

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

## VOLUME 1°

**Fisica dei metalli. Proprietà degli acciai. Trattamenti termici.  
Rivestimenti antiusura, sinterizzazione e pressatura isostatica a caldo.  
Controllo qualità.  
Norme e direttive. Sistema internazionale delle unità di misura.  
Rassegna della normativa nazionale.**

## INDICE GENERALE

**Presentazione di AQM Srl (V)**  
**Prefazione dell'autore (VII)**  
**Prefazione alla seconda edizione (VIII)**  
**Presentazione A.N.I.M.A. (Associazione Nazionale Industria Meccanica varia ed Affine) e U.N.I.T.T. (Unione Nazionale delle Industrie dei Trattamenti Termici) alla seconda edizione. (IX)**  
**Prefazione alla prima edizione (X)**  
**INDICE DEGLI AUTORI (XI)**

## *FISICA DEI METALLI*

### *Capitolo Primo*

**CENNI DI FISICA DEI METALLI (1, 1)**  
L'atomo (1, 1)  
Lo stato metallico (1, 3)  
Cristalli metallici (1, 3)  
Trasformazioni allotropiche (1, 4)  
Caratteristiche meccaniche dei cristalli (1, 5)  
Dislocazioni (1, 6)  
Autodiffusione (1, 8)  
Leghe (1, 8)  
Indurimento per precipitazione (1, 9)  
Indurimento con tempra martensitica (1, 10)  
Bibliografia (1, 10)

### *Capitolo secondo*

**TRASFORMAZIONI IN CONDIZIONI D'EQUILIBRIO: diagrammi di stato e diagramma Fe-C (1, 11)**  
Introduzione (1, 11)  
Regola delle fasi (1, 11)  
Analisi termica (1, 12)  
Varianza nei sistemi metallurgici (1, 13)  
Diagramma di stato di due componenti completamente solubili allo stato liquido e completamente insolubili allo stato solido (1, 14)  
Campi d'esistenza delle fasi (1, 16)  
Composizione delle fasi (1, 16)  
Quantità delle singole fasi (1, 17)  
Microstruttura (1, 17)  
Forma delle curve d'analisi termica (1, 17)  
Triangolo di Tammann (1, 18)  
Diagramma di stato di due componenti completamente solubili allo stato liquido e parzialmente solubili allo stato solido (1, 18)  
Diagramma di stato di due componenti completamente solubili sia allo stato liquido sia allo stato solido (1, 20)  
Diagramma di stato con peritettico (1, 21)  
Esempi di diagrammi di stato reali (1, 22)  
Diagrammi di stato ternari (1, 23)  
Diagramma Ferro-Carbonio (1, 24)  
Caratteristiche del ferro (1, 24)  
Solidificazione delle leghe Fe-C (1, 25)  
Trasformazioni allo stato solido delle leghe Fe-C (1, 27)  
Punti critici delle leghe Fe-C allo stato solido (1, 30)  
Bibliografia (1, 30)

### *Capitolo terzo*

**TRASFORMAZIONI IN CONDIZIONI DI NON EQUILIBRIO: la solidificazione e la cinetica di trasformazione dell'austenite (1, 31)**  
Introduzione (1, 31)  
Il fenomeno della solidificazione (1, 31)  
Sottoraffreddamento, nucleazione ed accrescimento (1, 31)  
Cristallizzazione dendritica (1, 34)

Microsegregazione e struttura a bande (1, 34)  
Dieci consigli per ottimizzare la fibratura (1, 36)  
Macrosegregazione (1, 38)  
Cinetica di trasformazione dell'austenite (1, 40)  
Influenza della velocità di raffreddamento (1, 40)  
Microstrutture ottenibili, secondo la velocità di raffreddamento (1, 40)  
Diagrammi di Bain o curve TTT (1, 43)  
Diagrammi al raffreddamento continuo o curve CCT (1, 44)  
Bibliografia (1, 45)

## **TECNICHE DI TEMPRA**

### **Capitolo quarto**

#### **PRINCIPI E TECNICHE DI TEMPRA (1, 47)**

Introduzione (1, 47)  
Teoria della tempra martensitica (1, 47)  
Il meccanismo della tempra (1, 48)  
Fluidi tempranti (1, 50)  
Tempra con acqua (1, 50)  
Drasticità dell'acqua (1, 51)  
Corrosione indotta dall'acqua (1, 51)  
Fermentazione nelle vasche da tempra (1, 52)  
Tempra con oli (1, 52)  
Caratteristiche degli oli da tempra (1, 52)  
Viscosità (1, 52)  
Additivazione (1, 52)  
Bagnabilità (1, 52)  
Infiammabilità (1, 52)  
Resistenza all'ossidazione (1, 52)  
Stabilità termica (1, 53)  
Volatilità (1, 53)  
Lavabilità (1, 53)  
Classificazione degli oli da tempra (1, 53)  
Controllo degli oli da tempra in esercizio (1, 54)  
Tempra con fluidi sintetici (1, 55)  
Generalità (1, 55)  
Vantaggi della tempra con fluidi sintetici (1, 55)  
Vantaggi ambientali (1, 55)  
Vantaggi economici e di produzione (1, 55)  
Vantaggi tecnici (1, 56)  
Fluidi da tempra a base di polialchilenglicoli (PAG) (1, 56)  
Scelta della velocità di raffreddamento (1, 56)  
Controllo della concentrazione (1, 57)  
Fluidi da tempra a base di poliacrilati (ACR) (1, 57)  
Fluidi da tempra a base di polivinil pirrolidone (PVP) (1, 58)  
Effetto della concentrazione (1, 58)  
Effetto della temperatura (1, 58)  
Effetto dell'agitazione (1, 58)  
Applicazioni tipiche di fluidi da tempra a base di PVP (1, 58)  
Fluidi da tempra a base di polietil ossiazolina (PEO) (1, 58)  
Caratteristiche di tempra (1, 59)  
Effetto della concentrazione (1, 59)  
Effetto della temperatura (1, 59)  
Effetto dell'agitazione (1, 59)  
Applicazioni tipiche di fluidi da tempra a base di PEO (1, 60)

Tempra in vasca (1, 60)  
Capacità e forma della vasca (1, 60)  
Relazione tra volume e superficie libera (1, 60)  
Livello del fluido da tempra (1, 60)  
Altezza dello strato di fluido sopra la carica (1, 60)  
Filtrazione (1, 60)  
Sistemi di raffreddamento (1, 60)  
Circolazione del fluido (1, 61)  
Manutenzione della vasca (1, 61)  
Inconvenienti della tempra (1, 61)  
Deformazioni (1, 61)  
Variazioni volumetriche (1, 61)  
Variazioni geometriche (1, 61)  
Distorsioni al riscaldamento (1, 61)  
Distorsioni durante il raffreddamento di tempra (1, 62)  
Tempra in olio caldo (1, 62)  
Contaminazione degli oli da tempra con acqua (1, 63)  
Emissioni di fumo, esalazioni nocive e pericolo d'incendio (1, 63)  
Scelta del fluido da tempra (1, 63)  
Varietà dei particolari e caratteristiche del ciclo produttivo (1, 64)  
Temprabilità e composizione dell'acciaio (1, 64)  
Variazioni della sezione e complessità del disegno (1, 64)  
Proprietà meccaniche richieste (1, 64)  
Grado di distorsione ammissibile (1, 64)  
Metodo di tempra (1, 64)  
Ambiente di lavoro (1, 64)  
Riepilogo dei potenziali problemi di tempra (1, 64)  
Bibliografia (1, 66)

