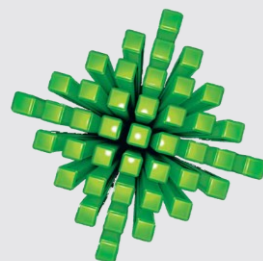
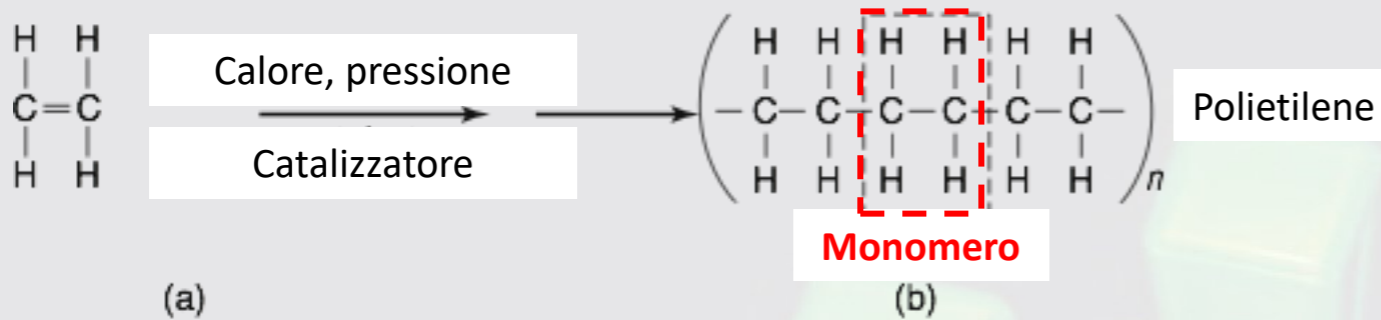


Proprietà di polimeri

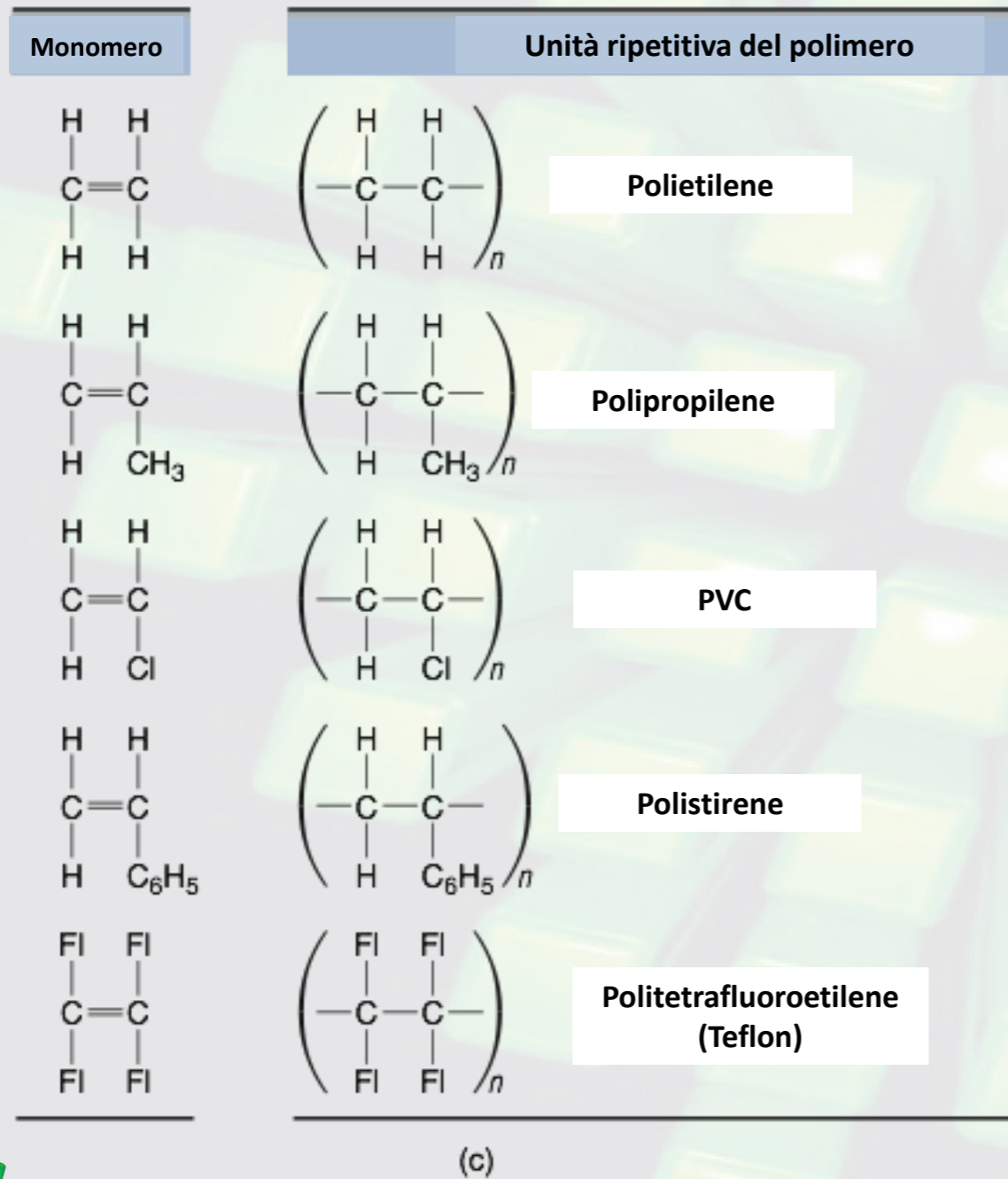
MATERIALE	UTS (MPa)	E (GPa)	Allungamento su 50 mm (%)	Rapporto di Poisson (ν)
ABS	28–55	1.4–2.8	75–5	–
ABS (rinforzato)	100	7.5	–	0.35
Acetalici	55–70	1.4–3.5	75–25	–
Acetalici (rinforzati)	135	10	–	0.35–0.40
Acrilici	40–75	1.4–3.5	50–5	–
Cellulosici	10–48	0.4–1.4	100–5	–
Epossidici	35–140	3.5–17	10–1	–
Epossidici (rinforzati)	70–1400	21–52	4–2	–
Fluorocarburi	7–48	0.7–2	300–100	0.46–0.48
Nylon	55–83	1.4–2.8	200–60	0.32–0.40
Nylon (rinforzato)	70–210	2–10	10–1	–
Fenolici	28–70	2.8–21	2–0	–
Policarbonati	55–70	2.5–3	125–10	0.38
Policarbonati (rinforzati)	110	6	6–4	–
Poliesteri	55	2	300–5	0.38
Poliesteri (rinforzati)	110–160	8.3–12	3–1	–
Polietileni	7–40	0.1–0.14	1000–15	0.46
Polipropileni	20–35	0.7–1.2	500–10	–
Polipropileni (rinforzati)	40–100	3.6–6	4–2	–
Polistireni	14–83	1.4–4	60–1	0.35
PVC	7–55	0.014–4	450–40	–

Proprietà meccaniche di diverse famiglie di plastiche a temperatura ambiente.





Struttura del polimero

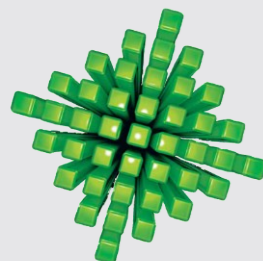


Strutture base di alcuni polimeri.

(a) Monomero di etilene;

(b) Polietilene, una catena lineare di parecchi monomeri di etilene;

(c) Struttura molecolare di diversi polimeri.



Effetto del peso molecolare e del grado di polimerizzazione

Peso molecolare di un polimero = somma dei pesi molecolari dei monomeri che costituiscono il polimero

Grado di polimerizzazione (DP) = $\frac{\text{Peso molecolare polimero}}{\text{Peso molecolare monomero}}$

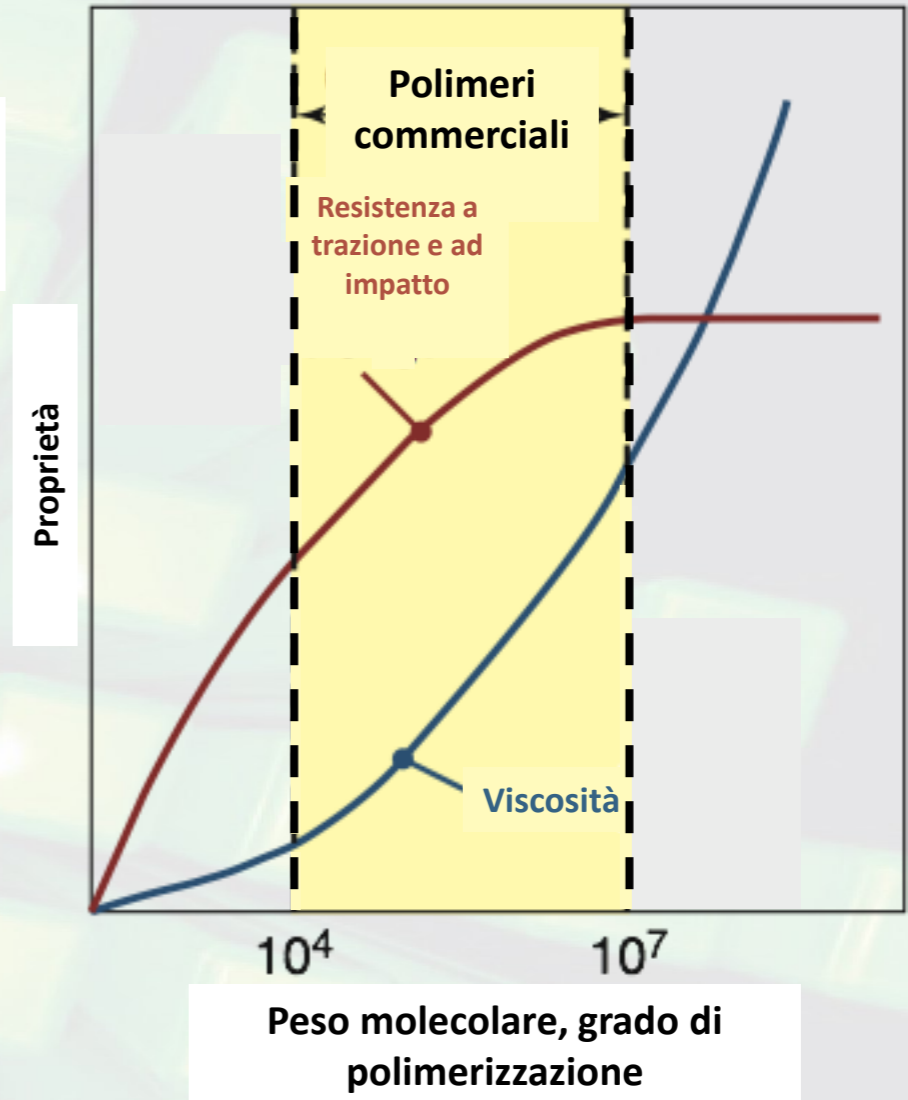
Al crescere di DP

- Aumenta la viscosità.
- Aumenta la resistenza al flusso.

