

manuale cremonese

MECCANICA

Quarta edizione

Per i Nuovi Tecnici a indirizzo
Meccanica, Meccatronica ed Energia

- DISCIPLINE PROPEDEUTICHE
- MECCANICA
- ENERGIA
- MECCATRONICA

ZANICHELLI

PREFAZIONE

La quarta edizione del manuale Cremonese di **Meccanica** è stata rivista e aggiornata per rispondere alle esigenze didattiche dei Nuovi Istituti Tecnici, in particolare per l'indirizzo di Meccanica, Meccatronica e Energia nell'articolazione Meccanica, Meccatronica e nell'articolazione Energia.

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 **Meccanica** aggiornando e rendendo più fruibile la consultazione e più didattica la trattazione di molti capitoli, inserendo nuovi disegni, tabelle e un approfondimento sulla *Prototipazione rapida*, argomento oggi di forte attualità. Particolare cura è stata rivolta alla sezione di **Energia**: sono stati aggiunti nuovi capitoli sugli Impianti termotecnici, indispensabili per un tema d'esame di argomento energetico. È stata creata una specifica sezione di **Meccatronica** con i fondamentali riferimenti di base di elettrotecnica e di elettronica e l'ampliamento della trattazione relativa alla automazione.

L'editore desidera ringraziare i curatori scientifici e didattici della collana: 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 per i Nuovi Tecnici; *Giovanni Naldi* per la supervisione scientifica e il controllo dell'aggiornamento. Per questo volume desidera inoltre ringraziare *Marco Poggi* e *Monica Carfagni* per la cura scientifica della parte specialistica; *Alessandro Zanco* e *Carlo Scardazzi* per la cura didattica.

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

ABBATE DAGA ANGELO *Circuiti e impianti pneumatici e oleoidraulici*

ANGELETTI LAURA *Disegno tecnico*

ARNONE ANDREA *Compressori e ventilatori • Turbine a gas*

BACCI TIBERIO *Materiali metallici • Materiali ceramici • Materiali compositi*

BANDINI MASSIMILIANO *Sicurezza nei luoghi di lavoro: strumenti e metodi per l'analisi e la valutazione dei rischi*

BARONCELLI MARCO *Sensori e circuiti applicativi*

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

BIDINI GIANNI *Motori endotermici alternativi*

BISENZI LINO *Metrologia d'officina*

BOCCHINI GIAN FILIPPO *Materiali metallici sinterizzati*

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

BORCHI EMILIO *Fisica*

CABRUCCI ANDREA *Unità di misura*

CAMPATELLI GIANNI *Lavorazioni per asportazione di truciolo*

CAPURRO EUGENIO *Prove non distruttive*

CARCASCI CARLO *Impianti a vapore • Generatori di vapore*

CARFAGNI MONICA *Disegno tecnico • Autocad 2D • Autocad 3D • Prototipazione rapida • Disegno e progettazione di macchine*

CARRARA GIANFRANCO *Disegno tecnico*

CASCINI GAETANO *Brevetti d'invenzione*

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 • Nanotecnologie e materiali a memoria di forma*

DAPPORTO PAOLO *Chimica*

DE CARLO FILIPPO *Impianti termotecnici • Sistemi di diffusione dell'aria • Impianti di climatizzazione • Caldaie ad acqua calda*

DEL ROSS SERGIO *Lubrificazione*

DE LUCIA MAURIZIO *Macchine idrauliche • Misure nelle macchine*

DESIDERI UMBERTO *Condensatori*

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

FACCHINI BRUNO *Impianti a vapore • Impianti turbogas • Camere di combustione*

FAMBRI LUCA *Materie plastiche ed elastomeri*

FERRARA GIOVANNI *Motori endotermici alternativi*

FERRARI LORENZO *Cogenerazione*

FERRARIO MARCO LINO *Tecnologie informatiche*

FERRI RENATO *Fonderia • Metrologia d'officina*

FURFERI ROCCO *Disegno e progettazione di macchine*

GALVANETTO EMANUELE *Processi di modifica superficiale*

GHERSI RENATO *Lavorazioni plastiche*

GIANOGGIO CARLO *Materiali metallici*

GIORGETTI ALESSANDRO *Qualità nel contesto industriale • Nanotecnologie e materiali a memoria di forma*

GRASSO FRANCESCO *Energie rinnovabili • Risparmio ed efficienza energetica*

GRAZZINI GIUSEPPE *Fisica tecnica*

GREGORIO STEFANO *Saldatura*

GUIDI PAOLO *Principi di economia e matematica finanziaria • Disegno elettrico ed elettronico • Sistemi di acquisizione, elaborazione e distribuzione dati • Sistemi di controllo analogici e digitali • Impianti per l'automazione industriale • Controllori logici programmabili (PLC) • Circuiti e impianti pneumatici e oleoidraulici • Fondamenti di robotica*

GUSMANO GUALTIERO *Scienza dei materiali*

LAFFI MARIA CRISTINA *Disegno tecnico*

LAMBORGHINI STEFANO *Disegno tecnico*

LANDI NEDO *Controllori logici programmabili (PLC)*

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

LISINI GIOVAN GUALBERTO *Meccanica applicata*

LORUSSO NICOLA *Sistemi di acquisizione, elaborazione e distribuzione dati*

LUCHETTI TOMMASO *Nanotecnologie e materiali a memoria di forma*

MANETTI STEFANO *Elettronica analogica*

MANFRIDA GIAMPAOLO *Generatori di vapore*

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

MARCONCINI MICHELE *Turbine a gas*

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

MARIOTTI ALBERTO *Controllori logici programmabili (PLC)*

MARTELLI FRANCESCO *Turbine a vapore • Camere di combustione*

MARTINI PIETRO *Convertitori statici • Elettronica analogica*

MAURI PIERFRANCO *Adesivi*

MEI GIANCARLO *Materiali metallici*

MIRANDOLA STEFANO *Elettronica analogica*

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

MONTICELLI MAURIZIO *Energie rinnovabili • Risparmio ed efficienza energetica • Certificazione ed efficienza energetica degli edifici*

NALDI GIOVANNI *Unità di misura*

NERLI GIOVANNI *Disegno e progettazione di macchine*

NESI STEFANIA *Chimica*

PACCIANI ROBERTO *Compressori e ventilatori • Macchine volumetriche*

PAGNOTTA ROMANO *Impatto ambientale*

PALAI MATTEO *Disegno e progettazione di macchine*

PALLANTE PIERO *Fisica*

PAPINI SUSANNA *Regolarità del moto • Lubrificazione*

PARRETTI CHIARA *Qualità nel contesto industriale*

PATELLI STEFANO *Principi di economia e matematica finanziaria*

PERINI SERGIO *Studi di fabbricazione*

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

POGGI MARCO *Metrologia d'officina • Studi di fabbricazione • Disegno e progettazione di macchine • Regolarità del moto*

PRADELLI GIORGIO *Materiali metallici • Materiali ceramici*

PRATESI FRANCO *Metallografia • Materiali metallici*

RAMPUS EMILIO *Materiali metallici*

REALE SERGIO *Prove di materiali metallici • Prove non distruttive*

REATTI ALBERTO *Macchine elettriche*

RINALDI RINALDO *Gestione dei progetti • Gestione del magazzino e delle scorte*

RUPINI LUCIANO *Saldatura*

SAMMARONE SERGIO *Tecnologie industriali: materiali e lavorazioni*

SCIPPA ANTONIO *Lavorazioni per asportazione di truciolo*

TANI GIOVANNI *Studi di fabbricazione*

TESI BALDO *Materiali metallici • Materiali ceramici*

TORTOLI PIERO *Elettronica analogica*

TRABANELLI GIORDANO *Corrosione e protezione dei materiali*

VANGI DARIO *Prove di materiali metallici • Prove non distruttive*

VIGNOLI ANDREA *Scienza delle costruzioni*

VOLPE YARY *Autocad 2D • Autocad 3D*

ZANCO ALESSANDRO *Disegno e progettazione di macchine • Meccanica applicata*

ZONFRILLO GIOVANNI *Fenomeno della fatica • Metallografia • Scienza delle costruzioni*

ZUCCHI FABRIZIO *Corrosione e protezione dei materiali*

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

7.4. Sistemi ibridi	498	5.4. Metodologie di calcolo	560
8. ALLACCIAMENTO ALLA RETE ELETTRICA E MISURA DELL'ENERGIA	498	5.5. Ruolo e competenze del Certificatore energetico ...	561
8.1. Misura dell'energia elettrica prodotta	499	5.6. Validità temporale della certificazione energetica ..	561
17 RISPARMIO ED EFFICIENZA ENERGETICA		5.7. Decorrenze applicative	562
1. INTRODUZIONE	503	5.8. Norme tecniche di riferimento	562
1.1. Il ruolo del risparmio e dell'efficienza energetica	503	6. SOFTWARE DI RIFERIMENTO PER IL CALCOLO ...	563
1.2. La legislazione europea	505	7. PROCEDURA PER IL CALCOLO SEMPLIFICATO CERTIFICAZIONE ENERGETICA	564
1.3. La legislazione finanziaria per il risparmio energetico	505	8. TRASMITTANZA TERMICA COMPONENTI OPACHI E TRASPARENTI	568
1.4. Titoli di efficienza energetica (TEE)	510	8.1. Determinazione semplificata della trasmittanza termica dei componenti opachi in edifici esistenti	568
1.5. Emission Trading e protocollo di Kyoto	512	8.2. Determinazione semplificata della trasmittanza termica dei componenti trasparenti	570
2. CONTRATTI DI SERVIZIO ENERGIA E RUOLO DELL'ENERGY MANAGER	513	9. PONTI TERMICI E SCAMBIO TERMICO VERSO AMBIENTI NON CLIMATIZZATI E VERSO IL TERRENO	571
2.1. Contratto di servizio energia	513	10. DETERMINAZIONE DEI RENDIMENTI DEGLI IMPIANTI	572
2.2. Ruolo dell'energy manager	513		
3. SISTEMI DI COGENERAZIONE E RECUPERO DEL CALORE	514		
3.1. Descrizione generale dei sistemi cogenerativi	514		
3.2. Funzionamento e vantaggi della cogenerazione ...	514		
3.3. Tipologie impiantistiche di cogenerazione	515		
3.4. Recupero del calore in energia elettrica	516		
3.5. Recupero del calore in energia frigorifera	516		
4. RISPARMIO ED EFFICIENZA ENERGETICA NEI SISTEMI DI RISCALDAMENTO E CONDIZIONAMENTO DEGLI AMBIENTI	518		
4.1. Sistemi di riscaldamento e di condizionamento ...	518		
4.2. I combustibili	519		
4.3. Generatori di energia termica	519		
4.4. Elementi radianti/diffondenti	523		
4.5. Controllo, regolazione e contabilizzazione	524		
5. RISPARMIO ED ETICHETTATURA ENERGETICA DEGLI ELETTRODOMESTICI	526		
6. RISPARMIO ED EFFICIENZA ENERGETICA NELL'ILLUMINAZIONE	527		
6.1. Energia ed efficienza luminosa	527		
6.2. Sorgenti di luce tradizionali e a LED	528		
6.3. La tecnologia LED: principio di funzionamento e criticità	528		
18 CERTIFICAZIONE ED EFFICIENZA ENERGETICA DEGLI EDIFICI			
1. INTRODUZIONE	533		
2. DEFINIZIONI	534		
2.1. Definizioni e indirizzi generali	534		
2.2. Parametri ed elementi per i calcoli	535		
2.3. Tipologia di interventi	536		
2.4. Altre definizioni	536		
3. RENDIMENTO ENERGETICO IN EDILIZIA, AMBITI DI INTERVENTO, FINALITÀ E MODALITÀ OPERATIVE	537		
4. CRITERI GENERALI E REQUISITI DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE DEGLI EDIFICI E DEGLI IMPIANTI	537		
4.1. Verifiche ed obblighi previsti sulla base del tipo di intervento e della categoria dell'edificio	537		
4.2. Calcolo della trasmittanza termica	537		
4.3. Obbligo di integrazione delle fonti rinnovabili	552		
5. CERTIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI ...	556		
5.1. Introduzione	556		
5.2. Finalità e campo di applicazione del Sistema nazionale di certificazione degli edifici	560		
5.3. Prestazione e classi energetiche degli edifici	560		
		19 AUTOCAD 3D	
		1. INTRODUZIONE	579
		2. AREA DI LAVORO	580
		3. CREARE MODELLI SOLIDI	580
		3.1. Sistema di Coordinate Utente	580
		3.2. Creare le entità di base	581
		3.3. Combinare le entità di base	581
		3.4. I principali comandi di modifica	585
		4. STRUMENTI PER LA VISUALIZZAZIONE 3D	587
		20 GESTIONE DEI PROGETTI	
		1. INTRODUZIONE	589
		2. APPROCCIO SISTEMICO AL PM	589
		3. TECNICHE RETICOLARI E LA GESTIONE DELLA VARIABILE TEMPO NEI PROGETTI	591
		4. GESTIONE DELLA VARIABILE RISORSE NEI PROGETTI	594
		5. GESTIONE DELLA VARIABILE COSTO NEI PROGETTI	594
		21 LA GESTIONE DEL MAGAZZINO E DELLE SCORTE	
		1. INTRODUZIONE	597
		2. LOTTO ECONOMICO DI ACQUISTO E DI PRODUZIONE	597
		3. PUNTO DI RIORDINO E LE SCORTE DI SICUREZZA	598
		22 BREVETTI D'INVENZIONE	
		1. DEFINIZIONI	601
		2. BREVETTI D'INVENZIONE E DIRITTI	601
		2.1. Validità di un brevetto	602
		2.2. Invenzione di lavoratore dipendente	602
		2.3. Segreto industriale	602
		3. CRITERI DI BREVETTABILITÀ	603
		3.1. Novità	603
		3.2. Attività inventiva	603
		3.3. Industrialità e liceità	603
		3.4. Sufficienza della descrizione	603
		3.5. Invenzioni derivate	603
		4. CLASSI BREVETTUALI	604

