

I diritti di elaborazione in qualsiasi forma o opera, di memorizzazione anche digitale, su supporti di qualsiasi tipo (inclusi magnetici e ottici), di riproduzione e di adattamento totale o parziale con qualsiasi mezzo (compresi i microfilm e le copie fotostatiche), i diritti di noleggio, di prestito e di traduzione sono riservati per tutti i paesi.
L'acquisto della presente copia dell'opera non implica il trasferimento dei suddetti diritti né li esaurisce.

Le fotocopie per uso personale (cioè privato e individuale) possono essere effettuate, nei limiti del 15% di ciascun volume, dietro pagamento alla S.I.A.E. del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633.
Tali fotocopie possono essere effettuate negli esercizi commerciali convenzionati S.I.A.E. o con altre modalità indicate da S.I.A.E.

Per le riproduzioni ad uso non personale (ad esempio: professionale, economico o commerciale) l'editore potrà concedere a pagamento l'autorizzazione a riprodurre un numero di pagine non superiore al 15% delle pagine del presente volume.
Le richieste per tale tipo di riproduzione vanno inoltrate a:

Associazione Italiana per i Diritti di Riproduzione
delle Opere dell'ingegno (AIDRO)
Corso di Porta Romana, 108
20122 Milano
e-mail segreteria@aidro.org e sito web www.aidro.org

L'editore, per quanto di propria spettanza, considera rare le opere fuori del proprio catalogo editoriale.
La riproduzione degli esemplari esistenti nelle biblioteche di tali opere è consentita, non essendo concorrenziale all'opera. Non possono considerarsi rare le opere di cui esiste, nel catalogo dell'editore, una successiva edizione, le opere presenti in cataloghi di altri editori o le opere antologiche.

Maggiori informazioni sul nostro sito: www.zanichelli.it/f_info_fotocopie.html

.....
Progetto grafico, redazione e indice analitico: Stilgraf, Bologna

Immaginazione: Monograf, Bologna

Copertina: Francesca Malerba e Mariangela Zabatino, Buyschaert&Malerba

Prima edizione: 1991

Seconda edizione: 1999

Terza edizione: aprile 2012

Ristampa

5 4 3 2 1 2016 2015 2014 2013 2012

Questo libro è stampato su carta che rispetta le foreste. www.zanichelli.it/la-casa-editrice/carta-e-ambiente/

Realizzare un libro è un'operazione complessa, che richiede numerosi controlli: sul testo, sulle immagini e sulle relazioni che si stabiliscono tra essi.

L'esperienza suggerisce che è praticamente impossibile pubblicare un libro privo di errori. Saremo quindi grati ai lettori che vorranno segnalarceli.

Per segnalazioni o suggerimenti relativi a questo libro l'indirizzo a cui rivolgersi è:

Zanichelli editore S.p.A.
Via Imerio 34
40126 Bologna
fax 051293322
e-mail: linea_universitaria@zanichelli.it
sito web: www.zanichelli.it

Prima di effettuare una segnalazione è possibile verificare se questa sia già stata inviata in precedenza, identificando il libro interessato all'interno del nostro catalogo on line (www.zanichelli.it/f_catalog.html) e selezionando il link ERRATA CORRIGE, dove sono disponibili le eventuali correzioni in formato PDF.

Per comunicazioni di tipo commerciale: universita@zanichelli.it

Stampa: Tipografia Gamma
Via G. Pastore, 9 - Cerbara - Città di Castello (PG)
per conto di Zanichelli editore S.p.A.
Via Imerio 34, 40126, Bologna

Prefazione

Un tempo due erano gli strumenti principali del perito e dell'ingegnere meccanico: il manuale e il regolo calcolatore. Oggi il regolo è praticamente scomparso, sostituito da un'infinità di dispositivi elettronici. Viene quindi da chiedersi se questa sarà anche la fine dei manuali, magari sostituiti dalla grande mole di informazioni reperibili in rete.

A nostro parere, per fortuna, la carta stampata sta dimostrando una maggiore resistenza del previsto e, forse, l'azione di «sfogliare» un manuale può ancora costituire una via rapida per la ricerca delle informazioni e uno strumento per incentivare un rapido collegamento mentale e quindi il sorgere di nuove idee.

In questa Parte Specialistica di *Meccanica, Meccatronica ed Energia* della nuova edizione del *Manuale Cremonese* si è voluto dare maggior spazio a tabelle e figure, limitando la parte testuale a una sintetica descrizione dei temi trattati, anche in rapporto alla grande espansione delle conoscenze ingegneristiche degli ultimi anni, onde condensare in un unico volume la maggior quantità possibile di dati che si richiedono durante il lavoro di studenti e professionisti che operino nel campo dell'ingegneria. Si è voluta comunque mantenere una sintesi dei vari argomenti anche per garantire la multidisciplinarietà del manuale, consentendo quindi il suo utilizzo anche da parte di studenti e tecnici di settori affini.

Il taglio dato alla trattazione è omogeneo con quello adottato nella Parte Generale, della quale il presente volume è parte integrante. La consultazione di questo volume pertanto non può essere utilmente condotta senza la disponibilità della Parte Generale, alla quale gli autori hanno di frequente inserito rinvii atti a collegare gli argomenti trattati.

In linea generale si è preferito affidare la trattazione a studiosi e/o professionisti, molti dei quali colleghi e amici, che, in qualità di esperti della materia, garantissero capacità scientifiche e professionali. Ringraziamo tutti per la disponibilità e la competenza con le quali hanno risposto al nostro invito.

Molti capitoli sono stati scritti *ex novo*, altri sono stati oggetto del necessario aggiornamento, sia per allinearsi al grande sviluppo delle discipline scientifiche e tecnologiche degli ultimi anni, sia per adeguarsi alle nuove normative europee e internazionali.

L'opera è stata, inoltre, adeguata ai nuovi programmi previsti dal riordino degli Istituti Tecnici del Settore Tecnologico (Legge 169/2008) che prevede nove ampi indirizzi, riferiti alle aree tecnologiche più rappresentative del sistema economico e produttivo del Paese, tra i quali l'indirizzo di Meccanica, Meccatronica ed Energia, trattato nel presente volume. Questo indirizzo integra competenze

scientifiche e tecnologiche di ambito meccanico, dell'automazione e dell'energia e presenta due articolazioni:

- Meccanica e Meccatronica, che approfondisce, nei diversi contesti produttivi, le tematiche generali connesse alla progettazione, realizzazione e gestione di apparati e sistemi e alla relativa organizzazione del lavoro;
- Energia, per l'approfondimento, in particolare, delle specifiche problematiche collegate alla conversione e utilizzazione dell'energia, ai relativi sistemi tecnici di controllo e alle normative per la sicurezza e la tutela dell'ambiente.

Le materie contenute nel presente volume sono state raccolte in quattro sezioni, comprendenti discipline tra loro omogenee.

