

# 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

<b>1 MATEMATICA</b>	
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
<b>2 COMPLEMENTI DI MATEMATICA</b>	
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	<b>4 UNITÀ DI MISURA</b>	
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
<b>3 STATISTICA E CALCOLO DELLE PROBABILITÀ .....</b>	<b>85</b>	6. IMPIEGO DELLE TABELLE DI CONVERSIONE DELLE UNITÀ DI MISURA .....	<b>110</b>
1. CALCOLO COMBINATORIO .....	85	6.1. Premessa .....	110
1.1. Permutazioni semplici .....	85	6.2. Note esplicative .....	110
1.2. Disposizioni semplici .....	85	<b>5 FISICA</b>	
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
<b>4. DINAMICA .....</b>	<b>118</b>	<b>7 TECNOLOGIE INFORMATICHE</b>	
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
<b>5. PROPRIETÀ MECCANICHE DEI SOLIDI .....</b>	<b>126</b>	3.3. Android .....	225
<b>6. FLUIDI .....</b>	<b>127</b>	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	<b>4. PRINCIPALI APPLICAZIONI .....</b>	<b>233</b>
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
<b>7. TERMODINAMICA .....</b>	<b>131</b>	4.4. Presentazioni .....	258
7.1. Temperatura .....	132	4.5. Altre applicazioni .....	259
7.2. Dilatazione termica dei solidi e dei liquidi .....	132	<b>8 DISEGNO TECNICO</b>	
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
<b>8. CAMPO ELETTRICO .....</b>	<b>139</b>	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
<b>9. CAMPO MAGNETICO .....</b>	<b>144</b>	2.6. Iperboli .....	277
9.1. Induzione elettromagnetica .....	146	3. PRINCIPI GENERALI DI RAPPRESENTAZIONE .....	278
<b>10. OTTICA .....</b>	<b>147</b>	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
<b>11. ONDE .....</b>	<b>154</b>	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	<b>9 AUTOCAD 2D</b>	
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
<b>6 CHIMICA</b>		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
<b>10 PRINCIPI DI ECONOMIA E MATEMATICA FINANZIARIA</b>		<b>13 TECNOLOGIA INDUSTRIALE</b>	
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
<b>11 SICUREZZA NEI LUOGHI DI LAVORO: STRUMENTI E METODI PER L'ANALISI E LA VALUTAZIONE DEI RISCHI</b>		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
<b>12 QUALITÀ NEL CONTESTO INDUSTRIALE</b>		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	<b>16 ENERGIE RINNOVABILI</b>	
10.7. Foratura .....	396	<b>1. INTRODUZIONE</b> .....	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
<b>11. LAVORAZIONI ALLE MACCHINE UTENSILI</b> .....	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
<b>12. COLLEGAMENTI</b> .....	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	<b>2. SOLARE FOTOVOLTAICO</b> .....	460
12.3. Incastri .....	405	2.1. Descrizione del fenomeno fisico .....	460
12.4. Saldatura .....	407	2.2. Forme e tecnologie costruttive .....	462
<b>13. TRATTAMENTI TERMICI</b> .....	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	<b>3. ENERGIA IDROELETTRICA</b> .....	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
<b>14. AUTOMAZIONE</b> .....	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	<b>4. ENERGIA EOLICA</b> .....	477
14.3. Robot .....	413	4.1. Descrizione della risorsa eolica .....	477
<b>14 IMPATTO AMBIENTALE</b>		4.2. Calcolo della massima potenza .....	479
<b>1. ALTERAZIONE DEI SISTEMI, ORIGINE DEGLI INQUINANTI</b> .....	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
<b>2. BASI NORMATIVE PER LA TUTELA DEL PATRIMONIO AMBIENTALE: VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE</b> .....	421	<b>5. BIOMASSE</b> .....	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
<b>15 IMPIANTI PER IL TRATTAMENTO E LO SMALTIMENTO DEI RIFIUTI</b>		5.5. Il potere calorifico .....	484
<b>1. PREMESSA</b> .....	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	<b>6. ENERGIA GEOTERMICA</b> .....	488
<b>2. GESTIONE INTEGRATA DEI RIFIUTI</b> .....	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
<b>APPENDICE 1 – ESEMPI DI PROCEDURA DI GESTIONE DI UN RIFIUTO SPECIALE</b> .....	445	<b>7. ALTRE FONTI RINNOVABILI</b> .....	495
<b>APPENDICE 2 – IL SISTRI</b> .....	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
<b>8. ALLACCIAMENTO ALLA RETE ELETTRICA E MISURA DELL'ENERGIA .....</b>	<b>498</b>	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