MECCANICA

4.1. La classificazione Internazionale IPC.....	604	2.1. Microscopio elettronico a scansione.....	657
4.2. Le classificazioni ECLA, USPC e FI.....	604	2.2. Microscopio elettronico in trasmissione.....	658
5. STRUTTURA DI UN DOCUMENTO BREVETTUALE.....	605	3. ALTRE MICROSCOPIE.....	658
5.1. La prima pagina.....	607	3.1. Microscopia a emissione di campo e sviluppi.....	658
5.2. La descrizione e i disegni.....	609	3.2. Nuove microscopie.....	658
5.3. Le rivendicazioni.....	609	26 CORROSIONE E PROTEZIONE DEI MATERIALI	
6. ITER DI PRESENTAZIONE DI UNA DOMANDA DI BREVETTO.....	609	1. CORROSIONE.....	659
6.1. La domanda di brevetto in Italia.....	609	1.1. Corrosione a umido.....	659
6.2. La convenzione di Parigi.....	609	1.2. Corrosione a secco.....	664
6.3. Il Brevetto Europeo.....	610	2. PROTEZIONE DEI METALLI DALLA CORROSIONE.....	664
6.4. La procedura PCT.....	611	2.1. Prevenzione mediante modifiche superficiali del materiale metallico.....	664
7. DATABASE ONLINE E SITI WEB DI RIFERIMENTO.....	611	2.2. Rivestimenti metallici.....	665
7.1. Espacenet.....	611	2.3. Strati di conversione.....	665
7.2. PatentScope.....	611	2.4. Pitture e vernici.....	665
7.3. USPTO.....	611	3. PREVENZIONE MEDIANTE DIMINUZIONE DELLE CARATTERISTICHE DI AGGRESSIVITÀ DELL'AMBIENTE.....	665
7.4. DEPATISNET.....	611	4. PROTEZIONE ELETTRICA.....	666
7.5. Google Patent.....	611	27 PROCESSI DI MODIFICA SUPERFICIALE	
MATERIALI			
23 SCIENZA DEI MATERIALI		1. INTRODUZIONE.....	667
1. DEFINIZIONI.....	613	2. PRINCIPALI PROCESSI DI RIVESTIMENTO.....	667
2. STRUTTURA DEI SOLIDI.....	613	2.1. Processo CVD.....	667
2.1. Ordine e disordine.....	613	2.2. Processo PVD.....	668
2.2. Strutture ordinate.....	614	2.3. Scarica ionica.....	670
2.3. Struttura cristallina dei materiali metallici.....	616	2.4. Rivestimenti galvanici e simili.....	670
2.4. Struttura cristallina dei materiali inorganici non metallici.....	617	28 MATERIALI METALLICI	
3. DIFETTI DELLA STRUTTURA CRISTALLINA.....	619	<i>PARTE I – FERRO-LEGHE.....</i>	671
3.1. Difetti di punto.....	619	1. PROPRIETÀ FISICHE DEL FERRO.....	671
3.2. Difetti di linea: dislocazioni.....	620	2. SISTEMA FERRO-CARBONIO.....	673
3.3. Difetti di superficie: bordi di grano.....	621	2.1. Strutture di equilibrio.....	673
4. DIAGRAMMI DI STATO.....	622	2.2. Strutture di non equilibrio.....	674
4.1. Sistemi a un componente.....	622	2.3. Trasformazioni isoterme dell'austenite.....	675
4.2. Sistemi a due componenti.....	622	2.4. Trasformazioni anisoterme dell'austenite.....	676
4.3. Trasformazioni in condizioni di non equilibrio.....	627	2.5. Strutture di rinvenimento della martensite.....	677
4.4. Analisi termica.....	628	3. INFLUENZA DEGLI ELEMENTI DI LEGA SULLE STRUTTURE E PROPRIETÀ DEL SISTEMA FERRO-CARBURIO.....	679
5. TRASFORMAZIONI DI FASE GOVERNATE DALLA DIFFUSIONE.....	629	3.1. Nozioni fondamentali sugli acciai legati.....	679
5.1. Diffusione.....	629	4. CLASSIFICAZIONE UNI DEGLI ACCIAI.....	680
5.2. Solidificazione.....	629	5. TRATTAMENTI TERMICI DEGLI ACCIAI.....	682
5.3. Trasformazioni allo stato solido.....	631	5.1. Ricottura.....	682
6. CURVE TTT.....	631	5.2. Tempra.....	683
6.1. Trasformazioni senza diffusione.....	632	5.3. Temprabilità e sua misura.....	685
24 IL FENOMENO DELLA FATICA		5.4. Rinvenimento.....	686
1. SOLLECITAZIONI ALTERNATE NEGLI ELEMENTI DELLE MACCHINE.....	633	5.5. Trasformazione dell'austenite ritenuta.....	687
2. NATURA DEL FENOMENO DELLA FATICA.....	633	5.6. Indurimento per precipitazione.....	688
3. PROVE DI FATICA E PRESENTAZIONE DEI RISULTATI.....	634	5.7. Trattamenti termomeccanici.....	688
4. CONCENTRAZIONE DELLE TENSIONI E SENSIBILITÀ ALL'INTAGLIO.....	637	5.8. Trattamenti di superficie degli acciai.....	688
5. FATTORI CHE INFLUENZANO LA RESISTENZA A FATICA.....	651	6. ACCIAI DA COSTRUZIONE.....	691
6. VERIFICHE DI RESISTENZA A FATICA.....	652	6.1. Acciai di uso generale.....	691
6.1. Sollecitazioni monoassiali alternate simmetriche.....	652	6.2. Acciai di base.....	691
6.2. Sollecitazioni monoassiali generiche.....	652	6.3. Acciai di qualità.....	691
6.3. Sollecitazioni pluriassiali.....	652	6.4. Acciai per applicazioni meccaniche.....	692
6.4. Verifica con più livelli di sollecitazione.....	653	7. ACCIAI DA UTENSILI.....	692
25 METALLOGRAFIA		7.1. Utensili per lavorazioni con asportazione di truciolo.....	694
1. MICROSCOPIA OTTICA.....	655	7.2. Acciai per lavorazioni a freddo.....	694
2. MICROSCOPIA ELETTRONICA.....	657	7.3. Acciai per lavorazioni a caldo.....	694
		8. ACCIAI RESISTENTI ALLA CORROSIONE.....	694
		8.1. Acciai inossidabili martensitici.....	695

8.2. Acciai inossidabili ferritici.....	695	30 MATERIALI CERAMICI	
8.3. Acciai inossidabili semiferritici.....	695	1. INTRODUZIONE.....	735
8.4. Acciai inossidabili austenitici.....	696	2. MATERIE PRIME E TECNOLOGIA DI	
8.5. Acciai inossidabili indurenti per precipitazione....	696	FABBRICAZIONE.....	736
9. GHISE.....	696	2.1. Materie prime.....	736
9.1. Ghise bianche.....	697	2.2. Confezionamento degli impasti.....	737
9.2. Ghise grigie.....	698	2.3. Preparazione delle materie prime.....	737
9.3. Ghise sferoidali.....	699	2.4. Formatura.....	737
9.4. Ghisa malleabile.....	700	2.5. Essiccamento.....	737
PARTE 2 – SIDERURGIA	701	2.6. Smaltatura.....	737
10. L'INDUSTRIA SIDERURGICA.....	701	2.7. Cottura.....	737
11. MINERALI DI FERRO.....	701	3. LATERIZI.....	737
12. L'ALTOFORNO.....	702	4. PIASTRELLE CERAMICHE.....	737
13. SPUGNA DI FERRO E PRERIDOTTI.....	704	5. REFRATTARI.....	738
14. PRODUZIONE DELL'ACCIAIO.....	704	6. CERAMICHE TECNICHE.....	738
14.1. Forno elettrico.....	705	7. CERAMICI AVANZATI.....	739
15. COLATA E SOLIDIFICAZIONE.....	705	8. VETRI.....	740
PARTE 3 – ALTRI MATERIALI METALLICI	707	8.1. Introduzione.....	740
16. ALLUMINIO E SUE LEGHE.....	707	8.2. Struttura dei vetri.....	740
16.1. Metallurgia.....	707	8.3. Composizione dei vetri.....	740
16.2. Leghe di alluminio.....	708	8.4. Proprietà del vetro.....	740
17. RAME E SUE LEGHE.....	711	8.5. Vetri di sicurezza.....	741
17.1. Caratteristiche.....	711	31 MATERIE PLASTICHE ED ELASTOMERI	
17.2. Rame primario e grezzo.....	712	1. PARTE GENERALE.....	743
17.3. Leghe di rame.....	712	1.1. Polimeri.....	743
17.4. Trattamenti termici del rame e sue leghe.....	714	1.2. Peso molecolare e grado di polimerizzazione....	744
18. MAGNESIO E SUE LEGHE.....	717	1.3. Classificazione dei polimeri.....	745
18.1. Caratteristiche.....	717	1.4. Processi di polimerizzazione.....	746
18.2. Metallurgia.....	717	1.5. Nomenclatura dei polimeri.....	748
18.3. Raffinazione.....	718	1.6. Copolimerizzazione.....	749
18.4. Leghe di magnesio.....	718	1.7. Tecnologie di polimerizzazione.....	750
19. TITANIO E SUE LEGHE.....	719	1.8. Conformazione delle catene polimeriche.....	751
19.1. Caratteristiche.....	719	1.9. Configurazione delle catene polimeriche.....	752
19.2. Metallurgia.....	719	1.10. Cristallinità nei polimeri.....	752
19.3. Leghe di titanio.....	720	1.11. Temperatura di transizione vetrosa.....	754
20. NICHEL E SUE LEGHE.....	721	2. PROCEDIMENTI DI LAVORAZIONE.....	755
20.1. Caratteristiche.....	721	2.1. Introduzione.....	755
20.2. Metallurgia.....	721	2.2. Cariche e additivi per polimeri.....	755
20.3. Leghe di nichel.....	721	2.3. Lavorazione dei polimeri termoplastici.....	756
21. LEGHE PER ALTA TEMPERATURA.....	722	2.4. Lavorazione dei polimeri termoindurenti.....	757
21.1. Generalità, criteri di scelta e di preparazione.....	722	2.5. Lavorazione degli elastomeri.....	758
21.2. Sviluppi degli acciai inossidabili austenitici.....	723	3. PROPRIETÀ TERMICHE.....	759
21.3. Superleghe a base nichel.....	723	4. PROPRIETÀ MECCANICHE.....	762
21.4. Superleghe a base cobalto.....	724	5. PROPRIETÀ ELETTRICHE.....	764
21.5. Altre leghe per alta temperatura.....	724	32 MATERIALI COMPOSITI	
29 MATERIALI METALLICI SINTERIZZATI		1. INTRODUZIONE.....	767
1. GENERALITÀ E DEFINIZIONE.....	725	2. MATERIALI DI RINFORZO.....	767
2. MOTIVAZIONI DELLE APPLICAZIONI		2.1. Fibre di vetro.....	767
INDUSTRIALI DELLA MDP.....	725	2.2. Fibre di carbonio.....	767
3. CLASSI DI PRODOTTI.....	725	2.3. Fibre aramidiche.....	768
4. COMPONENTI MECCANICI.....	726	2.4. Altri tipi di rinforzo.....	768
5. PROPRIETÀ FISICO-MECCANICHE DEI		3. MATERIALI PER MATRICI.....	768
MATERIALI SINTERIZZATI.....	730	3.1. Resine poliestere.....	768
6. MICROSTRUTTURE TIPICHE DEI MATERIALI		3.2. Resine epossidiche.....	769
SINTERIZZATI.....	731	3.3. Altri tipi di resine.....	769
7. METODI DI CONTROLLO DELLE		4. PROPRIETÀ DEI MATERIALI COMPOSITI.....	769
CARATTERISTICHE DEI MATERIALI		4.1. Analisi di compositi a fibre continue e	
SINTERIZZATI.....	732	parallele.....	769
8. TRATTAMENTI TERMICI DEGLI ACCIAI		4.2. Analisi di compositi a fibre continue con	
SINTERIZZATI.....	733	orientazione random.....	770
9. LAVORAZIONI MECCANICHE DEI MATERIALI		4.3. Analisi di compositi a fibre corte.....	770
SINTERIZZATI.....	734		