## **PROPRIETÀ FONDAMENTALI DEGLI ACCIAI**

### **Capitolo quinto**

#### **TEMPRABILITÀ (1, 67)**

Definizione di temprabilità (1, 67)  
Influenza dei mezzi di spegnimento (1, 67)  
Diametro e durezza critica (1, 70)  
Metodi di valutazione della temprabilità (1, 72)  
Acciai con temprabilità molto bassa (1, 72)  
Acciai con bassa temprabilità (1, 72)  
Acciai con temprabilità media e medio-alta (1, 73)  
Temprabilità dello strato cementato (1, 74)  
Acciai con elevata temprabilità (1, 75)  
Correlazione tra temprabilità, composizione chimica e dimensione del grano (1, 75)  
Carbonio e dimensione del grano (1, 76)  
Acciai non legati al carbonio - manganese (1, 76)  
Acciai basso legati a medio tenore di carbonio (1, 77)  
Acciai ad alto tenore di carbonio e strati cementati (1, 80)  
Acciai contenenti boro (1, 81)  
Correlazione tra prove di temprabilità e caratteristiche d'indurimento dei pezzi (1, 82)  
Esempi d'uso della temprabilità (1, 88)  
Valutazione della velocità di raffreddamento (1, 88)  
Valutazione delle caratteristiche di temprabilità (1, 89)  
Acciai bonificati (1, 90)  
Acciai cementati (1, 90)

Determinazione del valore Jec (1, 92)  
Temprabilità a cuore (DiB) (1, 92)  
Temprabilità dello strato cementato (DiC) (1, 92)  
Gradiente di carbonio (1, 92)  
Scelta della composizione (1, 93)  
Conclusioni (1, 93)  
Bibliografia (1, 93)

## **Capitolo sesto**

### **SALDATURA E SALDABILITÀ (1, 95)**

Saldatura (1, 95)  
Termologia della saldatura (1, 95)  
Distribuzione della temperatura (1, 95)  
Cicli termici di saldatura (1, 95)  
Deformazioni (1, 97)  
Ritiro trasversale (1, 97)  
Ritiro angolare (1, 98)  
Ritiro longitudinale (1, 98)  
Tensioni interne (1, 98)  
Sollecitazioni trasversali (1, 98)  
Sollecitazioni longitudinali (1, 99)  
Comportamento delle tensioni interne di saldatura in servizio (1, 99)  
Strutture per servizio a bassa temperatura (1, 100)  
Strutture soggette a carico di punta (1, 100)  
Strutture soggette a lavorazioni meccaniche (1, 100)  
Strutture soggette a tensocorrosione (1, 101)  
Precauzioni e rimedi contro gli effetti dei ritiri e delle tensioni interne (1, 101)  
Precauzioni prima della saldatura (1, 101)  
Deformazione preventiva (1, 101)  
Creazione di una zona elastica (1, 101)  
Disposizione opportuna del cordone di saldatura (1, 102)  
Composizione di pezzi di prefabbricazione (1, 102)  
Precauzioni durante la saldatura (1, 102)  
Scelta del procedimento di saldatura e dei modi operativi (1, 102)  
Condizioni di vincolo ed ordine d'esecuzione delle saldature (1, 103)  
Rimedi dopo saldatura (1, 103)  
Calde di ritiro (1, 103)  
Trattamento di ricottura di distensione in forno (1, 103)  
Trattamento di ricottura localizzato (1, 104)  
Trattamento di stiramento alla fiamma (1, 104)  
Martellatura (1, 104)  
Saldabilità degli acciai (1, 104)  
Saldabilità metallurgica degli acciai (1, 105)  
Saldabilità degli acciai bonificati (1, 107)  
Conclusioni (1, 108)  
Bibliografia (1, 108)

## **Capitolo settimo**

### **LAVORABILITÀ DEGLI ACCIAI (1, 109)**

Valutazione della lavorabilità (1, 109)  
Prove di lavorabilità (1, 109)  
Fattori metallurgici che influenzano la lavorabilità degli acciai (1, 110)

Acciai ad alta lavorabilità o a lavorabilità migliorata (1, 111)  
Influenza del Pb e Bi (1, 111)  
Influenza degli elementi del gruppo dello zolfo (1, 112)  
Influenza degli elementi alcalino terrosi (1, 114)  
Acciai al calcio della classe A (1, 114)  
Acciai al calcio della classe B (1, 115)  
Bibliografia (1, 116)

## **TRATTAMENTI TERMICI DEGLI ACCIAI**

### **Capitolo ottavo**

### **TRATTAMENTI TERMICI FONDAMENTALI DEGLI ACCIAI DA COSTRUZIONE (1, 117)**

Classificazione dei trattamenti termici (1, 118)  
Trattamenti convenzionali preliminari (1, 119)  
Ricotture (1, 119)  
Ricottura di lavorabilità o subcritica (1, 122)  
Ricottura completa (1, 122)  
Condizioni generali d'austenizzazione (1, 123)  
Raffreddamento della ricottura completa (1, 123)  
Effetti della ricottura completa (1, 123)  
Ricotture globulari (1, 124)  
Ricottura globulare subcritica (1, 124)  
Ricottura di globulizzazione pendolare (1, 125)  
Ricottura di distensione (1, 125)  
Ricottura di ricristallizzazione (1, 126)  
Riassetamento (1, 126)  
Ricristallizzazione (1, 127)  
Ricottura d'omogeneizzazione (1, 127)  
Normalizzazione (1, 128)  
Tempra di solubilizzazione (1, 129)  
Trattamenti convenzionali finali (1, 129)  
Trattamenti di tempra (1, 129)  
Tempra diretta (1, 129)  
Tempra interrotta o scalare (1, 131)  
Rinvenimenti (1, 131)  
Durezza secondaria (1, 132)  
Evoluzione dell'austenite residua (1, 132)  
Rinvenimento di distensione (1, 132)  
Rinvenimento d'addolcimento (1, 134)  
Evoluzione della martensite cubica (1, 134)  
Durezza dopo il rinvenimento d'addolcimento (1, 134)  
Fragilità da rinvenimento (1, 135)  
Invecchiamento (1, 135)  
Trattamenti isotermici preliminari (1, 136)  
Ricotture isotermiche (1, 136)  
Ricottura isotermica globulare (1, 136)  
Ricottura isotermica normale (1, 137)  
Ricottura "bianco e nero" (1, 137)  
Patentamento (1, 137)  
Trattamenti isotermici finali (1, 138)  
Tempra bainitica o austempering (1, 138)  
Bibliografia (1, 139)

## **Capitolo nono**

### **TRATTAMENTI DI TEMPRA SUPERFICIALE (1, 141)**

Trattamenti d'indurimento superficiale (1, 141)  
Trattamenti di tempra superficiale (1, 141)  
Acciai da tempra superficiale (1, 144)  
Temprabilità (1, 145)  
Scelta degli acciai per tempra superficiale (1, 145)  
Tempra superficiale di pezzi carbo cementati (1, 146)  
Rinvenimento di distensione (1, 146)  
Metodi di riscaldamento (1, 146)  
Tempra ad induzione (1, 147)  
Considerazioni sulla frequenza (1, 148)  
Considerazioni sulle bobine (1, 148)  
Condizioni di riscaldamento e forma delle bobine (1, 148)  
Bobine disposte in serie (1, 149)  
Raffreddamento delle bobine (1, 150)  
Fiammatura (1, 150)  
Tempra laser (1, 150)  
Indurimento superficiale con laser (1, 151)  
Bibliografia (1, 152)

## **Capitolo decimo**

### **LE ATMOSFERE CONTROLLATE (1, 153)**

Cenni storici (1, 153)  
Il problema (1, 154)  
Termini e definizioni (1, 155)  
Atmosfera controllata (1, 155)  
Atmosfera portante (1, 155)  
Atmosfera riducente (1, 155)  
Atmosfera ossidante (1, 155)  
Atmosfera carburante (1, 155)  
Atmosfera decarburante (1, 155)  
Atmosfera nitruante (1, 155)  
Atmosfera neutra (1, 155)  
Atmosfera esotermica (1, 155)  
Atmosfera endotermica (1, 155)  
Atmosfere formate con gas tecnici (1, 155)  
Esplosività (definizione) (1, 156)  
Tossicità (definizione) (1, 156)  
Punto di rugiada (definizione) (1, 156)  
Potenziale di carbonio (definizione) (1, 156)  
Esplosività (1, 156)  
Combustione, deflagrazione, esplosione (1, 156)  
Tossicità (1, 157)  
Lavaggio delle camere (1, 158)  
Punto di rugiada (1, 159)  
Misura dell'ossigeno residuo nelle atmosfere cementanti (1, 160)  
Classificazione e generazione delle atmosfere (1, 161)  
Gli esogas (1, 161)  
Esogas da metano (1, 161)  
Esogas da propano (1, 161)  
Esogas da miscele d'idrocarburi (1, 161)  
Esogas da ammoniaca (1, 162)  
Gli endogas (1, 162)  
Endogas da metano (1, 162)  
Endogas da propano (1, 162)

