

# INDICE

<b>Capitolo 1 - La preparazione delle superfici</b> .....	1-1
1.1 La decontaminazione superficiale: lo sgrassaggio .....	1-1
1.1.1 La pulizia (sgrassaggio) al solvente .....	1-2
1.1.2 La pulizia (sgrassaggio) in fase acquosa .....	1-4
1.1.2.1 Tensioattivi .....	1-6
1.1.2.2 Lo sgrassaggio con emulsioni .....	1-8
1.1.2.3 Lo sgrassaggio mediante soluzioni acquose .....	1-8
1.1.3 Cicli di sgrassaggio .....	1-13
1.1.3.1 La pulizia prima dell'elettrodeposizione galvanica .....	1-13
1.2 Il decapaggio .....	1-15
1.2.1 Il decapaggio meccanico .....	1-15
1.2.1.1 La pulitura abrasiva .....	1-16
1.2.2 Il decapaggio chimico .....	1-20
1.2.2.1 Il decapaggio degli acciai al carbonio .....	1-22
1.2.2.2 Il decapaggio fosforico (o fosfodecapaggio) .....	1-26
1.2.2.3 Il decapaggio degli acciai inossidabili .....	1-26
1.2.2.4 Il decapaggio elettrolitico .....	1-29
1.2.2.5 Cicli di decapaggio .....	1-30
1.2.2.6 La mordenzatura dell'alluminio .....	1-32
1.2.2.7 Il decapaggio delle leghe di titanio .....	1-34
1.3 La conversione superficiale .....	1-36
1.3.1 La fosfatazione .....	1-36
1.3.1.1 La fosfatazione cristallina .....	1-37
1.3.1.2 La fosfatazione amorfa .....	1-61
1.3.1.3 Due applicazioni industriali particolari di un processo di conversione superficiale: settore automobilistico e trattamento delle lamiere in rotoli (coil coating) .....	1-69

1.3.2 Il trattamento degli acciai inossidabili (salatura e ossalatazione) . . . . .	1-78
1.3.2.1 La salatura . . . . .	1-78
1.3.2.2 L'ossalatazione . . . . .	1-80
1.3.3 Cromatazione e fosfocromatazione dell'alluminio . . . . .	1-83
1.3.4 Cromatazione dello zinco . . . . .	1-90
1.3.5 Cromatazione del cadmio . . . . .	1-94
1.3.6 Cromatazione del magnesio . . . . .	1-94
1.3.7 Fluotitanazione e fluozirconatura . . . . .	1-96
1.3.7.1 Processi . . . . .	1-96
1.3.7.2 Cicli di trattamento . . . . .	1-97
1.4 L'innovazione nei processi di conversione chimica . . . . .	1-98
1.4.1 Silani e silossani . . . . .	1-99
1.4.2 Sali di cerio . . . . .	1-103
1.4.2.1 Meccanismi di protezione dalla corrosione . . . . .	1-104
1.4.2.2 Processi di conversione a base di cerio e microstruttura . . . . .	1-105
1.4.3 SAM . . . . .	1-105
1.4.4 Trattamenti sol-gel . . . . .	1-107
1.4.4.1 Lo stato attuale dell'uso di sol-gel nella ricerca per substrati metallici . . . . .	1-108
1.4.4.2 La formazione del film . . . . .	1-109
1.5 Proprietà, testing e caratterizzazioni . . . . .	1-111
1.5.1 Lo sgrassaggio: analisi e controllo delle soluzioni . . . . .	1-111
1.5.1.1 Alcalinità libera e alcalinità totale . . . . .	1-111
1.5.1.2 L'alcalinità libera al bario . . . . .	1-112
1.5.1.3 Il contenuto in olio della soluzione . . . . .	1-112
1.5.1.4 La tensione superficiale . . . . .	1-113
1.5.1.5 pH, conducibilità e controllo automatico delle vasche . . . . .	1-113
1.5.1.6 La valutazione del livello di pulizia superficiale di un metallo . . . . .	1-114
1.5.2 Il decapaggio: analisi e controllo dei bagni acidi . . . . .	1-116
1.5.3 La fosfatazione cristallina: analisi e valutazioni . . . . .	1-118
1.5.3.1 L'analisi dei bagni di fosfatazione ai fosfati di zinco . . . . .	1-118
1.5.3.2 La valutazione dei rivestimenti fosfatici . . . . .	1-120
1.5.3.3 Prove funzionali sui rivestimenti fosfatici: valutazione dell'efficacia protettiva dopo verniciatura (o oliatura) . . . . .	1-125
1.5.4 La fosfatazione amorfa: analisi e controllo delle soluzioni . . . . .	1-127
1.5.4.1 L'acidità totale . . . . .	1-127
1.5.4.2 L'acidità consumata . . . . .	1-127
1.5.4.3 Conducibilità e pH delle soluzioni . . . . .	1-128
1.5.4.4 Analisi e controllo dei risultati . . . . .	1-128
1.5.5 La cromatazione . . . . .	1-129
1.5.5.1 L'analisi delle soluzioni nel processo di mordenzatura . . . . .	1-129
1.5.5.2 L'analisi dei bagni e controllo dei rivestimenti nel processo di cromatazione . . . . .	1-129
1.5.5.3 Il peso del rivestimento . . . . .	1-130