La prima sezione, denominata *Materiali*, è articolata in quattordici capitoli che, nel dettaglio, hanno per argomenti di trattazione:

- la scienza dei materiali, la struttura dei solidi e la loro struttura cristallina;
- il fenomeno della fatica e quello della resistenza alla fatica;
- i metodi per l'osservazione della struttura dei materiali;
- la corrosione dei materiali metallici e i metodi che possono essere posti in atto per proteggere le superfici da questo fenomeno;
- i processi atti a conferire alla superfici proprietà funzionali proprie rispetto alla parte massiva di un manufatto;
- i materiali metallici: le ferro-leghe, l'influenza degli elementi di lega e i trattamenti termici; gli acciai da costruzione, quelli da utensili e quelli resistenti alla corrosione; le ghise; i processi siderurgici; l'alluminio, il rame, il magnesio, il titanio, il nichel e le loro leghe; le leghe per alta temperatura;
- i materiali metallici sinterizzati;
- i materiali ceramici;
- le materie plastiche e gli elastomeri;
- i materiali compositi, sia di rinforzo sia per matrici;
- le nanotecnologie e i materiali a memoria di forma;
- gli adesivi e i sigillanti; la progettazione di giunti incollati;
- le prove per caratterizzare i materiali metallici;
- le prove non distruttive.

La seconda sezione, denominata *Tecnologia meccanica*, è composta da otto capitoli relativi a:

- la fonderia della ghisa, delle leghe leggere, delle cu-proleghe;

- le lavorazioni plastiche e quindi i processi di fucinatura, di estrusione, di trafilatura, di laminazione e di lavorazione a freddo delle lamiere;
- le lavorazioni per asportazione di materiale e, quindi, la formazione del truciolo; i materiali, la geometria e l'usura degli utensili da taglio; le diverse lavorazioni come la tornitura, la foratura, la fresatura, le lavorazioni per moto di taglio alternato, le lavorazioni per abrasione e quelle non convenzionali; le attrezzature e i sistemi di riferimento e bloccaggio;
- la saldatura;
- il collaudo delle macchine utensili;
- la metrologia d'officina e, quindi, la verifica dei pezzi, la metrologia pneumatica, le misure interferenziali e i centri di misura;
- gli studi di fabbricazione e, quindi, i processi logico decisionali necessari per ottimizzare la produzione;
- la prototipazione rapida: il ciclo di lavorazione, le tecniche, il *rapid tooling*.

La terza sezione relativa a *Meccanica e costruzione di macchine*, è composta da dodici capitoli relativi a:

- il disegno e il progetto degli organi di macchine;
- la scienza delle costruzioni;
- la meccanica applicata;
- la regolarità del moto e quindi il bilanciamento degli alberi rotanti rigidi, del sistema biella-manovella e dei pluricilindrici;
- i sistemi di automazione e robotica;
- gli strumenti informatici per il disegno e la modellazione tridimensionale;
- gli ambienti di lavoro per il calcolo strutturale e in particolare il metodo degli elementi finiti;
- la progettazione di prodotti ecocompatibili;
- gli strumenti di *project management*;
- la gestione del magazzino e delle scorte;
- la proprietà intellettuale e quindi i brevetti d'invenzione e la loro struttura, i criteri per la brevettabilità,

le classi brevettuali e la descrizione dell'iter per la presentazione di una domanda di brevetto.

La quarta e ultima sezione, denominata *Energetica*, è articolata in quattordici capitoli che trattano i seguenti argomenti:

- la fisica tecnica, quindi la temperatura e il calore, gli effetti della trasformazione del calore, i principi della termodinamica, le trasformazioni termodinamiche dei gas, dei liquidi e dei solidi, dei vapori e infine i cicli frigoriferi;
- gli impianti a vapore;
- i generatori di vapore, a tubi di fumo e a tubi d'acqua, problemi di scambio termico, di stabilità di flusso e di corrosione, regolazione del surriscaldato e rendimento;
- le turbine a vapore, quindi le loro caratteristiche termodinamiche e aerotermodinamiche; organi costitutivi e applicazioni;
- i condensatori;
- i motori endotermici alternativi: cicli termodinamici, i componenti principali;
- gli impianti turbogas;
- i compressori e i ventilatori;
- le macchine idrauliche;
- le turbine a gas;
- le camere di combustione;
- le macchine volumetriche;
- le misure nelle macchine;
- la cogenerazione.

Ci affidiamo al lettore attento, e lo ringraziamo in anticipo per la collaborazione, sia nella segnalazione di eventuali errori o inesattezze, sia nella formulazione di critiche e suggerimenti.

I coordinatori
 Prof. Ing. MARCO POGGI
 Prof. Ing. MONICA CARFAGNI

Autori

Prof. Ing. BENEDETTO ALLOTTA:
Automazione e robotica

Prof. Ing. ANDREA ARNONE:
Compressori e ventilatori
Turbine a gas

Prof. Ing. TIBERIO BACCI:
Materiali ceramici
Materiali compositi
Materiali metallici

Prof. Ing. GIANNI BIDINI:
Motori endotermici alternativi

Prof. LINO BISENZI:
Metrologia d'officina

Ing. GIAN FILIPPO BOCCHINI:
Materiali metallici sinterizzati

Dott. Ing. GIANNI CAMPATELLI:
Lavorazioni per asportazione di truciolo

EUGENIO CAPURRO:
Prove non distruttive

Dott. Ing. CARLO CARCASI:
Generatori di vapore
Impianti a vapore

Prof. Ing. MONICA CARFAGNI:
Disegno e progettazione di macchine
Prototipazione rapida

Prof. Ing. GAETANO CASCINI:
Brevetti d'invenzione

Prof. Ing. PAOLO CITTI:
Nanotecnologie e materiali a memoria di forma

Prof. Ing. MAURIZIO DE LUCIA:
Macchine idrauliche
Misure nelle macchine

Dott. SERGIO DEL ROSS:
Lubrificazione

Dott. Ing. MASSIMO DELOGU:
Progettazione ecocompatibile

Prof. Ing. UMBERTO DESIDERI:
Condensatori

Prof. Ing. BRUNO FACCHINI:
Camere di combustione
Impianti a vapore
Impianti turbogas

Prof. Dott. LUCA FAMBRI:
Materie plastiche ed elastomeri

Dott. Ing. GIOVANNI FERRARA:
Motori endotermici alternativi

Dott. Ing. LORENZO FERRARI:
La cogenerazione

Per. Ind. RENATO FERRI:
Fonderia
Metrologia d'officina

Ing. FIORENZO FRANCESCHINI:
Collaudo delle macchine utensili

Dott. Ing. ROCCO FURFERI:
Disegno e progettazione di macchine

Prof. Dott. EMANUELE GALVANETTO:
Processi di modifica superficiale

Ing. MAURO GHERSI:
Lavorazioni plastiche

Prof. Dott. CARLO GIANOGGIO:
Materiali metallici

Dott. Ing. ALESSANDRO GIORGETTI:
Nanotecnologie e materiali a memoria di forma

Dott. Ing. LAPO GOVERNI:
Disegno assistito dal calcolatore
Il metodo degli elementi finiti

