

# Indice

- XV Prefazione  
XVII Prefazione all'edizione originale  
XIX L'Editore ringrazia

## 3 Capitolo primo • Introduzione alla scienza e all'ingegneria dei materiali

- 4 1.1. Cosa sono la scienza e l'ingegneria dei materiali?  
7 1.2. Classificazione dei materiali  
Metalli e leghe, 8 – Ceramiche, 9 – Vetri e vetro-ceramiche, 9 – Polimeri, 9 – Semiconduttori, 10 – Materiali compositi, 10  
11 1.3. Classificazione funzionale dei materiali  
Ambito aerospaziale, 12 – Ambito biomedico, 12 – Materiali elettronici, 12 – Tecnologie energetiche e tecnologie ambientali, 12 – Materiali magnetici, 12 – Materiali fotonici o ottici, 13 – Materiali intelligenti, 13 – Materiali strutturali, 13  
13 1.4. Classificazione dei materiali in base alla struttura  
14 1.5. Effetti ambientali ed altri effetti  
Temperatura, 14 – Corrosione, 16 – Fatica, 16 – Tasso di deformazione, 16  
16 1.6. Progettazione e selezione dei materiali  
18 **Riassunto**  
19 **Problemi**

## 21 Capitolo secondo • La struttura atomica

- 22 2.1. La struttura dei materiali: rilevanza tecnologica  
25 2.2. La struttura dell'atomo  
26 2.3. La struttura elettronica dell'atomo  
Numeri quantici, 26 – Deviazioni dalle configurazioni elettroniche attese, 27 – Valenza, 28 – Stabilità atomica ed elettronegatività, 29  
29 2.4. La tavola periodica  
Proprietà degli elementi in funzione della posizione nella tavola periodica, 31  
32 2.5. Legami atomici  
Il legame metallico, 32 – Il legame covalente, 33 – Il legame ionico, 35 – Legame di van der Waals, 36 – Legami misti, 38  
39 2.6. Energia di legame e distanza interatomica  
41 2.7. Le varie forme del carbonio: relazioni tra le disposizioni atomiche e le proprietà dei materiali

47 **Riassunto**

48 **Problemi**

49 **Problemi di progettazione**

51 **Capitolo terzo • Disposizioni atomiche e ioniche**

52 3.1 Ordine a corto raggio vs ordine a lungo raggio

Nessun ordine, 52 – Ordine a corto raggio, 52 – Ordine a lungo raggio, 53

54 3.2 Materiali amorfi

56 3.3 Reticolo, unità base, celle unitarie e strutture cristalline

Cella unitaria, 58 – Parametri reticolari e angoli interassiali, 59 – Numero di atomi per cella unitaria, 61 – Relazione tra raggio atomico e parametro reticolare, 63 – Il reticolo esagonale e la cella unitaria, 64 – Il numero di coordinazione, 65 – Fattore di compattazione, 65 – Densità, 66 – La struttura esagonale compatta, 67

68 3.4 Trasformazioni allotropiche o polimorfiche

69 3.5 Punti, direzioni e piani nella cella unitaria

Le coordinate dei punti, 69 – Le direzioni nella cella unitaria, 69 – Significato delle direzioni cristallografiche, 71 – Distanza di ripetizione, densità lineare e frazione di compattazione, 72 – Piani nella cella unitaria, 72 – Costruzione delle direzioni e dei piani, 75 – Indici di Miller per la cella unitaria esagonale, 75 – Direzioni e piani di massima compattazione, 77 – Comportamento isotropo e anisotropo, 78 – Distanza interplanare, 79

79 3.6 Siti interstiziali

80 3.7 Strutture cristalline dei materiali ionici

Raggi ionici, 81 – Neutralità elettrica, 82 – Connessione tra poliedri di anioni, 82 – Struttura del cloruro di sodio, 83 – La struttura della blenda, 83 – Struttura della fluorite, 84 – Struttura del corindone, 85

87 3.8 Le strutture covalenti

Struttura cubica del diamante, 87 – Silice cristallina, 89 – Polimeri cristallini, 89

90 3.9 Tecniche di diffrazione per l'analisi della struttura cristallina

Diffrazione e microscopia elettronica, 93

95 **Riassunto**

96 **Problemi**

101 **Problemi di progettazione**

103 **Capitolo quarto • Difetti nella disposizione atomica e ionica**

104 4.1 Difetti di punto

Vacanze, 105 – Difetti interstiziali, 107 – Difetti sostituzionali, 109

110 4.2 Altri difetti di punto

112 4.3 Dislocazioni

Dislocazione a vite, 112 – Dislocazione a spigolo, 113 – Dislocazioni miste, 113 – Sforzi, 114 – Moto delle dislocazioni, 114 – Scorrimento, 115

