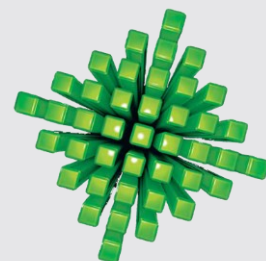


COLATA, INGLOBAMENTO, INCAPSULATURA, CALANDRATURA



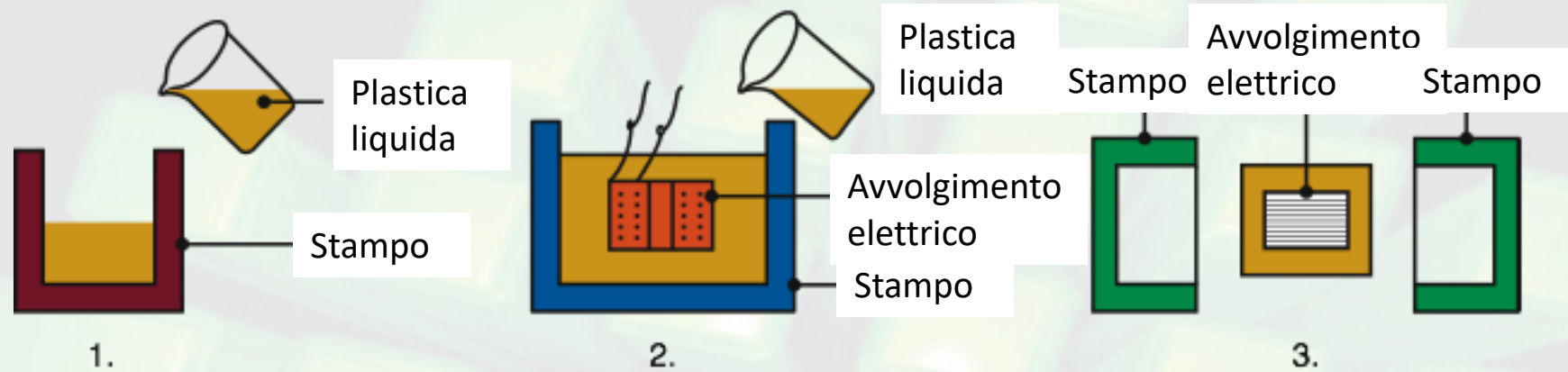
Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7

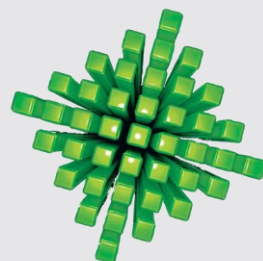
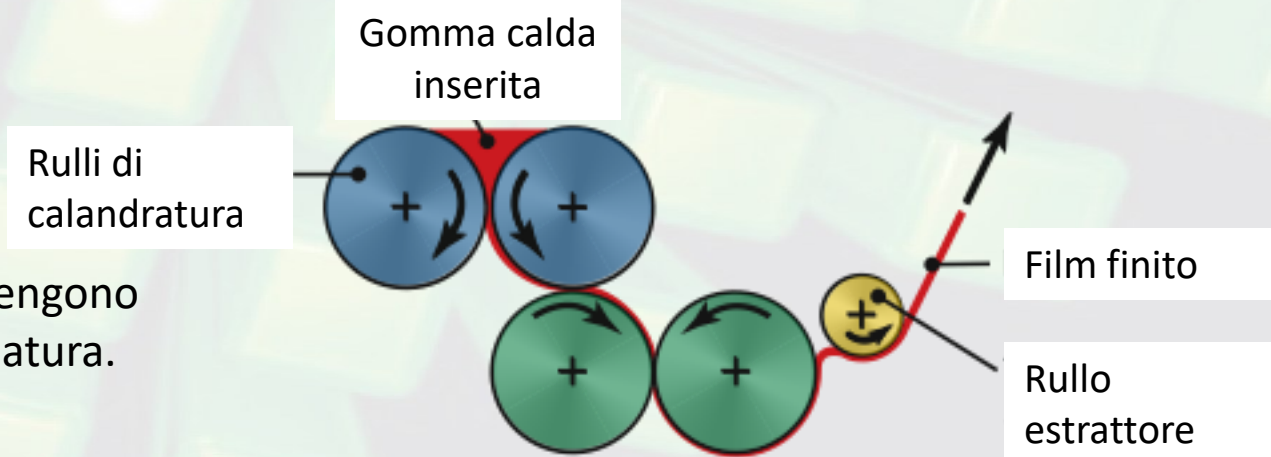
Colata, Inglobamento, Incapsulazione e Calandratura



Schema della

- 1. Colata,**
- 2. Inglobamento** (incorporamento completo di un componente elettrico nella plastica) , e
- 3. Incapsulazione** (rivestimento superficiale con plastica isolante di un componente elettrico).

Schema della **calandratura**. I fogli così prodotti vengono poi lavorati con altri processi, come la termoformatura.



Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

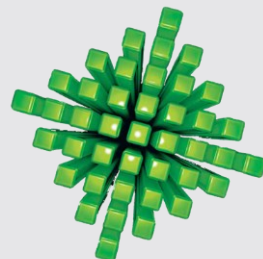
Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

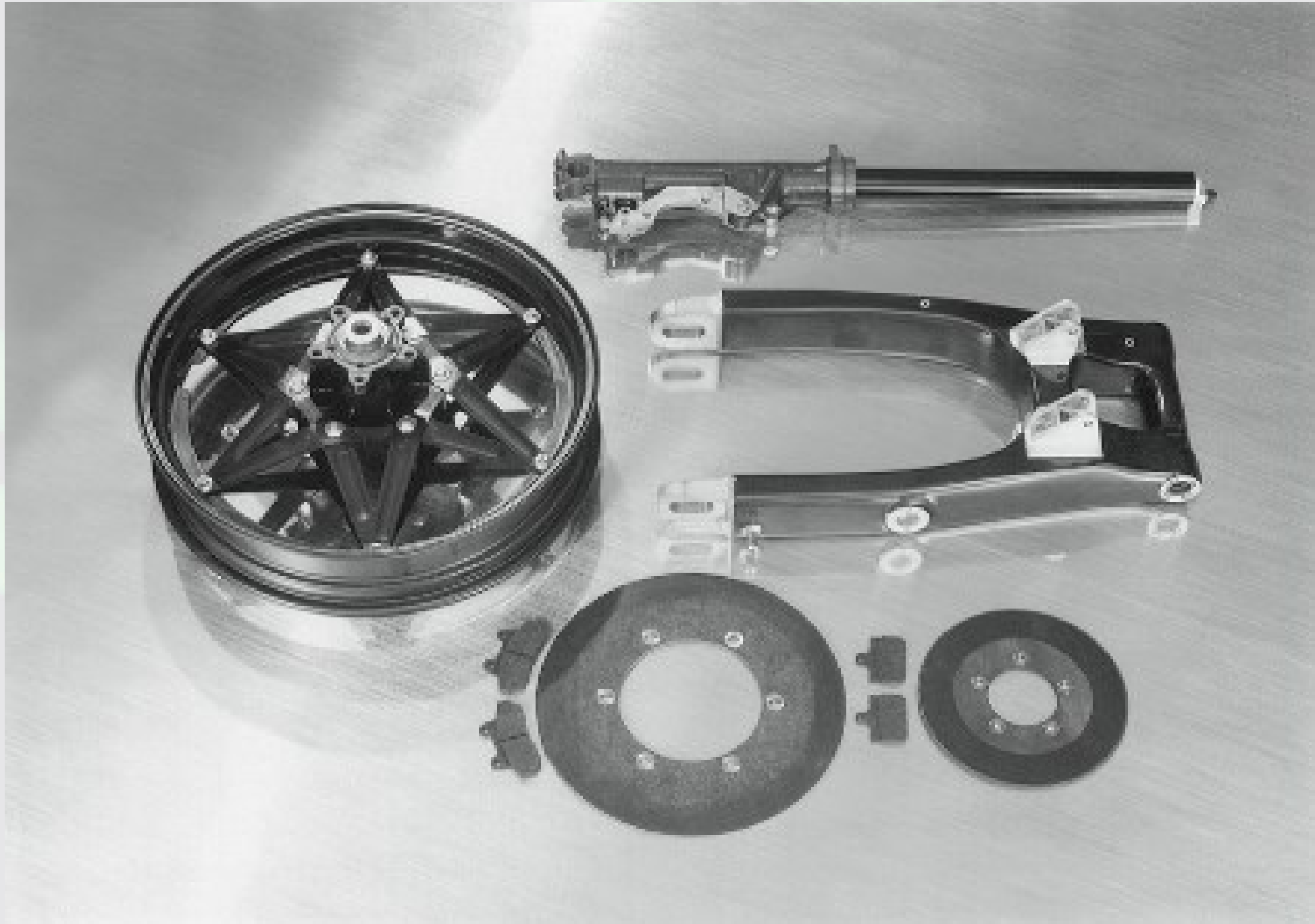
ISBN No. 0-13-227271-7

LAVORAZIONI PLASTICHE RINFORZATE

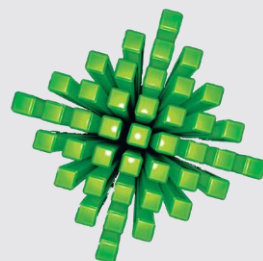
- Preimpregnati (PREPREGS)
- Formatura con sacca a vuoto
- Formatura con sacca a pressione
- Processi a stampo aperto
- Filament winding
- Pultrusione



Componenti di Plastica Rinforzata



Componenti di plastica rinforzata di una motocicletta Honda (forcella anteriore, forcella posteriore, un cerchio di ruota e due dischi freno).