Prof. Ing. GIUSEPPE GRAZZINI:
Fisica tecnica

Ing. STEFANO GREGORIO:
Saldatura

Prof. Dott. GUALTIERO GUSMANO:
Scienza dei materiali

Prof. Ing. GIOVAN GUALBERTO LISINI:
Meccanica applicata

Ing. TOMMASO LUCHETTI:
Nanotecnologie e materiali a memoria di forma

Prof. Ing. GIAMPAOLO MANFRIDA:
Generatori di vapore

Dott. Ing. MICHELE MARCONCINI:
Turbine a gas

Prof. Ing. FRANCESCO MARTELLI:
Camere di combustione
Turbine a vapore

Ing. PIERFRANCO MAURI:
Adesivi

Dott. GIANCARLO MEI:
Materiali metallici

Prof. Ing. GIOVANNI NERLI:
Disegno e progettazione di macchine

Dott. Ing. ROBERTO PACCIANI:
Compressori e ventilatori
Macchine volumetriche

Prof. Ing. MATTEO PALAI:
Disegno e progettazione di macchine

Dott. Ing. SUSANNA PAPINI:
Lubrificazione
Regolarità del moto

Per. Ind. SERGIO PERINI:
Studi di fabbricazione

Prof. Ing. MARCO POGGI:
Disegno e progettazione di macchine
Metrologia d'officina
Regolarità del moto
Studi di fabbricazione

Prof. Dott. GIORGIO PRADELLI:
Materiali ceramici
Materiali metallici

Prof. Dott. FRANCO PRATESI:
Materiali metallici
Metallografia

Dott. Ing. LUCA PUGI:
Automazione e robotica

Prof. Ing. EMILIO RAMPUS:
Materiali metallici

Prof. Ing. SERGIO REALE:
Prove di materiali metallici
Prove non distruttive

Prof. Ing. RINALDO RINALDI:
La gestione dei progetti
La gestione del magazzino e delle scorte

Prof. Ing. LUCIANO RUPINI:
Saldatura

Dott. Ing. ANTONIO SCIPPA:
Lavorazioni per asportazione di truciolo

Prof. Ing. GIOVANNI TANI:
Studi di fabbricazione

Prof. Ing. BALDO TESI:
Materiali ceramici
Materiali metallici

Prof. Dott. GIORDANO TRABANELLI:
Corrosione e protezione dei materiali

Prof. Ing. DARIO VANGI:
Prove di materiali metallici
Prove non distruttive

Prof. Ing. ANDREA VIGNOLI:
Scienza delle costruzioni

Dott. Ing. YARY VOLPE:
Disegno assistito dal calcolatore
Il metodo degli elementi finiti

Prof. Ing. GIOVANNI ZONFRILLO:
Metallografia
Scienza delle costruzioni
Il fenomeno della fatica

Prof. Dott. FABRIZIO ZUCCHI:
Corrosione e protezione dei materiali

Indice generale

Sezione prima

MATERIALI

1 Scienza dei materiali

1	Definizioni	1.1
2	Struttura dei solidi	1.1
2.1	Ordine e disordine	1.1
2.2	Strutture ordinate	1.2
2.3	Struttura cristallina dei materiali metallici	1.4
2.4	Struttura cristallina dei materiali inorganici non metallici	1.5
3	Difetti della struttura cristallina	1.7
3.1	Difetti di punto	1.7
3.2	Difetti di linea: dislocazioni	1.8
3.3	Difetti di superficie: bordi di grano	1.9
4	Diagrammi di stato	1.9
4.1	Sistemi a un componente	1.9
4.2	Sistemi a due componenti	1.10
4.3	Trasformazioni in condizioni di non equilibrio	1.15
4.4	Analisi termica	1.16
5	Trasformazioni di fase governate dalla diffusione	1.17
5.1	Diffusione	1.17
5.2	Solidificazione	1.17
5.3	Trasformazioni allo stato solido	1.19
6	Curve TTT	1.19
6.1	Trasformazioni senza diffusione	1.20

2 Il fenomeno della fatica

1	Sollecitazioni alternate negli elementi delle macchine	2.1
2	Natura del fenomeno della fatica	2.2
3	Prove di fatica e presentazione dei risultati	2.2
4	Concentrazione delle tensioni e sensibilità all'intaglio	2.5
5	Fattori che influenzano la resistenza a fatica	2.19
6	Verifiche di resistenza a fatica	2.21
6.1	Sollecitazioni monoassiali alternate simmetriche	2.21
6.2	Sollecitazioni monoassiali generiche	2.21
6.3	Sollecitazioni pluriassiali	2.21
7	Verifica con più livelli di sollecitazione	2.22

3 Metallografia

1	Microscopia ottica	3.1
2	Microscopia elettronica	3.2

2.1	Microscopio elettronico a scansione	3.2
2.2	Microscopio elettronico in trasmissione	3.3
3	Altre microscopie	3.3
3.1	Microscopia a emissione di campo e sviluppi	3.3
3.2	Nuove microscopie	3.4

4 Corrosione e protezione dei materiali

1	Corrosione	4.1
1.1	Corrosione a umido	4.1
1.2	Corrosione a secco	4.6
2	Protezione dei metalli dalla corrosione	4.6
2.1	Prevenzione mediante modifiche superficiali del materiale metallico	4.6
2.2	Rivestimenti metallici	4.6
2.3	Strati di conversione	4.7
2.4	Pitture e vernici	4.7
3	Prevenzione mediante diminuzione delle caratteristiche di aggressività dell'ambiente	4.7
4	Protezione elettrica	4.8

5 Processi di modifica superficiale

1	Introduzione	5.1
2	Principali processi di rivestimento	5.1
2.1	Processo CVD	5.1
2.2	Processo PVD	5.2
2.3	Scarica ionica	5.4
2.4	Rivestimenti galvanici e simili	5.4

6 Materiali metallici

PARTE I – Ferro-leghe

1	Proprietà fisiche del ferro	6.1
2	Sistema ferro-carbonio	6.2
2.1	Strutture di equilibrio	6.2
2.2	Strutture di non equilibrio	6.4
2.3	Trasformazioni isoterme dell'austenite	6.5
2.4	Trasformazioni anisoterme dell'austenite	6.7
2.5	Strutture di rinvenimento della martensite	6.9
3	Influenza degli elementi di lega sulle strutture e proprietà del sistema ferro-carburo	6.7
3.1	Nozioni fondamentali sugli acciai legati	6.9
4	Classificazione uni degli acciai	6.11
5	Trattamenti termici degli acciai	6.12
5.1	Ricottura	6.12
5.2	Tempra	6.13
5.3	Temprabilità e sua misura	6.16
5.4	Rinvenimento	6.16

