



Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria dell'Innovazione del Prodotto
a.a. 2022-23
Anno I – Semestre I



Tecnologia dei materiali polimerici

Lezione 27

- Prof. **Lisa Biasetto**
- E-mail: lisa.biasetto@unipd.it



Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria dell'Innovazione del Prodotto
a.a. 2022-23
Anno I – Semestre I



❖ Cenni ai processi di trasformazione

I processi di trasformazione: Introduzione

I processi di trasformazione dei materiali plastici si distinguono in due principali categorie:

- ❖ Processi Continui (Estrusione e blow-moulding, calandratura)
- ❖ Processi Ciclici (Stampaggio ad iniezione, stampaggio per compressione, termoformatura)

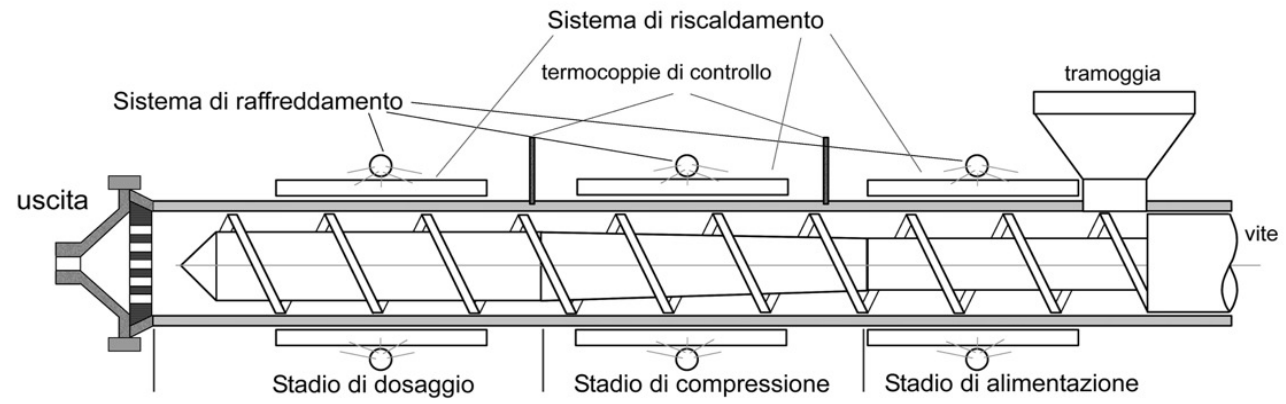
Estrusione

Processo continuo utilizzato per la produzione di prodotti con sezioni costanti:

- ❖ Lastre
- ❖ Tubi
- ❖ Tondini
- ❖ Fibre
- ❖ Film



Estrusione



Estrusione: parametri di processo

Processing Guide:	ABS – Acrylonitrile-butadiene-styrene
Extruder:	Single screw, no vacuum, grooved feeding section
Screw Design:	Barrier screw 25 – 30 L/D
Compression Ratio:	2,75 : 1
Cylinder Temperatures:	190-240°C 374-464°F
Melt Temperature:	200-245°C 392-473°F
Pre-Drying:	3 hours at 70-80°C (158-176°F)
Calibration:	
Miscellaneous:	approx. 30 % higher torque (than PVC)

Note: This is meant as a general guide. Please consult your material and machinery representative.

Processing Guide:	PE-HD – High-density polyethylene
Extruder:	Single Screw Extruder with vacuum, grooved feeding section
Screw Design:	Barrier Screw, 25-30 L/D
Compression Ratio:	3:1
Cylinder Temperatures:	180-205°C 356-401°F
Melt Temperature:	180-205°C 356-401°F
Pre-Drying:	No, 3 hours at 105-110°C (221-230°F) for regrind
Calibration:	
Miscellaneous:	bimodal PE-HD needs motor with 10-15% higher torque and has higher melt pressure/melt temperature Larger screw diameter : continuously two channels (improved conveying in feeding section)

Note: This is meant as a general guide. Please consult your material and machinery representative.

