

I CRITERI DI SCELTA E DI TRATTAMENTO DEGLI ACCIAI DA COSTRUZIONE E DA UTENSILI

VOLUME 5° parte seconda: METALLOGRAFIA

MICROGRAFIA

Parte prima. Preparazione delle provette

- Introduzione alla preparazione delle provette micrografiche
 - Montaggio delle provette
- Levigatura meccanica per abrasione. Teoria dell'asportazione del materiale
 - Deformazione della superficie con la levigatura
 - Lucidatura con abrasivi
 - Deformazione della superficie con la lucidatura
 - Levigatura e lucidatura di materiali fragili
- Principi della progettazione dei sistemi di preparazione standard
 - Metodi speciali di preparazione
 - Tecniche di preparazione non abrasive
- Procedure per la preparazione micrografica dei più comuni metalli e leghe

Parte seconda. Metallurgia fisica: genesi delle strutture

- Metallurgia e microstruttura: introduzione alle strutture nei metalli
 - Strutture cristalline
- Concetti di fisica metallurgica per l'interpretazione delle microstrutture
 - Teoria della solidificazione
 - Strutture di solidificazione dei metalli puri
 - Microstrutture di solidificazione degli acciai e delle ghise
 - Introduzione alle strutture di trasformazione in fase solida
 - Strutture di precipitazione da soluzioni solide
 - Strutture da trasformazioni spinodali
 - Strutture ordinate
 - Strutture di trasformazione massiva
 - Strutture da trasformazioni invariante
 - Strutture martensitiche
 - Strutture bainitiche
 - Strutture d'interdiffusione
 - Strutture deformate plasticamente
 - Microstrutture da recupero, ricristallizzazione e crescita del grano
 - Tessitura delle strutture

INDICE GENERALE

PRESENTAZIONE DELL'EDITORE (5 II, IV)
IN MEMORIA DEL CAV. GIANVITTORIO
FERRARI (5 II, V)
PREFAZIONE DELL'AUTORE (5 II, VI)
NOTE BIBLIOGRAFICHE DELL'AUTORE (5 II, VII)
PRESENTAZIONE DELLA SOCIETÀ AQM SRL
(5 II, VIII)

PARTE PRIMA.

Preparazione delle provette (5 II, 1)

Capitolo primo

INTRODUZIONE ALLA PREPARAZIONE DELLE
PROVETTE MICROGRAFICHE (5 II, 3)
Levigatura, lucidatura, polimentazione (5 II, 3)
Sorby: il fondatore della metallografia (5 II, 4)
BIBLIOGRAFIA (5 II, 6)

Capitolo secondo

MONTAGGIO DELLE PROVETTE (5 II, 7)
MONTAGGIO IN MORSETTI MECCANICI (5 II, 7)
MONTAGGIO IN PASTIGLIE DI PLASTICA (5 II, 8)
CARATTERISTICHE DELLE PLASTICHE DI MON-
TAGGIO (5 II, 8)
Danneggiamento della provetta (5 II, 8)
Distorsioni della plastica ad elevata temperatura (5 II, 8)
Resistenza all'attacco chimico (5 II, 9)
Formazione di fessure all'interfaccia provetta/plastica (5
II, 10)
Capacità di riempire le porosità e fessure (5 II, 11)
Velocità d'abrasione, lucidatura e polimentazione (5 II,
11)
Conduttività elettrica (5 II, 11)
Metodo di preparazione di una plastica conduttiva (5 II,
12)
Trasparenza (5 II, 12)
Riflettività (5 II, 12)
Utilità delle varie plastiche (5 II, 12)
METODI DI STAMPAGGIO DELLE RESINE TERMO-
PLASTICHE E TERMOINDURENTI (5 II, 13)
MONTAGGIO CON PLASTICHE COLATE (5 II, 14)
Fabbricazione di uno stampo di PVC bagnabile per resi-
ne epossidiche (5 II, 14)
Fabbricazione di uno stampo di gomma siliconica per res-
ine epossidiche (5 II, 15)
Impregnazione sotto vuoto con plastiche da colata (5 II,
16)
Dimensioni dei montaggi (5 II, 16)
MONTAGGIO DI PROVETTE SOTTILI (5 II, 16)
MARCATURA D'IDENTIFICAZIONE (5 II, 17)
RIMOZIONE DELLE PROVETTE DAL MONTAGGIO
DI PLASTICA (5 II, 17)
BIBLIOGRAFIA (5 II, 17)

Capitolo terzo

LEVIGATURA MECCANICA PER ABRASIONE. TEO-
RIA DELL'ASPORTAZIONE DEL MATERIALE (5 II,
19)