33 NANOTECNOLOGIE E MATERIALI A MEMORIA DI FORMA

1. MATERIALI A MEMORIA DI FORMA 771

1.1. Introduzione e background storico 771

1.2. Come funziona la trasformazione martensitica 771

1.3. Fenomeni collaterali e temperature caratteristiche 773

1.4. Memoria di forma a una via (OWSME) 773

1.5. Memoria di forma a due vie (TWSME) 773

1.6. Gli attuatori a memoria di forma 774

2. NANOTECNOLOGIA 774

2.1. Introduzione 774

2.2. Classificazione dei nanomateriali 775

2.3. Progettazione e sintesi di materiali su scala nanometrica 775

2.4. Le proprietà dei nano materiali 775

2.5. Nanomateriali e sicurezza 776

34 ADESIVI

1. ADESIVI E SIGILLANTI 777

1.1. Cos'è un adesivo 777

1.2. Caratteristiche delle giunzioni incollate 777

1.3. Il giunto incollato 778

2. PROGETTAZIONE DI UN GIUNTO INCOLLATO 778

3. CLASSIFICAZIONE DEGLI ADESIVI 780

3.1. Semplici informazioni sulle principali famiglie di adesivi 781

4. CALCOLO DELLA COPPIA DI TRASMISSIONE DI UN ORGANO DI TRASMISSIONE INCOLLATO 786

4.1. Bloccaggio delle parti cilindriche 786

4.2. Come si progetta un giunto incollato 787

4.3. Il progetto in dettaglio 788

4.4. Come si realizzano questi tipi di collegamenti 788

4.5. Stima della resistenza dei giunti incollati: uso del RetCalc 789

5. CALCOLO DELL'INCREMENTO DI COPPIA IN UN CLASSICO GIUNTO PER ATTRITO 791

5.1. Introduzione ai giunti flangiati 791

5.2. Progettare con gli adesivi 792

6. PROGETTAZIONE DI UN GIUNTO STRUTTURALE 793

6.1. Considerazioni per una corretta progettazione di un giunto con adesivo 793

6.2. Progetto di un giunto incollato 793

6.3. Incollare materiali plastici 794

6.4. Il JointCalc 796

35 PROVE DI MATERIALI METALLICI

1. GENERALITÀ 799

2. PROVA DI TRAZIONE (UNI EN ISO 6892) 799

3. PROVA DI COMPRESIONE (UNI 558) 800

4. PROVA DI FLESSIONE 801

5. PROVA DI PIEGAMENTO (UNI EN ISO 7438) 801

6. PROVE DI DUREZZA 801

6.1. Prove di durezza Brinell (UNI EN ISO 6506) 801

6.2. Prova di durezza Rockwell (UNI EN ISO 6508-1) 802

6.3. Prova di durezza Vickers (UNI EN ISO 6507) 802

7. PROVE DI RESILIENZA (UNI EN ISO 148-1) 803

8. PROVE DI SCORRIMENTO A TEMPERATURE ELEVATE (UNI 5111) 803

9. PROVE MECCANICHE SU PRODOTTI IN ACCIAIO 804

36 PROVE NON DISTRUTTIVE

1. GENERALITÀ 805

1.1. Difetti nei materiali metallici 805

1.2. Scopo delle prove non distruttive 805

1.3. Le prove non distruttive 806

2. METODO RADIOGRAFICO 807

2.1. Tecniche di applicazione 807

2.2. Campo di applicazione 809

2.3. Normativa 809

3. METODO ULTRASONORO 809

3.1. Tecniche di applicazione 809

3.2. Campo di applicazione 809

3.3. Normativa 810

4. METODO MAGNETOSCOPICO 810

4.1. Tecniche di impiego 810

4.2. Campo di applicazione 811

5. METODO DEI LIQUIDI PENETRANTI 811

5.1. Tecniche di impiego 811

5.2. Campo di applicazione 812

6. METODO DELLE CORRENTI INDOTTE 812

6.1. Tecniche di applicazione 812

6.2. Campo di applicazione 813

7. PROVE DI TENUTA E METODI PER LA RILEVAZIONE DI FUGHE 813

7.1. Prova di tenuta mediante emissione di bolle 813

7.2. Prova di tenuta mediante variazione di pressione 814

7.3. Prova di tenuta mediante diodo ad alogeni 814

7.4. Prova di tenuta mediante spettrometro di massa 814

8. CONTROLLO MEDIANTE ESTENSIMETRI ELETTRICI A RESISTENZA 814

8.1. Tecniche di applicazione 815

8.2. Campo di applicazione 816

8.3. Normativa 817

9. CERTIFICAZIONE DEL PERSONALE ADDETTO ALLE PROVE NON DISTRUTTIVE 817

TECNOLOGIA MECCANICA

37 FONDERIA

1. CRITERI E NOZIONI FONDAMENTALI 819

1.1. Modelli 819

1.2. Materiali di formatura (forme e anime) 820

1.3. Sabbie prerivestite shell-moulding e shell-core 822

1.4. Processo silicato (CO₂) 822

1.5. Processo sabbia-cemento (leganti idraulici) 824

1.6. Cold box 824

1.7. Tolleranze dimensionali per getti 824

2. FONDERIA DELLA GHISA 824

2.1. Calcolo delle cariche ed esempio analitico 827

2.2. Coke e castina 828

2.3. Caratteristiche tecnologiche 828

2.4. Ghise debolmente legate 829

2.5. Sistemi di colata, getti in ghisa grigia a grafite lamellare 829

2.6. Alimentazione ed elementi per la definizione di una materozza 833

2.7. Ghise sferoidali 835

2.8. Difetti di alimentazione e misure correttive. Ghisa sferoidale 836

2.9. Trattamenti termici ghisa sferoidale 836

3. FONDERIA LEGHE LEGGERE 836

3.1. Operazione di affinazione 837

3.2. Operazione di degasaggio 837

3.3. Leghe Al-Si 837

3.4. Leghe Al-Cu 838

3.5. Pressofusione 838

4. FONDERIA DELLE CUPROLEGHE.....	840	11.4. Lavorazioni con plasma.....	899
4.1. Sistemi di colata.....	842	11.5. Lavorazioni a ultrasuoni.....	901
4.2. Bronzi al piombo.....	843	11.6. Lavorazioni elettrochimiche.....	901
4.3. Bronzi d'alluminio.....	843	12. ATTREZZATURE, SISTEMI DI RIFERIMENTO E DI BLOCCAGGIO.....	902
4.4. Ottoni.....	844	12.1. Posizionamento e riferimento del pezzo.....	902
4.5. Ottoni speciali (bronzi al manganese).....	845		
38 LAVORAZIONI PLASTICHE		40 SALDATURA	
1. GENERALITÀ.....	847	1. DEFINIZIONI E CLASSIFICAZIONE.....	903
2. FUCINATURA.....	848	2. SALDATURE PER FUSIONE.....	904
3. ESTRUSIONE.....	848	2.1. Generalità.....	904
4. TRAFILATURA.....	849	2.2. Saldature a gas.....	904
5. LAMINAZIONE.....	850	2.3. Saldature all'arco elettrico.....	905
5.1. Tipi di laminatoi.....	850	2.4. Saldatura alluminotermica (o alla termite).....	906
5.2. Processo.....	851	2.5. Saldatura a elettroscoria.....	906
5.3. Forza di separazione <i>P</i>	851	2.6. Saldatura a luce focalizzata.....	907
6. LAMINAZIONE DEI TUBI SENZA SALDATURA.....	851	2.7. Saldatura a fascio elettronico.....	907
7. LAVORAZIONE A FREDDO DELLE LAMIERE.....	853	3. SALDATURE PER PRESSIONE.....	907
7.1. Materiali.....	853	3.1. Generalità.....	907
7.2. Qualificazione delle lamiere.....	853	3.2. Saldature a resistenza.....	907
7.3. Stampaggio.....	856	3.3. Saldature a ultrasuoni.....	912
7.4. Tranciatura.....	859	3.4. Saldature ad attrito.....	912
7.5. Altre lavorazioni.....	860	3.5. Saldatura a esplosione.....	912
7.6. Macchine per la deformazione della lamiera.....	861	3.6. Saldatura per diffusione.....	913
		3.7. Saldatura per pressione a gas.....	913
		3.8. Saldatura a scarica elettrica.....	913
39 LAVORAZIONI PER ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO		4. BRASATURE.....	913
1. FORMAZIONE DEL TRUCIOLO.....	863	4.1. Generalità.....	913
1.1. Meccanismo di formazione del truciolo.....	863	4.2. Saldobrasature.....	913
1.2. Forme tipiche assunte dal truciolo.....	864	4.3. Brasature.....	913
1.3. Le forze di taglio.....	864	5. DIFETTI NELLE SALDATURE.....	915
2. UTENSILI DA TAGLIO.....	865	5.1. Generalità.....	915
3. MATERIALI PER UTENSILI DA TAGLIO.....	865	6. QUALIFICA DEI SALDATORI.....	915
4. MECCANISMI DI USURA E DURATA DELL'UTENSILE.....	867	6.1. Generalità.....	915
4.1. Meccanismi di usura degli utensili.....	867	6.2. La qualifica dei saldatori secondo l'UNI.....	915
4.2. Durata degli utensili.....	867	7. CENNI SUL COSTO DELLE SALDATURE.....	916
5. FLUIDI DA TAGLIO.....	871	7.1. Generalità.....	916
6. TORNITURA.....	872	7.2. Costo del materiale di consumo.....	916
6.1. Angoli caratteristici degli utensili da tornitura.....	872	7.3. Costo della manodopera.....	917
6.2. Forze e potenze di taglio in tornitura.....	875	7.4. Costo delle attrezzature.....	917
6.3. Tempi di lavorazione.....	876	7.5. Costo totale della saldatura.....	917
6.4. Scelta dell'utensile e dei parametri di taglio.....	876		
7. FORATURA.....	878	41 METROLOGIA D'OFFICINA	
7.1. Gli utensili.....	879	1. CAMPIONI TECNICI.....	919
7.2. Forze e potenze in foratura.....	879	1.1. Blocchetti piano-paralleli.....	919
7.3. Tempi di lavorazione.....	881	1.2. Blocchetti campioni angolari.....	920
8. FRESATURA.....	881	2. VERIFICA DEI PEZZI LISCI CON CALIBRI FISSI.....	920
8.1. Geometria degli utensili.....	881	2.1. Tipi di calibri.....	920
8.2. Modalità di taglio.....	883	2.2. Principio di Taylor.....	920
8.3. Forze e potenze in fresatura.....	885	2.3. Tolleranze sui calibri.....	921
8.4. Tempi di lavorazione.....	887	3. STRUMENTI DI MISURA A LETTURA.....	924
8.5. Scelta dell'utensile e dei parametri di taglio.....	887	3.1. Strumenti a nonio.....	924
9. LAVORAZIONI PER MOTO DI TAGLIO ALTERNATO.....	888	3.2. Micrometro.....	926
9.1. Utensili monotaglianti e brocche.....	889	3.3. Comparatore.....	927
9.2. Forze e potenze.....	889	3.4. Misure indirette.....	927
9.3. Tempi di lavorazione.....	889	3.5. Barraseno.....	929
9.4. Scelta dei parametri di taglio.....	890	3.6. Livelle.....	929
10. LAVORAZIONI PER ABRASIONE.....	890	3.7. Microscopio d'officina.....	930
11. LAVORAZIONI NON CONVENZIONALI.....	893	3.8. Apparecchio divisore ottico.....	932
11.1. Lavorazioni per elettroerosione.....	893	4. METROLOGIA PNEUMATICA.....	932
11.2. Lavorazioni waterjet.....	895	4.1. Principi (tecnica Solex).....	932
11.3. Lavorazioni laser.....	895	5. MISURE INTERFERENZIALI E VETRI PIANO-PARALLELI.....	934
		5.1. Generalità.....	934

7.	CUSCINETTI	1134	3.	GEOMETRIA DELLE MASSE	1248
7.1.	Cuscinetti radenti	1134	3.1.	Centro di massa, momenti statici e momenti d'inerzia	1248
7.2.	Cuscinetti volventi	1138	3.2.	Teorema di trasposizione	1249
7.3.	Rappresentazione dei cuscinetti volventi	1152	3.3.	Momenti d'inerzia rispetto ad assi di direzione variabile	1249
7.4.	Bloccaggio assiale dei cuscinetti	1152	3.4.	Nociolo centrale d'inerzia	1252
7.5.	Lubrificanti per cuscinetti	1159	3.5.	Modulo di resistenza	1252
8.	RUOTE DENTATE	1160	4.	IL PROBLEMA DI DE SAINT VENANT	1254
8.1.	Interferenza e sottotaglio. Ruote corrette	1161	4.1.	La formulazione del problema e il principio di De Saint Venant	1254
8.2.	Materiali impiegati per la costruzione delle ruote dentate	1162	4.2.	Sollecitazioni semplici	1255
8.3.	Calcolo delle forze negli ingranaggi cilindrici	1162	4.3.	Sollecitazioni composte	1266
8.4.	Verifica e progetto degli ingranaggi cilindrici	1164	4.4.	L'estensione dei risultati delle travi	1269
8.5.	Esempi di verifica e progetto di ruote dentate cilindriche	1168	5.	LA VERIFICA DI SICUREZZA	1270
8.6.	Ruote dentate coniche a denti dritti	1168	5.1.	Generalità	1270
8.7.	Ruote dentate coniche a denti curvi	1171	5.2.	Metodo delle tensioni ammissibili	1271
8.8.	Vite senza fine. Ruota elicoidale	1171	5.3.	Metodo del collasso plastico	1279
8.9.	Rappresentazione degli ingranaggi	1174	5.4.	Metodo agli stati limite	1282
8.10.	Dati da indicare sul disegno	1175	6.	LA DEFORMATA NELLE TRAVI RETTILINEE	
9.	ORGANI FLESSIBILI	1177	INFLESSE	1283	
9.1.	Cinghie piane	1177	6.1.	Linea elastica	1283
9.2.	Catene	1188	6.2.	Integrazione dell'equazione della linea elastica	1284
9.3.	Funi metalliche	1189	6.3.	Analogia di Mohr	1286
10.	MOLLE	1189	7.	STABILITÀ DELL'EQUILIBRIO ELASTICO	1289
10.1.	Materiali	1191	7.1.	Generalità	1289
10.2.	Progetto delle molle	1192	7.2.	Stabilità a compressione semplice (carico di punta)	1290
10.3.	Rappresentazione delle molle	1197	7.3.	Stabilità a pressoflessione	1294
11.	RECIPIENTI IN PRESSIONE	1197	8.	CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLE SEZIONI	1294
12.	ELEMENTI DI TENUTA	1199	8.1.	Sezioni generiche	1295
12.1.	Elementi di tenuta statici (O-ring)	1199	8.2.	Profilati a sezione aperta	1298
12.2.	Elementi di tenuta dinamici per alberi	1200	8.3.	Profilati a sezione chiusa	1307
13.	GIUNTI, INNESTI E FRENI	1204	8.4.	Masse unitarie di barre e lamiere	1314
13.1.	Giunti	1204	9.	LE STRUTTURE	1316
13.2.	Innesti	1213	46.	MECCANICA APPLICATA	
13.3.	Freni	1216	1.	COPPIE CINEMATICHE	1329
14.	GUIDE LINEARI	1216	1.1.	Definizioni	1329
14.1.	Guide a ricircolo di sfere con accoppiamento manicotto/albero	1216	1.2.	Coppie cinematiche elementari	1329
14.2.	Guide a ricircolo di sfere con accoppiamento slitta/profilo	1216	1.3.	Coppie superiori	1330
14.3.	Guide a rotelle	1217	1.4.	Catene cinematiche e meccanismi	1330
14.4.	Guide di precisione	1217	2.	FORZE AGENTI NELLE COPPIE CINEMATICHE	1330
15.	ELEMENTI ANTIVIBRANTI	1218	2.1.	Forze scambiate attraverso gli elementi cinematici di una coppia	1330
45.	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI		3.	RENDIMENTO	1334
1.	STATICA DELLE TRAVI	1219	3.1.	Condizione di regime di una macchina	1334
1.1.	Le azioni esterne	1219	3.2.	Rendimento. Moto diretto e moto retrogrado	1334
1.2.	La trave	1219	3.3.	Macchine in serie e in parallelo	1335
1.3.	Le equazioni cardinali della statica	1220	4.	COPPIE CINEMATICHE ELEMENTARI	1335
1.4.	Le azioni interne	1220	4.1.	Coppia prismatica	1335
1.5.	Vincoli	1221	4.2.	Coppia rotoidale	1336
1.6.	Il principio dei lavori virtuali	1225	4.3.	Coppia elicoidale (vite-madrevite)	1337
1.7.	Reazioni vincolari	1225	5.	COPPIE SUPERIORI	1340
1.8.	Le equazioni indefinite di equilibrio per le travi piane	1231	5.1.	Camme	1340
1.9.	I diagrammi delle caratteristiche di sollecitazione	1231	5.2.	Ruote dentate	1341
1.10.	Travature reticolari piane	1236	5.3.	Coppia cinghia-puleggia	1343
2.	TENSIONI, DEFORMAZIONI ED ELASTICITÀ	1242	6.	MECCANISMI	1344
2.1.	Tensioni	1242	6.1.	Sistemi articolati	1344
2.2.	Deformazioni	1245	6.2.	Meccanismi con ruote dentate	1345
2.3.	Elasticità	1247	6.3.	Meccanismi con organi flessibili	1347
2.4.	Il problema dell'equilibrio elastico	1248	6.4.	Freni	1349

6.5. Frizioni.....	1352
7. PROBLEMI DI DINAMICA DELLE MACCHINE	1353
7.1. Vibrazioni.....	1353
7.2. Dinamica degli alberi rotanti.....	1355
8. APPARECCHI DI SOLLEVAMENTO E MOVIMENTAZIONE	1357
8.1. Classificazione degli apparecchi di sollevamento.....	1357
8.2. Paranchi e argani.....	1358
8.3. Funi per apparecchi di sollevamento.....	1359
8.4. Ganci per apparecchi di sollevamento.....	1360
8.5. Gru.....	1360
8.6. Macchine di movimentazione.....	1363
8.7. Sistemi di trasporto a gravità.....	1363
8.8. Sistemi di trasporto a comando meccanico.....	1364
8.9. Movimentazione discontinua.....	1364
47. REGOLARITÀ DEL MOTO	
1. BILANCIAMENTO DEGLI ALBERI ROTANTI	
RIGIDI.....	1367
1.1. Generalità.....	1367
1.2. Metodi per l'equilibratura.....	1367
1.3. Macchina equilibratrice.....	1368
2. BILANCIAMENTO BIELLA-MANOVELLA E PLURICILINDRICI	
2.1. Cinematica del sistema biella-manovella.....	1371
2.2. Forze d'inerzia del sistema biella-manovella.....	1371
2.3. Bilanciamento delle forze d'inerzia del sistema biella-manovella.....	1371
2.4. Dimensionamento di massima della biella.....	1373
2.5. Regolarità del moto rotatorio.....	1376
48. LUBRIFICAZIONE	
1. LUBRIFICANTI MINERALI	1381
1.1. Numero di neutralizzazione.....	1381
1.2. Viscosità e indice di viscosità.....	1381
1.3. Consistenza.....	1383
1.4. Punto di goccia.....	1383
1.5. Punto di infiammabilità.....	1384
1.6. Compatibilità con materiali delle guarnizioni.....	1384
2. LUBRIFICANTI SINTETICI	1385
ENERGIA	
49. FISICA TECNICA	
1. TEMPERATURA E CALORE	1389
1.1. La temperatura.....	1389
1.2. Calore.....	1390
2. TRASMISSIONE DEL CALORE	1390
2.1. Generalità.....	1390
2.2. Conduzione.....	1390
2.3. Irraggiamento.....	1390
2.4. Convezione.....	1396
2.5. Meccanismi combinati.....	1396
3. EFFETTI DELLA TRASMISSIONE DEL CALORE	1397
3.1. Coefficienti di dilatazione termica e di comprimibilità isoterma.....	1397
3.2. Coefficienti calorimetrici.....	1398
3.3. Cambiamenti di stato.....	1398
4. TRASFORMAZIONI TERMODINAMICHE	1400
5. PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA	1400
6. SECONDO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA	1401
6.1. Entropia.....	1401
6.2. Il ciclo di Carnot.....	1401
7. TRASFORMAZIONI TERMODINAMICHE DI GAS, LIQUIDI E SOLIDI	1401
7.1. Gas perfetti.....	1401
7.2. Gas reali.....	1402
7.3. Trasformazioni di liquidi e solidi.....	1402
8. VAPORI. TRASFORMAZIONI	1403
8.1. Vapori saturi.....	1403
8.2. Vapori surriscaldati.....	1406
8.3. Diagrammi termodinamici (Mollier).....	1409
9. MISCELE DI ARIA E VAPOR D'ACQUA	1410
10. CICLI FRIGORIFERI E POMPE DI CALORE	1410
10.1. Principi termodinamici della refrigerazione.....	1411
10.2. I refrigeranti.....	1412
11. SCAMBIATORI DI CALORE	1412
50. IMPIANTI A VAPORE	
1. PREMESSA.....	1415
2. SIMBOLOGIA.....	1415
3. CIRCUITO ELEMENTARE E CICLO TERMODINAMICO.....	1415
3.1. Effetti delle principali grandezze termodinamiche.....	1416
4. BILANCI ENERGETICI E PRINCIPALI RENDIMENTI.....	1417
5. POSSIBILI MIGLIORAMENTI DELLE PRESTAZIONI.....	1418
5.1. Risoriscaldamenti ripetuti.....	1418
5.2. Rigenerazione.....	1419
5.3. Gli scambiatori-rigeneratori.....	1420
6. LOCAZIONE DELLE CENTRALI A VAPORE.....	1421
6.1. L'interazione fra le centrali termoelettriche e l'ambiente.....	1421
7. REGOLAZIONE E FLESSIBILITÀ.....	1422
8. IMPIANTI COMBINATI TAG-TAV.....	1422
8.1. La caldaia a recupero.....	1423
8.2. Caldaie a più livelli di pressione.....	1425
8.3. Note sull'introduzione del degasatore.....	1425
51. GENERATORI DI VAPORE	
1. TIPOLOGIA E CARATTERISTICHE GENERALI.....	1427
2. GENERATORI A TUBI DI FUMO.....	1427
3. GENERATORI A TUBI D'ACQUA.....	1428
3.1. Circuito acqua-vapore e aria-fumi.....	1428
4. PROBLEMI DI SCAMBIO TERMICO E DI STABILITÀ DI FLUSSO.....	1436
4.1. Scambio termico per irraggiamento.....	1436
4.2. Scambio termico per convezione.....	1437
4.3. Parametri tipici operativi e progettuali (scambio termico).....	1439
4.4. Trasmissione del calore con cambiamento di fase.....	1439
5. PROBLEMI DI CORROSIONE. REGOLAZIONE DEL SURRISCALDATO. RENDIMENTO.....	1440
5.1. Tipologia della corrosione nelle caldaie.....	1440
5.2. Corrosione a bassa temperatura.....	1440
5.3. Corrosione ad alta temperatura.....	1441
6. IL RENDIMENTO DEI GENERATORI DI VAPORE.....	1442
52. TURBINE A VAPORE	
1. GENERALITÀ.....	1445
2. CARATTERISTICHE TERMODINAMICHE.....	1446
3. AEROTERMODINAMICA DELLA TURBINA.....	1448
3.1. I triangoli di velocità.....	1448
3.2. Tipologie di turbine.....	1449
3.3. Regolazione.....	1450