Estrusione

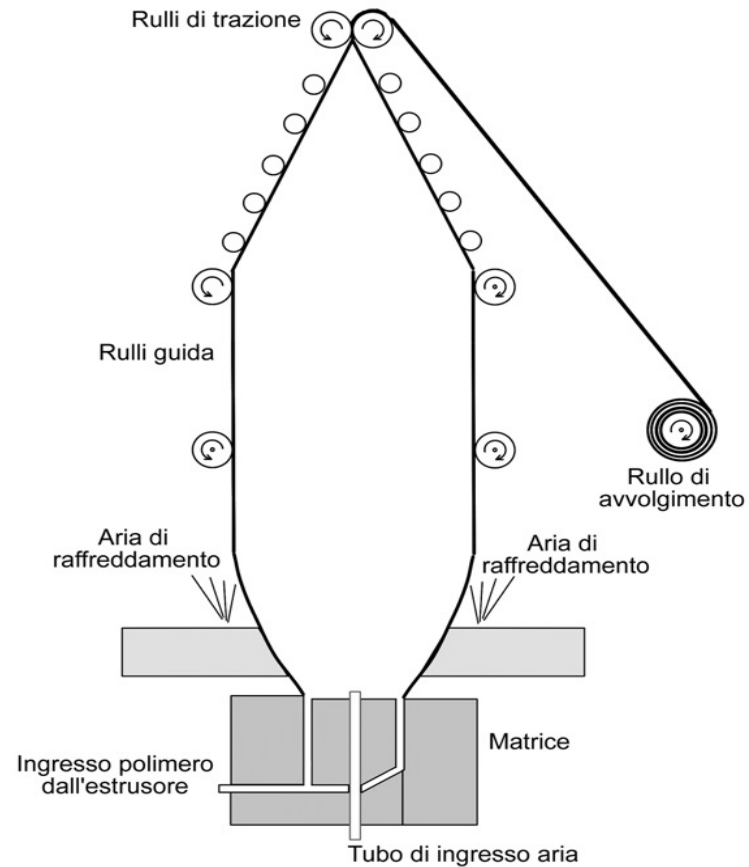
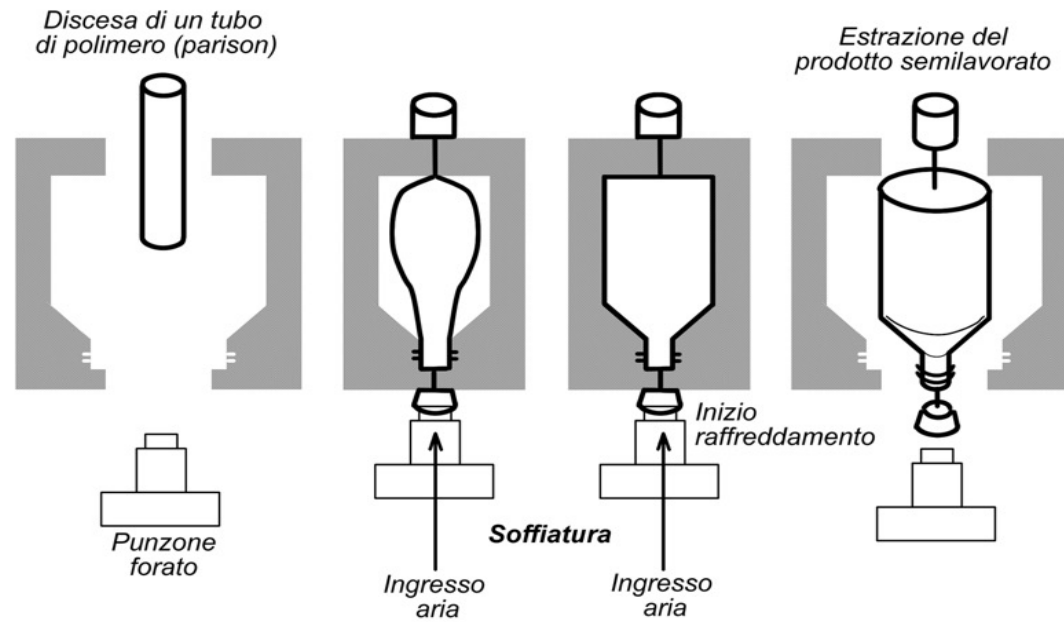


Fig. 16.2 Rappresentazione schematica di produzione di film sottili e borse in plastica da un tubo prodotto da un estrusore, e poi soffiato da aria compressa.