<b>17 RISPARMIO ED EFFICIENZA ENERGETICA</b>		5.7. Decorrenze applicative .....	562
<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>503</b>	5.8. Norme tecniche di riferimento .....	562
1.1. Il ruolo del risparmio e dell'efficienza energetica	503	<b>6. SOFTWARE DI RIFERIMENTO PER IL CALCOLO ...</b>	<b>563</b>
1.2. La legislazione europea .....	505	<b>7. PROCEDURA PER IL CALCOLO SEMPLIFICATO CERTIFICAZIONE ENERGETICA .....</b>	<b>564</b>
1.3. La legislazione finanziaria per il risparmio energetico .....	505	<b>8. TRASMITTANZA TERMICA COMPONENTI OPACHI E TRASPARENTI .....</b>	<b>568</b>
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
<b>2. CONTRATTI DI SERVIZIO ENERGIA E RUOLO DELL'ENERGY MANAGER .....</b>	<b>513</b>	<b>9. PONTI TERMICI E SCAMBIO TERMICO VERSO AMBIENTI NON CLIMATIZZATI E VERSO IL TERRENO .....</b>	<b>571</b>
2.1. Contratto di servizio energia .....	513	<b>10. DETERMINAZIONE DEI RENDIMENTI DEGLI IMPIANTI .....</b>	<b>572</b>
2.2. Ruolo dell'energy manager .....	513		
<b>3. SISTEMI DI COGENERAZIONE E RECUPERO DEL CALORE .....</b>	<b>514</b>		
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		
<b>4. RISPARMIO ED EFFICIENZA ENERGETICA NEI SISTEMI DI RISCALDAMENTO E CONDIZIONAMENTO DEGLI AMBIENTI .....</b>	<b>518</b>		
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		
<b>5. RISPARMIO ED ETICHETTATURA ENERGETICA DEGLI ELETTRODOMESTICI .....</b>	<b>526</b>		
<b>6. RISPARMIO ED EFFICIENZA ENERGETICA NELL'ILLUMINAZIONE .....</b>	<b>527</b>		
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		
<b>18 CERTIFICAZIONE ED EFFICIENZA ENERGETICA DEGLI EDIFICI</b>			
<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>533</b>		
<b>2. DEFINIZIONI .....</b>	<b>534</b>		
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		
<b>3. RENDIMENTO ENERGETICO IN EDILIZIA, AMBITI DI INTERVENTO, FINALITÀ E MODALITÀ OPERATIVE .....</b>	<b>537</b>		
<b>4. CRITERI GENERALI E REQUISITI DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE DEGLI EDIFICI E DEGLI IMPIANTI .....</b>	<b>537</b>		
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		
<b>5. CERTIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI ...</b>	<b>556</b>		
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		
		<b>19 AUTOCAD 3D</b>	
		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
		<b>20 GESTIONE DEI PROGETTI</b>	
		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
		<b>21 LA GESTIONE DEL MAGAZZINO E DELLE SCORTE</b>	
		1. INTRODUZIONE .....	597
		2. LOTTO ECONOMICO DI ACQUISTO E DI PRODUZIONE .....	597
		3. PUNTO DI RIORDINO E LE SCORTE DI SICUREZZA .....	598
		<b>22 BREVETTI D'INVENZIONE</b>	
		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	<b>26 CORROSIONE E PROTEZIONE DEI MATERIALI</b>	
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	<b>27 PROCESSI DI MODIFICA SUPERFICIALE</b>	
<b>MATERIALI</b>			
<b>23 SCIENZA DEI MATERIALI</b>		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	<b>28 MATERIALI METALLICI</b>	
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
<b>24 IL FENOMENO DELLA FATICA</b>		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 pluriaxiali.....	652	6.4. Acciai per applicazioni meccaniche.....	692
6.4. Verifica con più livelli di sollecitazione.....	653	7. ACCIAI DA UTENSILI.....	692
<b>25 METALLOGRAFIA</b>		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	<b>30 MATERIALI CERAMICI</b>	
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
<b>PARTE 2 – SIDERURGIA</b> .....	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
<b>PARTE 3 – ALTRI MATERIALI METALLICI</b> .....	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	<b>31 MATERIE PLASTICHE ED ELASTOMERI</b>	
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	<b>32 MATERIALI COMPOSITI</b>	
<b>29 MATERIALI METALLICI SINTERIZZATI</b>		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 (CO<sub>2</sub>) ..... 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		
<b>38 LAVORAZIONI PLASTICHE</b>		<b>40 SALDATURA</b>	
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
<b>39 LAVORAZIONI PER ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO</b>		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	<b>41 METROLOGIA D'OFFICINA</b>	
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

