lavoro*.

Nella collana dei **Manuali Cremonese Zanichelli**:
Elettronica, Meccanica, Elettrotecnica, Informatica e Telecomunicazioni,
Geometra – Costruzione, Ambiente e Territorio

<http://dizionario.zanichelli.it/cremonese>

MAN CREMONESE*ELETTROTECNICA 4E(CR)