1.5.6 Chromium-free .....	1-131
1.5.6.1 Analisi dei bagni, controllo dei rivestimenti, efficacia anticorrosiva .....	1-131
Bibliografia .....	1-131
<b>Capitolo 2 - Processi di deposizione superficiale di film sottili</b> .....	2-1
2.1 Processi di deposizione da fase vapore .....	2-1
2.1.1 Introduzione .....	2-1
2.1.2 Tecniche di deposizione PVD .....	2-5
2.1.2.1 Differenti tecniche di deposizione PVD .....	2-9
2.1.2.2 Un esempio industriale di tecnica di deposizione PVD .....	2-14
2.1.2.3 La preparazione dei pezzi prima del rivestimento PVD .....	2-21
2.1.2.4 Caratteristiche dei riporti PVD .....	2-24
2.1.2.5 Sviluppi delle tecnologie PVD .....	2-27
2.1.2.6 Esempi applicativi dei riporti PVD .....	2-40
2.1.2.7 Controlli di qualità dei rivestimenti PVD .....	2-65
2.1.3 Rivestimenti superlattice e nanocristallini .....	2-70
2.1.3.1 Introduzione .....	2-70
2.1.3.2 Rivestimenti superlattice .....	2-73
2.1.3.3 Rivestimenti nanocompositi .....	2-76
2.1.3.4 Rivestimenti nanocompositi dei sistemi Ti-Al-Si-N e Ti-Si-N ..	2-79
2.1.3.5 Rivestimenti nanocompositi Ti-B-N e Ti-B-C .....	2-82
2.1.3.6 Rivestimenti nanocompositi MeN/metallo .....	2-82
2.1.3.7 Altri rivestimenti nanocompositi .....	2-83
2.1.4 Tecniche di deposizione CVD .....	2-85
2.1.4.1 Introduzione .....	2-85
2.1.4.2 Sviluppi delle tecnologie CVD .....	2-89
2.1.4.3 La deposizione di strati superduri con le tecnologie CVD .....	2-93
2.1.4.4 L'utilizzo del diamante PACVD in sostituzione del PCD nel settore degli utensili da taglio .....	2-99
2.1.5 Processi PECVD per la deposizione di film nanotecnologici .....	2-106
2.1.5.1 Plasma: il quarto stato della materia .....	2-106
2.1.5.2 L'interazione tra plasma e materia .....	2-108
2.1.5.3 La deposizione di nanoquarzo .....	2-117
2.2 Rivestimenti innovativi sottili per l'utensileria nell'industria dei trasporti ed aeronautica .....	2-126
2.2.1 Introduzione: la flessibilità nell'industria manifatturiera .....	2-126
2.2.2 Rivestimenti in diamante micro e nanocristallino per la lavorazione del magnesio .....	2-133
2.2.3 Rivestimenti nella lavorazione delle leghe di alluminio da getto colate con tecnologie near net shape .....	2-136
2.2.4 Rivestimenti per la lavorazione delle ghise duttili austemperate (ADI) ..	2-140
2.2.5 Rivestimenti nella lavorazione delle superleghe aeronautiche a base nichel .....	2-142

2.2.6 Il diamante e la lavorazione degli MMC .....	2-146
2.2.7 Gli SMC .....	2-148
2.2.8 Conclusioni .....	2-150
2.3 Trattamenti di impiantazione ionica .....	2-150
2.3.1 Introduzione .....	2-150
2.3.2 Il processo di impiantazione ionica .....	2-151
2.3.3 Applicazioni dell'impiantazione ionica .....	2-155
Bibliografia .....	2-160

<b>Capitolo 3 - Trattamenti galvanici</b> .....	3-1
3.1 Basi della galvanica .....	3-1
3.1.1 Introduzione .....	3-1
3.1.2 Cenni sullo sviluppo storico dell'elettrodeposizione .....	3-2
3.1.3 Sistemi elettrochimici .....	3-3
3.1.3.1 – Appendice: conducibilità dei solidi e degli elettroliti in soluzione acquosa .....	3-6
3.1.4 La stechiometria elettrochimica .....	3-10
3.1.4.1 – Appendice: richiami sull'equazione di reazione e il grado di avanzamento .....	3-15
3.1.4.2 – Appendice: numero di ossidazione e reazioni chimiche .....	3-16
3.1.4.3 – Appendice: soluzioni acquose, reazioni red-ox ed elettroliche, equivalente e peso equivalente .....	3-18
3.1.4.4 – Appendice: reazioni acido-base, normalità .....	3-19
3.1.5 La termodinamica dei sistemi elettrochimici .....	3-20
3.1.5.1 – Appendice: caratteristiche di alcuni elettrodi di riferimento ...	3-30
3.1.6 Cinetica elettrochimica e sovratensioni agli elettrodi polarizzati .....	3-30
3.1.6.1 La sovratensione di attivazione .....	3-30
3.1.6.2 L'elettrocinetica dei metalli in soluzione acquosa .....	3-40
3.1.7 Trasporto di massa e distribuzione di corrente in elettrodeposizione ...	3-49
3.1.7.1 Introduzione .....	3-49
3.1.7.2 Equazioni fondamentali per il trasporto .....	3-56
3.1.7.3 Sovratensione di concentrazione e sovratensione di tipo ohmico ..	3-68
3.1.7.4 L'analisi della distribuzione di corrente .....	3-72
Bibliografia .....	3-101
3.2 L'elettrodeposizione dei metalli .....	3-103
3.2.1 L'elettrodeposizione del rame e delle sue leghe .....	3-103
3.2.1.1 Bagni di ramatura cianoalcalina .....	3-103
3.2.1.2 Bagni di ramatura al pirofosfato .....	3-110
3.2.1.3 Bagni di ramatura acida .....	3-117
3.2.1.4 Bagni di ramatura al fluoborato .....	3-122
3.2.1.5 La deposizione leghe di rame, di ottone e bronzo .....	3-124
3.2.2 L'elettrodeposizione di nichel, leghe di nichel, ferro e cobalto .....	3-132
3.2.2.1 La nichelatura .....	3-132

---

3.2.2.2	Leghe di nichel: lega stagno-nichel .....	3-155
3.2.2.3	L'elettrodeposizione di ferro .....	3-160
3.2.2.4	L'elettrodeposizione di cobalto .....	3-162
3.2.3	L'elettrodeposizione di metalli preziosi .....	3-163
3.2.3.1	L'elettrodeposizione di oro e leghe .....	3-163
3.2.3.2	L'elettrodeposizione di argento .....	3-180
3.2.3.3	L'elettrodeposizione dei metalli del gruppo del platino .....	3-189
3.2.4	L'elettrodeposizione di cromo .....	3-206
3.2.4.1	La cromatura decorativa .....	3-206
3.2.4.2	La cromatura a spessore .....	3-217
3.2.5	L'elettrodeposizione di zinco, leghe di zinco e relativi post-trattamenti ..	3-231
3.2.5.1	Bagni cianoalcalini di zincatura .....	3-232
3.2.5.2	Bagni alcalini esenti da cianuro .....	3-235
3.2.5.3	Processi di zincatura acida .....	3-237
3.2.5.4	Leghe zinco-nichel .....	3-241
3.2.5.5	Leghe zinco-ferro .....	3-244
3.2.5.6	Leghe zinco-cobalto .....	3-246
3.2.5.7	Trattamenti di conversione cromica .....	3-246
3.2.5.8	Il controllo dei processi con la cella di Hull .....	3-251
3.2.6	L'elettrodeposizione di stagno e leghe .....	3-257
3.2.6.1	Introduzione sui rivestimenti, loro applicazioni e limiti ecoambientali che ne regolano l'impiego .....	3-257
3.2.6.2	Additivi e bagni di elettrodeposizione .....	3-259
3.2.6.3	Leghe per saldatura .....	3-268
3.2.6.4	Anodi .....	3-271
3.2.6.5	Metodi di analisi e controllo .....	3-272
3.2.7	L'elettrodeposizione di composti .....	3-276
3.2.7.1	Introduzione .....	3-276
3.2.7.2	Il meccanismo del processo di elettrodeposizione .....	3-277
3.2.7.3	Variabili di processo .....	3-278
3.2.8	L'elettroformatura .....	3-282
3.2.8.1	Introduzione .....	3-282
3.2.8.2	Il processo .....	3-283
3.2.8.3	Il prodotto .....	3-285
3.2.8.4	Requisiti relativi alla superficie dei modelli .....	3-294
3.2.8.5	Caratteristiche degli stampi in gomma .....	3-294
3.2.8.6	Caratteristiche della cera e relative al suo uso .....	3-294
3.2.9	L'elettrolucidatura .....	3-298
3.2.9.1	Cenni storici .....	3-298
3.2.9.2	La classificazione dei trattamenti superficiali .....	3-299
3.2.9.3	Sgrassatura elettrolitica, elettrodecapaggio ed elettrolucidatura ..	3-299
3.2.9.4	La definizione di elettrolucidatura .....	3-299
3.2.9.5	Vantaggi dell'elettrolucidatura .....	3-300
3.2.9.6	Il funzionamento dell'elettrolucidatura .....	3-302