120 4.4 Significato fisico delle dislocazioni

121 4.5 La legge di Schmid

123 4.6 Influenza della struttura cristallina

Sforzo di taglio indotto critico, 124 – Numero dei sistemi di scorrimento, 124 – Cross-scorrimento, 125

126 4.7 Difetti di superficie

Superficie dei materiali, 126 – Bordi di grano, 126 – Bordo di grano a basso angolo, 129 – Difetti di impilamento, 129 – Bordi geminati, 129 – Bordi di dominio, 130

- 131 4.8 Importanza dei difetti  
Effetto sulle proprietà meccaniche controllando il processo di scorrimento, 131 – Incrudimento, 131 – Rafforzamento per soluzione solida, 132 – Rafforzamento per riduzione della dimensione dei grani, 132 – Effetti sulle proprietà elettriche, ottiche e magnetiche, 133
- 135 **Riassunto**
- 136 **Problemi**
- 140 **Problemi di progettazione**
- 141 **Capitolo quinto • Movimenti di atomi e ioni nei materiali**
- 142 5.1. Applicazioni della diffusione  
Diffusione, 142 – Indurimento superficiale degli acciai per carburazione, 142 – Diffusione di elementi droganti per dispositivi semiconduttori, 143 – Ceramiche conduttive, 143 – Produzione di bottiglie di plastica, 143 – Ossidazione dell'alluminio, 143 – Rivestimenti e film sottili, 143 – Rivestimenti per barriere termiche per palette di turbine, 143 – Fibre ottiche e componenti per microelettronica, 144
- 145 5.2. Stabilità di atomi e ioni
- 147 5.3. Meccanismi di diffusione  
Interdiffusione, 147 – Diffusione per vacanze, 148 – Diffusione interstiziale, 148
- 148 5.4. Energia di attivazione per la diffusione
- 150 5.5. Tasso di diffusione [prima legge di Fick]  
Gradiente di concentrazione, 150
- 153 5.6. Fattori che influenzano la diffusione  
Temperatura e coefficiente di diffusione, 153 – Tipologie di diffusione, 157 – Tempo, 157 – Dipendenza dal legame atomico e dalla struttura cristallina, 158 – Dipendenza dalla concentrazione delle specie che diffondono e dalla composizione della matrice, 159
- 159 5.7. Permeabilità dei polimeri
- 160 5.8. Profilo di composizione [seconda legge di Fick]  
Limitazioni all'applicazione della soluzione funzione di errore fornita dall'equazione 5.7, 165
- 165 5.9. Diffusione e lavorazione dei materiali  
Fusione e colata in stampo, 165 – Sinterizzazione, 165 – Crescita dei grani, 168 – Unione per diffusione, 169
- 170 **Riassunto**
- 171 **Problemi**
- 175 **Problemi di progettazione**
- 177 **Capitolo sesto • Proprietà meccaniche: Prima parte**
- 178 6.1. Rilevanza tecnologica
- 179 6.2. Terminologia delle proprietà meccaniche
- 185 6.3. La prova di trazione: il diagramma sforzo-deformazione  
Concetti di sforzo e deformazione, 186 – Unità di misura, 187
- 188 6.4. Proprietà valutabili da una prova di trazione  
Carico di snervamento, 188 – Resistenza a rottura (carico di rottura), 189 – Proprietà elastiche, 191 – Tenacità a frattura, 193 – Duttilità, 193 – Influenza della temperatura, 194
- 195 6.5. Sforzo e deformazione reali
- 198 6.6. Prova di flessione per materiali fragili
- 200 6.7. Durezza dei materiali

