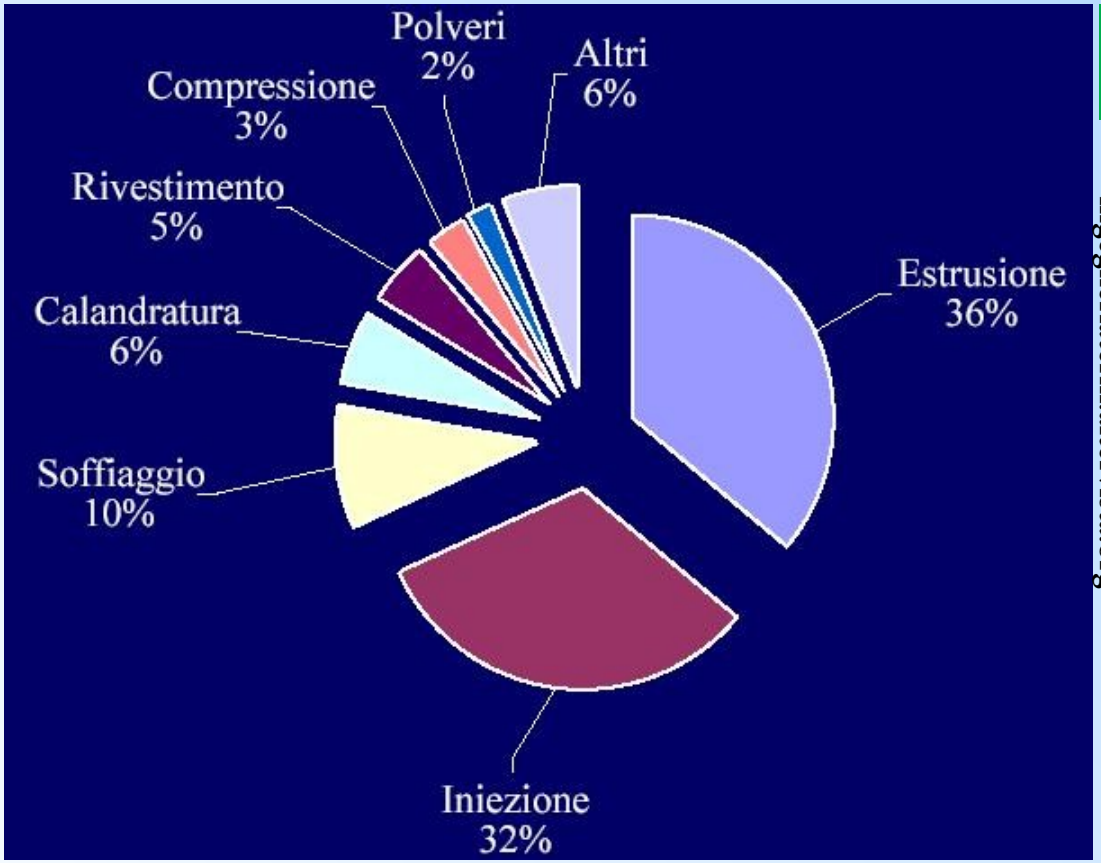
STAMPAGGIO A INIEZIONE

CONCETTO FONDAMENTALE

Plastica fusa forzata all'interno della cavità di uno stampo chiuso assumendone la forma.

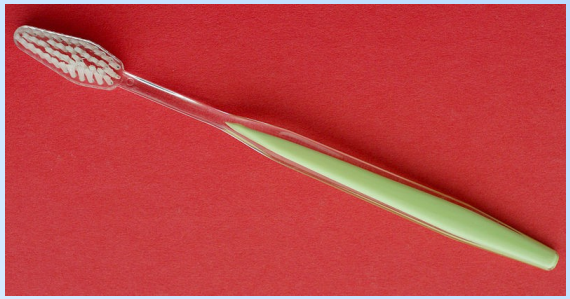
- **E' una delle tecniche maggiormente impiegate nella produzione (trasformazione) delle materie plastiche;**



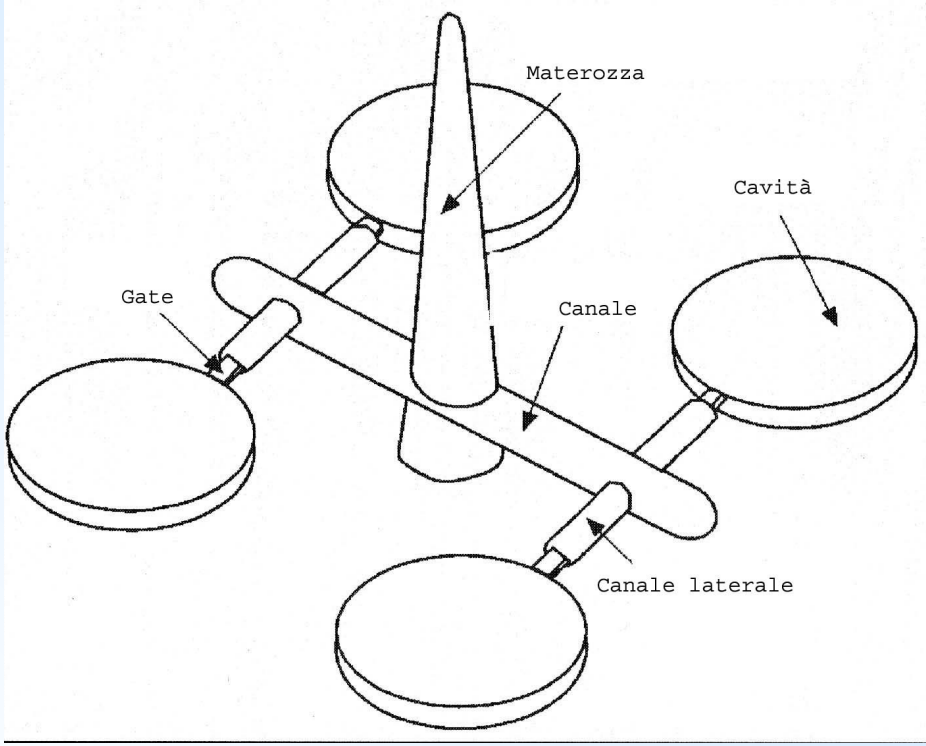
Con il gentile contributo di:
ingegneriaterni.altervista.org