INTRODUZIONE (5 II, 19)
TIPI D'ABRASIVO (5 II, 19)
SISTEMA DI GRADUAZIONE DEGLI ABRASIVI (5 II,
19)
TEORIA DELLA LEVIGATURA (5 II, 20)
CRITERI DEL MODELLO (5 II, 20)
CARATTERISTICHE DELLE CARTE ABRASIVE RI-
COPERTE (5 II, 24)
Frattura (5 II, 27)
Appiattimento del punto (5 II, 27)
Rivestimento (5 II, 27)
Scalzamento (5 II, 27)
Erosione (5 II, 27)
SVILUPPO DI UN MODELLO MATEMATICO (5 II, 27)
INFLUENZA DEL MATERIALE DELLA PROVETTA
SULLA VELOCITÀ D'ABRASIONE (5 II, 28)
Durezza (5 II, 28)
Angolo critico di spoglia (5 II, 28)
Efficienza dei processi di taglio e d'aratura (5 II, 29)
Influenza dell'abrasivo sulla velocità d'abrasione (5 II,
30)
Influenza dei fluidi nell'abrasione (5 II, 30)
Utilità del modello (5 II, 30)
VELOCITÀ D'ABRASIONE PRATICA (5 II, 31)
MISURAZIONI DELLA VELOCITÀ D'ABRASIONE (5
II, 31)
Metodi per la determinazione della velocità d'abrasione
mediante la perdita di peso (5 II, 31)
Resistenza all'acqua delle carte di carburo di silicio e
d'ossido d'alluminio (5 II, 31)
Materiali con modesta diminuzione della velocità d'abra-
sione (gruppi 1 e 2) (5 II, 32)
Pressione applicata alla provetta (5 II, 32)
Tipo d'abrasivo (5 II, 32)
Grana dell'abrasivo (5 II, 32)
Materiale della provetta (5 II, 33)
Fluido d'abrasione o levigatura (5 II, 33)
Carte bagnate in acqua (5 II, 33)
Provenienza della carta abrasiva (5 II, 34)
Meccanismi di deterioramento delle carte abrasive (5
II, 34)
Materiali con severo deterioramento della velocità d'ab-
rasione (gruppo 3) (5 II, 35)
CONCLUSIONI (5 II, 39)
CARATTERISTICHE DI ALCUNE CARTE ALL'OSSIDO
D'ALLUMINIO NON RESISTENTI ALL'ACQUA (5 II, 39)
LEVIGATURA CON DIAMANTE (5 II, 39)
FABBRICAZIONE E USO DI LEVIGATORI DIAMAN-
TATI DI PLASTICA (5 II, 42)
Levigatore fenolico diamantato (5 II, 42)
Fabbricazione (5 II, 42)
Uso (5 II, 42)
Levigatore diamantato in politene (5 II, 43)
Fabbricazione (5 II, 43)
LEVIGATURA CON ABRASIVI FINI, FISSATI SU SUP-
PORTI RIGIDI (5 II, 43)
LEVIGATORI CARICATI ESTERNAMENTE (5 II, 44)
LEVIGATORI CARICATI INTERNAMENTE (5 II, 46)
Fabbricazione e uso di levigatori di cera per abrasione
fine (5 II, 46)
Componenti (5 II, 46)

Fabbricazione (5 II, 46)
Uso (5 II, 46)
MOLE ABRASIVE CON LEGANTE VETROSO E LEVIGATORI (5 II, 46)
BIBLIOGRAFIA (5 II, 47)

Capitolo quarto

DEFORMAZIONE DELLA SUPERFICIE CON LA LEVIGATURA (5 II, 49)

VALUTAZIONE DELLA DEFORMAZIONE PLASTICA CON MICROSCOPIA OTTICA (5 II, 49)

METALLI CON RETICOLO CUBICO CHE POSSIEDONO ALTA ENERGIA D'IMPILAMENTO DEI DIFETTI (5 II, 49)

Reattivi e metodi d'attacco (5 II, 50)

Ammonio idrossido (ammoniaca) + idrogeno perossido (acqua ossigenata) (5 II, 50)

Cloruro doppio di rame e ammonio (5 II, 50)

Cloruro ferrico (5 II, 50)

Nital (2 %) (5 II, 50)

Acido ossalico (5 II, 50)

Picral (5 II, 50)

Sodio bisolfito (5 II, 50)

Sodio tiosolfato (5 II, 51)

METALLI CON RETICOLO CUBICO CHE POSSIEDONO BASSA ENERGIA D'IMPILAMENTO DEI DIFETTI (5 II, 51)

TRASFORMAZIONI STRUTTURALI INDOTTE DALLA DEFORMAZIONE (5 II, 53)

TRASFORMAZIONI IN LEGHE METASTABILI (5 II, 53)

GEMINAZIONE MASSIVA E RICRISTALLIZZAZIONE (5 II, 54)

BANDE DI DEFORMAZIONE (5 II, 55)

STRUTTURE LAMELLARI (5 II, 56)

ORIGINE DELLO STRATO ESTERNO DEFORMATO DI SUPERFICI LEVIGATE (5 II, 57)

STRUTTURA DELLO STRATO DEFORMATO PLASTICAMENTE DALL'ABRASIONE (5 II, 57)

MODELLO GENERALE DELLA DEFORMAZIONE (5 II, 57)

Preparazione di sezioni oblique (5 II, 58)

Strato frammentato (5 II, 60)

Traslazione parallela alla superficie (5 II, 61)

SPESSORE DELLO STRATO DEFORMATO (5 II, 62)

CARATTERISTICHE METALLOGRAFICHE DELLO STRATO FRAMMENTATO (5 II, 64)

TRASFORMAZIONI STRUTTURALI INDOTTE DALLA DEFORMAZIONE (5 II, 68)

Modificazioni dovute alla geminazione massiva (5 II, 68)

Modificazioni dovute alla ricristallizzazione (5 II, 69)

Modificazioni dovute al riscaldamento della superficie (5 II, 69)