5.2. Richiami sull'interferenza.....	934	1.6. Influenza della temperatura nelle tolleranze dimensionali.....	1015
5.3. Convessità e concavità.....	935	1.7. Indicazione delle tolleranze nel disegno (UNI 3976:89) per prodotti singoli.....	1016
5.4. Controllo dell'altezza $h$ di un blocchetto con riscontri piano-paralleli.....	937	1.8. Indicazione delle tolleranze nel disegno (UNI ISO 129-1:2011) per accoppiamenti.....	1018
6. CENTRI DI MISURA TRIDIMENSIONALI.....	937	2. ERRORI GEOMETRICI DELLE SUPERFICI: TOLLERANZE GEOMETRICHE (UNI EN ISO 1101:2006).....	1018
7. ERRORI E VERIFICA DEI PEZZI LISCI CON STRUMENTI DI MISURA A LETTURA.....	939	2.1. Scopo e campo di applicazione.....	1018
7.1. Generalità.....	939	2.2. Indicazione delle tolleranze geometriche sul disegno.....	1020
7.2. Richiami sulla terminologia e sui metodi probabilistici.....	939	2.3. Principi fondamentali per l'attribuzione delle tolleranze: esigenza di inviluppo e principio del massimo materiale.....	1024
7.3. Errore nella misura di una grandezza rilevabile direttamente.....	939	2.4. Tolleranze geometriche generali.....	1026
7.4. Propagazione degli errori.....	941	2.5. Applicazioni ed esempi.....	1028
8. QUALITÀ METROLOGICHE DI UNA MISURA TOLLERATA.....	941	3. ERRORI GEOMETRICI DELLE SUPERFICI: RUGOSITÀ (UNI EN ISO 4287:2009, UNI EN ISO 12085:1998).....	1034
8.1. Incertezza totale di misurazione.....	941	3.1. Premessa.....	1034
8.2. Tolleranza naturale.....	943	3.2. Definizioni.....	1034
42 <b>PROTOTIPAZIONE RAPIDA</b>		3.3. Parametri di rugosità e ondulazione delle superfici.....	1037
1. INTRODUZIONE.....	945	3.4. Regole per il confronto dei valori misurati con i limiti di tolleranza.....	1042
2. CICLO DI LAVORAZIONE.....	945	3.5. Indicazione dello stato delle superfici nella documentazione tecnica di prodotto (UNI EN ISO 1302:2004).....	1043
2.1. File STL.....	945	3.6. Posizione sui disegni e su altra documentazione tecnica.....	1046
2.2. Orientamento.....	947	4. ELEMENTI E COLLEGAMENTI FILETTATI.....	1047
2.3. Supporti.....	947	4.1. Generalità.....	1047
2.4. Slicing.....	947	4.2. Filettature unificate.....	1047
2.5. Costruzione del prototipo.....	948	4.3. Convenzioni generali di raffigurazione delle filettature (UNI EN ISO 6410-1:1998).....	1067
2.6. Post trattamento.....	948	4.4. Designazione, quotatura e tolleranze delle filettature.....	1068
3. RAPID TOOLING.....	948	4.5. Elementi di bulloneria.....	1069
43 <b>STUDI DI FABBRICAZIONE</b>		4.6. Materiali e classi di resistenza.....	1084
1. INTRODUZIONE.....	977	4.7. Bulloneria ad alta resistenza a serraggio controllato.....	1086
2. IL PRODOTTO DA REALIZZARE.....	977	4.8. Progetto di sistemi di giunzione con viti (e chiodi).....	1090
3. IL SISTEMA PRODUTTIVO.....	978	4.9. Dimensionamento delle viti di manovra.....	1093
4. IL CICLO DI LAVORAZIONE.....	978	4.10. Designazione degli elementi di bulloneria.....	1094
4.1. Analisi del disegno costruttivo.....	979	4.11. Rappresentazione semplificata delle parti filettate (UNI EN ISO 6410-3:1998).....	1095
4.2. Scelta del tipo di grezzo.....	979	4.12. Inserti filettati.....	1096
4.3. Determinazione dei processi tecnologici e delle lavorazioni.....	979	4.13. Rosette da appoggio.....	1097
4.4. Scelta delle macchine utensili.....	981	4.14. Dispositivi antisvitamento spontaneo.....	1099
4.5. Scelta delle sequenze delle operazioni.....	981	5. COLLEGAMENTI NON SMONTABILI.....	1102
4.6. La definizione dei piazzamenti e delle attrezzature necessarie per riferire e bloccare i pezzi sulle macchine.....	981	5.1. Saldature.....	1102
4.7. Scelta e montaggio dell'utensile.....	982	5.2. Chiodature e rivettature.....	1111
4.8. Scelta dei parametri tecnologici.....	983	6. COLLEGAMENTI ALBERO-MOZZO.....	1112
4.9. Scelta dei metodi di misura e controllo dei pezzi lavorati.....	983	6.1. Generalità.....	1112
4.10. Calcolo dei tempi di lavorazione.....	983	6.2. Assi, alberi e perni.....	1113
5. I DOCUMENTI DI LAVORAZIONE.....	984	6.3. Alberi profilati ( <i>splined shaft</i> ).....	1118
6. GLI ARCHIVI TECNOLOGICI.....	984	6.4. Elementi di collegamento tra albero e mozzo: linguette ( <i>parallel keys</i> ).....	1124
7. ESEMPIO APPLICATIVO DI STUDI DI FABBRICAZIONE.....	986	6.5. Elementi di collegamento tra albero e mozzo: chiavette ( <i>taper keys</i> ).....	1127
		6.6. Perni e spine.....	1129
		6.7. Copiglie.....	1134
<b>CONSTRUZIONE DI MACCHINE</b>			
44 <b>DISEGNO E PROGETTAZIONE DI MACCHINE</b>			
1. ERRORI GEOMETRICI DELLE SUPERFICI: TOLLERANZE DIMENSIONALI (UNI EN 20286:1995).....	997		
1.1. Posizioni di tolleranza e accoppiamenti.....	998		
1.2. Gradi di tolleranza normalizzati.....	1000		
1.3. Designazione.....	1002		
1.4. Scostamenti fondamentali.....	1002		
1.5. Accoppiamenti raccomandati e considerazioni pratiche.....	1005		