4. ORGANI COSTITUTIVI.....	1451	3. CAMPI DI APPLICAZIONE.....	1482
4.1. Palettature.....	1451	3.1. Propulsione aerea e navale.....	1482
4.2. Rotori.....	1451	3.2. Applicazioni industriali.....	1482
4.3. Supporti e cuscinetti.....	1451	3.3. Impianti combinati.....	1483
4.4. Tenute del vapore.....	1451	3.4. Impianti cogenerativi con turbine a gas.....	1483
5. APPLICAZIONI DELLA TURBINA A VAPORE.....	1452	56 COMPRESSORI E VENTILATORI	
5.1. Turbine per centrali termoelettriche.....	1452	1. GENERALITÀ.....	1485
5.2. Turbine per cogenerazione.....	1452	2. COMPRESSORI E SOFFIANTI VOLUMETRICI.....	1485
5.3. Turbine per propulsione navale.....	1452	2.1. Compressori e soffianti rotativi.....	1485
5.4. Turbine di piccola potenza.....	1452	2.2. Compressori e soffianti alternativi.....	1486
53 CONDENSATORI		3. COMPRESSORI E SOFFIANTI DINAMICI.....	1486
1. DEFINIZIONI E CARATTERISTICHE.....	1453	3.1. Generalità e definizioni.....	1486
2. CONDENSATORI A SUPERFICIE.....	1453	3.2. Compressori centrifughi.....	1487
2.1. Calcolo della portata di fluido refrigerante.....	1454	3.3. Compressori assiali.....	1487
2.2. Calcolo della superficie di scambio.....	1454	3.4. Caratteristiche di funzionamento.....	1487
2.3. Calcolo della perdita di carico.....	1454	3.5. Compressori multistadio.....	1488
3. CONDENSATORI A MISCELA.....	1455	3.6. Caratteristiche costruttive.....	1488
3.1. Calcolo della portata di fluido refrigerante.....	1455	4. VENTILATORI CENTRIFUGHI E ASSIALI.....	1490
4. SISTEMI DI CIRCOLAZIONE.....	1455	4.1. Generalità.....	1490
4.1. Sistemi a circuito aperto.....	1455	4.2. Caratteristiche di funzionamento.....	1490
4.2. Sistemi a circuito chiuso.....	1455	57 MACCHINE IDRAULICHE	
4.3. Sistemi misti.....	1456	1. CENNI DI IDROSTATICA.....	1491
5. TORRI DI REFRIGERAZIONE.....	1456	2. CENNI DI IDRODINAMICA.....	1492
5.1. Torri di refrigerazione evaporative.....	1456	2.1. Definizioni.....	1492
5.2. Torri di refrigerazione a secco.....	1458	2.2. Regime permanente.....	1492
6. TORRI DI REFRIGERAZIONE MISTE.....	1459	2.3. Parametri adimensionali nell'idraulica.....	1492
7. STAGNI E CANALI DI RAFFREDDAMENTO.....	1459	2.4. Perdite di carico.....	1493
8. ELIMINAZIONE DI GAS INCONDENSABILI.....	1459	2.5. Teorema di Bernoulli, linea piezometrica e linea di carico.....	1494
8.1. Eiettori.....	1459	2.6. Moto nelle correnti a pelo libero.....	1495
8.2. Pompe a vuoto.....	1460	3. MISURE DI PORTATA.....	1495
54 MOTORI ENDOTERMICI ALTERNATIVI		4. MACCHINE MOTRICI.....	1496
1. CICLI TERMODINAMICI.....	1461	4.1. Classificazione e definizioni.....	1496
1.1. Ciclo ideale, ciclo limite, ciclo reale.....	1461	5. TURBINE IDRAULICHE.....	1497
1.2. Rendimento, coppia, potenza.....	1462	5.1. Turbina Pelton.....	1497
1.3. Coefficiente di riempimento.....	1464	5.2. Turbine a reazione.....	1498
1.4. La regolazione del carico.....	1464	6. MACCHINE IDRAULICHE OPERATRICI.....	1500
1.5. La sovralimentazione.....	1465	6.1. Generalità e definizioni.....	1500
1.6. Cogenerazione.....	1465	7. POMPE VOLUMETRICHE ALTERNATIVE.....	1501
2. COMPONENTI PRINCIPALI.....	1466	7.1. Descrizione e caratteristiche.....	1501
2.1. Struttura e organi fondamentali.....	1466	7.2. Funzionamento.....	1501
2.2. Ricambio della carica e alimentazione del combustibile.....	1467	7.3. Particolari costruttivi.....	1501
2.3. Sistemi di accensione.....	1470	8. POMPE VOLUMETRICHE ROTATIVE.....	1502
2.4. Sistemi per il contenimento delle emissioni.....	1472	9. POMPE DINAMICHE.....	1502
2.5. Sistemi di raffreddamento.....	1473	9.1. Descrizione.....	1502
2.6. Sistemi di lubrificazione.....	1474	9.2. Funzionamento.....	1504
55 IMPIANTI TURBOGAS		9.3. Cavitazione.....	1504
1. CICLO TERMODINAMICO.....	1475	9.4. Caratteristica interna ed esterna.....	1504
1.1. Generalità e definizioni.....	1475	9.5. Spinte assiali.....	1505
1.2. Ciclo ideale e limite.....	1477	9.6. Spinte radiali.....	1505
1.3. Rendimento nel ciclo reale.....	1477	9.7. Accoppiamento delle pompe.....	1505
1.4. Miglioramenti del ciclo in termini di potenza e di rendimento.....	1478	58 TURBINE A GAS	
1.5. Impianti a circuito chiuso.....	1480	1. GENERALITÀ E DEFINIZIONI.....	1507
2. COSTITUTIVI PRINCIPALI.....	1480	2. COMPRESSORI.....	1507
2.1. Compressore.....	1480	2.1. Compressori assiali.....	1507
2.2. Camera di combustione (impianti a circuito aperto).....	1480	2.2. Compressori centrifughi.....	1508
2.3. Turbina.....	1480	3. TURBINE.....	1509
2.4. Raffreddamento della turbina.....	1480	3.1. Turbine assiali.....	1509
2.5. Regolazione degli impianti a turbina a gas.....	1481	3.2. Turbine centripete.....	1510
		59 CAMERE DI COMBUSTIONE	
		1. PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO E CLASSIFICAZIONE.....	1511

3.8. Tensione magnetica o forza magnetomotrice.....	1607	2. MODELLI E ANALISI DELLE MACCHINE	
3.9. Circuiti magnetici	1608	ELETTRICHE	1670
3.10. Legge di Faraday-Neumann. Legge di Lenz.....	1608	2.1. Il rendimento	1670
3.11. Autoinduzione. Legge di Ohm per i circuiti		2.2. Le perdite nelle macchine elettriche	1670
induttivi in regime variabile	1609	2.3. Comportamento termico	1673
3.12. Collegamento in serie e in parallelo di		2.4. Prove e collaudo delle macchine elettriche.....	1675
induttanze	1609	3. TRASFORMATORE MONOFASE	1677
3.13. Espressioni del coefficiente di autoinduzione.....	1609	3.1. Considerazioni sui flussi magnetici.....	1677
3.14. Mutua induzione.....	1609	3.2. Convenzioni sulle tensioni e sulle potenze.	
3.15. Energia connessa con i campi magnetici.....	1610	Fase delle tensioni indotte e delle correnti.....	1678
3.16. Espressione del coefficiente di mutua		3.3. Equazioni fondamentali in regime sinusoidale	1678
induzione	1611	3.4. Funzionamento a carico. Diagramma	
3.17. Analogie tra campi magnetici ed elettrici e tra		vettoriale.....	1680
bipoli induttivi e capacitivi	1611	3.5. Funzionamento a vuoto	1681
3.18. Forza portante di un elettromagnete	1611	3.6. Funzionamento in corto circuito	1682
3.19. F.e.m. indotta in un conduttore di lunghezza		3.7. Trasformatore ideale	1682
l che si muove in un campo magnetico di		3.8. Perdite e rendimento	1684
induzione B con velocità v	1612	3.9. Parallelo dei trasformatori.....	1684
3.20. Forza meccanica su un conduttore di lunghezza l		3.10. Trasformatore trifase.....	1688
immerso in un campo magnetico di induzione B		3.11. Autotrasformatori	1688
percorso da corrente I	1612	3.12. Trasformatori di misura	1688
3.21. Azioni elettrodinamiche	1613	4. MACCHINE ASINCRONE.....	1690
3.22. Correnti di Foucault	1613	4.1. Campi magnetici rotanti	1690
4. SEGNALI E FORME D'ONDA	1613	4.2. Campi rotanti trifasi	1691
4.1. Generalità	1613	4.3. Principio di funzionamento del motore asincrono	
4.2. Caratteristiche generali dei segnali.....	1613	trifase	1692
4.3. Segnali di uso più frequente	1615	4.4. Tensioni indotte	1693
5. ANALISI DI CIRCUITI E RETI IN REGIME		4.5. Equazioni fondamentali. Reazione rotorica	1693
SINUSOIDALE	1618	4.6. Funzionamento a vuoto	1694
5.1. Generalità	1618	4.7. Funzionamento a carico. Perdite	1695
5.2. Bipoli puramente resistivi	1618	4.8. Rendimento.....	1695
5.3. Bipoli puramente induttivi	1619	4.9. Caratteristica meccanica	1695
5.4. Bipoli puramente capacitivi	1620	4.10. Avviamento.....	1696
5.5. Legge di Ohm per un bipolo passivo RLC serie.....	1621	4.11. Frenatura elettrica	1698
5.6. Ammettenza	1623	4.12. Motori asincroni monofasi.....	1699
5.7. Criterio generale per la risoluzione dei circuiti e		4.13. Generatori asincroni.....	1702
delle reti in regime sinusoidale	1625	5. MACCHINE SINCRONE	1704
5.8. Potenza in regime sinusoidale	1628	5.1. Tensioni indotte	1704
5.9. Rifasamento	1629	5.2. Circuiti d'indotto trifasi	1705
5.10. Potenza complessa. Teorema di Boucherot.		5.3. Funzionamento a vuoto	1706
Potenza deformante.....	1630	5.4. Effetti della corrente d'indotto.....	1707
5.11. Circuiti risonanti	1630	5.5. Studio della macchina sincrona	1708
5.12. Adattamento di carico	1636	5.6. Curve caratteristiche	1709
5.13. Adattamento d'impedenza nei circuiti risonanti		5.7. Regolazione della tensione degli alternatori in	
parallelo.....	1636	funzionamento isolato (autonomo).....	1709
6. SISTEMI TRIFASE	1638	5.8. Coppia e potenza	1709
6.1. Definizioni.....	1638	5.9. Parallelo degli alternatori.....	1710
6.2. Collegamenti caratteristici dei sistemi trifase.....	1638	5.10. Motori sincroni	1712
6.3. Rifasamento di carico trifase	1642	6. GENERATORI A COLLETTORE IN CORRENTE	
6.4. Sistemi dissimmetrici	1643	CONTINUA	1715
68 DISEGNO ELETTRICO ED ELETTRONICO		6.1. Generalità	1715
1. SEGNI GRAFICI.....	1645	6.2. Funzionamento a vuoto	1715
1.1. Segni grafici secondo le Norme CEI	1645	6.3. Funzionamento a carico	1715
1.2. Tracciamento dei segni grafici.....	1645	6.4. Perdite. Rendimento.....	1716
1.3. Segni grafici per diagrammi di flusso	1645	7. MOTORI A COLLETTORE IN CORRENTE	
1.4. Segni grafici secondo le Norme MIL.....	1645	CONTINUA	1717
1.5. Segni grafici per impianti pneumatici e		7.1. Generalità	1717
oleoidraulici	1645	7.2. Funzionamento a vuoto	1718
2. CLASSIFICAZIONE DEGLI SCHEMI ELETTRICI.....	1663	7.3. Funzionamento a carico	1718
3. REALIZZAZIONE DI SCHEMI ELETTRICI	1666	7.4. Rendimento	1719
69 MACCHINE ELETTRICHE		7.5. Motori con eccitazione indipendente e in	
1. CLASSIFICAZIONE	1669	derivazione	1719
		7.6. Motori con eccitazione in serie.....	1721

70 MOTORI A COMMUTAZIONE ELETTRONICA

1. GENERALITÀ.....	1727
2. MOTORI A PASSO.....	1727
2.1. Introduzione.....	1727
2.2. I tre tipi di motori a passo.....	1728
2.3. Comportamento del motore a passo e sue caratteristiche.....	1733
2.4. Definizioni delle grandezze e dei parametri caratteristici.....	1738
2.5. Circuiti di pilotaggio.....	1738
2.6. Conclusioni.....	1742
3. MOTORI IN CORRENTE CONTINUA BRUSHLESS ..	1743
3.1. Introduzione.....	1743
3.2. Alcuni particolari costruttivi.....	1745
3.3. Principio di funzionamento del motore brushless con f.e.m. trapezoidale.....	1745
3.4. Coppia-velocità.....	1747
3.5. Conclusioni.....	1748
71 CONVERTITORI STATICI	
1. RADDRIZZATORI.....	1751
1.1. Introduzione.....	1751
1.2. Classificazione.....	1751
1.3. Raddrizzatore trifase a onda intera su carico ohmico e induttivo.....	1752
1.4. Effetti della reattanza di dispersione dei trasformatori.....	1752
1.5. Filtri.....	1753
1.6. Protezioni dei raddrizzatori.....	1753
2. CONVERTITORI CA/CC A CONTROLLO DI FASE ..	1753
2.1. Introduzione.....	1753
2.2. Convertitori rigenerativi e non rigenerativi monofase.....	1754
2.3. Circuiti monofase a onda intera.....	1755
2.4. Circuiti trifase a semionda.....	1755
2.5. Convertitori monofase a onda intera su carico con forza controlettromotrice.....	1758
2.6. Convertitore trifase su carico con forza controlettromotrice.....	1758
2.7. Filtraggio nei convertitori con tiristori.....	1758
2.8. Circuiti di innesco per i convertitori a tiristori.....	1759
2.9. Convertitori a controllo di fase reazionati.....	1760
3. CONVERTITORI CA/CA A CONTROLLO DI FASE ..	1761
3.1. Generalità.....	1761
3.2. Cicloconvertitori.....	1762
4. REGOLATORI A COMMUTAZIONE.....	1764
4.1. Generalità.....	1764
4.2. Tipologie dei regolatori a commutazione.....	1764
4.3. Circuiti di controllo.....	1765
4.4. Circuiti di protezione e ausiliari.....	1766
4.5. Regolatori a tiristori (<i>chopper</i>).....	1766
5. CONVERTITORI CC/CC.....	1767
5.1. Convertitori autooscillanti.....	1767
5.2. Convertitore flyback.....	1768
5.3. Convertitore forward.....	1769
5.4. Configurazione push-pull.....	1770
5.5. Convertitore di Cuk.....	1770
5.6. Configurazioni a mezzo ponte e a ponte.....	1770
5.7. Convertitori a uscite multiple.....	1771
5.8. Convertitori risonanti e quasi risonanti.....	1771
5.9. Convertitori in classe E.....	1772
5.10. Circuiti ausiliari.....	1773
6. CONVERTITORI CC/CA.....	1774
6.1. Generalità.....	1774

6.2. Inverter a transistor.....	1774
6.3. Inverter a ferrorisonanza.....	1776
6.4. Inverter a tiristori.....	1777
6.5. Inverter trifase.....	1778

APPENDICE – SINTESI DEI DIODI A SEMICONDUETTORE.....