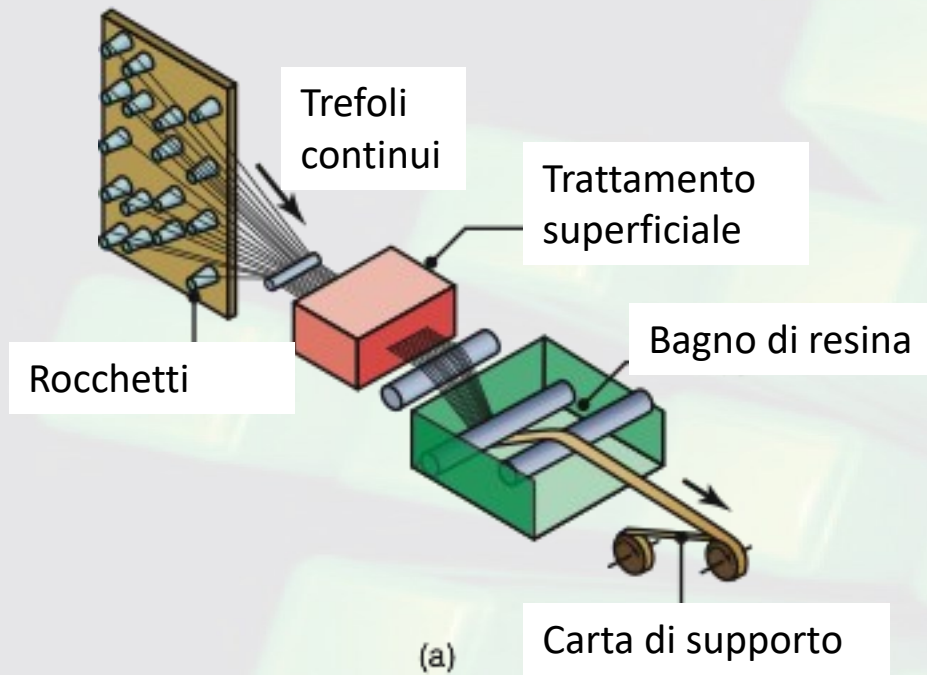
Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7

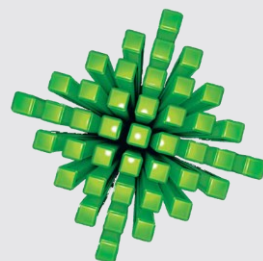
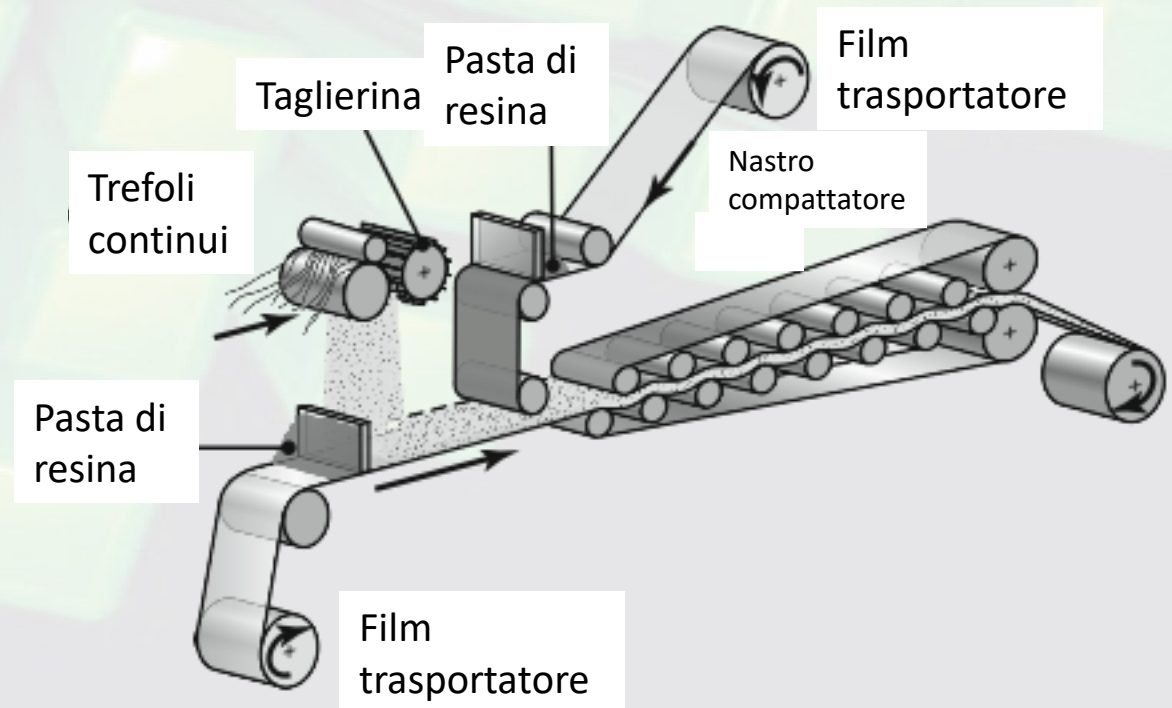
Fabbricazione dei preimpregnati (Prepregs)



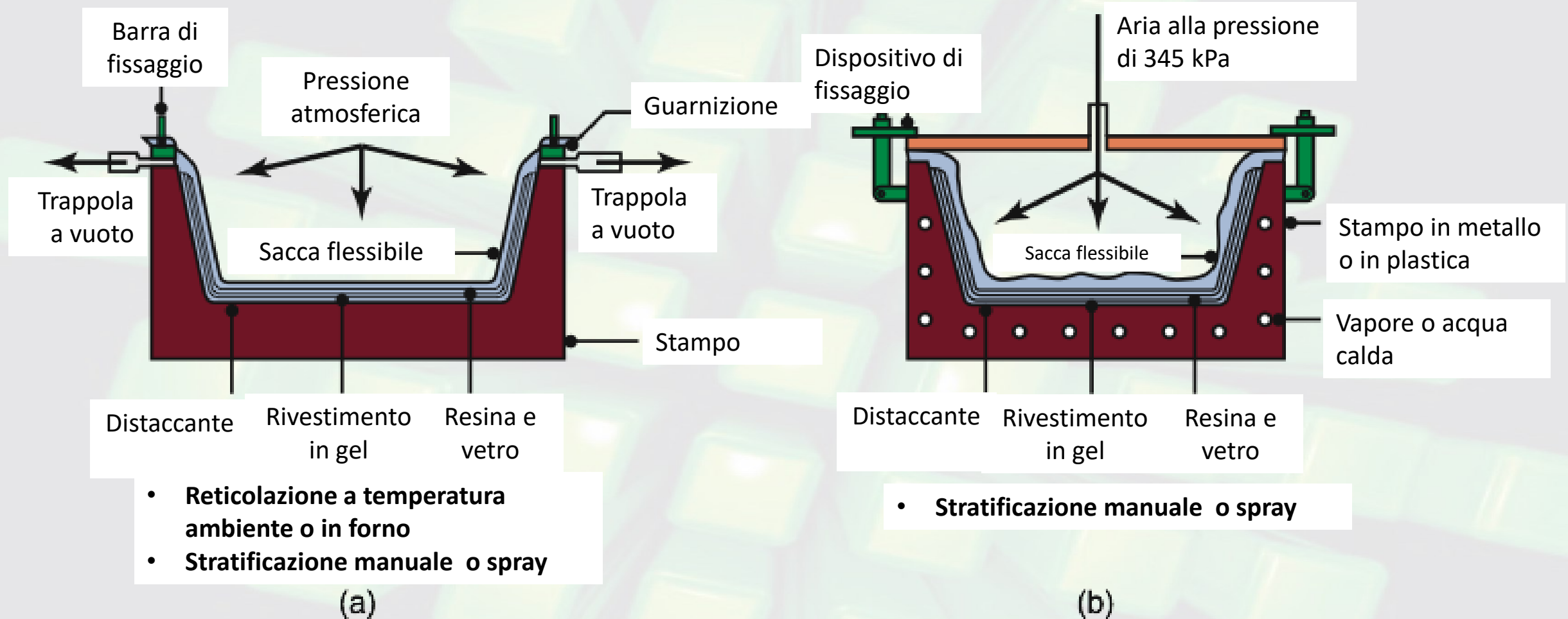
(b)

- (a) Processo produttivo di un composito a matrice polimerica.
- (b) Nastro preimpregnato boro – resina epossidica.

Processo produttivo per realizzare fogli di plastica rinforzata. Il foglio è ancora viscoso a questo stadio e sarà poi formato per realizzare diversi prodotti.

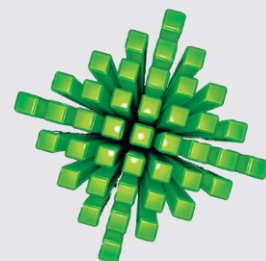


Formatura con sacca a vuoto e con sacca a pressione

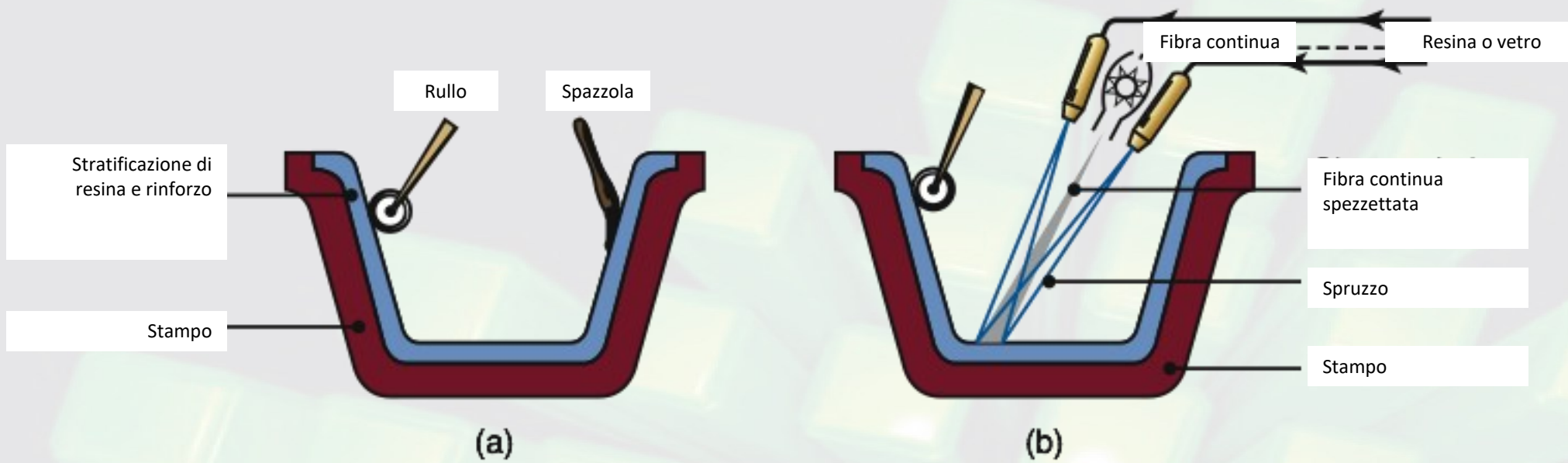


(a) Formatura con sacca a vuoto.