INCASTONAMENTO DELL'ABRASIVO (5 II, 71)

BIBLIOGRAFIA (5 II, 74)

Capitolo quinto

LUCIDATURA CON ABRASIVI (5 II, 75)

MECCANISMI DI LUCIDATURA (5 II, 75)

TEORIA DELLA LUCIDATURA DI BEILBY (5 II, 75)

Ipotesi di Beilby (5 II, 76)

Ipotesi di alte temperature transienti (5 II, 77)

Continuità della cristallizzazione dei depositi (5 II, 78)

Diffrazione elettronica di riflessione (5 II, 80)

Rimozione del materiale durante la lucidatura (5 II, 81)

Osservazioni dirette con microscopia elettronica a trasmissione (5 II, 82)

Valutazione della teoria di Beilby (5 II, 82)

MECCANISMI DI TAGLIO DELLA LUCIDATURA MECCANICA (5 II, 82)

MECCANISMI DI LUCIDATURA CHIMICO MECCANICI (5 II, 85)

MECCANISMI DI LUCIDATURA CHIMICI ED ELETTROCHIMICI (5 II, 85)

VARIABILI NELLA LUCIDATURA MICROGRAFICA (5 II, 85)

TIPO D'ABRASIVO (5 II, 85)

Metodo per classificare l'abrasivo ossido d'alluminio destinato alla lucidatura e alla levigatura (5 II, 89)

Procedura generale (5 II, 89)

Materiali di partenza (5 II, 89)

Dimensioni delle particelle (5 II, 89)

Preparazione di una pasta veicolante per diamante (5 II, 89)

Reagenti e materiali (5 II, 89)

Metodo di fabbricazione (5 II, 89)

TIPO DI PANNO PER LUCIDATURA (5 II, 90)

VELOCITÀ DI LUCIDATURA (5 II, 92)

DETERMINAZIONE DELLA VELOCITÀ DI LUCIDATURA (5 II, 92)

Metodo d'aggiunta dell'abrasivo (5 II, 93)

Grana dell'abrasivo (5 II, 93)

Tipo di diamante (5 II, 94)

Quantità dell'abrasivo (5 II, 96)

Tipo di panno di lucidatura (5 II, 97)

Fluido di lucidatura (5 II, 100)

Carico applicato alla provetta (5 II, 101)

Materiale della provetta (5 II, 101)

Riassunto delle condizioni ottimali di lucidatura (5 II, 102)

BIBLIOGRAFIA (5 II, 103)

Capitolo sesto

DEFORMAZIONE DELLA SUPERFICIE CON LA LUCIDATURA (5 II, 105)

CARATTERISTICHE DELLO STRATO DEFORMATO PLASTICAMENTE (5 II, 105)

STRUTTURA DELLO STRATO (5 II, 105)

SCORRIMENTI PARALLELI ALLA SUPERFICIE (5 II, 106)

SPESSORE DELLO STRATO DEFORMATO (5 II, 106)

VARIAZIONI STRUTTURALI DELLO STRATO DANNEGGIATO CON FORMAZIONE DI GEMINATI (5 II, 107)

VARIAZIONI STRUTTURALI DELLO STRATO DANNEGGIATO PER RICRISTALLIZZAZIONE E RILASAMENTO DELLE TENSIONI (5 II, 107)

ABRASIVO INCASTONATO (5 II, 108)

BIBLIOGRAFIA (5 II, 108)

Capitolo settimo

LEVIGATURA E LUCIDATURA DI MATERIALI FRAGILI (5 II, 109)

MECCANISMI DI LEVIGATURA E LUCIDATURA (5 II, 109)

DANNEGGIAMENTO SUPERFICIALE (5 II, 112)
BIBLIOGRAFIA (5 II, 114)

Capitolo ottavo

PRINCIPI DELLA PROGETTAZIONE DEI SISTEMI DI PREPARAZIONE STANDARD (5 II, 115)
CONCETTI FONDAMENTALI (5 II, 115)
ALTERAZIONI DELLA LEVIGATURA (5 II, 115)
ALTERAZIONI DELLO STRATO FRAMMENTATO (5 II, 115)
ALTERAZIONI NELLO STRATO SIGNIFICATIVAMENTE DEFORMATO (5 II, 117)
ALTERAZIONI DELLA LUCIDATURA FINE (5 II, 125)
EVIDENZA DELLE SCALFITTURE DI LUCIDATURA CON L'ATTACCO (5 II, 125)
DEGRADAZIONE DEL CONTRASTO DI COLORE DEL GRANO (5 II, 126)
MESSA IN EVIDENZA DELLE RIGATURE CON L'ATTACCO (5 II, 127)
PROCEDURE PRATICHE DI PREPARAZIONE MICROGRAFICA (5 II, 130)
SEQUENZE BASE DI PREPARAZIONI (5 II, 130)
Lucidatura finale (polimentazione) (5 II, 131)
PROCEDURE STANDARD (5 II, 133)
Taglio della sezione (5 II, 133)
Lavorazione meccanica preliminare (5 II, 134)
Levigatura micrografica (5 II, 136)
Lucidatura micrografica (5 II, 137)
Funzionamento di una lucidatrice vibrante elettromagnetica (5 II, 139)
Considerazioni sulle capacità delle macchine di levigatura e lucidatura (5 II, 141)
Stadi intermedi di lavaggio e asciugatura (5 II, 141)
BIBLIOGRAFIA (5 II, 142)