5.5	Trasformazione dell'austenite ritenuta	6.18	21.3	Superleghe a base nichel	6.58
5.6	Indurimento per precipitazione	6.18	21.4	Superleghe a base cobalto	6.59
5.7	Trattamenti termomeccanici	6.18	21.5	Altre leghe per alta temperatura	6.59
5.8	Trattamenti di superficie degli acciai	6.19			
6	Acciai da costruzione	6.21	7	Materiali metallici sinterizzati	
6.1	Acciai di uso generale	6.21	1	Generalità e definizione	7.1
6.2	Acciai di base	6.23	2	Motivazioni delle applicazioni industriali della MDP	7.1
6.3	Acciai di qualità	6.23	3	Classi di prodotti	7.1
6.4	Acciai per applicazioni meccaniche	6.23	4	Componenti meccanici	7.2
7	Acciai da utensili	6.25	5	Proprietà fisico-meccaniche dei materiali sinterizzati	7.6
7.1	Utensili per lavorazioni con asportazione di truciolo	6.25	6	Microstrutture tipiche dei materiali sinterizzati	7.7
7.2	Acciai per lavorazioni a freddo	6.25	7	Metodi di controllo delle caratteristiche dei materiali sinterizzati	7.8
7.3	Acciai per lavorazioni a caldo	6.26	8	Trattamenti termici degli acciai sinterizzati	7.9
8	Acciai resistenti alla corrosione	6.26	9	Lavorazioni meccaniche dei materiali sinterizzati	7.10
8.1	Acciai inossidabili martensitici	6.26			
8.2	Acciai inossidabili ferritici	6.27	8	Materiali ceramici	
8.3	Acciai inossidabili semiferritici	6.27	1	Introduzione	8.1
8.4	Acciai inossidabili austenitici	6.27	2	Materie prime e tecnologia di fabbricazione	8.1
8.5	Acciai inossidabili indurenti per precipitazione	6.27	2.1	Materie prime	8.1
9	Ghise	6.28	2.2	Confezionamento degli impasti	8.3
9.1	Ghise bianche	6.29	2.3	Preparazione delle materie prime	8.3
9.2	Ghise grigie	6.29	2.4	Formatura	8.3
9.3	Ghise sferoidali	6.31	2.5	Essiccamento	8.3
9.4	Ghisa malleabile	6.31	2.6	Smaltatura	8.3
			2.7	Cottura	8.3
			3	Laterizi	8.4
			4	Piastrelle ceramiche	8.4
			5	Refrattari	8.4
			6	Ceramiche tecniche	8.5
			7	Ceramici avanzati	8.5
			8	Vetri	8.6
			8.1	Introduzione	8.6
			8.2	Struttura dei vetri	8.6
			8.3	Composizione dei vetri	8.7
			8.4	Proprietà del vetro	8.7
			8.5	Vetri di sicurezza	6.7
			9	Materie plastiche ed elastomeri	
			1	Parte generale	9.1
			1.1	Polimeri	9.2
			1.2	Peso molecolare e grado di polimerizzazione	9.2
			1.3	Classificazione dei polimeri	9.3
			1.4	Processi di polimerizzazione	9.4
			1.5	Nomenclatura dei polimeri	9.6
			1.6	Copolimerizzazione	9.7
			1.7	Tecnologie di polimerizzazione	9.8
			1.8	Conformazione delle catene polimeriche	9.9
			1.9	Configurazione delle catene polimeriche	9.10
			1.10	Cristallinità nei polimeri	9.10
			1.11	Temperatura di transizione vetrosa	9.11
			2	Procedimenti di lavorazione	9.13
			2.1	Introduzione	9.13
			2.2	Cariche e additivi per polimeri	9.13
			2.3	Lavorazione dei polimeri termoplastici	9.14
			2.4	Lavorazione dei polimeri termoindurenti	9.16
			2.5	Lavorazione degli elastomeri	9.16
			3	Proprietà termiche	9.17
PARTE 2 – Siderurgia					
10	L'industria siderurgica	6.32			
11	Minerali di ferro	6.33			
12	L'altoforno	6.34			
13	Spugna di ferro e preridotti	6.35			
14	Produzione dell'acciaio	6.35			
14.1	Forno elettrico	6.37			
15	Colata e solidificazione	6.37			
PARTE 3 – Altri materiali metallici					
16	Alluminio e sue leghe	6.39			
16.1	Metallurgia	6.39			
16.2	Leghe di alluminio	6.40			
17	Rame e sue leghe	6.43			
17.1	Caratteristiche	6.43			
17.2	Rame primario e grezzo	6.44			
17.3	Leghe di rame	6.44			
17.4	Trattamenti termici del rame e sue leghe	6.48			
18	Magnesio e sue leghe	6.51			
18.1	Caratteristiche	6.51			
18.2	Metallurgia	6.51			
18.3	Raffinazione	6.52			
18.4	Leghe di magnesio	6.52			
19	Titanio e sue leghe	6.53			
19.1	Caratteristiche	6.53			
19.2	Metallurgia	6.54			
19.3	Leghe di titanio	6.54			
20	Nichel e sue leghe	6.55			
20.1	Caratteristiche	6.55			
20.2	Metallurgia	6.56			
20.3	Leghe di nichel	6.56			
21	Leghe per alta temperatura	6.57			
21.1	Generalità, criteri di scelta e di preparazione	6.57			
21.2	Sviluppi degli acciai inossidabili austenitici	6.58			

4	Proprietà meccaniche	9.20
5	Proprietà elettriche	9.23

10 Materiali compositi

1	Introduzione	10.1
2	Materiali di rinforzo	10.1
2.1	Fibre di vetro	10.1
2.2	Fibre di carbonio	10.2
2.3	Fibre aramidiche	10.2
2.4	Altri tipi di rinforzo	10.2
3	Materiali per matrici	10.3
3.1	Resine poliestere	10.3
3.2	Resine epossidiche	10.3
3.3	Altri tipi di resine	10.3
4	Proprietà dei materiali compositi	10.3
4.1	Analisi di compositi a fibre continue e parallele	10.4
4.2	Analisi di compositi a fibre continue con orientazione random	10.5
4.3	Analisi di compositi a fibre corte	10.5

11 Nanotecnologie e materiali a memoria di forma

1	I materiali a memoria di forma	11.1
1.1	Introduzione e background storico	11.1
1.2	Come funziona la trasformazione martensitica	11.1
1.3	Fenomeni collaterali e temperature caratteristiche	11.2
1.4	Memoria di forma a una via (OWSME) ..	11.3
1.5	Memoria di forma a due vie (TWSME) ..	11.4
1.6	Gli attuatori a memoria di forma	11.4
2	La nanotecnologia	11.4
2.1	Introduzione	11.4
2.2	Classificazione dei nanomateriali	11.5
2.3	Progettazione e sintesi di materiali su scala nanometrica	11.5
2.4	Le proprietà dei nano materiali	11.6
2.5	Nanomateriali e sicurezza	11.6

12 Adesivi

1	Adesivi e sigillanti	12.1
1.1	Cos'è un adesivo	12.1
1.2	Caratteristiche delle giunzioni incollate ..	12.1
1.3	Il giunto incollato	12.2
2	Progettazione di un giunto incollato	12.2
3	Classificazione degli adesivi	12.4
3.1	Semplici informazioni sulle principali famiglie di adesivi	12.5
4	Calcolo della coppia di trasmissione di un organo di trasmissione incollato	12.11
4.1	Bloccaggio delle parti cilindriche	12.11
4.2	Come si progetta un giunto incollato	12.11
4.3	Il progetto in dettaglio	12.13
4.4	Come si realizzano questi tipi di collegamenti	12.13
4.5	Stima della resistenza dei giunti incollati: uso del RetCalc	12.14
5	Calcolo dell'incremento di coppia in un classico giunto per attrito	12.16
5.1	Introduzione ai giunti flangiati	12.16

5.2	Progettare con gli adesivi	12.17
6	Progettazione di un giunto strutturale	12.18
6.1	Considerazioni per una corretta progettazione di un giunto con adesivo	12.18
6.2	Progetto di un giunto incollato	12.18
6.3	Incollare materiali plastici	12.20
6.4	Il JointCalc	12.21