Endogas da propano miscelato con idrocarburi insaturi (1, 162)  
Endogas da metanolo (1, 162)  
Endogas da ammoniaca (1, 163)  
Gas tecnici e le loro miscele (1, 163)  
Atmosfere ottenute da cracking d'idrocarburi ossigenati liquidi (1, 163)  
Atmosfere con bassissima pressione assoluta (vuoto) (1, 163)  
Trattamenti successivi alla generazione delle atmosfere (1, 164)  
Essiccazione su gel di silice o d'allumina (1, 164)  
Essiccazione su setacci molecolari (1, 164)  
Essiccazione mediante refrigerazione (1, 164)  
Essiccazione mediante compressione e decompressione (1, 164)  
Eliminazione dell'anidride carbonica (1, 164)  
Eliminazione dell'ossido di carbonio (1, 165)  
Cenni sugli impianti di produzione delle atmosfere (1, 165)  
Richiami di termodinamica (1, 166)  
Costanti d'equilibrio (1, 166)  
Costanti d'instabilità (1, 167)  
Potenziale di carbonio (1, 167)  
Controllo del potenziale di carbonio (1, 168)  
Diagrammi d'equilibrio per le atmosfere controllate (1, 169)  
Diagrammi d'equilibrio per l'ossidazione e la riduzione del ferro (1, 169)  
Diagrammi d'equilibrio per il controllo della cementazione (1, 169)  
Controllo della cementazione tramite misura della CO<sub>2</sub> e del CO (1, 169)  
Controllo della cementazione mediante misura del CO e O<sub>2</sub> (1, 169)  
Controllo della cementazione con atmosfere ottenute da alcool metilico arricchito con acetato d'etile (1, 171)  
Controllo della cementazione con atmosfere ottenute da miscele d'alcool metilico ed acqua (1, 171)  
Le materie prime (1, 172)  
Tabelle d'impiego delle atmosfere controllate (1, 172)  
Conclusioni (1, 173)  
Bibliografia (1, 175)

## **Capitolo undicesimo**

### **TRATTAMENTI TERMOCHIMICI – I. CARBOCEMENTAZIONE (1, 177)**

Introduzione (1, 177)  
Carbo cementazione (1, 177)  
Teoria del processo di carbo cementazione (1, 179)  
Potenziale di carbonio (1, 179)  
Indice di Gunnarson (1, 180)  
Assorbimento e diffusione del carbonio (1, 180)  
Assorbimento del carbonio nella cementazione gassosa (1, 180)  
Diagrammi d'equilibrio per la cementazione gassosa (1, 181)  
Diffusione del carbonio (1, 184)  
Carbo cementazione gassosa (1, 186)  
Cicli di carbo cementazione gassosa (1, 186)  
Temperatura di cementazione (1, 188)

Durata della cementazione (1, 188)  
 Scelta dell'atmosfera di cementazione (1, 188)  
 Cementazione con atmosfere ottenute da idrocarburi liquidi (1, 189)  
 Trattamenti successivi alla carbo cementazione (1, 189)  
 Tempra (1, 189)  
 Sottoraffreddamento (1, 191)  
 Rinvenimento di distensione (1, 192)  
 Operazioni di finitura (1, 192)  
 Sabbiatura (1, 192)  
 Pallinatura (1, 193)  
 Raddrizzatura (1, 193)  
 Caratteristiche microstrutturali degli acciai carbo cementati (1, 193)  
 Microstruttura degli strati carbo cementati (1, 193)  
 Difetti microstrutturali degli strati carbo cementati (1, 194)  
 Ipercementazione (1, 194)  
 Decarburazione (1, 194)  
 Ossidazione (1, 195)  
 Microcricche (1, 197)  
 Microstruttura del nucleo (1, 197)  
 Processi speciali di carbo cementazione gassosa (1, 199)  
 Cementazione ad alta temperatura (1, 199)  
 Carbo cementazione sotto vuoto (1, 199)  
 Carbo cementazione ionica (1, 200)  
 Impianti per la carbo cementazione gassosa (1, 201)  
 Forni statici o discontinui (1, 201)  
 Forni continui (1, 202)  
 Carbo cementazione e deformazioni (1, 203)  
 Deformazioni e temprabilità dell'acciaio (1, 203)  
 Deformazioni e ciclo di fabbricazione (1, 204)  
 Deformazioni e trattamenti preliminari (1, 204)  
 Deformazioni e struttura a bande (1, 204)  
 Deformazioni e trattamento di cementazione e tempra (1, 204)  
 Carbo cementazione in cassetta (1, 204)  
 Carbo cementazione in bagno di sali fusi (1, 205)  
 Carbo cementazione con sali a base di cianuro sodico (1, 205)  
 Carbo cementazione con sali esenti da cianuri (1, 205)  
 Diffusione del carbonio (1, 206)  
 Impianti per la cementazione in bagno di sali (1, 206)  
 Depurazione dei sali esausti (1, 207)  
 Bibliografia (1, 207)

## **Capitolo dodicesimo**

### **TRATTAMENTI TERMOCHIMICI –II. CARBONITRURAZIONE, NITRURAZIONE, ALTRI TRATTAMENTI DI CEMENTAZIONE (1, 209)**

Carbonitrurazione (1, 209)  
 Definizione dei processi di cementazione con carbonio e azoto (1, 210)  
 Teoria e pratica del processo di carbonitrurazione (1, 210)  
 Atmosfera carbonitrurante (1, 213)  
 Protezioni anticarbonitruranti (1, 213)  
 Trattamenti di finitura superficiale (1, 213)

Carbonitrurazione sotto Al (1, 213)  
 Nitrurazione e nitro carburazione (1, 215)  
 Nitrurazione gassosa tradizionale (1, 215)  
 Nitrurazione salina o nitrurazione morbida (1, 216)  
 Tenifer (1, 216)  
 TF1 (1, 216)  
 Sursulf (1, 216)  
 Sulfonitrurazione o nitro carbosulfinitizzazione (1, 216)  
 Sulf-inuz (1, 216)  
 Suf-BT (1, 216)  
 Nitrurazione morbida gassosa o nitro carburazione gassosa (1, 216)  
 Nitrurazione ionica o ionitrurazione (1, 216)  
 Nitro carburazione ionica (1, 216)  
 Nitrurazione a potenziale d'azoto controllato o NITREG (1, 216)  
 Coltre bianca (1, 216)  
 Zona dei composti (1, 216)  
 Strato di diffusione (1, 216)  
 Nitrurazione gassosa convenzionale (1, 218)  
 Parametri che influenzano il processo (1, 218)  
 Composizione chimica dell'acciaio (1, 218)  
 Trattamenti preliminari (1, 219)  
 Grado di dissociazione dell'ammoniaca (1, 220)  
 Temperatura di nitrurazione (1, 221)  
 Durata del trattamento di nitrurazione (1, 221)  
 Protezione antinitrurante (1, 221)  
 Pratica del processo di nitrurazione gassosa (1, 221)  
 Forni per la nitrurazione gassosa (1, 222)  
 Difetti della nitrurazione e loro cause (1, 222)  
 Variazioni dimensionali e deformazioni (1, 222)  
 Insufficiente profondità o durezza (1, 223)  
 Colorazione dei pezzi (1, 223)  
 Scheggiature (1, 223)  
 Eccessiva coltre bianca (1, 223)  
 Eccessiva variazione del grado di dissociazione (1, 223)  
 Nitrurazione in bagni di sali (1, 223)  
 Composizione del bagno (1, 224)  
 Temperatura del bagno (1, 224)  
 Durata del trattamento (1, 225)  
 Forni per la nitrurazione salina (1, 225)  
 Solfonitrurazione salina (1, 225)  
 Nitro carburazione gassosa (1, 225)  
 Teoria del processo (1, 225)  
 Pratica del processo di nitro carburazione gassosa (1, 225)  
 Solfonitrurazione gassosa (1, 226)  
 Nitrurazione ionica (1, 227)  
 Nitro carburazione ionica (1, 228)  
 Nitrurazione gassosa a potenziale controllato NITREG (1, 228)  
 Caratteristiche degli strati nitrurati NITREG (1, 229)  
 Vantaggi e svantaggi del processo NITREG (1, 230)  
 Nitrurazione NITREG a bassa temperatura (1, 231)  
 L'impianto di nitrurazione NITREG (1, 232)  
 Altri processi termochimici (1, 233)  
 Cromizzazione (1, 233)  
 Borurazione (1, 233)  
 Silicizzazione (1, 234)  
 Alluminizzazione (1, 235)