Capitolo nono

METODI SPECIALI DI PREPARAZIONE (5 II, 143)
METODI SPECIALI DI POLIMENTAZIONE (5 II, 143)
TECNICHE DI SLITTAMENTO (5 II, 143)
TECNICHE CHIMICO MECCANICHE (5 II, 145)
Reattivi usati nelle tecniche di lucidatura chimico meccaniche convenzionali (5 II, 146)
Lucidatura elettrochimica (5 II, 147)
LUCIDATURA VIBRANTE (5 II, 148)
TECNICA D'ATTACCO E LUCIDATURA ALTERNATA (5 II, 153)
LUCIDATURA CHIMICA (5 II, 153)
MANTENIMENTO DEI BORDI (5 II, 154)
EFFETTO DELLA LEVIGATURA (5 II, 155)
EFFETTO DELLA LUCIDATURA (5 II, 157)
TECNICHE SPECIALI DI MONTAGGIO (5 II, 159)
Processo d'argentatura prima dell'elettrodeposizione (5 II, 162)
Soluzioni base (5 II, 162)
Preparazione della soluzione d'argentatura (5 II, 162)
Argentatura (5 II, 162)
MANTENIMENTO DELLE CAVITÀ (5 II, 163)
MANTENIMENTO DELLE INCLUSIONI NON METALLICHE (5 II, 164)
MANTENIMENTO DELLA GRAFITE NELLE GHISE (5 II, 165)

MATERIALI MOLTO TENERI (5 II, 169)
MATERIALI MOLTO DURI (5 II, 171)
MATERIALI FRAGILI (5 II, 172)
OSSIDI E SCAGLIE SUPERFICIALI (5 II, 174)
METALLI PREZIOSI E METALLI REFRATTARI (5 II, 176)
CONTRASTO DI POLARIZZAZIONE (5 II, 178)
BIBLIOGRAFIA (5 II, 180)

Capitolo decimo

TECNICHE DI PREPARAZIONE NON ABRASIVE (5 II, 181)
TAGLIO E LAVORAZIONE TRAMITE DISSOLUZIONE (5 II, 181)
TAGLIO E LAVORAZIONE D'ELETTROEROSIONE (5 II, 181)
TAGLIO E LAVORAZIONE CON MICROTOMO (5 II, 183)
LUCIDATURA ELETTROLITICA (5 II, 186)
SCOPO (5 II, 186)
TERMINOLOGIA (5 II, 186)
Definizioni (5 II, 186)
PRINCIPI E USO DELLA LUCIDATURA ELETTROLITICA (5 II, 186)
Vantaggi della lucidatura elettrolitica (5 II, 186)
Svantaggi della lucidatura elettrolitica (5 II, 186)
PRECAUZIONI GENERALI DI SICUREZZA (5 II, 187)
Precauzioni specifiche di sicurezza per ogni gruppo di elettroliti (5 II, 187)
Gruppo I. Elettroliti composti da acido perclorico e alcool (metanolo o etanolo) con o senza addizioni di composti organici (5 II, 187)
Gruppo II. Elettroliti composti d'acido perclorico e acido acetico glaciale (5 II, 188)
Gruppo III. Elettroliti composti da acido fosforico in acqua o in solventi organici (5 II, 188)
Gruppo IV. Elettroliti composti d'acido solforico in acqua o in solventi organici (5 II, 188)
Gruppo V. Elettroliti composti d'anidride cromica sciolta in acqua (5 II, 188)
Gruppo VI. Miscele acide o di sali in acqua o soluzioni organiche (5 II, 188)
Gruppo VII. Elettroliti alcalini (5 II, 188)
Elettroliti alcalini al cianuro (5 II, 188)
Elettroliti alcalini senza cianuro (5 II, 188)
Gruppo VIII. Miscele di alcool etilico e acido nitrico (5 II, 188)
APPARECCHIATURE (5 II, 193)
PROCEDURE (5 II, 194)
BIBLIOGRAFIA (5 II, 196)

Capitolo undicesimo

PROCEDURE PER LA PREPARAZIONE MICROGRAFICA DEI PIÙ COMUNI METALLI E LEGHE (5 II, 199)
ACCIAI AUSTENITICI (5 II, 199)
Alterazioni (5 II, 199)
Lucidatura finale (5 II, 199)
ACCIAI FERRITICI E MARTENSITICI (5 II, 199)
Alterazioni (5 II, 199)
Lucidatura finale (5 II, 199)