Blow-molding

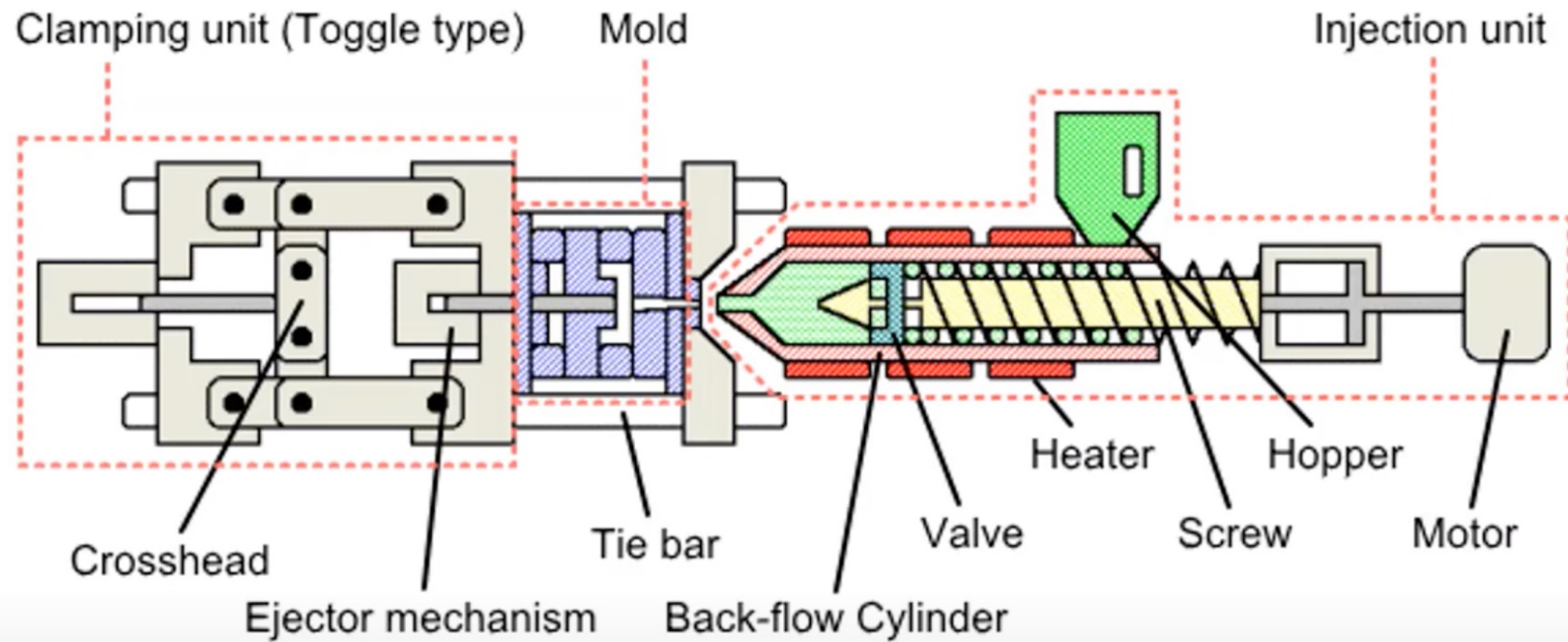


Stampaggio ad Iniezione

Processo ciclico utile per la produzione di prodotti con geometrie complesse



Stampaggio ad Iniezione



Mobilità dello stampo

Eiezione del Prodotto

Forma del prodotto

Raffreddamento

Fusione del polimero

Iniezione

Stampaggio ad iniezione

1 Fase Fusione

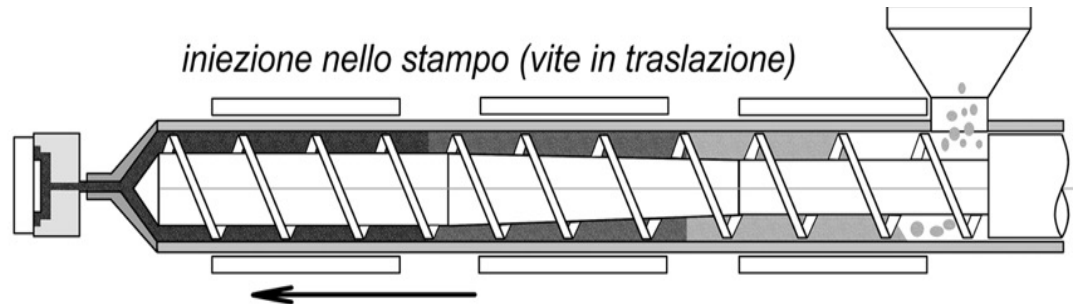
Temperatura del fuso

- ❖ Tm del polimero
- ❖ Additivi



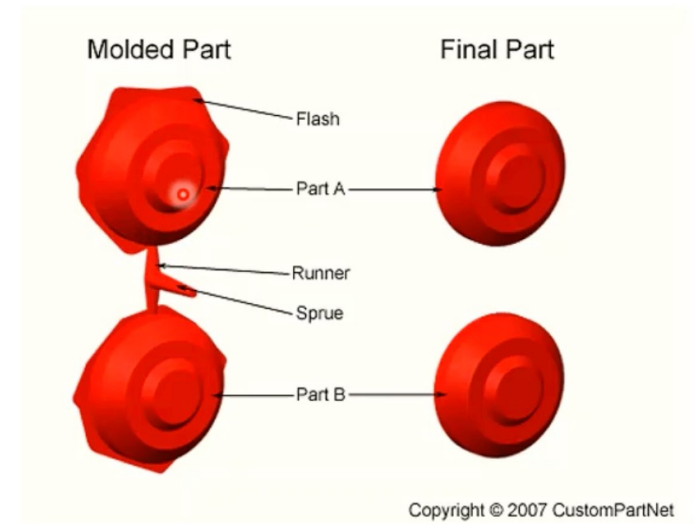
2 Fase Iniezione

- ❖ Quantità di polimero
- ❖ Velocità di iniezione

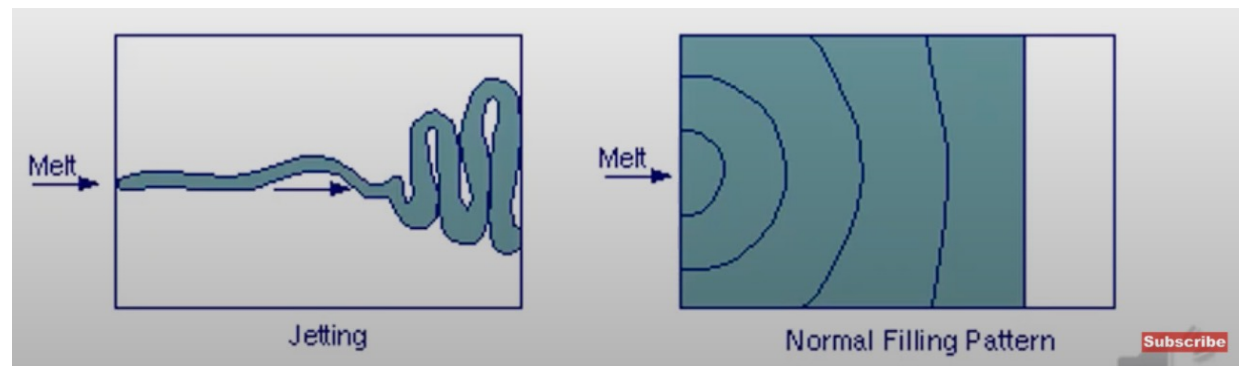


Stampaggio ad iniezione

Shot size= Volume della cavità dello stampo + contrazione



Velocità di iniezione: velocità di iniezione troppo elevate portano al jetting

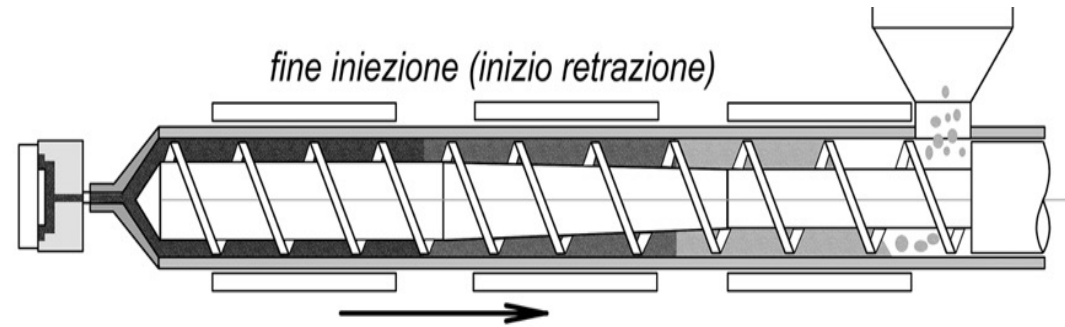


Stampaggio ad iniezione

3 Fase

Impaccamento/raffreddamento

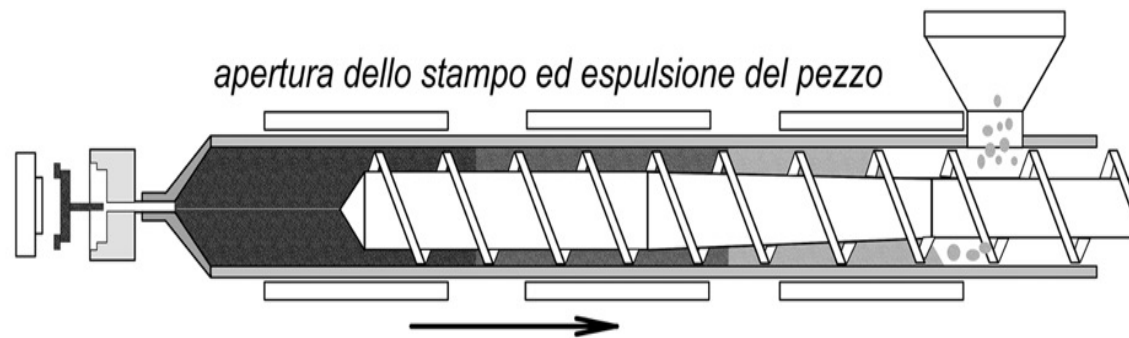
- ❖ Pressione di iniezione
- ❖ Tempo di raffreddamento