3.2.9.7	Quali materiali possono essere elettrolucidati? .....	3-304
3.2.9.8	Lo schema di processo .....	3-304
3.2.9.9	Funzionamento e caratteristiche dell'impianto .....	3-304
3.2.9.10	La composizione di alcuni bagni di elettrolucidatura .....	3-305
3.2.9.11	Aspetti ecologici e ambientali .....	3-305
3.2.10	L'elettrodeposizione di rivestimenti da solventi non acquosi .....	3-309
3.2.10.1	Introduzione .....	3-309
3.2.10.2	L'alluminio e le sue leghe .....	3-310
3.2.10.3	Metalli del gruppo del platino .....	3-313
3.2.10.4	Terre rare .....	3-313
3.2.10.5	Metalli refrattari .....	3-314
3.2.10.6	Il titanio .....	3-315
3.2.10.7	Altri metalli di transizione .....	3-316
3.2.10.8	Altri rivestimenti e tecniche di deposizione .....	3-318
	Bibliografia .....	3-320
3.3	La preparazione delle superfici per la deposizione galvanica .....	3-329
3.3.1	La preparazione dei materiali metallici .....	3-329
3.3.1.1	Introduzione .....	3-329
3.3.1.2	Finitura meccanica e pulitura chimica .....	3-329
3.3.1.3	Lo sgrassaggio chimico .....	3-330
3.3.1.4	Lo sgrassaggio elettrolitico .....	3-331
3.3.1.5	L'attivazione acida .....	3-332
3.3.1.6	La neutralizzazione .....	3-332
3.3.1.7	Il risciacquo .....	3-332
3.3.1.8	Cicli di preparazione alla deposizione galvanica .....	3-332
3.3.1.9	Acciai a basso carbonio .....	3-334
3.3.1.10	Acciai ad alto carbonio .....	3-334
3.3.1.11	Acciai ad alta resistenza .....	3-335
3.3.1.12	Acciai inossidabili .....	3-336
3.3.1.13	L'alluminio .....	3-337
3.3.1.14	Il cobalto .....	3-338
3.3.1.15	Il rame e le sue leghe .....	3-338
3.3.1.16	Il piombo .....	3-339
3.3.1.17	Il magnesio .....	3-340
3.3.1.18	Il molibdeno .....	3-341
3.3.1.19	Il nichel .....	3-341
3.3.1.20	L'argento .....	3-341
3.3.1.21	Il titanio .....	3-341
3.3.1.22	Il tungsteno .....	3-342
3.3.1.23	Lo zinco e le sue leghe .....	3-343
3.3.1.24	Norme di sicurezza .....	3-343
3.3.2	Preparazione e metallizzazione di materiali non conduttori:	
	metallizzazione della plastica .....	3-345
3.3.2.1	Introduzione .....	3-345
3.3.2.2	Il mercato .....	3-348

3.3.2.3	Materie plastiche per l'elettrodeposizione .....	3-351
3.3.2.4	Il processo di metallizzazione della plastica .....	3-355
3.3.2.5	Operazioni fondamentali dalle sequenze operative dei processi .	3-360
3.3.2.6	La deposizione chimica di rame e nichel per la schermatura contro le interferenze da radiofrequenze e da radiazioni elettromagnetiche (RFI-EMI - shielding) .....	3-370
3.3.2.7	Accrescimento galvanico e deposizione di rame, nichel e cromo	3-370
3.3.2.8	Il controllo qualitativo della finitura .....	3-372
3.3.2.9	Aspetti ecologici .....	3-372
Bibliografia .....		3-372
3.4	Controlli e qualità in galvanica .....	3-375
3.4.1	Il controllo dei processi galvanici .....	3-375
3.4.1.1	Introduzione: la qualità .....	3-375
3.4.1.2	Processi galvanici .....	3-375
3.4.1.3	Il ciclo operativo .....	3-375
3.4.1.4	Grandezze controllabili .....	3-388
3.4.1.5	Altre grandezze controllabili: la cella di Hull e relative prove .	3-391
3.4.1.6	Il controllo statistico di processo (SPC) .....	3-399
3.4.2	Il controllo di prodotto .....	3-403
3.4.2.1	Introduzione .....	3-403
3.4.2.2	Composizione e microstruttura .....	3-403
3.4.2.3	La topografia delle superfici .....	3-404
3.4.2.4	Struttura cristallografica e sforzi residui .....	3-404
3.4.2.5	La duttilità .....	3-405
3.4.2.6	La misura dell'adesione rivestimento-substrato .....	3-405
3.4.2.7	Prove tribologiche .....	3-407
3.4.2.8	La durezza .....	3-408
3.4.2.9	Lo spessore .....	3-408
3.4.2.10	Prove di corrosione .....	3-411
3.4.2.11	La porosità .....	3-412
3.4.2.12	L'aspetto di una superficie .....	3-414
3.4.2.13	Il controllo del grado di decontaminazione di una superficie ..	3-414
Bibliografia .....		3-416
3.5	L'impiantistica .....	3-420
3.5.1	Impianti galvanici: criteri per la progettazione, l'automazione e la loro scelta .....	3-420
3.5.1.1	Introduzione .....	3-420
3.5.1.1	La classificazione degli impianti galvanici .....	3-421
3.5.1.2	Impianti a transfer .....	3-423
3.5.1.4	Impianti a bracci .....	3-425
3.5.1.5	Impianti a carri programmati .....	3-428
3.5.1.6	Vasche: materiali e criteri di costruzione .....	3-429
3.5.1.7	Strutture portanti .....	3-438
3.5.1.8	Comando e movimento carri .....	3-440