1781	
72 ELETTRONICA ANALOGICA	
1. AMPLIFICATORI A TRANSISTOR.....	1783
2. DISPOSITIVI ATTIVI DEGLI AMPLIFICATORI.....	1783
2.1. Circuiti equivalenti dei dispositivi attivi discreti e integrati.....	1783
2.2. Circuiti equivalenti elettrici.....	1784
3. CIRCUITI EQUIVALENTI FISICI.....	1784
3.1. Circuito equivalente per i transistor bipolari.....	1784
3.2. Circuito equivalente dei transistor a effetto di campo.....	1785
4. RETI DI POLARIZZAZIONE.....	1785
4.1. Generalità.....	1785
4.2. Stabilizzazione del punto di lavoro del BJT.....	1786
4.3. Polarizzazione dei circuiti integrati lineari.....	1786
4.4. Polarizzazione del JFET.....	1786
5. ANALISI NEL DOMINIO DELLA FREQUENZA.....	1787
6. REAZIONE NELL'ANALISI E NEL PROGETTO DEGLI AMPLIFICATORI.....	1788
6.1. Effetti della retroazione.....	1789
7. ANALISI E SINTESI DEGLI AMPLIFICATORI REAZIONATI.....	1789
8. STABILITÀ DEGLI AMPLIFICATORI REAZIONATI.....	1789
9. SINTESI DEGLI AMPLIFICATORI.....	1789
9.1. Generalità.....	1789
10. AMPLIFICAZIONE DEI SEGNALI DI PICCOLA AMPIEZZA.....	1790
10.1. Amplificazione di piccoli segnali nel campo delle basse frequenze.....	1790
10.2. Amplificazione dei segnali nel campo delle radiofrequenze.....	1790
11. AMPLIFICATORI OPERAZIONALI.....	1790
11.1. Introduzione.....	1790
11.2. Amplificatore operazionale ideale.....	1791
11.3. Amplificatore operazionale reale.....	1791
11.4. Configurazioni circuitali di base.....	1793
11.5. Regole per l'analisi semplificata.....	1793
11.6. Comportamento dell'A.O. a frequenze elevate.....	1794
11.7. Compensazione in frequenza.....	1794
11.8. Compensazione della corrente di polarizzazione e della tensione di offset.....	1795
11.9. Comportamento dell'A.O. per grandi segnali.....	1796
12. APPLICAZIONI LINEARI DEGLI A.O.....	1796
12.1. Amplificatori differenziali.....	1796
12.2. Sommatori.....	1796
12.3. Convertitore corrente-tensione.....	1797
12.4. Convertitori tensione-corrente.....	1797
12.5. Amplificatori di corrente.....	1798
12.6. Integratore.....	1798
12.7. Derivatore.....	1799
12.8. Amplificatori in corrente alternata.....	1799
12.9. Generatori di tensione continua.....	1800
12.10. Generatori di corrente continua.....	1800
13. APPLICAZIONI NON LINEARI DELL'A.O.....	1801
13.1. Raddrizzatore di precisione.....	1801
13.2. Amplificatore logaritmico.....	1802

14. COMPARATORI E LIMITATORI	1802	6.3. LVDT	1851
14.1. Comparatore	1802	6.4. Encoder	1852
14.2. Rivelatore del passaggio per zero	1802	6.5. Dinamo tachimetriche	1855
14.3. Trigger di Schmitt	1803	6.6. Accelerometri	1856
14.4. Limitatori di tensione	1804	7. SENSORI DI CAMPO MAGNETICO	1858
15. FILTRI ELETTRONICI	1804	7.1. Generalità	1858
15.1. Quadripoli lineari	1804	7.2. Sensori per campi di bassa intensità	1858
16. FILTRI PASSIVI	1805	7.3. Sensori per campi di media intensità	1859
16.1. Filtri <i>RC</i> e <i>RL</i> (1° ordine)	1806	7.4. Sensori per campi di alta intensità	1861
16.2. Filtri <i>RLC</i> (2° ordine)	1807	7.5. Misure di corrente con sensori magnetici	1865
17. FILTRI ATTIVI	1808	8. SENSORI DI RADIAZIONE LUMINOSA	1865
17.1. Filtri attivi del 1° ordine	1810	8.1. Generalità	1865
17.2. Filtri attivi del 2° ordine	1810	8.2. Materiali ottici	1866
17.3. Filtri attivi VCVS	1810	8.3. Caratterizzazione dei sensori di radiazione luminosa	1866
17.4. Filtro VCVS passa basso	1811	8.4. Sensori di tipo termico	1867
17.5. Filtro VCVS passa alto	1811	8.5. Sensori di tipo fotonico	1867
17.6. Filtri a reazione multipla passa banda	1811	74. SISTEMI DI ACQUISIZIONE, ELABORAZIONE E DISTRIBUZIONE DATI	
17.7. Filtri attivi universali (a variabili di stato)	1812	1. ELABORAZIONE E CONVERSIONE DEI SEGNALI	1873
17.8. Filtri universali integrati	1813	1.1. Segnali analogici e digitali	1873
17.9. Filtri attivi di ordine superiore	1814	1.2. Conversione analogico/digitale	1873
18. OSCILLATORI	1814	1.3. Conversione digitale/analogica	1876
18.1. Prestazioni	1814	1.4. I codici	1876
19. CONDIZIONI DI OSCILLAZIONE	1814	1.5. Convertitori D/A	1876
20. OSCILLATORI SINUSOIDALI A BASSA FREQUENZA DI TIPO RC	1815	1.6. Convertitori A/D	1880
20.1. Oscillatore a ponte di Wien	1815	1.7. Convertitori tensione/frequenza (VFC)	1886
20.2. Oscillatore a T-pontato	1815	1.8. Convertitori frequenza/tensione (FVC)	1888
20.3. Oscillatori a sfasamento	1815	1.9. Amplificatore Sample & Hold (SHA)	1888
21. OSCILLATORI PER ALTA FREQUENZA	1815	1.10. Multiplexer analogico	1891
21.1. Oscillatori a quarzo	1816	1.11. Sistema di elaborazione digitale dei segnali	1892
22. GENERATORI DI SEGNALE	1817	1.12. Sistema di acquisizione dati	1894
22.1. Generatore d'onda quadra	1817	1.13. Sistemi di distribuzione dati	1895
22.2. Generatore d'onda triangolare	1817	75. SISTEMI DI CONTROLLO ANALOGICI E DIGITALI	
22.3. Circuiti integrati temporizzatori	1818	1. SISTEMI	1897
73. SENSORI E CIRCUITI APPLICATIVI		1.1. Definizioni	1897
1. INTRODUZIONE	1821	1.2. Variabili	1897
1.1. Parametri tipici dei sensori	1821	1.3. Stato e traiettoria	1897
1.2. Circuiti di amplificazione lineare	1822	1.4. Rappresentazione schematica	1898
1.3. Circuiti non lineari	1823	1.5. Classificazione	1898
1.4. Circuiti di conversione corrente-tensione	1823	2. MODELLI	1898
1.5. Circuiti di conversione tensione-corrente	1824	2.1. Definizioni	1898
1.6. Configurazioni di uscita	1824	2.2. Modello matematico	1899
2. SENSORI DI TEMPERATURA	1826	2.3. Schema a blocchi	1899
2.1. Termocoppie	1826	2.4. Componenti	1900
2.2. Termoresistenze	1830	2.5. Analogie	1900
2.3. Termistori	1833	3. SISTEMI AUTOMATICI	1901
2.4. Circuiti integrati	1837	3.1. Definizioni	1901
3. SENSORI DI UMIDITÀ	1839	3.2. Sistemi di controllo	1901
3.1. Generalità	1839	3.3. Sistemi ad anello aperto	1902
3.2. Sensori di umidità capacitivi	1840	3.4. Sistemi ad anello chiuso	1902
3.3. Sensori di umidità resistivi	1842	4. SISTEMI DI CONTROLLO ANALOGICI	1903
3.4. Sensori di umidità a conduttività termica	1842	4.1. Regimi statico e dinamico	1903
4. SENSORI DI PRESSIONE	1843	4.2. Stabilità	1903
4.1. Generalità	1843	4.3. Retroazione positiva e negativa	1903
4.2. Sensori di pressione piezoresistivi	1844	4.4. Criteri di progetto	1904
5. SENSORI DI FORZA	1846	4.5. Elementi costitutivi	1904
5.1. Generalità	1846	5. ANALISI DEI SISTEMI LINEARI	1905
5.2. Estensimetri	1847	5.1. Tipi di analisi	1905
5.3. Celle di carico	1847	5.2. Risposta nel dominio del tempo	1905
6. SENSORI DI POSIZIONE, VELOCITÀ E ACCELERAZIONE	1848		
6.1. Generalità	1848		
6.2. Potenzimetri	1849		

5.3. Trasformata di Laplace applicata allo studio dei sistemi.....	1907
5.4. Risposta in frequenza	1910
5.5. Diagrammi di Bode.....	1910
6. PROGETTO STATICO.....	1913
6.1. Parametri di valutazione	1913
6.2. Errore statico.....	1914
6.3. Errori dovuti a disturbi additivi.....	1915
6.4. Errori dovuti a disturbi parametrici	1915
7. PROGETTO DINAMICO.....	1916
7.1. Parametri di valutazione	1916
7.2. Prontezza e fedeltà di risposta	1916
7.3. Stabilità	1916
7.4. Reti correttive	1918
8. REGOLATORI INDUSTRIALI.....	1919
8.1. Caratteristiche generali	1919
8.2. Regolatori P	1919
8.3. Regolatori PI	1920
8.4. Regolatori PD.....	1921
8.5. Regolatori PID	1922
8.6. Regolatori on/off.....	1922
9. APPLICAZIONI PRATICHE.....	1923
9.1. Controllo di velocità di un motore in continua.....	1923
9.2. Controllo della temperatura di un ambiente.....	1925
9.3. Controllo di posizione di un motore in continua	1928
10. SISTEMI DI CONTROLLO DIGITALI.....	1928
10.1. Concetti introduttivi	1928
10.2. Vantaggi e svantaggi	1929
10.3. Il campionatore ZOH	1929
10.4. Risposta nel dominio del tempo.....	1930
10.5. Risposta in frequenza	1930
10.6. Studio della stabilità	1930
10.7. Errore a regime.....	1930
10.8. Regolatori industriali.....	1930
76 IMPIANTI PER L'AUTOMAZIONE INDUSTRIALE	
1. CONCETTI INTRODUTTIVI.....	1933
1.1. Classificazione	1933
1.2. Impianti in logica cablata.....	1933
1.3. Impianti in logica programmata.....	1934
1.4. Azionamenti elettromeccanici	1936
1.5. Azionamenti idropneumatici	1937
2. APPLICAZIONI DI AZIONAMENTI ELETTROMECCANICI.....	1937
2.1. Avviamento di un motore asincrono trifase	1937
2.2. Inversione di marcia di un motore asincrono trifase	1938
2.3. Funzionamento ciclico di un motore asincrono trifase	1940
2.4. Comando di un impianto per semaforo.....	1941
2.5. Controllo di velocità di un motore in continua.....	1942
3. APPLICAZIONI DI AZIONAMENTI IDROPNEUMATICI.....	1943
3.1. Sollevamento e spostamento di un oggetto.....	1943
3.2. Marcatura ed espulsione di un oggetto.....	1946
3.3. Spostamento e marcatura di un oggetto	1948
3.4. Sistema di smistamento dei bagagli.....	1949
4. PROGETTO DI AZIONAMENTI INDUSTRIALI.....	1950
4.1. Scelta del tipo di motore	1950
4.2. Scelta dei dispositivi di protezione.....	1951
4.3. Schemi in logica cablata per la movimentazione di m.a.t.	1955

77 CONTROLLORI LOGICI PROGRAMMABILI (PLC)	
1. CONCETTI INTRODUTTIVI.....	1961
2. CARATTERISTICHE	1962
2.1. PLC piccoli	1963
2.2. PLC medio-grandi	1963
3. ELEMENTI DI STIMA DI UN SISTEMA DI CONTROLLO.....	1963
3.1. Dispositivi di I/O	1963
3.2. Capacità di memoria	1963
3.3. Programmazione	1964
3.4. Periferiche e opzioni	1964
4. STRUTTURA.....	1964
5. FUNZIONAMENTO.....	1965
5.1. Modularità	1965
5.2. Personal computer e PLC.....	1969
6. PROGRAMMAZIONE	1971
6.1. Linguaggi	1971
6.2. Esempi	1973
6.3. Linguaggio Grafcet	1978
7. APPLICAZIONI	1979
8. AFFIDABILITÀ, DISPONIBILITÀ E SICUREZZA.....	1982
8.1. Affidabilità.....	1982
8.2. Disponibilità	1983
8.3. Sicurezza	1983
9. PLC SCHNEIDER.....	1984
9.1. Programmazione.....	1985
10. PLC OMRON.....	1992
10.1. Installazione e montaggio	1992
10.2. Cablaggio	1993
10.3. Programmazione.....	1994
10.4. Compilazione, salvataggio e caricamento	1995
10.5. Simulazione	1995
11. PLC SIMATIC	1995
11.1. S7-200.....	1995
11.2. S7-300.....	1998
11.3. Serie S7-400.....	1998
11.4. S7-1200.....	1999
11.5. S7-1500.....	2001
11.6. Ambiente di sviluppo STEP 7 Micro/Win.....	2002
11.7. Ambiente di sviluppo STEP 7	2004
78 CIRCUITI E IMPIANTI PNEUMATICI E OLEIDRAULICI	
PARTE 1 – INTRODUZIONE.....	2007
1. PROPRIETÀ GENERALI DEI FLUIDI	2007
1.1. Caratteristiche dei fluidi comprimibili e incompressibili	2007
1.2. Leggi generali per lo studio dei fluidi ideali	2007
2. SISTEMI DI MISURA E STRUMENTAZIONE	2008
2.1. Sistemi di misura	2008
2.2. Strumenti di misura.....	2008
2.3. Misure di pressione	2008
2.4. Manometri meccanici.....	2008
2.5. Trasduttori di pressione	2010
2.6. Misure di portata	2010
2.7. Misure di temperatura	2011
2.8. Misure di posizione.....	2011
PARTE 2 – PRINCIPI GENERALI DI PNEUMATICA.....	2011
3. PRODUZIONE, DISTRIBUZIONE E TRATTAMENTO DELL'ARIA COMPRESSA	2011
3.1. Produzione dell'aria compressa.....	2011

3.2. Tipi di compressori	2012	25. VALVOLE	2053
3.3. Dimensionamento del compressore e del serbatoio	2012	25.1. Componenti di regolazione	2053
3.4. Trattamento dell'aria compressa	2012	25.2. Valvole di regolazione della pressione	2053
4. MOTORI PNEUMATICI LINEARI E ROTATIVI	2015	25.3. Valvole di regolazione della portata	2055
4.1. Generalità sugli attuatori	2015	25.4. Valvole di regolazione della direzione	2056
4.2. Parametri e dimensionamento di un cilindro pneumatico	2015	25.5. Valvole di regolazione della potenza	2056
4.3. Tipi di cilindri pneumatici	2016	25.6. Valvole logiche a cartuccia	2060
4.4. Motori pneumatici rotativi	2020	25.7. Scambiatori di calore	2061
4.5. Tipi di motori	2020	25.8. Componenti accessori	2061
5. VALVOLE	2021	<i>PARTE 6 – SCHEMI PER CIRCUITI OLEOIDRAULICI</i>	2063
5.1. Valvole pneumatiche	2021	26. CIRCUITI E IMPIANTI	2063
5.2. Valvole di controllo della direzione	2021	26.1. Circuiti fondamentali	2063
5.3. Schemi costruttivi	2022	26.2. Generazione della potenza idraulica	2064
5.4. Valvole di intercettazione	2024	26.3. Centraline oleoidrauliche	2065
5.5. Valvole di pressione	2025	26.4. Circuiti di controllo della portata	2066
5.6. Valvole di controllo del flusso	2026	26.5. Circuiti rigenerativi	2067
6. CIRCUITI E IMPIANTI	2026	26.6. Circuito di decelerazione	2068
6.1. Introduzione	2026	26.7. Circuiti di sincronismo	2068
6.2. Diagramma delle fasi	2027	26.8. Circuiti di riempimento	2069
6.3. Progettazione	2027	26.9. Circuiti di controllo degli azionamenti	2069
7. LOGICA PNEUMATICA E INTERFACCIAMENTO	2029	26.10. Circuiti di sicurezza	2070
7.1. Elementi di logica pneumatica	2029	79 FONDAMENTI DI ROBOTICA	
7.2. Elementi pneumologici e micropneumatici	2029	1. CONCETTI GENERALI	2073
7.3. Organizzazione di sistemi automatici	2031	1.1. Robot	2073
7.4. Sequenziatori	2031	1.2. Robotica	2074
7.5. Sistemi programmabili	2031	1.3. Applicazioni	2074
<i>PARTE 3 – SCHEMI PER CIRCUITI PNEUMATICI</i>	2032	1.4. Robotica industriale	2075
8. CIRCUITI PNEUMATICI	2032	2. SISTEMA MECCANICO	2076
9. SCHEMI ELEMENTARI	2032	2.1. Anatomia	2076
10. FUNZIONI LOGICHE	2033	2.2. Meccanica dei robot	2078
11. TEMPORIZZATORI E CONTATORI	2034	2.3. Requisiti strutturali	2078
12. SEQUENZE CICLICHE	2035	2.4. Manipolatori	2079
13. TECNICHE DI COMANDO	2036	2.5. Robot mobili	2080
13.1. Metodo diretto	2036	2.6. Studio del modello	2081
13.2. Metodo della cascata	2036	3. SISTEMA DI ATTUAZIONE	2086
14. MOVIMENTI CONTEMPORANEI DI PIÙ CILINDRI	2038	3.1. Trasformazioni energetiche	2086
15. MOVIMENTI RIPETUTI DI UN CILINDRO	2038	3.2. Tipi di azionamento	2086
16. ARRESTO DI EMERGENZA	2039	3.3. Componenti	2086
<i>PARTE 4 – SCHEMI PER CIRCUITI ELETTRONEUMATICI</i>	2040	4. SISTEMA SENSORIALE	2087
17. CIRCUITI ELETTRONEUMATICI	2040	4.1. Funzioni tipiche	2087
18. SCHEMI ELEMENTARI	2040	4.2. Impiego dei sensori	2087
19. SEQUENZE CICLICHE	2040	4.3. Sistemi di visione	2087
20. CICLI CON MOVIMENTI CONTEMPORANEI	2041	5. SISTEMA DI CONTROLLO	2088
21. CICLI CON SEQUENZE RIPETUTE	2041	5.1. Caratteristiche	2088
22. ARRESTO DI EMERGENZA	2042	5.2. Struttura	2088
<i>PARTE 5 – PRINCIPI GENERALI DI OLEOIDRAULICA</i>	2043	5.3. Tecniche di controllo	2089
23. FLUIDI IDRAULICI	2043	5.4. Sicurezza	2089
23.1. Introduzione	2043	6. PROGRAMMAZIONE	2090
23.2. Caratteristiche generali	2043	6.1. Ambiente	2090
23.3. Caratteristiche fisiche	2044	6.2. Criteri	2090
23.4. Caratteristiche chimiche	2048	6.3. Tecniche	2090
24. POMPE E MOTORI	2049	6.4. Linguaggi	2091
24.1. Pompe oleoidrauliche	2049	7. ROBOT LEGO	2092
24.2. Regolatori di portata	2052	7.1. Concetti introduttivi	2092
24.3. Motori oleoidraulici	2053	7.2. Programmazione	2093
		7.3. Esempio applicativo	2094
		INDICE ANALITICO	2095

