

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

VOLUME 4°: DIAGNOSI DEI DIFETTI METALLURGICI

Capitolo primo

PROCEDURE GENERALI PER LA DIAGNOSI DEI DIFETTI METALLURGICI (4, 1)

FASI DELLA DIAGNOSI DI DIFETTI (4, 1)

Raccolta delle informazioni e dei saggi (4, 1)

Registrazione della storia dei componenti (4, 1)

Documentazione fotografica (4, 2)

Scelta dei saggi (4, 2)

Condizioni d'esercizio anomale (4, 2)

Esami preliminari (4, 3)

Esame visivo (4, 4)

Studio della frattura (4, 4)

Prove non distruttive (4, 4)

Esame magnetoscopico (MT) (4, 4)

Esame con liquidi penetranti (PT) (4, 5)

Esame con correnti indotte (ET) (4, 5)

Esame con ultrasuoni (UT) (4, 5)

Radiografia (RT) (4, 5)

Tomografia assiale computerizzata (TAC) (4, 5)

Analisi Tensionale (4, 5)

Prove meccaniche (4, 6)

Prova di durezza (4, 6)

Prova di trazione (4, 6)

Prova di resilienza (4, 6)

Protezione delle superfici di frattura (4, 7)

Precauzioni per il prelievo e la conservazione (4, 7)

Pulizia delle superfici in laboratorio (4, 7)

Preparazione delle sezioni (4, 7)

Rotture secondarie (4, 8)

Esame macroscopico delle superfici di frattura (4, 8)

Esame microscopico delle superfici di frattura (4, 10)

Fratture a cupola (4, 10)

Fratture di clivaggio (4, 10)

Fratture intergranulari o cristalline (4, 10)

Fratture con striature (4, 10)

Esami metallografici (4, 11)

Esami micrografici (4, 12)

Classificazione delle fratture (4, 12)

Fratture duttili (4, 13)

Caratteristiche della frattura duttile (4, 13)

Fratture fragili (4, 13)

Frattura intragranulare o clivaggio (4, 13)

Frattura intergranulare (4, 15)

Frattura di fatica (4, 15)

Linee di Wallner (4, 16)

Rub marks (4, 16)

Struttura lamellare (4, 16)

Frattura di tensocorrosione (4, 16)

Infragilimento da metalli liquidi (4, 17)

Infragilimento da idrogeno (4, 17)

Frattura per scorrimento a caldo (4, 18)

Difetti complessi (4, 18)

Analisi chimica (4, 18)

Tecniche Analitiche (4, 19)

Gravimetria (4, 19)

Volumetria (4, 19)

Colorimetria e spettrofotometria d'assorbimento molecolare visibile (VIS) o ultravioletto (UV) (4, 20)

Spettrofotometria d'assorbimento molecolare all'infrarosso (IR) (4, 20)

Spettrofotometria d'assorbimento atomico (AAS) (4, 20)

Spettrometria d'emissione al plasma (ICP) (4, 21)

Spettrografia d'emissione o quantometria (ES) (4, 21)

Spettrografia di fluorescenza ai raggi X (FRX) (4, 20)

Diffrazione ai raggi X (DRX) (4, 22)

Analisi delle superfici e dei depositi (4, 22)

Meccanica della frattura applicata alla diagnosi di difetto (4, 22)

Prove di simulazione (4, 22)

Formulazione delle conclusioni (4, 23)

Scrittura della relazione finale (4, 23)

DIAGNOSI DI DIFETTO IN CAMPO (4, 24)

BIBLIOGRAFIA (4, 25)

Capitolo secondo

GENESI E CLASSIFICAZIONE DEI DIFETTI METALLURGICI (4, 25)

CORROSIONE (4, 25)

USURA (4, 25)

DEFORMAZIONI (4, 25)

Tipi di deformazioni (4, 25)

Deformazioni temporanee (4, 25)

Deformazioni permanenti (4, 26)

Snervamento in esercizio (4, 26)

Scorrimento viscoso (creep) (4, 26)

Deformazione a compressione (4, 26)

CLASSIFICAZIONE DELLE FRATTURE (4, 27)

Condizioni di carico (4, 27)

Sollecitazioni monoassiale, biassiale e triassiale (4, 27)

Velocità di propagazione delle cricche (4, 28)

Caratteristiche macroscopiche delle fratture (4, 28)

Caratteristiche microscopiche delle fratture (4, 28)

Fratture duttili (4, 30)

Superfici piane delle fratture di trazione (4, 30)

Superfici inclinate delle fratture di trazione (4, 30)

Fratture fragili (4, 31)

Fratture di fatica (4, 31)

Fratture influenzate dall'ambiente (4, 32)

Tensocorrosione (4, 32)

Fratture da infragilimento per contatto con metalli liquidi (4, 32)

Infragilimento indotto da idrogeno (4, 32)

Classificazione del tipo di frattura (4, 34)

BIBLIOGRAFIA (4, 34)

Capitolo terzo

DANNEGGIAMENTO DA FATICA (4, 37)

STORIA DELL'AFFATICAMENTO DEI METALLI (4, 37)

FATTORI CHE INFLUENZANO LA RESISTENZA A

FATICA O LA DURATA A FATICA (VITA) (4, 38)
 Prove di laboratorio (4, 39)
 Sollecitazioni applicate (4, 39)
 Rapporto di sollecitazione (4, 40)
 Curve S-N (sollecitazione – numero di cicli) (4, 40)
 Fattore di concentrazione della sollecitazione o di sforzi (4, 40)
 Fattore di concentrazione di sforzi e fattore di sensibilità (4, 40)

GENESI DELLE ROTTURE A FATICA (4, 41)
 Primo stadio: innesco (4, 41)
 Secondo stadio: propagazione (4, 41)
 Terzo stadio: rottura finale o di schianto (4, 41)

CARATTERISTICHE MACROSCOPICHE DELLE FRATTURE DI FATICA (4, 42)
 Mancanza di deformazione (4, 42)
 Linee di spiaggia o d'arresto (beach marks) (4, 42)
 Dentellature (ratchet marks) (4, 44)
 Superficie di frattura finale (4, 45)

CARATTERISTICHE MICROSCOPICHE DELLE FRATTURE DI FATICA (4, 46)
 Striature (4, 46)
 Similitudini tra striature e linee di spiaggia (4, 48)
 Differenze tra striature e linee di spiaggia (4, 49)

MECCANISMI DELLA FRATTURA DI FATICA (4, 49)
 Innesco e nucleazione (4, 49)
 Propagazione e crescita delle cricche (4, 50)
 Propagazione iniziale (4, 50)
 Crescita della cricca (4, 50)
 Propagazione finale (4, 51)

RELAZIONE TRA SOLLECITAZIONE E RESISTENZA A FATICA (4, 51)
 Prove di fatica (4, 52)

EFFETTO DELLE VARIABILI SUL DANNEGGIAMENTO A FATICA (4, 53)
 Forma del componente e tipo di carico (4, 53)
 Flessione unidirezionale (4, 53)
 Flessione alternata (4, 54)
 Flessione rotante (4, 54)
 Torsione (4, 55)
 Carico assiale (4, 55)

Soprasollecitazione o sollecitazione eccessiva (4, 55)
 Concentrazione della sollecitazione o di sforzi (4, 55)
 Frequenza del carico (4, 57)
 Sollecitazione media (4, 58)
 Sollecitazione media (S_m) (4, 58)
 Ampiezza della sollecitazione (4, 58)

Sollecitazioni residue (4, 59)
 Effetto della concentrazione della sollecitazione (4, 59)
 Distribuzione della sollecitazione (4, 60)

FRATTURE DI FATICA CON INNESCHI SUBCORTICALI (4, 61)
 FATICA SOTTO CARICHI DI COMPRESSIONE (4, 62)

EFFETTO DELLA PROGETTAZIONE SULLA RESISTENZA A FATICA DEI COMPONENTI (4, 62)
 Fattori di correzione dei dati delle prove (4, 63)
 Guide alla progettazione (4, 63)

GIUNTI SALDATI (4, 64)
 EFFETTO DELLE CARATTERISTICHE DEL METALLO SULLA RESISTENZA A FATICA (4, 66)
 Effetto della grossezza del grano (4, 66)
 Effetto della composizione chimica (4, 66)
 Indurimento da soluzione solida (4, 66)
 Seconde fasi (4, 66)
 Effetto dell'incrudimento e dei trattamenti termici (4, 66)
 Effetto delle discontinuità (4, 67)
 Discontinuità superficiali (4, 67)
 Bruciatura (4, 67)
 Discontinuità subcorticali e a cuore (4, 67)
 Segregazioni (4, 68)