3.5.1.9	Riscaldamento e raffreddamento delle soluzioni e degli essiccatoi	3-441
3.5.1.10	Aspirazioni e controllo delle emissioni nell'ambiente di lavoro	3-445
3.5.1.11	Impianti e accessori per il trattamento in massa di minuterie	3-452
3.5.1.12	Trascinamenti e misure per il loro contenimento	3-460
3.5.1.13	La programmazione dei carri	3-464
3.5.1.14	Impianti speciali	3-466
3.5.2	L'alimentatore in corrente continua e pulsata	3-472
3.5.2.1	Introduzione	3-472
3.5.2.2	Diverse tecnologie per alimentare una cella elettrolitica	3-474
3.5.2.3	Alimentatori a impulsi	3-478
3.5.2.4	Indicazioni per l'installazione e l'uso corretto degli alimentatori	3-481
3.6	Aspetti ambientali	3-482
3.6.1	Normative ambientali che coinvolgono il mondo galvanico	3-482
3.6.1.1	La tutela della risorsa idrica: dalla legge 319/76 al D. Lgs 152/99, due prospettive radicalmente diverse	3-482
3.6.1.2	Alcune osservazioni "di merito" su D. Lgs. 152/99	3-483
3.6.1.3	Il regime autorizzatorio	3-485
3.6.1.4	Il sistema dei controlli: in particolare, dei campionamenti e analisi	3-485
3.6.1.5	Adempimenti per le imprese	3-486
3.6.1.6	Il sistema delle sanzioni	3-486
3.6.1.7	La gestione dei rifiuti	3-492
3.6.1.8	IPPC – Prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento	3-505
3.6.1.9	La valutazione del "rischio chimico" secondo il D. Lgs. n. 25 del 2/2/2002	3-513
3.6.2	Depurazione delle acque di scarico provenienti da impianti di trattamento delle superfici	3-526
3.6.2.1	Introduzione	3-526
3.6.2.2	La tipologia degli scarichi	3-527
3.6.2.3	Depurazione e trattamento degli scarichi	3-527
3.6.2.4	Impianti chimico-fisici di depurazione	3-530
3.6.2.5	Varie	3-543
3.6.2.6	Impianti a resine	3-544
3.7	Processi di deposizione di metalli da liquidi senza corrente	3-551
3.7.1	La deposizione da soluzioni per immersione (spostamento)	3-551
3.7.2	La deposizione chimica autocatalitica (electroless) di metalli	3-555
3.7.2.1	Il nichel	3-556
3.7.2.2	Il rame	3-571
3.7.2.3	Metalli preziosi	3-572
3.7.2.4	Il cobalto	3-574
3.7.2.5	Leghe	3-575
3.7.2.6	Compositi	3-576



3.7.3	L'immersione in metalli liquidi	3-578
3.7.3.1	La zincatura a caldo o galvanizzazione	3-578
3.7.3.2	Leghe di zinco	3-587
3.7.3.3	L'alluminizzazione	3-588
3.7.3.4	La stagnatura	3-588
3.7.4	L'anodizzazione di alluminio e sue leghe	3-589
3.7.4.1	Introduzione	3-589
3.7.4.2	Il processo di anodizzazione	3-590
3.7.4.3	Pretrattamenti e preparazione della superficie	3-593
3.7.4.4	Anodizzazione e proprietà dello strato di ossido anodico	3-596
3.7.4.5	L'anodizzazione decorativa	3-598
3.7.4.6	L'anodizzazione per usi architettonici	3-598
3.7.4.7	La colorazione integrale	3-599
3.7.4.8	L'anodizzazione dura	3-599
3.7.4.9	La colorazione dell'ossido anodico	3-599
3.7.4.10	La resistenza del colore dell'ossido anodico colorato	3-602
3.7.4.11	L'elettrocolorazione	3-603
3.7.4.12	La pigmentazione per precipitazione di composti insolubili	3-605
3.7.4.13	L'anodizzazione multicolore	3-605
3.7.4.14	Il fissaggio	3-605
3.7.4.15	Applicazioni	3-609
3.7.4.16	Manutenzione e pulizia delle superfici in alluminio anodizzato	3-609
	Bibliografia	3-614
	<b>Capitolo 4 - La deposizione di film spessi con processi thermal spray</b>	4-1
4.1	Tecniche di deposizione thermal spray	4-1
4.1.1	Pretrattamenti	4-3
4.1.2	Tecniche di deposizione plasma spray	4-8
4.1.2.1	Plasma spray in aria (APS)	4-8
4.1.2.2	Plasma spray sotto vuoto (VPS)	4-14
4.1.2.3	Plasma spray in atmosfera e temperatura controllata	4-16
4.1.3	Tecniche di spruzzatura termiche avanzate	4-17
4.1.3.1	Arco plasma trasferito (PTA)	4-17
4.1.3.2	La spruzzatura ipersonica (detonation gun)	4-18
4.1.4	Altre tecniche	4-20
4.1.4.1	High Velocity Oxygen Fuel (HVOF)	4-20
4.1.4.2	Flame spray	4-22
4.1.4.3	Electric arc spray	4-23
4.1.5	Confronto fra le varie tecniche di spruzzatura a caldo	4-25
4.1.6	Postrattamenti	4-26
4.1.6.1	Trattamenti non termici	4-26
4.1.6.2	Trattamenti termici	4-26
4.2	Materiali di riporto e proprietà	4-28