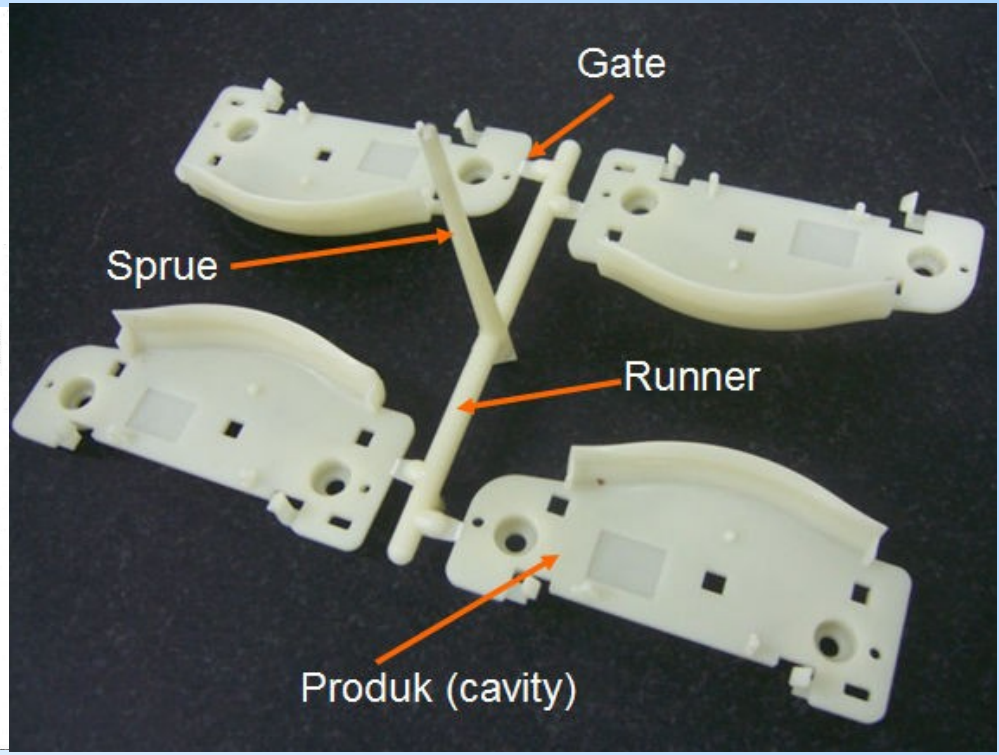
VANTAGGI

- **Una gamma vastissima di prodotti può essere sviluppata mediante tale tecnologia, sia per dimensione che per applicazione;**
- **Possono essere prodotti anche componenti di forma molto complessa e spessore variabile;**



- **Alti livelli di produttività ed automazione;**
- **Bassi costi di produzione;**
- **Minima necessità di operazioni di rifinitura;**





- **Tecnica in continua evoluzione sia nelle metodologie di stampaggio che negli accessori e nei dispositivi impiegati.**

MATERIALI E COMPONENTI STAMPATI AD INIEZIONE NELLA VITA DI TUTTI I GIORNI

- Bottiglie contenenti liquidi e medicine: **PE – PET – PS;**

- Mobili e ripiani: **Resine Poliestere o vinilestere termoplastiche - PVC espanso;**

- Frontali di TV, telefoni, PC: **ABS (Acrilonitrile-Butadiene-Stirene) e ABS e sue blends Antiurto (principalmente con PS);**