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.	Nocciolo 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 sottogtaglio. 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
<b>7. PROBLEMI DI DINAMICA DELLE MACCHINE</b> .....	<b>1353</b>
7.1. Vibrazioni.....	1353
7.2. Dinamica degli alberi rotanti.....	1355
<b>8. APPARECCHI DI SOLLEVAMENTO E MOVIMENTAZIONE</b> .....	<b>1357</b>
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
<b>47. REGOLARITÀ DEL MOTO</b>	
<b>1. BILANCIAMENTO DEGLI ALBERI ROTANTI</b>	
RIGIDI.....	1367
1.1. Generalità.....	1367
1.2. Metodi per l'equilibratura.....	1367
1.3. Macchina equilibratrice.....	1368
<b>2. BILANCIAMENTO BIELLA-MANOVELLA E PLURICILINDRICI</b> .....	<b>1371</b>
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
<b>48. LUBRIFICAZIONE</b>	
<b>1. LUBRIFICANTI MINERALI</b> .....	<b>1381</b>
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
<b>2. LUBRIFICANTI SINTETICI</b> .....	<b>1385</b>
<b>ENERGIA</b>	
<b>49. FISICA TECNICA</b>	
<b>1. TEMPERATURA E CALORE</b> .....	<b>1389</b>
1.1. La temperatura.....	1389
1.2. Calore.....	1390
<b>2. TRASMISSIONE DEL CALORE</b> .....	<b>1390</b>
2.1. Generalità.....	1390
2.2. Conduzione.....	1390
2.3. Irraggiamento.....	1390
2.4. Convezione.....	1396
2.5. Meccanismi combinati.....	1396
<b>3. EFFETTI DELLA TRASMISSIONE DEL CALORE</b> .....	<b>1397</b>
3.1. Coefficienti di dilatazione termica e di comprimibilità isoterma.....	1397
3.2. Coefficienti calorimetrici.....	1398
3.3. Cambiamenti di stato.....	1398
<b>4. TRASFORMAZIONI TERMODINAMICHE</b> .....	<b>1400</b>
<b>5. PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA</b> .....	<b>1400</b>
<b>6. SECONDO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA</b> .....	<b>1401</b>
6.1. Entropia.....	1401
6.2. Il ciclo di Carnot.....	1401
<b>7. TRASFORMAZIONI TERMODINAMICHE DI GAS, LIQUIDI E SOLIDI</b> .....	<b>1401</b>
7.1. Gas perfetti.....	1401
7.2. Gas reali.....	1402
7.3. Trasformazioni di liquidi e solidi.....	1402
<b>8. VAPORI. TRASFORMAZIONI</b> .....	<b>1403</b>
8.1. Vapori saturi.....	1403
8.2. Vapori surriscaldati.....	1406
8.3. Diagrammi termodinamici (Mollier).....	1409
<b>9. MISCELE DI ARIA E VAPOR D'ACQUA</b> .....	<b>1410</b>
<b>10. CICLI FRIGORIFERI E POMPE DI CALORE</b> .....	<b>1410</b>
10.1. Principi termodinamici della refrigerazione.....	1411
10.2. I refrigeranti.....	1412
<b>11. SCAMBIATORI DI CALORE</b> .....	<b>1412</b>
<b>50. IMPIANTI A VAPORE</b>	
<b>1. PREMESSA</b> .....	<b>1415</b>
<b>2. SIMBOLOGIA</b> .....	<b>1415</b>
<b>3. CIRCUITO ELEMENTARE E CICLO TERMODINAMICO</b> .....	<b>1415</b>
3.1. Effetti delle principali grandezze termodinamiche.....	1416
<b>4. BILANCI ENERGETICI E PRINCIPALI RENDIMENTI</b> .....	<b>1417</b>
<b>5. POSSIBILI MIGLIORAMENTI DELLE PRESTAZIONI</b> .....	<b>1418</b>
5.1. Risurriscaldamenti ripetuti.....	1418
5.2. Rigenerazione.....	1419
5.3. Gli scambiatori-rigeneratori.....	1420
<b>6. LOCAZIONE DELLE CENTRALI A VAPORE</b> .....	<b>1421</b>
6.1. L'interazione fra le centrali termoelettriche e l'ambiente.....	1421
<b>7. REGOLAZIONE E FLESSIBILITÀ</b> .....	<b>1422</b>
<b>8. IMPIANTI COMBINATI TAG-TAV</b> .....	<b>1422</b>
8.1. La caldaia a recupero.....	1423
8.2. Caldaie a più livelli di pressione.....	1425
8.3. Note sull'introduzione del degasatore.....	1425
<b>51. GENERATORI DI VAPORE</b>	
<b>1. TIPOLOGIA E CARATTERISTICHE GENERALI</b> .....	<b>1427</b>
<b>2. GENERATORI A TUBI DI FUMO</b> .....	<b>1427</b>
<b>3. GENERATORI A TUBI D'ACQUA</b> .....	<b>1428</b>
3.1. Circuito acqua-vapore e aria-fumi.....	1428
<b>4. PROBLEMI DI SCAMBIO TERMICO E DI STABILITÀ DI FLUSSO</b> .....	<b>1436</b>
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
<b>5. PROBLEMI DI CORROSIONE. REGOLAZIONE DEL SURRISCALDATO. RENDIMENTO</b> .....	<b>1440</b>
5.1. Tipologia della corrosione nelle caldaie.....	1440
5.2. Corrosione a bassa temperatura.....	1440
5.3. Corrosione ad alta temperatura.....	1441
<b>6. IL RENDIMENTO DEI GENERATORI DI VAPORE</b> .....	<b>1442</b>
<b>52. TURBINE A VAPORE</b>	
<b>1. GENERALITÀ</b> .....	<b>1445</b>
<b>2. CARATTERISTICHE TERMODINAMICHE</b> .....	<b>1446</b>
<b>3. AEROTERMODINAMICA DELLA TURBINA</b> .....	<b>1448</b>
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	<b>56 COMPRESSORI E VENTILATORI</b>	
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
<b>53 CONDENSATORI</b>		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	<b>57 MACCHINE IDRAULICHE</b>	
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
<b>54 MOTORI ENDOTERMICI ALTERNATIVI</b>		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
<b>55 IMPIANTI TURBOGAS</b>		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	<b>58 TURBINE A GAS</b>	
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
		<b>59 CAMERE DI COMBUSTIONE</b>	
		1. PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO E CLASSIFICAZIONE.....	1511

