

**SCIENZA
E TECNOLOGIA
DEI MATERIALI
POLIMERICI**

Proprietà dei materiali

Giacomo Davoli

Ad Elena, Luisa e Margherita

REALIZZATO GRAZIE AL CONTRIBUTO DI



PREFAZIONE

Questo libro nasce con lo scopo di fornire agli studenti degli istituti tecnici superiori alcune nozioni di base relative alle proprietà dei materiali, con particolare attenzione per i materiali polimerici. In tal senso il linguaggio impiegato è il più semplice e chiaro possibile, inoltre è riportata la traduzione in lingua inglese dei termini tecnici di impiego maggiore.

Un ulteriore scopo di questo libro è quello di fornire una panoramica delle attuali norme armonizzate relative al testing dei materiali polimerici. È infatti di primaria importanza che gli studenti (e più in generale i tecnici delle aziende del settore) siano consapevoli dell'esistenza di tali norme in quanto grazie al loro impiego è possibile confrontare materiali differenti in maniera rigorosa e univoca. È altresì fondamentale comprendere, almeno a grandi linee, le modalità di esecuzione delle prove normate in modo tale da apprezzarne i limiti di applicazione in merito allo specifico manufatto oggetto di indagine. In tal senso il volume contiene i più importanti riferimenti normativi (UNI-ISO, ASTM e UL) del settore con brevi descrizioni delle modalità di esecuzione delle prove e delle tipologie di campione impiegati. Tuttavia, queste descrizioni non possono e non devono essere considerate come sostitutive delle norme armonizzate in quanto non sono assolutamente esaustive ed esaurienti: si tratta soltanto di una traccia utile per comprendere il significato di norma armonizzata, districarsi nel mondo della normativa del settore e essere in grado di leggere con spirito critico le schede tecniche dei materiali polimerici. In tal senso, se si desidera replicare le prove descritte secondo la normativa di riferimento, è necessario provvedere all'acquisto delle stesse sui seguenti siti web:

<http://www.uni.com/>

<http://www.iso.org/iso/home.html>

<http://www.astm.org/>

Ing. Giacomo Davoli, PhD

Sommario

Capitolo 1 - INTRODUZIONE	9
1.1 I materiali	9
1.2 I materiali metallici	9
1.3 I materiali ceramici	13
1.4 I materiali polimerici	15
1.5 I materiali compositi	16
Capitolo 2 - POLIMERIZZAZIONE (POLYMERIZATION)	17
2.1 Definizioni e classificazioni	17
2.2 Peso molecolare (<i>molecular weight</i>)	17
2.3 Reazioni di polimerizzazione	19
2.3.1 CLASSIFICAZIONE CINETICA	19
2.3.2 CLASSIFICAZIONE STECHIOMETRICA	20
2.3.3 UN ESEMPIO: LA POLIMERIZZAZIONE DEL POLIETILENE (PE)	21
2.4 La configurazione delle catene	22
2.5 Strutture di alcuni materiali polimerici	23
Capitolo 3 - I MATERIALI POLIMERICI	25
3.1 Definizioni e classificazioni	25
3.1.1 MATERIALI POLIMERICI TERMOPLASTICI E TERMOINDURENTI	26
3.1.2 TIPOLOGIE DI MATERIALI POLIMERICI TERMOPLASTICI	27
3.1.3 AMORFI E SEMICRISTALLINI	29
3.1.4 I PRINCIPALI MATERIALI POLIMERICI TERMOPLASTICI	31
3.1.5 I PRINCIPALI MATERIALI POLIMERICI TERMOINDURENTI	35
3.1.6 ADDITIVI E RINFORZI (<i>ADDITIVES AND REINFORCEMENTS</i>)	37
3.1.7 MATERIALI COMPOSITI (<i>COMPOSITE MATERIALS/COMPOSITES</i>)	38
3.1.8 BIOPOLIMERI (<i>BIO-BASED POLYMERS</i>)	40
3.2 Schede tecniche e standard	42
3.3 Schede di sicurezza	44
3.4 Breve storia dei materiali polimerici	46
3.5 Diffusione commerciale dei materiali polimerici	47
Capitolo 4 - PROPRIETÀ CHIMICHE	49
4.1 Tabelle di compatibilità chimica	49
4.2 Test di immersione	51
4.2.1 Laboratorio - TEST DI RESISTENZA CHIMICA	52
4.3 <i>Environmental Stress Cracking</i> (fessurazione sotto sforzo in ambiente determinato)	53
Capitolo 5 - PROPRIETÀ FISICHE	57
5.1 Densità (<i>density</i>)	57
5.2 Assorbimento d'acqua	58
5.2.1 Laboratorio - TEST DI ASSORBIMENTO D'ACQUA	60
5.3 Ritiri	60
Capitolo 6 - REOLOGIA E VISCOELASTICITÀ	63
6.1 Legge di Hooke	63
6.2 Legge di Newton e reologia	64
6.3 Viscoelasticità dei materiali polimerici	66
6.4 Reologia dei materiali polimerici	67
6.5 Misura del <i>Melt Flow Index</i> (MFI)	69
6.6 Prova di riempimento della spirale	71
Capitolo 7 - PROPRIETÀ E PROVE MECCANICHE	73
7.1 Prova di trazione	73
7.1.1 LA CURVA SFORZO/DEFORMAZIONE - MATERIALI METALLICI	74