4.2.1 Proprietà meccaniche	4-33
4.2.1.1 Durezza e microdurezza	4-33
4.2.1.2 La forza di adesione	4-40
4.2.2 Attrito e usura	4-44
4.2.2.1 L'usura adesiva	4-47
4.2.2.2 L'usura abrasiva	4-48
4.2.2.3 L'usura erosiva	4-50
4.2.3 Proprietà termofisiche	4-51
4.2.3.1 Conducibilità termica e diffusività	4-53
4.2.3.2 L'espansione termica	4-58
4.2.3.3 La resistenza allo shock termico e alla corrosione a caldo	4-59
4.3 Applicazioni dei rivestimenti thermal spray	4-61
4.3.1 L'industria chimica	4-63
4.3.2 L'industria automobilistica	4-65
4.3.3 L'industria aeronautica e spaziale	4-65
4.3.4 L'industria elettronica	4-66
4.3.5 L'industria di produzione dell'energia	4-67
4.3.6 L'industria dell'acciaio e dei metalli non ferrosi	4-67
4.3.7 La medicina	4-68
4.3.8 L'industria della stampa	4-68
4.3.9 L'industria della carta	4-70
4.4 Misura delle proprietà e caratterizzazione dei rivestimenti thermal spray	4-71
4.4.1 La caratterizzazione della microstruttura	4-72
4.4.1.1 Il microscopio ottico (OM)	4-73
4.4.1.2 La diffrazione a raggi X (XRD)	4-75
4.4.1.3 Scanning electron microscope (SEM)	4-75
4.4.1.4 Transmission electron microscope (TEM)	4-76
4.4.1.5 X-ray photoelectron spectrometry (XPS)	4-76
4.4.2 La caratterizzazione delle proprietà dei rivestimenti	4-76
4.4.2.1 Proprietà meccaniche	4-76
4.4.2.2 Proprietà fisiche	4-83
4.4.3 La caratterizzazione della qualità dei rivestimenti	4-87
4.4.3.1 Metodi acustici	4-87
4.4.3.2 Metodi termici	4-88
Bibliografia	4-90
<b>Capitolo 5 - Trattamenti superficiali con laser</b>	<b>5-1</b>
5.1 La tipologia di trattamenti superficiali con laser	5-2
5.1.1 Indurimenti	5-2
5.1.1.1 La tempra superficiale senza fusione	5-2
5.1.1.2 La tempra superficiale con rifusione	5-12
5.1.2 Riporti	5-16
5.1.2.1 Riporti metallici	5-16
5.1.2.2 Riporti metallo-ceramici	5-27
5.1.2.3 Riporti meccanici	5-28

5.1.3	Alligazioni	5-30
5.1.3.1	Alligazioni solide	5-30
5.1.3.2	Alligazioni gassose	5-32
5.1.4	La pulitura superficiale	5-38
5.1.5	La sverniciatura	5-42
5.1.6	Ablazione e microlavorazioni	5-44
5.2	Tecniche e attrezzature di trattamento superficiale con laser	5-55
5.2.1	Principi del laser	5-55
5.2.1.1	L'emissione laser	5-55
5.2.1.2	Proprietà del fascio laser	5-57
5.2.1.3	Il pompaggio	5-58
5.2.1.4	La cavità risonante	5-59
5.2.2	Tipi di laser per trattamento superficiale	5-61
5.2.2.1	Il laser CO <sub>2</sub> continuo e ad impulsi normali	5-61
5.2.2.2	Il laser CO <sub>2</sub> superimpulsato (TEA)	5-64
5.2.2.3	Il laser Nd: YAG continuo e ad impulsi normali	5-66
5.2.2.4	Il laser Nd: YAG superimpulsato (Q-sw)	5-67
5.2.2.5	Il diodo laser di potenza (HPDL)	5-68
5.2.2.6	Il laser a eccimeri	5-70
5.2.3	Sistemi ottici per trattamenti superficiali	5-71
5.2.3.1	Integratori di fascio	5-71
5.2.3.2	Guide d'onda	5-73
5.2.3.3	Altri sistemi per omogeneizzare il fascio	5-75
5.2.3.4	Sistemi per il recupero dell'energia riflessa	5-76
5.2.4	Sistemi di adduzione del materiale d'apporto	5-78
5.2.4.1	La polvere	5-78
5.2.4.2	Il filo	5-78
5.2.5	Celle di lavorazione	5-79
5.2.5.1	La catena ottica: propagazione del fascio laser	5-79
5.2.5.2	La catena ottica: la testa laser	5-81
5.2.5.3	Il sistema di adduzione del materiale d'apporto	5-83
5.2.5.4	Assi di movimentazione	5-83
5.2.5.5	Sicurezze	5-83
5.3	Applicazioni	5-84
5.3.1	L'automotive	5-84
5.3.2	L'aerospaziale	5-92
5.3.3	La meccanica	5-95
5.3.4	L'industria energetica	5-100
5.3.5	L'industria manifatturiera varia	5-103
5.4	La caratterizzazione	5-107
5.4.1	La preparazione del campione	5-107
5.4.2	La microscopia	5-108
5.4.2.1	La microscopia	5-108
5.4.2.2	La microscopia ottica	5-109
5.4.2.3	La microscopia elettronica	5-109

5.4.3 Prove meccaniche .....	5-111
5.4.3.1 La durezza .....	5-111
5.4.3.2 La rugosità superficiale .....	5-112
5.4.3.3 L'adesione .....	5-113
5.4.3.4 Prove tribologiche .....	5-113
5.4.4 Prove non distruttive .....	5-114
5.4.4.1 Liquidi penetranti .....	5-114
5.4.5 La diffrattometria a raggi X .....	5-115
Bibliografia .....	5-116

<b>Capitolo 6 - La verniciatura</b> .....	6-1
6.1 Costituenti di un rivestimento organico .....	6-2
6.1.1 Il legante .....	6-3
6.1.1.1 Resine alchidiche .....	6-4
6.1.1.2 Resine acriliche .....	6-5
6.1.1.3 Resine epossidiche .....	6-7
6.1.1.4 Resine poliuretaniche .....	6-8
6.1.1.5 Resine viniliche .....	6-11
6.1.1.6 Resine amminiche .....	6-12
6.1.1.7 Resine fenoliche .....	6-13
6.1.1.8 Resine poliestere .....	6-14
6.1.2 Pigmenti .....	6-16
6.1.2.1 Pigmenti primari .....	6-17
6.1.2.2 Pigmenti bianchi .....	6-23
6.1.2.3 Pigmenti neri .....	6-23
6.1.2.4 Pigmenti marroni .....	6-23
6.1.2.5 Pigmenti gialli .....	6-24
6.1.2.6 Pigmenti arancioni .....	6-24
6.1.2.7 Pigmenti rossi .....	6-24
6.1.2.8 Pigmenti blu e verdi .....	6-24
6.1.3 Cariche o riempitivi .....	6-25
6.1.3.1 Inibitori della flash corrosion .....	6-27
6.1.4 Solventi e diluenti .....	6-27
6.1.5 Additivi .....	6-29
6.1.5.1 Additivi che esaltano le caratteristiche anticorrosive .....	6-29
6.1.5.2 Antischiuma .....	6-29
6.1.5.3 Agenti antisedimentazione .....	6-30
6.1.5.4 Agenti antipelle .....	6-30
6.1.5.5 Inibitori anticorrosione di lattine .....	6-31
6.1.5.6 Additivi antigas/deidratori .....	6-31
6.1.5.7 Disperdenti .....	6-31
6.1.5.8 Essiccatori .....	6-32
6.1.5.9 Additivi antiaffioramento e antisfiammatura .....	6-32