1.1. Generalità e definizioni .....	1511
1.2. Il processo di combustione .....	1511
1.3. Classificazione .....	1512
1.4. Sistemi di raffreddamento .....	1513
2. CAMPI DI APPLICAZIONE ED EMISSIONI INQUINANTI.....	1514
2.1. Impiego industriale .....	1514
2.2. Impiego aeronautico.....	1514
2.3. Emissioni.....	1514
<b>60 MACCHINE VOLUMETRICHE</b>	
1. GENERALITÀ E DEFINIZIONI .....	1515
2. MACCHINE VOLUMETRICHE ALTERNATIVE .....	1515
2.1. Compressori volumetrici alternativi .....	1515
2.2. Pompe volumetriche alternative .....	1516
3. MACCHINE VOLUMETRICHE ROTATIVE.....	1517
<b>61 MISURE NELLE MACCHINE</b>	
1. ELEMENTI DI UN SISTEMA DI MISURA.....	1519
1.1. Taratura statica .....	1519
1.2. Parametri caratteristici di un trasduttore .....	1519
1.3. Combinazione degli errori di una misura .....	1520
2. MISURE DI TEMPERATURA .....	1520
2.1. Termocoppie .....	1520
2.2. Termometri a resistenza .....	1522
2.3. Termistori .....	1522
3. MISURE DI PORTATA .....	1522
3.1. Misuratori ad area costante e a caduta di pressione variabile .....	1522
3.2. Misuratori a caduta ad area variabile (rotametri).....	1523
3.3. Elementi a flusso laminare .....	1523
3.4. Misuratori a turbina.....	1523
3.5. Misuratori di portata elettromagnetici .....	1524
3.6. Ultrasuoni .....	1524
3.7. Vortex .....	1524
3.8. Misuratore massico Coriolis .....	1524
<b>62 COGENERAZIONE</b>	
1. INTRODUZIONE .....	1525
1.1. Rendimento del sistema di cogenerazione.....	1525
2. INQUADRAMENTO DELLE TECNOLOGIE .....	1526
2.1. Taglia e rapporto elettricità/calore.....	1526
2.2. Temperatura a cui è fornito il calore.....	1526
2.3. Combustibile.....	1526
2.4. Regolazione .....	1527
3. MOTORI ALTERNATIVI A COMBUSTIONE INTERNA .....	1527
4. CICLI A VAPORE .....	1527
5. TURBINE A GAS.....	1527
6. CICLI COMBINATI .....	1528
7. ALTRE TECNOLOGIE.....	1528
7.1. Sistemi a celle a combustibile.....	1528
7.2. Sistemi a fluido organico .....	1529
8. CONSIDERAZIONI SUL DIMENSIONAMENTO .....	1529
<b>63 IMPIANTI TERMOTECNICI</b>	
1. PROGETTAZIONE DI UN IMPIANTO .....	1531
2. RACCOLTA DEI DATI .....	1531
3. DIMENSIONAMENTO DELL'UNITÀ DI TRATTAMENTO ARIA .....	1532
4. DIMENSIONAMENTO DELLE CANALIZZAZIONI .....	1533
5. SCELTA DEL VENTILATORE DI MANDATA .....	1538
<b>64 SISTEMI DI DIFFUSIONE DELL'ARIA</b>	
1. QUALITÀ DELL'ARIA AMBIENTE.....	1539
2. RIMOZIONE DEGLI INQUINANTI .....	1541
3. DIFFUSIONE DELL'ARIA .....	1550
<b>65 IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE</b>	
1. PROGETTAZIONE DI UN IMPIANTO .....	1555
2. DETERMINAZIONE DEL CARICO TERMICO LATENTE .....	1555
3. SISTEMI A TUTTA ARIA .....	1556
4. SISTEMI MISTI ARIA-ACQUA .....	1557
5. UNITÀ DI TRATTAMENTO DELL'ARIA .....	1558
6. LE CENTRALI FRIGORIGENE .....	1560
<b>66 LE CALDAIE AD ACQUA CALDA</b>	
1. GENERATORI DI ACQUA CALDA .....	1563
2. COMBUSTIONE DEL METANO .....	1564
3. PERDITE DI ENERGIA .....	1565
4. RISCALDAMENTO AUTONOMO .....	1565
<b>MECCATRONICA • SISTEMI E AUTOMAZIONE</b>	
<b>67 ELETTROTECNICA</b>	
1. ELETTROSTATICA .....	1569
1.1. Azioni tra cariche elettriche (legge di Coulomb)... ..	1569
1.2. Campo elettrico .....	1569
1.3. Linee di forza .....	1569
1.4. Intensità di campo elettrico .....	1569
1.5. Energia potenziale elettrica. Potenziale elettrico. Tensione elettrica.....	1570
1.6. Teorema di Gauss. Densità superficiale .....	1572
1.7. Capacità .....	1573
1.8. Condensatore .....	1573
1.9. Rigidità dielettrica .....	1575
1.10. Energia immagazzinata da un condensatore carico .....	1575
2. CORRENTI CONTINUE.....	1576
2.1. Corrente elettrica e densità di corrente.....	1576
2.2. Resistenza e resistività.....	1576
2.3. Conduttanza e conduttività.....	1578
2.4. Legge di Ohm .....	1578
2.5. Caduta di tensione.....	1578
2.6. Circuito elettrico .....	1578
2.7. Convenzioni di segno .....	1578
2.8. Ordini di grandezza .....	1578
2.9. Bipoli elettrici .....	1579
2.10. Tipologie di generatori reali .....	1581
2.11. Circuiti in corrente continua .....	1584
2.12. Carica e scarica del condensatore.....	1596
2.13. Dualità e analogie .....	1598
2.14. Energia. Potenza. Legge di Joule .....	1599
2.15. Rendimento.....	1599
2.16. Quadripoli .....	1600
3. CAMPI MAGNETICI E CIRCUITI MAGNETICI .....	1604
3.1. Magnetici naturali .....	1604
3.2. Induzione magnetica .....	1605
3.3. Isteresi magnetica .....	1606
3.4. Legge della circuitazione di Ampere .....	1606
3.5. Applicazione della legge di Ampere al solenoido .....	1607
3.6. Flusso del vettore $B$ e teorema di Gauss.....	1607
3.7. Flusso del vettore $B$ attraverso una superficie non chiusa .....	1607