Bibliografia (1, 235)

## ***Capitolo tredicesimo***

### **TRATTAMENTI TERMICI E DEFORMAZIONI (1, 237)**

Tipi di deformazioni (1, 237)  
Variazioni dimensionali (1, 237)  
Variazioni di forma o distorsioni (1, 237)  
Calcolo della variazione di volume (1, 237)  
Trattamenti termici e variazioni di volume (1, 238)  
Ricottura (1, 238)  
Tempra (1, 238)  
Drasticità di tempra (1, 240)  
Rinvenimento (1, 240)  
Variazioni di forma (1, 241)  
Conclusioni (1, 242)  
Bibliografia (1, 242)

## ***Capitolo quattordicesimo***

### **QUALIFICAZIONE E CONTROLLO DEI TRATTAMENTI TERMICI (1, 243)**

Qualificazione dei procedimenti (1, 243)  
Controllo dei processi di trattamento termico (1, 244)  
Controlli di processo (1, 244)  
Controllo della temperatura (1, 244)  
Riferibilità (1, 245)  
Incertezza delle misurazioni (1, 245)  
Calcolo del valor medio (1, 245)  
Calcolo della deviazione standard (1, 245)  
Calcolo dello scarto tipo di ripetibilità (1, 245)  
Valutazione dell'incertezza, note le varianze (1, 245)  
Varianza (1, 246)  
Controllo del tempo (1, 246)  
Controllo del mezzo di protezione o cementante (1, 246)  
Controllo dei mezzi solidi (1, 246)  
Controllo dei mezzi liquidi (1, 246)  
Controllo delle atmosfere protettive o cementanti (1, 247)  
Analizzatori a raggi infrarossi (1, 247)  
Misuratori del punto di rugiada (D.P. meter) (1, 248)  
Sonda ossigeno (1, 248)  
Apparecchio Orsat (1, 250)  
Misuratore della conducibilità termica (1, 250)  
Misuratori della resistività elettrica (1, 250)  
Gascromatografi (1, 251)  
Misuratori della temperatura di combustione (1, 251)  
Provette (1, 251)  
Controllo dei pezzi cementati (1, 251)  
Prove di durezza (1, 251)  
Prova alla lima (1, 254)  
Esami microscopici (1, 254)  
Analisi chimica (1, 255)  
Metodi non distruttivi (1, 256)  
Misura della profondità degli strati superficiali induriti (1, 256)  
Profondità d'indurimento totale (1, 256)  
Profondità d'indurimento efficace (1, 256)  
Determinazione del gradiente di concentrazione (1, 257)  
Determinazione del gradiente di durezza (1, 257)  
Metodo della doppia impronta di durezza (1, 257)

Esami metallografici (1, 258)  
Esami macrografici (1, 258)  
Esami micrografici (1, 258)  
Controllo della microstruttura (1, 258)  
Controllo delle deformazioni (1, 258)  
Controllo dell'efficacia della protezione dalla cementazione (1, 258)  
Piani di campionamento (1, 258)  
Bibliografia (1, 259)

## ***RIVESTIMENTI ANTIUSURA, SINTERIZZAZIONE E PRESSATURA ISOSTATICA A CALDO***

### ***Capitolo quindicesimo***

#### **RIVESTIMENTI ANTIUSURA CVD E PVD (1, 261)**

CVD (chemical vapor deposition) (1, 261)  
PVD (physical vapor deposition) (1, 261)  
Plasma spray o spruzzatura al plasma (1, 261)  
Processi di deposizione chimica in fase vapore (CVD) (1, 262)  
Applicazioni industriali dei rivestimenti CVD (1, 266)  
Rivestimento CVD degli utensili d'acciaio rapido (1, 266)  
Applicazioni industriali dei rivestimenti CVD sugli utensili d'acciaio rapido (1, 267)  
Utensili per deformazione plastica (1, 267)  
Utensili per formatura a stampo (1, 267)  
Processi di deposizione fisica in fase vapore (PVD) (1, 268)  
Applicazioni industriali dei rivestimenti PVD (1, 271)  
Rivestimento PVD degli utensili da taglio (1, 271)  
Creatori integrali e creatori a lame riportate (1, 272)  
Brocche (1, 272)  
Punte elicoidali, alesatori e maschi (1, 272)  
Utensili di forma (1, 273)  
Utensili per deformazione plastica a freddo (1, 273)  
Bibliografia (1, 273)

### ***Capitolo sedicesimo***

#### **ACCIAI SINTERIZZATI (1, 275)**

Porosità dei sinterizzati (1, 275)  
Morfologia della porosità (1, 275)  
Grado di diffusione degli elementi di lega (1, 276)  
Ferro (1, 276)  
Ferro-carbonio (1, 277)  
Ferro-rame (1, 279)  
Ferro-rame-carbonio (1, 281)  
Acciai legati (1, 283)  
Leghe ferro-nichel (1, 283)  
Leghe ferro-rame-nichel (1, 283)  
Leghe ferro-rame-nichel-molibdeno (1, 283)  
Leghe ferrose contenenti cromo e/o manganese e/o silicio (1, 284)  
Trattamenti termici degli acciai sinterizzati (1, 283)  
Cementazione in cassetta (1, 285)  
Cementazione in bagno di sali (1, 286)  
Cementazione gassosa (1, 286)

Cementazione durante la sinterizzazione (1, 287)  
Carbonitrurazione gassosa (1, 287)  
Nitrurazione in bagno di sali (1, 287)  
Nitrurazione gassosa (1, 287)  
Austenitizzazione (1, 288)  
Tempra (1, 288)  
Tempra a induzione (1, 289)  
Trattamenti non convenzionali (1, 289)  
Profondità di cementazione e d'indurimento (1, 289)  
Rinvenimento e bonifica (1, 292)  
Controllo delle proprietà meccaniche degli acciai sinterizzati e trattati (1, 292)  
Determinazione della resistenza a trazione (1, 295)  
Determinazione dell'allungamento a rottura (1, 295)  
Determinazione della durezza (1, 295)  
Misure di microdurezza (1, 296)  
Caratteristiche microstrutturali degli acciai sinterizzati e trattati termicamente (1, 297)  
Acciai sinterizzati trattati in vapore (1, 298)  
Acciai sinterizzati inossidabili (1, 298)  
Trattamenti termici e precisione dimensionale dei pezzi sinterizzati (1, 298)  
Scelta dei materiali sinterizzati (1, 299)  
Bibliografia (1, 300)

## ***Capitolo diciassettesimo***

### **PRESSATURA ISOSTATICA A CALDO DI MATERIALI METALLICI**

Tecnologia della pressatura isostatica a caldo (1, 303)  
Applicazioni della pressatura isostatica a caldo (1, 303)  
Pressatura isostatica a caldo di polveri metalliche (1, 304)  
Pressatura di getti (1, 306)