13 Prove di materiali metallici

1	Generalità	13.1
2	Prova di trazione (UNI EN ISO 6892)	13.1
3	Prova di compressione (UNI 558)	13.2
4	Prova di flessione (UNI 559)	13.3
5	Prova di piegamento (UNI EN ISO 7438) ..	13.3
6	Prove di durezza	13.4
6.1	Prove di durezza Brinell (UNI EN 10003) ..	13.4
6.2	Prova di durezza Rockwell (UNI EN 10109)	13.4
6.3	Prova di durezza Vickers (UNI EN ISO 6507)	13.5
7	Prove di resilienza (UNI EN 10045)	13.5
8	Prove di scorrimento a temperature elevate (UNI 5111)	13.5
9	Prove meccaniche su prodotti in acciaio	13.6

14 Prove non distruttive

1	Generalità	14.1
1.1	Difetti nei materiali metallici	14.1
1.2	Scopo delle prove non distruttive	14.1
1.3	Le prove non distruttive	14.2
2	Il metodo radiografico	14.3
2.1	Tecniche di applicazione	14.3
2.2	Campo di applicazione	14.5
2.3	Normativa	14.5
3	Il metodo ultrasonoro	14.5
3.1	Tecniche di applicazione	14.5
3.2	Campo di applicazione	14.5
3.3	Normativa	14.6
4	Il metodo magnetoscopico	14.6
4.1	Tecniche di impiego	14.6
4.2	Campo di applicazione	14.7
5	Il metodo dei liquidi penetranti	14.7
5.1	Tecniche di impiego	14.7
5.2	Campo di applicazione	14.8
6	Il metodo delle correnti indotte	14.8
6.1	Tecniche di applicazione	14.9
6.2	Campo di applicazione	14.9
7	Prove di tenuta e metodi per la rilevazione di fughe	14.9
7.1	Prova di tenuta mediante emissione di bolle ..	14.10
7.2	Prova di tenuta mediante variazione di pressione	14.10
7.3	Prova di tenuta mediante diodo ad alogeni ..	14.10
7.4	Prova di tenuta mediante spettrometro di massa	14.10
8	Il controllo mediante estensimetri elettrici a resistenza	14.10
8.1	Tecniche di applicazione	14.11
8.2	Campo di applicazione	14.12
8.3	Normativa	14.12
9	La certificazione del personale addetto alle prove non distruttive	14.13

Sezione seconda

TECNOLOGIA MECCANICA**15 Fonderia**

1	Criteri e nozioni fondamentali	15.1
1.1	Modelli	15.1
1.2	Materiali di formatura (forme e anime)	15.1
1.3	Shell-moulding, shell-core sabbie priverivite	15.4
1.4	Processo silicato (CO ₂)	15.6
1.5	Processo sabbia-cemento (leganti idraulici)	15.6
1.6	Cold box	15.7
1.7	Tolleranze dimensionali per getti	15.7
2	Fonderia della ghisa	15.9
2.1	Calcolo delle cariche ed esempio analitico	15.11
2.2	Coke e castina	15.11
2.3	Caratteristiche tecnologiche	15.11
2.4	Ghise debolmente legate	15.13
2.5	Sistemi di colata, getti in ghisa grigia a grafite lamellare	15.14
2.6	Alimentazione ed elementi per la definizione di una materozza	15.16
2.7	Ghise sferoidali	15.18
2.8	Difetti di alimentazione e misure correttive. Ghisa sferoidale	15.19
2.9	Trattamenti termici ghisa sferoidale	15.19
3	Fonderia leghe leggere	15.20
3.1	Operazione di affinazione	15.21
3.2	Operazione di degasaggio	15.21
3.3	Leghe Al-Si	15.21
3.4	Leghe Al-Cu	15.23
3.5	Pressofusione	15.23
4	Fonderia delle cuproleghe	15.24
4.1	Sistemi di colata	15.27
4.2	Bronzi al piombo	15.27
4.3	Bronzi d'alluminio	15.27
4.4	Ottoni	15.29
4.5	Ottoni speciali (bronzi al manganese)	15.29

16 Lavorazioni plastiche

1	Generalità	16.1
2	Fucinatura	16.2
3	Estrusione	16.2
4	Trafilatura	16.3
5	Laminazione	16.4
5.1	Tipi di laminatoi	16.4
5.2	Processo	16.4
5.3	Forza di separazione <i>P</i>	16.5
6	Laminazione dei tubi senza saldatura	16.5
7	Lavorazione a freddo delle lamiere	16.7
7.1	Materiali	16.7
7.2	Qualificazione delle lamiere	16.8
7.3	Stampaggio	16.10
7.4	Tranciatura	16.14
7.5	Altre lavorazioni	16.15
7.6	Macchine per la deformazione della lamiera	16.16

17 Lavorazioni per asportazione di truciolo

1	La formazione del truciolo	17.1
1.1	Meccanismo di formazione del truciolo	17.1
1.2	Forme tipiche assunte dal truciolo	17.2

1.3	Le forze di taglio	17.2
2	Utensili da taglio	17.4
3	Materiali per utensili da taglio	17.4
4	Meccanismi di usura e durata dell'utensile	17.5
4.1	Meccanismi di usura degli utensili	17.5
4.2	Durata degli utensili	17.6
5	Fluidi da taglio	17.7
6	Tornitura	17.10
6.1	Angoli caratteristici degli utensili da tornitura	17.12
6.2	Forze e potenze di taglio in tornitura	17.14
6.3	Tempi di lavorazione	17.15
6.4	Scelta dell'utensile e dei parametri di taglio	17.15
7	Foratura	17.16
7.1	Gli utensili	17.18
7.2	Forze e potenze in foratura	17.20
7.3	Tempi di lavorazione	17.20
8	Fresatura	17.23
8.1	Geometria degli utensili	17.23
8.2	Modalità di taglio	17.25
8.3	Forze e potenze in fresatura	17.26
8.4	Tempi di lavorazione	17.28
8.5	Scelta dell'utensile e dei parametri di taglio	17.28
9	Lavorazioni per moto di taglio alternato	17.30
9.1	Utensili monotaglianti e brocce	17.30
9.2	Forze e potenze	17.32
9.3	Tempi di lavorazione	17.32
9.4	Scelta dei parametri di taglio	17.32
10	Lavorazioni per abrasione	17.32
11	Lavorazioni non convenzionali	17.35
11.1	Lavorazioni per elettroerosione	17.35
11.2	Lavorazioni waterjet	17.37
11.3	Lavorazioni laser	17.37
11.4	Lavorazioni con plasma	17.41
11.5	Lavorazioni a ultrasuoni	17.43
11.6	Lavorazioni elettrochimiche	17.43
12	Attrezzature, sistemi di riferimento e di bloccaggio	17.44
12.1	Posizionamento e riferimento del pezzo	17.45

