

# Sommario

## Capitolo 1

### Criteri di selezione dei materiali ..... 1

*Barbara Del Curto, Claudia Marano, MariaPia Pedefferi*

1.1	La selezione dei materiali.....	2
1.2	La classificazione dei materiali (e delle tecnologie).....	3
1.3	Il percorso della selezione.....	4
1.4	I passaggi operativi della selezione dei materiali: vincoli e obiettivi.....	7



## Capitolo 2

### La struttura dei materiali: cosa, come, perché ..... 9

*Alberto Cigada, Barbara Del Curto, MariaPia Pedefferi*

2.1	Design e materiali.....	10
2.2	Alcune domande.....	10
2.3	Il livello di indagine.....	11
2.4	Legami chimici.....	13
	2.4.1 Legame ionico.....	14
	2.4.2 Legame covalente.....	15
	2.4.3 Legame metallico.....	15
	2.4.4 Legami deboli.....	16
2.5	La struttura dei materiali.....	17
	2.5.1 Struttura cristallina.....	17
	2.5.2 Struttura amorfa.....	18
	2.5.3 Struttura semicristallina.....	18
2.6	Un primo confronto tra i materiali.....	19
	2.6.1 Materiali metallici.....	19
	2.6.2 Materiali polimerici.....	19
	2.6.3 Materiali ceramici.....	20
2.7	Risposte alle domande.....	21





### Capitolo 3

## Le proprietà dei materiali: quella importante dozzina ..... 25

*Alberto Cigada, Barbara Del Curto, MariaPia Pedeferrì*

<b>3.1 Caso studio: la padella</b> .....	26
<b>3.2 Proprietà generali</b> .....	29
3.2.1 Densità .....	29
3.2.2 Costo .....	31
<b>3.3 Proprietà meccaniche</b> .....	33
3.3.1 Comportamento meccanico di un materiale: curva sforzo-deformazione .....	33
3.3.2 Materiali a comportamento elastico .....	34
3.3.3 Materiali a comportamento elasto-plastico .....	35
3.3.4 Grandezze ottenibili dalle curve sforzo-deformazione .....	36
3.3.5 Rigidità.....	36
3.3.6 Resistenza .....	37
3.3.7 Deformabilità plastica (duttilità) .....	38
3.3.8 Tenacità .....	39
<b>3.4 Caso studio: i nastri da imballaggio e i nastri isolanti</b> .....	42
<b>3.5 Proprietà fisiche e chimiche</b> .....	44
3.5.1 Conducibilità termica .....	44
3.5.2 Conducibilità elettrica .....	45
3.5.3 Magnetismo .....	45
3.5.4 Massima temperatura di servizio .....	46
3.5.5 Durabilità.....	46
<b>3.6 Caratteristiche ottiche</b> .....	47
3.6.1 Trasparenza .....	47
<b>3.7 Esercizi</b> .....	48



### Capitolo 4

## Come si calcolano le sollecitazioni su un oggetto: come evitare che una sedia stia in piedi per caso ..... 51

*Alberto Cigada, Barbara Del Curto, MariaPia Pedeferrì*

<b>4.1 Caso studio: la sedia</b> .....	52
<b>4.2 Forza</b> .....	53
4.2.1 Definizione .....	53
4.2.2 Unità di misura .....	54
4.2.3 Forza risultante orizzontale e verticale .....	55

<b>4.3</b>	<b>Momento</b> .....	58
	4.3.1 Definizione .....	58
	4.3.2 Unità di misura .....	59
	4.3.3 Momento risultante .....	59
<b>4.4</b>	<b>Equazioni fondamentali della statica</b> .....	61
<b>4.5</b>	<b>Verifica del non ribaltamento</b> .....	63
<b>4.6</b>	<b>Reazioni vincolari</b> .....	64
<b>4.7</b>	<b>Azioni interne</b> .....	67
	4.7.1 Asta che sorregge un carico assialmente: trazione o compressione.....	68
	4.7.2 Asta appoggiata che sorregge un carico applicato al centro: flessione .....	68
	4.7.3 Asta incastrata con carico applicato a un estremo: flessione .....	69
<b>4.8</b>	<b>Esercizi</b> .....	70