- Scarpe e suole: **Elastomeri termoplastici, PVC o TPU espansi;**

- Interni di automobili e cruscotti: **ABS – Blend PP-ABS;**

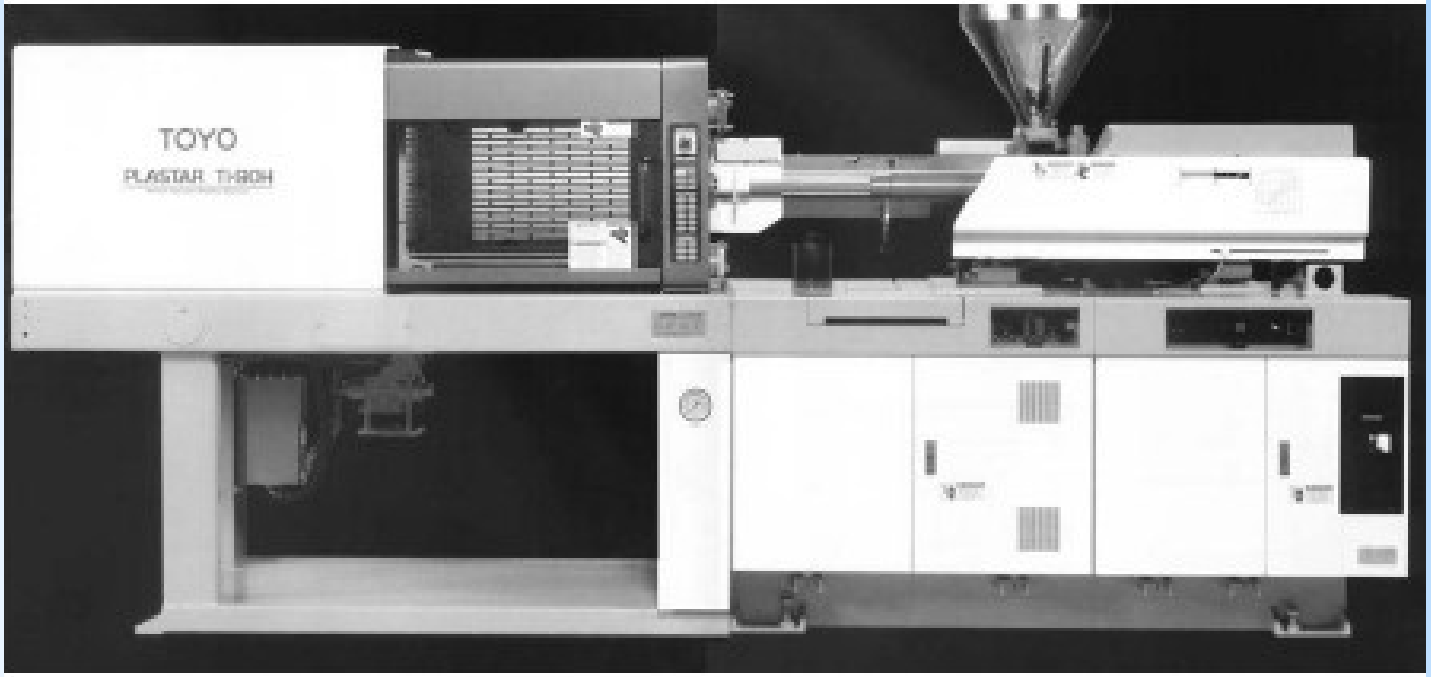
- Contenitori da cucina: **PE;**

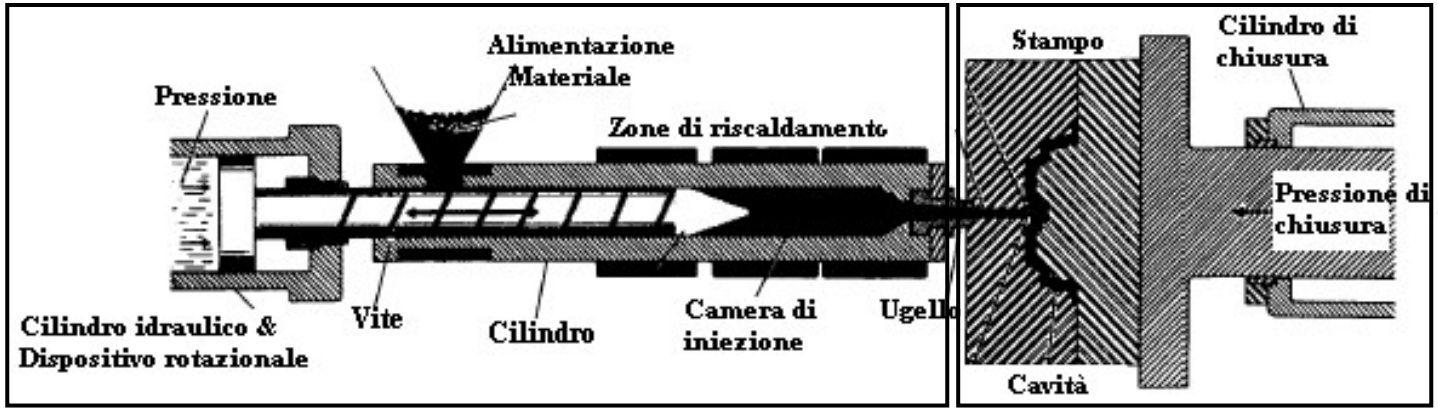
- Astucci: **PS – ABS – Blend varie.**

LIMITI

- **Processo discontinuo;**
- **Volume dei pezzi è comunque limitato;**
- **<u>Lo spessore dei pezzi deve essere sottile</u>;**
- **Elevato costo delle attrezzature e degli stampi;**
- **Elevata quantità di scarti, che però possono essere riprocessati**