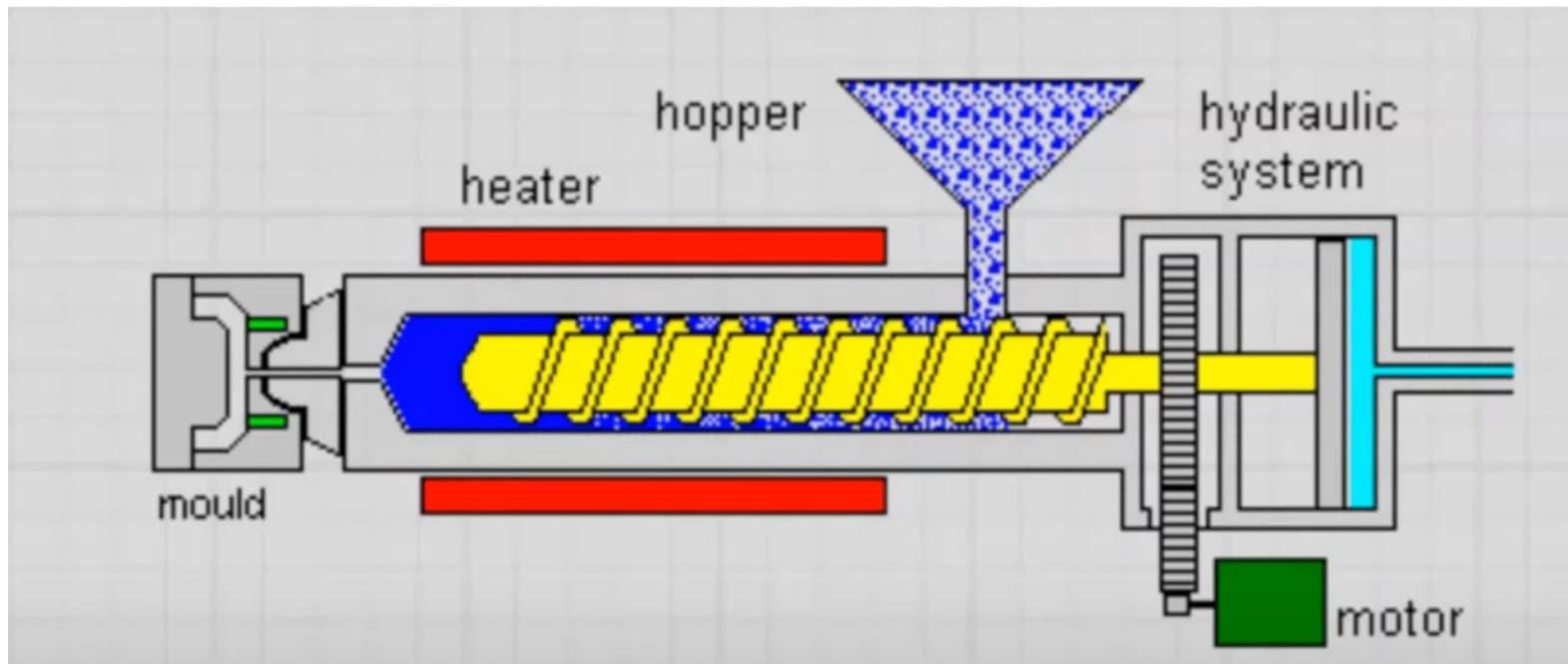
4 Fase

Eiezione

- ❖ Velocità del pin di eiezione



Stampaggio ad iniezione

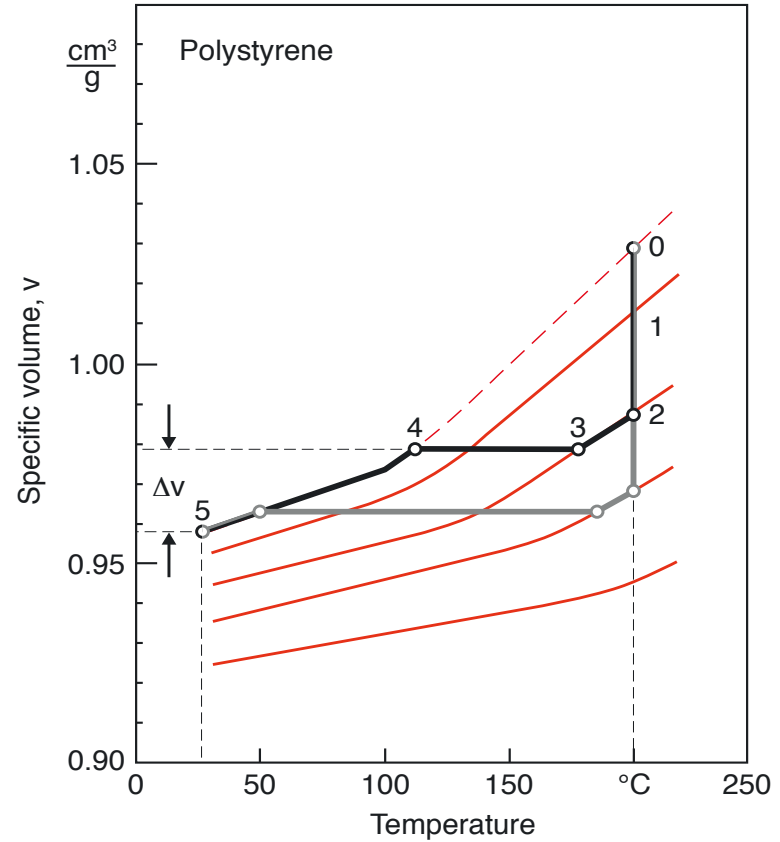
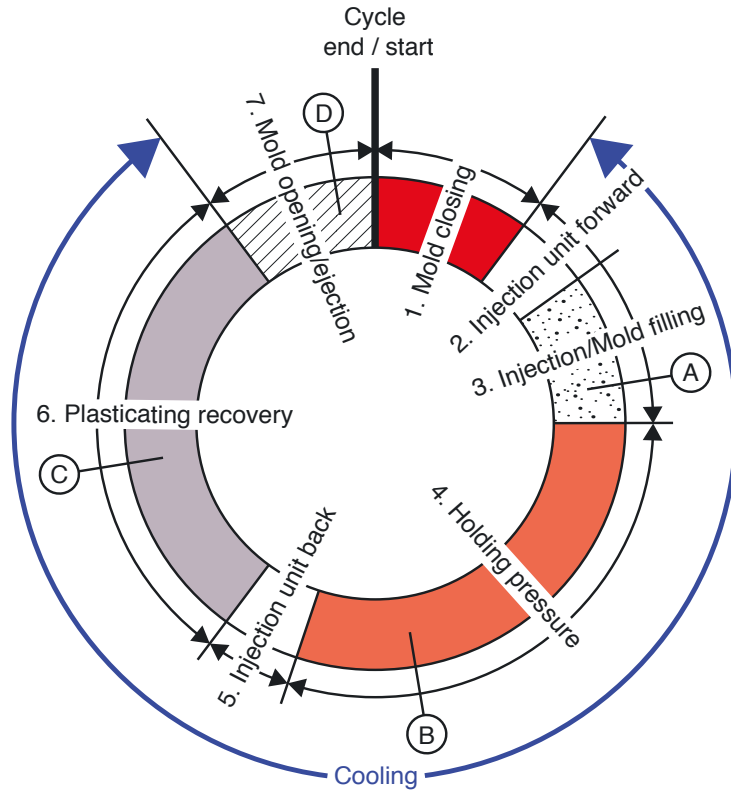


Parametri chiave

Temperatura del fuso
Volume iniettato

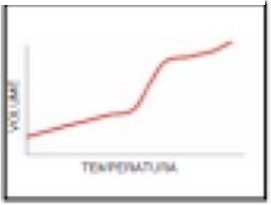



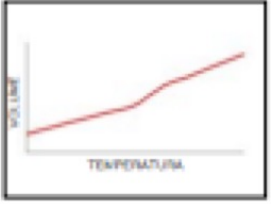



Temperatura dello stampo