## Capitolo 5

### Come si dimensiona un oggetto: *mi fletto ma non mi spezzo* .....

*Alberto Cigada, Barbara Del Curto, MariaPia Pedeferrì*

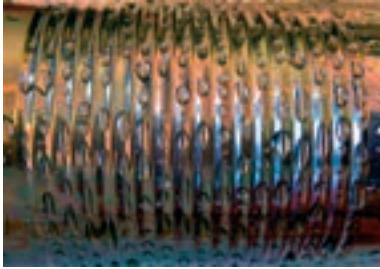
<b>5.1</b>	<b>Cosa si vuole imparare a fare</b> .....	78
<b>5.2</b>	<b>Deformabilità di un oggetto</b> .....	79
<b>5.3</b>	<b>Diversi tipi di sforzo e deformazione</b> .....	80
<b>5.4</b>	<b>Trazione o compressione</b> .....	81
	5.4.1 Azioni interne.....	82
	5.4.2 Sforzo .....	82
	5.4.3 Deformazione.....	83
	5.4.4 Legame sforzo-deformazione .....	84
	5.4.5 Valutazione delle proprietà meccaniche richieste.....	86
	5.4.6 Carico di punta .....	87
<b>5.5</b>	<b>Flessione</b> .....	88
	5.5.1 Momento di inerzia .....	89
	5.5.2 Valutazione delle proprietà meccaniche richieste.....	90
	5.5.3 Flessione per forza al centro .....	92
	5.5.4 Flessione per forza applicata a un'estremità .....	93
	5.5.5 Sforzo su un recipiente cilindrico in pressione .....	95
	5.5.6 Sforzo e deformazione di una molla.....	95
<b>5.6</b>	<b>Esercizi</b> .....	96



## Capitolo 6

### Materiali metallici.....

*MariaPia Pedeferrì e Barbara Del Curto*



<b>6.1</b>	<b>Introduzione</b> .....	110
<b>6.2</b>	<b>Legame chimico e struttura cristallina</b> .....	110
<b>6.3</b>	<b>Difetti reticolari</b> .....	111
6.3.1	Difetti puntiformi e diffusione .....	111
6.3.2	Difetti lineari e deformazione plastica .....	112
6.3.3	Incrudimento .....	114
6.3.4	Ricristallizzazione.....	114
6.3.5	Effetto della temperatura di deformazione plastica ..	114
6.3.6	Difetti di superficie e bordi di grano .....	115
6.3.7	Effetto della deformazione plastica sui bordi di grano .....	116
<b>6.4</b>	<b>Struttura delle leghe metalliche</b> .....	116
6.4.1	Soluzioni solide interstiziali.....	117
6.4.2	Soluzioni solide sostituzionali .....	117
6.4.3	Presenza di più fasi .....	118
<b>6.5</b>	<b>Meccanismi di rafforzamento dei metalli</b> .....	118
6.5.1	Rafforzamento per alligazione .....	118
6.5.2	Rafforzamento per incrudimento.....	119
6.5.3	Rafforzamento per trattamento termico .....	119
6.5.4	Rafforzamento per precipitazione .....	120
<b>6.6</b>	<b>Proprietà dei materiali metallici</b> .....	120
<b>6.7</b>	<b>Acciai</b> .....	121
6.7.1	Classificazione degli acciai in base alle applicazioni.	122
6.7.2	Effetto degli elementi di lega.....	122
6.7.3	Acciai da costruzione .....	123
	<i>Acciai di base</i> .....	123
	<i>Acciai di qualità</i> .....	123
6.7.4	Acciai speciali da costruzione.....	124
6.7.5	Acciai inossidabili.....	124
	<i>Acciai inossidabili austenitici</i> .....	126
	<i>Acciai inossidabili ferritici</i> .....	127
	<i>Acciai inossidabili martensitici</i> .....	127
	<i>Acciai inossidabili duplex</i> .....	127
<b>6.8</b>	<b>Ghise</b> .....	128
6.8.1	Tipi di ghise .....	128
6.8.2	Ghise grigie .....	129
<b>6.9</b>	<b>Rame e leghe di rame</b> .....	130
6.9.1	Rame puro .....	130
6.9.2	Leghe di rame .....	131
6.9.3	Ottoni .....	131
6.9.4	Bronzi .....	132
6.9.5	Metalli bianchi .....	133
<b>6.10</b>	<b>Alluminio e leghe di alluminio</b> .....	133
6.10.1	Classificazione dell'alluminio e delle leghe di alluminio .....	134