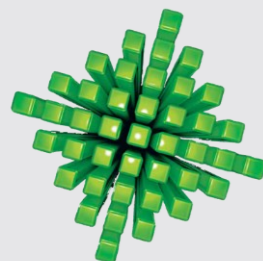
Cristallinità = proprietà di alcuni polimeri a disporre le proprie molecole in modo ordinato

Maggiore Cristallinità =

- Maggiore durezza**
- Maggiore rigidità**
- Maggiore densità**
- Maggiore resistenza ai solventi**
- Maggiore resistenza al calore**
- Minore duttilità**
- Minore Gommosità**

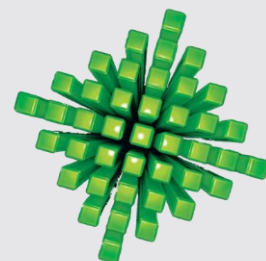


Effetto del peso molecolare e del grado di polimerizzazione sulla **resistenza a trazione e ad impatto** e sulla **viscosità**.

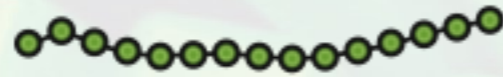


Additivi dei Polimeri

Inerti	modificano resistenza, durezza, tenacità, rigidezza, stabilità dimensionale	farine silicee farine legnose argilla fibre di vetro cellulosa amianto
Plasticizzanti	aumentano la flessibilità e la morbidezza abbassano la temperatura di transizione vetrosa	
Coloranti	cambiano la colorazione	
Ritardanti	per ridurre l'inflammabilità	
Lubrificanti	per ridurre l'attrito nelle lavorazioni o uso successivo	



Catene polimeriche



(a) Lineare



(b) Ramificata



(c) Reticolata



(d) A rete

Schema dei tipi di catene polimeriche.

(a) **Lineare** (tipica dei polimeri termoplastici come gli acrilici, i nylons, il polietilene e il PVC).

(b) **Ramificata** (come nel polietilene).

(c) **Reticolata** (tipica delle gomme e di molti elastomeri grazie alla vulcanizzazione).

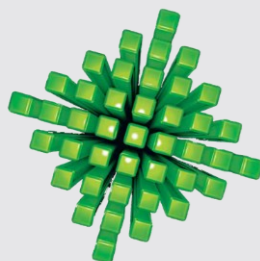
(d) **A rete** (tipica di una forte reticolazione come avviene nei polimeri termoindurenti, quali le resine epossidiche e quelle fenoliche).

Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

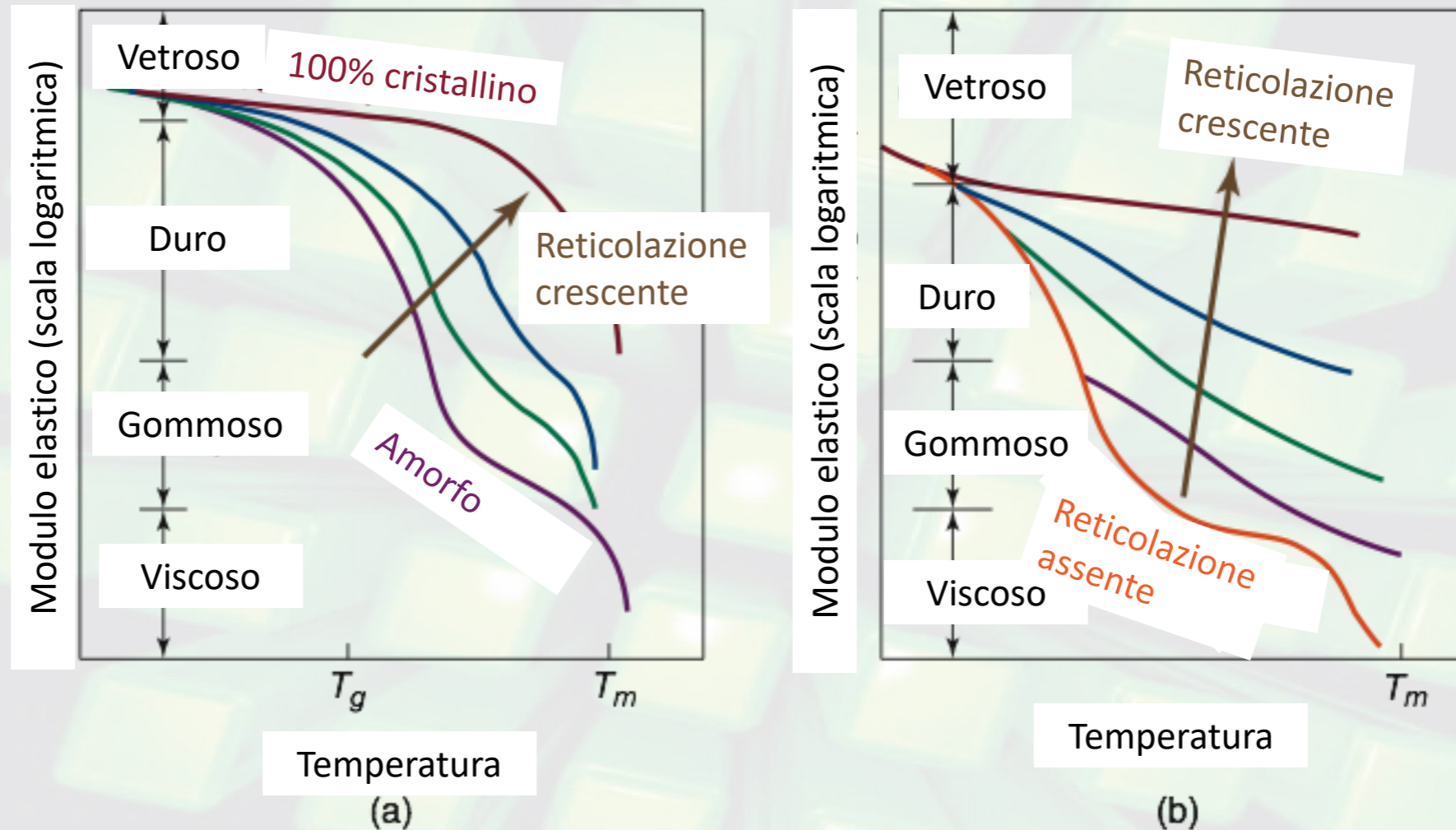
Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7



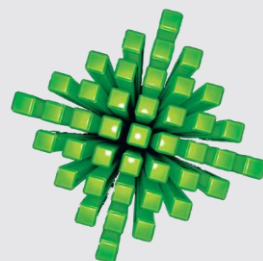
Effetto della Temperatura



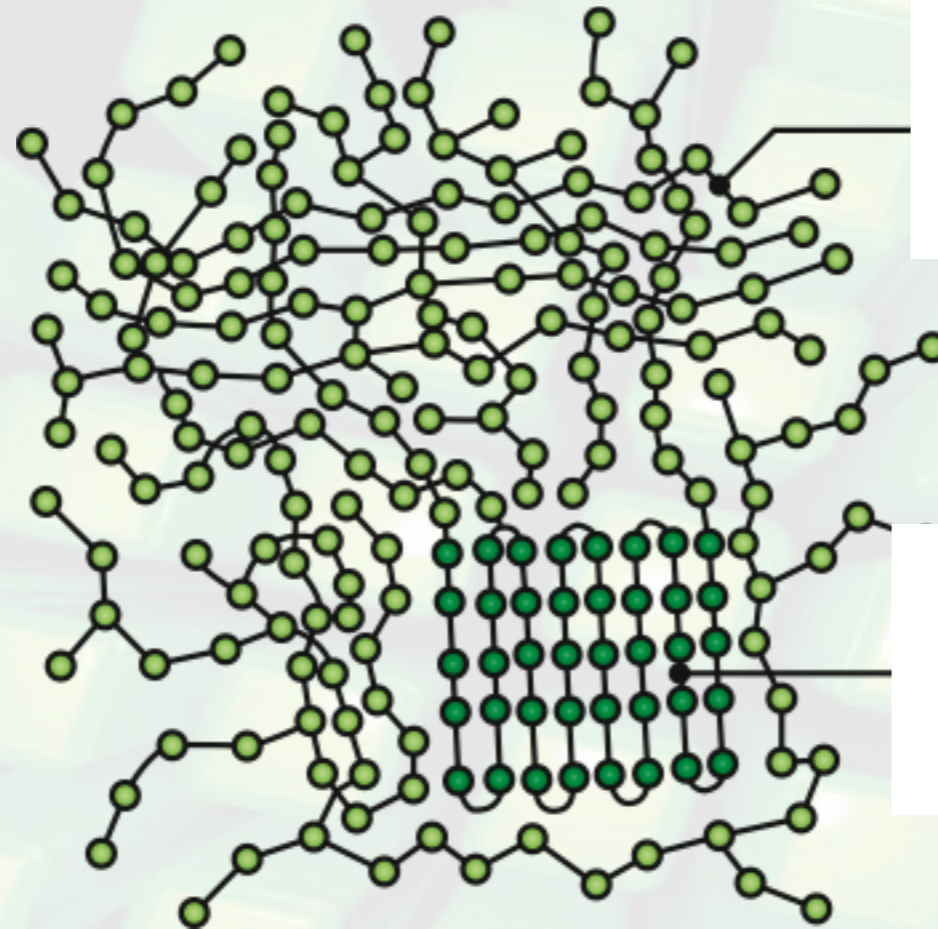
Comportamento dei polimeri in funzione della temperatura e

(a) grado di cristallinità e

(b) livello di reticolazione. Il comportamento sia elastico che viscoso è detto viscoelasticità.