INTRODUZIONE ED UNITA' FONDAMENTALI NELLE MACCHINE UTILIZZATE NELLO STAMPAGGIO A INIEZIONE

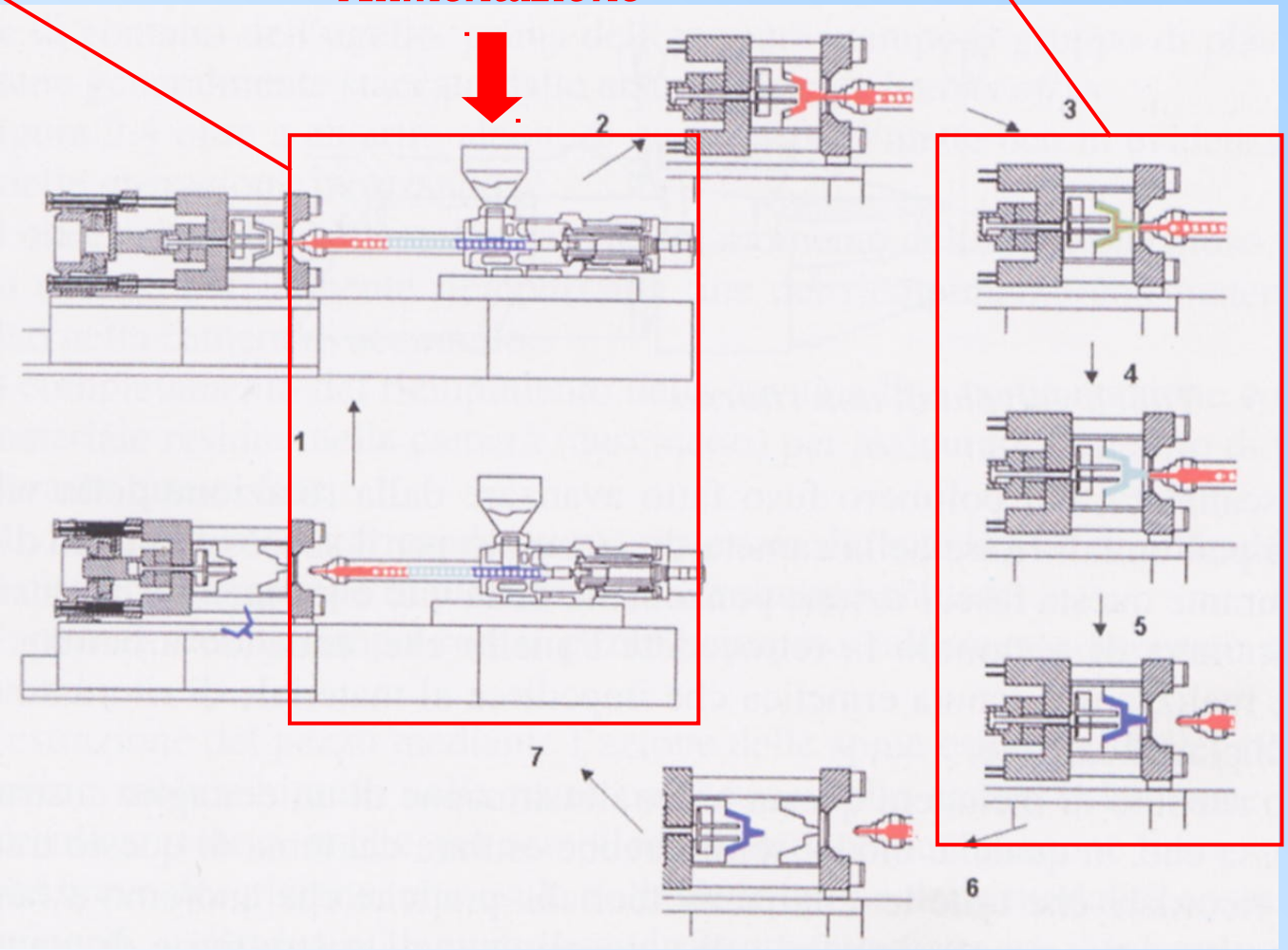




Unità di chiusura/serraggio

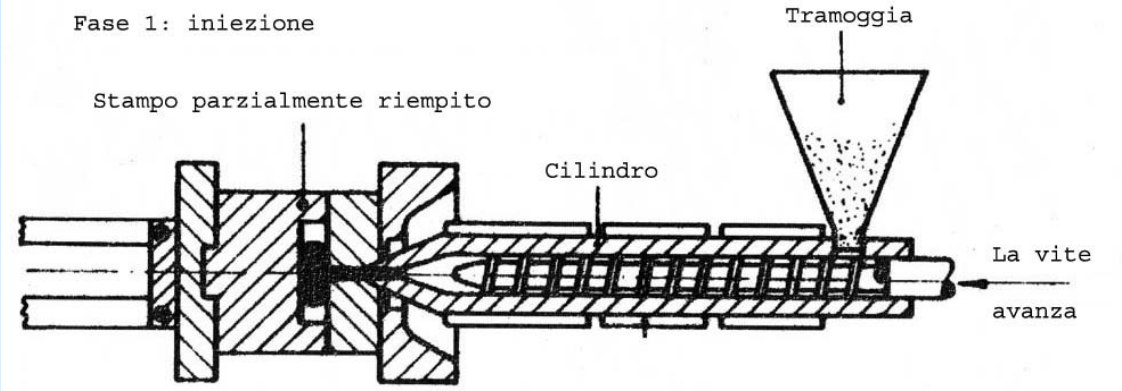
Unità di plastificazione

Alimentazione

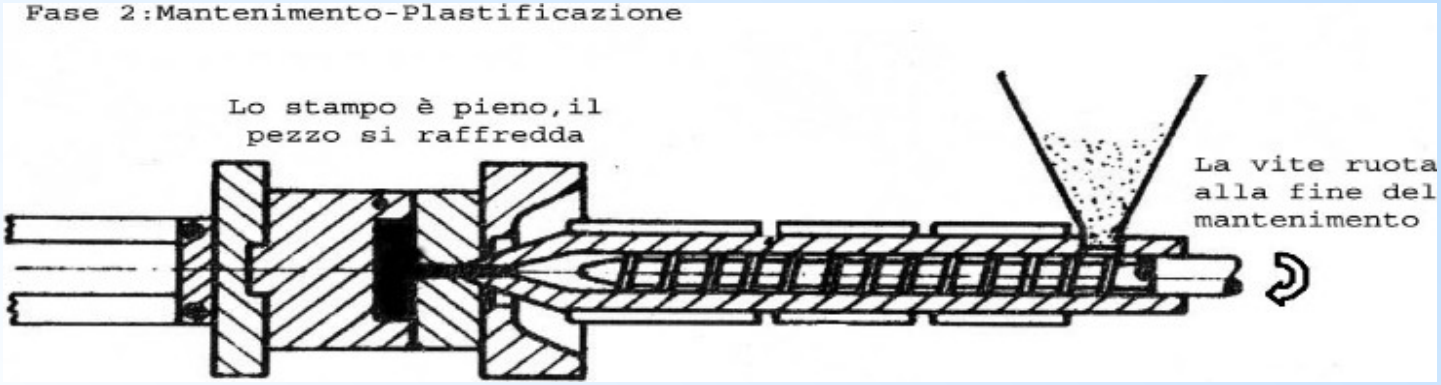


FASI DI PROCESSO E LORO INTERAZIONI

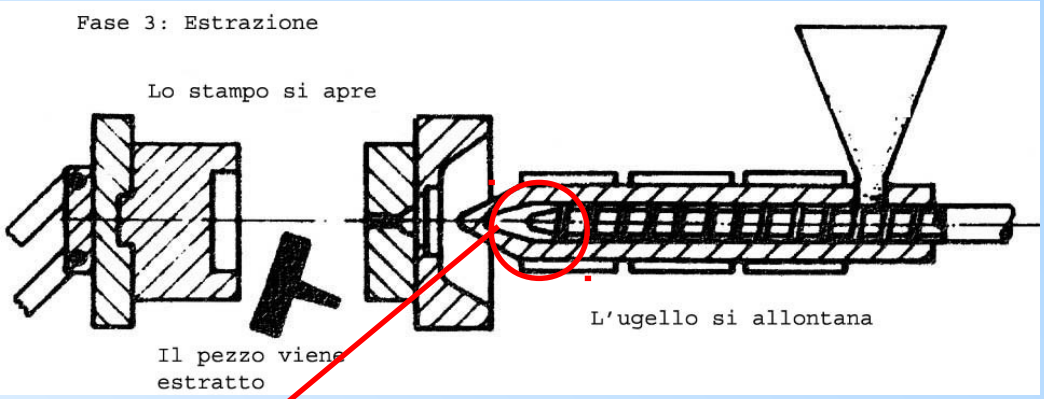
1-*<u>Iniezione</u>*: la vite trasla in avanti spingendo il materiale nella cavità fredda.



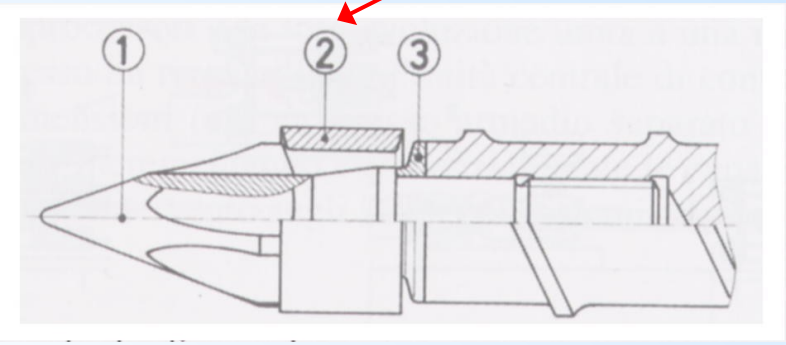
2-*<u>Mantenimento</u> in pressione e Plastificazione:* altro materiale è forzato per compensare il ritiro del pezzo e materiale per un altro ciclo è fornito nella camera di iniezione.



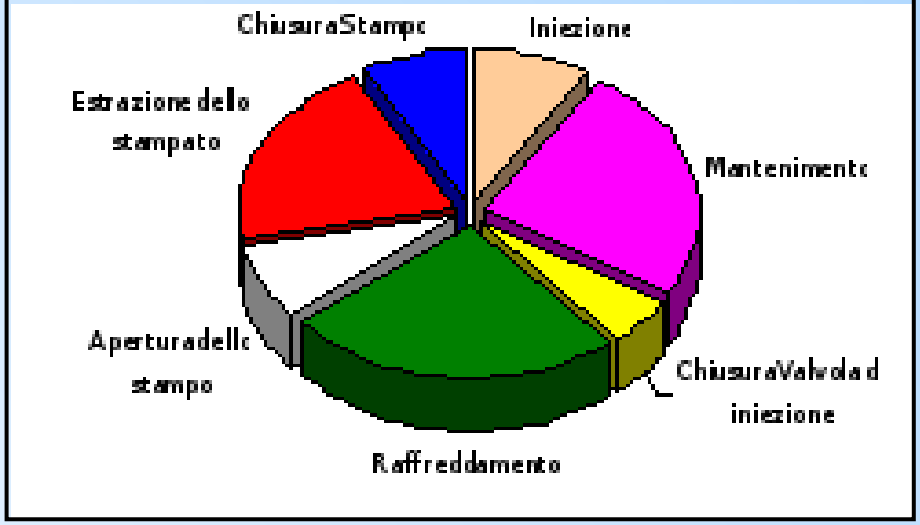
3-Raffreddamento ed Estrazione: Il componente freddo è espulso dallo stampo.