ALLUMINIO (5 II, 200)
 Alterazioni (5 II, 200)
 Lucidatura finale (5 II, 200)
 Leghe tenere (5 II, 200)
 Leghe di moderata durezza (5 II, 200)
 Leghe contenenti fasi intermetalliche (5 II, 201)
 ARGENTO (5 II, 202)
 Alterazioni (5 II, 202)
 Lucidatura finale (5 II, 202)
 BERILLIO (5 II, 202)
 Alterazioni (5 II, 202)
 Lucidatura finale (5 II, 202)
 Note sulla tossicità (5 II, 203)
 CROMO (5 II, 203)
 Alterazioni (5 II, 203)
 Lucidatura finale (5 II, 203)
 GHISE (5 II, 203)
 INDIO (5 II, 203)
 MAGNESIO (5 II, 203)
 Alterazioni (5 II, 203)
 Lucidatura finale (5 II, 204)
 MOLIBDENO (5 II, 204)
 Alterazioni (5 II, 204)
 Lucidatura finale (5 II, 204)
 NICHEL (5 II, 204)
 Alterazioni (5 II, 204)
 Lucidatura finale (5 II, 204)
 ORO (5 II, 204)
 Alterazioni (5 II, 204)
 Lucidatura finale (5 II, 204)
 PIOMBO (5 II, 204)
 PLATINO (5 II, 205)
 Alterazioni (5 II, 205)
 Lucidatura finale (5 II, 205)
 RAME (5 II, 205)
 Alterazioni (5 II, 205)
 Lucidatura finale (5 II, 205)
 STAGNO (5 II, 207)
 Alterazioni (5 II, 207)
 Lucidatura finale (5 II, 207)
 TITANIO (5 II, 207)
 Alterazioni (5 II, 207)
 Lucidatura finale (5 II, 208)
 TUNGSTENO (5 II, 208)
 Alterazioni (5 II, 208)
 Lucidatura finale (5 II, 208)
 URANIO (5 II, 208)
 Alterazioni (5 II, 208)
 Lucidatura finale (5 II, 208)
 Note sulla sicurezza della manipolazione (5 II, 209)
 ZINCO (5 II, 209)
 Alterazioni (5 II, 209)
 Lucidatura finale (5 II, 209)
 ZIRCONIO (5 II, 209)
 Alterazioni (5 II, 209)
 Lucidatura finale (5 II, 209)
 BIBLIOGRAFIA (5 II, 209)

PARTE SECONDA.

Metallurgia fisica. Genesi delle strutture (5 II, 211)

Capitolo dodicesimo

METALLURGIA E MICROSTRUTTURA. Introduzione alle strutture nei metalli (5 II, 213)

INTRODUZIONE (5 II, 213)

CARATTERISTICHE GENERALI DELLA STRUTTURA DEI METALLI (5 II, 213)

 ORDINE DI GRANDEZZA E GERARCHIA DELLA STRUTTURA (5 II, 213)

 ORIGINI DELLE STRUTTURE DEI METALLI (5 II, 214)

 MICROSTRUTTURE MONOFASICHE (5 II, 214)

 STRUTTURA GRANULARE (5 II, 214)

 Tipi di struttura granulare (5 II, 214)

 Struttura granulare tridimensionale (5 II, 216)

 Cristallografia dei contorni dei grani (5 II, 216)

 Struttura granulare bidimensionale (5 II, 216)

 Forma del grano (5 II, 216)

 Angoli diedri (5 II, 216)

 Substruttura (5 II, 217)

 MICROSTRUTTURE POLIFASICHE (5 II, 217)

 Cristallografia di interfacce di fasi intermetalliche (5 II, 218)

 MACROSTRUTTURA (5 II, 218)

BIBLIOGRAFIA (5 II, 218)

Capitolo tredicesimo

STRUTTURE CRISTALLINE (5 II, 221)

INTRODUZIONE (5 II, 221)

CONCETTI E TERMINI CRISTALLOGRAFICI (5 II, 221)

 SISTEMI CRISTALLINI (5 II, 221)

 Struttura prototipo (5 II, 227)

 Posizioni atomiche (5 II, 227)

 Gruppi di punti (5 II, 227)

 Posizioni equivalenti (5 II, 227)

 Effetto della composizione della lega (5 II, 229)

 Substrutture disordinate e ordinate (5 II, 229)

 Numero di atomi per cella e densità (5 II, 229)

 Indici di Miller per i piani e le direzioni (5 II, 230)

 Indici di Miller-Bravais (5 II, 230)

 Banda cristallina e asse della banda (5 II, 230)

 TIPI DI CRISTALLI METALLURGICAMENTE IMPORTANTI (5 II, 230)

 Super reticoli a lungo periodo (5 II, 234)

 DIFETTI DEI CRISTALLI (5 II, 235)

 Difetti lineari (5 II, 235)

BIBLIOGRAFIA (5 II, 237)

Capitolo quattordicesimo

CONCETTI DI FISICA METALLURGICA PER L'INTERPRETAZIONE DELLE MICROSTRUTTURE (5 II, 239)

INTRODUZIONE (5 II, 239)

STRUTTURA E PROPRIETÀ (5 II, 240)

 DIMENSIONE E CRESCITA DEL GRANO (5 II, 240)

 Effetto dei processi sulla struttura granulare (5 II, 241)

 LIMITI DELLA METALLOGRAFIA NEL PREDIRE LE PROPRIETÀ (5 II, 242)