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)

ti limitazioni, dettate dall'esperienza:

$$\frac{L_o}{2R} \leq 6,3 \quad \frac{f_{\max}}{L_o} \leq 0,55$$

Per valori della lunghezza inferiori a 6,3 non esiste pericolo di inflessione laterale. Per valori superiori si deve predisporre una guida esterna o interna sufficientemente lunga. Il passo p dell'elica si tiene normalmente, a molla scarica, nei valori: $p \leq (0,3 \div 0,5)R$. La somma S consigliata delle distanze minime tra le spire vale $S = xdi_o$, dove x è riportata nel diagramma di fig. 44.291 in funzione del rapporto di avvolgimento c . Tale verifica deve essere eseguita nella situazione di freccia massima.

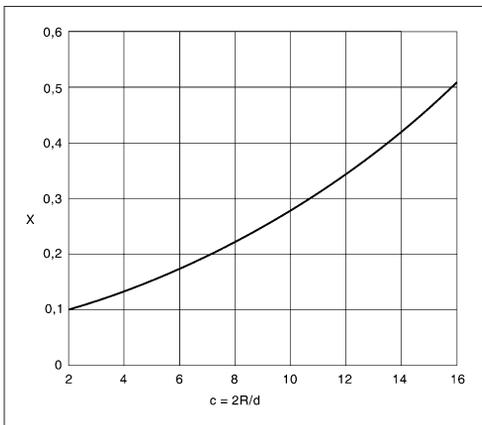


FIGURA 44.291 Fattore per il calcolo della distanza tra le spire.

Grandi molle a elica di compressione sono realizzate a volte con barre a sezione rettangolare, in sostituzione del filo (fig. 44.282), con il vantaggio di accumulare più energia a parità di ingombro. Richiedono però cicli di lavorazione per deformazione a caldo complicati.

Le molle di trazione (fig. 44.282) sono quasi sempre con le spire a contatto e precaricate durante la costruzione. Il carico minimo al quale viene fatta lavorare la molla deve essere poco superiore al precarico in modo da impiegare la molla più corta possibile. Le estremità vengono conformate in vario modo e non di rado costituiscono la zona più debole della molla. La rottura avviene per flessione torsione nel passaggio dalla spira all'occhiello di trazione, in particolare se il raggio di raccordo è stretto o se rimane il segno dell'utensile di piegatura. Occhielli con raggio medio $0,8R$ e raggio di piegamento non inferiore al diametro d del filo non indeboliscono in modo significativo la molla. I valori consigliati del rapporto di avvolgimento sono gli stessi delle molle di compressione. Da notare che, per ovvie ragioni, il numero di spire delle molle ad elica non deve essere troppo piccolo. Si consigliano, per l'impiego statico, quando non esistano incertezze sulle condizioni di lavoro, i seguenti valori delle tensioni:

- $\tau_{amm} = 0,50\sigma_R$ per molle di compressione;
- $\tau_{amm} = 0,45\sigma_R$ per molle di trazione.

Nel secondo caso si tiene infatti in conto una maggiore incertezza sul centramento del carico e di una possibile maggiore sollecitazione negli occhielli di estremità.

Quando la molla, di compressione o di trazione, lavora con una deformazione oscillante tra f_{\min} e f_{\max} , ovvero tra il carico $F_{\min} = kf_{\min}$ e $F_{\max} = kf_{\max}$, devono essere calcolate le sollecitazioni effettive:

$$\tau_{\min} = \lambda \frac{16F_{\min}R}{\pi d^3} \quad \tau_{\max} = \lambda \frac{16F_{\max}R}{\pi d^3}$$

e quindi l'oscillazione della tensione:

$$\Delta\tau = \tau_{\max} - \tau_{\min}$$

da confrontare con i valori ammissibili dati dal diagramma di fig. 44.287 o diagrammi analoghi per altri tipi di materiale. Per le molle di trazione la resistenza a fatica data da questi diagrammi conviene venga ridotta secondo un fattore 1/1,2, per tenere conto, come nell'impiego statico, dell'incertezza sul centramento del carico e della possibile sovrasollecitazione degli occhielli. La resistenza a fatica delle molle può essere aumentata in modo significativo (10%÷20%) con la pallinatura.

10.2.3 Molle a spirale piana

Questa molla (fig. 44.282) è conformata secondo una spirale di Archimede (raggio proporzionale all'angolo). Si impiega, come la barra di torsione, come collegamento elastico tra elementi con moto relativo di rotazione, solo che ha proporzioni completamente diverse: piccolo ingombro assiale e grande ingombro radiale. Di solito queste molle sono costruite di non grandi dimensioni e per basse coppie. La deformazione angolare può essere anche di alcuni giri.

La soluzione costruttiva razionale è costituita da una bandella sottile a sezione rettangolare $b \times h$, incastrata nel perno centrale rotante ed in corrispondenza del vincolo esterno. In questo caso, se il numero delle spire non è troppo piccolo e le spire non vanno a contatto, si ha praticamente un momento flettente costante lungo la spirale, pari alla coppia C applicata al perno centrale. La sollecitazione massima vale dunque:

$$\sigma = \frac{C}{W} = \frac{6C}{bh^2}$$

essendo W il modulo di resistenza a flessione della bandella. La rotazione θ vale:

$$\theta = \frac{Cl}{EJ}$$

dove l è lo sviluppo della parte utile della molla e J il momento d'inerzia a flessione della sezione:

$$J = \frac{bh^3}{12}$$

La rigidità k vale:

$$k = \frac{C}{\theta} = \frac{EJ}{l}$$

La tensione ammissibile statica dovrà essere dell'ordine della metà, o un po' meno, della resistenza a rottura del ma-

Per il lavaggio a corrente unidirezionale le luci di ammissione e le luci di scarico sono poste all'estremità opposte del motore, con lo spazio di combustione tra loro:

- a pistoni contrapposti (o due cilindri a U con camera di combustione in comune), fig. 54.15c., fig. 54.15d.

Per motivi di semplicità, nei piccoli motori a due tempi a carburazione è generalmente adottato il lavaggio a controcorrente. Anche nei Diesel il lavaggio a corrente riflessa è il più diffuso, ma vi sono numerosi esempi di motori con lavaggio a corrente unidirezionale con valvole a fungo.

Il carburante viene fornito al motore o premiscelato (motori a carburazione) o iniettato (motori a iniezione).

Nel campo dei motori a carburazione sono impiegati in prevalenza carburatori con *vaschetta a livello costante*; essi si dividono in due fondamentali categorie: carburatori a *diffusore aperto* e carburatori *ad espansione*. Nei primi (fig. 54.16) è necessario, per impedire che la miscela si arricchisca all'aumentare della velocità dell'aria nel diffusore o venturi, affiancare al *getto principale* G_p , un *getto compensatore* G_c sboccante nel *pozzetto di ripresa* e perciò sottratto alla depressione esistente nel diffusore.

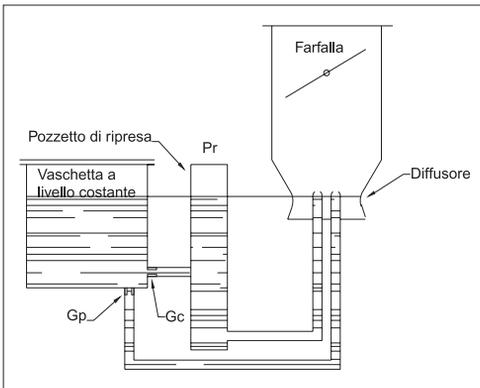


FIGURA 54.16 Schema di carburatore a getto compensato.

Nei carburatori ad espansione la costanza della dosatura è garantita dal fatto che, al variare delle condizioni di funzionamento, viene fatta variare la sezione utile del diffusore e del getto in modo che la velocità dell'aria nel diffusore rimanga praticamente costante.

Un parametro importante nel dimensionamento di un carburatore è il *diametro* della sezione interna della flangia di attacco, esso nel caso di un motore 4 tempi con 4 cilindri e condotti di aspirazione sbocanti in un unico vano del collettore, può essere approssimativamente calcolato tramite:

$$d = 0,5 \sqrt{10V\omega / k}$$

dove d è il diametro in mm, V la cilindrata in dm^3 , ω (rad/s) la velocità angolare del motore a regime di potenza massima e k il numero di condotti del carburatore (valori comuni sono $d = 26 \div 48$ mm, a cui corrispondono velocità dell'aria nel diffusore: $v = 85 \div 125$ m/s).

L'apparato di iniezione è l'insieme degli organi che servono per immettere il combustibile direttamente nei cilindri del motore (Diesel o Otto ad iniezione diretta) o nei condotti di aspirazione in prossimità delle valvole (motori Otto ad iniezione indiretta), nel momento, nella quantità ed alla pressione più convenienti, tenendo conto delle esigenze della combustione.

Motori diesel

Le esigenze del sistema di iniezione possono essere riassunte in tre gruppi:

- quantità di combustibile da iniettare;
- fasatura dell'iniezione;
- polverizzazione, diffusione e penetrazione del getto.

Questi compiti possono essere variamente ripartiti tra l'iniettore e la pompa. I sistemi di iniezione si suddividono in due categorie a seconda che l'apertura dell'iniettore sia di tipo automatica o comandata tramite controllo elettronico.

I sistemi del primo tipo, oggi sempre meno adottati, prevedono l'utilizzo di una *pompa di iniezione per ciascun cilindro* (di tipo a stantuffo e comandata da un albero ad eccentrici) o di una *pompa singola con distributore rotante* che invia la desiderata quantità di combustibile agli iniettori. Questi si aprono quindi automaticamente, con il compito di polverizzare e diffondere il combustibile nella camera di combustione. Nel caso di distributore il vantaggio consiste nella possibilità di alimentare tutti i cilindri con un solo organo pompante.

Tra i sistemi ad apertura comandata invece le configurazioni tipiche sono le seguenti.

- *Pompa di bassa pressione e iniettori-pompa meccanici a controllo elettronico*: il più comune è il sistema Cummins che prevede l'utilizzo di una pompa a ingranaggi (che accumula il combustibile a una pressione relativamente bassa, dell'ordine di 1 MPa) e di iniettori a loro volta pompanti (iniettori-pompa) comandati da un meccanismo a camma e bilanciare che portano il combustibile fino oltre i 200 MPa. I fori dello spruzzatore sono numerosi (8-10) e di piccolo diametro (fino a 0,14 mm) garantendo una buona nebulizzazione (diametro medio delle gocce $2 \div 10 \mu\text{m}$). Il quantitativo iniettato è controllato da un'elettrovalvola.
- *Accumulatore di pressione comune (common rail)*, (fig. 54.17): la pompa elettrica (15) immersa nel serbatoio (7) alimenta quella ad alta pressione (1), che invia il combustibile al rail (3). Il livello di pressione mantenuta nel rail è controllato da una valvola elettronica (4) e può raggiungere valori anche superiori ai 180 MPa. La portata in ingresso al rail è notevolmente superiore a quella di iniezione in modo da avere una pressione il più costante possibile durante l'iniezione (rilevata dal sensore (2)). Rispetto alla tecnologia con iniettori-pompa tale sistema risulta garantire un migliore controllo della combustione e delle emissioni. Questo è possibile poiché la quantità di gasolio iniettata, funzione del carico motore (rilevato tramite un segnale proveniente dall'acceleratore elettronico (11)) e del regime di rotazione (9), viene regolata in due modi diversi: tramite il controllo della pressione nel

dove R_d è la resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali (X_d) e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate (a_d), E_d è il valore di progetto dell'effetto delle azioni, funzione di F_d e a_d . In particolare la verifica allo stato ultimo di una sezione inflessa si effettua controllando che:

$$M_R(X_d a_d) \geq M(F_d a_d)$$

dove si è indicato con M_R il momento resistente e con M il momento flettente ottenuto con l'analisi strutturale.

Per quanto riguarda le costruzioni civili, gli Eurocodici stabiliscono modalità dettagliate per la verifica agli stati limite, di cui nel seguito verrà dato qualche accenno.

Nei riguardi degli SLU, per ogni caso critico i valori E_d devono essere valutati combinando le azioni che si possono verificare contemporaneamente.

In ogni combinazione deve essere inclusa un'azione variabile (definita dominante) o eccezionale. Eventuali altre azioni variabili presenti, oltre a quella dominante, entrano nella combinazione moltiplicate con un coefficiente riduttivo $\psi = 1$, che tiene conto della ridotta probabilità che tutte le azioni si presentino nello stesso tempo con i loro valori caratteristici.

Ad esempio la combinazione delle azioni per situazioni di progetto persistenti o transitorie (combinazione fondamentale) assume la forma:

$$\sum_j \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \sum_i \psi_i (\gamma_{Qi} Q_{ki})$$

dove l'indice $j \geq 1$ identifica i vari carichi permanenti e l'indice $i > 1$ quelli variabili; i vari termini γ sono i coefficienti di sicurezza applicati ai valori caratteristici di ogni singola azione. Il simbolo «+» non rappresenta una somma matematica ma va letto come «combinato con», così come le sommatorie vanno interpretate come «l'effetto combinato di». Espressioni simili sono date per situazioni di progetto eccezionali o sismiche.

Nelle verifiche degli SLE i coefficienti di sicurezza γ vengono generalmente assunti di valore unitario e la verifica si effettua con riferimento a dei valori limite legati non al collasso ma alle prestazioni attese dalla struttura. Ad esempio una verifica può consistere nel limitare la freccia di elementi inflessi, in quanto questa, se di valore elevato, può compromettere la funzionalità della struttura.