Valvola di non ritorno



Tempi di ciclo

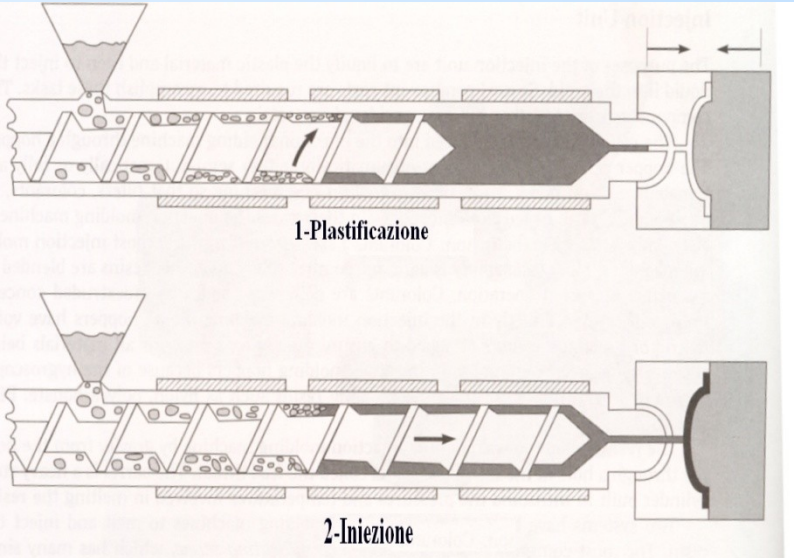


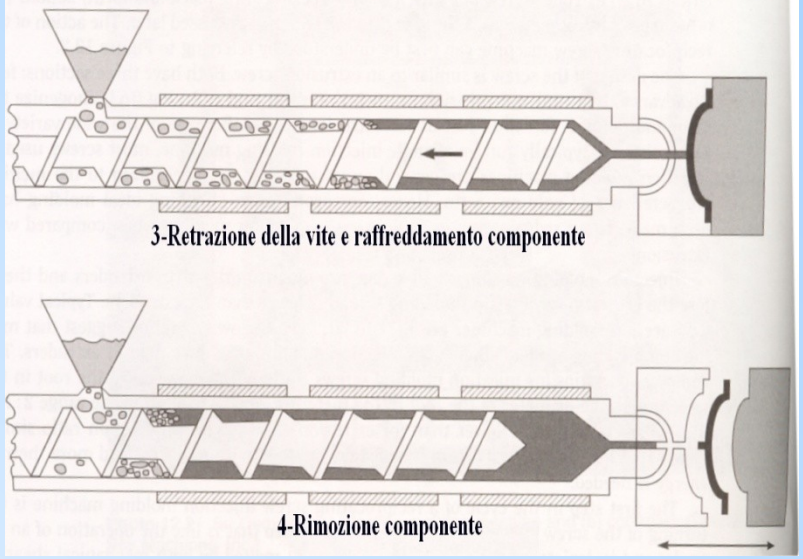
$$t_{raffreddamento} = \frac{\left(\frac{h}{2}\right)^2}{\alpha}$$

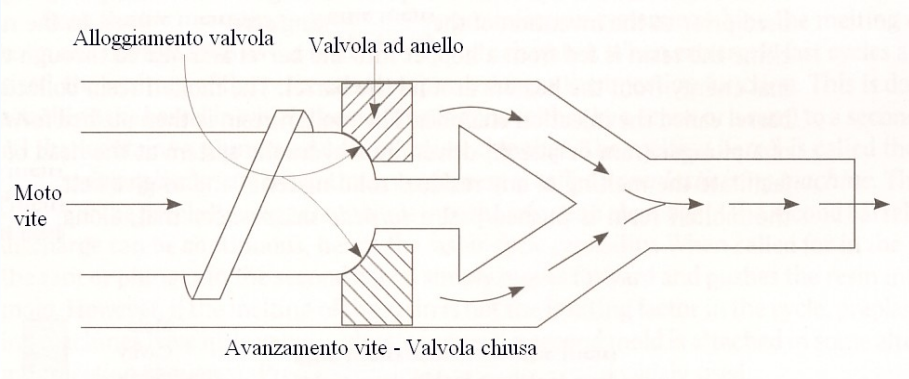
α per i polimeri è dell'ordine di 10^{-3} cm^2/sec

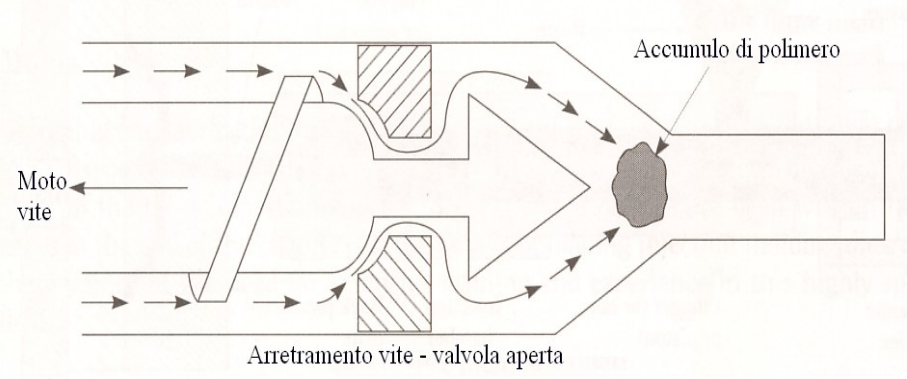
FASI DI PROCESSO E UNITA' DELLA MACCHINA

<u>Unità di plastificazione:</u> Ha il compito di liquefare (rendere fluido) il materiale plastico e di iniettarlo all'interno dello stampo









Vite o Viti controrotanti:

- Più corte di quelle di un estrusore;
- Rapporto L/D basso: 12:1 ÷ 20:1 → Minore efficienza di miscelazione rispetto all'estrusore e minore azione meccanica
- Rapporto di compressione: 2:1 ÷ 5:1

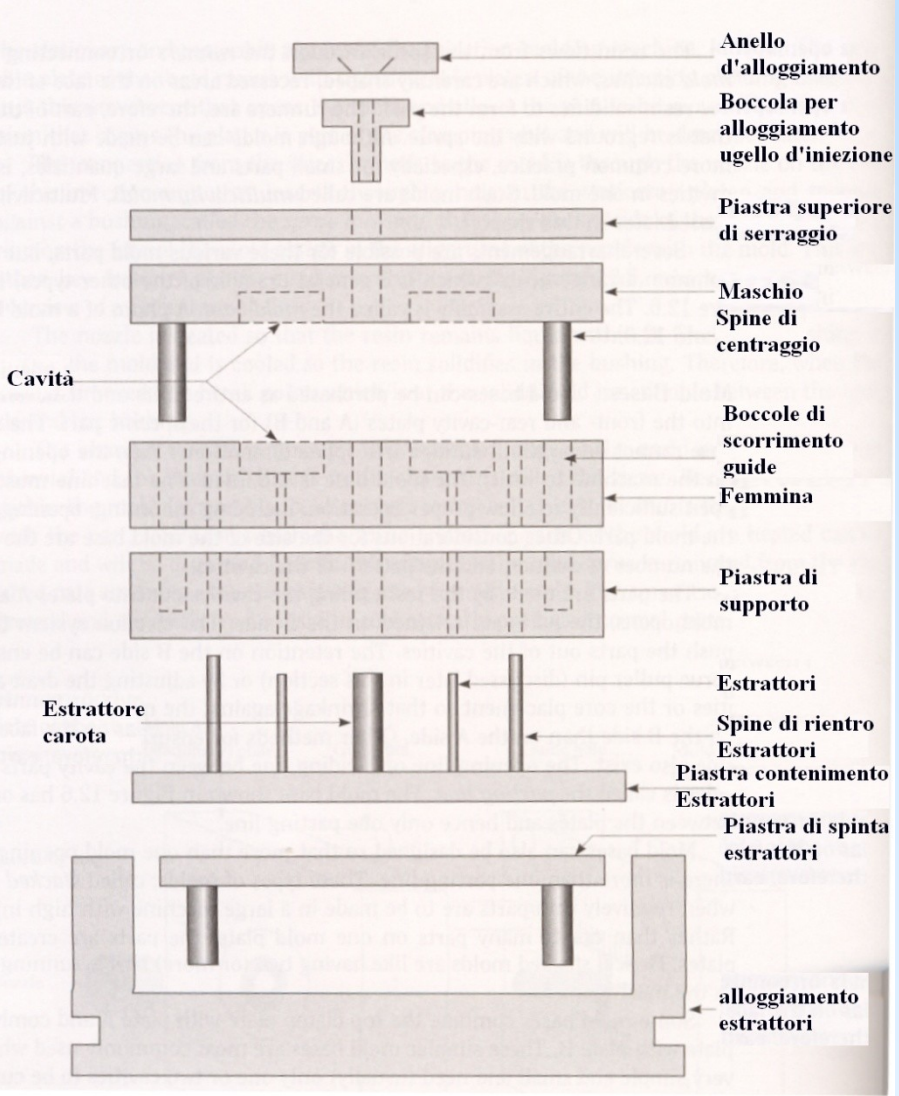
- Ruota attorno al proprio asse;
- Trasla in avanti agendo da pistone;