 DIAGRAMMI D'EQUILIBRIO O DELLE FASI (5 II,

243)
 SISTEMI ISOMORFI (5 II, 245)
 SISTEMI EUTETTICI (5 II, 246)
 Solidificazione degli eutettici (5 II, 246)
 Microstruttura eutettica (5 II, 247)
 SISTEMI PERITETTICI (5 II, 249)
 DIAGRAMMI DI STATO TERNARI (5 II, 249)
 NUCLEAZIONE E ACCRESCIMENTO DELLE FASI IN
 CONDIZIONI DI NON EQUILIBRIO (5 II, 250)
 Trasformazioni eterogenee (5 II, 250)
 Trasformazioni omogenee (5 II, 251)
 Zone di Guinier-Preston (5 II, 251)
 SOLIDIFICAZIONE (5 II, 252)
 Liquazione (5 II, 253)
 TRASFORMAZIONI DI FASE ALLO STATO SOLIDO (5
 II, 253)
 ACCRESCIMENTO ISOTERMICO (5 II, 253)
 L'EUTETTOIDE Fe-C (5 II, 254)
 Strutture proeutetoidiche e perlite negli acciai (5 II, 255)
 Formazione della perlite negli acciai eutetoidici (5 II,
 256)
 Acciai al carbonio ipoeutetoidici (5 II, 256)
 Acciai al carbonio ipereutetoidici (5 II, 258)
 PRECIPITAZIONE DA SOLUZIONI SOLIDE (5 II, 260)
 PRECIPITAZIONE COERENTE DA SOLUZIONE SO-
 LIDA (5 II, 260)
 TRASFORMAZIONI ANISOTERME (5 II, 261)
 Martensite negli acciai (5 II, 261)
 Austenite residua (5 II, 262)
 BAINITE (5 II, 262)
 Bainite inferiore (5 II, 264)
 CINETICHE DI TRASFORMAZIONE (5 II, 265)
 DIAGRAMMI DI TRASFORMAZIONE (5 II, 266)
 Curve di trasformazione isoterma (TTT) (5 II, 267)
 Diagrammi di trasformazione al raffreddamento conti-
 nuo (5 II, 268)
 BIBLIOGRAFIA (5 II, 271)

Capitolo quindicesimo

TEORIA DELLA SOLIDIFICAZIONE (5 II, 273)
 INTRODUZIONE (5 II, 273)
 TEORIA DELLA SOLIDIFICAZIONE (5 II, 273)
 SCALA DELLE STRUTTURE DI SOLIDIFICAZIONE
 (5 II, 273)
 SOTTORAFFREDDAMENTO (5 II, 274)
 Cinetica del sottoraffreddamento (5 II, 274)
 Sottoraffreddamento termico (5 II, 275)
 Sottoraffreddamento costitutivo (da soluto) (5 II, 275)
 Sottoraffreddamento da curvatura (5 II, 275)
 Sottoraffreddamento da pressione (5 II, 276)
 NUCLEAZIONE (5 II, 276)
 ACCRESCIMENTO E STABILITÀ DELL'INTERFACCIA
 (5 II, 277)
 STRUTTURE DI SOLIDIFICAZIONE DEI METALLI
 PURI (5 II, 278)
 CRISTALLI SINGOLI (5 II, 278)
 MICROSTRUTTURE EQUIASSICHE (5 II, 278)
 STRUTTURE DI SOLIDIFICAZIONE DI SOLUZIONI SO-
 LIDE (5 II, 279)
 INTERFACCIA PLANARE (5 II, 280)
 STRUTTURE CELLULARI (5 II, 280)
 STRUTTURE DENDRITICHE (5 II, 280)
 Effetto dell'orientamento cristallografico (5 II, 282)

Influenza del tipo di diagramma di stato (5 II, 282)
 Effetto del sottoraffreddamento costitutivo (5 II, 282)
 Effetto della velocità di solidificazione (5 II, 283)
 Ridistribuzione del soluto e microsegregazione nella so-
 lidificazione dendritica (5 II, 284)
 SOLIDIFICAZIONE RAPIDA (5 II, 285)
 SOLIDIFICAZIONE DI STRUTTURE EUTETTICHE (5
 II, 287)
 Classificazione degli eutettici (5 II, 287)
 Intervallo di composizione operativo (5 II, 289)
 Dimensione degli eutettici (5 II, 290)
 STRUTTURE DI SOLIDIFICAZIONE DEI PERITETTI-
 CI (5 II, 291)
 SOLIDIFICAZIONE DI STRUTTURE MONOTETTI-
 CHE (5 II, 292)
 BIBLIOGRAFIA (5 II, 294)

Capitolo sedicesimo

**STRUTTURE DI SOLIDIFICAZIONE DEI METALLI
 PURI (5 II, 297)**
 MONOCRISTALLI METALLICI (5 II, 297)
 METALLI PURI POLICRISTALLINI (5 II, 298)
 BORDI DEL GRANO (5 II, 299)
 BIBLIOGRAFIA (5 II, 300)

Capitolo diciassettesimo

**MICROSTRUTTURE DI SOLIDIFICAZIONE DEGLI
 ACCIAI E DELLE GHISE (5 II, 301)**
 ACCIAIO (5 II, 301)
 MACROSTRUTTURA (5 II, 301)
 Tecniche metallografiche (5 II, 301)
 Transizione colonnare \Rightarrow equiassica (5 II, 303)
 MICROSTRUTTURA (5 II, 303)
 Spaziatura dei rami dendritici (5 II, 304)
 Inclusioni non metalliche (5 II, 304)
 GHISA (5 II, 305)
 MACROSTRUTTURA (5 II, 305)
 Celle eutettiche (5 II, 305)
 Cristallizzazione colonnare e equiassica (5 II, 306)
 MICROSTRUTTURA (5 II, 306)
 Eutettico austenite + grafite della ghisa grigia (5 II, 306)
 Eutettico austenite + Fe₃C della ghisa bianca (5 II, 310)
 BIBLIOGRAFIA (5 II, 312)