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
<b>68 DISEGNO ELETTRICO ED ELETTRONICO</b>		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
<b>69 MACCHINE ELETTTRICHE</b>		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
<b>71 CONVERTITORI STATICI</b>	
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 SEMICONDUCTORE.....**

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 SEGNALE 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
<b>6. PROGETTO STATICO.....</b>	<b>1913</b>
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
<b>7. PROGETTO DINAMICO.....</b>	<b>1916</b>
7.1. Parametri di valutazione .....	1916
7.2. Prontezza e fedeltà di risposta .....	1916
7.3. Stabilità .....	1916
7.4. Reti correttive .....	1918
<b>8. REGOLATORI INDUSTRIALI.....</b>	<b>1919</b>
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
<b>9. APPLICAZIONI PRATICHE.....</b>	<b>1923</b>
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
<b>10. SISTEMI DI CONTROLLO DIGITALI.....</b>	<b>1928</b>
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
<b>76 IMPIANTI PER L'AUTOMAZIONE INDUSTRIALE</b>	
<b>1. CONCETTI INTRODUTTIVI.....</b>	<b>1933</b>
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
<b>2. APPLICAZIONI DI AZIONAMENTI ELETTROMECCANICI.....</b>	<b>1937</b>
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
<b>3. APPLICAZIONI DI AZIONAMENTI IDROPNEUMATICI.....</b>	<b>1943</b>
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
<b>4. PROGETTO DI AZIONAMENTI INDUSTRIALI.....</b>	<b>1950</b>
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

<b>77 CONTROLLORI LOGICI PROGRAMMABILI (PLC)</b>	
<b>1. CONCETTI INTRODUTTIVI.....</b>	<b>1961</b>
<b>2. CARATTERISTICHE .....</b>	<b>1962</b>
2.1. PLC piccoli .....	1963
2.2. PLC medio-grandi .....	1963
<b>3. ELEMENTI DI STIMA DI UN SISTEMA DI CONTROLLO.....</b>	<b>1963</b>
3.1. Dispositivi di I/O .....	1963
3.2. Capacità di memoria .....	1963
3.3. Programmazione .....	1964
3.4. Periferiche e opzioni .....	1964
<b>4. STRUTTURA.....</b>	<b>1964</b>
<b>5. FUNZIONAMENTO.....</b>	<b>1965</b>
5.1. Modularità .....	1965
5.2. Personal computer e PLC.....	1969
<b>6. PROGRAMMAZIONE .....</b>	<b>1971</b>
6.1. Linguaggi .....	1971
6.2. Esempi .....	1973
6.3. Linguaggio Grafcet .....	1978
<b>7. APPLICAZIONI .....</b>	<b>1979</b>
<b>8. AFFIDABILITÀ, DISPONIBILITÀ E SICUREZZA.....</b>	<b>1982</b>
8.1. Affidabilità.....	1982
8.2. Disponibilità .....	1983
8.3. Sicurezza .....	1983
<b>9. PLC SCHNEIDER.....</b>	<b>1984</b>
9.1. Programmazione.....	1985
<b>10. PLC OMRON.....</b>	<b>1992</b>
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
<b>11. PLC SIMATIC .....</b>	<b>1995</b>
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
<b>78 CIRCUITI E IMPIANTI PNEUMATICI E OLEIDRAULICI</b>	
<b>PARTE 1 – INTRODUZIONE.....</b>	<b>2007</b>
<b>1. PROPRIETÀ GENERALI DEI FLUIDI .....</b>	<b>2007</b>
1.1. Caratteristiche dei fluidi comprimibili e incompressibili .....	2007
1.2. Leggi generali per lo studio dei fluidi ideali .....	2007
<b>2. SISTEMI DI MISURA E STRUMENTAZIONE .....</b>	<b>2008</b>
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
<b>PARTE 2 – PRINCIPI GENERALI DI PNEUMATICA.....</b>	<b>2011</b>
<b>3. PRODUZIONE, DISTRIBUZIONE E TRATTAMENTO DELL'ARIA COMPRESSA .....</b>	<b>2011</b>
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	<b>79 FONDAMENTI DI ROBOTICA</b>	
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
		<b>INDICE ANALITICO</b> .....	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.