EFFETTO DEI PROCESSI DI FABBRICAZIONE SULLA RESISTENZA A FATICA (4, 68)
 Lavorazioni meccaniche e rettifica (4, 68)
 Trattamento termico (4, 68)
 Surriscaldamento (4, 69)
 Fusione dell'eutettico (4, 69)
 Cricche di tempratura (4, 69)
 Decarburazione (4, 69)
 Raddrizzatura (4, 69)
 Rivestimenti galvanici (4, 69)
 Danneggiamento da ispezioni (4, 70)
 Marcature d'identificazione (4, 70)

EFFETTO DELLA TEMPERATURA ELEVATA SULLA RESISTENZA A FATICA (4, 71)
 Effetto dell'ossidazione (4, 72)

FATICA TERMICA (4, 72)
 CORROSIONE FATICA (4, 74)
 Effetto della sollecitazione ciclica (4, 75)
 Effetto della frequenza (4, 75)
 Effetto dell'ampiezza della sollecitazione e della sollecitazione media (4, 75)
 Sollecitazione media (4, 75)
 Effetto dell'ambiente corrosivo (4, 76)
 Effetto dell'innesco della cricca (4, 76)
 Effetto della propagazione della cricca (4, 76)
 Identificazione e prevenzione (4, 77)

FATICA DA CONTATTO (4, 77)
 Vaiolatura superficiale con innesco in superficie o subcorticale (pitting) (4, 78)
 Scheggiatura (spalling) (4, 78)

BIBLIOGRAFIA (4, 80)

Capitolo quarto
DANNEGGIAMENTO DA USURA (4, 83)
 INTRODUZIONE (4, 83)
 TIPI D'USURA (4, 83)
 USURA ABRASIVA (4, 83)
 Usura erosiva (erosione) (4, 85)
 Smerigliatura (4, 85)
 Scalfittura (4, 87)
 USURA ADESIVA (4, 87)
 USURA DA SFREGAMENTO (FRETTING) (4, 90)
 USURA PER FATICA DA CONTATTO (4, 91)
 Usura da fatica superficiale con innesco subcorticale (pitting fatigue) (4, 93)
 Usura da fatica superficiale con innesco corticale (pitting fatigue) (4, 94)
 Usura da fatica superficiale con innesco sotto strato (spalling fatigue) (4, 98)
 Usura da fatica cavitazione (4, 99)
 USURA CORROSIONE (4, 100)
 EROSIONE CORROSIONE (4, 101)
 RUOLO DELL'ATTRITO NELL'USURA (4, 101)
 Condizioni delle superfici (4, 101)
 Forza d'attrito (4, 101)
 USURA IN PRESENZA DI LUBRIFICAZIONE (4, 102)

Tipi di lubrificazione (4, 102)
 Lubrificazione idrodinamica (4, 101)
 Lubrificazione idrostatica (4, 103)
 Lubrificazione elastoidrodinamica (4, 103)
 Lubrificazione limite (4, 103)
 Effetto della lubrificazione sulle caratteristiche delle superfici (4, 104)
 LUBRIFICANTI (4, 104)
 Oli lubrificanti (4, 105)
 Oli vegetali o animali (4, 105)
 Grassi lubrificanti (4, 105)
 Lubrificanti solidi (4, 105)
 DANNEGGIAMENTO DEL LUBRIFICANTE CHE PORTA ALL'USURA (4, 105)
 Contaminazione (4, 106)
 Viscosità (4, 106)
 Temperatura di transizione (4, 106)
 Prevenzione del danneggiamento dei lubrificanti (4, 106)
 USURA IN ASSENZA DI LUBRIFICAZIONE (4, 106)
 ANALISI DEI DANNEGGIAMENTI DA USURA (4, 107)
 Danneggiamento superficiale (4, 107)
 Condizioni ambientali (4, 107)
 Particolato d'usura (4, 107)
 Procedura d'analisi dell'usura (4, 107)
 Condizioni d'esercizio (4, 107)
 Risoluzione dei problemi d'usura (4, 108)
 ESAMI DI LABORATORIO DI PEZZI USURATI (4, 108)
 Microscopia (4, 108)
 Metallografia (4, 108)
 Sezioni oblique (4, 109)
 Reattivi d'attacco (4, 109)
 Prove di durezza micro e macroscopiche (4, 109)
 Analisi chimica (4, 109)
 Studi geologici (4, 110)
 EFFETTO DELLA MICROSTRUTTURA E DELLA DUREZZA SULL'USURA (4, 110)
 CONFIGURAZIONE DELLA SUPERFICIE (4, 111)
 Direzione del moto relativo (4, 111)
 PROVE D'USURA IN LABORATORIO (4, 111)
 BIBLIOGRAFIA (4, 112)

Capitolo quinto
DANNEGGIAMENTO DA CORROSIONE (4, 115)
 INTRODUZIONE (4, 115)
 REAZIONI ELETTROCHIMICHE DEI PROCESSI CORROSIVI (4, 115)
 FATTORI CHE INFLUENZANO LA CORROSIONE (4, 117)
 Fattori esterni (4, 117)
 Influenza del pH (4, 117)
 Influenza degli inibitori od attivatori (4, 118)
 Influenza della concentrazione salina (4, 119)
 Influenza della temperatura (4, 120)
 Influenza del moto della soluzione (4, 120)
 Influenza delle correnti impresse o vaganti (4, 120)
 Fattori interni (4, 120)
 Effetto della stabilità chimica del metallo (4, 120)
 Immunità (4, 121)
 Passività (4, 121)
 Attività (4, 121)
 Effetto della struttura del metallo (4, 121)
 Effetto delle sollecitazioni e delle tensioni interne (4, 121)
 Effetto dello stato superficiale del metallo (4, 121)
 PASSIVITÀ (4, 121)
 TIPI DI CORROSIONE (4, 122)
 Corrosione uniforme (4, 122)
 Effetto della concentrazione (4, 123)
 Effetto della temperatura (4, 124)
 Corrosione localizzata crateriforme o vaiolatura (pitting corrosion) (4, 124)
 Cause della corrosione crateriforme (4, 125)
 Corrosione da celle di concentrazione (4, 131)
 Corrosione interstiziale (crevice corrosion) (4, 131)
 Effetto della fluttuazione del livello del liquido (4, 132)
 Effetto dell'isolamento termico (4, 132)
 Effetto di depositi solidi (4, 132)
 Giunti rivettati e imbullonati (4, 132)
 Corrosione in cratere (4, 132)
 Corrosione da gradiente di temperatura (differential temperature corrosion) (4, 132)
 Corrosione galvanica (4, 133)
 Serie galvanica dei metalli in acqua di mare (4, 133)
 Effetto della passività e attività (4, 134)
 Errata scelta delle combinazioni di metalli (4, 134)
 Rapporto delle aree catodica e anodica (4, 134)
 Effetto del tempo (4, 135)
 Contatto accidentale tra metalli diversi (4, 136)
 Dissoluzione selettiva o deallagazione (4, 136)
 Dezincificazione (4, 137)
 Corrosione grafitica (4, 138)
 Attacco selettivo su inclusioni (4, 138)
 Corrosione intergranulare (4, 138)
 CORROSIONE COMBINATA CON L'USURA (4, 142)
 Corrosione da sfregamento (fretting corrosion) (4, 142)
 Corrosione erosione (4, 142)
 FRATTURE DA SINERGIA TRA CORROSIONE E SOLLECITAZIONI MECCANICHE (4, 143)
 Corrosione fatica (4, 143)
 Corrosione sotto tensione o tensocorrosione (4, 144)
 Teoria elettrochimica (4, 144)
 Teoria dell'adsorbimento (4, 145)
 Origine delle sollecitazioni (4, 145)
 Effetti termici (4, 145)
 Finitura superficiale (4, 145)
 Formatura a freddo (4, 146)
 Origine delle sollecitazioni in esercizio (4, 146)
 Incremento delle sollecitazioni (4, 146)
 Effetto dell'ambiente (4, 146)
 Effetto delle sollecitazioni cicliche (4, 146)
 Innesco e propagazione delle cricche (4, 146)
 Caratteristiche generali delle cricche di tensocorrosione (4, 146)
 Cricche intergranulari (4, 146)
 Cricche intra o transgranulari (4, 147)
 Susceptibilità dei metalli alla tensocorrosione (4, 148)
 Effetto della struttura del metallo (4, 148)
 Effetti dell'ambiente (4, 148)
 Tensocorrosione degli acciai inossidabili austenitici (4, 150)
 Tensocorrosione degli acciai strutturali al carbonio o debolmente legati (4, 152)
 CINETICA DELLA CORROSIONE IN ACQUA (4, 153)
 Effetto dell'acqua stagnante o in moto lento (4, 153)