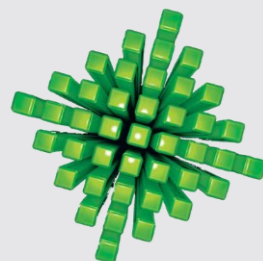
Cristallinità



**Regione
amorfa**

**Regione
cristallina**

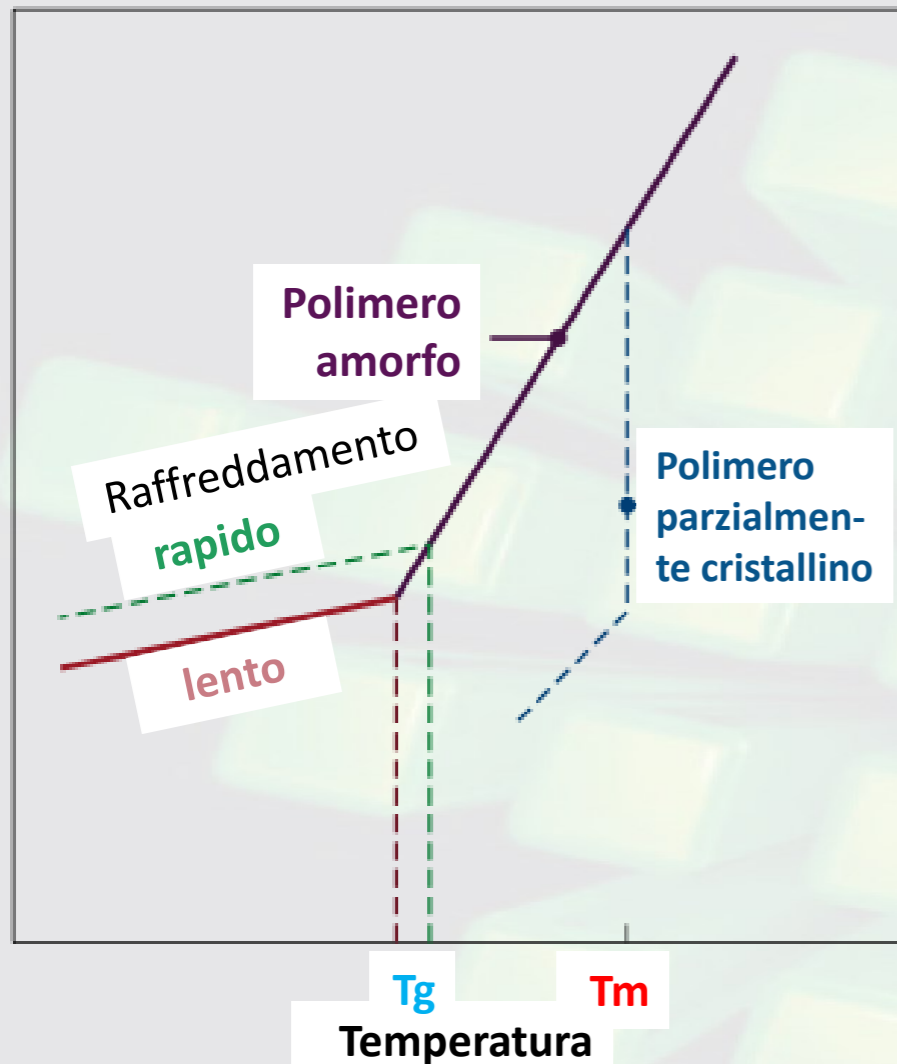
Regioni amorphe e cristalline (che presentano un maggiore ordine nelle molecole) in un polimero. Al **crescere della cristallinità** il polimero diventa **più duro, più rigido e meno duttile**.



Temperatura di Transizione vetrosa

Temperatura di **Transizione vetrosa** (T_g) e **Temperatura di fusione** (T_m).

Materiale	T_g ($^{\circ}\text{C}$)	T_m ($^{\circ}\text{C}$)
Nylon 6,6	57	265
Policarbonato	150	265
Poliestere	73	265
Polietilene		
• ad alta densità	-90	137
• a bassa densità	-110	115
Polimetilmetacrilato	105	–
Polipropilene	-14	176
Polistirene	100	239
Politetrafluoroetilene (Teflon)	-90	327
PVC	87	212
Gomma	-73	–



Volume specifico dei polimeri in funzione della temperatura.

I **polimeri amorfi** (acrilici e policarbonato) presentano una **ben definita Temperatura di transizione vetrosa**, T_g , ma **non hanno una ben definita temperatura di fusione**, T_m .

Invece i **polimeri parzialmente cristallini** (polietilene e nylon) si **contraggono bruscamente quando scendono sotto della temperature di fusione**.



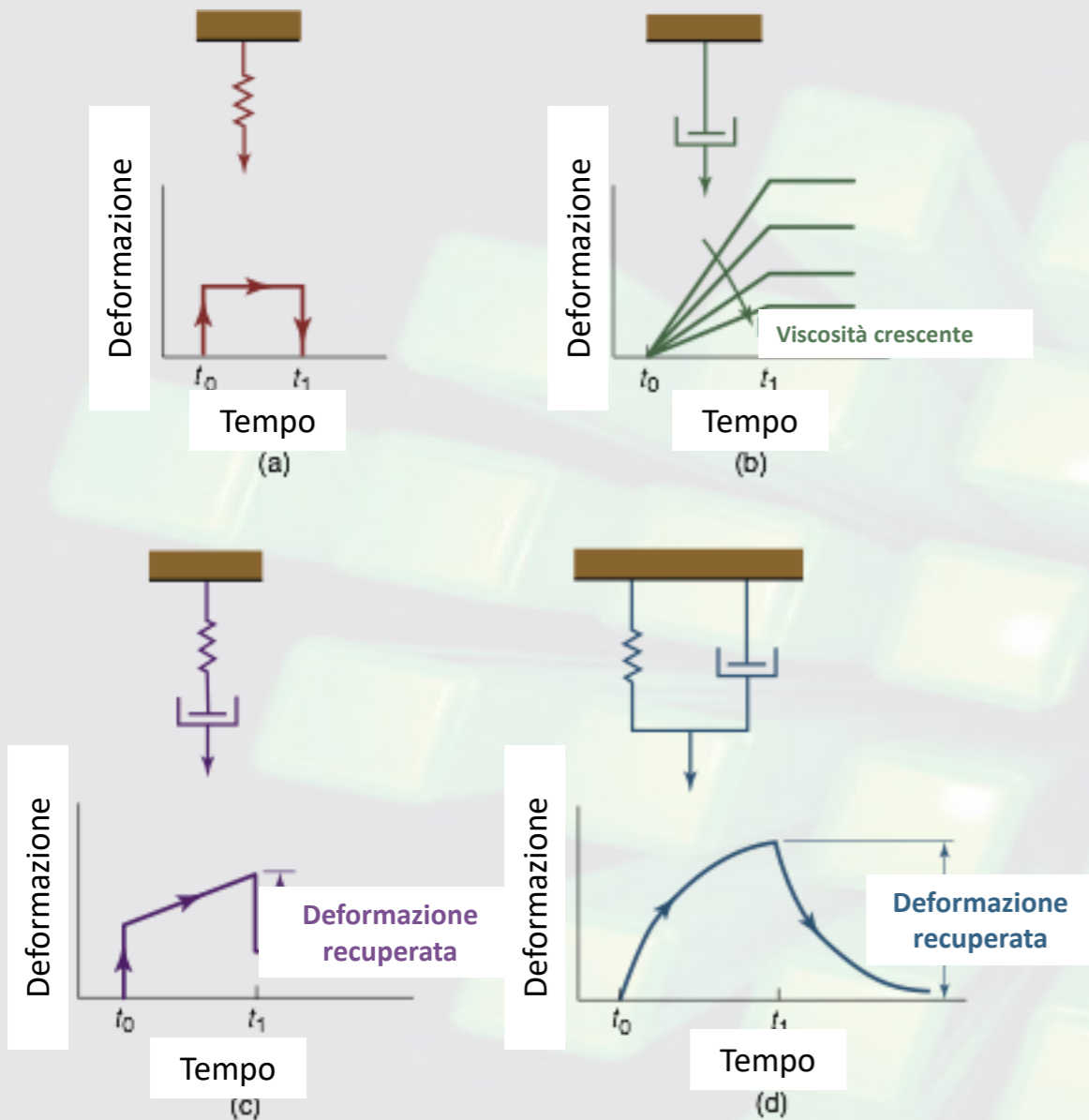
Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7