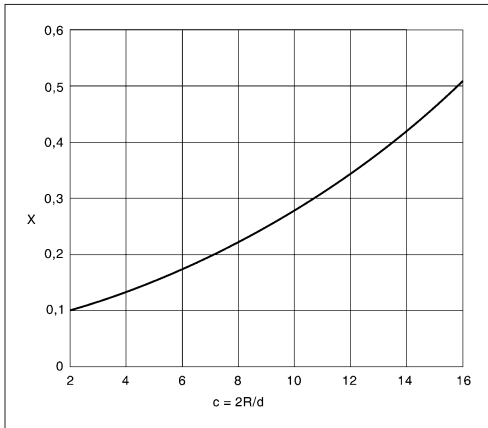


FIGURA 44.291 Fattore per il calcolo della distanza tra le spire.

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 di 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  $\theta$  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.

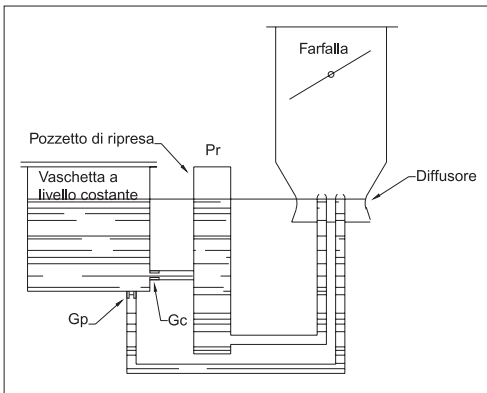


FIGURA 54.16 Schema di carburatore a getto compensato.

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 sboccantivi 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  $\text{dm}^3$ ,  $\omega$  (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  $\gamma$  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  $\gamma$  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.

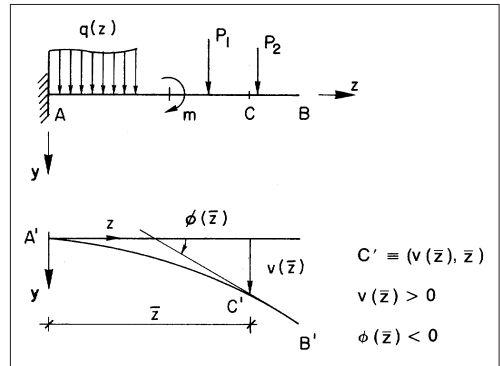


FIGURA 45.120 Linea elastica della trave.

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 ( $\phi$ ) 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-

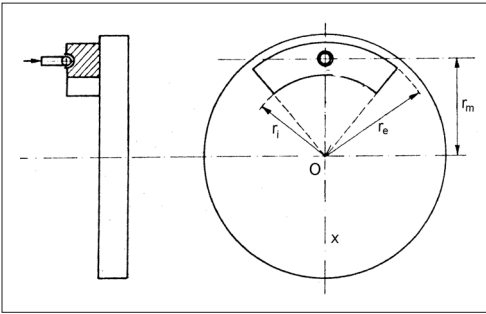


FIGURA 46.59 Freno a disco ad accostamento libero.

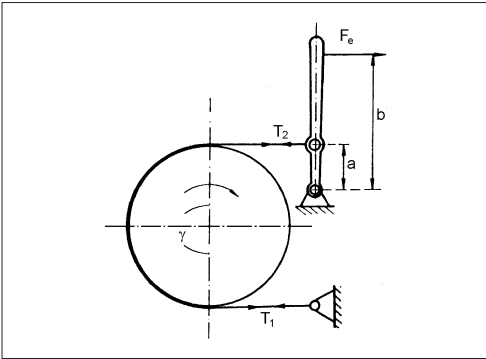


FIGURA 46.60 Freno a nastro.

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  $\theta$  la direzione generica,  $\alpha$  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  $\psi$ , che è legato all'apertura  $2\beta$  del ceppo e alla direzione di accostamento  $\alpha$  dalla relazione:

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

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:

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

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

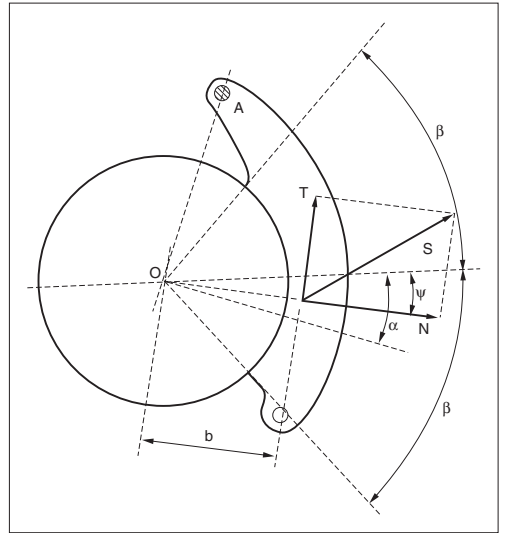


FIGURA 46.61 Azioni fra tamburo e ceppo.

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).