- Effetto del moto veloce dell'acqua (4, 153)
 Corrosione da impingement (4, 154)
 CORROSIONE DA BATTERI E FOULING BIOLOGICO (4, 155)
 Effetto dei batteri sulla corrosione (4, 155)
 Batteri anaerobici (4, 155)
 Batteri aerobici (4, 155)
 Corrosione da batteri in carburanti contaminati (4, 156)
 Danneggiamenti per corrosione da organismi marini (4, 156)
 CORROSIONE DI METALLI INTERRATI (4, 156)
 Effetti galvanici (4, 156)
 Effetto della composizione del suolo (4, 157)
 Reazione dei metalli (4, 157)
 Metodi di protezione (4, 157)
 CORROSIONE ATMOSFERICA (4, 157)
 Corrosività relativa delle atmosfere (4, 158)
 Strati protettivi e passività (4, 158)
 Atmosfere rurali (4, 158)
 Atmosfere industriali (4, 158)
 Atmosfere marine (4, 158)
 CORROSIONE DELL'ACCIAIO NEL CALCESTRUZZO (4, 159)
 Caratteristiche del calcestruzzo e corrosione dell'acciaio (4, 159)
 Principali cause della corrosione degli impianti idrosanitari civili (4, 160)
 Insufficiente drenaggio della suoletta o pigiata in cui sono affondati i tubi (4, 160)
 Assorbimento e ristagno d'umidità della suoletta o pigiata in cui sono affondati i tubi (4, 160)
 Inadatta composizione del calcestruzzo o delle pigiate in cui sono affondati i tubi (4, 160)
 Posa in opera non corretta, con danneggiamento meccanico o termico delle tubazioni (4, 160)
 Insufficiente qualità dell'acciaio, con presenza di difetti affioranti (4, 160)
 Caratteristiche chimico fisiche inadatte dell'acqua circolante nelle tubazioni (4, 160)
 Correnti vaganti (4, 162)
 Correnti parassite o scariche elettriche (4, 162)
 Considerazioni finali (4, 162)
 AZIONI PREVENTIVE E CORRETTIVE CONTRO LA CORROSIONE (4, 162)
 Cambiamento della lega, del trattamento termico o della forma del prodotto (4, 162)
 Rivestimenti e lubrificanti (4, 163)
 Rivestimenti ricchi di zinco (4, 163)
 Rivestimenti metallici (4, 163)
 Lubrificanti inerti (4, 163)
 Rivestimenti elettrolitici e di conversione (4, 163)
 Rivestimenti di conversione chimica (4, 163)
 Passivazione (4, 163)
 Protezione galvanica (4, 164)
 Protezione catodica (4, 164)
 Protezione anodica (4, 165)
 DIAGNOSI DEI DANNEGGIAMENTI DELLA CORROSIONE (4, 165)
 Esami e campionamento in sito (4, 165)
 Campionamento (4, 165)
 Esami preliminari di laboratorio (4, 166)
 Conservazione delle evidenze (4, 166)
 Esame visivo e pulitura (4, 166)
 Prove non distruttive (4, 166)
 Esame microscopico (4, 166)
 Analisi chimica dei prodotti di corrosione (4, 166)
 Prove di corrosione (4, 167)
 Prove di simulazione d'esercizio (4, 167)
 Prove elettrochimiche (4, 167)
 Prove per azioni correttive (4, 167)
 Fattori ambientali (4, 167)
 Fattori meccanici (4, 167)
 Fattori combinati meccanici e ambientali (4, 168)
 CONCLUSIONI (4, 168)
 BIBLIOGRAFIA (4, 168)
- Capitolo sesto**
DANNEGGIAMENTO DA TEMPERATURA ELEVATA (4, 171)
 INTRODUZIONE (4, 171)
 SCORRIMENTO VISCOSO (CREEP) (4, 171)
 FATICA AD ELEVATA TEMPERATURA (4, 173)
 FATICA TERMICA (4, 173)
 INSTABILITÀ METALLURGICA (4, 174)
 Transizione frattura duttile – fragile (4, 174)
 Ricristallizzazione (4, 175)
 Invecchiamento o iper rinvenimento (4, 175)
 Infragilimento ad alta temperatura e precipitazione di fasi fragili (4, 175)
 Danneggiamento da idrogeno (4, 175)
 Fase sigma (4, 176)
 Precipitazione o reazioni dei carburi (4, 177)
 Sensibilizzazione (4, 177)
 Reazioni dei carburi (4, 177)
 DANNEGGIAMENTO INDOTTO DALL'AMBIENTE (4, 178)
 Corrosione e corrosione-erosione (4, 178)
 Ossidazione generalizzata (4, 179)
 Carburazione e decarburazione (4, 179)
 Contatto con metalli liquidi (4, 180)
 METODI DI RAFFREDDAMENTO (4, 180)
 ESEMPI DI DANNEGGIAMENTO DI METALLI USATI AD ALTA TEMPERATURA (4, 181)
 Caso n° 1: avaria d'un forno di pirolisi (cracking) (4, 181)
 Caso n° 2: avaria per infragilimento di tubi di pirolisi (4, 182)
 Caso n° 3: avaria per corrosione di serpentini d'un forno di pirolisi (4, 183)
 MORFOLOGIA DELLA DECARBURAZIONE NELLA DIAGNOSI DEI DIFETTI METALLURGICI (4, 185)
 Decarburazione superficiale (4, 185)
 Decarburazione per bollitura (4, 187)
 Decarburazione da idrogeno (4, 188)
 BIBLIOGRAFIA (4, 189)
- Capitolo settimo**
DIFETTI DEI PRODOTTI FORMATI A CALDO (FUCINATI, STAMPATI E LAMINATI) (4, 191)
 INTRODUZIONE (4, 191)
 METODI PER PRODURRE FUCINATI, STAMPATI E LAMINATI (4, 191)
 COMPORTAMENTO DEL METALLO DURANTE LA FORMATURA A CALDO (4, 191)
 DIFETTI DEI PRODOTTI FORMATI A CALDO (FUCINATI, STAMPATI E LAMINATI) (4, 191)

DIFETTI DEI LINGOTTI (4, 192)
 Gocce fredde (4, 192)
 Doppia pelle (4, 192)
 Tacconi (4, 192)
 Riprese di colata (4, 193)
 Lesioni superficiali (cricche o fratture) (4, 193)
 Segregazioni (4, 194)
 Struttura a bande e tessitura (4, 196)
 Coni di ritiro (4, 197)
 Soffiature subcorticali (4, 197)
 Fiocchi o cricche da idrogeno (4, 198)
 Inclusioni non metalliche (4, 199)
 DIFETTI DI FUCINATURA E STAMPAGGIO (4, 199)
 Scaglia impressa (4, 199)
 Ripiegature o doppiature (4, 201)
 Solchi e filature (4, 202)
 Strappi o lacerazioni superficiali da surriscaldamento (4, 202)
 Strappi o lacerazioni interni (bursts) (4, 204)
 Insufficiente temperatura di riscaldamento (4, 205)
 Insufficiente rapporto di fucinatura (4, 205)
 Eccesso di formatura (4, 206)
 Variazioni della composizione superficiale (4, 206)
 Decarburazione (4, 206)
 Carburazione (4, 206)
 Solfurazione (4, 207)
 Inadatta velocità di raffreddamento dopo formatura a caldo (4, 207)
 DIFETTI DI FABBRICAZIONE DEI PEZZI FUCINATI, LAMINATI E STAMPATI (4, 207)
 Errori di progettazione (4, 208)
 Concentrazione di sforzi (4, 208)
 Resistenza e sensibilità all'intaglio (4, 209)
 Effetto dell'anisotropia (4, 210)
 Errata scelta dei materiali (4, 211)
 Insufficiente resistenza meccanica (4, 211)
 Corrosione e temperatura elevata (4, 212)
 Difetti dei materiali (4, 212)
 Effetto delle inclusioni non metalliche (4, 212)
 Effetti delle segregazioni (4, 213)
 Effetti della microstruttura (4, 215)
 Difetti di fucinatura e stampaggio (4, 216)
 Ripiegature e doppiature (4, 216)
 Solchi (4, 217)
 Difetti subcorticali (4, 218)
 Surriscaldamento e bruciatura (4, 219)
 Raffreddamento dopo fucinatura (4, 219)
 Cricche tensionali (4, 219)
 Fiocchi (4, 220)
 Precipitazione di carburi (4, 221)
 Difetti delle lavorazioni che seguono la formatura (4, 221)
 Decapaggio (4, 221)
 Lavorazioni meccaniche (4, 221)
 Trattamenti termici (4, 221)
 Saldatura (4, 222)
 DANNEGGIAMENTI DOVUTI ALLE CONDIZIONI D'ESERCIZIO (4, 223)
 Corrosione (4, 223)
 Usura (4, 223)
 Fatica da contatto (4, 223)
 Cambiamento delle condizioni d'esercizio (4, 223)
 BIBLIOGRAFIA (4, 224)