7.1.2 LA PROVA DI TRAZIONE UNI EN ISO 6892	79
7.1.3 LA CURVA SFORZO/DEFORMAZIONE - MATERIALI POLIMERICI	82
7.1.4 LA PROVA DI TRAZIONE UNI EN ISO 527	86
7.2 Prova di flessione	91
7.3 Prove di <i>creep</i> e rilassamento delle tensioni.....	93
7.3.1 PROVE DI <i>CREEP</i> - MATERIALI POLIMERICI.....	93
7.3.2 Laboratorio - PROVA DI <i>CREEP</i>	95
7.3.3 RILASSAMENTO DELLE TENSIONI	96
7.3.4 <i>CREEP</i> E MATERIALI METALLICI.....	97
7.4 Effetto intaglio (<i>stress concentration</i>).....	98
7.5 Prove di impatto	102
7.5.1 PROVA DI IMPATTO CHARPY.....	105
7.5.2 PROVA DI IMPATTO IZOD.....	106
7.5.3 PROVA DI IMPATTO CON DARDO CADENTE	108
7.6 Prove di fatica.....	109
7.7 Prove di durezza	112
7.7.1 PROVA DI DUREZZA BRINELL	113
7.7.2 PROVA DI DUREZZA VICKERS	114
7.7.3 PROVA DI DUREZZA KNOOP	115
7.7.4 PROVA DI DUREZZA ROCKWELL.....	115
7.7.5 PROVA DI DUREZZA SHORE	117
7.7.6 PROVA DI DUREZZA IRHD	118
7.7.7 CONVERSIONE TRA SCALE.....	119
7.8 Resistenza allo strappo.....	121
7.9 <i>Compression set</i>	122
Capitolo 8 - PROPRIETÀ E PROVE SUPERFICIALI E TRIBOLOGICHE	125
8.1 Rugosità (<i>roughness</i>).....	126
8.2 Coefficiente di attrito	129
8.3 Usura	133
8.4 <i>Test pin on disk</i>	134
8.5 <i>Taber test (Taber rotary platform abraser)</i>	137
Capitolo 9 - PROPRIETÀ E PROVE TERMICHE	139
9.1 Temperatura massima e minima di impiego	139
9.2 <i>Heat Distortion Temperature (HDT)</i>	141
9.3 Temperatura di rammollimento VICAT	143
9.4 Conducibilità termica	144
9.4.1 MODALITÀ DI TRASMISSIONE DEL CALORE	144
9.4.2 CONDUCEBILITÀ TERMICA.....	146
9.5 Coefficiente di dilatazione termica lineare	148
9.6 Indice di ossigeno (<i>oxygen index</i>).....	149
9.7 Test UL 94	150
9.7.1 TEST DI INFIAMMABILITÀ UL 94	151
9.7.2 <i>HOT WIRE IGNITION (HWI) E HIGH AMP ARC IGNITION (HAI)</i>	152
9.7.3 <i>GLOW-WIRE IGNITION (GWIT) E GLOW-WIRE FLAMMABILITY (GWFI)</i>	153
9.7.4 <i>BALL PRESSURE TEST (BP)</i>	154
9.7.5 <i>RELATIVE TEMPERATURE INDEX (RTI)</i>	154
Capitolo 10 - PROPRIETÀ E PROVE ELETTRICHE	157
10.1 Resistività elettrica (<i>electrical resistivity</i>)	157
10.2 Rigidità dielettrica (<i>dielectric strength</i>)	159