(b) Formatura con sacca a pressione.



Processi a Stampo Aperto



(a)

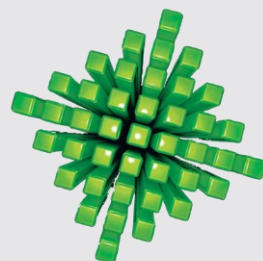
(b)

Metodi manuali di lavorazione dei compositi di plastiche rinforzate:

- (a) Deposizione manuale (*a rullo o a spazzola*);
- (b) Deposizione a spruzzo;
- (c) Uno scafo di imbarcazione realizzato con questi processi.



(c)



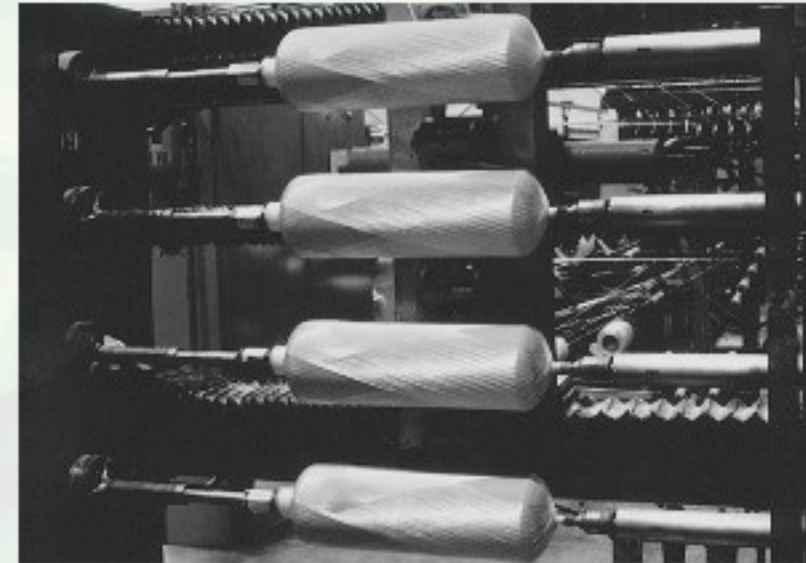
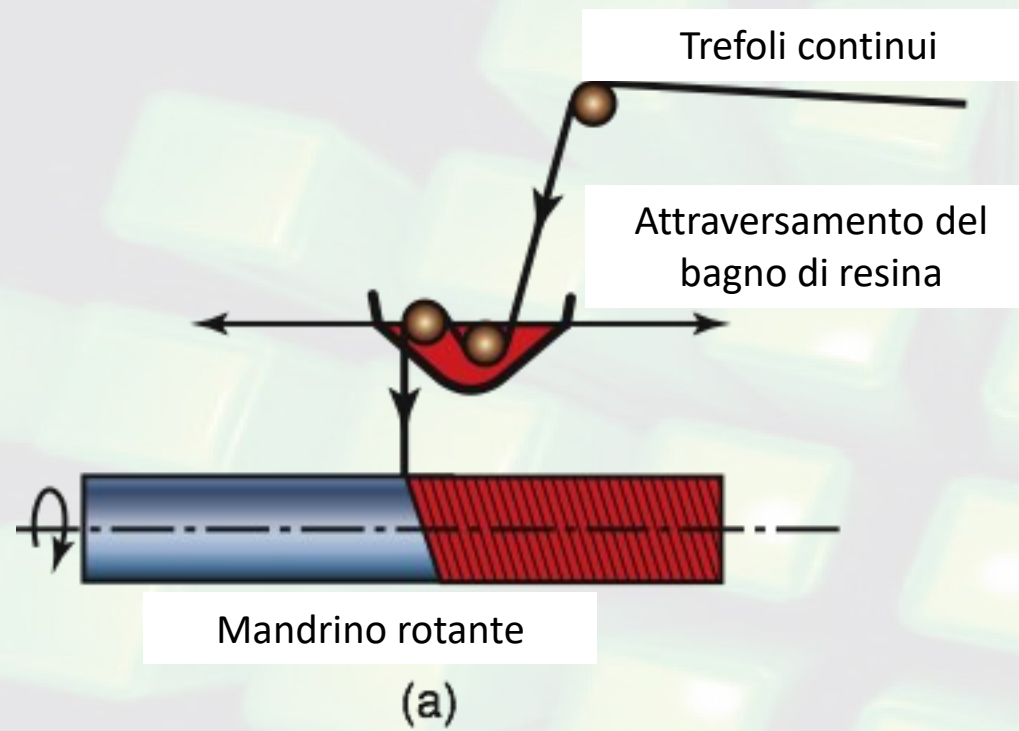
Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

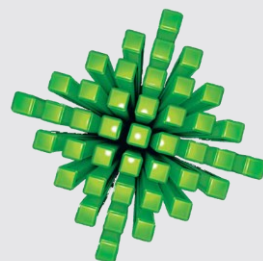
ISBN No. 0-13-227271-7

Filament Winding



(a) Schema del processo di filament-winding.

(b) Fibra di vetro avvolta su rivestimenti di alluminio di serbatoi gonfiabili di canotti di salvataggio per l'aereo Boeing 767.



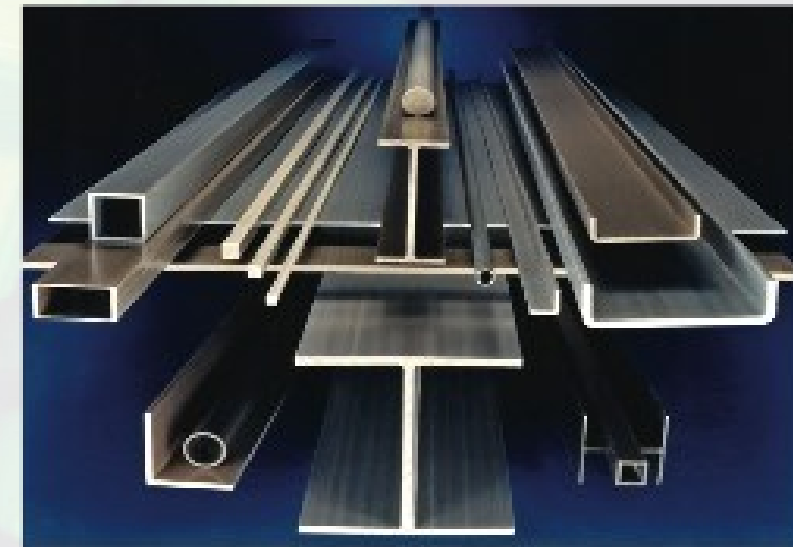
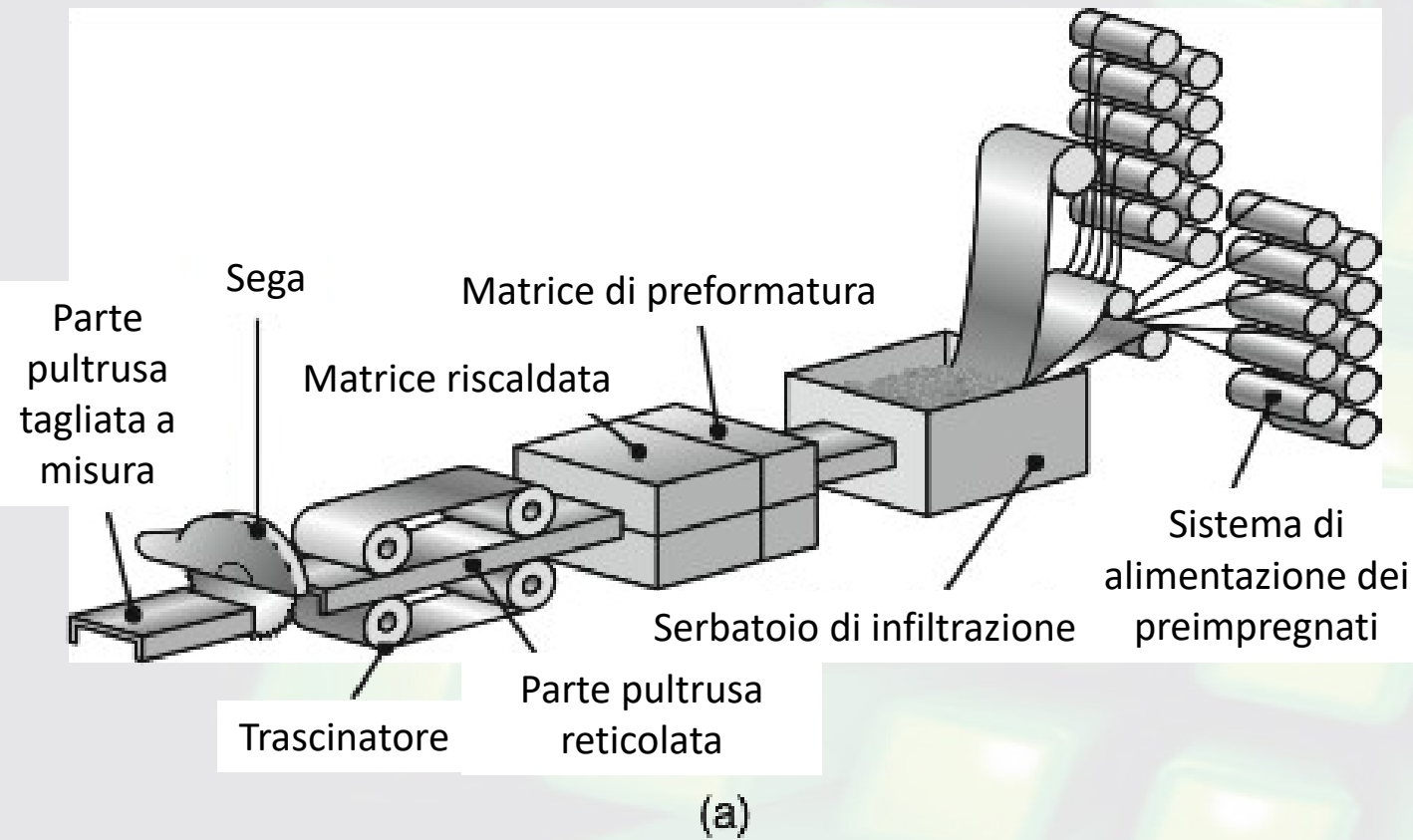
Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7

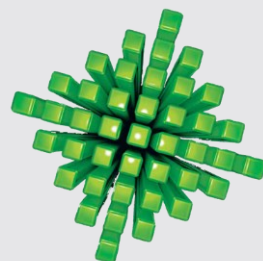
Pultrusione



(b)

(a) Schema del processo di pultrusione.