Pressione di iniezione
Velocità di raffreddamento

CICLO DEL PROCESSO DI INIEZIONE: CURVE P-V-T

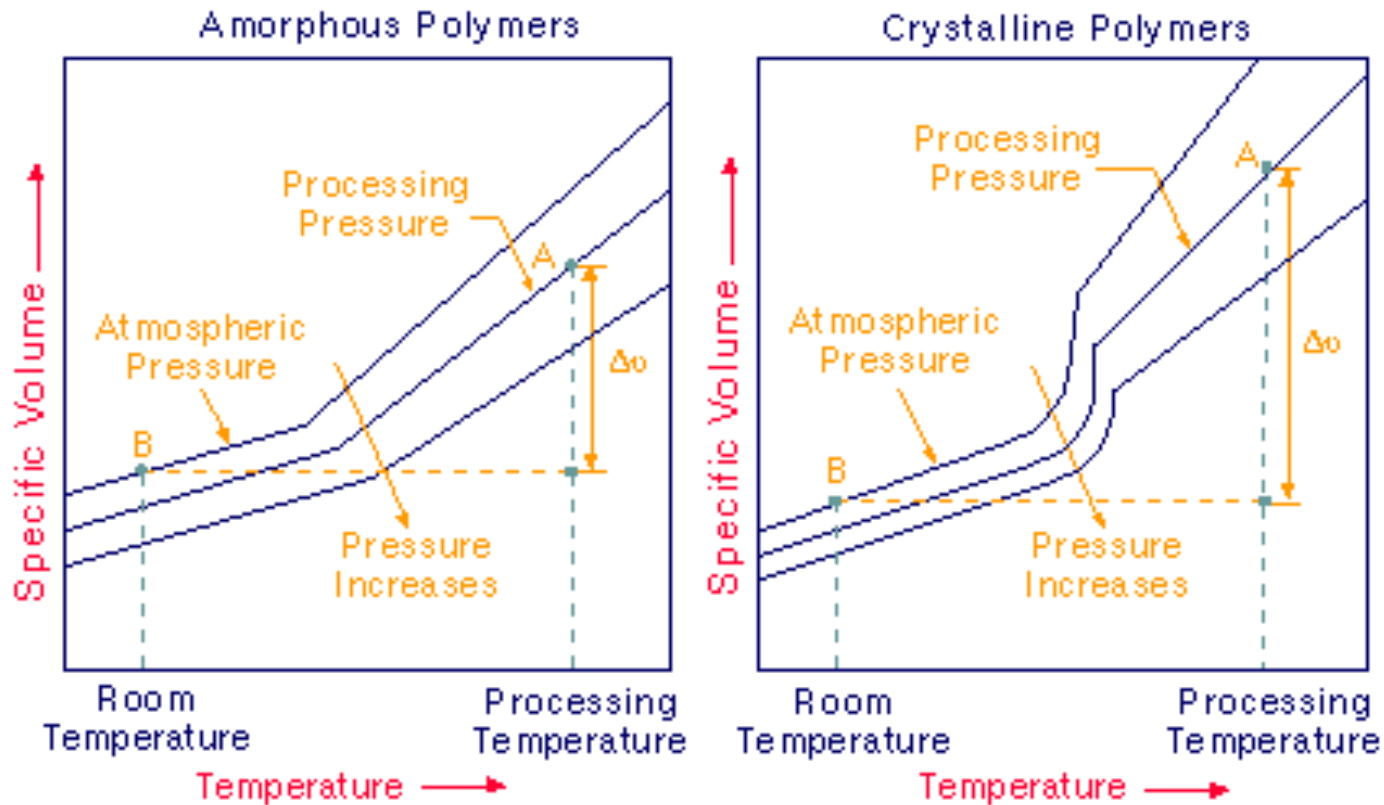


- 0-1: iniezione isotermitica
- 1-2: innalzamento della P alla P di mantenimento isotermitico
- 2-3: raffreddamento isobarico
- 3-4: raffreddamento a V costante con caduta di P alla P amb
- 4-5: raffreddamento isobarico alla T amb