Capitolo diciottesimo

**INTRODUZIONE ALLE STRUTTURE DI TRASFOR-
 MAZIONE IN FASE SOLIDA (5 II, 313)**
 TRASFORMAZIONI ALLO STATO SOLIDO (5 II, 313)
 MICROSTRUTTURE MULTIFASE (5 II, 313)
 SUBSTRUTTURE (5 II, 314)
 CRISTALLOGRAFIA (5 II, 314)
 BIBLIOGRAFIA (5 II, 315)

Capitolo diciannovesimo

**STRUTTURE DI PRECIPITAZIONE DA SOLUZIONI
 SOLIDE (5 II, 315)**
 INTRODUZIONE (5 II, 315)
 NUCLEAZIONE E ACCRESCIMENTO (5 II, 316)
 MECCANISMI DI PRECIPITAZIONE (5 II, 319)
 STRUTTURA DI WIDMANSTÄTTEN (5 II, 320)
 PRECIPITAZIONE CELLULARE O DISCONTINUA (5
 II, 320)

SEQUENZE DI PRECIPITAZIONE (5 II, 321)
BIBLIOGRAFIA (5 II, 323)

Capitolo ventesimo

STRUTTURE DA TRASFORMAZIONI SPINODALI (5 II, 325)

INTRODUZIONE (5 II, 325)

CENNI SULLA TEORIA DELLA DECOMPOSIZIONE SPINODALE (5 II, 325)

MICROSTRUTTURA (5 II, 327)

BIBLIOGRAFIA (5 II, 328)

Capitolo ventunesimo

STRUTTURE ORDINATE (5 II, 329)

INTRODUZIONE (5 II, 329)

BORDI ANTIFASE (5 II, 329)

ORDINE A LUNGO E CORTO RAGGIO (5 II, 329)

SUPER RETICOLO $L1_0$ (STRUTTURA CuAu I) (5 II, 330)

SUPER RETICOLO $L1_2$ (STRUTTURA Cu₃Au) (5 II, 330)

SUPER RETICOLO B2 (STRUTTURA FeAl) (5 II, 331)

SUPER RETICOLO $D0_3$ (STRUTTURA Fe₃Al) (5 II, 332)

BORDI ANTIFASE GENERATI DALLE DISLOCAZIONI (5 II, 332)

BIBLIOGRAFIA (5 II, 333)

Capitolo ventiduesimo

STRUTTURE DI TRASFORMAZIONE MASSIVA (5 II, 335)

INTRODUZIONE (5 II, 335)

METALLI PURI E PUNTI CONGRUENTI (5 II, 335)

REGIONI BISAFICHE (5 II, 336)

CINETICHE DI NUCLEAZIONE E CRESCITA (5 II, 337)

STRUTTURE PIUMACEE (5 II, 337)

CRESCITA DEL CRISTALLO SINGOLO (5 II, 338)

RECENTI TEORIE SULLE TRASFORMAZIONI MASSIVE (5 II, 338)

BIBLIOGRAFIA (5 II, 339)

Capitolo ventitreesimo

STRUTTURE DA TRASFORMAZIONI INVARIANTI (5 II, 341)

INTRODUZIONE (5 II, 341)

STRUTTURE EUTETTOIDICHE (5 II, 342)

ORIENTAMENTO DELLE COLONIE E NUCLEAZIONE DELLA PERLITE (5 II, 342)

Nucleazione della perlite sulla ferrite o cementite proeutettoide (5 II, 344)

Spaziatura interlamellare della perlite (5 II, 344)

ACCRESIMENTO DELLA PERLITE (5 II, 344)

EFFETTO DEGLI ELEMENTI DI LEGA (5 II, 345)

STRUTTURE PERITETTICHE E PERITETTOIDICHE (5 II, 346)

STRUTTURE PERITETTOIDICHE (5 II, 346)

STRUTTURE PERITETTICHE (5 II, 347)

Meccanismi di formazione peritettica (5 II, 348)

Strutture peritettiche controllate dalla nucleazione (5 II, 349)

Formazione peritettica in condizioni di non equilibrio (5 II, 350)

Trasformazioni peritettiche (5 II, 350)

Cascate di peritettici (5 II, 351)

Microstrutture peritettiche (5 II, 352)

Strutture peritettiche nelle leghe ferrose (5 II, 353)

Sistemi multicomponenti (5 II, 354)

BIBLIOGRAFIA (5 II, 355)

Capitolo ventiquattresimo

STRUTTURE MARTENSITICHE (5 II, 357)

INTRODUZIONE (5 II, 357)

MARTENSITE NELLE LEGHE FERROSE (5 II, 358)

TEORIA CRISTALLOGRAFICA (5 II, 358)

Relazioni d'orientamento e piano abituale (5 II, 359)

Morfologia (5 II, 359)

TEMPERATURA DI TRASFORMAZIONE (5 II, 362)

RINVENIMENTO DELLA MARTENSITE (5 II, 363)

MARTENSITE IN SISTEMI NON FERROSI (5 II, 365)

SISTEMI METALLICI (5 II, 366)

SISTEMI CERAMICI (5 II, 367)

ALTRI SISTEMI (5 II, 368)

MATERIALI A MEMORIA DI FORMA (5 II, 368)