---

6.1.5.10 Assorbitori di ultravioletti	6-32
6.1.5.11 Pigmenti antivegetativi ( <i>antifouling</i> )	6-33
6.1.5.12 Additivi antisilicone	6-33
6.1.5.13 Conservanti in lattina	6-33
6.1.5.14 Additivi antistatici	6-34
6.1.5.15 Conservanti dei film	6-34
6.1.5.16 Sbiancanti	6-34
6.2 La formazione di un film organico	6-35
6.2.1 L'applicazione	6-35
6.2.1.1 Distensione ed evaporazione	6-36
6.2.1.2 La temperatura di transizione vetrosa	6-38
6.2.2 L'essiccazione	6-39
6.2.2.1 L'inizio dell'essiccazione	6-40
6.2.2.2 L'indurimento ( <i>curing</i> )	6-41
6.2.2.3 L'ossidazione	6-42
6.2.2.4 L'indurimento in forno	6-43
6.3 L'innovazione nei prodotti organici	6-44
6.3.1 Sistemi water borne	6-44
6.3.1.1 Lattici	6-49
6.3.2 Rivestimenti high solid	6-50
6.3.3 Sistemi di reticolazione indotta da radiazioni ( <i>radiation cure systems</i> )	6-52
6.3.3.1 Vantaggi, svantaggi e applicazioni	6-53
6.4 Tecnologie di produzione	6-55
6.4.1 La verniciatura a spruzzo	6-55
6.4.1.1 La spruzzatura pneumatica	6-59
6.4.1.2 La spruzzatura ad alta pressione ( <i>airless</i> )	6-62
6.4.1.3 La spruzzatura mista	6-63
6.4.1.4 La spruzzatura elettrostatica	6-66
6.4.1.5 La spruzzatura a caldo	6-68
6.4.2 La verniciatura per immersione	6-69
6.4.3 La verniciatura a polveri	6-70
6.4.3.1 Resine	6-71
6.4.3.2 Parametri di produzione	6-72
6.4.3.3 L'impianto	6-75
6.4.3.4 L'applicazione della vernice a polveri	6-78
6.4.3.5 Vantaggi e limiti	6-82
6.4.4 Coil coating	6-83
6.4.4.1 Il processo coil coating	6-84
6.4.4.2 Il supporto	6-84
6.4.4.3 Trattamenti di conversione chimica	6-89
6.4.4.4 Stadi del pretrattamento	6-89
6.4.4.5 L'applicazione delle vernici	6-93
6.4.4.6 La cottura delle vernici	6-93
6.4.4.7 Recenti sviluppi della tecnologia coil coating	6-96

6.4.4.8 Nastri protettivi	6-97
6.4.4.9 Vantaggi e svantaggi del coil coating	6-98
6.4.5 La deposizione elettroforetica	6-99
6.4.5.1 Rivestimenti per deposizione anodica	6-100
6.4.5.2 Rivestimenti per deposizione catodica	6-101
6.4.5.3 Vantaggi e svantaggi del processo	6-106
6.5 Sistemi duplex	6-107
6.5.1 Problemi di degrado superficiale	6-109
6.6 Proprietà dei rivestimenti organici	6-109
6.6.1 Proprietà meccaniche	6-109
6.6.1.1 Proprietà viscoelastiche	6-110
6.6.1.2 Formabilità e flessibilità	6-111
6.6.1.3 La resistenza all'abrasione e al marring	6-114
6.6.2 La protezione del substrato	6-115
6.6.2.1 La barriera fisica: diffusione nei polimeri e permeabilità	6-115
6.6.2.2 La resistenza dielettrica	6-121
6.6.3 Altre proprietà fondamentali del rivestimento	6-121
6.6.3.1 L'adesione	6-121
6.6.3.2 La capacità di espandersi e contrarsi	6-124
6.6.3.3 La resistenza alle temperature estreme	6-125
6.6.3.4 La resistenza all'atmosfera	6-126
6.6.4 Colore e aspetto	6-127
6.6.5 La brillantezza	6-128
6.7 Meccanismi di degrado e di cedimento	6-129
6.7.1 Tipi di difetti	6-129
6.7.1.1 Forme di degrado legate alla formulazione	6-130
6.7.1.2 Forme di degrado legate all'adesione	6-132
6.7.1.3 Difetti legati alla tecnica di applicazione della vernice e ai parametri di processo	6-134
6.7.1.4 Difetti legati alla scelta del rivestimento in funzione delle condizioni di esercizio	6-136
6.7.1.5 Difetti legati al tipo di struttura da rivestire	6-137
6.7.2 Meccanismi di degrado dei rivestimenti organici	6-137
6.7.2.1 La degradazione fotoossidativa	6-137
6.7.2.2 Cathodic delamination	6-143
6.7.2.3 Anodic undernining	6-145
6.8 Metodi di misura e di controllo	6-146
6.8.1 Prove meccaniche sui rivestimenti	6-146
6.8.1.1 La durezza	6-147
6.8.1.2 Formabilità e flessibilità	6-147
6.8.1.3 La resistenza all'impatto	6-148
6.8.1.4 La resistenza all'abrasione	6-148
6.8.2 Prove sull'adesione	6-148
6.8.3 Prove di laboratorio e durabilità	6-150
6.8.3.1 La resistenza ai solventi	6-150