- 202 6.8. Nanoindentazione
- 205 6.9. Effetti del tasso di deformazione e comportamento all'impatto
- 206 6.10. Proprietà deducibili da una prova di impatto  
Temperatura di transizione duttile-fragile, 206 – Sensibilità all'intaglio, 207 – Relazione con il diagramma sforzo-deformazione, 207 – Applicazioni delle proprietà di impatto, 208
- 209 6.11. I vetri metallici e il loro comportamento meccanico
- 211 6.12. Comportamento meccanico a piccole scale dimensionali
- 214 **Riassunto**
- 215 **Problemi**
- 
- 221 **Capitolo settimo • Proprietà meccaniche: Seconda parte**
- 221 7.1 Meccanica della frattura
- 224 7.2 L'importanza della meccanica della frattura  
Scelta del materiale, 225 – Progettazione del componente, 225 – Progettazione del processo di lavorazione o del metodo di prova, 225 – Frattura fragile, 225
- 228 7.3 Caratteristiche microstrutturali di frattura in materiali metallici  
Frattura duttile, 228 – Frattura fragile, 230
- 231 7.4 Caratteristiche microstrutturali della frattura in ceramiche, vetri e compositi
- 233 7.5 La statistica di Weibull per analizzare la resistenza alla rottura
- 238 7.6 Fatica
- 241 7.7 Risultati della prova di fatica
- 243 7.8 Applicazione della prova di fatica  
Tasso di crescita della cricca, 244 – Effetti della temperatura, 246
- 246 7.9 Scorrimento viscoso, rottura sotto sforzo e tensocorrosione  
Tensocorrosione, 247
- 248 7.10 Valutazione dello scorrimento viscoso  
Dislocazione di risalita, 249 – Tasso di scorrimento e tempo di rottura, 249
- 250 7.11 Uso dei dati di scorrimento viscoso
- 252 **Riassunto**
- 253 **Problemi**
- 258 **Problemi di progettazione**
- 
- 261 **Capitolo ottavo • Incrudimento e ricottura**
- 262 8.1. Relazione tra lavorazione a freddo e la curva sforzo-deformazione  
Esponente di incrudimento ( $n$ ), 263 – Sensibilità al tasso di deformazione, 265 – Ritorno elastico, 267 – Effetto Bauschinger, 267
- 267 8.2. I meccanismi di incrudimento
- 270 8.3. Proprietà rispetto alla percentuale di lavorazione a freddo
- 271 8.4. Microstruttura, rafforzamento per orientazione preferenziale dei grani e tensioni residue  
Comportamento anisotropo, 272 – Formazione della tessitura dei grani nei film sottili, 274 – Tensioni residue, 274 – Tempra e ricottura dei vetri, 276
- 276 8.5. Caratteristiche della lavorazione a freddo
- 279 8.6. I tre stadi della ricottura  
Recupero, 280 – Ricristallizzazione, 280 – Crescita del grano, 281

- 281 8.7. Il controllo della ricottura  
Temperatura di ricristallizzazione, 282 – Dimensione del grano di ricristallizzazione, 283
- 283 8.8. Ricottura e trattamento dei materiali  
Processo di deformazione, 283 – Alte temperature di servizio, 284 – Processo di saldatura, 285
- 286 8.9. Lavorazione a caldo  
Assenza di rafforzamento, 286 – Eliminazione delle imperfezioni, 287 – Comportamento anisotropo, 287 – Finitura superficiale e precisione dimensionale, 287

288 **Riassunto**

289 **Problemi**

295 **Problemi di progettazione**

## 297 **Capitolo nono • I Principi della solidificazione**

- 298 9.1. Rilevanza tecnologica
- 298 9.2. La nucleazione  
Nucleazione omogenea, 300 – Nucleazione eterogenea, 302 – Tasso di nucleazione, 302
- 302 9.3. Le applicazioni della nucleazione controllata  
Rafforzamento per affinamento del grano, 302 – Rafforzamento per presenza di fase secondaria, 303 – Vetri, 303 – Vetro-eceramici, 304
- 304 9.4. I meccanismi di crescita  
Crescita planare, 305 – Crescita dendritica, 305
- 306 9.5. Il tempo di solidificazione e la dimensione delle dendriti  
L'effetto sulla struttura e sulle proprietà, 307
- 310 9.6. Le curve di raffreddamento
- 312 9.7. La struttura del getto  
Regione di pelle, 312 – Regione colonnare, 312 – Regione equiassica, 313
- 314 9.8. I difetti di solidificazione  
Ritiro, 314 – Ritiro interdendritico, 316 – Porosità gassosa, 316
- 317 9.9. I processi di colata di produzione
- 319 9.10. Colata continua e colata in lingotti
- 323 9.11. La solidificazione direzionale, la crescita monocristallina e la crescita epitassiale  
Crescita monocristallina, 324 – Crescita epitassiale, 325
- 325 9.12. La solidificazione dei polimeri e dei vetri inorganici
- 326 9.13. L'unione dei materiali metallici

328 **Riassunto**

329 **Problemi**

334 **Problemi di progettazione**



## **Capitolo decimo • Soluzioni solide e equilibrio di fase**

### 339 **Capitolo undicesimo • Rafforzamento per dispersione e diagrammi di fase eutettici**

- 339 11.1 Principi ed esempi di rafforzamento per dispersione
- 341 11.2 I composti intermetallici  
Proprietà e applicazioni degli intermetallici, 342
- 342 11.3 I diagrammi di fase contenenti le reazioni a tre fasi
- 345 11.4 Il diagramma di fase eutettico