6.10.2 Alluminio puro (serie 1000) .....	135
6.10.3 Leghe da deformazione plastica .....	135
<i>Leghe alluminio-silicio (serie 4000)</i> .....	136
<i>Leghe alluminio-zinco (serie 7000)</i> .....	136
<b>6.11 Titanio e leghe di titanio</b> .....	136
6.11.1 Leghe di titanio.....	138
<i>Leghe <math>\alpha</math></i> .....	138
Leghe $\alpha$ e $\beta$ .....	138
<i>Leghe <math>\beta</math></i> .....	139
<b>6.12 Magnesio e leghe di magnesio</b> .....	139
<b>6.13 Zinco</b> .....	140
<b>6.14 Tecnologie di lavorazione</b> .....	140
<b>6.15 Processi per l'ottenimento di semilavorati</b> .....	141
6.15.1 Lavorazioni di fonderia .....	141
<i>Colata in sabbia</i> .....	141
<i>Colata in conchiglia</i> .....	142
<i>Pressofusione</i> .....	142
6.15.2 Metallurgia delle polveri (sinterizzazione) .....	143
6.15.3 Lavorazioni per deformazione plastica.....	143
<i>Laminazione</i> .....	144
<i>Estrusione</i> .....	145
<i>Trafilatura</i> .....	145
<i>Stampaggio</i> .....	145
6.15.4 Lavorazione della lamiera .....	146
<i>Trancitura e punzonatura</i> .....	146
<i>Piegatura</i> .....	146
<i>Curvatura (e calandratura)</i> .....	147
<i>Imbutitura</i> .....	147
<i>Tornitura in lastra (imbutitura al tornio)</i> .....	147
<b>6.16 Lavorazioni alle macchine utensili</b> .....	147
6.16.1 Lavorazioni con abrasivi .....	148
6.16.2 Lavorazioni non convenzionali.....	149
<b>6.17 Processi di giunzione</b> .....	149
6.17.1 Saldatura e brasatura .....	149
6.17.2 Giunzioni meccaniche.....	150
6.17.3 Incollaggio .....	150
<b>6.18 Operazioni di finitura superficiale</b> .....	151
6.18.1 Rivestimenti metallici.....	151
6.18.2 Ossidazione anodica .....	152

## Capitolo 7

# Durabilità dei materiali: la corrosione dei metalli .....

Gabriele Fumagalli e MariaPia Pedeferra



<b>7.1</b>	<b>Resistenze e sollecitazioni</b> .....	156
<b>7.2</b>	<b>Durabilità e degrado</b> .....	157
<b>7.3</b>	<b>Sollecitazioni e classi di materiali</b> .....	157
7.3.1	Corrosione atmosferica .....	159
	<i>Forme di corrosione</i> .....	161
	<i>Corrosione generalizzata</i> .....	161
	<i>Corrosione localizzata</i> .....	162
<b>7.4</b>	<b>Protezione dalla corrosione</b> .....	162
7.4.1	Scelta del materiale .....	163
	<i>Accoppiamenti galvanici</i> .....	165
7.4.2	Scelta della forma .....	165
<b>7.5</b>	<b>Trattamenti superficiali</b> .....	167
7.5.1	Cenni sulle tecniche di rivestimento .....	167
7.5.2	Caso studio: la lamiera zincata .....	169