6.8.3.2 Salt spray .....	6-151
6.8.3.3 Raggi UV .....	6-152
6.8.3.4 Prove accelerate .....	6-153
6.8.4 L'analisi delle modificazioni chimiche e meccaniche .....	6-155
6.8.4.1 DSC .....	6-156
6.8.4.2 DMTA .....	6-157
6.8.4.3 FTIR .....	6-159
6.8.4.4 Misure di impedenza .....	6-160
Bibliografia .....	6-165
<b>Capitolo 7 - La smaltatura porcellanata .....</b>	<b>7-1</b>
7.1 Cenni storici .....	7-1
7.2 Lo smalto porcellanato .....	7-3
7.2.1 La definizione .....	7-3
7.2.2 La composizione .....	7-4
7.3 Proprietà dello smalto porcellanato .....	7-4
7.3.1 Proprietà termiche .....	7-4
7.3.1.1 L'incombustibilità .....	7-4
7.3.1.2 La resistenza alle alte temperature .....	7-5
7.3.1.3 La resistenza allo shock termico .....	7-7
7.3.2 Proprietà chimiche .....	7-7
7.3.2.1 La resistenza alla corrosione .....	7-7
7.3.2.2 La resistenza agli agenti chimici .....	7-7
7.3.2.3 La resistenza agli agenti atmosferici .....	7-8
7.3.3 Proprietà meccaniche .....	7-8
7.3.3.1 L'impermeabilità ai liquidi .....	7-8
7.3.3.2 La durezza superficiale .....	7-8
7.3.3.3 La resistenza all'abrasione .....	7-9
7.3.3.4 La resistenza agli urti .....	7-9
7.3.4 Proprietà elettriche .....	7-9
7.3.5 Proprietà fisiche .....	7-10
7.3.5.1 La conducibilità termica del composito supporto-smalto .....	7-10
7.3.5.2 La brillantezza o lucentezza superficiale .....	7-10
7.3.5.3 La colorabilità .....	7-10
7.3.5.4 La stabilità dei colori .....	7-10
7.3.5.5 L'igienicità .....	7-10
7.3.5.6 La facilità di pulizia .....	7-11
7.3.6 Principali settori d'impiego dello smalto porcellanato .....	7-11
7.4 La produzione delle fritte e degli smalti .....	7-12
7.4.1 La produzione delle fritte: cenni .....	7-12
7.4.2 La macinazione: cenni .....	7-16
7.4.3 Controlli di macinazione .....	7-17
7.4.3.1 Controllo della finezza di macinazione .....	7-17
7.4.3.2 Controllo della densità della torbida .....	7-17
7.4.3.3 Controllo della consistenza della torbida .....	7-17

7.5 Supporti smaltabili: caratteristiche .....	7-18
7.5.1 L'acciaio .....	7-18
7.5.1.1 Acciaio per leggero stampaggio .....	7-18
7.5.1.2 Acciai per medio stampaggio .....	7-19
7.5.1.3 Acciai per profondo stampaggio .....	7-20
7.5.1.4 Parametri qualitativi degli acciai da smaltatura e problematiche in utilizzo .....	7-21
7.5.2 La ghisa .....	7-21
7.5.2.1 La formatura dei prodotti .....	7-23
7.5.2.2 La formatura in "terra a verde" .....	7-23
7.5.2.3 La formatura sotto vuoto .....	7-23
7.5.2.4 La formatura in conchiglia .....	7-23
7.5.2.5 Composizione chimica e struttura metallografica .....	7-23
7.5.2.6 La ghisa smaltabile .....	7-24
7.5.2.7 La progettazione .....	7-25
7.5.3 L'alluminio e le sue leghe .....	7-25
7.5.3.1 Il processo produttivo dell'allumina .....	7-25
7.5.3.2 Il processo di produzione dell'alluminio .....	7-26
7.5.3.3 Formati prodotti in fonderia .....	7-26
7.5.3.4 Nastri da colata continua .....	7-26
7.5.3.5 La laminazione .....	7-26
7.5.3.6 Impianti di estrusione .....	7-27
7.5.3.7 Dischi per utensili da cucina .....	7-27
7.5.3.8 Leghe per pentolame .....	7-28
7.5.3.9 Leghe per smaltatura .....	7-28
7.5.4 Il vetro .....	7-29
7.5.4.1 La composizione chimica .....	7-31
7.5.4.2 Proprietà chimiche e fisiche .....	7-31
7.5.4.3 La produzione .....	7-33
7.5.4.4 La smaltabilità del vetro .....	7-34
7.6 Il pretrattamento .....	7-34
7.6.1 Il pretrattamento dell'acciaio .....	7-35
7.6.1.1 La sezione di sgrassaggio .....	7-35
7.6.1.2 La sezione di decapaggio .....	7-36
7.6.1.3 La sezione di trattamento .....	7-39
7.6.1.4 La sezione di neutralizzazione .....	7-39
7.6.1.5 La sezione di asciugamento .....	7-39
7.6.1.6 La scelta dell'impianto .....	7-40
7.6.1.7 Il pretrattamento di lamiere di grosso spessore .....	7-40
7.6.2 Il pretrattamento della ghisa .....	7-41
7.6.2.1 Il ciclo di pretrattamento .....	7-41
7.6.2.2 Tipi di impianto .....	7-42
7.6.2.3 Abrasivi .....	7-42
7.6.3 Il pretrattamento dell'alluminio .....	7-43
7.6.3.1 Principi fondamentali .....	7-43



7.6.3.2 Cicli di pretrattamento .....	7-44
7.6.3.3 Tipi di impianti .....	7-44
7.6.4 Il pretrattamento del vetro .....	7-46
7.7 L'applicazione dello smalto porcellanato .....	7-46
7.7.1 La smaltatura dell'acciaio .....	7-46
7.7.1.1 La smaltatura a umido .....	7-46
7.7.1.2 La smaltatura elettrostatica a polvere .....	7-51
7.7.1.3 La smaltatura multistrato nelle varie versioni .....	7-57
7.7.1.4 La smaltatura diretta .....	7-58
7.7.1.5 La smaltatura elettroforetica .....	7-59
7.7.1.6 Smaltature speciali .....	7-62
7.7.2 La smaltatura della ghisa .....	7-63
7.7.2.1 L'applicazione a liquido .....	7-63
7.7.2.2 L'applicazione a spolvero .....	7-63
7.7.3 La smaltatura dell'alluminio .....	7-64
7.7.3.1 La smaltatura a liquido: a spruzzo .....	7-64
7.7.3.2 La smaltatura a liquido: a versamento .....	7-64
7.7.4 La smaltatura del vetro .....	7-64
7.7.4.1 L'applicazione per serigrafia .....	7-64
7.7.4.2 L'applicazione a rullo .....	7-64
7.7.4.3 L'applicazione a velatrice .....	7-65
7.7.4.4 L'applicazione in tampografia .....	7-65
7.8 L'essiccazione .....	7-65
7.9 La cottura di vetrificazione .....	7-66
7.9.1 I tipi di forni .....	7-67
7.9.2 Tipi di cottura per i diversi supporti .....	7-69
7.9.2.1 L'acciaio smaltato .....	7-69
7.9.2.2 La ghisa smaltata a liquido .....	7-71
7.9.2.3 La ghisa smaltata a spolvero .....	7-72
7.9.2.4 L'alluminio smaltato .....	7-73
7.9.2.5 Il vetro smaltato .....	7-73
7.10 La progettazione dei manufatti destinati alla smaltatura .....	7-73
7.10.1 Il pretrattamento del supporto .....	7-74
7.10.2 L'applicazione dello smalto porcellanato .....	7-74
7.10.3 La cottura dello smalto porcellanato .....	7-74
7.11 Una nuova tecnologia: la smaltatura di lamiera alluminata .....	7-76
7.11.1 La resistenza alla corrosione .....	7-77
7.11.2 Il processo di smaltatura .....	7-77
7.11.2.1 Il pretrattamento .....	7-77
7.11.2.2 L'applicazione dello smalto .....	7-77
7.11.2.3 La cottura dello smalto .....	7-77
7.11.3 Vantaggi della smaltatura della lamiera alluminata .....	7-77
7.12 La smaltatura e l'ambiente .....	7-78
Bibliografia .....	7-79