Stampaggio ad iniezione: ritiri

<p>Polimero Volume specifico vs T</p>	<p>Prima della trasformazione Granulato in tramoggia</p>	<p>Effetto del riscaldamento Massa fusa nel cilindro</p>	<p>Effetto del raffreddamento Nella cavità dello stampo</p>	<p>Ritiro allo stampaggio Fattori determinanti</p>
<p>Semicristallino</p> 	<p><i>Struttura semicristallina</i></p> 	<p><i>Struttura amorfa</i></p> 	<p><i>Struttura semicristallina</i></p> 	<p>Contrazione da raffreddamento + Orientazione molecolare Altro ritiro</p>
<p>Amorfo</p> 	<p><i>Struttura amorfa</i></p> 	<p><i>Struttura amorfa</i></p> 	<p><i>Struttura amorfa</i></p> 	<p>Contrazione da raffreddamento Basso ritiro</p>

Stampaggio ad iniezione: ritiri



◆ I POLIMERI SEMICRISTALLINI SI CONTRAGGONO DI PIU' DEI POLIMERI AMORFI A PARITA' DI PRESSIONE DI PROCESSO

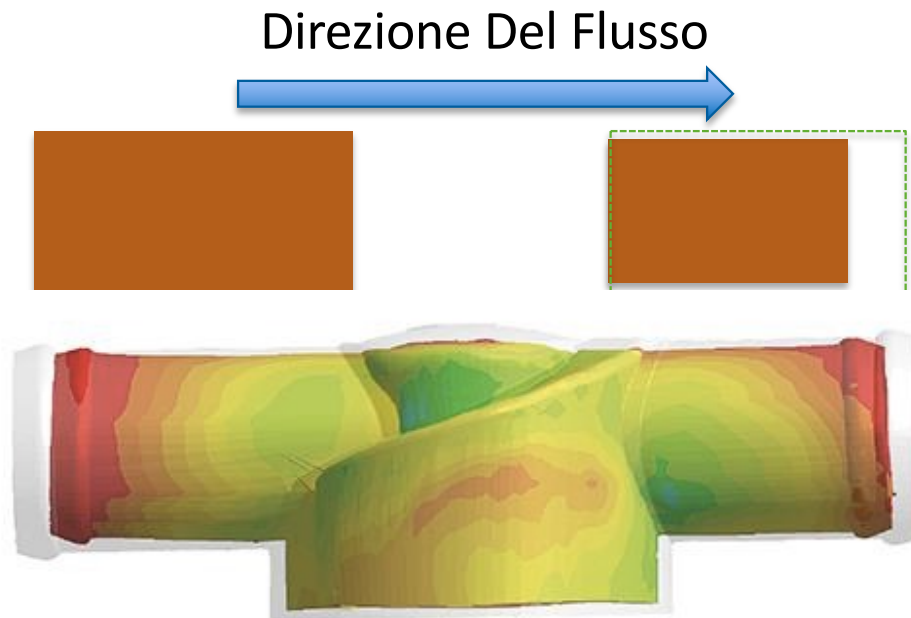
ALTE PRESSIONI -> PICCOLE CONTRAZIONI

BASSE PRESSIONI -> ELEVATE CONTRAZIONI

Stampaggio ad iniezione: ritiri e stress indotti da ritiro differenziale

DURANTE IL PROCESSO DI INIEZIONE LE MACROMOLECOLE DEL FUSO POLIMERICO TENDONO AD ORIENTARSI SECONDO LA DIREZIONE DEL FLUSSO

QUESTO DA' LUOGO AD UN RITIRO PIU' PRONUNCIATO NELLA DIREZIONE DEL FLUSSO



Distorsione calcolata usando il Software SigmaSoft:
distribuzione reale delle T dello stampo (fonte: M. Proske, *Plastics Technology*, Marzo 2015)

Stampaggio ad iniezione: ritiri e stress indotti da ritiro differenziale

I rinforzi vengono utilizzati per:

- Impartire proprietà specifiche (es. Rigidezza, resistenza all'urto, resistenza alla fiamma ecc.)
- Ridurre il costo del materiale

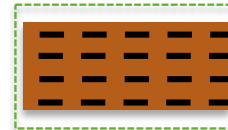
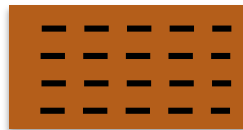
Si distinguono due tipologie di rinforzi:

1. FIBROSI (FIBRE DI C, ARAMIDICHE, VETROSE ecc.)
2. PARTICELLARI (mica, talco, CaCO_3 , argille)

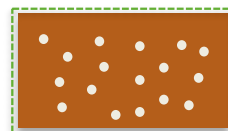
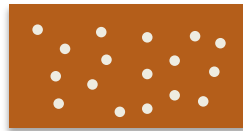
RINFORZO FIBROSO: TENDE AD ALLINEARSI NELLA DIREZIONE DEL FLUSSO



RITIRO PIU' PRONUNCIATO NELLA DIREZIONE ORTOGONALE AL FLUSSO



RINFORZO PARTICELLARE: RITIRO OMOGENEO NELLE TRE DIREZIONI



Origine degli stress nei prodotti stampati ad iniezione

❖ STRESS INDOTTI DAL FLUSSO

❖ STRESS INDOTTI DAI GRADIENTI TERMICI

◆ GLI EFFETTI DEGLI STRESS SONO RILEVABILI NELLA FORMA FINALE DEL MANUFATTO, NELLA MORFOLOGIA DEL POLIMERO (es. cristallizzazione indotta dal flusso) E NELLA RISPOSTA MECCANICA DEL PRODOTTO FINITO