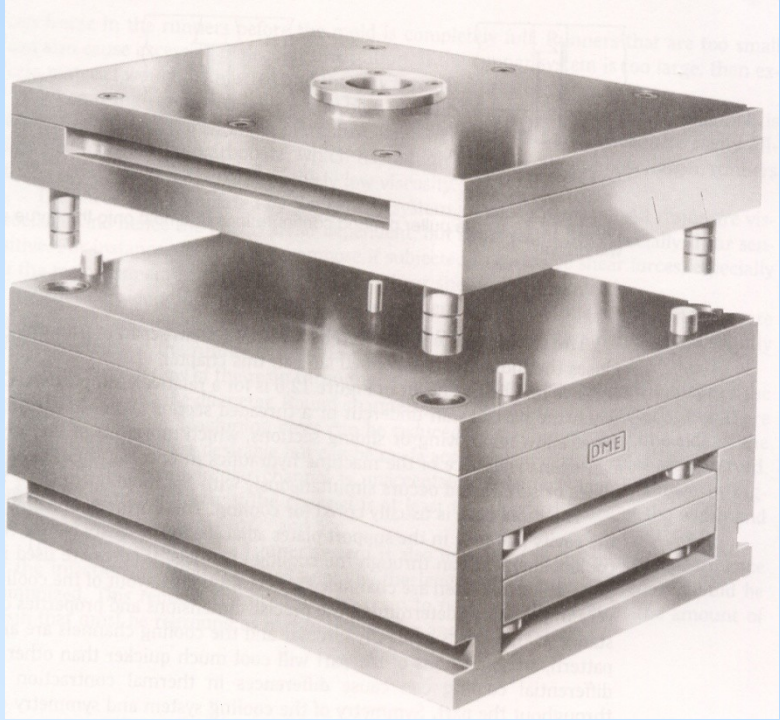
Cilindro:

- E' circondato da camice riscaldanti;
- Fornisce energia termica per la "fusione del polimero";

<u>Unità di chiusura:</u> Ha il compito di tenere chiuso lo stampo per la durata della fase che va dall'iniezione al raffreddamento.

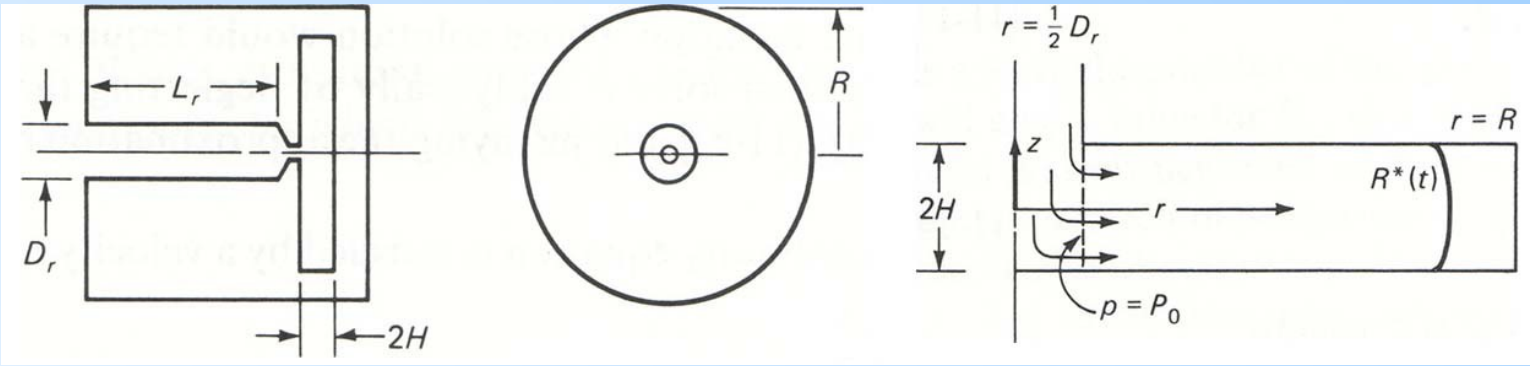
Stampo





$$V(stampo) = Vtot - V[parte(1 + ritiro)]$$

FASI E FISICA DEL PROCESSO

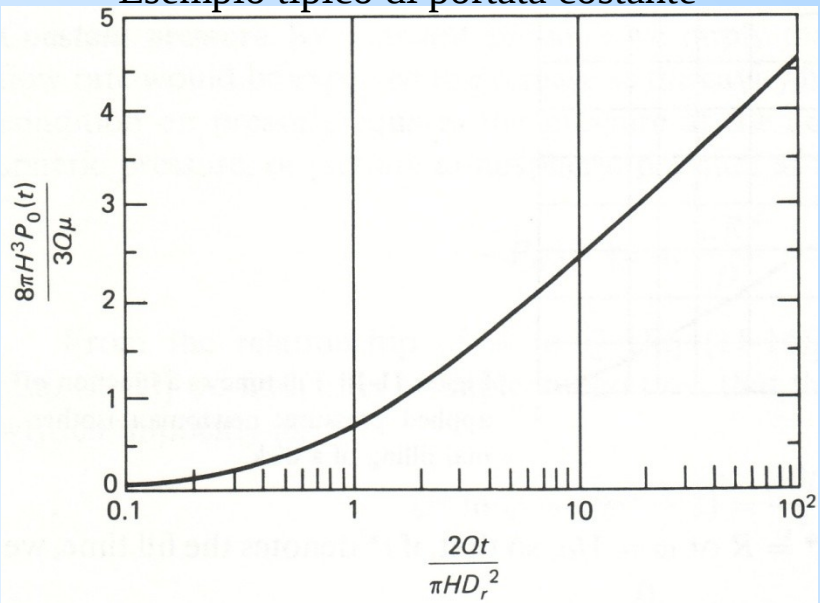


1. Fase di riempimento (concernente i primi istanti dell'iniezione):

Controllato dalla portata (Q).