- Leghe a soluzione solida, 345 – Leghe che superano il limite di solubilità, 345 – Leghe eutettiche, 347 – Leghe ipoeutettiche e ipereutettiche, 351
- 354 11.5 La resistenza delle leghe eutettiche  
Dimensione delle colonie eutettiche, 354 – Distanza interlamellare, 354 – Quantità di eutettico, 355 – Microstruttura dell'eutettico, 355
- 359 11.6 Gli eutettici e la lavorazione dei materiali
- 361 11.7 La solidificazione di non equilibrio nei sistemi eutettici
- 361 11.8 Nanofili e il diagramma di fase eutettico
- 364 **Riassunto**
- 365 **Problemi**
- 370 **Problemi di progettazione**
- 371 **Capitolo dodicesimo • Rafforzamento per dispersione mediante trasformazioni di fase e trattamento termico**
- 372 12.1 La nucleazione e la crescita nelle reazioni allo stato solido  
Nucleazione, 372 – Crescita, 372 – Cinetica, 372 – Effetto della temperatura, 373
- 376 12.2 Il rafforzamento delle leghe per superamento del limite di solubilità  
La struttura Widmanstätten, 376 – La relazione per l'energia d'interfaccia, 377 – Precipitato coerente, 378
- 378 12.3 Invecchiamento o indurimento per precipitazione
- 378 12.4 Applicazioni delle leghe invecchiate
- 379 12.5 L'evoluzione microstrutturale nell'invecchiamento o indurimento per precipitazione  
Fase 1: trattamento di soluzione, 380 – Fase 2: tempra, 380 – Fase 3: invecchiamento, 380 – I precipitati di non equilibrio durante l'invecchiamento, 381
- 382 12.6 Gli effetti della temperatura e del tempo di invecchiamento
- 383 12.7 I requisiti per l'invecchiamento
- 384 12.8 L'utilizzo delle leghe invecchiate ad alte temperature
- 385 12.9 La reazione eutettoide  
Le soluzioni solide, 386 – I composti, 386 – La reazione eutettoide, 387 – La perlite, 387 – Microcostituenti primari, 387
- 389 12.10 Il controllo della reazione eutettoide  
Controllare la quantità dell'eutettoide, 389 – Controllare la dimensione del grano di austenite, 390 – Controllare il tasso di raffreddamento, 390 – Controllare la temperatura di trasformazione, 390
- 394 12.11 La reazione martensitica e il rinvenimento  
La martensite negli acciai, 394 – Le proprietà della martensite negli acciai, 396 – La tempra della martensite negli acciai, 396 – La martensite in altri sistemi, 397
- 398 12.12 Le leghe a memoria di forma
- 400 **Riassunto**
- 401 **Problemi**
- 407 **Problemi di progettazione**
- 409 **Capitolo tredicesimo • Trattamenti termici di acciai e ghise**
- 411 13.1 Denominazioni e classificazioni degli acciai  
Denominazioni, 411 – Classificazioni, 413
- 414 13.2 Trattamenti termici semplici  
Ricottura di processo - Eliminazione degli effetti della lavorazione a freddo, 414 –

- Ricottura e normalizzazione - Rafforzamento della dispersione, 414 – Sferoidizzazione - Miglioramento della lavorabilità, 415
- 415 13.3 Trattamento termico isotermico  
Tempra bainitica e ricottura isotermica, 416 – Effetto della variazione di concentrazione di carbonio sul diagramma TTT, 416 – Interruzione della trasformazione isotermica, 418
- 419 13.4 Trattamenti termici di tempra e rinvenimento  
Austenite residua, 420 – Velocità di tempra, 421 – Diagrammi di trasformazione a raffreddamento continuo, 422
- 423 13.5 Effetto degli elementi leganti  
Temprabilità, 423 – Effetto sulla stabilità di fase, 424 – Forma dei diagrammi TTT, 425 – Rinvenimento, 425
- 425 13.6 Applicazione della temprabilità
- 428 13.7 Acciai speciali
- 430 13.8 Trattamenti superficiali  
Riscaldamento selettivo della superficie, 430 – Carboementazione e nitrurazione, 430
- 432 13.9 Saldabilità dell'acciaio
- 434 13.10 Acciai inossidabili  
Acciai inossidabili ferritici, 434 – Acciai inossidabili martensitici, 434 – Acciai inossidabili austenitici, 435 – Acciai inossidabili induriti per precipitazione (PH), 436 – Acciai inossidabili duplex, 436
- 437 13.11 Ghise  
Reazione eutettica nelle ghise, 437 – Reazione eutettoidica nelle ghise, 438
- 443 **CASE STUDY: La scelta dei materiali per gli autoveicoli FIAT**
- 451 **Riassunto**
- 452 **Problemi**
- 456 **Problemi di progettazione**
- 457 **Problemi di programmazione**
- 459 **Capitolo quattordicesimo • Leghe non ferrose**
- 460 14.1 Leghe di alluminio  
Proprietà generali e impieghi dell'alluminio, 460 – Designazione, 462 – Leghe per lavorazione plastica, 464 – Leghe da fonderia, 465
- 468 14.2 Leghe di magnesio e berillio  
Struttura e proprietà, 468
- 469 14.3 Leghe di rame  
Leghe rafforzate per soluzione solida, 470 – Leghe invecchiabili, 471 – Trasformazioni di fase, 472 – Leghe piombo-rame, 472
- 473 14.4 Leghe di nichel e cobalto  
Nichel e monel, 474 – Superleghe, 474 – Rafforzamento per soluzione solida, 474 – Rafforzamento per dispersione di carburi, 475 – Indurimento per precipitazione, 475
- 476 14.5 Leghe di titanio  
Titanio commercialmente puro, 478 – Leghe di titanio  $\beta$ , 479 – Leghe di titanio  $\alpha$ - $\beta$ , 479
- 483 14.6 Metalli refrattari e preziosi  
Ossidazione, 484 – Caratteristiche di formatura, 484 – Leghe, 484 – Metalli preziosi, 484
- 485 **Riassunto**
- 486 **Problemi**
- 490 **Problemi di progettazione**