## Capitolo 8

### **Materiali ceramici**.....

*MariaPia Pedefferri e Barbara Del Curto*

<b>8.1</b>	<b>Introduzione</b> .....	172
<b>8.2</b>	<b>Legami chimici, struttura e proprietà</b> .....	173
<b>8.3</b>	<b>Come si ottengono i ceramici: dalle polveri ai prodotti</b> .....	174
<b>8.4</b>	<b>Ceramici tradizionali</b> .....	175
8.4.1	Materie prime.....	175
	<i>Argilla</i> .....	176
	<i>Silice e feldspati</i> .....	176
8.4.2	Lavorazioni .....	176
	<i>Preparazione dell'impasto</i> .....	177
	<i>Formatura</i> .....	177
	<i>Essiccamento e cottura</i> .....	179
	<i>Finitura</i> .....	180
8.4.3	Proprietà.....	180
8.4.4	Prodotti.....	181
	<i>Ceramiche bianche</i> .....	181
	<i>Prodotti strutturali a base di argilla</i> .....	182
	<i>Refrattari</i> .....	183
	<i>Abrasivi</i> .....	183
<b>8.5</b>	<b>Ceramici avanzati</b> .....	184
8.5.1	Produzione .....	185
8.5.2	Ceramici avanzati strutturali .....	186
	<i>Limitazioni</i> .....	186
	<i>Applicazioni dei ceramici avanzati strutturali</i> .....	187
8.5.3	Elettroceramici .....	187
8.5.4	Ceramici ottici .....	189

## Capitolo 9

### Vetri ..... 191

*MariaPia Pedefferi e Barbara Del Curto*

- 9.1 Caratteristiche dei materiali amorfi** ..... 192
- 9.2 Formazione di vetro** ..... 192
- 9.3 Composizione chimica e struttura del vetro**..... 194
- 9.4 Tipi di vetro** ..... 194
- 9.5 Produzione del vetro**..... 196
  - 9.5.1 Macinazione, dosaggio e miscelazione ..... 196
  - 9.5.2 Fusione ..... 196
  - 9.5.3 Affinazione e omogeneizzazione ..... 197
  - 9.5.4 Formatura ..... 198
    - Galleggiamento* ..... 198
    - Soffiatura* ..... 199
    - Pressatura*..... 199
    - Filatura* ..... 199
  - 9.5.5 Trattamenti di finitura..... 199
    - Ricottura* ..... 199
    - Tempra*..... 200
- 9.6 Proprietà del vetro** ..... 201
  - 9.6.1 Caratteristiche meccaniche ..... 201
    - Vetri di sicurezza* ..... 202
  - 9.6.2 Proprietà chimico-fisiche ..... 202
  - 9.6.3 Proprietà ottiche ..... 203
    - Fotosensibilità* ..... 204
    - Rifrazione e riflessione di luce* ..... 204



## Capitolo 10

### Leganti, malte e calcestruzzi ..... 207

*Luigi De Nardo e MariaPia Pedefferi*

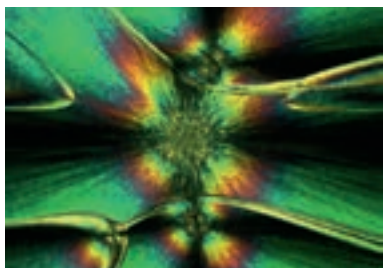
- 10.1 I leganti**..... 208
  - 10.1.1 Leganti aerei..... 210
    - Gesso*..... 210
    - Impieghi del gesso* ..... 212
    - Calce*..... 213
  - 10.1.2 Leganti idraulici..... 214
    - Cemento* ..... 214
- 10.2 Le malte e i calcestruzzi** ..... 216
  - 10.2.1 Malte ..... 217
  - 10.2.2 Calcestruzzo..... 217
  - 10.2.3 Cementi e calcestruzzo fotocatalitici  
e autopulenti ..... 218