## ***METODI DI CONTROLLO DELLA CONFORMITÀ DEGLI ACCIAI***

### ***Capitolo diciottesimo***

#### **CONTROLLO QUALITÀ (1, 309)**

Affidabilità del progetto (1, 309)  
Verifica della validità delle scelte (1, 309)  
Filosofia delle prove meccaniche (1, 309)  
Prove meccaniche statiche (1, 311)  
Prove per valutare la tenacità (1, 312)  
Prove di resilienza strumentata (1, 312)  
Condizioni di carico (1, 313)  
Misura del rapporto  $R_i/R_m$  (1, 313)  
Misura del coefficiente  $K_{IC}$  (1, 314)  
Prove di fatica (1, 314)  
Cicli di sollecitazione (1, 315)  
Concentrazione delle sollecitazioni e resistenza a fatica (1, 315)  
Danno cumulativo per fatica (1, 316)  
Prove per valutare la resistenza all'usura (1, 316)

Prove preventive (1, 316)  
Prove in esercizio (1, 318)  
Misura della temperatura (1, 318)  
Misura delle particelle estranee contenute negli oli lubrificanti (1, 3169)  
Analisi delle vibrazioni (1, 320)  
Prove a posteriori: studio delle anomalie (1, 320)  
Studio delle anomalie su prototipi (1, 320)  
Esempio d'anomalia per difetto di materiale (1, 321)  
Esempio d'anomalia per difetto di forma (1, 321)  
Esempio d'anomalia per condizioni di prova troppo severe (1, 321)  
Metodi per il controllo di qualità in produzione (1, 322)  
Controllo in accettazione dell'acciaio (1, 322)  
Composizione chimica (1, 322)  
Omogeneità (1, 323)  
Integrità (1, 324)  
Temprabilità (1, 325)  
Inclusioni (1, 325)  
Controlli sul grezzo stampato a caldo (1, 325)  
Controllo dell'integrità (1, 326)  
Controllo dell'andamento delle fibre (1, 326)  
Controlli dopo le lavorazioni meccaniche intermedie (1, 326)  
Controlli di processo per il trattamento termico (1, 327)  
Controlli della composizione delle atmosfere e dei bagni (1, 327)  
Drasticità dei mezzi di tempra (1, 327)  
Controlli dopo il trattamento termico (1, 327)  
Microstruttura (1, 327)  
Profondità d'indurimento (1, 327)  
Composizione chimica dello strato di diffusione (1, 328)  
Bibliografia (1, 329)

### ***Capitolo diciannovesimo***

#### **ANALISI CHIMICA DEGLI ACCIAI (1, 331)**

Analisi chimica dei metalli (1, 331)  
Tecniche analitiche (1, 331)  
Campionamento (1, 332)  
Tecniche generali di campionamento (1, 332)  
Apparecchiature (1, 332)  
Prelievo dei campioni dai lotti (1, 333)  
Preparazione dei campioni destinati all'analisi chimica per dissoluzione (1, 333)  
Truciolatura (1, 333)  
Frantumazione in mortaio d'acciaio (1, 334)  
Frantumazione e macinazione con frantoio e mulini (1, 334)  
Taglio (1, 336)  
Preparazione dei campioni destinati all'analisi chimica strumentale in fase solida (1, 336)  
Provette per spettrofotometria d'emissione (quantometro) (1, 336)  
Provette per fluorescenza e diffrattometria RX (1, 336)  
Provette per analisi dell'idrogeno, ossigeno ed azoto (1, 336)  
Procedimenti per la preparazione delle provette per l'analisi chimica strumentale (1, 336)

Taglio e lavorazioni meccaniche (1, 336)  
 Fucinatura (1, 336)  
 Rettifica (1, 337)  
 Rifusione (1, 338)  
 Compattazione di polveri (1, 338)  
 Gravimetria (1, 338)  
 Determinazione del silicio totale negli acciai e nelle ghise (1, 339)  
 Metodo gravimetrico (1, 339)  
 Principio (1, 339)  
 Reagenti (1, 339)  
 Apparecchiature (1, 339)  
 Procedimento (1, 339)  
 Incertezza dei metodi analitici (1, 340)  
 Ripetibilità (1, 340)  
 Riproducibilità (1, 340)  
 Valor medio (1, 341)  
 Deviazione standard e stima della deviazione standard (1, 341)  
 Incertezza della misurazione (1, 341)  
 Stima dello scarto tipo di ripetibilità (1, 341)  
 Valutazione dell'incertezza (1, 341)  
 Varianza (1, 341)  
 Determinazione dell'incertezza di misura per l'analisi chimica (1, 341)  
 Esempio d'applicazione (1, 342)  
 Volumetria (1, 342)  
 Determinazione del cromo negli acciai inossidabili. Metodo volumetrico (1, 343)  
 Principio (1, 343)  
 Reagenti (1, 343)  
 Apparecchiature (1, 343)  
 Procedimento (1, 343)  
 Introduzione ai metodi analitici ottici (1, 344)  
 Atomi, molecole, energia interna (1, 344)  
 Radiazioni elettromagnetiche (1, 347)  
 Spettro elettromagnetico (1, 348)  
 Interazioni tra radiazioni e materia (1, 348)  
 Rifrazione (1, 348)  
 Riflessione (1, 349)  
 Riflessione speculare (1, 349)  
 Riflessione diffusa (1, 349)  
 Diffusione (1, 349)  
 Diffusione in un mezzo trasparente (1, 349)  
 Diffusione di Rayleigh (1, 349)  
 Diffusione di Mie (1, 349)  
 Diffusione Raman (1, 350)  
 Diffrazione (1, 350)  
 Polarizzazione (1, 350)  
 Luminescenza (1, 351)  
 Fluorescenza (1, 351)  
 Fosforescenza (1, 351)  
 Assorbimento (1, 352)  
 Interpretazione del fenomeno d'assorbimento (1, 352)  
 Teoria corpuscolare (1, 352)  
 Teoria ondulatoria (1, 352)  
 Spettroscopia d'assorbimento (1, 352)  
 Applicazioni analitiche della spettroscopia d'assorbimento (1, 353)  
 Analisi qualitativa (1, 353)  
 Analisi quantitativa (1, 353)  
 Spettroscopia d'emissione (1, 353)  
 Spettroscopia atomica d'emissione (quantometria) (1, 353)  
 Fluorescenza RX (1, 353)  
 Colorimetria, spettrofotometria d'assorbimento molecolare visibile (VIS) e ultravioletto (UV) (1, 353)  
 Determinazione del fosforo negli acciai e nelle ghise. Metodo spettrofotometrico VIS (1, 354)  
 Principio (1, 354)  
 Reagenti (1, 354)  
 Apparecchiature (1, 355)  
 Procedimento (1, 355)  
 Preparazione della curva di taratura (1, 355)  
 Espressione dei risultati (1, 355)  
 Spettrofotometria d'assorbimento molecolare all'infrarosso (IR) (1, 355)  
 Determinazione del carbonio e zolfo negli acciai e ghise. Metodo spettrofotometrico d'assorbimento IR dopo combustione in corrente d'ossigeno (1, 356)  
 Principio (1, 356)  
 Reagenti (1, 356)  
 Apparecchiature (1, 356)  
 Campionamento (1, 356)  
 Procedimento (1, 356)  
 Espressione dei risultati (1, 357)  
 Spettrofotometria d'assorbimento atomico (AAS) (1, 357)  
 Analisi chimica delle leghe ferrose. Determinazione di Co, Cr, Cu, Mg, Mn, Mo e Ni mediante spettrofotometria d'assorbimento atomico alla fiamma (1, 358)  
 Principio (1, 358)  
 Reagenti (1, 358)  
 Apparecchiature (1, 358)  
 Procedimento (1, 358)  
 Espressione dei risultati (1, 359)  
 Analisi chimica degli acciai e leghe ferrose. Determinazione Al, Pb, Sn, Ti, V e W (1, 359)  
 Analisi chimica degli acciai inossidabili. Determinazione di Cr, Ni, Mo, Mn e Cu (1, 359)  
 Spettrofotometria d'emissione al plasma (ICP, o Induction Plasma Coupling). (1, 359)  
 Spettrofotometria d'emissione ottica o quantometria (1, 360)  
 Analisi chimica degli acciai e leghe ferrose. Determinazione spettrofotometrica d'emissione (quantometria) di C, Si, Mn, P, S, Cr, Ni, Mo, Cu, Al e V (1, 360)  
 Principio (1, 360)  
 Preparazione delle provette (1, 361)  
 Acciai e ghise bianche (1, 361)  
 Ghise grigie (1, 361)  
 Procedimento (1, 361)  
 Spettrofotometria di fluorescenza ai raggi X (FRX) (1, 361)  
 Analisi chimica degli acciai e leghe ferrose. Determinazione spettrofotometrica di fluorescenza RX del niobio (1, 362)  
 Apparecchiature (1, 362)  
 Procedimento (1, 362)  
 Espressione dei risultati (1, 363)  
 Diffratometria ai raggi X (DRX) (1, 363)  
 Analisi delle superfici e dei depositi (1, 363)  
 Spettrofotometria Auger, Mossbauer e Ion-scattering (1, 363)