18 Saldatura

1	Definizioni e classificazione	
2	Saldature per fusione	18.2
2.1	Generalità	18.2
2.2	Saldature a gas	18.2
2.3	Saldature all'arco elettrico	18.3
2.4	Saldatura alluminotermica (o alla termite)	18.4
2.5	Saldatura a elettroscoria	18.5
2.6	Saldatura a luce focalizzata	18.5
2.7	Saldatura a fascio elettronico	18.5
3	Saldature per pressione	18.5
3.1	Generalità	18.5
3.2	Saldature a resistenza	18.5
3.3	Saldature a ultrasuoni	18.11
3.4	Saldature ad attrito	18.11
3.5	Saldatura a esplosione	18.12
3.6	Saldatura per diffusione	18.12
3.7	Saldatura per pressione a gas	18.12
3.8	Saldatura a scarica elettrica	18.12
4	Brasature	18.12
4.1	Generalità	18.12
4.2	Saldobrasature	18.12

4.3	Brasature	18.13
5	Difetti nelle saldature	18.14
5.1	Generalità	18.14
6	La qualifica dei saldatori	18.15
6.1	Generalità	18.15
6.2	La qualifica dei saldatori secondo l'UNI	18.15
7	Cenni sul costo delle saldature	18.17
7.1	Generalità	18.17
7.2	Costo del materiale di consumo	18.17
7.3	Costo della manodopera	18.17
7.4	Costo delle attrezzature	18.18
7.5	Costo totale della saldatura	18.18

19 Collaudo delle macchine utensili

1	Premessa	19.1
2	Il collaudo preliminare	19.1
3	Il collaudo geometrico	19.1
4	Le prove pratiche	19.3
5	Collaudo funzionale	19.3
6	Il collaudo acustico	19.3
7	Il collaudo dinamico	19.5

20 Metrologia d'officina

1	Campioni tecnici	20.1
1.1	Blocchetti piano-paralleli	20.1
1.2	Blocchetti campioni angolari	20.2
2	Verifica dei pezzi lisci con calibri fissi	20.2
2.1	Tipi di calibri	20.2
2.2	Principio di Taylor	20.3
2.3	Tolleranze sui calibri	20.3
3	Strumenti di misura a lettura	20.8
3.1	Strumenti a nonio	20.8
3.2	Micrometro	20.10
3.3	Comparatore	20.11
3.4	Misure indirette	20.12
3.5	Barraseno	20.14
3.6	Livelle	20.15
3.7	Microscopio d'officina	20.15
3.8	Apparecchio divisore ottico	20.16
4	Metrologia pneumatica	20.17
4.1	Principi (tecnica Solex)	20.17
5	Misure interferenziali e vetri piano-paralleli	20.19
5.1	Generalità	20.19
5.2	Richiami sull'interferenza	20.19
5.3	Convessità e concavità	20.20
5.4	Controllo dell'altezza h di un blocchetto con riscontri piano-paralleli	20.22
6	Centri di misura tridimensionali	20.22
7	Errori e verifica dei pezzi lisci con strumenti di misura a lettura	20.24
7.1	Generalità	20.24
7.2	Richiami sulla terminologia e sui metodi probabilistici	20.24
7.3	Errore nella misura di una grandezza rilevabile direttamente	20.24
7.4	Propagazione degli errori	20.25
8	Qualità metrologiche di una misura tollerata	20.27
8.1	Incertezza totale di misurazione	20.27
8.2	Tolleranza naturale	20.27

21 Prototipazione rapida

1	Introduzione	21.1
---	--------------	------

2	Ciclo di lavorazione	21.2
2.1	File STL	21.2
2.2	Orientamento	21.3
2.3	Supporti	21.3
2.4	Slicing	21.4
2.5	Costruzione del prototipo	21.4
2.6	Post trattamento	21.4
3	Tecniche	21.4
3.1	Stereolitografia (SLA)	21.4
3.2	Fused Deposition Modelling (FDM)	21.5
3.3	Polyjet	21.5
3.4	Selective Laser Sintering (SLS)	21.6
3.5	Laminate Object Manufacturing (LOM)	21.7
3.6	Three Dimensional Printing (3DP)	21.7
3.7	Multi Jet Modelling (MJM)	21.7
3.8	Drop On Demand (DOP)	21.7
3.9	Selective Laser Melting (SLM)	21.8
3.10	Electron Beam Melting (EBM)	21.8
4	Rapid tooling	21.8

22 Studi di fabbricazione

1	Introduzione	22.1
2	Il prodotto da realizzare	22.1
3	Il sistema produttivo	22.2
4	Il ciclo di lavorazione	22.2
4.1	Analisi del disegno costruttivo	22.3
4.2	Scelta del tipo di grezzo	22.3
4.3	Determinazione dei processi tecnologici e delle lavorazioni	22.3
4.4	Scelta delle macchine utensili	22.5
4.5	Scelta delle sequenze delle operazioni	22.5
4.6	La definizione dei piazzamenti e delle attrezzature necessarie per riferire e bloccare i pezzi sulle macchine	22.5
4.7	Scelta e montaggio dell'utensile	22.6
4.8	Scelta dei parametri tecnologici	22.6
4.9	Scelta dei metodi di misura e controllo dei pezzi lavorati	22.7
4.10	Calcolo dei tempi di lavorazione	22.7
5	I documenti di lavorazione	22.8
6	Gli archivi tecnologici	22.8
7	Esempio applicativo di studi di fabbricazione	22.10

Sezione terza

MECCANICA E COSTRUZIONE DI MACCHINE

23 Disegno e progettazione di macchine

1	Errori geometrici delle superfici: tolleranze dimensionali (UNI EN 20286:1995)	23.1
1.1	Posizioni di tolleranza e accoppiamenti	23.2
1.2	Gradi di tolleranza normalizzati	23.4
1.3	Designazione	23.6
1.4	Scostamenti fondamentali	23.6
1.5	Accoppiamenti raccomandati e considerazioni pratiche	23.15
1.6	Influenza della temperatura nelle tolleranze dimensionali	23.22

1.7	Indicazione delle tolleranze nel disegno (UNI 3976:89) per prodotti singoli	23.23
1.8	Indicazione delle tolleranze nel disegno (UNI ISO 129-1:2011) per accoppiamenti.	23.24
2	Errori geometrici delle superfici: tolleranze geometriche (UNI EN ISO 1101:2006)	23.25
2.1	Scopo e campo di applicazione	23.25
2.2	Indicazione delle tolleranze geometriche sul disegno.	23.27
2.3	Principi fondamentali per l'attribuzione delle tolleranze: esigenza di involuppo e principio del massimo materiale	23.31
2.4	Tolleranze geometriche generali	23.34
2.5	Applicazioni ed esempi	23.35
3	Errori geometrici delle superfici: rugosità (UNI EN ISO 4287:2009, UNI EN ISO 12085:1998)	23.40
3.1	Premessa	23.40
3.2	Definizioni.	23.40
3.3	Parametri di rugosità e ondulazione delle superfici.	23.47
3.4	Regole per il confronto dei valori misurati con i limiti di tolleranza.	23.53
3.5	Indicazione dello stato delle superfici nella documentazione tecnica di prodotto (UNI EN ISO 1302:2004)	23.53
3.6	Posizione sui disegni e su altra documentazione tecnica	23.56
4	Elementi e collegamenti filettati	23.57
4.1	Generalità	23.57
4.2	Filettature unificate.	23.58
4.3	Convenzioni generali di raffigurazione delle filettature(UNI EN ISO 6410-1:1998)	23.78
4.4	Designazione, quotatura e tolleranze delle filettature	23.79
4.5	Elementi di bulloneria	23.83
4.6	Materiali e classi di resistenza	23.97
4.7	Bulloneria ad alta resistenza a serraggio controllato	23.99
4.8	Progetto di sistemi di giunzione con viti (e chiodi)	23.103
4.9	Dimensionamento delle viti di manovra	23.106
4.10	Designazione degli elementi di bulloneria.	23.107
4.11	Rappresentazione semplificata delle parti filettate (UNI EN ISO 6410-3:1998)	23.109
4.12	Inseri filettati	23.109
4.13	Rosette da appoggio	23.110
4.14	Dispositivi antisvitamento spontaneo	23.113
5	Collegamenti non smontabili	23.116
5.1	Saldature	23.116
5.2	Chiodature e rivettature	23.128
6	Collegamenti albero-mozzo	23.129
6.1	Generalità	23.129
6.2	Assi, alberi e perni	23.129
6.3	Alberi profilati (splined shaft)	23.133
6.4	Elementi di collegamento tra albero e mozzo: linguette (parallel keys)	23.139
6.5	Elementi di collegamento tra albero e mozzo: chiavette (taper keys).	23.143
6.6	Perni e spine	23.145
6.7	Copiglie	23.151
7	Cuscinetti	23.151
7.1	Cuscinetti radenti	23.151