◆ AL MOMENTO NON ESISTE UN MODELLO IN GRADO DI PREDIRE GLI STRESS INDOTTI DAL CICLO DI STAMPAGGIO IN MANIERA UNIVOCA

◆ NECESSITA' DI SVILUPPARE SOFTWARE PIU' ACCURATI E STUDI SPECIFICI SU STAMPI OPPORTUAMENTE PROGETTATI DOTATI DI SENSORI DI P E T

Stampaggio ad iniezione: Stress indotti dal flusso

Fig. 1 Flow-induced stresses during the filling stage:
a stretched polymer chains and
b relaxed polymer chains

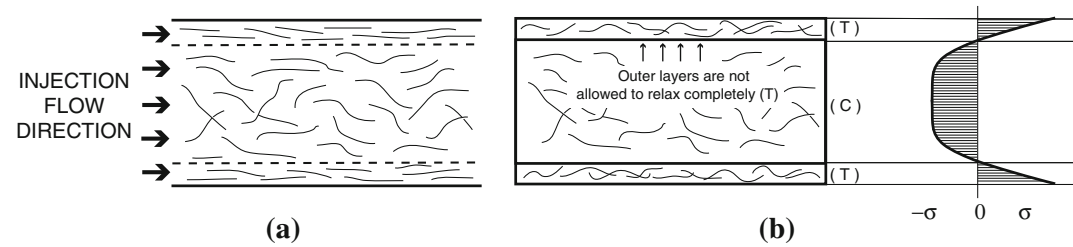
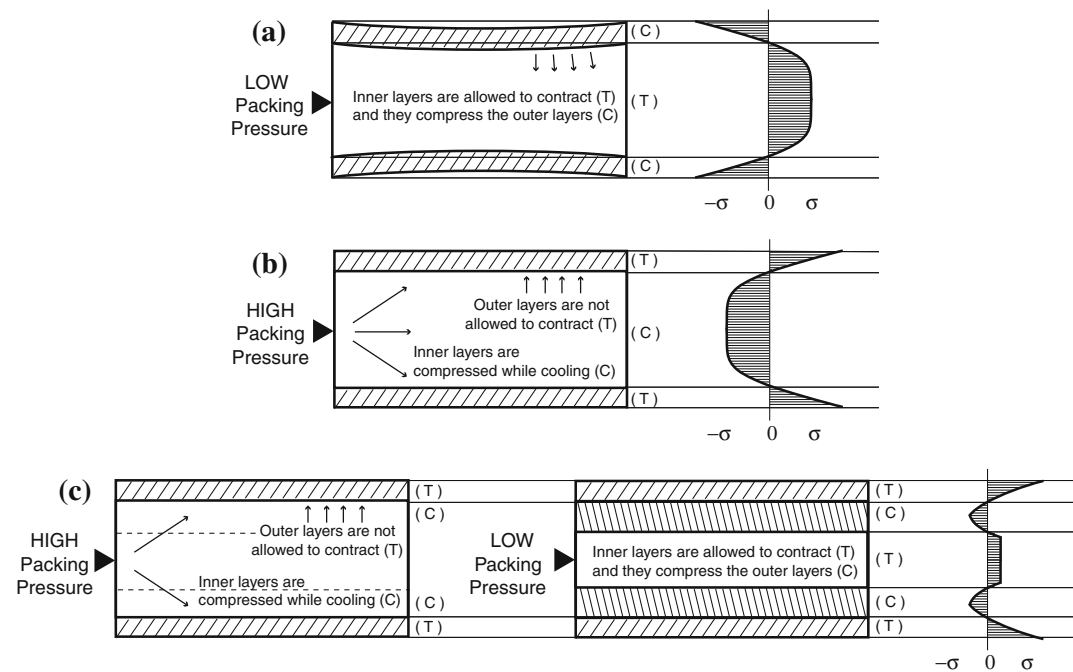


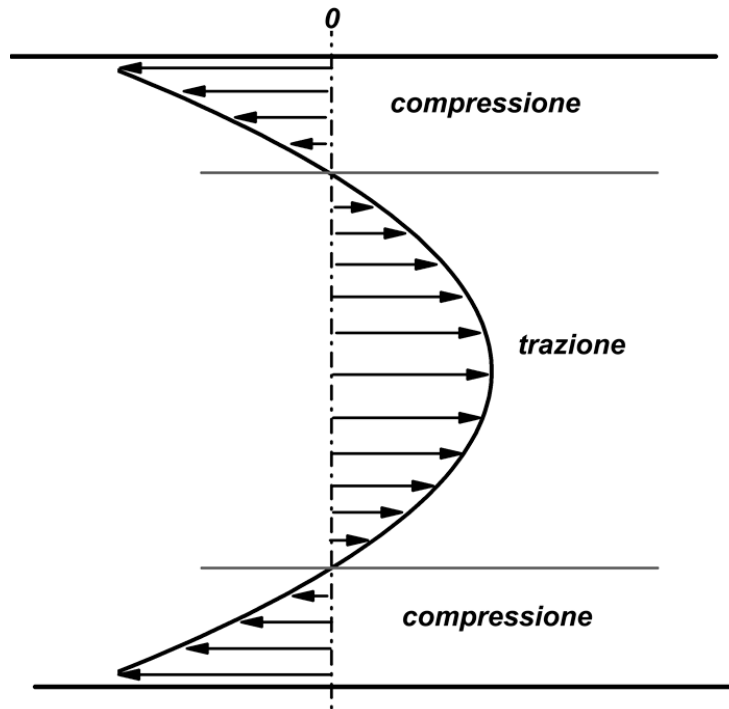
Fig. 2 Flow-induced stresses during the packing stage subjected to **a** low packing pressure (under-compression), **b** high packing pressure (over-compression), and **c** high/low packing pressure profile