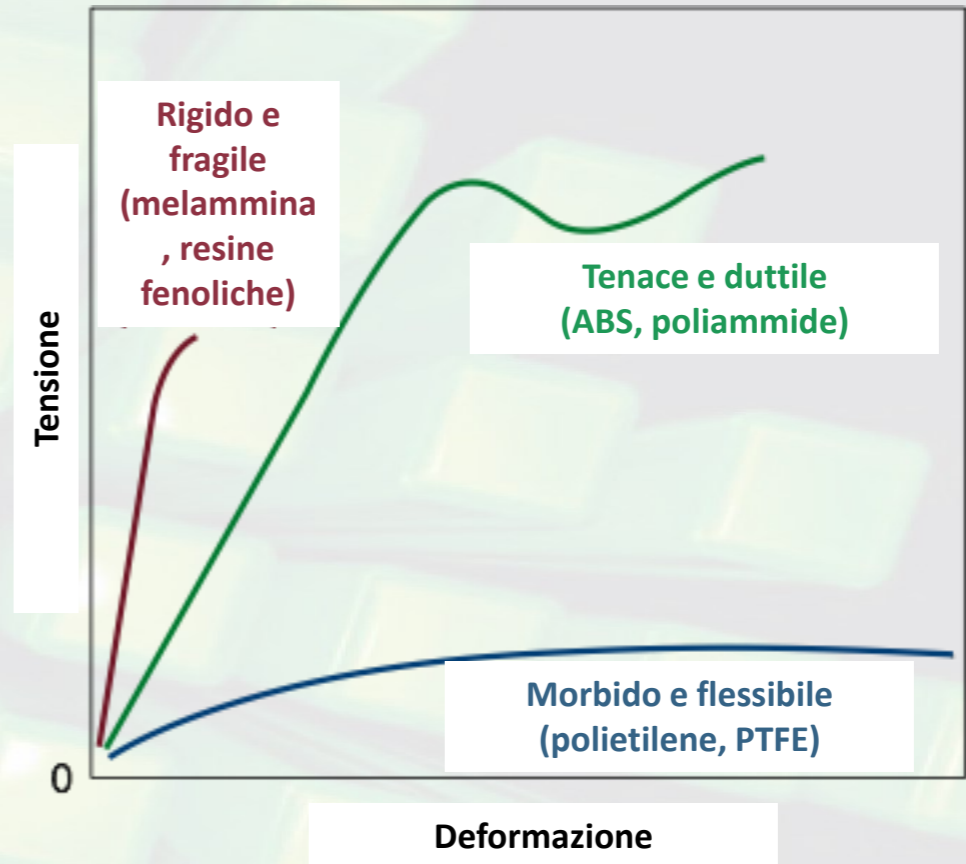
Deformazione dei Polimeri



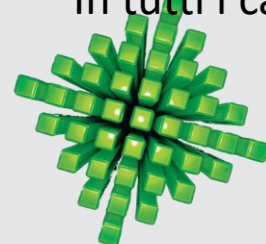
Vari modi di deformazione dei polimeri:

- (a) *elastico*;
- (b) *viscoso*;
- (c) *viscoelastico* (modello di *Maxwell*);
- (d) *viscoelastico* (modello di *Voigt* o di *Kelvin*).

In tutti i casi all'istante t_0 viene applicato un carico istantaneo.



Andamento della curva tensione-deformazione di tre tipologie di plastiche.



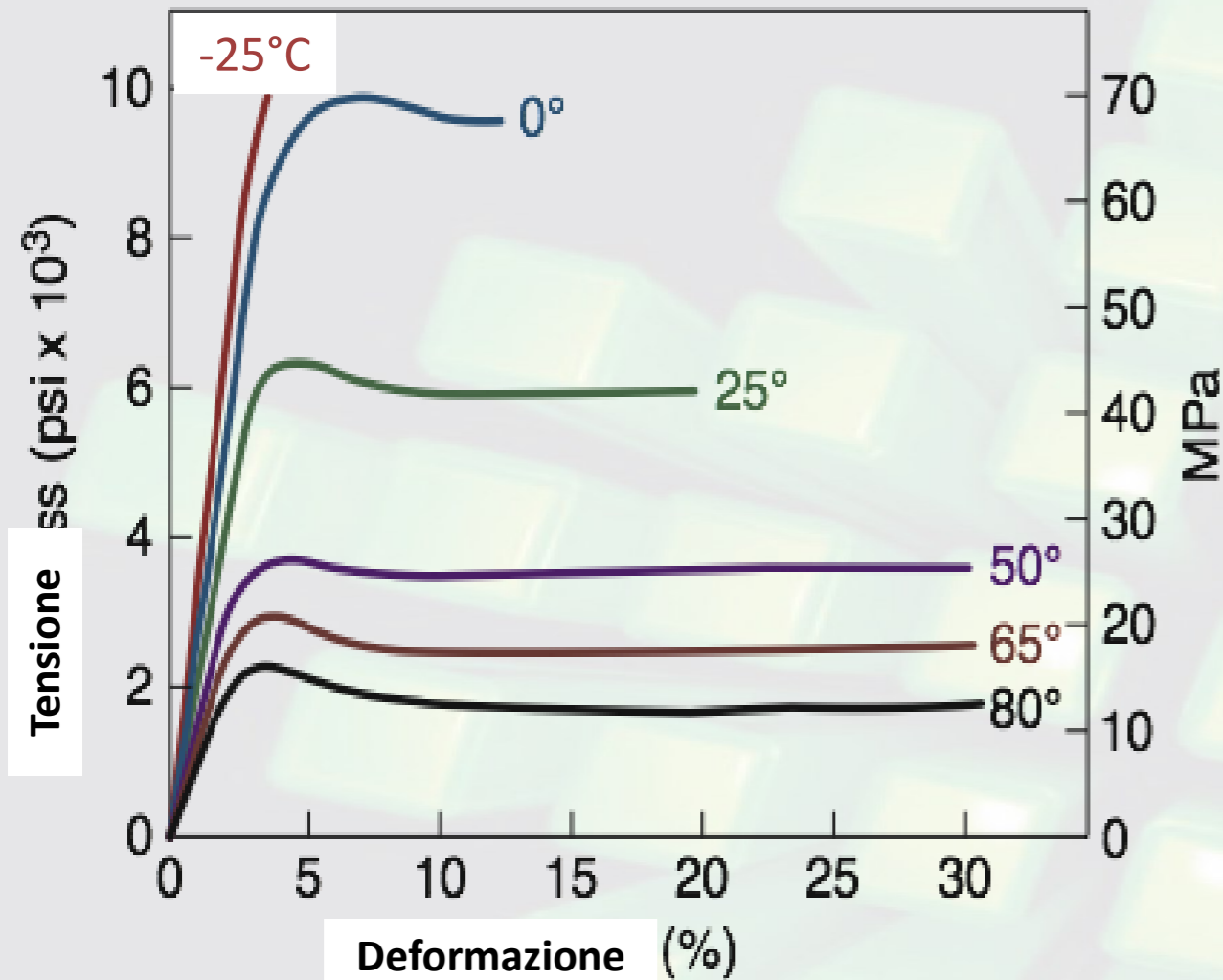
Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

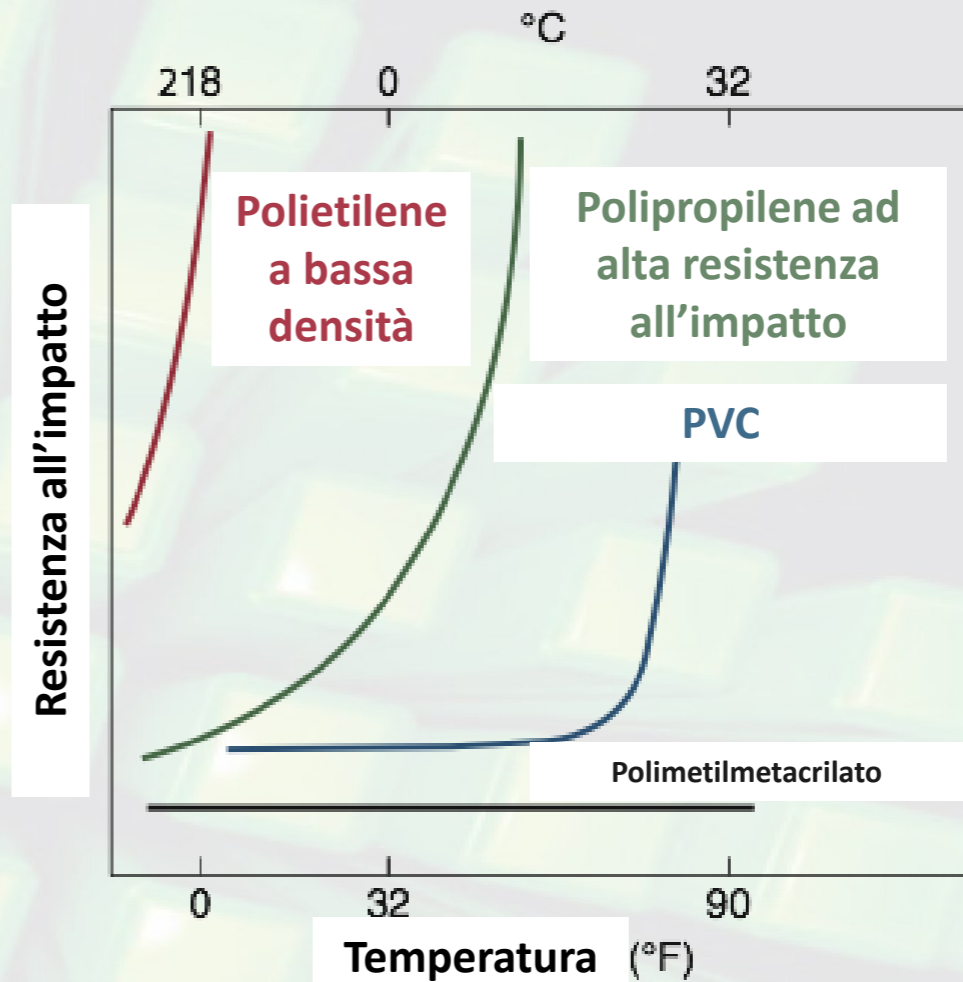
© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7

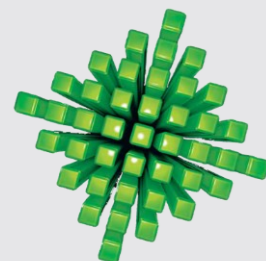
Effetto della Temperatura



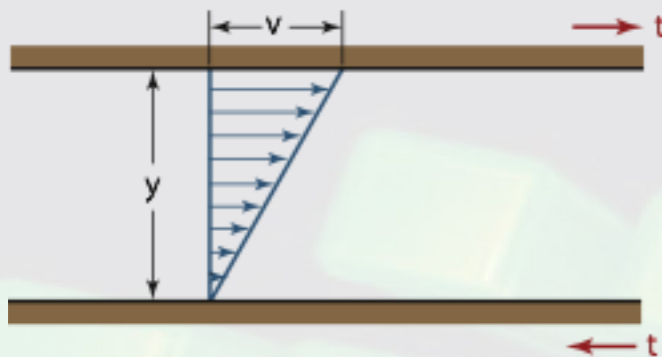
Effetto della temperature sulla curva tensione-deformazione dell'acetato di cellulosa (termoplastico). Notare la caduta della tensione e l'aumento della duttilità anche con un piccolo aumento della temperatura.