7.2	Cuscinetti volventi	23.154
7.3	Rappresentazione dei cuscinetti volventi	23.170
7.4	Bloccaggio assiale dei cuscinetti	23.171
7.5	Lubrificanti per cuscinetti	23.173
8	Ruote dentate	23.174
8.1	Interferenza e sottotaglio. Ruote corrette	23.175
8.2	Materiali impiegati per la costruzione delle ruote dentate.	23.176
8.3	Calcolo delle forze negli ingranaggi cilindrici.	23.176
8.4	Verifica e progetto degli ingranaggi cilindrici.	23.178
8.5	Esempi di verifica e progetto di ruote dentate cilindriche.	23.182
8.6	Ruote dentate coniche a denti dritti	23.185
8.7	Ruote dentate coniche a denti curvi	23.185
8.8	Vite senza fine. Ruota elicoidale	23.185
8.9	Rappresentazione degli ingranaggi	23.189
8.10	Dati da indicare sul disegno	23.190
9	Organi flessibili	23.192
9.1	Cinghie piane	23.192
9.2	Catene.	23.200
9.3	Funi metalliche	23.204
10	Molle	23.205
10.1	Materiali	23.207
10.2	Progetto delle molle	23.208
10.3	Rappresentazione delle molle	23.213
11	Recipienti in pressione	23.213
12	Elementi di tenuta	23.215
12.1	Elementi di tenuta statici (O-ring)	23.215
12.2	Elementi di tenuta dinamici per alberi	23.217
13	Giunti, innesti e freni	23.220
13.1	Giunti	23.220
13.2	Innesti	23.228
13.3	Freni	23.231
14	Guide lineari	23.233
14.1	Guide a ricircolo di sfere con accoppiamento manicotto/albero	23.233
14.2	Guide a ricircolo di sfere con accoppiamento slitta/profilo	23.234
14.3	Guide a rotelle	23.234
14.4	Guide di precisione	23.234
15	Elementi antivibranti	23.235

24 Scienza delle costruzioni

1	Statica delle travi	24.1
1.1	Le azioni esterne	24.1
1.2	La trave	24.1
1.3	Le equazioni cardinali della statica	24.2
1.4	Le azioni interne	24.2
1.5	Vincoli	24.3
1.6	Il principio dei lavori virtuali	24.9
1.7	Reazioni vincolari	24.9
1.8	Le equazioni indefinite di equilibrio per le travi piane	24.16
1.9	I diagrammi delle caratteristiche di sollecitazione.	24.17
1.10	Travature reticolari piane	24.20
2	Tensioni, deformazioni ed elasticità	24.28
2.1	Tensioni	24.28
2.2	Deformazioni	24.34
2.3	Elasticità	24.36

2.4	Il problema dell'equilibrio elastico	24.37
3	Geometria delle masse	24.37
3.1	Centro di massa, momenti statici e momenti d'inerzia	24.37
3.2	Teorema di trasposizione	24.39
3.3	Momenti d'inerzia rispetto ad assi di direzione variabile	24.39
3.4	Nocciolo centrale d'inerzia	24.42
3.5	Modulo di resistenza	24.42
4	Il problema di De Saint Venant	24.45
4.1	La formulazione del problema e il principio di De Saint Venant	24.45
4.2	Sollecitazioni semplici	24.46
4.3	Sollecitazioni composte	24.61
4.4	L'estensione dei risultati delle travi	24.64
5	La verifica di sicurezza	24.64
5.1	Generalità	24.64
5.2	Metodo delle tensioni ammissibili	24.66
5.3	Metodo del collasso plastico	24.75
5.4	Metodo agli stati limite	24.77
6	La deformata nelle travi rettilinee inflesse	24.79
6.1	Linea elastica	24.79
6.2	Integrazione dell'equazione della linea elastica	24.80
6.3	Analogia di Mohr	24.86
7	Stabilità dell'equilibrio elastico	24.86
7.1	Generalità	24.86
7.2	Stabilità a compressione semplice (carico di punta)	24.87
7.3	Stabilità a pressoflessione	24.92
8	Caratteristiche geometriche delle sezioni	24.92
8.1	Sezioni generiche	24.93
8.2	Profilati a sezione aperta	24.96
8.3	Profilati a sezione chiusa	24.109
8.4	Masses unitarie di barre e lamiere	24.116
9	Le strutture	24.118

25 Meccanica applicata

1	Coppie cinematiche	25.1
1.1	Definizioni	25.1
1.2	Coppie cinematiche elementari	25.1
1.3	Coppie superiori	25.2
1.4	Catene cinematiche e meccanismi	25.2
2	Forze agenti nelle coppie cinematiche	25.3
2.1	Forze scambiate attraverso gli elementi cinematici di una coppia	25.3
3	Rendimento	25.6
3.1	Condizione di regime di una macchina	25.6
3.2	Rendimento. Moto diretto e moto retrogrado	25.6
3.3	Macchine in serie e in parallelo	25.7
4	Coppie cinematiche elementari	25.7
4.1	Coppia prismatica	25.7
4.2	Coppia rotoidale	25.8
4.3	Coppia elicoidale (vite-madrevite)	25.8
4.4	Ruote dentate	25.12
5	Coppie superiori	25.11
5.1	Camme	25.11
5.2	Ruote dentate	25.12
5.3	Coppia cinghia-puleggia	25.15
6	Meccanismi	25.15
6.1	Sistemi articolati	25.15

6.2	Meccanismi con ruote dentate	25.17
6.3	Meccanismi con organi flessibili	25.19
6.4	Freni	25.21
7	Problemi di dinamica delle macchine	25.24
7.1	Vibrazioni	25.24
7.2	Dinamica dei meccanismi	25.25
7.3	Dinamica degli alberi rotanti	25.27