6. LA DEFORMATA NELLE TRAVI RETTILINEE INFLESSE

6.1. Linea elastica

Risulta particolarmente utile nelle applicazioni lo studio del caso della flessione non uniforme (e cioè non assimilabile al caso semplice di flessione retta già studiato al § 45.4.2.2), nel caso particolare dei sistemi piani costituiti da travi ad asse rettilineo soggette a forze ortogonali all'asse delle travi stesse. Il piano contenente l'asse della trave e i carichi deve essere anche piano di simmetria geometrica della trave: in questo caso la trave risulta soggetta solo a

momento flettente e taglio e il piano di sollecitazione coincide con quello di simmetria. Se il piano contenente l'asse della trave e i carichi non è di simmetria si possono ancora utilizzare i risultati di questa trattazione nel caso che la trave risulti soggetta solo a flessione retta e taglio; questo accade, ad esempio, quando la trave è a sezione costante e i carichi sono contenuti in un piano parallelo a uno dei due piani principali della trave (individuati dall'asse della trave e da uno dei due assi principali della sezione trasversale) e risultano passanti per il centro di taglio della sezione. Assumendo, analogamente a quanto fatto nello studio del solido di De Saint Venant, l'asse z coincidente con l'asse della trave e l'asse y disposto nel piano di sollecitazione (fig. 45.120) la configurazione deformata dell'asse geometrico risulta essere contenuta nel piano di sollecitazione e il diagramma dello spostamento verticale $v = v(z)$ si chiama *linea elastica* della trave.

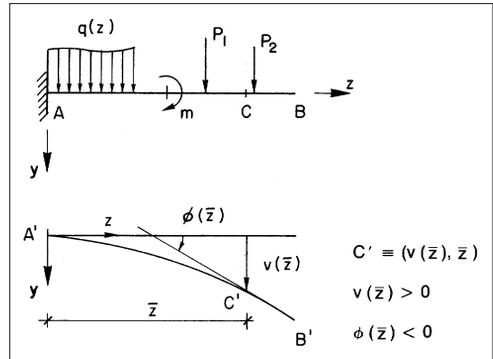


FIGURA 45.120 Linea elastica della trave.

In genere si trascura nel calcolo della $v(z)$ il contributo dato alla deformazione dallo sforzo di taglio in quanto per travi snelle esso risulta essere piccolo se confrontato con quello associato al momento flettente (in fig. 45.121 è mostrato il contributo dato a v dalla deformazione di un concio elementare dz di trave).

Per travi snelle si possono quindi utilizzare i risultati ottenuti dallo studio della flessione retta del solido di DSV. Si ottengono pertanto le seguenti relazioni tra la derivata prima (ϕ) e la derivata seconda ($1/R$) dello spostamento v :

$$\frac{dv}{dz} = -\phi(z) \quad \frac{d^2v}{dz^2} = -\frac{M}{EI}$$

che risultano coincidere, nell'ipotesi di piccoli spostamenti ($\tan \phi \approx \phi$ e $dv/dz \ll 1$), rispettivamente con la rotazione (cambiata di segno) e la curvatura della deformata dell'asse della trave. La seconda espressione prende il nome di *equazione differenziale della linea elastica*; per il calcolo di $v(z)$ è necessario integrare l'equazione una volta che siano state esplicitate le condizioni al contorno date dai vincoli (§ 45.6.2). Per poter procedere all'integrazione dell'equazione della linea elastica è necessaria la co-

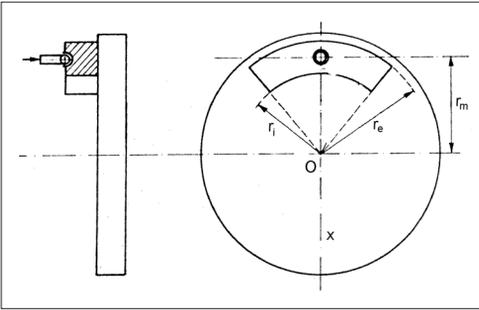


FIGURA 46.59 Freno a disco ad accostamento libero.

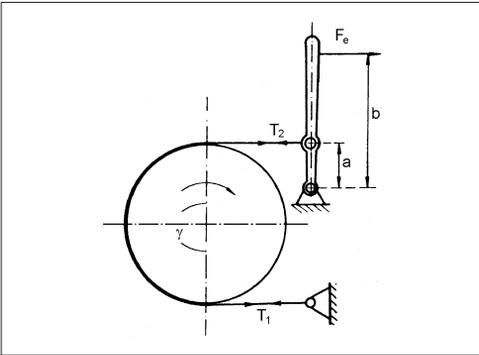


FIGURA 46.60 Freno a nastro.

6.4.2 Freni a ceppo

Ammissa la validità dell'ipotesi di Reye la componente p dell'azione trasmessa fra ceppo e tamburo normale alla superficie di contatto varia con la legge sinusoidale:

$$p = p_0 \cos(\theta - \alpha)$$

essendo θ la direzione generica, α l'angolo che individua la direzione di accostamento e misurando tutti gli angoli a partire dall'asse di simmetria del ceppo.

Con riferimento alla fig. 46.61 la risultante N delle azioni normali p passa per il centro del tamburo e forma con l'asse del ceppo un angolo ψ , che è legato all'apertura 2β del ceppo e alla direzione di accostamento α dalla relazione:

$$\operatorname{tg} \psi = \operatorname{tg} \alpha \frac{2\beta - \operatorname{sen} 2\beta}{2\beta + \operatorname{sen} 2\beta}$$

L'effetto frenante è legato alle azioni tangenziali, che hanno una risultante T , la quale, se il coefficiente di attrito f è costante, è normale a N ed è posta a una distanza da O pari a:

$$b = \frac{2\operatorname{sen} \beta}{\beta + \frac{\operatorname{sen} 2\beta}{2}} R \cos \psi = b_0 \cos \psi$$

La risultante S di N e T è la forza complessiva che il tamburo trasmette al ceppo e può essere calcolata per mezzo del-

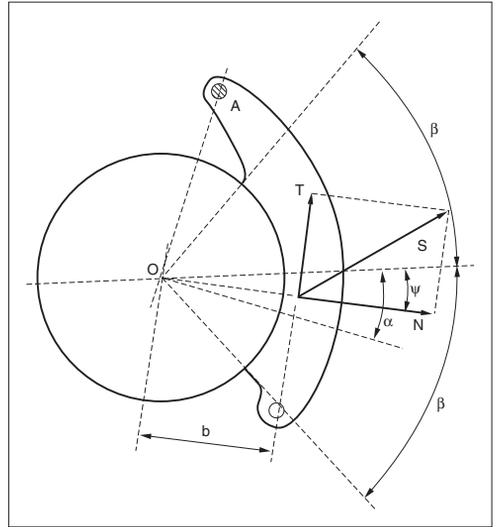


FIGURA 46.61 Azioni fra tamburo e ceppo.

le equazioni di equilibrio del ceppo, sul quale agisce la S , la reazione del vincolo che lo collega al telaio e la forza frenante esterna F_e (fig. 46.62).

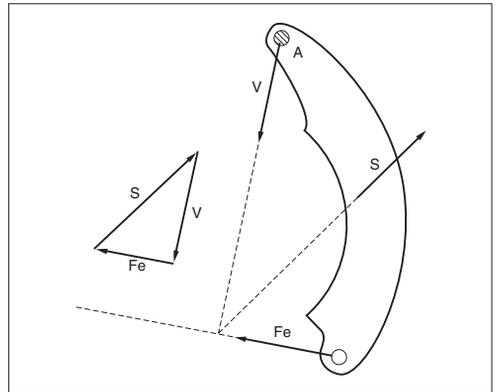


FIGURA 46.62 Equilibrio del ceppo.

Per i freni a ceppi flottanti la direzione di accostamento non è nota, ma dalla relazione soprascritta segue che, qualunque sia l'angolo ψ , la S passa costantemente per il punto P_0 , tale che l'arco OP_0 di un cerchio passante per O e di diametro b_0 sull'asse di simmetria, sottende un angolo alla circonferenza pari all'angolo di attrito ϕ (fig. 46.63). Poiché per $\alpha = 0$ è anche $\psi = 0$ il punto P_0 può essere determinato per una direzione di accostamento coincidente con l'asse di simmetria del ceppo (fig. 46.63). Per l'equilibrio del ceppo la forza S passa per P_0 e per il punto A dell'asse della coppia rotoidale, che vincola il ceppo alla leva, cui è applicata la forza frenante F_e .

peratura diminuisce regolarmente fino alla comparsa della prima particella di solido. A questo punto la presenza di una seconda fase rende il sistema monovariante e la temperatura continua a decrescere ma con velocità minore, a causa del calore latente che si libera nel corso della solidificazione. La temperatura di inizio solidificazione è quindi rilevata da un punto di discontinuità nella curva di raffreddamento. La solidificazione si completa non ad un'unica temperatura, come per i componenti puri, ma in un intervallo di temperatura e la fine della solidificazione corrisponde a un secondo punto di discontinuità sulla curva di raffreddamento, dovuto alla scomparsa dell'ultima gocciolina di liquido ed al contemporaneo passaggio da una condizione monovariante a una bivariente. Riportando in un diagramma temperatura/composizione l'insieme dei punti di discontinuità relativi ai diversi passaggi di stato per leghe di diversa composizione, si ottiene il diagramma di stato del sistema (fig. 23.29b).

5. TRASFORMAZIONI DI FASE GOVERNATE DALLA DIFFUSIONE

5.1. Diffusione

Si definisce *diffusione* quel meccanismo che permette il trasporto di atomi e molecole in seno alla materia.

Se si apre la valvola di una bombola, il gas in essa contenuto si spande nell'ambiente circostante, cioè diffonde e, se il gas ha un odore, questo può essere rapidamente percepito a una certa distanza. Analogamente se si fa cadere una goccia di un liquido colorato solubile in acqua, in un recipiente contenente acqua, si osserva la formazione di una macchia che si allarga, in quanto le molecole del composto colorato si muovono in mezzo a quelle dell'acqua, allontanandosi dal punto in cui sono venute a contatto con questa.

La diffusione può avvenire anche allo stato solido, ma a temperature maggiori e con velocità minori di quelle caratteristiche dei gas e dei liquidi.

Negli esempi su riportati la diffusione avviene sotto la spinta della differenza di concentrazione della specie che diffonde, i cui atomi o molecole si muovono dalla zona in cui sono presenti in concentrazione più alta, verso quelle a concentrazione minore. In queste condizioni la diffusione tende ad annullare le differenze di concentrazione e come tale il processo è irreversibile.

La diffusione avviene anche nelle sostanze pure, sia allo stato gassoso, che liquido, che solido, nel qual caso si parla di *autodiffusione*. Un atomo di una sostanza solida pura, si può quindi allontanare dalla posizione che occupa nel reticolo, per andare a occuparne un'altra.

La diffusione allo stato solido avviene in quanto nella struttura esistono degli spazi vuoti che possono essere occupati dagli atomi in movimento. In relazione al tipo di vuoti che vengono utilizzati, la diffusione può avvenire secondo due meccanismi: *interstiziale* e *sostituzionale o per vacanze*.

Nel caso della diffusione interstiziale gli atomi della specie *B* che diffonde, si muovono attraverso gli interstizi pre-

sentiti tra le posizioni reticolari occupate dagli atomi della specie *A* (fig. 23.30a). Dal momento che questi spazi sono piccoli, solo atomi di piccole dimensioni quali H, C, N, O, possono diffondere facilmente per via interstiziale all'interno di un materiale allo stato solido. Nel caso delle soluzioni solide sostituzionali le dimensioni degli atomi presenti nel reticolo sono troppo grandi perché questi si possano inserire negli interstizi. In questi casi gli atomi, per potersi allontanare dalla propria posizione, sfruttano le vacanze presenti nel reticolo (fig. 23.30b). Poiché il numero di vacanze aumenta con la temperatura, anche la possibilità di diffusione aumenta con essa.

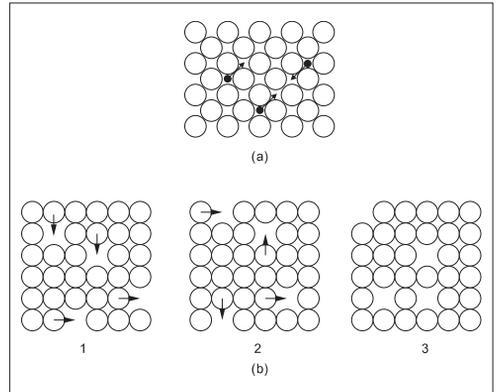


FIGURA 23.30 Meccanismi di diffusione allo stato solido: (a) diffusione interstiziale; (b) diffusione per vacanze.

5.2. Solidificazione

Il passaggio dallo stato liquido a quello solido, *solidificazione*, è una trasformazione basata su *meccanismi di diffusione* che si verifica quando il liquido è raffreddato fino a una temperatura $T < T_f$. Se si vuole studiare il fenomeno della solidificazione bisogna prendere in considerazione sia gli aspetti termodinamici, relativi cioè alle variazioni di energia del sistema, che quelli cinetici, relativi alla velocità con cui avviene la trasformazione.

Come per qualunque altra trasformazione, la condizione necessaria perché avvenga la solidificazione è che la variazione di energia libera connessa con la trasformazione solido \rightarrow liquido sia minore di zero, cioè:

$$\Delta G = (G_s - G_l) < 0$$

nella quale G_s e G_l rappresentano rispettivamente l'energia libera del solido e del liquido. Si dimostra che per $T < T_f$ e per piccoli valori di $(T_f - T)$:

$$\Delta G = \Delta H \frac{T_f - T}{T_f}$$

nella quale ΔH è il calore latente di fusione.

ΔG è una misura della tendenza del sistema a passare dallo stato liquido a quello solido o, se si vuole, la «forza motrice»

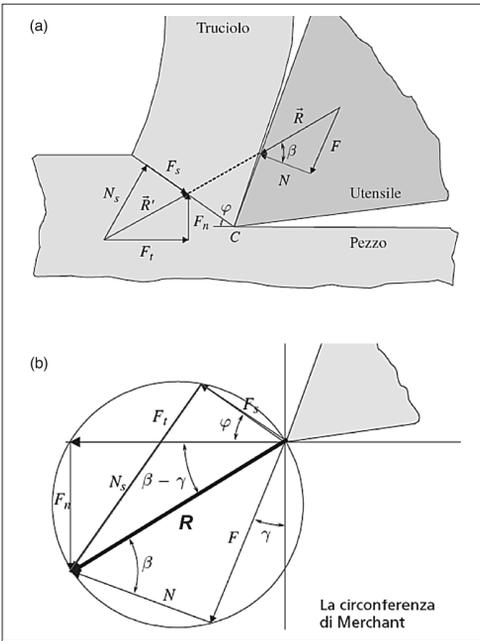


FIGURA 39.3 (a) Sistema di forze tra utensile e truciolo durante il processo di taglio. (b) Scomposizione della risultante R secondo il modello proposto da Ernst e Merchant.

Considerando che sul piano di scorrimento si raggiunge la massima tensione dinamica di scorrimento τ_s è possibile scrivere le seguenti relazioni:

$$F_s = A_s \tau_s = \frac{A_0}{\text{sen } \varphi} \tau_s \quad \frac{d\tau_s}{d\varphi} = 0$$

avendo indicato con β l'angolo di attrito, con A_s area del piano di scorrimento, con A_0 la sezione del truciolo indeformato e con φ l'angolo di scorrimento.

Si ottiene pertanto la seguente relazione tra gli angoli:

$$2\varphi + \beta - \gamma = \pi/2$$

Misure sperimentali hanno mostrato come tale relazione sia valida solo in maniera approssimativa, Merchant propose allora:

$$2\varphi + \beta - \gamma = C$$

in cui C è una costante dipendente dai materiali. Tale modello corrisponde a un legame lineare tra tensione di scorrimento τ_s e tensione normale σ_s agente sul piano di scorrimento. Si ottiene:

$$C = \arctg(1/K)$$

È possibile allora determinare agevolmente i valori delle forze di taglio utilizzando le seguenti formule:

$$F_t = \tau_s A_0 \frac{\cos(C - 2\varphi)}{\text{sen } \varphi \cos(C - \varphi)}$$

$$F_n = \tau_s A_0 \frac{\text{sen}(C - 2\varphi)}{\text{sen } \varphi \cos(C - \varphi)}$$

Il modello di Merchant fornisce una stima valida nel campo di velocità di più frequente impiego industriale, ma non trova molta applicazione, poiché è difficile determinare τ_s e φ .

Si preferisce e utilizzare metodi sperimentali basati sulla pressione di taglio K_s (UNI ISO 3002/4), che viene determinata attraverso la misura delle forze di taglio nelle condizioni reali di lavoro. Tra le varie relazioni, molto utilizzata è quella di Kronenberg (soprattutto per acciai):

$$F_t = K_s A_0$$

$$K_s = K_{s0} A_0^{-1/n}$$

$$K_{s0} = 2,4 \cdot R_m^{0,454} \cdot \beta^{0,666}$$

$$K_{s0} = 2,4 \cdot HB^{0,4} \cdot \beta^{0,666}$$

in cui F_t è la forza di taglio (daN/mm^2), A_0 la sezione del truciolo (mm^2), K_s la pressione di taglio (N/mm^2), K_{s0} la pressione specifica di taglio (per $A = 1 \text{ mm}^2$), $1/n$ una costante dipendente dal materiale, R_m il carico di rottura del materiale lavorato (daN/mm^2), HB la durezza Brinnell del materiale lavorato (daN/mm^2) e β l'angolo di taglio utensile: $\beta = 90 - \gamma - \alpha$.