Capitolo ottavo

DIFETTI DEI GETTI DI GHISA E D'ACCIAIO

(4, 225)
 INTRODUZIONE (4, 225)
 ERRORI DI COMPOSIZIONE CHIMICA E DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE (4, 225)
 DIFETTI TIPICI DELLA FONDERIA (4, 225)
 Difetti superficiali (4, 225)
 Riprese di colata e saldature (cold shuts, seams) (4, 225)
 Lacerazioni e cricche a caldo (hot tear, hot cracks) (4, 226)
 Cricche a freddo (cold cracks) (4, 226)
 Cavità superficiali contenenti sabbia (pin and sand holes) (4, 228)
 Soffiature affioranti (blows, gas holes) (4, 228)
 Porosità (porosity) (4, 228)
 Punte di spillo (pin holes) (4, 228)
 Bolle o vesciche (blisters) (4, 228)
 Erosioni (cuts, washes) (4, 229)
 Tacconi o sfoglie (erosion scabs) (4, 229)
 Falsi tacconi o scatole (buchle, rattail, pulldown, blacking) (4, 229)
 Getto incompleto o mancanze e gocce fredde (misurn, plates, cold shots) (4, 230)
 Schiacciamenti o cedimenti della forma o delle anime (crushes, push-up, clamp-off) (4, 230)
 Cadute di terra (drops) (4, 231)
 Difetti d'aderenza (stiker, rat) (4, 231)
 Aspetto grossolano della superficie (rough surface) (4, 231)
 Penetrazioni (metal penetration) (4, 231)
 Vetrificazione (fusion) (4, 232)
 Forzamenti, bave e cedimenti (swells, fins, strains e sags) (4, 232)
 Spostamento (shift, core raise) (4, 233)
 Fuga di metallo dalle forme (runouts, bleeders) (4, 233)
 Discontinuità interne (4, 233)
 Porosità da ritiro (shrinkage porosity) (4, 233)
 Micro o macro porosità diffusa (4, 233)
 Cavità macroscopiche interne (4, 234)
 Risucchi (4, 234)
 Ricali (4, 234)
 Getti incompleti (4, 234)
 Soffiature (gas porosities) (4, 235)
 Soffiature da gas (4, 236)
 Soffiature da vapore (steam bubbles) (4, 237)
 Soffiature d'aria (air bubbles) (4, 237)
 Inclusioni, impurità, scorie (inclusions, dirt, slags) (4, 237)
 RIEPILOGO DEI DIFETTI DI FONDERIA (4, 239)
 ALTRE CAUSE D'AVARIA NEI GETTI (4, 240)
 Effetto della microstruttura (4, 240)
 Reticoli intergranulari (4, 240)
 Grafite nelle ghise grigie (4, 241)
 Grafite nelle ghise sferoidali e malleabili (4, 242)
 Carburazione e decarburazione (4, 242)
 Effetto della composizione inadatta (4, 243)
 Errori di composizione della colata (4, 243)
 Errori di scelta della composizione (4, 243)
 Difetti da trattamenti termici (4, 245)
 Effetto delle tensioni e della concentrazione di sforzi (4, 247)
 Tensioni derivanti dal processo di fonderia (4, 247)

Tensioni derivanti dal trattamento termico (4, 247)
 Stampigliature (4, 248)
 Avarie dovute alle condizioni d'esercizio (4, 248)
 Assemblaggio difettoso (4, 248)
 Sovraccarico da stress termico (4, 249)
 Corrosione (4, 249)
 Corrosione grafitica (4, 249)
 CLASSIFICAZIONE DEI DIFETTI DI FONDERIA. IL PROGETTO UNSIDER 1029/XIII e XIV (4, 250)
 Criteri del progetto (4, 250)
 LA NORMA UNI 8628 (1984) (4, 250)
 SCHEDE ASSOFOND DEI DIFETTI (4, 250)
 Impostazione delle schede (4, 251)
 Contenuto delle schede (4, 251)
 Descrizioni nelle schede (4, 251)
 Cause possibili (4, 251)
 Rimedi (4, 252)
 Esempi fotografici (4, 252)
 ESEMPI DI DIFETTI DI FONDERIA (4, 252)
 Forma non completamente riempita (1.1.1) (4, 252)
 Getto malvenuto (1.1.2) (4, 253)
 Insufficienza di metallo (1.1.3) (4, 253)
 Fuoriuscita di metallo (1.1.4) (4, 253)
 Rottura a freddo (1.2.1) (4, 254)
 Rottura a caldo (1.2.2) (4, 254)
 Getto incompleto per eccessiva granigliatura (1.3.1) (4, 255)
 Getto spostato (1.4.1÷1.4.6) (4, 255)
 Spostamento di cavità interna (1.5.1÷1.5.9) (4, 256)
 Bava sottile di giunto (1.6.1) (4, 256)
 Bava sottile non di giunto o crestine (1.6.2) (4, 257)
 Sfondamento della forma (1.6.3) (4, 258)
 Bava spessa (1.7.1) (4, 258)
 Rigonfiamento o forzatura (1.8.1) (4, 259)
 Erosione (1.9) (4, 259)
 Strisciamento (1.10) (4, 259)
 Anomalia dimensionale (1.11) (4, 259)
 Getto deformato (1.12) (4, 260)
 Getto difforme (1.13) (4, 260)
 Incrinatura (2.1) (4, 260)
 Frattura (2.2) (4, 260)
 Cricca (2.3) (4, 260)
 Ripresa (2.4) (4, 261)
 Escrescenza (3.1) (4, 261)
 Goccia metallica sporgente (3.2) (4, 261)
 Rugosità (3.3) (4, 262)
 Pelle d'arancia; buccia d'arancia (3.4) (4, 262)
 Pelle d'elefante (3.5) (4, 262)
 Vetrificazione (3.6) (4, 262)
 Incrostazione (3.7) (4, 262)
 Infiltrazione metallica (3.8) (4, 262)
 Coda di topo (3.9) (4, 263)
 Striatura (3.10) (4, 263)
 Cicatrici (3.11) (4, 263)
 Venature (3.12) (4, 263)
 Ossidazione superficiale (3.13) (4, 263)
 Calo superficiale (3.14) (4, 264)
 Avvallamento (3.15) (4, 264)
 Soffiature (4.1) (4, 264)
 Punte di spillo (4.1.1) (4, 264)
 Soffiature da inserti metallici o da raffreddatori esterni (4.1.2) (4, 264)
 Soffiature da scoria (4.1.3) (4, 265)

Effetto Léonard; soffiature d'angolo (4.1.4) (4, 265)
 Soffiature a virgola (4.1.5) (4, 265)
 Rifiuti; soffiature superficiali (4.1.6) (4, 265)
 Risucchio o cavità da ritiro (4.2) (4, 266)
 Porosità (4.3) (4, 266)
 Inclusioni metalliche di origine esterna (5.1) (4, 267)
 Goccia fredda (5.2) (4, 267)
 Goccia fosforosa (5.3) (4, 267)
 Inclusioni non metalliche (5.4) (4, 268)
 Inclusioni di scorie (5.4.1) (4, 268)
 Inclusione di scoria congenita; schiuma (5.4.2) (4, 268)
 Inclusioni di materiali di formatura (5.4.3) (4, 269)
 Inclusioni di vernice (5.4.4) (4, 269)
 Pellicole di grafite brillante (5.4.5) (4, 270)
 Macchie nere non grafitiche (5.4.6) (4, 270)
 Inclusione di pellicola di ossido (5.4.7) (4, 270)
 Punti duri (5.5) (4, 270)
 Zone bianche o trotate (6.1) (4, 271)
 Tempra inversa (6.2) (4, 271)
 Carburi intercellulari (6.3) (4, 271)
 Grafite grossolana (6.4) (4, 271)
 Anomalie della grafite sferoidale (6.5) (4, 272)
 Galleggiamento o decantazione di sferoidi (6.5.1) (4, 272)
 Grafite a pezzi (6.5.2) (4, 272)
 Grafite esplosa (6.5.3) (4, 272)
 Grafite pseudo lamellare (6.5.4) (4, 272)
 Grafite lamellare (6.5.5) (4, 272)
 Grafite lamellare intercellulare (6.5.6) (4, 273)
 Macchie di grafite primaria (6.6) (4, 273)
 Bordo perlitico eccessivo (6.7) (4, 273)
 Perlite intercellulare (6.8) (4, 273)
 Ferrite intercellulare (6.9) (4, 274)
 BIBLIOGRAFIA (4, 274)

Capitolo nono

DIFETTI DEI GIUNTI SALDATI E BRASATI (4, 277)