26 Regolarità del moto

1	Bilanciamento degli alberi rotanti rigidi	26.1
1.1	Generalità	26.1
1.2	Metodi per l'equilibratura	26.2
1.3	Macchina equilibratrice	26.2
2	Bilanciamento biella-manovella e pluricilindrici	26.3
2.1	Cinematica del sistema biella-manovella	26.3
2.2	Forze d'inerzia del sistema biella-manovella	26.3
2.3	Bilanciamento delle forze d'inerzia del sistema biella-manovella	26.6
2.4	Dimensionamento di massima della biella	26.6
2.5	Regolarità del moto rotatorio	26.9

27 Lubrificazione

Premessa	27.1	
1	I lubrificanti minerali	27.1
1.1	Numero di neutralizzazione	27.1
1.2	Viscosità e indice di viscosità	27.1
1.3	Consistenza	27.3
1.4	Punto di goccia	27.4
1.5	Punto di infiammabilità	27.4
1.6	Compatibilità con materiali delle guarnizioni	27.6
2	I lubrificanti sintetici	27.6

28 Automazione e robotica

1	Macchine e azionamenti elettrici	28.1
1.1	Azionamenti elettrici	28.1
1.2	Regolazione di corrente, velocità, posizione	28.5
1.3	Motori AC sincroni e asincroni: cenni	28.6
1.4	Macchine sincrone AC e motori DC brushless	28.6
1.5	Motore asincrono AC	28.7
1.6	Controllo V/Hz dei motori asincroni	28.9
1.7	Controllo vettoriale	28.9
1.8	Tecniche di modulazione PWM	28.10
1.9	Il chopper 4Q	28.12
1.10	Applicazioni direct drive: torque motor e linear motor	28.13
2	Cenni sugli azionamenti oleodinamici	28.14
2.1	Componentistica idraulica	28.14
2.2	Centralina idraulica	28.14
2.3	Tubazioni e connettori	28.14
2.4	Accumulatori	28.16
2.5	Valvole/distributori e altri dispositivi di regolazione	28.17
2.6	Attuatori	28.18
2.7	Attuatori lineari e rotativi	28.19
3	Regolatori industriali	28.19
3.1	Regolatori a relè	28.19
3.2	Regolatori PID	28.19
4	Le tecnologie dei sistemi di controllo	28.23

4.1	Cenni ai sistemi real-time	28.23
4.2	Controllori a logica programmabile (PLC)	28.24
4.3	Controllo d'asse	28.25
5	Robotica industriale	28.27
5.1	Cinematica diretta	28.27
5.2	Rappresentazione dell'orientazione	28.28
5.3	Il metodo di Denavit-Hartenberg (D-H)	28.29
5.4	Cinematica diretta e inversa	28.32
5.5	Cinematica differenziale e statica	28.32
5.6	Dinamica	28.33

29 Disegno assistito dal calcolatore

1	Introduzione	29.1
2	Sistemi di rappresentazione	29.2
2.1	Constructive Solid Geometry (CSG)	29.2
2.2	Boundary Representation (B-Rep)	29.4
3	Modellatori espliciti e variable driven	29.5
3.1	Modellatori espliciti	29.5
3.2	Modellatori variable driven	29.6
4	Feature: significato e classificazione	29.7
5	Fasi operative del disegno assistito dal calcolatore	29.9
5.1	Modellazione di parti	29.9
5.2	Modellazione di assiemi	29.10
5.3	Documentazione del progetto	29.11

30 Il metodo degli elementi finiti

1	Introduzione	30.1
2	Analisi statica	30.3
2.1	Il metodo diretto per l'analisi statica	30.3
2.2	Il metodo energetico per l'analisi statica	30.5
2.3	Coordinate naturali ed elementi isoparametrici	30.7
2.4	Criteri di generazione della mesh	30.9
2.5	Applicazione di carichi	30.13
2.6	Applicazione di vincoli	30.13
3	Cenni di analisi dinamica	30.14
4	Aspetti pratici	30.17
4.1	Pre-processing	30.17
4.2	Soluzione e post-processing	30.20

31 Progettazione ecocompatibile

1	Contesto e panorama legislativo	31.1
2	Il ciclo di vita	31.2
3	Approccio alla progettazione ecocompatibile	31.2
4	Strumenti e normativa tecnica	31.3
4.1	Strumenti analitici	31.3
4.2	Strumenti di DfE	31.4

32 La gestione dei progetti

1	Introduzione	32.1
2	Approccio sistemico al PM	32.1
3	Le tecniche reticolari e la gestione della variabile tempo nei progetti	32.3
4	La gestione della variabile risorse nei progetti	32.6
5	La gestione della variabile costo nei progetti	32.6

33 La gestione del magazzino e delle scorte

1	Introduzione	33.1
2	Il lotto economico di acquisto e di produzione	33.1
3	Il punto di riordino e le scorte di sicurezza	33.2

34 Brevetti d'invenzione

1	Definizioni	34.1
2	Brevetti d'invenzione e diritti	34.1
2.1	Validità di un brevetto	34.2
2.2	Invenzione di lavoratore dipendente	34.2
2.3	Segreto industriale	34.2
3	Criteri di brevettabilità	34.3
3.1	Novità	34.3
3.2	Attività inventiva	34.3
3.3	Industrialità e liceità	34.3
3.4	Sufficienza della descrizione	34.3
3.5	Invenzioni derivate	34.3
4	Le classi brevettuali	34.4
4.1	La classificazione Internazionale IPC	34.4
4.2	Le classificazioni ECLA, USPC e FI	34.7
5	Struttura di un documento brevettuale	34.7
5.1	La prima pagina	34.7
5.2	La descrizione e i disegni	34.10
5.3	Le rivendicazioni	34.10
6	Iter di presentazione di una domanda di brevetto	34.10
6.1	La domanda di brevetto in Italia	34.10
6.2	La convenzione di Parigi	34.10
6.3	Il Brevetto Europeo	34.10
6.4	La procedura PCT	34.12
7	Database on line e siti web di riferimento	34.12
7.1	Espacenet (http://worldwide.espacenet.com/)	34.12
7.2	PatentScope (http://www.wipo.int/pctdb)	34.13
7.3	Uspto (http://patft.uspto.gov/)	34.13
7.4	Depatisnet (http://depatisnet.dpma.de)	34.13
7.5	Google Patent (http://www.google.com/patents)	34.13

Sezione quarta

ENERGETICA

35 Fisica tecnica

1	Temperatura e calore	35.1
1.1	La temperatura	35.1
1.2	Calore	35.2
2	Trasmissione del calore	35.5
2.1	Generalità	35.5
2.2	Conduzione	35.5
2.3	Irraggiamento	35.6
2.4	Convezione	35.7
2.5	Meccanismi combinati	35.7
3	Effetti della trasmissione del calore	35.7
3.1	Coefficienti di dilatazione termica e di comprimibilità isoterma	35.7
3.2	Coefficienti calorimetrici	35.9
3.3	Cambiamenti di stato	35.9
4	Trasformazioni termodinamiche	35.11
5	Primo principio della termodinamica	35.11
6	Secondo principio della termodinamica	35.12
6.1	Entropia	35.12
6.2	Il ciclo di Carnot	35.12
7	Trasformazioni termodinamiche di gas, liquidi e solidi	35.13
7.1	Gas perfetti	35.13
7.2	Gas reali	35.13