$$P_0 = \frac{3Q\eta}{8\pi H^3} \ln\left(1 + \frac{2Q}{\pi H D_r^2} t\right)$$

Esempio tipico di portata costante



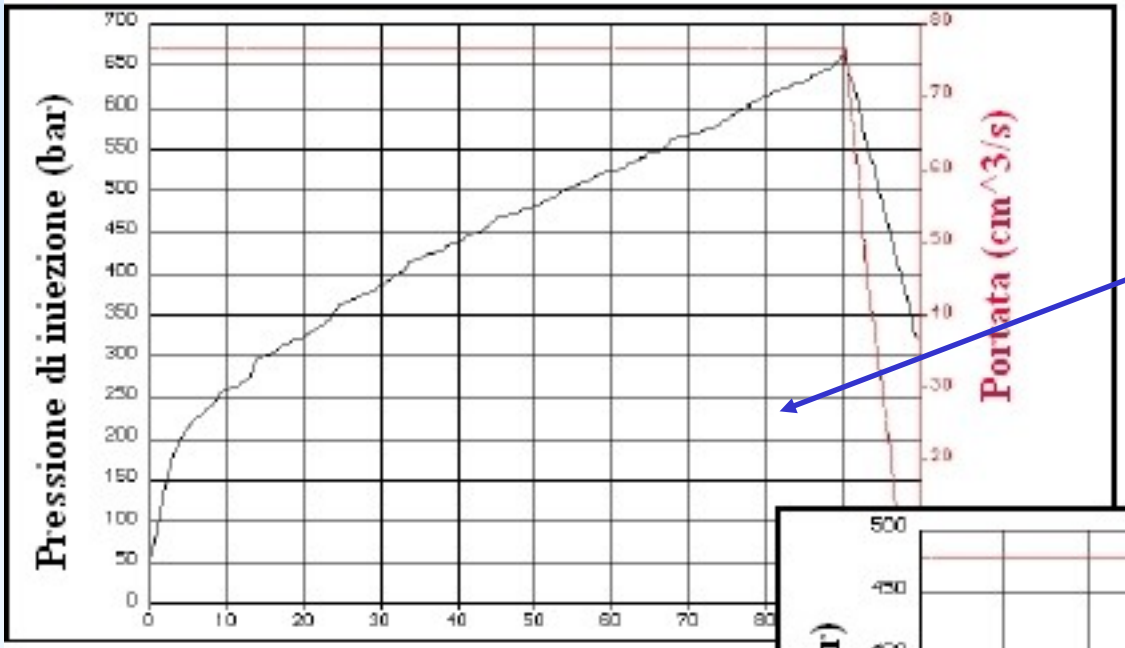
2. **Compensazione o pressurizzazione (concernente gli istanti finali dell'iniezione):** Controllato dalla pressione e dal relativo andamento (P);

3. **Mantenimento in pressione (compensazione del ritiro):** La pressione ha un valore fisso, mentre la portata varia in base alla quantità di materiale apportato;

4. **Raffreddamento:** Non è più fornito materiale addizionale. Il materiale ritira e la pressione all'interno della cavità comincia a decrescere gradualmente;