(b) Esempi di parti prodotte mediante pultrusione.



Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

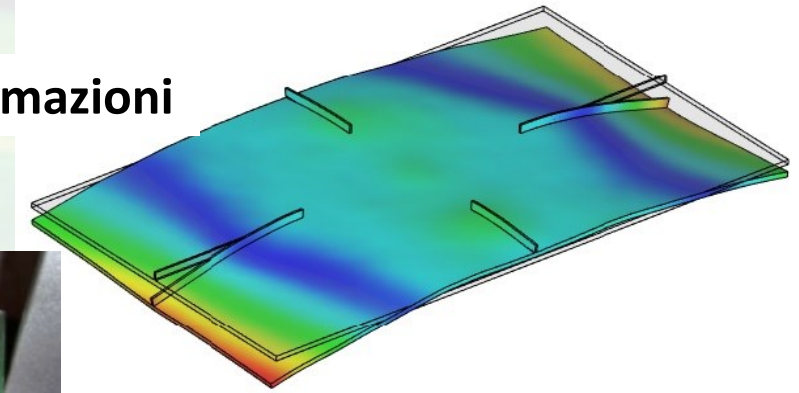
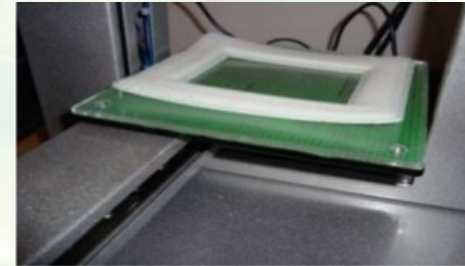
© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7

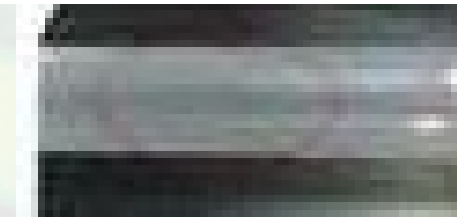
Problematiche dei Processi di Lavorazione delle Plastiche

- Distorsioni e deformazioni
- Ritiro
- Risucchio
- Mancato riempimento

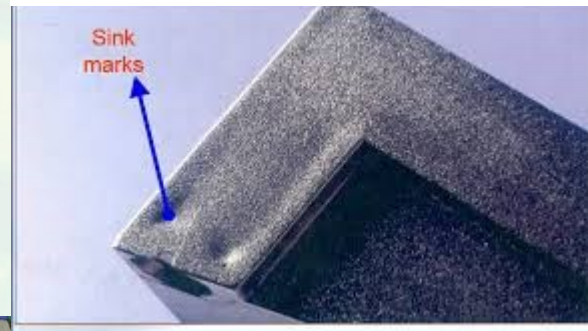
Distorsioni e deformazioni



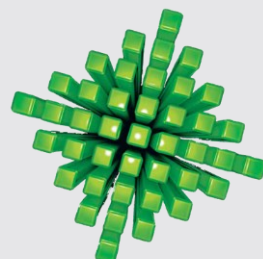
Ritiro



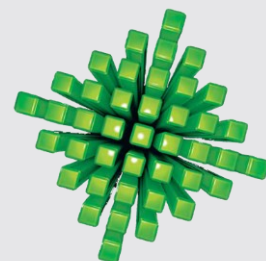
Risucchio



Mancato riempimento

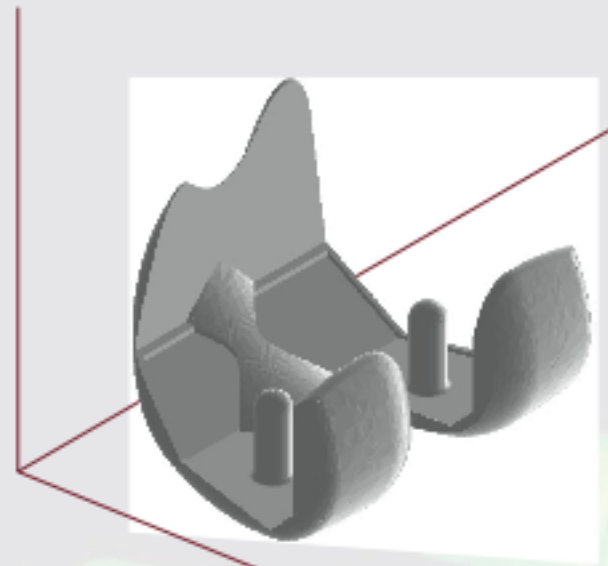


PROTOTIPAZIONE RAPIDA

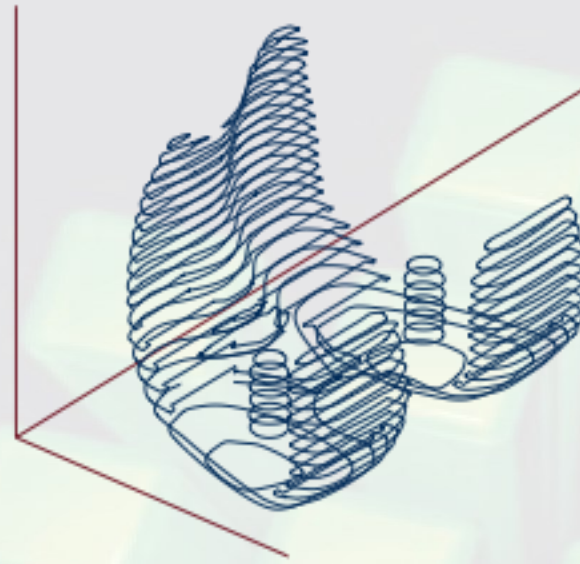


Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.
Kalpakjian • Schmid
© 2008, Pearson Education
ISBN No. 0-13-227271-7

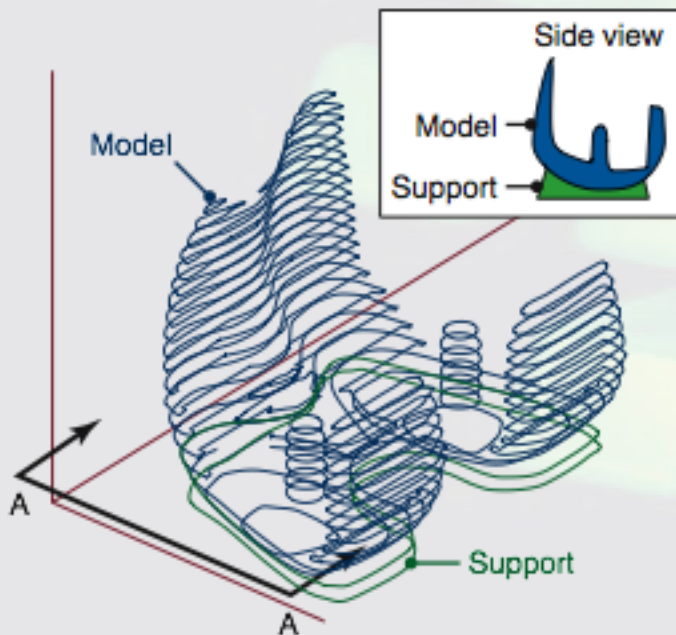
Il Processo di Prototipazione Rapida (RP)



(a)



(b)



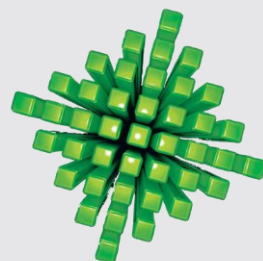
(c)



(d)

Le fasi sono coinvolte nella realizzazione di un programma per la stereolitografia.

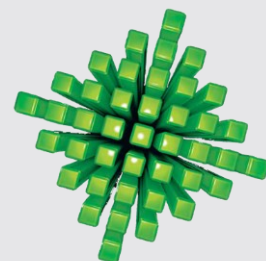
- (a) Modellazione 3-D delle pezzo;
- (b) Suddivisione del pezzo in fette o strati (solo uno di dieci rappresentato nella figura);
- (c) Pianificazione del materiale di supporto;
- (d) Determinazione del percorso utensile per realizzare ciascuno strato. In particolare per una operazione FDM viene mostrato il percorso dell'utensile estrusore della sezione (strato) A-A.



Processi di Prototipazione Rapida

Caratteristiche dei processi di prototipazione rapida.

Stato di partenza	Processo	Metodo di creazione dello strato	Tecnica di solidificazione	Materiali
<i>Liquido</i>	Stereolitografia	Reticolazione di strato liquido	Fotopolimerizzazione	Fotopolimeri (acrilati, resine epossidiche, resine colorabili, resine caricate)
	Polyjet	Reticolazione di strato liquido	Fotopolimerizzazione	Fotopolimeri
<i>Polvere</i>	Fused Deposition Modeling (FDM)	Estrusione di polimero fuso	Solidificazione per raffreddamento	Termoplastici (ABS, policarbonato, polisulfone)
	Stampa 3D	Deposizione di una goccia di legante su uno strato di polvere	Nessun cambiamento di fase	Polveri termoplastiche, ceramiche e metalliche con un legante
<i>Sinterizzazione laser selettiva di polvere</i>	Strato di polvere	Laser	Sinterizzazione o fusione	Polimeri, metalli con legante, metalli, ceramici e sabbia con legante
<i>Fusione a fascio elettronico di polvere</i>	Strato di polvere	Fascio elettronico	Fusione	Titanio e leghe titanio, cromo-cobalto



Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

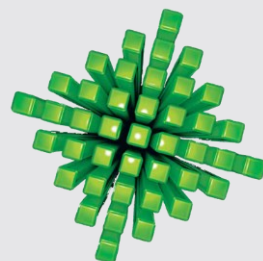
© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7