<b>Capitolo 11</b>	
<b>Legni</b> .....	225
<i>MariaPia Pedeferrì e Barbara Del Curto</i>	
<b>11.1 Introduzione</b> .....	226
<b>11.2 Struttura del legno</b> .....	226
<b>11.3 Umidità</b> .....	228
<b>11.4 Difetti</b> .....	229
<b>11.5 Lavorazione del legno</b> .....	230
<b>11.6 Proprietà del legno</b> .....	230
11.6.1 Resistenza meccanica.....	231
11.6.2 Deformazioni.....	232
11.6.3 Proprietà chimiche e fisiche .....	232
<i>Degrado</i> .....	232
<i>Degrado fisico</i> .....	233
<i>Combustione</i> .....	233
<b>11.7 Applicazioni</b> .....	234
11.7.1 Derivati del legno.....	234
<i>Legno compensato</i> .....	235
<i>Truciolato</i> .....	235
<i>Pannelli di fibre</i> .....	236
<i>Legno lamellare</i> .....	236
<i>Sughero</i> .....	237



<b>Capitolo 12</b>	
<b>Struttura e proprietà dei materiali polimerici</b> .....	239
<i>Roberto Frassine, Marinella Levi, Claudia Marano e Marta Rink</i>	
<b>12.1 Breve storia dei materiali polimerici</b> .....	240
<b>12.2 Struttura dei materiali polimerici</b> .....	242
<b>12.3 Proprietà dei materiali polimerici</b> .....	248
12.3.1 Considerazioni generali.....	248
12.3.2 Proprietà meccaniche.....	251
12.3.3 Proprietà ottiche .....	253
12.3.4 Le principali proprietà ottiche.....	259



<b>Capitolo 13</b>	
<b>Polimeri amorfi e semicristallini: proprietà ed esempi</b> .....	261
<i>Roberto Frassine, Marinella Levi, Claudia Marano e Marta Rink</i>	
<b>13.1 Polimeri amorfi</b> .....	262
<b>13.2 I principali polimeri amorfi</b> .....	269



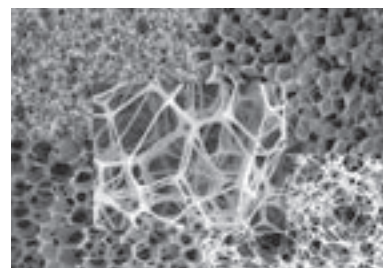
13.2.1 Polivinilcloruro (PVC).....	269
13.2.2 Polistirene (PS) .....	271
13.2.3 Polimetilmetacrilato (PMMA).....	272
13.2.4 Policarbonato (PC).....	273
<b>13.3 Elastomeri</b> .....	275
<b>13.4 Polimeri semicristallini</b> .....	279
<b>13.5 I principali polimeri semicristallini</b> .....	285
13.5.1 Polietilene (PE).....	285
13.5.2 Polipropilene (PP).....	287
13.5.3 Poliammidi (PA).....	290
13.5.4 Poliossimetilene (POM).....	292
13.5.5 Polietilentereftalato (PET) e polibutilentereftalato (PBT).....	294
13.5.6 Politetrafluoroetilene (PTFE).....	295
<b>13.6 Miscele e copolimeri</b> .....	297
13.6.1 Esempi di copolimeri.....	299
13.6.2 Un esempio di miscela.....	302

## Capitolo 14

### I polimeri espansi: un esempio di solidi cellulari.....

*Roberto Frassine, Claudia Marano e Marta Rink*

<b>14.1 Struttura degli espansi</b> .....	308
<b>14.2 Caratteristiche degli espansi</b> .....	309
14.2.1 Comportamento meccanico.....	309
14.2.2 Conducibilità termica degli espansi.....	312
<b>14.3 Processo di espansione dei polimeri</b> .....	313
<b>14.4 Appendice</b> .....	314



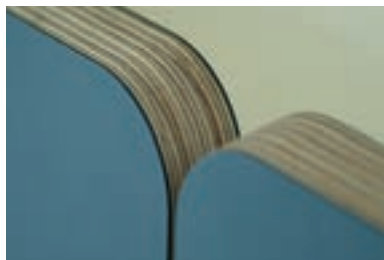
## Capitolo 15

### Materiali compositi.....

*Roberto Frassine, Claudia Marano e Marta Rink*

<b>15.1 Materiali compositi a matrice polimerica: struttura</b> .....	318
<b>15.2 Proprietà dei componenti</b> .....	320
<b>15.3 Proprietà dei compositi</b> .....	322