Effetto della temperature sulla resistenza all'impatto di vari polimeri.



Viscosità di Polimeri fusi



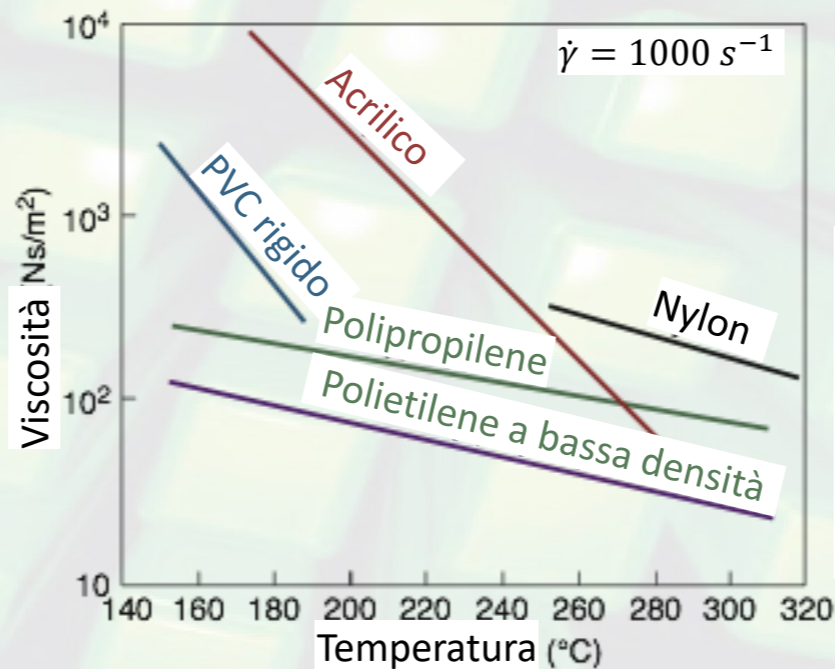
Comportamento viscoso: $\tau = \eta \left(\frac{dv}{dy} \right) = \eta \dot{\gamma}$

dove $\eta = \text{viscosità}$

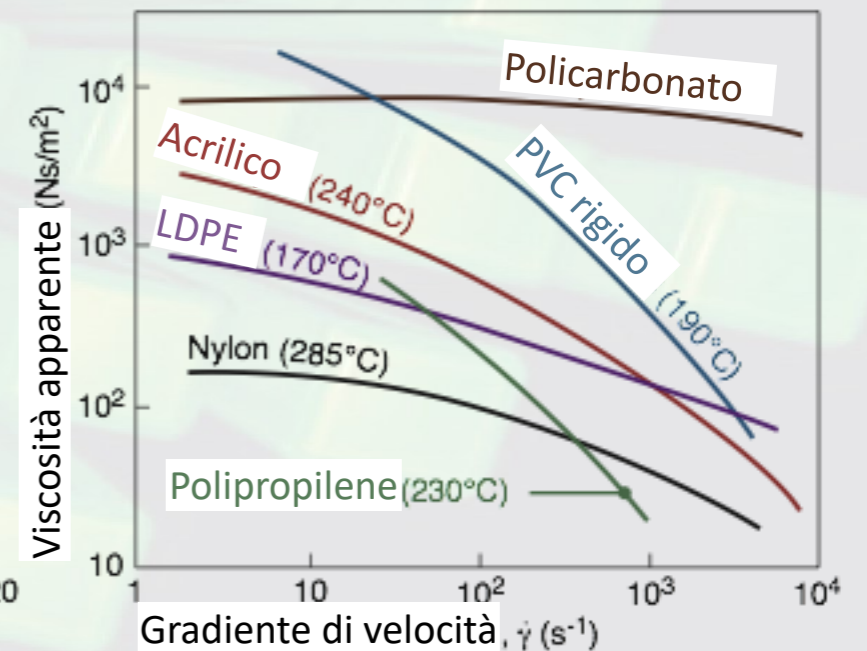
$\frac{dv}{dy} = \dot{\gamma} = \text{gradiente di velocità}$

Parametri usati per descrivere la viscosità.

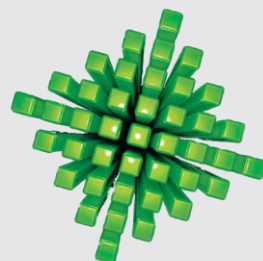
Viscosità di alcuni polimeri termoplastici in funzione di
(a) Temperatura e
(b) Gradiente di velocità.



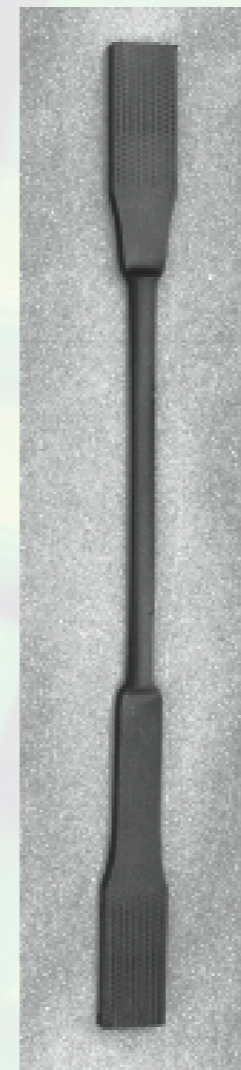
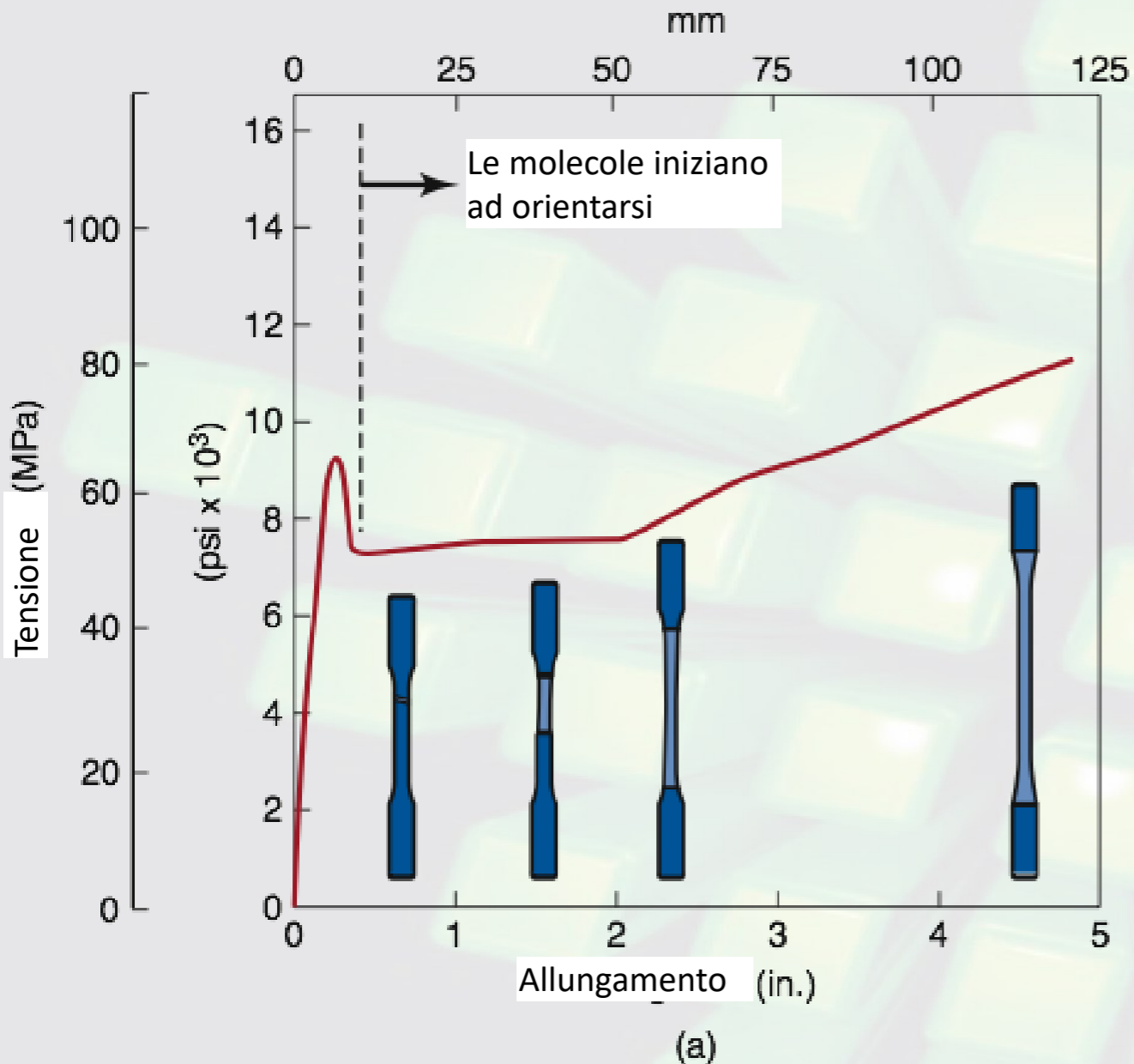
(a)



(b)



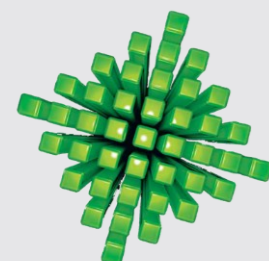
Comportamento del Polimero a Trazione



(b)



Tipica curva carico-allungamento per gli elastomeri. L'area interna al ciclo di carico e scarico misura le perdite dovute all'isteresi. Grazie all'isteresi gli elastomeri hanno la capacità di dissipare energia, smorzare le vibrazioni e assorbire carichi dovuti ad urti (pneumatici e smorzatori di vibrazioni nei macchinari).