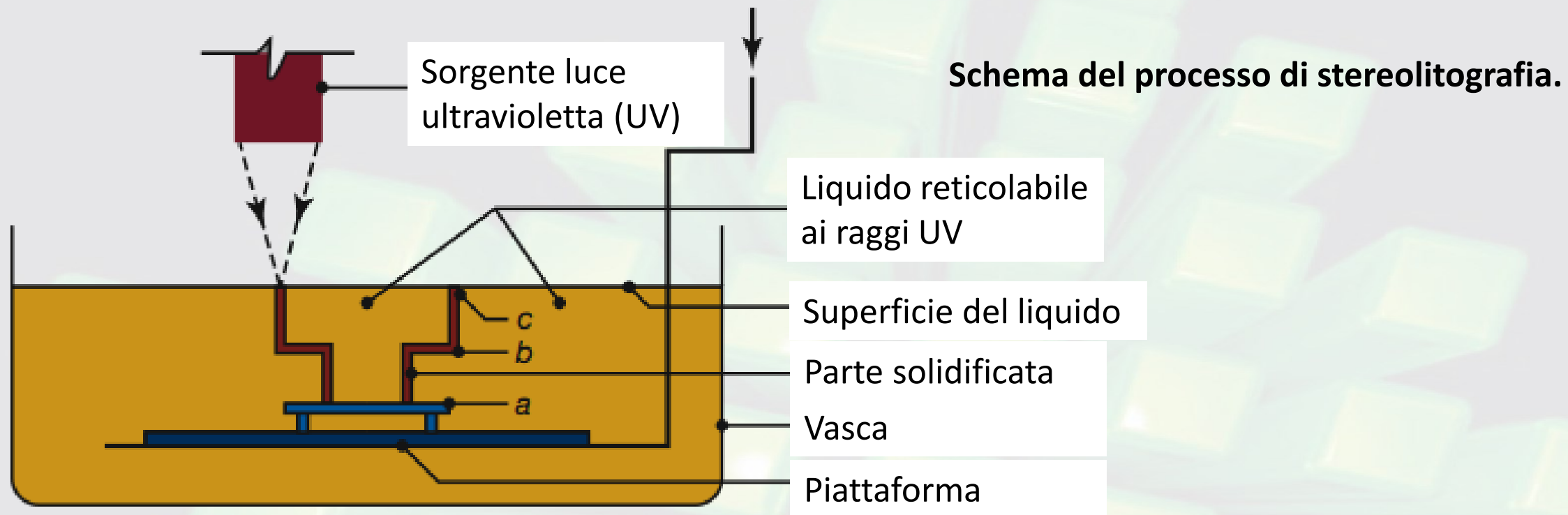
Materiali per la Prototipazione Rapida

Process	Material	Tensile Strength (MPa)	Elastic Modulus (GPa)	Elongation in 50 mm (%)	Notes
Stereolithography	Somos 7120a	63	2.59	2.3-4.1	Transparent amber; good general purpose material for rapid prototyping.
	Somos 9120a	32	1.14-1.55	15-25	Transparent amber; good chemical resistance; good fatigue properties; used for producing patterns in rubber molding.
	WaterShed 11120	47.1-53.6	2.65-2.88	3.3-3.5	Optically clear with a slight green tinge; similar mechanical properties as ABS; used for rapid tooling.
	Prototool 20Lb	72-79	10.1-11.2	1.2-1.3	Opaque beige; higher strength polymer suitable for automotive components, housings, and injection molds.
Polyjet	FC 700	42.3	2.0	15-25	Transparent amber; good impact strength, good paint absorption and machinability.
	FC800	49.9-55.1	2.5-2.7	15-25	White, blue or black; good humidity resistance; suitable for general purpose applications.
	FC900	2.0-4.6	-	47	Gray or black; very flexible material, simulates the feel of rubber or silicone.
Fused-deposition modeling	Polycarbonate	52	2.0	3	White; high-strength polymer suitable for rapid prototyping and general use.
	ABS	22	1.63	6	Available in multiple colors, most commonly white; a strong and durable material suitable for general use.
	PC-ABS	34.8	1.83	4.3	Black; good combination of mechanical properties and heat resistance.
Selective laser sintering	Duraform PA	44	1.6	9	White; produces durable heat- and chemical-resistant parts; suitable for snap-fit assemblies and sandcasting or silicone tooling.
	Duraform GF	38.1	5.9	2	White; glass-filled form of Duraform PA, has increased stiffness and is suitable for higher temperature applications.
	SOMOS 201	17.3	14	130	Multiple colors available; mimics rubber mechanical properties
	ST-100c	305	137	10	Bronze-infiltrated steel powder.

Proprietà Meccaniche dei materiali usati nella prototipazione rapida.



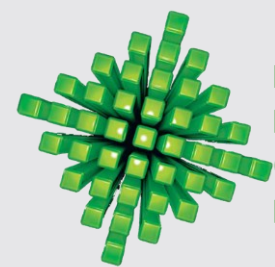
Stereolitografia and FDM



Schema del processo FDM.



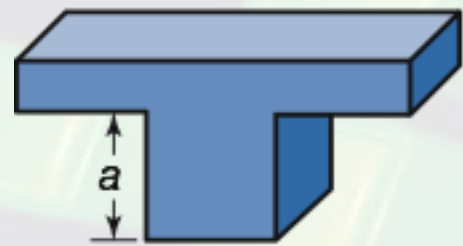
- (a) Schema del processo di deposizione di materiale fuso (FDM).
- (b) Macchina di prototipazione rapida FDM modello Vantage X.



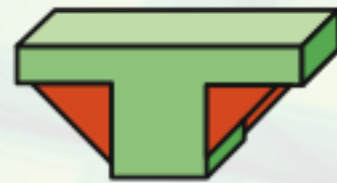
(a)

(b)

Strutture di Supporto



(a)



Fazzoletti

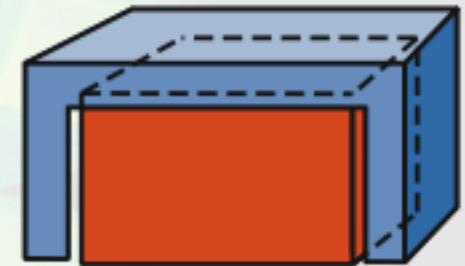


Isola



Supporto all'interno
di un arco

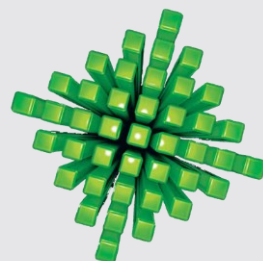
(b)



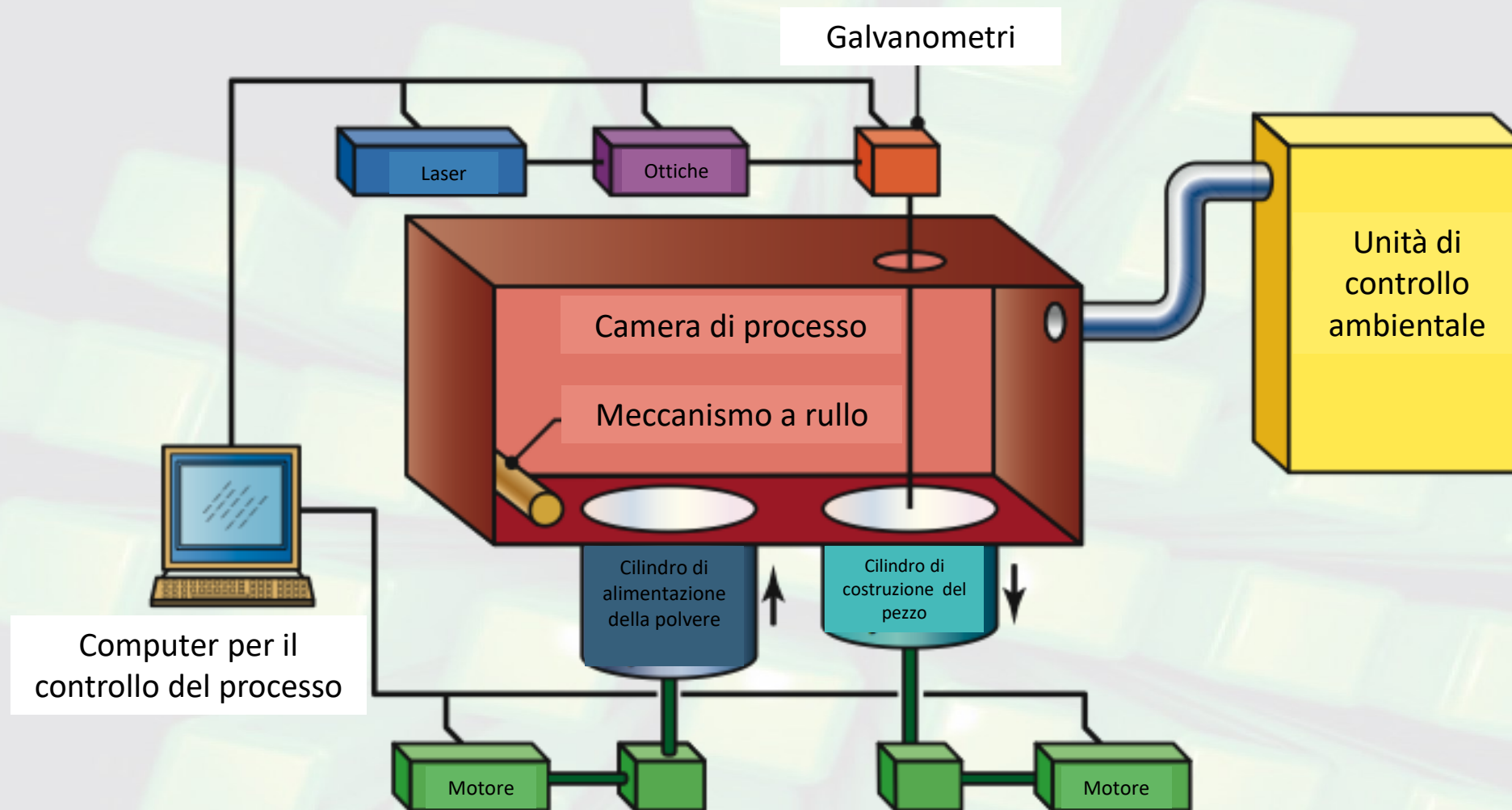
Supporto

(a) Un pezzo con sezione a sbalzo che richiede strutture di supporto.

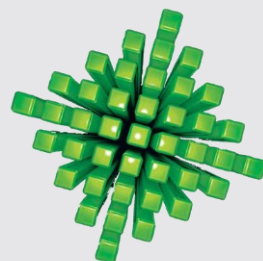
(b) Comuni strutture di supporto usate nelle macchine di prototipazione rapida.