Bibliografia (1, 364)

## **Capitolo ventesimo**

### **PROVE MECCANICHE FONDAMENTALI**

#### **Trazione, Resilienza, Durezza (1, 365)**

Prova di trazione (1, 365)

Termini e definizioni (1, 365)

Lunghezza tra i riferimenti (1, 365)

Lunghezza della parte calibrata (1, 365)

Allungamento (1, 366)

Allungamento percentuale (1, 366)

Allungamento percentuale permanente (1, 366)

Allungamento percentuale dopo rottura (1, 366)

Allungamento percentuale totale dopo rottura (1, 366)

Allungamento percentuale sotto carico massimo (1, 366)

Lunghezza di base dell'estensimetro (1, 366)

Estensione (1, 366)

Estensione percentuale permanente (1, 366)

Estensione percentuale in corrispondenza dello snervamento (1, 366)

Strizione percentuale (1, 366)

Carico massimo (1, 366)

Carico unitario (sforzo) (1, 366)

Resistenza a trazione (1, 366)

Snervamento (1, 366)

Carico unitario di snervamento superiore (1, 367)

Carico unitario di snervamento inferiore (1, 367)

Carico unitario di scostamento dalla proporzionalità (1, 367)

Carico unitario limite d'allungamento totale (1, 367)

Carico unitario d'allungamento permanente (1, 367)

Rottura (1, 367)

Modulo d'elasticità (1, 367)

Forma e dimensioni delle provette (1, 368)

Provette da usare per prodotti sottili (lamiere, nastri o prodotti piani con spessore da 0,1 a 3 mm) (1, 368)

Provette da usare per fili, barre e profilati con diametro o spessore < 4 mm (1, 369)

Provette da usare per lamiere e prodotti piani con spessore ≥ 3 mm e di fili, barre e profilati con diametro o spessore ≥ 4 mm (1, 369)

Provette da usare per i tubi (1, 370)

Preparazione delle provette (1, 370)

Marcatura della lunghezza iniziale tra i riferimenti (1, 370)

Accuratezza della macchina di trazione (1, 370)

Condizioni della prova di trazione (1, 371)

Metodo di serraggio (1, 371)

Velocità di prova (1, 371)

Determinazione dell'allungamento percentuale dopo rottura (1, 371)

Determinazione dell'allungamento percentuale totale sotto carico massimo (1, 372)

Determinazione del carico unitario di scostamento dalla proporzionalità (1, 372)

Determinazione del carico unitario limite d'allungamento totale (1, 373)

Metodo di verifica del carico unitario limite d'allungamento permanente (1, 373)

Determinazione della strizione percentuale (1, 373)

Precisione della prova di trazione e stima dell'incertezza di misura (1, 373)

Stima dell'incertezza della prova di trazione (1, 374)

Parametri indipendenti dal materiale (1, 374)

Parametri dipendenti dal materiale (1, 374)

Incetezza tipo di misurazione composta (1, 375)

Incetezza estesa (1, 375)

Conclusioni (1, 375)

Taratura delle macchine di prova statica uniassiale (trazione / compressione) (1, 376)

Prove di durezza (1, 376)

Prove statiche (1, 376)

Prove di rimbalzo (1, 376)

Prove di rigatura (1, 376)

Prove sclerometriche (1, 377)

Prove di smorzamento (1, 377)

Prove di taglio (1, 377)

Prove d'abrasione (1, 377)

Prove d'erosione (1, 377)

Norme di riferimento (1, 377)

Prova di durezza Brinell (1, 377)

Scelta e sostituzione del penetratore (1, 377)

Caratteristiche della provetta (1, 378)

Condizioni ambientali (1, 378)

Applicazione del carico (1, 379)

Distanza delle impronte (1, 379)

Misura del diametro dell'impronta (1, 379)

Espressione dei risultati (1, 380)

Conversione delle scale (1, 380)

Prova di durezza Vickers (1, 380)

Pezzo in prova (1, 380)

Condizioni ambientali (1, 381)

Applicazione del carico (1, 381)

Distanza delle impronte (1, 381)

Misura dell'impronta (1, 381)

Espressione dei risultati (1, 382)

Prova di durezza Rockwell (1, 382)

Efficienza del sostegno (1, 382)

Scelta e sostituzione del penetratore (1, 382)

Pezzo in prova (1, 383)

Condizioni ambientali (1, 383)

Applicazione del precarico e del carico (1, 383)

Distanza delle impronte (1, 383)

Lettura del risultato (1, 383)

Espressione dei risultati (1, 383)

Scelta delle scale e convertibilità della durezza (1, 384)

Scale di durezza (1, 384)

Metodo Brinell (1, 384)

Metodo Vickers (1, 384)

Misure su materiali massivi (1, 384)

Prove di microdurezza (1, 384)

Prove a carico ridotto (1, 384)

Misura della durezza HV di strati superficiali (1, 385)

Metodo Rockwell (1, 386)

Conversione delle scale di durezza (1, 387)

Conversione della durezza in resistenza a trazione (Rm) (1, 388)  
Conversione tra le varie scale di durezza (1, 388)  
Affidabilità statistica delle misure di durezza (1, 388)  
Insufficienza dei durometri (1, 388)  
Condizione per la risoluzione dello strumento di misura (1, 389)  
Condizione per la ripetibilità dello strumento di misura (1, 389)  
Probabili fonti d'errore. Uso dell'algebra aleatoria (1, 390)  
Incertezza della provetta d'acciaio (1, 390)  
Confronto fra due serie di misure di durezza (1, 390)  
Confronto tra le medie di due serie di dati (caso di campioni di piccola numerosità,  $n < 30$ ) (1, 391)  
Confronto della varianza di due serie di dati (caso di campioni di piccola numerosità,  $n < 30$ ) (1, 391)  
Limiti di tolleranza ed idoneità del processo produttivo (1, 391)  
Indice d'idoneità critico del processo (1, 392)  
Indice d'idoneità del processo di misurazione della durezza (1, 392)  
Prove di resilienza (1, 393)  
Scorrimento (1, 394)  
Separazione (1, 394)  
Macchina di prova (1, 395)  
Tipi di provette e conversioni (1, 395)  
Considerazioni sulla prova di resilienza (1, 396)  
Influenza della temperatura sulla resilienza (1, 396)  
Temperatura di transizione (1, 397)  
Transizione della resilienza (1, 397)  
Invecchiamento (1, 397)  
Prova di resilienza strumentata (1, 398)  
Fattori fragilizzanti (1, 399)  
Considerazioni sull'incertezza della prova di resilienza (1, 399)  
Valutazione qualitativa delle fonti d'incertezza (1, 400)  
Bibliografia (1, 401)