Applicazioni dei Polimeri

Requisiti di progettazione

Resistenza meccanica

Resistenza all'usura

Proprietà di attrito

- **elevato**

Proprietà di attrito

- **basso**

Resistività elettrica

Resistenza agli agenti chimici

Resistenza al calore

Elementi funzionali e decorativi

Elementi funzionali e trasparenti

Alloggiamenti e forme cave

Applicazioni tipiche

Ruote dentate, camme, rulli, valvole, palette per ventilatori, giranti, pistoni

Ruote dentate, strisce e rivestimenti di usura, cuscinetti, boccole, ruote per pattini

Pneumatici, superfici antisdrucchiolo, Calzature, pavimentazioni

Superfici di scorrimento, articolazioni artificiali

Ogni tipo di apparecchiatura elettrica, elettrodomestici, dispositivi elettrici

Contenitori per sostanze chimiche, apparecchiature da laboratorio, componenti per l'industria chimica, contenitori per prodotti alimentari e bevande

Elettrodomestici, stoviglie, componenti elettrici

Maniglie, pomoli, custodie per macchine fotografiche e batterie, finiture interne automobili, raccorderia e accessori per condutture

Lenti, occhiali di protezione, vetrate di sicurezza, segnaletica, apparecchiature per lavorazione di prodotti alimentari, strumenti da laboratorio

Elettrotensili, alloggiamenti, caschi per attività sportive, corpi telefono

Materie plastiche

Resine acetaliche, nylon, resine fenoliche, policarbonati, poliesteri, polipropilene, resine epossidiche, poliimmidi

Resine acetaliche, nylon, resine fenoliche, poliimmidi, poliuretani, polietilene ad elevatissimo peso molecolare

Elastomeri, gomme

Fluorocarburi, poliesteri, polietilene, poliimmidi

Polimetilmetacrilato, ABS, fluorocarburi, nylon, policarbonato, poliesteri, polipropilene, resine ureiche, resine fenoliche, siliconi, gomme

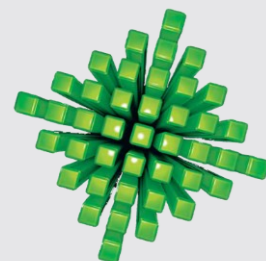
Resine acetaliche, ABS, resine epossidiche, polimetilmetacrilato, fluorocarburi, poliesteri, nylon, policarbonato, polipropilene, resine ureiche, resine fenoliche, siliconi

Fluorocarburi, poliimmidi, siliconi, resine acetaliche, polisolfoni, resine fenoliche, resine epossidiche

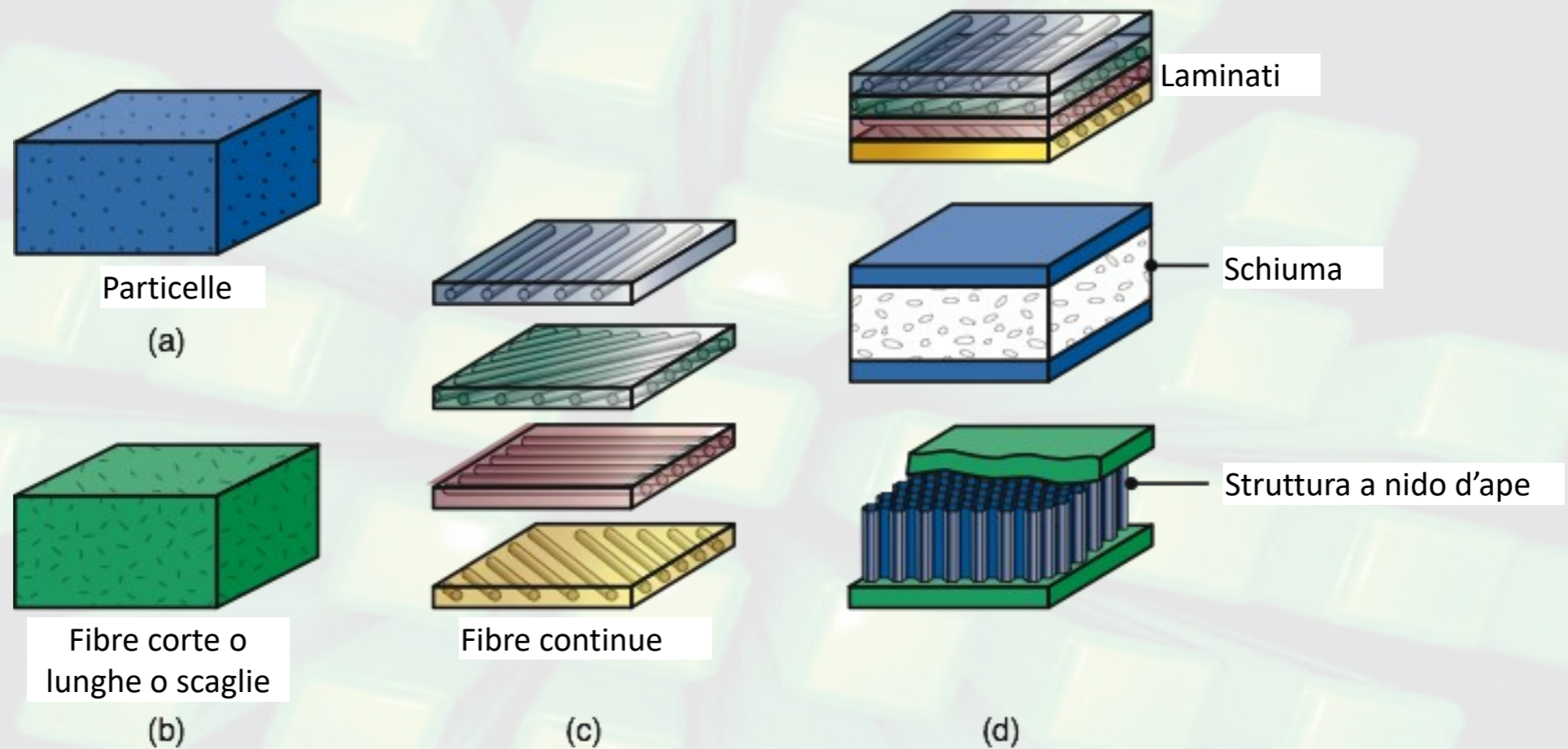
ABS, resine acriliche, resine cellulosiche, resine fenoliche, polietilene, polipropilene, polistireni, PVC

Resine acriliche, policarbonati, polistireni, polisolfoni

ABS, resine cellulosiche, resine fenoliche, policarbonati, polietilene, polipropilene, polistireni

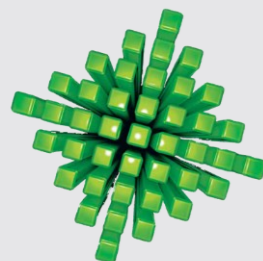


Polimeri Rinforzati



Schema dei tipi di plastiche rinforzate.

- (a) Matrice con particelle;
- (b) Matrice con fibre corte o lunghe oppure con scaglie;
- (c) Fibre continue;
- (d) Laminati, Strutture composite a sandwich (con schiume o con strutture a nido d'ape).



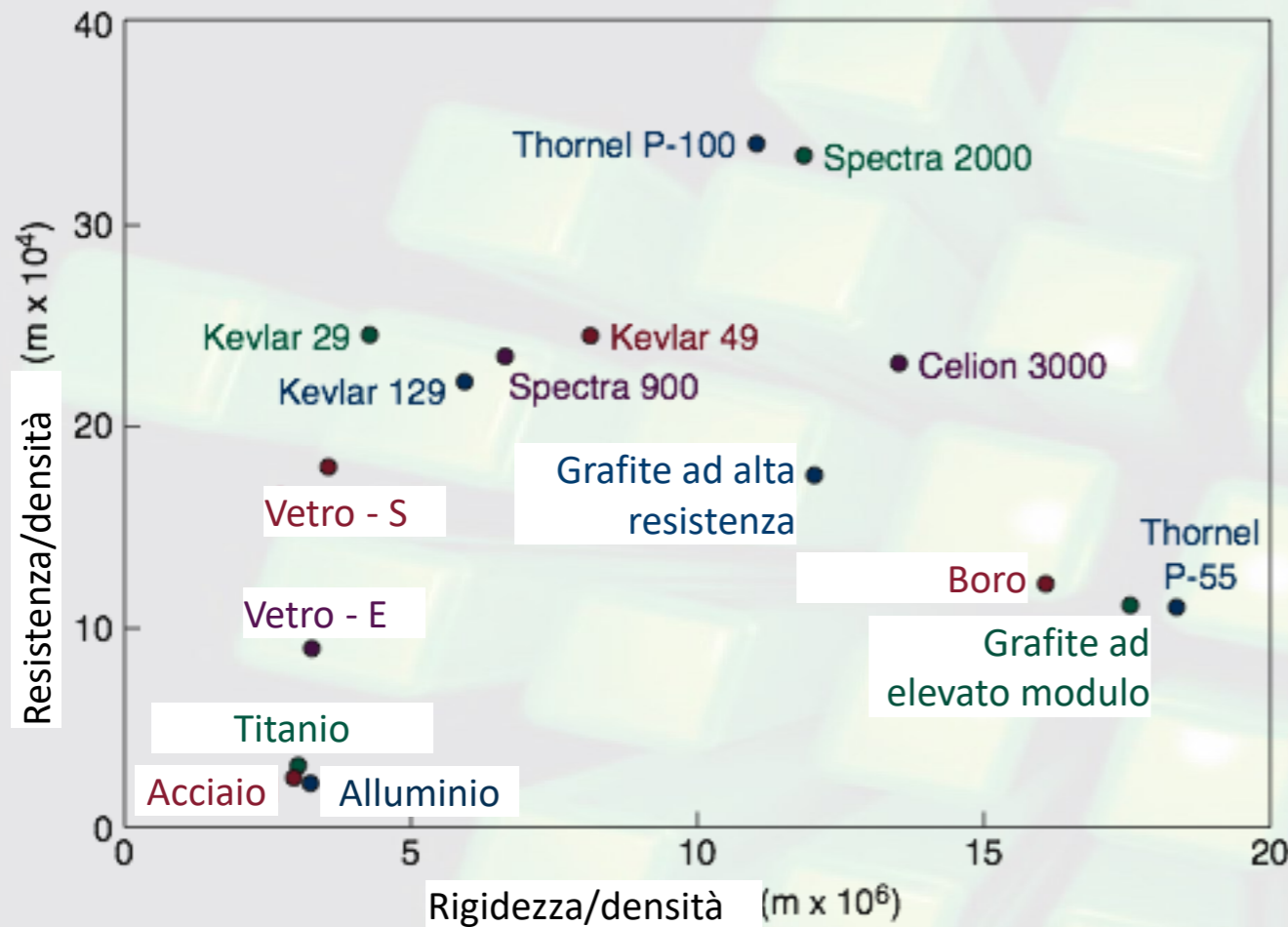
Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7