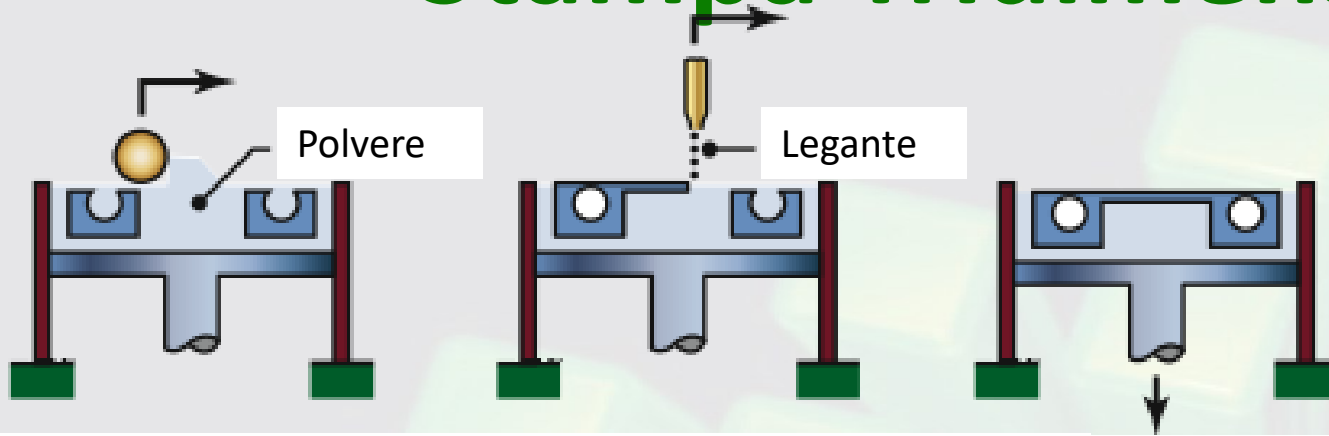
Sinterizzazione Laser Selettiva



Schema del processo di **sinterizzazione selettiva mediante laser**.

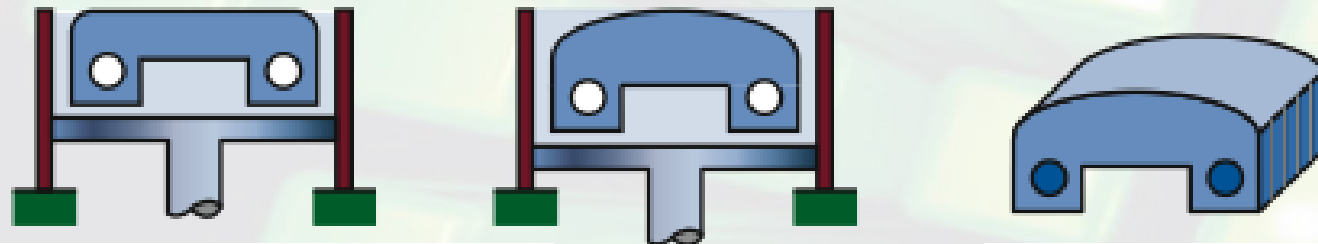


Stampa Tridimensionale



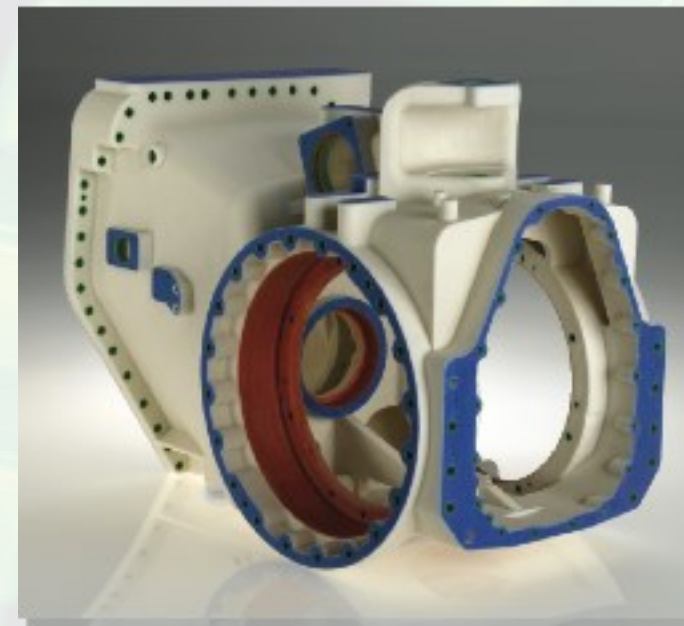
1. Distribuzione della polvere 2. Stampa di uno strato 3. Spostamento pistone

Schema della **stampa tridimensionale**.



4. Stadio intermedio 5. Stampa ultimo stadio 6. Pezzo finito

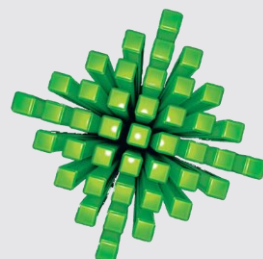
(a) (b) Esempi di parti prodotte mediante stampa tridimensionale. Si possono realizzare anche parti colorate.



(a)



(b)



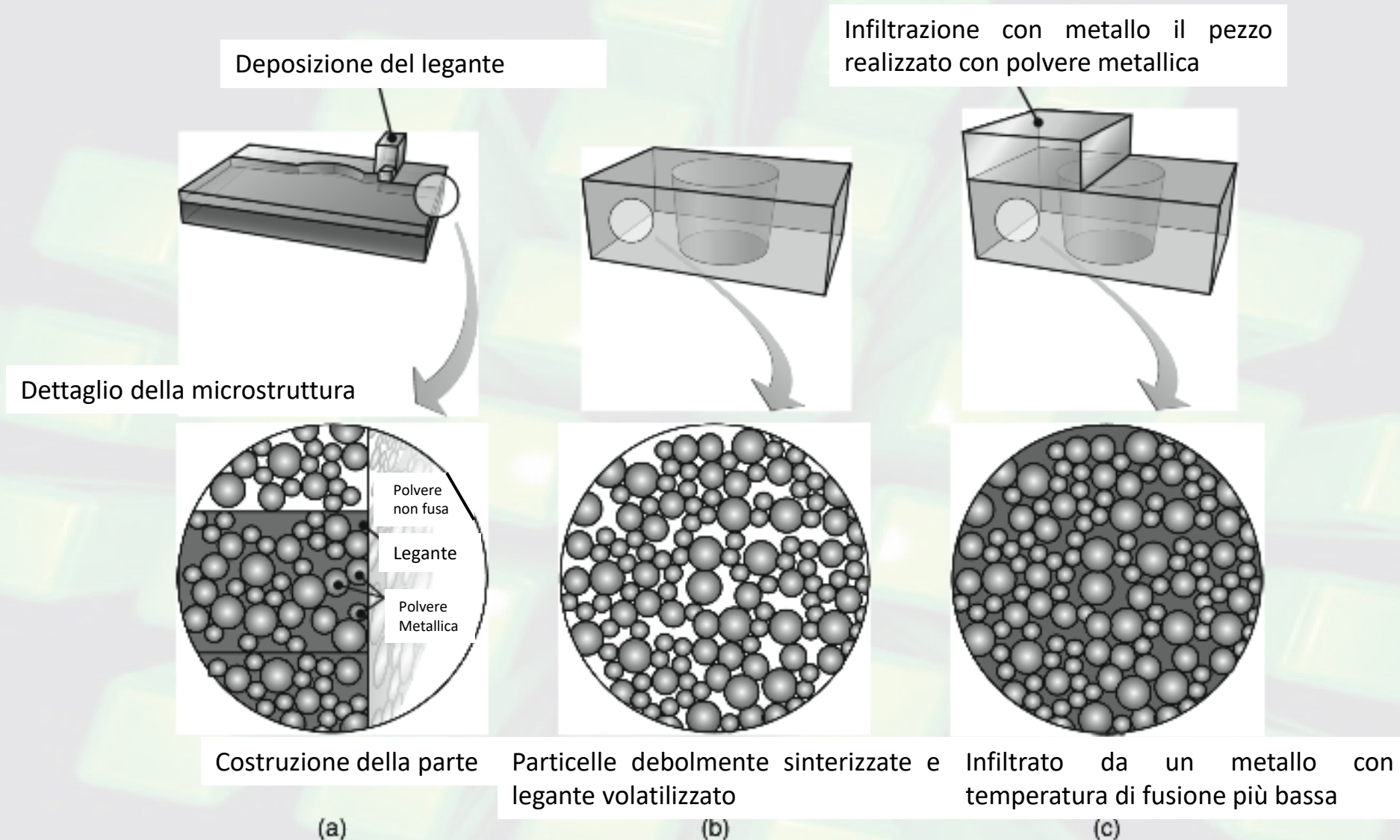
Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

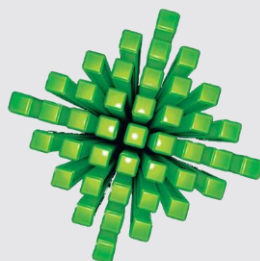
ISBN No. 0-13-227271-7

Stampaggio 3D di Parti Metalliche



Processo di stampa tridimensionale per produrre pezzi metallici:

- (a) Costruzione della parte;
- (b) Sinterizzazione;
- (c) Infiltrazione.