## **Capitolo ventunesimo**

### **PROVE NON DISTRUTTIVE (1, 403)**

Premessa (1, 403)  
Esame visivo (1, 404)  
Prove di durezza (1, 404)  
Micrografia per replica (1, 405)  
Liquidi penetranti (1, 405)  
Limiti del metodo (1, 406)  
Magnetoscopia (1, 406)  
Ultrasuoni (1, 408)  
Tecnica ad ultrasuoni T.O.F.D. (Time Of Flight Diffraction) (1, 410)  
Limiti della tecnica T.O.F.D. (1, 412)  
Tecnica ad ultrasuoni Phased Array (1, 412)  
Aspetti teorici e pratici del "Phased Array" (1, 412)  
Ottimizzazione e miglioramenti della grafica di visualizzazione (1, 413)  
Vantaggi della tecnologia Phased Array (PA) (1, 413)  
Radiografia con raggi X o raggi  $\gamma$  (1, 414)  
Tomografia industriale computerizzata (1, 415)  
Radiografia neutronica (1, 416)  
Correnti indotte (ET) (1, 416)

Olografia ottica ed acustica (1, 417)  
Optometria (1, 418)  
Emissione acustica (AT) (1, 418)  
Microonde (1, 419)  
Prove termiche (1, 420)  
Rilevazione di fughe (LT) (1, 420)  
Rapida identificazione della composizione chimica (1, 421)  
Conclusioni (1, 422)  
Bibliografia (1, 422)

## **Capitolo ventiduesimo**

### **CENNI DI METALLOGRAFIA (1, 427)**

Premessa (1, 427)  
Preparazione delle provette micrografiche (1, 427)  
Selezione dei saggi (1, 427)  
Taglio dei saggi (1, 427)  
Lavaggio delle provette (1, 428)  
Inglobatura delle provette (1, 429)  
Resine epossidiche (1, 429)  
Resine fenoliche (1, 430)  
Resine acriliche (1, 431)  
Prelevigatura, levigatura e polimentazione delle provette (1, 431)  
Prelevigatura (1, 431)  
Levigatura (1, 431)  
Levigatura manuale (1, 431)  
Prepolimentazione (1, 435)  
Polimentazione finale (1, 436)  
Prepolimentazione e polimentazione di provette di particelle di polvere metallica (1, 438)  
Polimentazione automatica (1, 438)  
Polimentazione grezza (1, 439)  
Polimentazione finale (1, 439)  
Lucidatura elettrolitica (1, 439)  
Attacco micrografico (1, 439)  
Reattivo: nital 2 % (1, 440)  
Reattivo: nital 5 % (1, 440)  
Reattivo: picral 4 % (1, 440)  
Reattivo: picral saturo (1, 440)  
Reattivo: picrina (1, 440)  
Reattivo: picrato sodico alcalino (1, 440)  
Reattivo: picrato sodico neutro (1, 440)  
Reattivo: ferricianuro potassico (1, 440)  
Reattivo: Benedicks (1, 441)  
Reattivo: Kurbatoff (1, 441)  
Reattivo: Bolton (1, 441)  
Reattivo: Pilling (1, 441)  
Reattivo: soda o potassa caustica (1, 441)  
Reattivo: persolfato ammonico (1, 441)  
Reattivo: Valenta (1, 441)  
Reattivo: Cogne unico (1, 441)  
Reattivo: Murakani (1, 441)  
Reattivo: Kalling (1, 441)  
Reattivo: Vilella (1, 441)  
Norme italiane per la micrografia (1, 442)  
Strutture metallografiche dei materiali ferrosi (UNI 4227) (1, 442)  
Ferrite (1, 443)  
Austenite (1, 443)

- Martensite (1, 444)  
 Grafite (1, 444)  
 Cementite (1, 445)  
 Carburi (1, 446)  
 Fasi sigma (1, 447)  
 Ledeburite (1, 447)  
 Struttura di Widmanstätten (1, 447)  
 Perlite (1, 448)  
 Troostite (1, 448)  
 Bainite (1, 448)  
 Martensite rinvenuta (1, 449)  
 Sorbite (1, 449)  
 Steadite (1, 449)  
 Determinazione delle inclusioni negli acciai (UNI 3244 e ASTM E 45) (1, 452)  
 Prelievo e preparazione delle provette (1, 452)  
 Determinazione delle inclusioni, metodo K, UNI 3244 (1, 452)  
 Determinazione delle inclusioni, metodo A, ASTM E 45 (1, 455)  
 Valutazione della grossezza del grano austenitico o ferritico (UNI 3245) (1, 456)  
 Grano (1, 456)  
 Grano austenitico (1, 456)  
 Grano ferritico (1, 456)  
 Indice convenzionale di grossezza del grano "G" (1, 456)  
 Numero dei grani per unità di superficie "m" (1, 456)  
 Numero convenzionale di grani nella sezione unitaria "n<sub>100</sub>" (1, 456)  
 Ingrandimento "g" (1, 456)  
 Segmento intersecato (1, 456)  
 Preparazione delle provette e messa in evidenza del grano (1, 456)  
 Metodo Béchet-Beaujard, o attacco diretto all'acido picrico concentrato (1, 457)  
 Metodo Köhn, o dell'ossidazione controllata (1, 457)  
 Metodo Mc Quaid Ehn, o dell'ipercementazione a 925 °C (1, 457)  
 Procedura di valutazione della grossezza del grano (1, 457)  
 Valutazione della grossezza del grano mediante confronto con immagini tipo (1, 457)  
 Valutazione della grossezza del grano mediante conteggio (1, 457)  
 Valutazione della grossezza del grano per gli acciai rapidi, secondo Snyder-Graff (1, 459)  
 Misura dello spessore di strati induriti mediante rilievo delle strutture (UNI 4847) (1, 459)  
 Metodo della frattura (1, 459)  
 Metodo macroscopico (1, 460)  
 Metodo micrografico (1, 460)  
 Strati carbocementati o carbonitrurati temprati (1, 460)  
 Strati carbocementati ricotti (1, 460)  
 Strati nitrurati e nitrocarburi (1, 460)  
 Strati induriti per tempra superficiale (1, 460)  
 Misura della profondità di decarburazione (UNI 4839) (1, 460)  
 Metodo macroscopico (1, 460)  
 Metodo microscopico (1, 461)  
 Morfologia della decarburazione (1, 461)  
 Misura dello spessore degli strati decarburati (1, 462)  
 Classificazione della struttura a bande degli acciai (UNI 8449) (1, 462)  
 Esame microscopico mediante replica con vernici o film (UNI 6327) (1, 463)  
 Lucidatura ed attacco (1, 464)  
 Applicazione della replica (1, 464)  
 Replica con vernici (1, 464)  
 Replica con supporto metallico (1, 465)  
 Replica con film senza supporto (1, 465)  
 Scollamento della replica (1, 465)  
 Fissaggio della replica (1, 465)  
 Osservazione delle repliche (1, 465)  
 Bibliografia (1, 465)
- Capitolo ventitreesimo**
- CONTROLLO STATISTICO DI PROCESSO (1, 467)**  
 Leggi statistiche (1, 467)  
 Confidenza (1, 467)  
 Controllo statistico di processo (1, 467)  
 Statistica descrittiva (1, 467)  
 Statistica inferenziale (1, 467)  
 Metodologia statistica (1, 467)  
 Statistica applicata (1, 467)  
 Applicazione della statistica al controllo di processo (1, 467)  
 SPC e qualità totale (1, 467)  
 Progettazione degli esperimenti (1, 467)  
 Analisi delle modalità ed effetti dei guasti (FMEA) (1, 468)  
 Affidabilità (1, 468)  
 Guasto (1, 468)  
 Avaria (1, 468)  
 Difetto (1, 468)  
 Non conformità (1, 468)  
 Probabilità (1, 468)  
 Gravità o severità (1, 468)  
 Rilevabilità (1, 468)  
 Indice di priorità di rischio RPN (1, 469)  
 Applicazione delle FMEA (1, 469)  
 FMEA di progetto (1, 469)  
 FMEA di prodotto (1, 469)  
 FMEA di processo (1, 469)  
 Condizione della FMEA (1, 469)  
 Modalità operative per la FMEA (1, 470)  
 Valutazione della probabilità (1, 470)  
 Valutazione della gravità o severità (1, 471)  
 Valutazione della rivelabilità (1, 471)  
 Classificazione delle caratteristiche (1, 471)  
 Variabilità di un processo (1, 471)  
 Cause comuni (1, 471)  
 Cause speciali (1, 471)  
 Valutazione della capacità di un processo (1, 471)  
 Istogramma (1, 471)  
 Curva di distribuzione (1, 472)  
 Indice d'idoneità o capacità del processo (Cp) (1, 472)