INTRODUZIONE (4, 277)
 DIFETTI DI SALDATURA (4, 277)
 DISCONTINUITÀ DELLE SALDATURE E LORO CLASSIFICAZIONE (4, 279)
 DIFETTI DELLE SALDATURE ALL'ARCO ELETTRICO (4, 280)
 Porosità nelle saldature all'arco elettrico (4, 280)
 Cause delle porosità delle saldature all'arco (4, 282)
 Effetti delle porosità di saldatura (4, 283)
 Inclusioni nelle saldature all'arco elettrico (4, 283)
 Inclusioni non metalliche endogene (4, 283)
 Inclusioni di scoria (4, 283)
 Effetto delle inclusioni di scoria (4, 285)
 Inclusioni metalliche (4, 286)
 Inclusioni di tungsteno (4, 286)
 Inclusioni di rame (4, 286)
 Inclusioni di altri metalli (4, 286)
 Esempio di fratture di fatica di saldature in cilindri per piedi stabilizzatori per veicoli industriali, dovute alla presenza di inclusioni (4, 286)
 Cricche nelle saldature all'arco elettrico (4, 287)
 Caratteristiche zona fusa (ZF) delle saldature all'arco (4, 289)
 Solidificazione della zona fusa (4, 289)
 Cricche a caldo in zona fusa (4, 290)
 Fattori che influenzano la criccabilità a caldo (4, 291)

- Apporto termico specifico (4, 291)
- Forma del cordone (4, 291)
- Distanza fra i lembi (4, 292)
- Grado di vincolo del giunto (4, 292)
- Composizione chimica della zona fusa (4, 292)
- Caratteristiche della zona termicamente alterata (ZTA) delle saldature all'arco (4, 293)
 - Metalli senza trasformazione allotropica (4, 293)
 - Metalli con trasformazione allotropica (4, 293)
 - Zona termicamente alterata sotto cordone e liquazione (4, 293)
- Cricche nella zona termicamente alterata (4, 293)
 - Cricche longitudinali (4, 293)
 - Cricche trasversali (4, 293)
- Proprietà e influenza dell'idrogeno nei giunti saldati (4, 294)
 - Effetti dell'idrogeno in zona fusa (4, 295)
 - Fiocchi (4, 295)
 - Microcricche da idrogeno (4, 296)
 - Effetti dell'idrogeno nella zona termicamente alterata (4, 297)
 - Cricche a freddo in zona fusa indotte da idrogeno (4, 298)
 - Precauzioni per evitare la formazione di cricche a freddo (4, 298)
- Strappi lamellari (4, 299)
 - Influenza del procedimento di saldatura sugli strappi lamellari (4, 300)
 - Caratteristiche del metallo base sugli strappi lamellari (4, 300)
 - Esempio di danneggiamento durante la fabbricazione di un'armatura, dovuto a strappi lamellari (4, 301)
- Imperfezioni geometriche (4, 302)
 - Sovrapposizioni o protrusioni o traboccamenti (4, 302)
 - Insufficiente riempimento (4, 302)
 - Insufficiente penetrazione (4, 302)
 - Esempio di frattura della saldatura di una flangia al tubo di un collettore, per insufficiente penetrazione (4, 304)
 - Fusione incompleta e incollatura (4, 305)
 - Cause della fusione incompleta e delle incollature (4, 305)
 - Effetti dell'insufficiente penetrazione, insufficiente fusione e incollatura (4, 306)
 - Eccessivo sovrametallo (4, 307)
 - Cordone d'angolo troppo convesso (4, 307)
 - Incisioni marginali (4, 308)
 - Esempio di una frattura di fatica di un albero di giostra per divertimento, dovuta a un'incisione marginale della saldatura (4, 308)
 - Esempio di danneggiamento da fatica di un tubo di caldaia, per un'incisione marginale di un giunto saldato (4, 309)
 - Sfondamento (4, 309)
- Difetti esterni o di profilo (4, 309)
 - Irregolarità superficiale e del bordo del cordone di saldatura (4, 309)
 - Slivellamento dei lembi (4, 310)
 - Spruzzi e sputi (4, 310)
 - Colpi d'arco (4, 310)
- Difetti di specifici metodi di saldatura all'arco (4, 310)
 - Saldatura all'arco con elettrodi rivestiti (SMAW, Shielded Metal Arc Welding) (4, 310)
 - Saldatura all'arco con filo animato (FCAW, Flux-Cored Arc Welding) (4, 311)
 - Saldatura all'arco con filo continuo protetta da gas (GMAW, Gas Metal Arc Welding) (4, 311)
 - Saldatura ad arco sommerso (SAW, Submerged Arc Welding) (4, 311)
 - Saldatura ad elettrodo non consumabile di tungsteno protetta con gas (GTAW, Gas Tungsten Arc Welding) (4, 311)
 - Saldatura al plasma (PAW Plasma Arc Welding) (4, 311)
- ALTRI PROCESSI DI SALDATURA (4, 311)
- Difetti delle saldature sotto elettroscoria (ESW, Electro-Slag Welding) (4, 311)
 - Inclusioni nelle saldature ESW (4, 311)
 - Porosità nelle saldature ESW (4, 312)
 - Scadenti contorni della saldatura ESW (4, 312)
 - Eccessiva grossezza del grano della saldatura ESW (4, 312)
- Difetti delle saldature sotto elettrogas (EGW, ElectroGas Welding) (4, 312)
- Difetti nelle saldature a resistenza (4, 312)
 - Inclusioni nelle saldature a resistenza (4, 312)
 - Porosità nelle saldature a resistenza (4, 313)
 - Insufficiente penetrazione nelle saldature a resistenza (4, 313)
 - Cricche nelle saldature a resistenza (4, 314)
 - Insufficienti proprietà della saldatura a resistenza (4, 314)
- Difetti nelle saldature a scintillio (4, 314)
 - Inclusioni nelle saldature a scintillio (4, 314)
 - Porosità nelle saldature a scintillio (4, 315)
 - Fusione incompleta nelle saldature a scintillio (4, 315)
 - Scadenti contorni della saldatura a scintillio (4, 315)
 - Cricche a caldo nelle saldature a scintillio (4, 315)
 - Cricche a freddo nelle saldature a scintillio (4, 315)
- Difetti di saldature a resistenza testa a testa (4, 315)
- Difetti nelle saldature a frizione o ad attrito (4, 315)
 - Difetti centrali nelle saldature a frizione (4, 316)
 - Cricche da ritiro nelle saldature a frizione (4, 316)
 - Carburi all'interfaccia nelle saldature a frizione (4, 316)
 - Insufficiente rifinitura delle saldature a frizione (4, 316)
 - Cricche per fragilità a caldo nelle saldature a frizione (4, 316)
 - Intrappolamento di ossidi nelle saldature a frizione (4, 316)
 - Porosità nelle saldature a frizione (4, 317)
- Difetti nelle saldature a fascio elettronico (4, 317)
 - Inclusioni nelle saldature a fascio elettronico (4, 317)
 - Porosità nelle saldature a fascio elettronico (4, 317)
 - Fusione incompleta e insufficiente penetrazione nelle saldature a fascio elettronico (4, 317)
 - Scadenti contorni della saldatura a fascio elettronico (4, 318)
 - Cricche a caldo nelle saldature a fascio elettronico (4, 318)
 - Strappi o lacerazioni interne nelle saldature a fascio elettronico (4, 318)
- Difetti in saldature laser (4, 318)
 - Inclusioni nelle saldature laser (4, 318)
 - Porosità nelle saldature laser (4, 318)
 - Insufficiente penetrazione nelle saldature laser (4, 318)
 - Scadente forma della saldatura laser (4, 318)
 - Cricche nel metallo base di saldature laser (4, 319)

Difetti in saldature a induzione ad alta frequenza (4, 319)

PROGETTAZIONE DEI GIUNTI SALDATI (4, 319)

Effetto della progettazione del giunto sulla resistenza a fatica (4, 322)

Esempio di frattura di fatica in un insieme idraulico d'acciaio inossidabile con giunto saldato in una regione di alta sollecitazione (4, 322)

Esempio di frattura a fatica della camera di combustione interna di una turbina a gas per la presenza di un'incollatura e di incisioni marginali (4, 323)

Esempio di frattura a fatica del collettore di un surriscaldatore, dovuta a un intaglio di saldatura (4, 324)

Esempio di danneggiamento a fatica del giunto tra tubo di drenaggio e collettore per scadente tecnica di saldatura e sfavorevole progettazione del giunto saldato (4, 325)

Altri difetti correlati alla progettazione del giunto (4, 325)

Esempio di frattura di una saldatura che congiungeva la testa al corpo della caldaia di un preriscaldatore di vapore, per scadente penetrazione alla radice (4, 326)