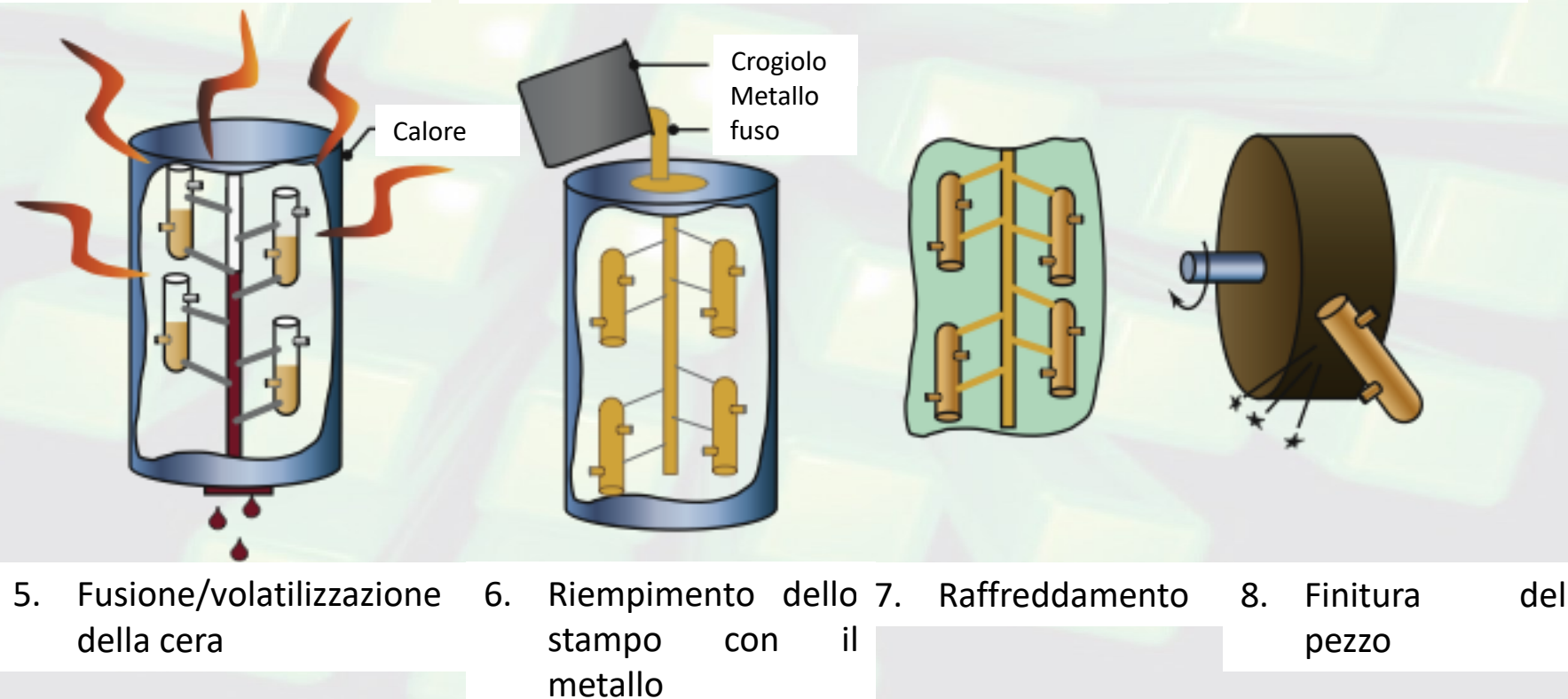
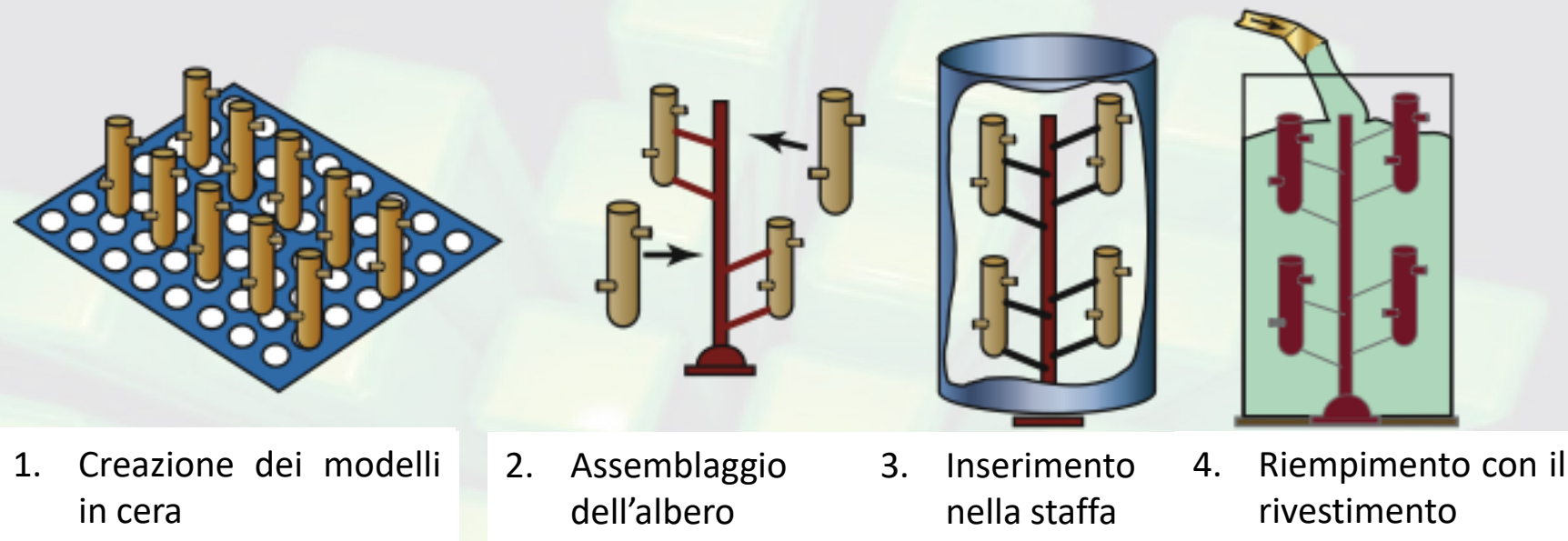
Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7

Produzione Rapida: colata a cera persa



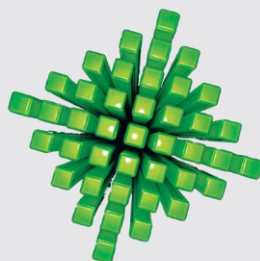
Fasi della fabbricazione mediante colata a cera persa basata su modelli dei pezzi realizzati grazie alla prototipazione rapida di cera. In figura si vede l'uso di una staffa, ma si può usare anche il metodo a conchiglia.

Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

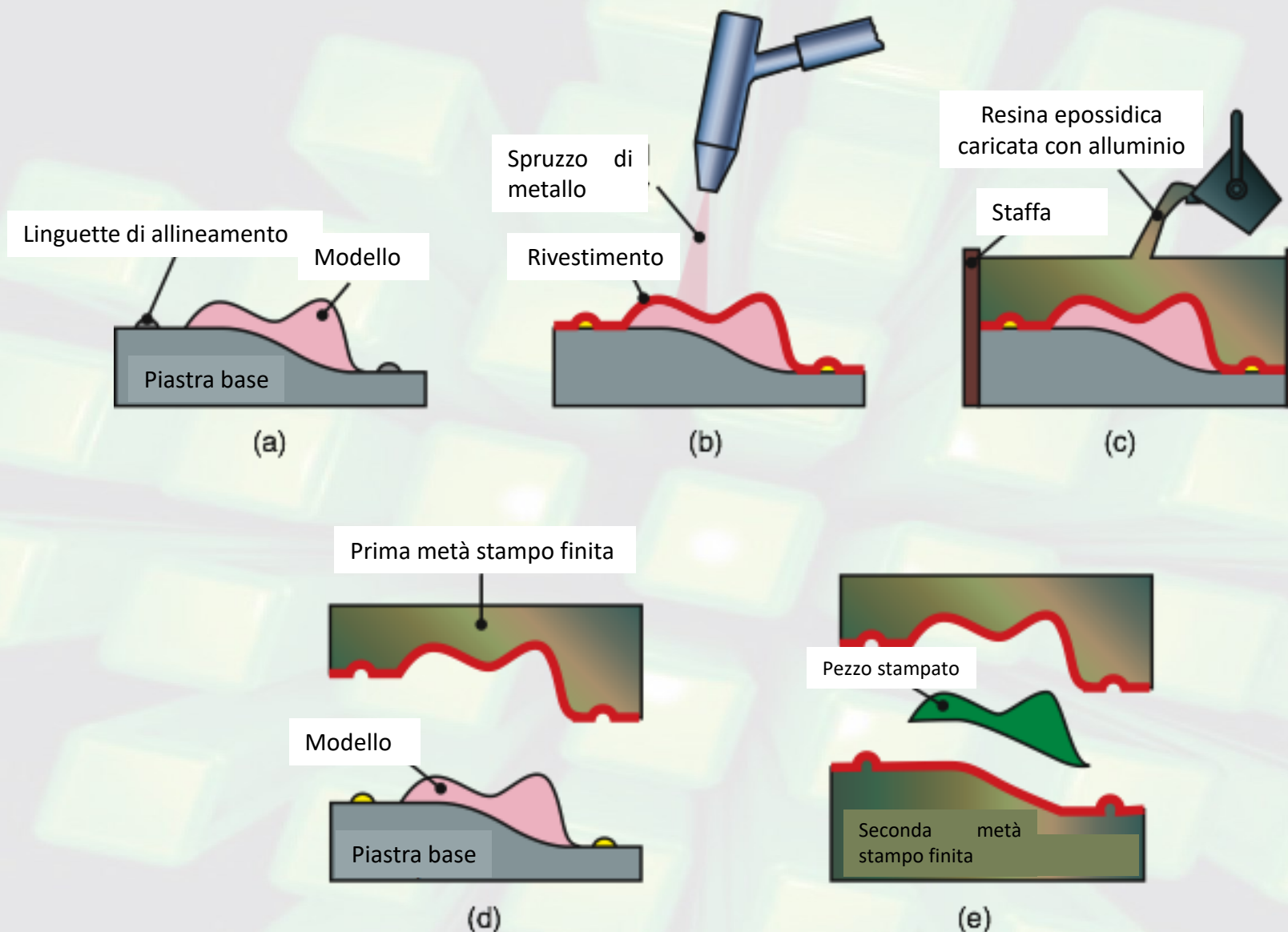
Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7



Processo di produzione di attrezzature mediante metallo spruzzato



Processo di produzione delle attrezzature per stampaggio ad iniezione mediante metallo spruzzato:

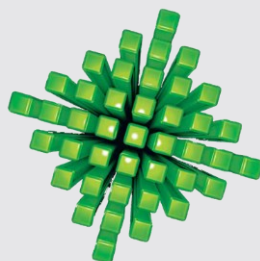
- Una piastra base e un modello vengono realizzati mediante un'operazione di prototipazione rapida;
- Una lega di zinco-alluminio viene spruzzata sul modello;
- La piastra base con il modello rivestiti della lega zinco-alluminio sono posizionati in una staffa che viene riempita con una resina epossidica caricata con alluminio;
- Dopo la reticolazione la piastra base con il modello è rimosso ottenendo la prima metà dello stampo finito;
- La seconda metà dello stampo viene realizzata con la medesima tecnica.

Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

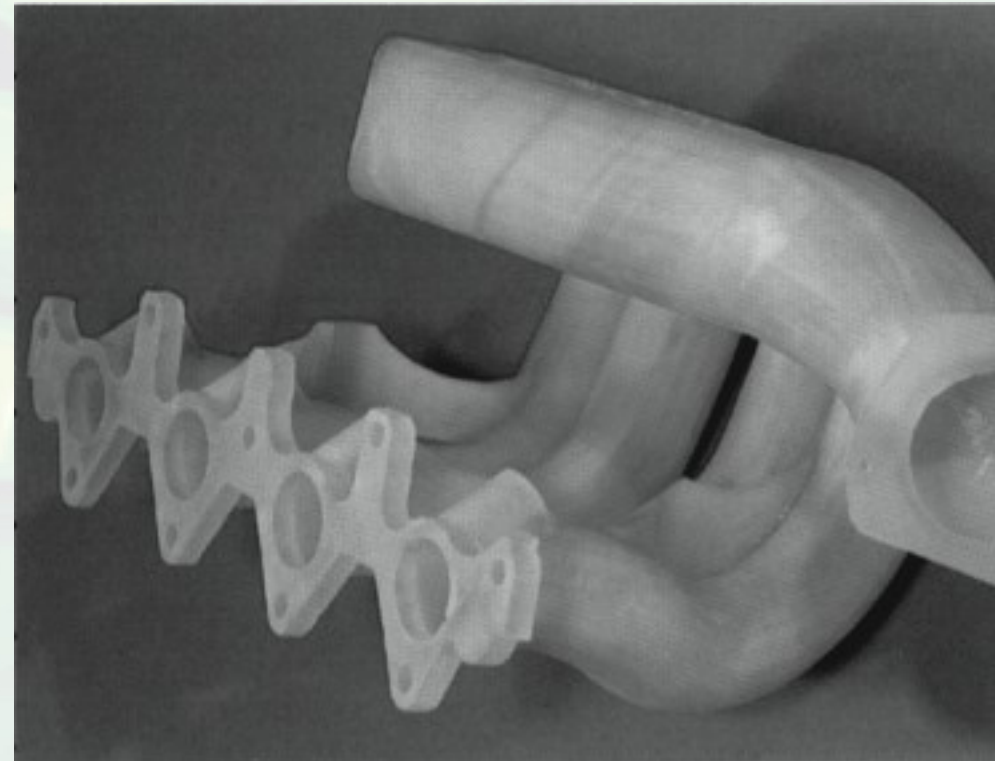
Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

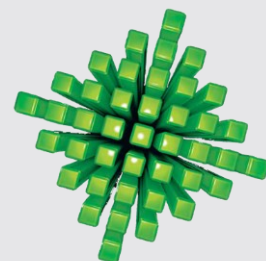
ISBN No. 0-13-227271-7



Esempio: prototipazione rapida del collettore di iniezione



Modello del collettore di iniezione realizzato mediante stereolitografia.



Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

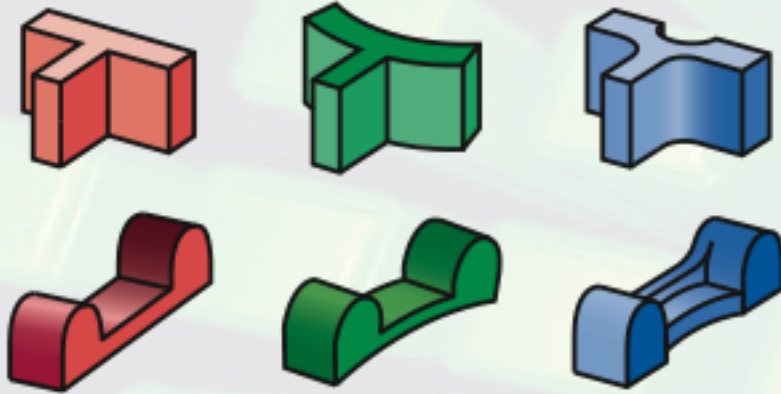
ISBN No. 0-13-227271-7

Progettazione di Pezzi realizzati in Polimero

Progetto originale

Distorsione

Progetto modificato



(a)

Esempi di modifiche progettuali per eliminare o minimizzare le distorsioni del pezzo di plastica.

(a) Modifiche al progetto suggerite per minimizzare la distorsione.

(b) Progetto della matrice per sezioni quadrate di estrusione (esagerato). Senza queste modifiche la sezione trasversale del prodotto non avrebbe la forma voluta a causa del recupero del materiale dovuto al rigonfiamento all'uscita della matrice.

(c) Modifiche al progetto della nervatura per minimizzare il risucchio o rientranza della superficie dovuto al ritiro durante il raffreddamento.

(d) Irrigidimento del fondo di contenitori di plastica sottili mediante curvature a cupola, usato anche nelle lattine di alluminio.

Nervatura spessa

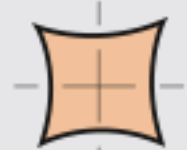


Risucchio



Nervatura sottile

Irrigidimento con fondo a cupola



Forma della matrice

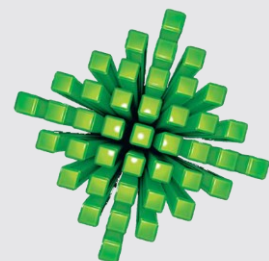


Prodotto estruso

(b)

(c)

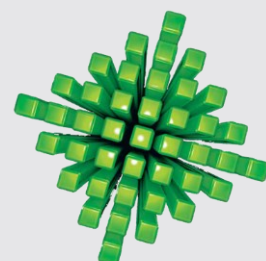
(d)



Costi e Volumi di Produzione

Processo	investimento in apparecchiature	Ritmo di produzione	Costo delle attrezzature	Volume produttivo tipico, numero pezzi prodotti						
				10	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷
Asportazione di truciolo	Medio	Medio	Basso	←→						
Stampaggio a compressione	Alto	Medio	Alto	←→						
Stampaggio a trasferimento	Alto	Medio	Alto	←→						
Stampaggio ad iniezione	Alto	Alto	Alto	←→						
Estrusione	Medio	Alto	Basso	*						
Stampaggio rotazionale	Basso	Basso	Basso	←→						
Stampaggio mediante soffiatura	Medio	Medio	Medio	←→						
Termoformatura	Basso	Basso	Basso	←→						
Colata	Basso	Molto basso	Basso	←→						
Forgiatura	Alto	Basso	Medio	←→						
Stampaggio di schiuma	Alto	Medio	Medio	←→						

- Processo continuo



Caso di studio: Allineatori ortodontici trasparenti “Invisalign”



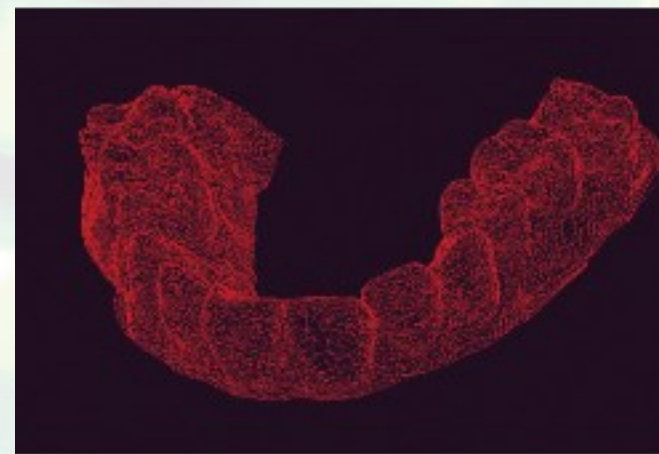
(a)



(b)



(a)



(b)

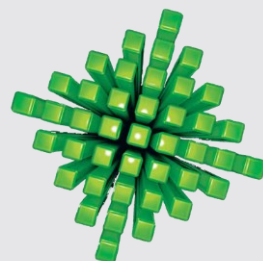


(c)

- (a) Un allineatore ortodontico fabbricato usando una combinazione di attrezzaggio rapido e termoformatura;
- (b) Confronto tra un apparecchio allineatore convenzionale e un allineatore trasparente.

Sequenza produttiva di allineatori ortodontici “Invisalign”.

- (a) Creazione di un calco polimerico dei denti del paziente;
- (b) Modellazione al computer per produrre la rappresentazione CAD dei profili desiderati dei denti;
- (c) Produzione dei modelli incrementali dei movimenti dei denti desiderati. Un allineatore è prodotto mediante termoformatura di un foglio di plastica trasparente su questo modello.



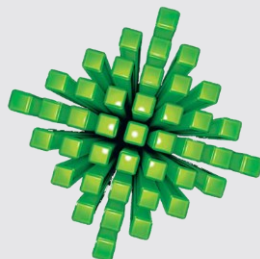
Scelta della pressa da iniezione

- **Forza di serraggio della macchina superiore a**

$$F[N] = A_n \cdot p_c \cdot \left(10^{-4} \frac{m^2}{cm^2}\right) = \frac{1}{2} \cdot A_n \cdot p_i \cdot \left(10^{-4} \frac{m^2}{cm^2}\right)$$

$$A_n = \sum_i A_{c,i} + \sum_j A_{r,j} - \sum_k A_{f,k} = A_p + \sum_j A_{r,j}$$

- A_n area totale della proiezione netta di un pezzo e dei *runners* ad esso dedicati sul piano di partizione [cm²]
- $A_{c,i}$ area della proiezione della i-esima cavità appartenente alla figura, senza togliere i fori, sul piano di partizione [cm²],
- $A_{r,j}$ area della proiezione del j-esimo *runners* sul piano di partizione [cm²]
- $A_{f,k}$ area della proiezione del k-esimo foro sul piano di partizione [cm²]
- A_p area della sezione trasversale netta del pezzo in direzione ortogonale a quella di iniezione [cm²]
- p_c pressione nella cavità [Pa]
- p_i pressione di iniezione raccomandata per quel polimero = pressione di iniezione della macchina [Pa]



Scelta della pressa da iniezione

- ***Capacità di iniezione della macchina (shot size) superiore al volume da iniettare nello stampo per ogni ciclo***
- ***Corsa di apertura della macchina superiore alla massima dimensione di quanto deve essere estratto dallo stampo***