Prove sperimentali per vari materiali forniscono i risultati riportati in tab. 39.3.

TABELLA 39.3 Valori della costante di Kronenberg.

	Acciai	Ghisa	Ottoni	Leghe Leggere
1/n	0,197	0,137	0,255	0,060

2. UTENSILI DA TAGLIO

La norma UNI ISO 3002-1 definisce la nomenclatura degli elementi fondamentali relativi agli utensili da taglio. La fig. 39.4 riporta schematicamente la geometria della parte attiva degli utensili da taglio.

3. MATERIALI PER UTENSILI DA TAGLIO

Il materiale di un utensile è strettamente legato alla velocità di taglio sopportabile dal tagliente senza che avvenga una rapida usura dello stesso. Dal tipo di materiale impiegato dipende la velocità di taglio. Una velocità di taglio elevata comporta minori tempi di lavorazione e di conseguenza aumenta la produttività. È da non sottovalutare che i materiali con cui si possono adottare velocità di taglio maggiori sono più costosi.

Per asportare efficacemente ed economicamente il truciolo dalla superficie da lavorare, i materiali degli utensili devono possedere le seguenti caratteristiche.

- **Durezza a freddo:** il tagliente deve avere una buona durezza a temperatura ambiente, ottenuta attraverso l'aggiunta di elementi in lega e sottoponendo il materiale a particolari trattamenti termici.

del pulsante e contemporaneamente determina, con l'eccitazione della bobina YV1, l'inizio della fase A+.

In serie alla bobina di YV1, come nel caso precedente, sono presenti i contatti di SQ1 e SQ3 per garantire l'attivazione della fase solo quando i cilindri sono entrambi nella posizione *tutto dentro*.

La fase B+ ha inizio con la chiusura del contatto di SQ2 che attiva la bobina YV3, la fase A- con la chiusura del contatto di SQ4 che attiva la bobina YV2.

La fase B- ha inizio con la chiusura contemporanea dei contatti di SQ1 e SQ4 e la conseguente attivazione della bobina YV4.

La continuità del ciclo è garantita dal ripristino delle condizioni iniziali (contatti di SQ1 e SQ3 chiusi con i due cilindri in posizione *tutto dentro*). L'azionamento si interrompe premendo il pulsante di stop che agisce sul circuito del relè ausiliario.

Ciclo singolo, valvola monostabile. Si precisa che SQ1 e SQ2 individuano rispettivamente le posizioni *tutto dentro* e *tutto fuori* del cilindro A, SQ4 la posizione *tutto fuori* del cilindro B.

La fase A+ ha inizio con la pressione del pulsante di avvio, che attiva la bobina YV1; poiché le valvole monostabili tornano spontaneamente nella posizione di riposo una volta cessata l'eccitazione della loro bobina, è necessario inserire il contatto di autoritenuta della bobina in parallelo al pulsante stesso.

La fase B+ ha inizio con la chiusura del contatto di SQ2, che attiva la bobina YV2; il contatto di autoritenuta viene ora inserito in parallelo al contatto stesso.

La fase A- ha inizio con l'apertura del contatto di SQ4 che, disattivando la bobina YV1, determina il rientro del cilindro.

La fase B- ha inizio con l'apertura del contatto di SQ1 che, disattivando la bobina YV2, determina il rientro del cilindro.

Ciclo continuo, valvola monostabile. Si precisa che SQ1 e SQ2 individuano rispettivamente le posizioni *tutto dentro* e *tutto fuori* del cilindro A, SQ3 e SQ4 le corrispondenti posizioni del cilindro B.

L'azionamento ha inizio premendo il pulsante di avvio che attiva la bobina di un relè ausiliario; contemporaneamente si chiude il contatto di autoritenuta. Sempre nello stesso istante un ulteriore contatto del relè ausiliario si chiude e determina, con l'eccitazione della bobina YV1, l'inizio della fase A+.

Per garantire la ripresa del ciclo deve essere inserito in serie al contatto del relè un contatto di SQ3 (inizialmente chiuso perché sollecitato); non è invece necessario il contatto aperto di SQ1 perché, in assenza di alimentazione, la valvola monostabile torna spontaneamente a riposo.

Il contatto di autoritenuta di YV1 viene posto in parallelo alla serie tra contatto del relè ausiliario e contatto di SQ3.

La fase B+ ha inizio con la chiusura del contatto di SQ2, che attiva la bobina YV2; il contatto di autoritenuta di YV2 viene posto direttamente in parallelo al contatto di SQ2.

La fase A- ha inizio con l'apertura del contatto di SQ4

che, disattivando la bobina YV1, determina il rientro del cilindro.

La fase B- ha inizio con l'apertura del contatto di SQ1 che, disattivando la bobina YV2, determina il rientro del cilindro.

L'azionamento si interrompe premendo il pulsante di stop che agisce sul circuito del relè ausiliario.

3.1.2 Impianto in logica programmata

Si definiscono le caratteristiche del software (programma in linguaggio ladder) e dell'hardware (cablaggio con il PLC).

Agli schemi in logica elettromeccanica corrispondono le rappresentazioni grafiche dei programmi scritti in linguaggio ladder riprodotte in fig. 76.22. A lato di ciascuno

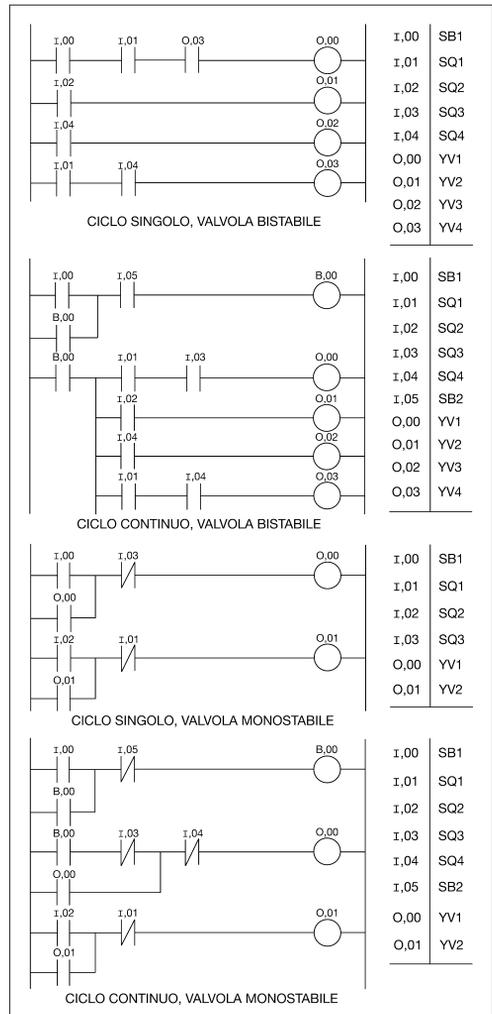


FIGURA 76.22 Programma in linguaggio ladder.

- parziali, 1664
- rappresentazione delle connessioni, 1667
- collegamento tratto-tratto, 1667
- rappresentazione distribuita, 1667
- rappresentazione raggruppata, 1667
- sistema di riferimento a griglia, 1667
- realizzazione, 1666
- semplificati, 1664
- sistema di riferimento a griglia, 1667
- topografici, 1666
- unifilari, 1665
- in logica cablata per la movimentazione di m.a.t., 1955
- lineare, 746
- Schneider Electric, 1984**
- collegamento senza fili, 1984
- collegamento tramite cavo, 1984
- collegamento tramite modem, 1984
- moduli Zelio logic, 1984
- programmazione, 1985
- linguaggio LD, 1985
- modalità modifica, 1985
- modalità *monitoring*, 1985
- modalità simulazione, 1985
- Schottky**, difetto di, 619
- Scienza dei materiali, 613**
- Scivoli, 1363**
- Composizione**
- delle impedenze di carico e delle correnti di linea, 1643
- in frazioni semplici, 1699
- Sconto, 326**
- modulo di, 127
- Scorrimento/i**
- libero, 593
- relativi ai piani coordinati, 1246
- totale, 593
- Scorte**
- di ciclo, 597
- di sicurezza, 598
- gestione, 597
- speculative, 597
- Scostamento/i, 997, 998**
- fondamentale/i, 999, 1002
- per alberi, 1002
- medio
- aritmetico del profilo, 1038
- quadratico del profilo, 1039
- per fori, 1004
- SCP (Smooth Curvature Printing), 972**
- SDK (Software Development Kit), 231**
- Season-cracking, 714**
- SEC (Secondary Air), 1550**
- Secondario**, settore, 316
- Seebeck**, coefficiente, 1827
- Seebeck**, effetto, 1520
- Segatrice, 395**
- Segatura, 888**
- Seghe, 394, 395**
- allacciatura, 394,
- Segnale/i, 1613**
- analogico, 1873, 201
- caratteristiche generali, 1613
- digitale, 1873
- costante di tempo, 1613
- discontinuità, 1613
- periodicità, 1613
- simmetria, 1613
- numerico, 201
- di uso più frequente, 1615
- funzione a gradino unitario, 1615
- funzione a rampa unitaria, 1615
- funzione impulso unitario (detta anche funzione delta o funzione di Dirac), 1616
- funzione sinusoidale, 1616
- valore efficace, 1617
- valore medio, 1617
- valore efficace (RMS, Root Mean Square), 1614
- fattore di cresta (CF), 1614
- rapporto pieno/vuoto (*Duty Cycle*), 1614
- tempo di salita, caduta percentuale e sovratensione percentuale (*Overshoot*), 1614
- valore medio, 1614
- Segni grafici, 1645**
- da utilizzare sulle apparecchiature (Norma CEI 3.27), 1658
- per diagrammi di flusso, 1645
- per impianti idroelettrici (Norma CEI 3.31), 1658
- per impianti pneumatici e oleodraulici, 1645
- secondo le Norme CEI, 1645
- secondo le Norme MIL, 1645
- tracciamento dei, 1645
- Segregazione, 627, 674, 714**
- Selective Laser Melting (SLM), 964**
- Selective Laser Sintering (SLS), 953**
- Selettore**
- AND, 2024
- OR, 2024
- SEM (Scanning Electron Microscope), 657**
- Semaforo**
- comando di un impianto per, 1941
- cablaggio con il PLC, 1942
- programma in linguaggio *ladder*, 1942
- schema funzionale in logica cablata, 1941
- Semicella, 183**
- Semiconduttori (Norma CEI 3.17), 1649**
- Semilavorati, 322**
- in acciaio, 384
- laminati lunghi, 384
- barre, 384
- profilati, 384
- vergelle, 384
- laminati piatti, 384
- lamiere, 384
- nastri, 384
- semilavorati a sezione quadrata o rettangolare, 384
- bidoni, 384
- billette, 384
- blumi, 384
- bramme, 384
- trafilati, 384
- fili, 384
- scatolati, 384
- tubi, 384
- legni, 390
- Sensibilità, 1520**
- all'ingtaglio, 637
- percentuale, 807
- Sensori, 1821, 2073**
- a croce di Malta, 2087
- di accelerazione, 2087
- di campo magnetico, 1858
- per campi di alta intensità, 1861
- *Hall*, 1863
- magnetoresistori, 1862
- *Reed*, 1861
- sensori GMR, 1864
- per campi di bassa intensità, 1858
- NMR (*Nuclear Magnetic Resonance*), 1859
- SQUID (*Superconducting Quantum Interference Device*), 1858
- per campi di media intensità, 1859
- *flux-gate*, 1859
- magnetoresistivi anisotropi, 1860
- di coppia all'albero, 2087
- di forza, 1846, 2087
- al polso, 2087
- celle di carico, 1847
- carico nominale, 1848
- coefficiente di temperatura, 1848
- *creep*, 1848
- errore combinato, 1848
- impedenza di ingresso, 1848
- *offset*, 1848
- ripetibilità, 1848
- temperatura operativa, 1848
- estensimetri, 1847
- *gauge factor*, 1847
- di posizione, 2087
- di posizione, velocità e accelerazione, 1848
- LVDT (*Linear Variable Differential Transformers*), 1851
- *phase shift*, 1851
- *set point*, 1851
- di pressione piezoresistivi, 1844
- compensati, 1846
- *Offset*, 1845
- *Span*, 1845
- tecniche di compensazione, 1845
- di prossimità, 2011, 2087
- a principio induttivo, 2011
- magnetici, 2011
- di radiazione luminosa, 1865
- caratterizzazione, 1866
- grandezze fotometriche, 1866
- grandezze radiometriche, 1865
- materiali ottici, 1866
- di temperatura, 1826
- di tipo fotonico, 1867
- estrinseci, 1867
- fotodiodi, 1868
- a valanga, 1869
- celle fotovoltaiche, 1870
- foto-Darlington, 1870
- fototransistor, 1869
- funzionamento modo in corrente (o fotoconduttivo), 1868
- funzionamento modo in tensione (o fotovoltaico), 1868
- PIN, 1868
- intrinseci, 1867
- di tipo termico, 1867
- bolometri, 1867
- piroelettrici, 1867
- di umidità, 1508
- a conduttività termica, 1842
- capacitivi, 1840
- resistivi, 1842
- di velocità, 2087
- esterni, 2087
- induttivi, 2087
- interni, 2087
- irraggiamento luminoso, 2087
- parametri tipici dei, 1821
- campo di lavoro, 1822
- caratteristica ingresso/uscita, 1821
- linearità, 1821
- range di funzionamento, 1821
- ripetibilità, 1822
- risoluzione, 1822
- sensibilità, 1822
- tempo di risposta, 1822
- RVDT (*Rotary Variable Differential Transformers*), 1851
- tattili, 2087
- tutto o niente (*on-off*), 2011
- Sequenziatore, 2031**
- Seriazione statistica, 87**
- Serie di volta, 1582**
- Serie, 43**
- armonica, 45
- convergente, 45
- criteri di convergenza, 45
- criterio del confronto, 45
- criterio del rapporto, 45
- criterio della radice, 46
- criterio di convergenza associata, 46
- criterio di convergenza incondizionata, 46
- serie a segni alterni, 46
- di Laurent, 66
- parte analitica, 66
- parte principale, 66
- di Mac Laurin, 48
- di Mengoli, 45
- di potenze, 47
- intervallo di convergenza, 47
- proprietà, 47
- di Taylor, 48, 66
- differenza, 46
- divergente, 45
- geometrica, 45
- numeriche, 45
- prodotto, 46
- resto della, 48
- somma della, 45
- somma di due, 46
- sviluppi di funzioni elementari, 48, 49
- Server, 211**
- Servizio/i**
- di prevenzione e protezione dai rischi, 332
- fornitura di, 322
- offerta, 316
- produzione, 316
- al consumo, 316
- alla produzione, 316
- Servomotore, 2086**
- Servovalvole, 2057**
- direzionali a due stadi con retroazione elettrica, 2058
- direzionali a due stadi con retroa-

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

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

Un unico volume raccoglie ora **le discipline propedeutiche e la trattazione specialistica**. Si è ritenuto utile riproporre nelle linee essenziali le discipline propedeutiche, per agevolare lo studente in un rapido ripasso e nella consultazione di qualsiasi argomento attinente quest'area. La **trattazione specialistica** è stata aggiornata con l'introduzione di nuovi disegni, tabelle, un approfondimento sulla *Prototipazione rapida* e nuovi capitoli sugli *Impianti termotecnici* nella sezione di *Energia*. È stata poi creata una specifica sezione di *Meccatronica* con riferimenti di base di elettrotecnica e di elettronica e una trattazione più ampia e organica dell'automazione.

Un manuale completo, quindi, che accompagna lo studente durante lo studio e all'esame, ma che gli potrà essere di aiuto anche nell'esercizio della professione: si spazia da discipline fondamentali quali la *fisica* e la *matematica* a specifici approfondimenti (*statistica, matematica finanziaria*) per arrivare ad argomenti di stringente attualità relativi al mondo della meccanica, della meccatronica e dell'energia, facilmente reperibili grazie al ricco *Indice analitico*.

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

<http://dizionari piu.zanichelli.it/cremonese>

MAN CREMONESE*MECCANICA 4ED(CR)

ISBN 978-88-08-25513-6



9 788808 255136

6 7 8 9 0 1 2 3 4 (26M)