Esempio di frattura di una tubazione d'acciaio al carbonio in una torre di raffreddamento (4, 326)

Esempio di danneggiamento delle saldature in un acquedotto, per scadente tecnica di saldatura (4, 327)

ANALISI DEI DIFETTI RILEVATI IN ESERCIZIO (4, 328)

Procedure per gli esami preliminari e finali (4, 328)

Prove non distruttive (4, 329)

Sezioni metallografiche e frattografia (4, 329)

Analisi delle informazioni (4, 329)

IDONEITÀ ALL'USO (4, 330)

FRATTURA FRAGILE (4, 330)

Esempio di frattura fragile a bassa temperatura di un carro cisterna d'acciaio, dovuta a imperfezioni della saldatura (4, 330)

DIFETTI DEI GIUNTI BRASATI (4, 331)

Inclusioni nei giunti brasati (4, 332)

Porosità nei giunti brasati (4, 332)

Brasatura incompleta (4, 332)

Eccessiva alligazione nei giunti brasati (4, 332)

Corrosione all'interfaccia nei giunti brasati (4, 332)

Cricche nei giunti brasati (4, 333)

Colorazione nei giunti brasati (4, 333)

Distorsioni nei giunti brasati (4, 333)

ISPEZIONE DEI GIUNTI BRASATI (4, 333)

ESEMPLI DI DIFETTI DI BRASATURA (4, 333)

Esempio di frattura di un giunto brasato d'acciaio inossidabile AISI 321 di un insieme per raffreddamento di radar, per inadeguato legame dovuto ad insufficiente pulizia (4, 333)

Esempio di tenso corrosione di un giunto brasato di una tubazione a pressione d'acciaio inossidabile AISI 321 (4, 334)

Esempio di frattura di un giunto brasato nel contenitore di un trasduttore di pressione d'acciaio inossidabile AISI 347, innescata presso vuoti della brasatura (4, 334)

Esempio di una frattura di fatica di un collettore spray di Waspaloy per infragilimento da metallo liquido (4, 335)

Esempio di danneggiamento di una conduttura principale d'acqua potabile per dezincificazione e rottura di un giunto saldobrasato (4, 336)

BIBLIOGRAFIA (4, 336)

Capitolo decimo

DIFETTI DEGLI UTENSILI (4, 339)

INTRODUZIONE (4, 339)

PRINCIPALI CAUSE DEI DIFETTI DEGLI UTENSILI (4, 340)

COMPOSIZIONE DEGLI ACCIAI DA UTENSILI CONSIDERATI (4, 340)

PROCEDURA PER LA DIAGNOSI DEI DIFETTI DEGLI UTENSILI (4, 341)

DIFETTI DOVUTI ALLA PROGETTAZIONE (4, 341)

Errori di progetto che favoriscono le rotture in tempratura (4, 342)

Influenza della scelta dell'acciaio (4, 342)

Influenza degli angoli vivi e dei raccordi insufficienti (4, 343)

Influenza dei drastici cambiamenti di sezione (4, 344)

Errori di progetto che favoriscono i danneggiamenti in servizio (4, 345)

Influenza di angoli vivi negli spacchi di chiavetta (4, 345)

Influenza delle rastremazioni e delle conicità (4, 346)

Influenza dei giochi (4, 346)

Influenza del sovraccarico (4, 347)

Influenza dei fori (4, 347)

Influenza del calettamento (4, 348)

Influenza delle grandi dimensioni (4, 348)

DIFETTI DELL'ACCIAIO (4, 349)

Vuoti (4, 349)

Filature (4, 349)

Strappi (4, 350)

Fiocchi (4, 350)

Cricche (4, 350)

Influenza della distribuzione dei carburi (4, 351)

DIFETTI DEGLI UTENSILI DOVUTI ALLA FABBRICAZIONE (4, 352)

Difetti dovuti a lavorazioni meccaniche con asportazione di truciolo (4, 353)

Non rispetto dei dettagli a disegno (4, 353)

Lavorazioni grossolane compresa la punzonatura (4, 353)

Incompleta o parziale rimozione degli strati superficiali decarburati o dei sovrametalli di prodotti grezzi (4, 354)

Difetti dovuti alla formatura a freddo (4, 355)

Difetti dovuti all'elettroerosione (4, 356)

DIFETTI DOVUTI AI TRATTAMENTI TERMICI (4, 358)

Trattamenti termici fondamentali degli utensili (4, 359)

Ricottura di distensione (4, 359)

Preriscaldamento (4, 359)

Riscaldamento d'austenitizzazione (4, 359)

Tempra (4, 360)

Rinvenimento (4, 360)

Doppio rinvenimento (4, 360)

Trasformazioni al rinvenimento (4, 360)

Rinvenimento degli stampi d'acciai da utensili (4, 361)

Considerazioni finali (4, 362)

Danneggiamenti da trattamenti termici (4, 362)

Impropria procedura di tempratura (4, 362)

Surriscaldamento (4, 363)

Effetto di una temperatura di tempratura troppo bassa (4, 366)

- Fratture da scortecciatura (4, 366)
- Cricche di tempra negli acciai da utensili al carbonio (4, 366)
- Rotture in tempra di acciai temprabili in aria (4, 367)
- Cricche a unghia (4, 368)
- Danneggiamento da prematuro rinvenimento (4, 368)
- Tempra di utensili con fori (4, 369)
- Tempra di utensili di grandi dimensioni (4, 369)
- Rinvenimento multiplo (4, 369)
- Trattamento sotto zero (4, 370)
- Tempra ripetuta degli utensili (4, 370)
 - Ingrossamento del grano alla ritempra degli acciai rapidi (4, 370)
 - Errata ricottura (4, 371)
- Decarburazione (4, 371)
- Carburazione (4, 372)
- Insufficiente indurimento (4, 374)
- Variazioni volumetriche e distorsioni (4, 374)
- Nitrurazione (4, 374)
- DANNEGGIAMENTI DOVUTI ALLA RETTIFICA (4, 375)**
- Colorazione e autorinvenimento (4, 375)
- Bruciatura di rettifica (4, 376)
 - Attacco nitrico cloridrico (4, 376)
 - Attacco al cloruro ferrico (4, 376)
- Tensioni interne superficiali (4, 377)
- Microcricche di rettifica (4, 377)
 - Recupero di utensili con microcricche di rettifica (4, 377)
- Cricche di rettifica (4, 377)
 - Criccabilità degli acciai da utensili (4, 378)
 - Cricche di rettifica nel taglio con troncatori abrasivi (4, 379)
- Effetto della finitura superficiale (4, 379)
- DANNEGGIAMENTO MECCANICO E DA USO IMPROPRIO DEGLI UTENSILI (4, 379)**
- Alcune cause meccaniche di danneggiamento (4, 379)
 - Sovraccarico (4, 380)
 - Danneggiamento di utensili per sovraccarico e usura da magnetismo residuo (4, 380)
 - Concentrazione di sforzi (4, 380)
 - Giochi e allineamenti scorretti (4, 381)
 - Fratture di fatica (4, 382)
 - Fatica termica (4, 383)
- Riparazioni di utensili tramite saldatura (4, 384)
- DANNEGGIAMENTO DI UTENSILI D'ACCIAIO PER LAVORAZIONI A CALDO (4, 386)**
- Principali cause delle avarie degli utensili d'acciaio per lavorazioni a caldo (4, 386)
- CARATTERISTICHE DEGLI STAMPI PER PRESSOCOLATA. PROGETTAZIONE, FABBRICAZIONE, USO E MANUTENZIONE (4, 387)**
- Progettazione del prodotto e lavoro termico dello stampo (4, 387)
- Progettazione dello stampo (4, 388)
 - Scelta dell'acciaio (4, 388)
 - Proprietà degli acciai per stampi da pressocolata (4, 389)
 - Composizione chimica (4, 389)
 - Resistenza meccanica ad alta temperatura (4, 390)
 - Resistenza allo shock termico (4, 390)
 - Resistenza alla fatica termica (4, 391)
 - Resistenza all'usura (4, 392)
 - Stabilità dimensionale al trattamento termico (4, 392)
 - Variazioni volumetriche o dimensionali (4, 392)
 - Distorsioni o variazioni di forma (4, 393)
 - Lavorabilità (4, 393)
 - Ciclo di lavorazione dello stampo (4, 393)
 - Trattamenti termici degli stampi di pressocolata (4, 394)
 - Trattamenti termici e rivestimenti superficiali (4, 394)
 - Uso e manutenzione dello stampo da pressocolata (4, 394)
 - Lubrificazione delle cavità degli stampi da pressocolata (4, 395)
 - Cause delle avarie degli utensili d'acciaio per lavorazioni di formatura a caldo (4, 395)
 - Indice di severità di stampaggio e rotture (4, 395)
 - Ripristino e saldatura (4, 396)
- DIFETTI DEI CILINDRI DI LAMINAZIONE (4, 397)**
- DIFETTI DI UTENSILI DA TAGLIO (4, 398)**
- Materiali per utensili da taglio (4, 398)
- Difetti generati dalle condizioni di lavoro negli utensili da taglio (4, 398)
- Difetti dovuti a cause metallurgiche negli utensili da taglio (4, 398)
- Difetti di rettifica e d'affilatura negli utensili da taglio (4, 399)
- BIBLIOGRAFIA (4, 399)**
- Capitolo undicesimo**
- DIFETTI DEGLI ALBERI E DEI CUSCINETTI (4, 403)**
- DANNEGGIAMENTO DEGLI ALBERI DI TRASMISSIONE (4, 403)**
- Introduzione (4, 403)
- Procedura generale per la diagnosi dei difetti degli alberi (4, 403)
 - Esame del progetto (4, 403)
 - Esame delle condizioni generali d'esercizio (4, 403)
 - Esami e controlli sul pezzo (4, 403)
 - Esame delle condizioni specifiche d'esercizio (4, 403)
 - Esame visivo (4, 403)
 - Prove non distruttive iniziali (4, 403)
 - Esame macroscopico e macrofrattografico (4, 403)
 - Esami micrografici (4, 403)
 - Esame in microscopia elettronica a scansione (SEM) (4, 404)
 - Analisi chimica e prove meccaniche (4, 404)
 - Rilievi dimensionali (4, 404)
 - Analisi critica dei dati (4, 404)
 - Simulazioni e prove su prototipo (4, 404)
- Tipi di sollecitazioni degli alberi (4, 404)
- Fratture di fatica degli alberi (4, 405)
 - Effetti dell'intensificazione degli sforzi e dello sforzo applicato (4, 405)
 - Fratture per trazione alternata o pulsante (4, 405)
 - Fratture per flessione unidirezionale e bidirezionale (4, 407)
 - Fratture per torsione e flessione e per torsione alternata (4, 407)
 - Caratteristiche delle fratture di fatica (4, 407)
- Danneggiamento da usura e fatica da contatto (4, 407)
 - Usura abrasiva (4, 407)
 - Usura adesiva (4, 408)
 - Fatica da contatto (4, 408)