Proprietà delle Fibre di Rinforzo

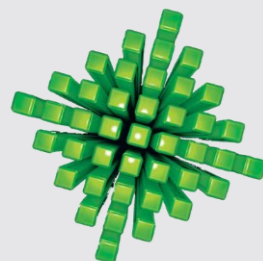


Tipo	Resistenza a trazione (MPa)	Modulo elastico (GPa)	Densità (kg/mm ³)	Costo relativo
Boro	3500	380	2600	altissimo
Carbonio ad alta resistenza	3000	275	1900	basso
Carbonio ad elevato modulo	2000	415	1900	basso
Vetro tipo E	3500	73	2480	bassissimo
Vetro tipo S	4600	85	2540	bassissimo
Kevlar 29	2800	62	1440	elevato
Kevlar 49	2800	117	1440	elevato
Kevlar 129	3200	85	1440	elevato
Nextel 312	1630	135	2700	elevato
Nextel 610	2770	328	3960	elevato
Spectra 900	2270	64	970	elevato
Spectra 1000	2670	90	970	elevato

La resistenza a rottura è compresa tra 1.5-5.5 %

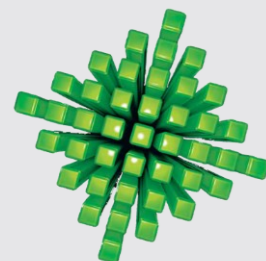
Resistenza a trazione specifica (=rapporto tra resistenza e densità) e **modulo a trazione specifico** (=rapporto tra modulo di elasticità e densità) di varie fibre di rinforzo.

Proprietà delle fibre di rinforzo.

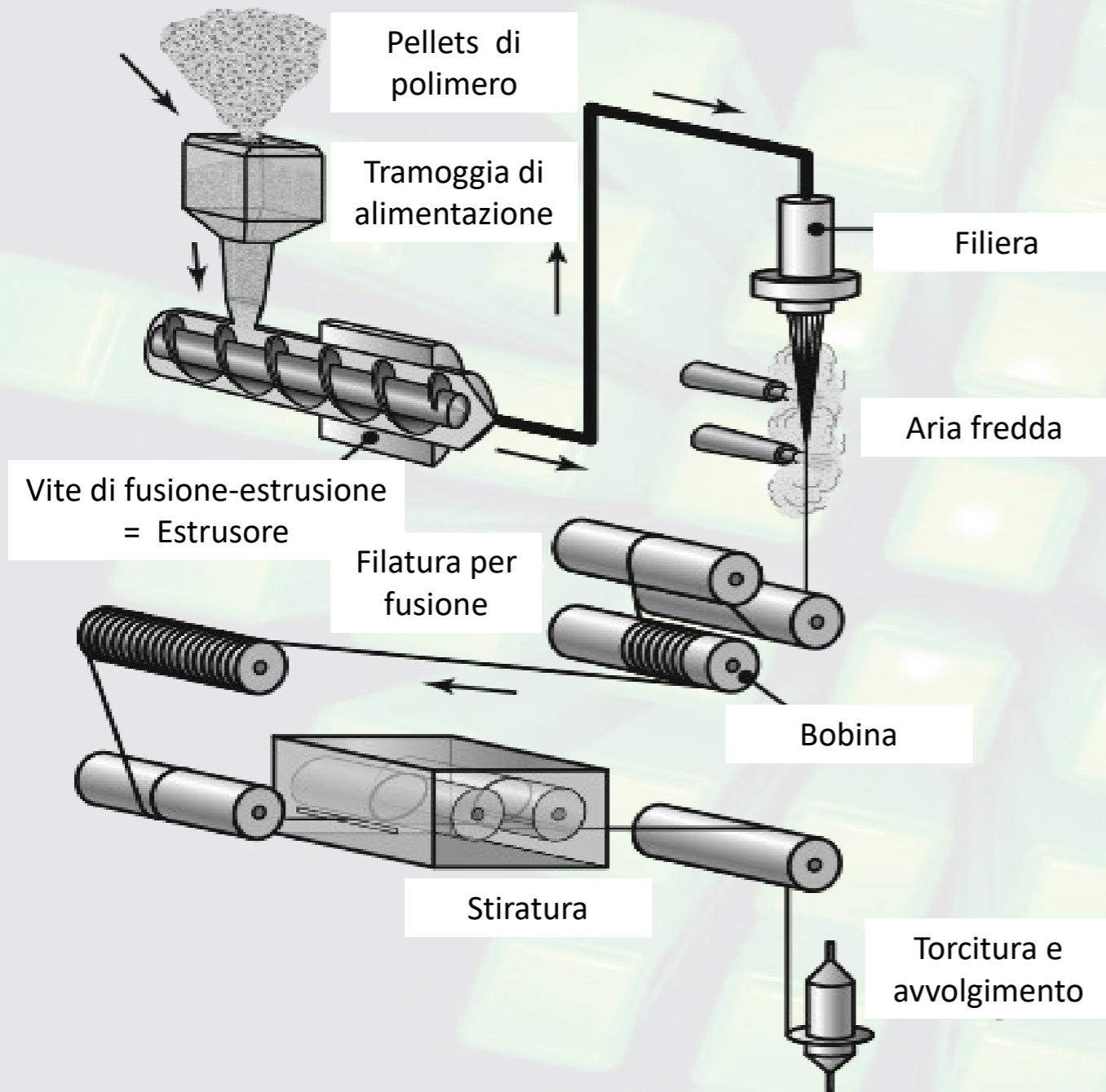


Compositi a matrice metallica e a matrice ceramica

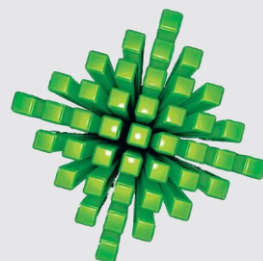
Materiale	Caratteristiche
FIBRE	
Vetro	Elevata resistenza, bassa rigidità ed alta densità; il <i>tipo E</i> (calcio-alluminio-borosilicato) e il <i>tipo S</i> (magnesio-alluminio-silicato) sono i più usati ed economici.
Carbonio (grafite)	Tipicamente disponibile nel tipo a modulo specifico elevato e nel tipo a resistenza specifica elevata; meno dense rispetto a quelle di vetro e a basso costo.
Boro	Elevata resistenza e rigidità; hanno un filamento di tungsteno coassiale al centro; densità e costi molto elevati.
Aramidi (Kevlar)	Hanno il più alto rapporto tra resistenza e peso; costo elevato.
Altre	Nylon, carburo di silicio, nitruro di silicio, ossido di alluminio, carburo di boro, nitruro di boro, carburo di tantalio, acciaio, tungsteno e molibdeno.
MATRICE	
Termoindurenti	Resine epossidiche e poliesteri, con prevalenza delle prime; altre sono le resine fenoliche, i fluorocarburi, il polietersolfone, silicone e poliimmidi.
Termoplastici	Polieteretereterechetone (PEEK), più tenace dei termoindurenti, ma meno resistente alla temperatura.
Metalli	Alluminio, leghe di alluminio e litio, magnesio e titanio; le fibre impiegate sono grafite, ossido di alluminio, carburo di silicio e boro.
Ceramici	Carburo di silicio, nitruro di silicio, ossido di alluminio e mullite; le fibre impiegate sono di materiale ceramico.