## Capitolo 16

### **Pannelli multistrato e sandwich** ..... 327

*Roberto Frassine, Claudia Marano e Marta Rink*

<b>16.1 Pannelli multistrato</b> .....	329
<b>16.2 Pannelli sandwich</b> .....	333
<b>16.3 Esempi di applicazioni</b> .....	336
<b>16.4 Integrazione</b> .....	338

## Capitolo 17

### **Tecnologie dei materiali polimerici e dei materiali compositi**..... 341

*Roberto Frassine, Marinella Levi, Claudia Marano e Marta Rink*

<b>17.1 Tecnologie di trasformazione dei polimeri termoplastici</b> .....	342
17.1.1 Estrusione .....	343
17.1.2 Stampaggio a iniezione.....	345
17.1.3 Termoformatura .....	350
17.1.4 Stampaggio rotazionale .....	351
17.1.5 Soffiaggio.....	352
<i>Estrusione/soffiaggio</i> .....	353
<i>Iniezione/soffiaggio</i> .....	353
17.1.6 La stampa 3D di materiali polimerici .....	354
<i>Le tecnologie di stampa 3D</i> .....	356
<i>La stampa 3D a deposizione di filamento fuso (FDM)</i> ....	357
<b>17.2 Tecnologie di produzione dei materiali compositi</b> .....	359
17.2.1 Laminazione manuale e stampaggio in autoclave ..	362
<i>Laminazione</i> .....	363
<i>Preparazione per lo stampaggio</i> .....	363
<i>Reticolazione in autoclave</i> .....	364
17.2.2 Avvolgimento.....	364
17.2.3 Pultrusione .....	365
17.2.4 Altre tecnologie di lavorazione per compositi a fibra continua .....	367
17.2.5 Tecnologie di lavorazione per compositi a fibra corta .....	369
<i>Spruzzatura</i> .....	369
<i>Stampaggio a compressione</i> .....	371

## Capitolo 18

### **I materiali funzionali**..... 373

*Barbara Del Curto e MariaPia Pedferri*

<b>18.1 Materiali a memoria di forma</b> .....	374
18.1.1 Applicazioni.....	378

<b>18.2 Materiali fotocromici, termocromici ed elettrocromici</b> .....	379
18.2.1 Materiali fotocromici .....	380
18.2.2 Materiali termocromici.....	381
18.2.3 Materiali elettrocromici.....	382
<b>18.3 Materiali luminescenti</b> .....	383
18.3.1 Materiali fotoluminescenti .....	384
18.3.2 Materiali elettroluminescenti.....	386

## Capitolo 19

### I materiali e lo sviluppo sostenibile .... 387

*Marinella Levi*

<b>19.1 L'Overshoot Day e il concetto di sviluppo sostenibile</b> .....	388
<b>19.2 Il Life Cycle Assessment</b> .....	390
<b>19.3 La valutazione dell'impatto ambientale semplificata</b> .....	393
19.3.1 La disponibilità delle risorse .....	393
19.3.2 L'impatto ambientale della trasformazione .....	395
19.3.3 Il fine vita e il valore della dismissione .....	396



## Appendice

### Le parole sono importanti ..... 399

*Gabriele Fumagalli*

<b>A.1 Le parole sono importanti</b> .....	400
<b>A.2 Errori di misura e approssimazioni</b> .....	400
<b>A.3 Il significato degli zeri</b> .....	402
<b>A.4 Altri comodi modi per scrivere numeri</b> .....	405
<b>A.5 Unità di misura SI per le grandezze fondamentali e derivate</b> .....	407
<b>A.6 Sintesi</b> .....	411
<b>A.7 Formule utili</b> .....	412
Aree delle superfici di figure bidimensionali.....	412
Aree delle superfici di figure tridimensionali .....	412
Volumi .....	412
Funzioni trigonometriche .....	413
Potenze e logaritmi.....	413
Alfabeto greco .....	414
Formule .....	414

<b>Bibliografia</b> .....	416
---------------------------	-----

<b>Indice analitico</b> .....	419
-------------------------------	-----