10.3 Costante dielettrica (<i>permittivity</i>) e fattore di dissipazione (<i>dissipation factor</i>)	160
10.4 Resistenza all'arco (<i>arc resistance</i>)	161
10.5 Resistenza alle correnti striscianti (<i>Comparative Tracking Index - CTI</i>)	161
10.6 Specifiche UL (<i>High Voltage Tracking Rate - HVTR</i>).....	162
10.7 Schermatura elettromagnetica (<i>EMI shielding</i>)	162
Capitolo 11 - PROPRIETÀ MAGNETICHE.....	165
11.1 Il magnetismo.....	165
11.2 Influenza del campo magnetico sui materiali.....	167
11.3 Domini e isteresi.....	169
11.4 Magneti duri e teneri	170
Capitolo 12 - RESISTENZA ALL'AMBIENTE E AGLI AGENTI ATMOSFERICI.....	173
12.1 I materiali polimerici	173
12.2 I materiali metallici.....	174
12.3 Prove di invecchiamento accelerato.....	176
12.3.1 PROVE DI INVECCHIAMENTO IN CAMERA CLIMATICA	176
12.3.2 PROVE DI INVECCHIAMENTO <i>OUTDOOR</i>	178
12.4 Prove di resistenza a funghi e batteri	179
Capitolo 13 - PROPRIETÀ OTTICHE.....	181
13.1 Indice di rifrazione.....	181
13.2 Trasparenza	182
13.3 <i>Gloss</i>	183
13.4 Colore	184
13.4.1 COLORIMETRIA.....	185
13.4.2 METAMERISMO E VALUTAZIONE VISIVA	185
13.4.3 SCALA DI COLORI RAL.....	186
13.4.4 SCALA DI COLORI PANTONE	187
Capitolo 14 - TECNICHE DI IDENTIFICAZIONE DEI MATERIALI POLIMERICI	189
14.1 Calorimetria differenziale a scansione (DSC).....	189
14.2 Spettroscopia FT-IR.....	190
14.3 Microscopia SEM (<i>Scanning Electron Microscope</i>).....	191
14.4 Analisi termogravimetrica (<i>Thermogravimetric Analysis</i>)	192
Capitolo 15 - INTRODUZIONE ALLE PRINCIPALI TECNOLOGIE DI TRASFORMAZIONE.....	193
15.1 Estrusione (<i>extrusion</i>).....	193
15.2 Stampaggio a compressione (<i>compression molding</i>)	194
15.3 Stampaggio ad iniezione (<i>injection molding</i>)	195
15.4 Soffiaggio (<i>blow molding</i>).....	197
15.5 Termoformatura (<i>thermoforming</i>)	198
15.6 Stampaggio rotazionale (<i>rotational molding</i>)	200
15.7 Calandratura (<i>calendering</i>).....	201
15.8 Colaggio (<i>resin casting</i>)	201
Capitolo 16 - PROPRIETÀ DEI MATERIALI POLIMERICI DI MAGGIORE IMPIEGO	203
16.1 Materiali polimerici termoplastici	203
16.1.1 ABS (ACRILONITRILE-BUTADIENE-STIRENE/ <i>ACRYLONITRILE-BUTADIENE-STYRENE</i>).....	203
16.1.2 PA (POLIAMMIDE/ <i>POLYAMIDE</i>)	204
16.1.3 PARA (POLIARILAMMIDE/ <i>POLYARILAMIDE</i>) / PPA (POLIFALAMMIDE/ <i>POLYPHTHALAMIDE</i>) ..	204
16.1.4 PBT (POLIBUTILENTEREFTALATO/ <i>POLYBUTYLENE TEREPHTHALATE</i>)	205
16.1.5 PC (POLICARBONATO/ <i>POLYCARBONATE</i>)	205
16.1.6 PE (POLIETILENE/ <i>POLYETHYLENE</i>)	206
16.1.7 PEEK (POLIETERETERECHETONE/ <i>POLYETHER ETHER KETONE</i>)	207
16.1.8 PES (POLIETERSOLFONE/ <i>POLYETHERSULFONE</i>)	207
16.1.9 PET (POLIETILENTEREFTALATO/ <i>POLYETHYLENE TEREPHTHALATE</i>).....	208
16.1.10 PI (POLIMMIDE/ <i>POLYIMIDE</i>) / PAI (POLIAMMIDE-IMMIDE/ <i>POLYAMIDE-IMIDE</i>)	208
16.1.11 PLA (ACIDO POLILATTICO O POLILATTATO/ <i>POLYLACTIC ACID</i>).....	209
16.1.12 PMMA (POLIMETILMETACRILATO/ <i>POLYMETHYLMETHACRYLATE</i>)	209
16.1.13 POM (POLIOSSIMETILENE/ <i>POLYOXYMETHYLENE</i>).....	210
16.1.14 PP (POLIPROPILENE/ <i>POLYPROPYLENE</i>)	210