- Fratture duttili e fragili e deformazioni in esercizio (4, 408)
- Fratture duttili (4, 408)
 - Fratture fragili (4, 409)
 - Deformazioni permanenti (4, 409)
 - Scorrimento viscoso (creep) (4, 409)
 - Carichi di punta (4, 409)
- Danneggiamento da corrosione (4, 409)
- Tensocorrosione (4, 409)
 - Corrosione fatica (4, 409)
- Fattori d'intensificazione di sforzi (4, 409)
- Fattori metallurgici o di fabbricazione che favoriscono il danneggiamento degli alberi (4, 410)
- Fattori metallurgici (4, 410)
 - Microstruttura (4, 411)
 - Grossezza del grano (4, 411)
 - Grado inclusionale (4, 411)
 - Caratteristiche meccaniche (4, 411)
 - Tensioni residue (4, 411)
- Rotture dovute a errori di trattamenti superficiali (4, 411)
- Rotture dovute alla riparazione con saldatura (4, 411)
- Esempi di vari danneggiamenti di alberi (4, 412)
- Caso di frattura per flessione unidirezionale (4, 412)
 - Caso di rottura per usura (4, 412)
 - Caso di rottura di fatica di un albero con spacchi di chiavetta (4, 413)
 - Caso di rottura di alberi a gomito per macchina tessile (4, 413)
 - Caso di frattura di fatica innescata da un numero elettroinciso (4, 414)
 - Caso di una frattura di fatica di un mandrino d'acciaio da utensili (4, 414)
 - Caso di rottura dell'albero di una ventola (4, 415)
 - Caso di frattura di un fucinato d'acciaio per inclusioni non metalliche (4, 415)
 - Caso di rottura di alberi per una ripiegatura di laminazione (4, 416)
 - Caso di rottura di un albero a gomito (4, 416)
- DANNEGGIAMENTO DI CUSCINETTI RADENTI E VOLVENTI (4, 416)**
- Generalità e classificazione dei cuscinetti radenti (4, 416)
- Materiali per cuscinetti radenti (4, 417)
 - Polimeri (4, 417)
 - Metalli bianchi antifrizione o leghe Babbit (4, 417)
 - Leghe rame-piombo (4, 417)
 - Bronzo (4, 417)
 - Leghe d'alluminio (4, 417)
- Lubrificazione a film fluido (4, 417)
- Carico sopportabile, rugosità superficiale, contaminazioni ed incisioni (4, 418)
 - Lubrificanti (4, 418)
 - Particelle inquinanti (4, 418)
- Procedura per la diagnosi di difetto specifiche dei cuscinetti (4, 418)
- Danneggiamento dei cuscinetti radenti (4, 418)
- Usura (4, 418)
 - Fatica (4, 419)
 - Fenomeni elettrostatici (4, 419)
 - Fretting (4, 419)
 - Corrosione e corrosione-fatica (4, 419)
 - Cavitazione (4, 419)
- Esempi di danneggiamento di cuscinetti radenti (4, 419)
- Caso di danneggiamento per corrosione-fatica in ambiente marino (4, 419)
 - Caso di danneggiamento di fatica da contatto di un cuscinetto bimetallico (4, 419)
- DANNEGGIAMENTO DEI CUSCINETTI VOLVENTI (4, 420)**
- Introduzione (4, 420)
- Materiali per cuscinetti volventi (4, 420)
- Tipi di rotture dei cuscinetti volventi (4, 420)
- Usura (4, 420)
 - Fretting (4, 421)
 - Corrosione (4, 421)
 - Deformazione plastica (4, 421)
 - Fatica a contatto (4, 422)
 - Fratture per danneggiamento (4, 422)
 - Difetti di fabbricazione, di progetto e di montaggio (4, 422)
- Alcuni esempi di danneggiamento di cuscinetti volventi (4, 423)
- Caso di danneggiamento per scariche elettrostatiche (4, 423)
 - Caso di danneggiamento da fretting (4, 423)
 - Caso di danneggiamento per fatica superficiale (4, 423)
 - Caso di rottura di fatica superficiale di un cuscinetto per uso aeronautico (4, 423)
 - Caso di rottura per disallineamento di un cuscinetto di un motore a turbina (4, 424)
 - Rottura di un cuscinetto per errore di trattamento termico (4, 425)
- BIBLIOGRAFIA (4, 426)**
- Capitolo dodicesimo**
- DIFETTI DEGLI INGRANAGGI ((4, 427)**
- GENERALITÀ (4, 427)**
- TERMINOLOGIA (4, 427)**
- Riepilogo delle principali definizioni geometriche delle ruote dentate (4, 428)
- TIPI DI INGRANAGGI (4, 429)**
- MATERIALI PER INGRANAGGI (4, 433)**
- SOLLECITAZIONI DEGLI INGRANAGGI (4, 434)**
- Contatto dei denti degli ingranaggi (4, 434)
- Forze applicate (4, 435)
- Spessore del film lubrificante (4, 435)
- PRINCIPALI CAUSE DEL DANNEGGIAMENTO DEGLI INGRANAGGI (4, 435)**
- Classificazione dei tipi di danneggiamento degli ingranaggi (4, 436)
- Usura (4, 436)
 - Usura normale (4, 436)
 - Usura moderata (4, 437)
 - Usura distruttiva (4, 437)
 - Bruciatura (burning) (4, 439)
 - Usura abrasiva (4, 439)
 - Usura adesiva (4, 439)
 - Scoring (4, 439)
 - Scuffing (4, 440)
 - Galling (4, 440)
 - Seizing (4, 440)
 - Usura da interferenza (4, 440)
 - Usura corrosiva (4, 441)
 - Usura da fatica superficiale (4, 441)
 - Meccanismi della fatica superficiale (4, 441)
 - Pitting (4, 442)
 - Spalling (4, 443)