BIBLIOGRAFIA (5 II, 372)

Capitolo venticinquesimo

STRUTTURE BAINITICHE (5 II, 373)

INTRODUZIONE (5 II, 373)

BAINITE SUPERIORE (5 II, 374)

RILIEVI SUPERFICIALI (5 II, 376)

BAINITE INFERIORE (5 II, 376)

BAINITE INVERSA (5 II, 378)

BAINITE GRANULARE (5 II, 378)

BAINITE COLONNARE (5 II, 379)

BAINITE NEI SISTEMI NON FERROSI (5 II, 379)

BIBLIOGRAFIA (5 II, 379)

Capitolo ventiseiesimo

STRUTTURE D'INTERDIFFUSIONE (5 II, 381)

INTRODUZIONE (5 II, 381)

ANALISI DELLE MICROSTRUTTURE D'INTERDIFFUSIONE (5 II, 381)

IDENTIFICAZIONE DEGLI STRATI E BORDI DELL'INTERDIFFUSIONE (5 II, 381)

ANNOTAZIONI STENOGRAFICHE PER STRATI E BORDI (5 II, 381)

CLASSIFICAZIONE DEI BORDI (5 II, 382)

MAPPE DI MICROSTRUTTURE D'INTERDIFFUSIONE (5 II, 382)

ESEMPI DI MICROSTRUTTURE D'INTERDIFFUSIONE (5 II, 382)

Sistemi binari (5 II, 382)

Sistemi base rame (5 II, 383)

Coppie di diffusione Cu-Ni-Zn (5 II, 383)

Sistemi base nichel (5 II, 384)

Coppie di diffusione René/Inconel (5 II, 384)

Rivestimento di NiCoCrAlYRe su Inconel 738 (5 II, 385)

Sistemi che formano siliciuri (5 II, 385)

BIBLIOGRAFIA (5 II, 386)

Capitolo ventisettesimo

STRUTTURE DEFORMATE PLASTICAMENTE (5 II, 387)

INTRODUZIONE (5 II, 387)

EVOLUZIONE MICROSTRUTTURALE PER SUDDIVISIONE DEL GRANO (5 II, 388)

PROCESSI FONDAMENTALI DI SUDDIVISIONE DEL GRANO (5 II, 388)

Suddivisione del grano con facile mobilità tridimensionale delle dislocazioni (5 II, 389)

Suddivisione del grano con ristretta mobilità tridimensionale delle dislocazioni (5 II, 395)

Miglioramento della mobilità tridimensionale delle dislocazioni (5 II, 396)

Effetti locali (5 II, 396)

Suddivisione macroscopica dei grani (5 II, 396)

PARAMETRI MICROSTRUTTURALI: ANALISI QUANTITATIVA E TEORICA (5 II, 396)

DEFINIZIONE E MISURAZIONE DEI PARAMETRI (5 II, 396)

Evoluzione degli angoli di disorientamento e della spaziatura del bordo (5 II, 397)

Misurazioni in scala e relazioni invarianti (5 II, 398)

Bordi geometricamente necessari ad elevato angolo di disorientamento e componenti della tessitura (5 II, 400)

Strutture di dislocazioni a bassa energia (5 II, 400)

Modello di slittamento (5 II, 401)

PROPRIETÀ MACROSCOPICHE (5 II, 402)

CONCLUSIONI (5 II, 403)

BIBLIOGRAFIA (5 II, 403)

Capitolo ventottesimo

MICROSTRUTTURE DA RECUPERO, RICRISTALLIZZAZIONE E CRESCITA DEL GRANO (5 II, 407)

INTRODUZIONE (5 II, 407)

LO STATO DEFORMATO (5 II, 407)

RECUPERO (5 II, 408)

CAMBIAMENTI DELLE PROPRIETÀ (5 II, 409)

RICRISTALLIZZAZIONE (5 II, 410)

SITI DI NUCLEAZIONE (5 II, 411)

ACCRESIMENTO DEI GRANI NUCLEATI (5 II, 413)

CRESCITA DEL GRANO (5 II, 413)

BIBLIOGRAFIA (5 II, 415)

Capitolo vintinovesimo

TESSITURA DELLE STRUTTURE (5 II, 417)

INTRODUZIONE (5 II, 417)

EVOLUZIONE E CONTROLLO DELLA TESSITURA (5 II, 418)

SOLIDIFICAZIONE (5 II, 418)

DEFORMAZIONE PLASTICA (5 II, 420)

RICRISTALLIZZAZIONE E ACCRESIMENTO DEL GRANO (5 II, 420)

DEPOSITO DI FILM SOTTILI (5 II, 421)

CAMPI MAGNETICI (5 II, 421)

CARATTERIZZAZIONE DELLA TESSITURA E DETERMINAZIONE SPERIMENTALE (5 II, 421)

DIFFRAZIONE CLASSICA E TECNICHE DI MISURAZIONI DELLE FIGURE POLARI (5 II, 423)

MISURE DELL'ORIENTAMENTO DEI SINGOLI CRISTALLI (5 II, 426)

MICROTESSITURA, CARATTERE DEL BORDO GRA-

NO E GRADIENTI DI TESSITURA (5 II, 427)

MODELLO DELL'EVOLUZIONE DELLA TESSITURA (5 II, 428)

BIBLIOGRAFIA (5 II, 428)