## 491 **Capitolo quindicesimo • Materiali ceramici**

- 491 15.1 Applicazioni dei ceramici
- 494 15.2 Struttura e proprietà dei ceramici
- 498 15.3 Sintesi e lavorazione delle polveri ceramiche  
 Compattazione e sinterizzazione, 498 – Colaggio a nastro, 503 – Colaggio per scorrimento, 504 – Estrusione e stampaggio per iniezione, 504
- 504 15.4 Caratteristiche dei ceramici sinterizzati  
 Grani e bordi di grano, 504 – Porosità, 505
- 506 15.5 Vetri inorganici  
 Vetri silicati, 507 – Vetri silicati modificati, 507 – Composizione dei vetri, 511
- 512 15.6 Vetro-ceramici
- 513 15.7 Lavorazioni e applicazioni delle argille  
 Tecniche di produzione per manufatti in argilla, 514 – Essiccamento e cottura di prodotti in argilla, 514 – Applicazioni dei prodotti in argilla, 515
- 515 15.8 Ceramici refrattari  
 Refrattari acidi, 515 – Refrattari basici, 516 – Refrattari neutri, 516 – Refrattari speciali, 516
- 517 15.9 Altri materiali ceramici  
 Cementi, 517 – Rivestimenti, 518 – Strati sottili e monocristalli, 518 – Fibre, 518 – Unione e assemblaggio di componenti ceramici, 519 – La progettazione di prodotti in materiale ceramico, 519
- 521 **Riassunto**
- 522 **Problemi**
- 523 **Problemi di progettazione**

## 525 **Capitolo sedicesimo • Polimeri**

- 526 16.1 Classificazione dei polimeri  
 Strutture tipiche, 528
- 529 16.2 Polimerizzazione per addizione e condensazione  
 Terminazione della polimerizzazione per addizione, 530 – Polimerizzazione per condensazione, 531
- 533 16.3 Grado di polimerizzazione
- 535 16.4 Tipici polimeri termoplastici  
 Termoplastici a struttura complessa, 536
- 538 16.5 Relazione tra struttura e proprietà dei polimeri termoplastici  
 Grado di polimerizzazione, 538 – Effetto di gruppi laterali, 538 – Cristallizzazione e deformazione, 539 – Tatticità, 540 – Copolimeri, 540 – Mescole, 541 – Polimeri liquido-cristallini, 541
- 541 16.6 Effetto della temperatura sui polimeri termoplastici  
 Temperatura di decomposizione, 542 – Polimeri liquidi, 543 – Stato gommoso e tipo cuoio, 543 – Stato vetroso, 544 – Cristallinità nei polimeri, 545
- 547 16.7 Proprietà meccaniche dei termoplastici  
 Comportamento elastico, 548 – Comportamento plastico dei termoplastici amorfi, 549 – Scorrimento viscoso (Creep) e rilassamento dello sforzo (Stress Relaxation), 550 – Comportamento all'impatto, 551 – Deformazione dei polimeri cristallini, 552 – Crazing, 552 – Blushing, 553
- 553 16.8 Elastomeri [Gomme]  
 Isomeri geometrici, 553 – Reticolazione (Cross-Linking), 555 – Elastomeri tipici, 555 – Elastomeri termoplastici, 557
- 559 16.9 Polimeri termoindurenti  
 Termoindurenti fenolici, 559 – Termoindurenti amminici, 559 – Uretani, 560 –