- Usura per sfaldatura (flaking) (4, 444)
- Deformazione plastica (4, 444)
 - Rullatura e pallinatura (4, 444)
 - Ondulazioni o increspatura (rippling) (4, 445)
 - Striatura o increstatura (ridging) (4, 445)
 - Sfondamento dello strato indurito (4, 446)
 - Deformazione plastica e pitting (4, 446)
 - Deformazione plastica e cricche (4, 447)
- Frattura (4, 447)
 - Fratture di fatica (4, 447)
 - Fratture di fatica da flessione (4, 447)
 - Fratture di fatica per intensificazione di sforzi (4, 450)
 - Fratture di fatica da contatto (4, 450)
 - Fatica termica (4, 450)
 - Fratture da usura severa o corrosione (4, 450)
 - Fratture da sovraccarico (4, 450)
 - Sovraccarico per urto (4, 451)
 - Impatto a flessione del dente (4, 451)
 - Taglio del dente (4, 451)
 - Scheggiatura del dente (4, 451)
- ALTRE CAUSE DI DANNEGGIAMENTO (4, 451)
- Difetti superficiali (4, 451)
- Errori di progetto (4, 451)
- Errori di fabbricazione (4, 453)
 - Errori di trattamento termico (4, 453)
 - Cricche di tempratura (4, 453)
 - Cricche di rettifica (4, 453)
- POSIZIONE DELLE FRATTURE DEI DENTI (4, 454)
- BIBLIOGRAFIA (4, 455)

Capitolo tredicesimo

DIFETTI DEI SISTEMI MECCANICI DI FIS-SAGGIO ((4, 457)

- INTRODUZIONE (4, 457)
- TIPI DI DISPOSITIVI MECCANICI DI GIUNZIONE (4, 457)
- SPECIFICHE TECNICHE (4, 457)
- CAUSE E POSIZIONI DEI DANNEGGIAMENTI (4, 458)
 - Principali cause dei danneggiamenti (4, 458)
 - Posizioni dei danneggiamenti (4, 458)
 - Sollecitazioni dei dispositivi meccanici di giunzione (4, 459)
 - Sollecitazioni di viti e dadi (4, 459)
 - Dimensionamento dei giunti meccanici con bulloni o viti (4, 459)
 - Verifica della resistenza di un bullone o di una vite (4, 460)
 - Esempio di calcolo (4, 460)
 - Comportamento di un bullone, o di una vite, alle sollecitazioni (4, 461)
- DANNEGGIAMENTO PER FATICA DEI DISPOSITIVI FILETTATI (4, 462)
 - Danneggiamento da fatica per concentrazione di sforzi (4, 462)
 - Danneggiamento da fatica per insufficiente resistenza del materiale (4, 463)
- DANNEGGIAMENTO DA FRETTHING (4, 464)
- DANNEGGIAMENTO DA CORROSIONE (4, 464)
 - Aerazione differenziale o corrosione da fessura (crevice corrosion) (4, 464)
 - Corrosione galvanica (galvanic corrosion) (4, 465)

- Tensocorrosione (stress corrosion cracking) (4, 465)
 - Effetto delle sollecitazioni di compressione (4, 467)
 - Effetto delle impurezze (4, 468)
- Protezione contro la corrosione (4, 469)
 - Zincatura (4, 469)
 - Cadmiatura (4, 469)
 - Rivestimento con alluminio (4, 469)
- Infragilimento da idrogeno (4, 470)
- DANNEGGIAMENTO AD ALTA TEMPERATURA DEI DISPOSITIVI DI SERRAGGIO FILETTATI (4, 472)
- DANNEGGIAMENTO DEI RIVETTI (4, 472)
 - Danneggiamento per taglio del gambo (4, 473)
 - Danneggiamento della superficie di contatto (4, 473)
 - Danneggiamento da tensocorrosione (4, 473)
- DISPOSITIVI DI SERRAGGIO CIECHI (4, 473)
- DISPOSITIVI DI SERRAGGIO A SPINA (4, 474)
- Dispositivi di serraggio a spina semipermanenti (4, 474)
- DISPOSITIVI A SGANCIO RAPIDO (4, 476)
- BIBLIOGRAFIA (4, 476)

Capitolo quattordicesimo

DIFETTI DELLE CALDAIE E SCAMBIATORI DI CALORE ((4, 479)

- GENERALITÀ (4, 479)
- DANNEGGIAMENTI DI CALDAIE E LORO ACCESSORI (4, 479)
 - Danneggiamento dovuto all'impiego di materiali difettosi (4, 479)
 - Rotture da surriscaldamento (4, 480)
 - Rotture da surriscaldamento con bordi spessi (4, 480)
 - Rotture da surriscaldamento con bordi sottili (4, 480)
 - Effetto dei depositi (4, 481)
 - Cause del surriscaldamento (4, 482)
 - Rotture causate da infragilimento (4, 482)
 - Danneggiamento da idrogeno (4, 482)
 - Effetti dell'infragilimento da idrogeno dell'acciaio (4, 483)
 - Grafitizzazione (4, 483)
 - Fratture da corrosione o da incrostazioni (4, 483)
 - Corrosione sul lato acqua (4, 483)
 - Corrosione delle superfici esposte al vapore (4, 484)
 - Tubercolazione (4, 485)
 - Corrosione di condensatori, dei circuiti d'alimentazione e dei riscaldatori d'acqua (4, 486)
 - Corrosione dal lato fumi (4, 486)
 - Corrosione da ceneri da combustibili solidi (4, 487)
 - Corrosione da ceneri di oli combustibili (4, 488)
 - Corrosione a bassa temperatura (4, 488)
 - Danneggiamento per fatica (4, 488)
 - Danneggiamento per fatica oligociclica (4, 488)
 - Fatica termica (4, 489)
 - Corrosione - fatica (4, 489)
 - Danneggiamento per usura (4, 491)
 - Rotture dovute all'erosione (4, 491)
 - Erosione abrasiva (4, 491)
 - Erosione da liquido (urto di gocce liquide) (4, 491)
 - Erosione per cavitazione (4, 491)
 - Danneggiamento da tensocorrosione (4, 491)
 - Danneggiamento dovuto a più cause (4, 492)
 - DANNEGGIAMENTO DEGLI SCAMBIATORI DI CALORE (4, 493)
 - Caratteristiche richieste (4, 493)

Resistenza alla corrosione (4, 493)
Cause di danneggiamento degli scambiatori di calore (4, 493)
Tecniche di costruzione secondarie (finiture) (4, 493)
Effetti delle tecniche d'ispezione (4, 493)
Spedizione via mare e imballaggio (4, 494)
Danneggiamento per corrosione (4, 494)
Corrosione da fessura (cervice corrosion) (4, 495)
Dealligazione (4, 496)
Erosione - corrosione (impingement attack) (4, 498)
Danneggiamento da tensocorrosione (4, 498)
Danneggiamento per corrosione-fatica (4, 499)
Aspetto della frattura di corrosione-fatica (4, 499)
Tensioni termiche e meccaniche (4, 499)
Effetti delle saldature (4, 499)
Preparazione della giunzione (4, 500)
Progetto della saldatura (4, 500)
Microstruttura delle saldature (4, 500)
Effetti della temperatura elevata (4, 500)
BIBLIOGRAFIA (4, 501)

Capitolo quindicesimo

DIFETTI DEI RECIPIENTI A PRESSIONE (4, 503)

INTRODUZIONE (4, 503)

PROCEDURE PER LA DIAGNOSI DI DIFETTO (4, 504)

PRINCIPALI CAUSE DI DANNEGGIAMENTO DEI RECIPIENTI, TUBAZIONI E ATTREZZATURE IN PRESSIONE (4, 504)

Errori di progettazione (4, 505)

Scelta o uso di leghe inadatte (4, 505)

Effetto dei concentratori di sforzi (4, 507)

Errori di fabbricazione (4, 508)

Difetti di saldatura (4, 510)

Assemblaggio di recipienti a pressione polimetallici (4, 512)

Errori od omissioni dei trattamenti termici (4, 513)

Effetti del surriscaldamento (4, 514)

Difetti o discontinuità metallurgiche dei materiali (4, 515)

Fenomeni degenerativi in esercizio (4, 516)

Corrosione (4, 517)

Erosione (4, 517)

Tensocorrosione (SCC - Stress Corrosion Cracking) (4, 517)

Effetto dei solidi disciolti (4, 519)

Danneggiamenti degli impianti di degasaggio dell'acqua d'alimentazione (4, 520)

Fragilità caustica (4, 521)

Tensocorrosione da cloruri caldi (4, 522)

Protezione durante i periodi di fermata (4, 524)

Danneggiamento da idrogeno (4, 524)

Danneggiamento da idrogeno in ambiente d'acido solfidrico umido (4, 527)

Danneggiamento in acido solfidrico umido (4, 527)

Meccanismi di frattura (4, 528)

Danneggiamento per sovraccarico (4, 529)

Fratture duttili (4, 529)

Fratture fragili (4, 529)

Danneggiamento per scorrimento viscoso (creep) (4, 532)

Danneggiamento per fatica (4, 534)

Fatica termica (4, 535)

Danneggiamento dovuto a più cause concomitanti (4, 536)

Criticità delle procedure d'ispezione (4, 540)

BIBLIOGRAFIA (4, 541)