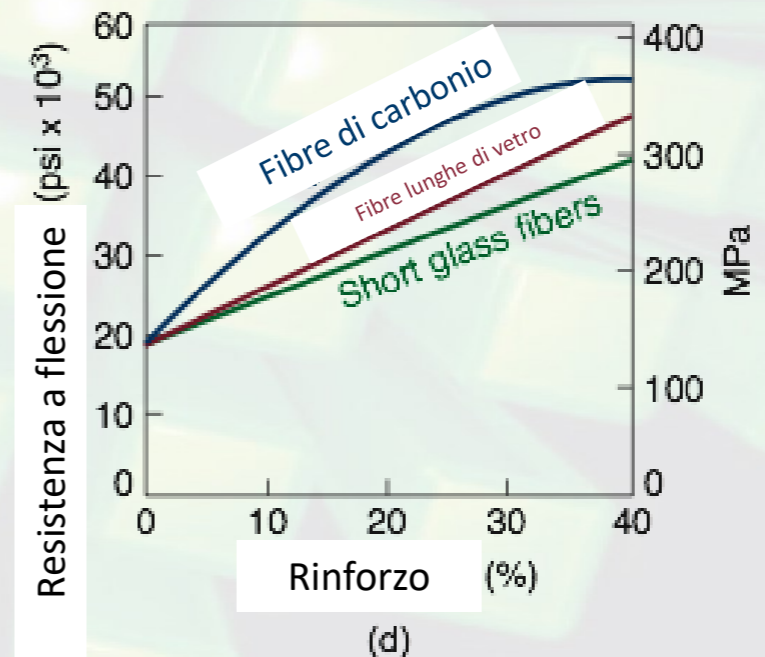
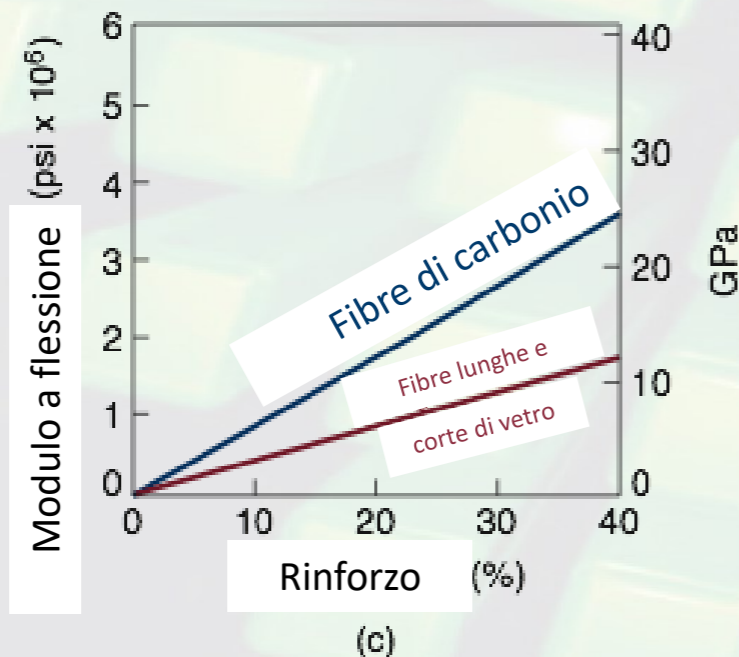
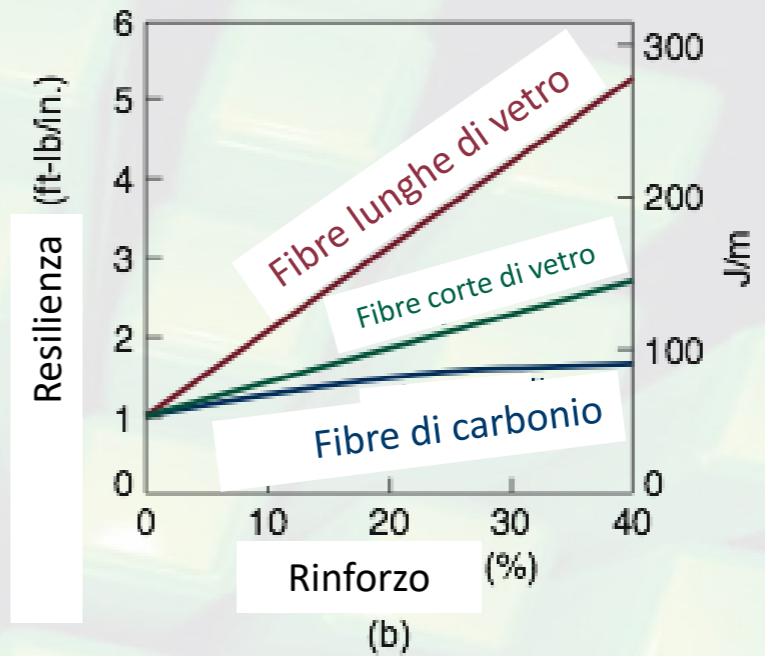
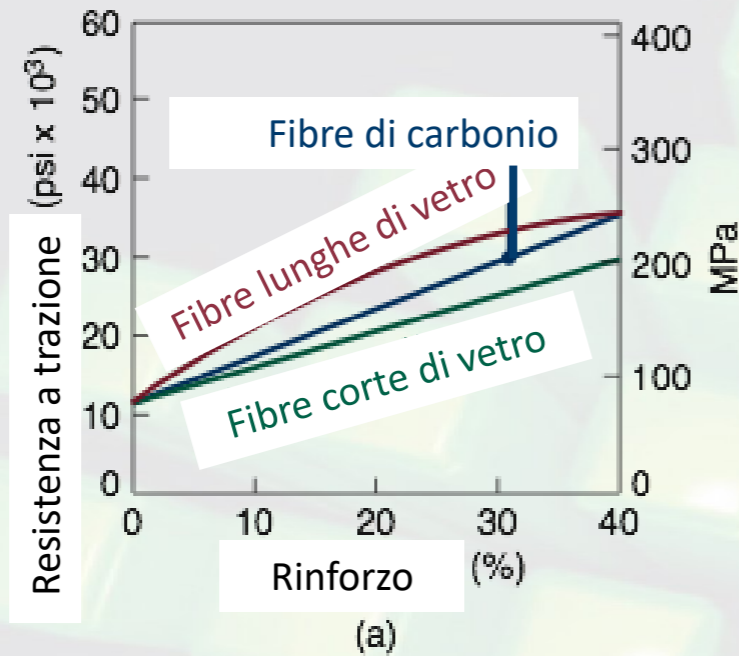
Filatura per fusione



- Il processo di filatura per fusione consiste in
1. un estrusore che porta a fusione i pellets di polimero e li estrude attraverso
 2. una filiera con molteplici fori.
 3. I fili di polimero vengono raffreddati da aria fredda e
 4. avvolti in una serie di bobine.
 5. Poi vengono stirati ed
 6. infine ritorti ed avvolti in una bobina finale di filo.

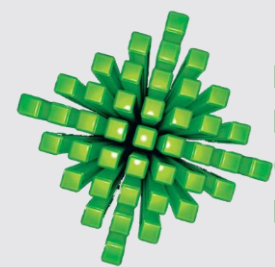


Effetto delle Fibre

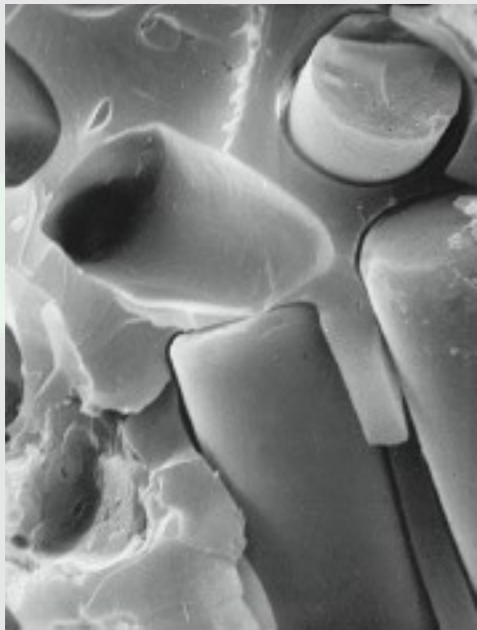


Effetto nel nylon della percentuale di fibre di rinforzo e della loro lunghezza su:

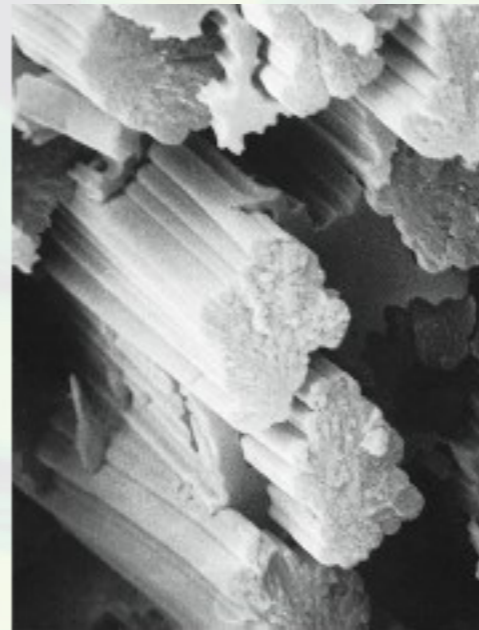
- (a) Resistenza a trazione;
- (b) Resilienza;
- (c) Modulo a flessione;
- (d) Resistenza a flessione.



Resistenza Meccanica e Frattura nei Compositi

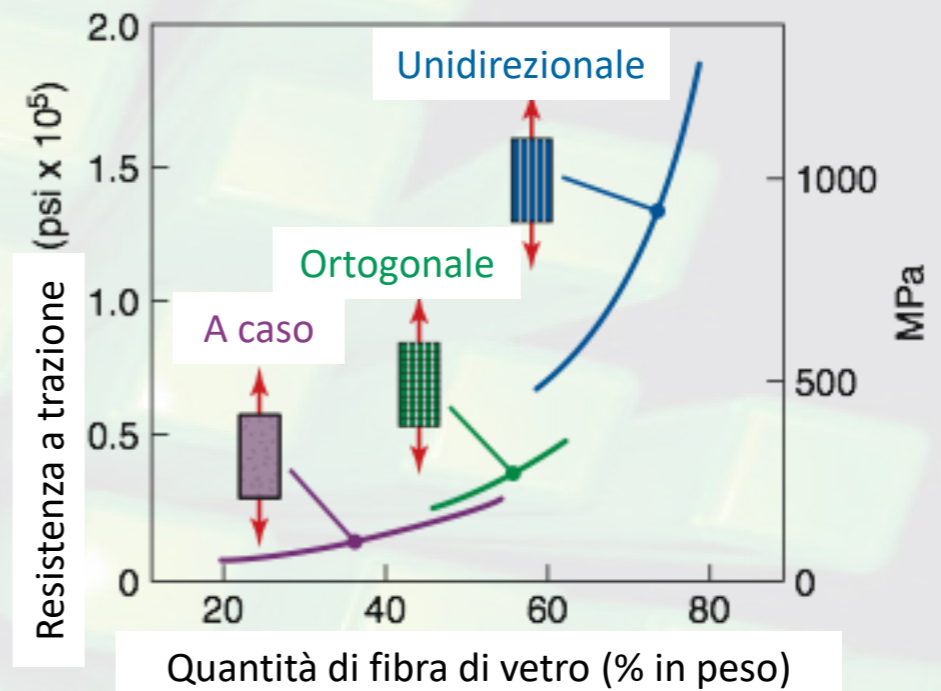


(a)



(b)

- (a) Superficie di frattura di un composito di resina epossidica rinforzato con fibre di vetro (10 μ m di diametro con orientazione casuale);
- (b) Superficie di frattura di un composito di resina epossidica rinforzato con fibre di grafite (9-11 μ m allineate nella stessa direzione in fasci).



Resistenza a trazione di un poliestere rinforzato con vetro in funzione della quantità di fibre e dalla direzione di orientazione delle fibre nella matrice.