- Poliesteri, 560 – Epossidici, 560 – Poliammidi, 560 – Networks polimerici interpenetranti, 560
- 560 16.10 Adesivi  
Adesivi reattivi chimicamente, 561 – Adesivi a evaporazione o diffusione, 561 – Adesivi Hot-Melt, 561 – Adesivi sensibili alla pressione, 561 – Adesivi conduttivi, 561
- 561 16.11 Lavorazione e riciclo dei polimeri  
Estrusione, 562 – Soffiaggio, 563 – Stampaggio ad iniezione, 563 – Termoformatura, 563 – Calandratura, 564 – Filatura, 564 – Colata, 564 – Stampaggio a compressione, 565 – Stampaggio per trasferimento, 565 – Stampaggio ad iniezione e reazione, 565 – Schiume, 565 – Riciclo dei materiali plastici, 566
- 567 **Riassunto**
- 568 **Problemi**
- 570 **Problemi di progettazione**
- 573 **Capitolo diciassettesimo • Compositi: lavoro di gruppo e sinergia nei materiali**
- 575 17.1 Compositi rinforzati per dispersione  
Illustrazione dei compositi rinforzati per dispersione, 576
- 577 17.2 Compositi particellari  
Regola delle miscele, 577 – Carburi cementati, 578 – Abrasivi, 578 – Contatti elettrici, 578 – Polimeri, 580 – Compositi particellari di getti di metallo, 581
- 582 17.3 Compositi fibrorinforzati  
La regola delle miscele nei compositi fibrorinforzati, 582 – Modulo di elasticità, 582 – Resistenza dei compositi, 584
- 586 17.4 Caratteristiche dei compositi fibrorinforzati  
Lunghezza e diametro delle fibre, 586 – Quantità di fibra, 587 – Orientamento delle fibre, 587 – Proprietà delle fibre, 588 – Proprietà della matrice, 591 – Adesione e rottura, 591
- 593 17.5 Produrre fibre e compositi  
Produrre le fibre, 593 – Produrre il composito, 595
- 597 17.6 Sistemi fibrorinforzati e loro applicazioni  
Compositi avanzati, 598 – Compositi a matrice metallica, 599 – Compositi a matrice ceramica, 600
- 604 17.7 Materiali in compositi laminari  
Produzione dei compositi laminari, 604
- 605 17.8 Esempi e applicazioni dei compositi capillari  
Laminati, 605 – Metalli placcati, 606 – Bimetallici, 606 – Condensatori multistrato, 607
- 607 17.9 Strutture sandwich
- 609 **Riassunto**
- 610 **Problemi**
- 613 **Problemi di progettazione**
- 613 **Problemi di programmazione**



**Capitolo diciottesimo • Materiali da costruzione**



**Capitolo diciannovesimo • Materiali elettronici**



**Capitolo ventesimo • Materiali magnetici**



## Capitolo ventunesimo • Materiali fotonici

### 623 Capitolo ventiduesimo • Proprietà termiche dei materiali

- 623 22.1 Capacità termica e calore specifico
- 626 22.2 Espansione termica
- 631 22.3 Conducibilità termica  
Metalli, 632 – Ceramici, 633 – Semiconduttori, 634 – Polimeri, 634
- 635 22.4 Shock termici
- 637 **Riassunto**
- 638 **Problemi**
- 640 **Problemi di progettazione**

### 641 Capitolo ventitreesimo • Corrosione e usura

- 642 23.1 Corrosione chimica  
Attacco dei metalli liquidi, 642 – Lisciviazione selettiva, 642 – Dissoluzione e ossidazione della ceramica, 643 – Attacco chimico ai polimeri, 643
- 644 23.2 Corrosione elettrochimica  
Reazione anodica, 645 – Reazione catodica nell'elettrodeposizione, 645 – Reazioni catodiche nella corrosione, 645
- 647 23.3 Potenziale di elettrodo nelle celle elettrolitiche  
Potenziale di elettrodo, 647 – Forze elettromotrici, 647 – Effetto della concentrazione sul potenziale di elettrodo, 649 – Velocità di corrosione o placcatura, 649
- 651 23.4 Corrente di corrosione e polarizzazione  
Polarizzazione di attivazione, 651 – Polarizzazione di concentrazione, 652 – Polarizzazione di resistenza, 652
- 652 23.5 Tipi di corrosione elettrochimica  
Celle di composizione, 652 – Celle di tensione, 654 – Celle di concentrazione, 655 – Corrosione microbica, 657
- 658 23.6 Protezione dalla corrosione elettrochimica  
Progettazione, 658 – Rivestimenti, 659 – Inibitori, 660 – Protezione catodica, 660 – Passivazione o protezione anodica, 661 – Scelta e trattamento dei materiali, 661
- 664 23.7 Degradazioni microbiche e polimeri biodegradabili
- 665 23.8 Ossidazione e altre reazioni gassose  
Ossidazione e degradazione termica dei polimeri, 668
- 669 23.9 Usura ed erosione  
Usura adesiva, 669 – Usura abrasiva, 669 – Erosione liquida, 670
- 671 **Riassunto**
- 672 **Problemi**
- 674 **Problemi di progettazione**
- 674 **Problemi di programmazione**