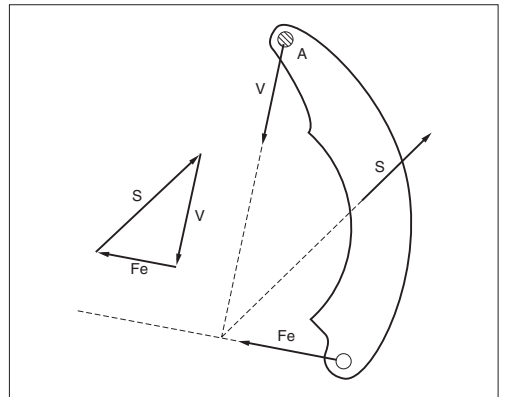


FIGURA 46.62 Equilibrio del ceppo.

Per i freni a ceppi flottanti la direzione di accostamento non è nota, ma dalla relazione soprascritta segue che, qualunque sia l'angolo  $\psi$ , 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  $\phi$  (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-

sentati 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.

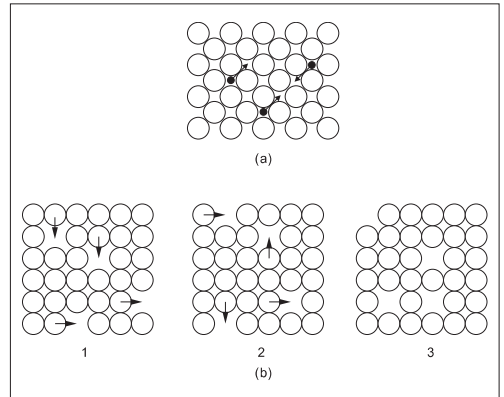


FIGURA 23.30 Meccanismi di diffusione allo stato solido: (a) diffusione interstiziale; (b) diffusione per vacanze.

### 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  $\Delta H$  è il calore latente di fusione.

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

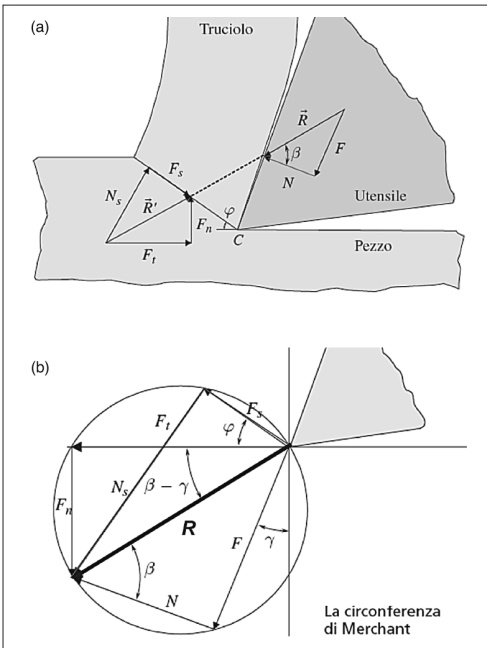


FIGURA 39.3 (a) Sistema di forze tra utensile e truciolo durante il processo di taglio. (b) Scomposizione della risultante  $R$  secondo il modello proposto da Ernst e Merchant.

Considerando che sul piano di scorrimento si raggiunge la massima tensione dinamica di scorrimento  $\tau_s$  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  $\beta$  l'angolo di attrito, con  $A_s$  area del piano di scorrimento, con  $A_0$  la sezione del truciolo indeformato e con  $\varphi$  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  $\tau_s$  e tensione normale  $\sigma_s$  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  $\tau_s$  e  $\varphi$ .

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 ( $\text{daN/mm}^2$ ),  $A_0$  la sezione del truciolo ( $\text{mm}^2$ ),  $K_s$  la pressione di taglio ( $\text{N/mm}^2$ ),  $K_{s0}$  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 ( $\text{daN/mm}^2$ ),  $HB$  la durezza Brinnell del materiale lavorato ( $\text{daN/mm}^2$ ) e  $\beta$  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

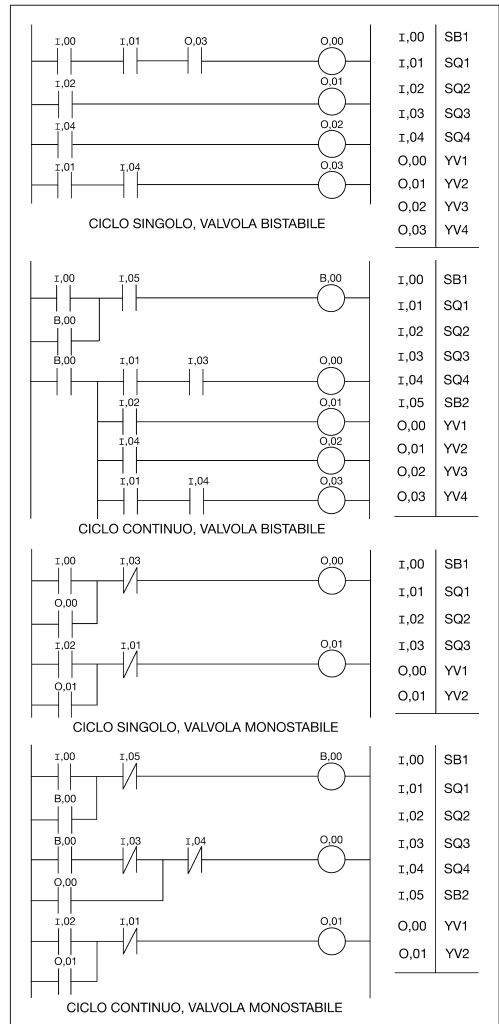


FIGURA 76.22 Programma in linguaggio ladder.



- 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' intaglio, 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)