Stampaggio ad iniezione: STRESS TERMICI

LO STUDIO DEGLI STRESS INDOTTI TERMICAMENTE NEI POLIMERI TP,
TRAE ORIGINE DAGLI STUDI FATTI SUI VETRI INORGANICI

TEMPRA TERMICA DEL VETRO PIANO

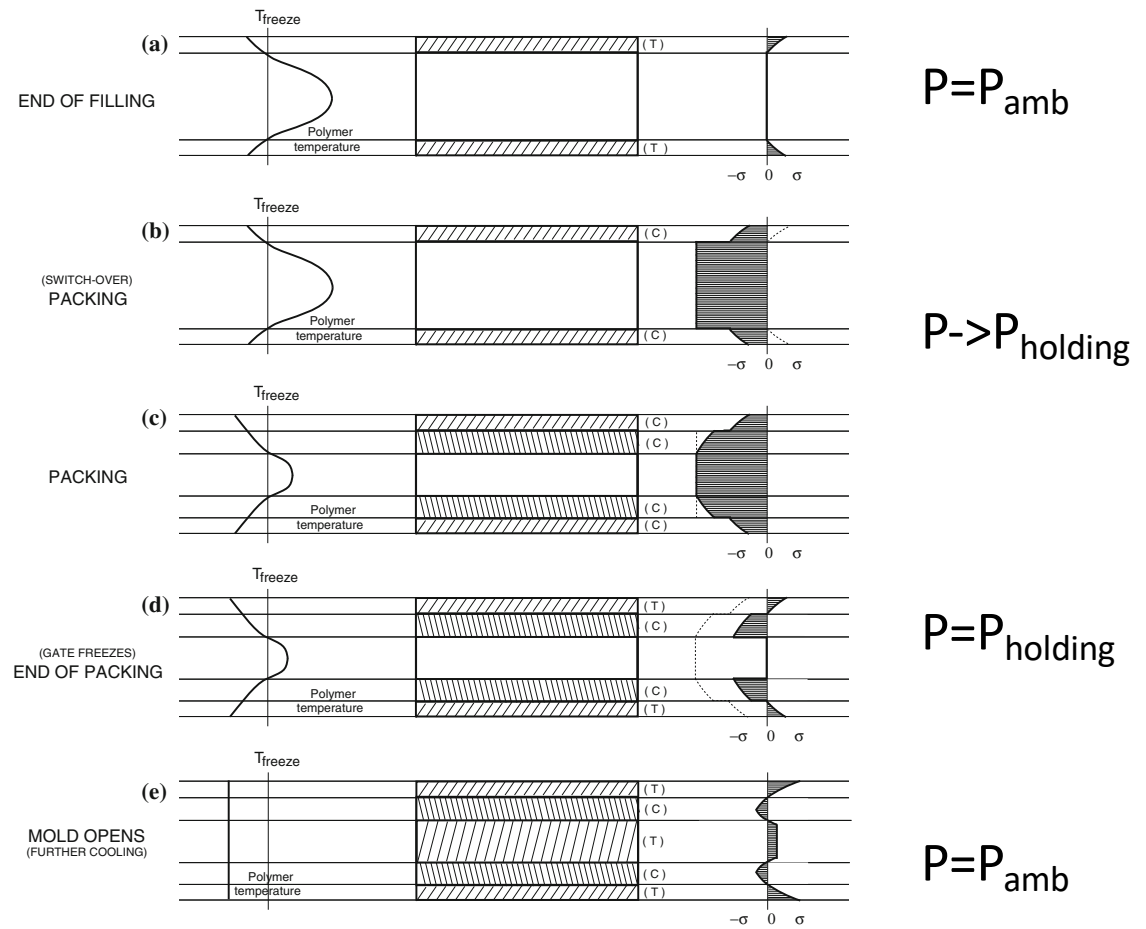


Stress indotti al
raffreddamento da $T > T_g$

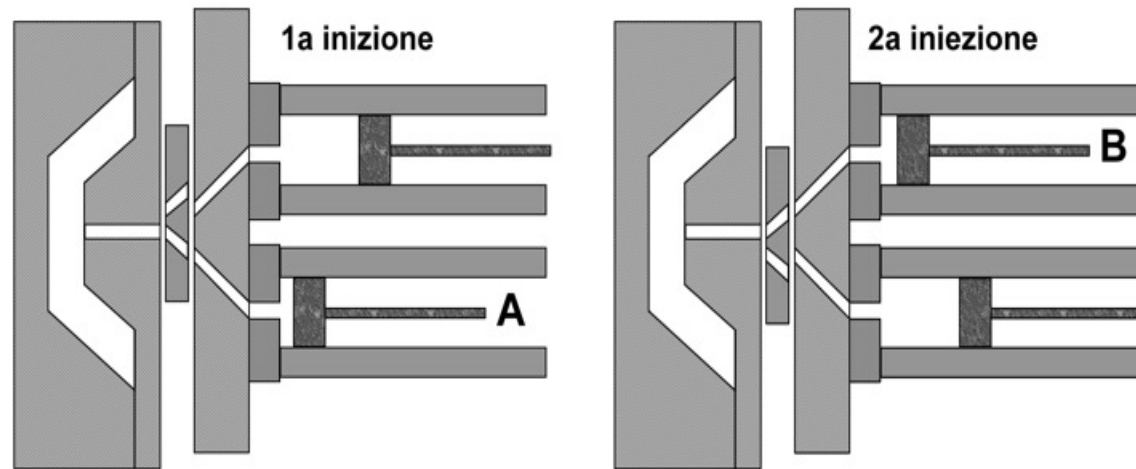
Stampaggio ad iniezione: Stress termici

Fig. 3 Thermally induced residual stress development in injection molded products: **a** t_1 , **b** t_2 , **c** t_3 , **d** t_4 , and **e** t_5 . Drawn based on [7]

$$T_{\text{freeze}} = T_g$$



Stampaggio ad iniezione: Coiniezione



Calandratura