### 675 Appendice A • Proprietà fisiche dei metalli

### 679 Appendice B • Raggio atomico e ionico degli elementi

### 681 Appendice C • Tabelle di conversione

### 683 Risposte ai problemi

### 691 Glossario

### 725 Indice analitico

# Prefazione

Questo volume è stato congegnato e ideato per far fronte all'esigenza di offrire un compendio sintetico riguardante i materiali utilizzati nelle applicazioni industriali e civili.

Esso costituisce uno strumento per la didattica, ma all'occorrenza rappresenta anche un valido prontuario, utile agli ingegneri e a tutti coloro che sono coinvolti in discipline tecniche, per operare rapidi raffronti e individuare agevolmente i limiti e i vantaggi tipici di ciascuna classe di materiali: metalli, polimeri, ceramiche, vetri e materiali compositi.

L'approccio nell'affrontare i problemi è sia di tipo fondamentale sia di tipo applicativo e secondo questa logica il testo sviluppa una prima parte dedicata alla scienza dei materiali, una seconda parte focalizzata sulle loro proprietà e una terza in cui le differenti tipologie di materiali vengono trattate nello specifico con accenni relativi anche alle tecnologie di produzione.

Possedere un quadro chiaro e generale circa la scienza e l'ingegneria dei materiali è di fondamentale importanza anche per chi durante il suo percorso formativo e professionale dovrà affrontare le tematiche associate alla scelta dei materiali, alla progettazione delle strutture e dei componenti meccanici e all'analisi delle avarie e dei cedimenti.

Questo testo è stato scelto per l'edizione italiana, in quanto è caratterizzato da un buon equilibrio nella trattazione analitica delle tematiche e nell'elaborazione della loro sintesi e tale bilanciamento è estremamente efficace a livello formativo, perché la trattazione possa lasciare una traccia nella memoria degli studenti e dei lettori.

Questa edizione di *Scienza e tecnologie dei materiali* è stata adattata per utilizzare il sistema internazionale delle unità di misura (*Le Système International d'Unités* o SI) in tutto il libro.

## **LE SYSTÈME INTERNATIONAL D'UNITÉS**

Il sistema americano (United States Customary System, USCS) utilizza le unità FPS (foot-pound-second), anche chiamate unità inglesi o imperiali. Le unità del SI sono quasi sempre quelle del sistema MKS (metro-kilogrammo-secondo), anche se spesso vengono incluse anche quelle del sistema CGS (centimetro-grammo-secondo), soprattutto nei libri di testo.

## **CAPITOLI ONLINE**

I capitoli 10, 18, 19, 20, 21 saranno disponibili online sul sito [www.cittastudi.it](http://www.cittastudi.it) e sono segnalati nell'indice col simbolino .

### UTILIZZO DELLE UNITÀ DEL SI IN QUESTO LIBRO

In questo libro sono usate sia le unità MKS che quelle CGS. Le unità USCS o FPS utilizzate nell'edizione americana del libro sono state convertite in unità SI in tutto il testo e nei problemi. Nel caso però di dati provenienti da testi scritti a mano, norme governative o manuali di prodotti, non solo è estremamente difficile convertire tutti i valori nel SI, ma si lede anche la proprietà intellettuale della fonte. Inoltre, alcune grandezze come la dimensione dei grani ASTM o le distanze di Jominy, di solito sono espresse in unità FPS, e perderebbero significato se convertite nel SI. Per questi motivi, alcuni dati nelle figure, nelle tabelle, negli esempi e nei riferimenti, sono quindi rimasti in FPS. Per i lettori che non hanno familiarità con la conversione tra i sistemi SI e quelli FPS, sono presenti delle tabelle di conversione nell'Appendice C.

Per risolvere i problemi che usano dati provenienti da fonti in FPS, si possono convertire i valori in unità SI prima di utilizzarli nei calcoli. Per avere i valori standardizzati e i dati dei produttori in unità SI, i lettori possono contattare le agenzie governative appropriate o le autorità dei loro paesi/regioni.

### MATERIALE PER I DOCENTI

Dal sito [www.cittastudi.it](http://www.cittastudi.it) è possibile scaricare delle diapositive in PowerPoint delle figure del libro in unità SI.