Indice d'idoneità critica (Cpk) (1, 473)  
Carte di controllo (1, 473)  
Carta X-R (1, 474)  
Raccolta dati e formazione di sottogruppi (1, 474)  
Elaborazione dei dati raccolti (1, 474)  
Calcolo dei limiti di controllo (1, 474)  
Costruzione del grafico (1, 474)  
Interpretazione delle carte di controllo X-R (1, 475)  
Punti fuori o sui limiti di controllo (1, 475)  
Sequenza (1, 475)  
Vicinanza ai limiti di controllo (1, 476)  
Sequenza di punti crescente o decrescente - trend o tendenza (1, 476)  
Carte di controllo per attributi (1, 476)  
Considerazioni sull'uso delle carte di controllo (1, 476)  
Tecnica e carta di precontrollo (1, 477)  
Regole del precontrollo (1, 477)  
Regola n° 1 (1, 477)  
Regola n° 2 (1, 477)  
Regola n° 3 (1, 477)  
Regola n° 4 (1, 477)  
Potere statistico del precontrollo (1, 478)  
Bibliografia (1, 478)

## ***Capitolo ventiquattresimo***

### **NORME E DIRETTIVE SISTEMA INTERNAZIONALE DI MISURA RASSEGNA DELLE NORME NAZIONALI**

(1, 479)  
Normazione (1, 479)  
Attività di normazione (1, 480)  
Enti internazionali di normazione (1, 480)  
ISO (1, 480)  
IEC (1, 480)  
Enti europei di normazione (1, 480)  
CEN (1, 480)  
Membri associati al CEN (1, 481)  
CENELEC (1, 481)  
ETSI (1, 481)  
Enti di normazione in Italia (1, 481)  
UNI (1, 481)  
Elenco degli Enti federati all'UNI (1, 481)  
CEI (1, 481)  
Convenzioni UNI - CEI (1, 481)  
SINCERT (1, 481)  
SINAL (1, 482)  
Attività di normazione europea nel settore siderurgico (1, 482)  
Struttura dell'ECISS (1, 482)  
Direttive (1, 482)  
Principali direttive relative ai prodotti (1, 484)  
Elementi distintivi delle direttive nuovo approccio  
Ampio campo d'applicazione (1, 484)  
Obbligatorietà dei requisiti essenziali (1, 485)  
Rinvio a norme tecniche e presunzione di conformità (1, 485)  
Norme Armonizzate (1, 485)  
Armonizzazione totale (1, 486)  
Marcatura CE (1, 486)

Iter d'apposizione della marcatura CE (1, 486)  
Emanazione delle direttive UE (1, 488)  
Sistema internazionale delle unità di misura SI (1, 488)  
Rassegna delle norme italiane sugli argomenti trattati nel primo volume (1, 490)  
Principi e tecniche di tempra (1, 490)  
Temprabilità (1, 490)  
Saldatura e saldabilità (1, 491)  
Lavorabilità (1, 492)  
Trattamenti termici (1, 492)  
Atmosfere controllate (1, 493)  
Deformazioni e trattamenti termici (1, 493)  
Impianti per i trattamenti termici (1, 494)  
Qualificazione e controllo dei trattamenti termici (1, 494)  
Misura della temperatura (1, 495)  
Analisi chimica delle atmosfere controllate e dei mezzi cementanti (1, 495)  
Valutazione degli strati cementati (1, 495)  
Rivestimenti antiusura PVD e CVD (1, 495)  
Rivestimenti metallici (1, 495)  
Acciai sinterizzati (1, 496)  
Controllo qualità (1, 496)  
Analisi chimica (1, 496)  
Prove meccaniche (1, 496)  
Prove non distruttive (1, 498)  
Esame visivo (VT) (1, 498)  
Liquidi penetranti (PT) (1, 498)  
Magnetoscopia (particelle magnetiche - MT) (1, 498)  
Ultrasuoni (UT) (1, 498)  
Radiografia (RT) (1, 499)  
Tomografia (1, 499)  
Correnti indotte (ET) (1, 499)  
Emissione acustica (1, 500)  
Termografia (1, 500)  
Prove di tenuta (1, 500)  
Esami metallografici (1, 500)  
Controllo statistico di processo (1, 501)  
Bibliografia (1, 502)

# INDICE DEGLI AUTORI

## Hanno collaborato alla prima edizione (1979):

Antona Dr. Paolo	Centro Ricerche FIAT	Orbassano (TO)
Bavaro Dr. Antonio	Trattamenti Termici Soliveri	Caravaggio (BG)
Bocchini Ing. G. Filippo	Merisinter	Arzano (NA)
Cesti Dr. Giuseppe	Cerimet	Torino (TO)
Cibaldi Dr. Cesare	Analisi	Brescia (BS)
De Santis Ing. Rodolfo	Sigen	Milano (MI)
Di Gianfrancesco Dr. Enrico	Teksid	Torino (TO)
Di Teodoro Dr. Luigi	Istituto Ricerche Breda	Milano (MI)
Dumini Dr. Walfredo	Istituto Ricerche Breda	Milano (MI)
Faedi Sig. Marco	VEW Italia	Milano (MI)
Filippi P.I. Pietro	Breda Siderurgica	Milano (MI)
Gubiotti Ing. Roberto	C.S.M.	Roma (Roma)
Morosini Ing. G. Paolo	Acciaierie di Bolzano	Bolzano (BZ)
Raveglia Dr. Maurizio	Alfa Romeo	Arese (MI)
Sacchi Dr. Giuseppe	SBS Metalconsult	Milano (MI)
Spirito Dr. Giorgio	Teksid	Torino (TO)
Venturelli Dr. Tancredo	C.S.M.	Roma (Roma)

## Hanno collaborato alla seconda edizione (1990):

Agalbato Ing. Dario	I.G.Q.	Milano (MI)
Bavaro Dr. Antonio	Trattamenti Termici Soliveri	Caravaggio (BG)
Belagyi Sig. Nikolaus	Böhler Ges. m.b.h.	Kapfemberg (Austria)
Bertani Dr. Arrigo	Analisi	Brescia (BS)
Biasi Dr. Antonia	Studio Associato Biasi Dr. Antonia & C.	Borgosatollo (BS)
Cibaldi Dr. Cesare	Analisi	Brescia (BS)
Hribernik Sig. Bruno	Böhler Ges. m.b.h.	Kapfemberg (Austria)
Leban Ing. Karl	Böhler Ges. m.b.h.	Kapfemberg (Austria)
Lombardi P.I. Sergio	Analisi	Brescia (BS)
Mantovani Dr. Claudio	Acciaierie Bertoli Safau	Udine (UD)
Montevecchi Ing. Italo	Bioteco	Segrate (MI)
Montevecchi Ing. Franco	Bioteco	Segrate (MI)
Rabazzana Ing. Franco	Metec Technologie	Torino (TO)

## Hanno collaborato alla terza edizione (2006) - volume primo:

Biasi Dr. Antonia	Studio Associato Biasi Dr. Antonia e Cibaldi Dr. Cesare.	San Zeno Naviglio (BS)
Cibaldi Dr. Cesare	Studio Associato Biasi Dr. Antonia e Cibaldi Dr. Cesare.	San Zeno Naviglio (BS)
Corvo Sig. Giuseppe	AQM	Provaglio d'Iseo (BS)
Mancuso Ing. Antonio	Colmegna	Siziano (VA)
Petta Dr. Danilo	Houghton Italia	Genova (GE)
Vari	Istituto Italiano della Saldatura	Genova (GE)