16.1.15 PPO (POLIFENILOSSIDO/ <i>POLYPHENYLENE OXIDE</i>) o PPE (POLIFENILENETERE/ <i>POLYPHENYLENE ETHER</i>).....	211
16.1.16 PPS (POLIFENILENSOLFURO/ <i>POLYPHENYLENE SULFIDE</i>).....	211
16.1.17 PS (POLISTIRENE/ <i>POLYSTYRENE</i>).....	212
16.1.18 PSU (POLISOLFONE/ <i>POLYSULFONE</i>) / PPSU (POLIFENILSOLFONE/ <i>POLYPHENYLSULFONE</i>).....	212
16.1.19 PUR (POLIURETANO TERMOPLASTICO/ <i>THERMOPLASTIC POLYURETHANE</i>).....	213
16.1.20 PVC (POLIVINILCLORURO/ <i>POLYVINYLCHLORIDE</i>).....	213
16.1.21 SAN (STIRENE ACRILONITRILE/ <i>STYRENE ACRYLONITRILE</i>).....	214
16.1.22 TPE (ELASTOMERI TERMOPLASTICI/ <i>THERMOPLASTIC ELASTOMERS</i>).....	214
16.2 Materiali polimerici termoindurenti.....	215
16.2.1 EP (RESINE EPOSSIDICHE/ <i>EPOXY RESIN</i>).....	215
16.2.2 UP (RESINE POLIESTERE INSATURE/ <i>UNSATURATED POLYESTER RESIN</i>).....	215
16.2.3 PF (RESINE FENOLICHE O RESINE FENOLO FORMALDEIDE/ <i>PHENOLIC RESIN</i>).....	216
16.2.4 PTFE (POLITETRAFLUOROETILENE/ <i>POLYTETRAFLUOROETHYLENE</i>).....	216
16.2.5 ACM (GOMMA ACRILICA/ <i>ACRYLIC RUBBER</i>).....	217
16.2.6 AEM (ETILENE ACRILICO/ <i>ETHYLENE ACRYLIC RUBBER</i>).....	217
16.2.7 AU (GOMMA POLIURETANICA POLIESTERE/ <i>POLYESTER-URETHANE</i>) / EU (GOMMA POLIURETANICA POLIETERE/ <i>POLYETHER-URETHANE</i>).....	218
16.2.8 BR (GOMMA BUTADIENICA/ <i>BUTADIENE RUBBER</i>).....	218
16.2.9 CIIR (GOMMA CLOROBUTILICA/ <i>CHLOROBUTYL RUBBER</i>).....	218
16.2.10 CO (EPICLORIDINA/ <i>EPICHLOROHYDRIN RUBBER</i>).....	219
16.2.11 CPE (POLIETILENE CLORURATO/ <i>CHLORINATED POLYETHYLENE</i>).....	219
16.2.12 CR (POLICLOROPRENE/ <i>POLYCHLOROPRENE</i>).....	220
16.2.13 CSM (POLIETILENE CLOROSOLFONATO/ <i>CHLOROSULFONATED POLYETHYLENE</i>).....	220
16.2.14 EPDM (ETILENE-PROPILENE-DIENE-MONOMERO/ <i>ETHYLENE-PROPYLENE-DIENE-MONOMER</i>) / EPM (ETILENE-PROPILENE-MONOMERO/ <i>ETHYLENE-PROPYLENE-MONOMER</i>).....	221
16.2.15 FFPM O FFKM (ELASTOMERI PERFLUORATI/ <i>PERFLUOROELASTOMER</i>).....	221
16.2.16 FPM O FKM (FLUOROELASTOMERI/ <i>FLUOROELASTOMER</i>).....	222
16.2.17 HNBR (GOMMA NITRILICA IDROGENATA/ <i>HYDROGENATED NITRILE RUBBER</i>).....	222
16.2.18 IIR (GOMMA BUTILICA/ <i>BUTYL RUBBER</i>).....	223
16.2.19 IR (GOMMA ISOPRENICA/ <i>ISOPRENE RUBBER</i>).....	223
16.2.20 MQ/VMQ/PMQ/FMQ (GOMMA SILICONICA/ <i>SILICONE RUBBER</i> / GOMMA FLUOROSILICONICA/ <i>FLUOROSILICONE RUBBER</i>).....	224
16.2.21 NBR (GOMMA NITRILICA/ <i>NITRILE RUBBER</i>).....	224
16.2.22 NR (GOMMA NATURALE/ <i>NATURAL RUBBER</i>).....	225
16.2.23 SBR (GOMMA STIRENICA BUTADIENICA/ <i>STYRENE-BUTADIENE RUBBER</i>).....	225
16.2.24 TR (GOMMA POLISOLFURICA/ <i>POLYSULFIDE RUBBER</i>).....	226
Capitolo 17 - GLOSSARIO	227
17.1 Italiano/inglese.....	227
17.2 Inglese/italiano.....	233
Capitolo 18 - LABORATORI	241