*Il curatore*

# Prefazione all'edizione originale

Se si riesce a comprendere pienamente e a sfruttare le relazioni esistenti tra la struttura, le proprietà e i processi di lavorazione dei materiali, i materiali diventano abilitanti - cioè si trasformano da cose inutili, materie prime create in natura, in punti di partenza che gli ingegneri sviluppano in prodotti e tecnologie. Qualsiasi tecnologo può trovare le proprietà dei materiali in un libro o cercare in un database un certo materiale che soddisfi le specifiche di progettazione, ma la capacità di *innovare* e di incorporare dei materiali in modo *sicuro* in un progetto è radicata nella comprensione di come manipolare le proprietà e le funzionalità dei materiali attraverso il controllo della loro struttura e delle loro tecniche di lavorazione. L'obiettivo di questo libro di testo è, quindi, descrivere i fondamenti e le applicazioni della scienza dei materiali agli studenti di ingegneria, seguendo il paradigma struttura-lavorazione-proprietà.

La sfida di tutti i libri di testo sono quelle di dare il giusto equilibrio tra l'ampiezza e la profondità degli argomenti trattati, trattare gli argomenti al giusto livello di rigore, fornire esempi significativi e attuali, e stimolare la curiosità intellettuale del lettore. Il nostro obiettivo è quello di inserire abbastanza *scienza* in modo che il lettore possa comprendere i fenomeni di base legati ai materiali, e abbastanza *tecnica* per preparare gli studenti alla pratica professionale.

## AUDIENZE E PREREQUISITI

Questo testo è destinato alle classi dei corsi introduttivi di scienza dei materiali dei primi anni di università. Come prerequisiti si assumono dei corsi di chimica e fisica di base universitari. Può essere utile anche un corso di analisi, anche se non indispensabile. Il libro non presume che gli studenti abbiano già seguito altri corsi base di ingegneria sulla struttura statica, la dinamica o la meccanica dei materiali.

## MODIFICHE ALLA SESTA EDIZIONE

Il testo è stato rivisto con particolare attenzione per renderlo più chiaro e preciso. I contenuti aggiunti sono descritti di seguito.

**Novità di questa edizione** I nuovi contenuti riguardano le descrizioni avanzate delle cristallografie e le sezioni sulle forme allotropiche del carbonio, la nanoindentazione, le proprietà meccaniche dei vetri metallici, il comportamento meccanico su piccola scala, la fabbricazione dei circuiti integrati, e la deposizione di pellicole. Sono stati aggiunti dei nuovi problemi alla fine di ogni capitolo, e sono stati resi disponibili nuovi materiali integrativi per i docenti.

## MATERIALE SUPPLEMENTARE PER I DOCENTI

I materiali supplementari comprendono il Manuale dei docenti delle soluzioni, con le soluzioni complete di alcuni problemi, le diapositive PowerPoint™ annotate, e una base dati online con possibili domande d'esame. Tutti questi materiali supplementari sono disponibili all'indirizzo [www.cittastudi.it](http://www.cittastudi.it)

## RINGRAZIAMENTI

Ringraziamo tutti coloro che hanno contribuito al successo delle passate edizioni e i revisori che hanno mandato segnalazioni e suggerimenti dettagliati e costruttivi sulla quinta edizione:

Deborah Chung, State University di New York, a Buffalo  
Derrick R. Dean, University of Alabama a Birmingham  
Angela L. Moran, Stati Uniti Accademia Navale  
John R. Schlup, Kansas State University  
Jeffrey Schott, Università del Minnesota

Siamo grati al team di Cengage Learning che ha guidato accuratamente questa sesta edizione attraverso tutte le fasi del processo di pubblicazione. In particolare, ringraziamo Christopher Carson, direttore esecutivo del Programma Publishing Global di Cengage Learning, Christopher Shortt, editore di Global Engineering di Cengage Learning, Hilda Gowans, editore evolutivo, Rose Kernan, editore di produzione, Kristiina Paolo, per le autorizzazioni e le fotografie, e Lauren Betsos, il Marketing manager. Ringraziamo anche Jeffrey Florando del Lawrence Livermore National Laboratory per il testo di alcune parti del libro e Venkat Balu per alcuni nuovi problemi alla fine dei capitoli di questa edizione.

Wendelin Wright ringrazia anche Patricia Wright per l'assistenza durante il processo di correzione delle bozze e John Bravman per le sue revisioni, le illustrazioni, la pazienza e il costante supporto.

Donald R. Askeland  
*Università del Missouri*  
Pradeep P. Fulay  
*Università di Pittsburgh*  
Wendelin J. Wright  
*Università di Bucknell*