<b>Capitolo 8 - Trattamenti termici, termochimici e termomeccanici</b> .....	8-1
8.1 Trattamenti termici, termochimici e termomeccanici degli acciai .....	8-1
8.1.1 Generalità dei trattamenti termici degli acciai .....	8-1
8.1.1.1 Diagrammi per lo studio delle trasformazioni strutturali dell'acciaio .....	8-2
8.1.1.2 Il diagramma di stato ferro-carbonio .....	8-2
8.1.1.3 Punti critici .....	8-13
8.1.1.4 L'influenza della velocità di raffreddamento .....	8-15
8.1.1.5 Curve di Bain (o curve isoterme) .....	8-16
8.1.1.6 Curve TTT per le leghe ferro-carbonio .....	8-20
8.1.1.7 L'influenza degli elementi di lega e di altri fattori sullo spostamento delle curve TTT .....	8-21
8.1.1.8 Curve di trasformazione anisoterma dell'austenite .....	8-24
8.1.1.9 Strutture degli acciai .....	8-29
8.1.2 Trattamenti termici convenzionali degli acciai .....	8-39
8.1.2.1 Generalità dei trattamenti termici convenzionali degli acciai ..	8-39
8.1.2.2 Colori di riscaldamento .....	8-41
8.1.2.3 Tipi di trattamento termico .....	8-41
8.1.2.4 Diagrammi di sequenza tempo-temperatura .....	8-76
8.1.2.5 Impianti di trattamento termico .....	8-77
8.1.2.6 Mezzi di raffreddamento .....	8-81
8.1.2.7 Il lavaggio dei pezzi prima e dopo il trattamento termico .....	8-81
8.1.3 Trattamenti isotermici degli acciai .....	8-82
8.1.3.1 Generalità dei trattamenti isotermici degli acciai .....	8-82
8.1.3.2 La ricottura isotermica .....	8-82
8.1.3.3 La ricottura isotermica di globulizzazione .....	8-83
8.1.3.4 La ricottura isotermica normale .....	8-84
8.1.3.5 La ricottura bianco e nero .....	8-84
8.1.3.6 Il patentamento .....	8-85
8.1.3.7 La tempra bainitica (bonifica isotermica o austempering) .....	8-85
8.1.4 Trattamenti termochimici degli acciai .....	8-86
8.1.4.1 Generalità dei trattamenti termochimici degli acciai .....	8-86
8.1.4.2 Nitrurazione e nitrocarburazione .....	8-87
8.1.4.3 La nitrurazione gassosa .....	8-92
8.1.4.4 La nitrurazione morbida .....	8-93
8.1.4.5 La nitrurazione in bagno di sali (nitrurazione salina) .....	8-93
8.1.4.6 La nitrocarburazione ferritica salina aerata .....	8-95
8.1.4.7 La solfonitrocarburazione ferritica .....	8-95
8.1.4.8 La nitrocarburazione ferritica-gassosa .....	8-96
8.1.4.9 La nitrocarburazione ionica o ionitrocarburazione .....	8-98
8.1.4.10 Cementazione e carbonitrocarburazione .....	8-99
8.1.4.11 Cementazione e carboementazione .....	8-102
8.1.5 Altri trattamenti sugli acciai .....	8-112
8.1.5.1 La borurazione .....	8-112
8.1.5.2 La cromizzazione .....	8-113

8.1.5.3 L'alluminatura o calorizzazione .....	8-113
8.1.5.4 La silicizzazione .....	8-113
8.1.5.5 Il rinvenimento in vapore .....	8-113
8.1.5.6 La sulfinazione .....	8-113
8.1.5.7 La fosfatizzazione o ossalizzazione .....	8-113
8.1.5.8 La sherardizzazione .....	8-114
8.1.6 Trattamenti termomeccanici degli acciai .....	8-114
8.1.6.1 Generalità dei trattamenti termomeccanici degli acciai .....	8-114
8.1.6.2 Trattamenti termomeccanici a bassa temperatura .....	8-114
8.1.6.3 Trattamenti termomeccanici ad alta temperatura .....	8-115
8.1.6.4 L'isoformatura .....	8-115
8.1.6.5 Trattamenti termomeccanici combinati .....	8-117
8.2 Trattamenti termici delle ghise .....	8-117
8.2.1 La stabilizzazione .....	8-117
8.2.2 La ricottura .....	8-119
8.2.3 La normalizzazione .....	8-120
8.2.4 La tempra .....	8-121
8.2.4.1 La tempra superficiale allo chalumeau .....	8-122
8.2.4.2 La tempra a induzione .....	8-125
8.2.4.3 La tempra di massa (quench hardening) .....	8-127
8.2.4.4 La tempra bainitica (austempering) .....	8-127
8.2.4.5 La tempra isoterma martenisitica (martempering) .....	8-127
8.2.5 Trattamenti termici delle ghise sferoidali .....	8-128
8.2.5.1 La stabilizzazione .....	8-128
8.2.5.2 La normalizzazione .....	8-131
8.2.5.3 La ricottura di ferritizzazione completa .....	8-131
8.2.5.4 La bonifica .....	8-132
8.2.5.5 La tempra superficiale .....	8-137
Bibliografia .....	8-138