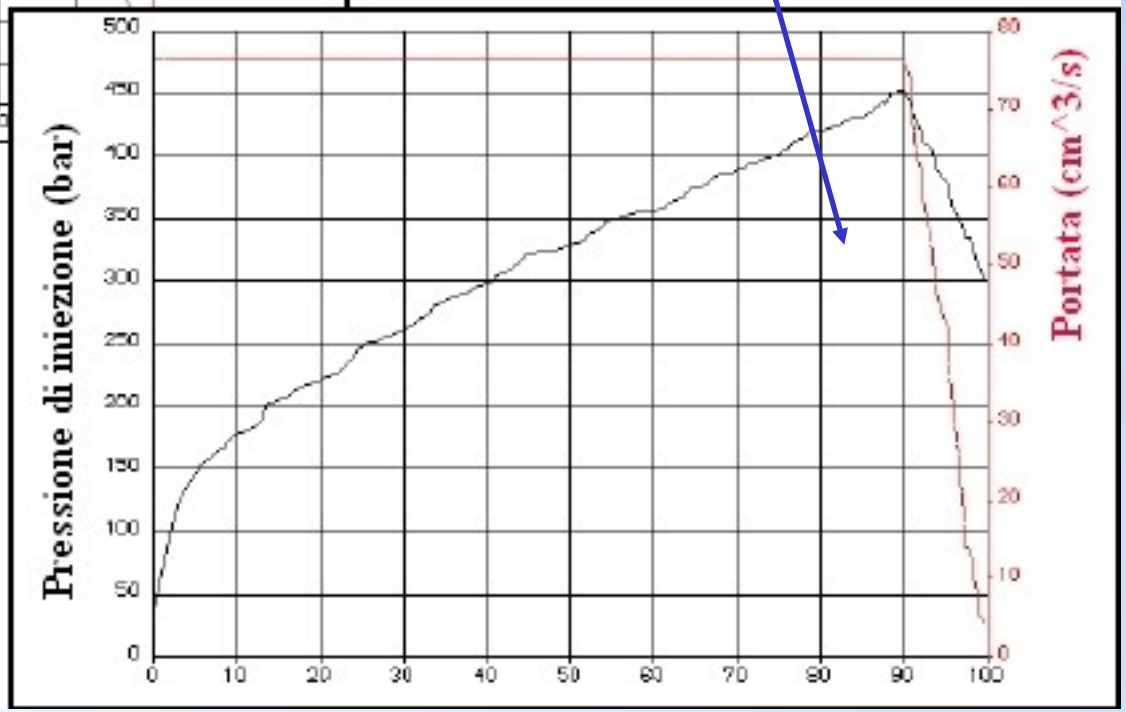
5. **Estrazione.**

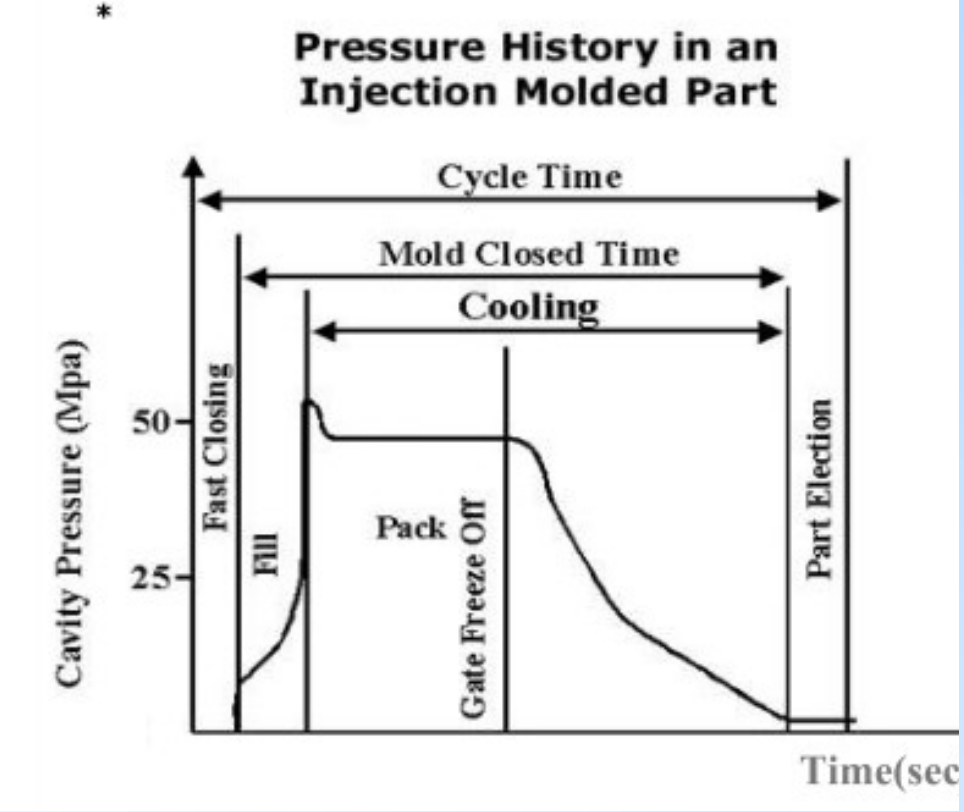
Diagrammi pressione / portata
recipiente cilindrico: d 250 mm - h 100 mm – s 1.2 mm

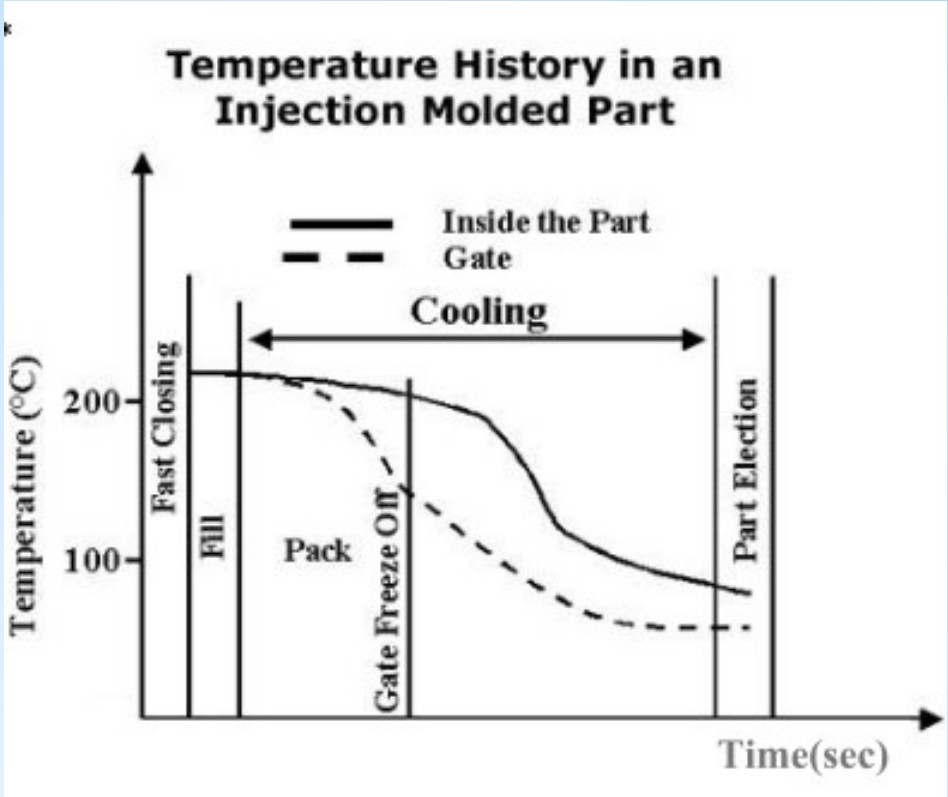


Ipotesi:

Tempo di mantenimento in pressione=0




Pressure History in an Injection Molded Part
Cycle Time
Mold Closed Time
Cooling
Cavity Pressure (Mpa)
50
25
Fast Closing
Fill
Pack
Gate Freeze Off
Part Election
Time(sec


Temperature History in an Injection Molded Part
Inside the Part
Gate
Cooling
Temperature (°C)
200
100
Fast Closing
Fill
Pack
Gate Freeze Off
Part Election
Time(sec)

PARAMETRI DI PROCESSO

Flessibili

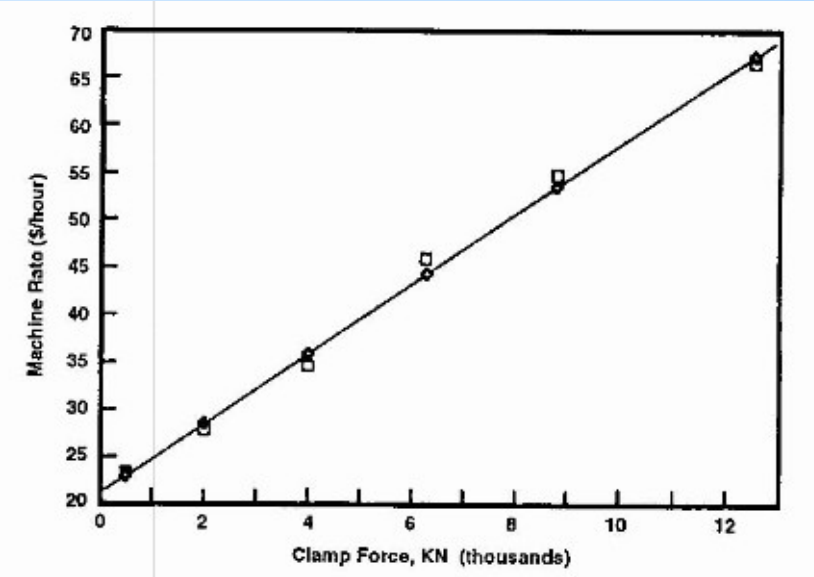
Possono essere impostati dall'operatore

- Temperatura del fuso (e dello stampo);
- Velocità di riempimento;
- Pressioni (Iniezione, Mantenimento)
- Tempo di mantenimento;
- Velocità di rotazione della vite;
- Contropressione;
- Tempi di ciclo.

Rigidi

Dipendono dalle dimensioni e dalle caratteristiche della pressa ad iniezione.

Non sussistono interazioni da parte dell'operatore.



Temperatura del materiale fuso

Dipende da:

•Profilo della vite;

•Profilo di temperatura: Inferiore o molto vicino a quella di fusione del materiale;

•Rapporto tra peso del materiale e capacità della pressa a iniezione;

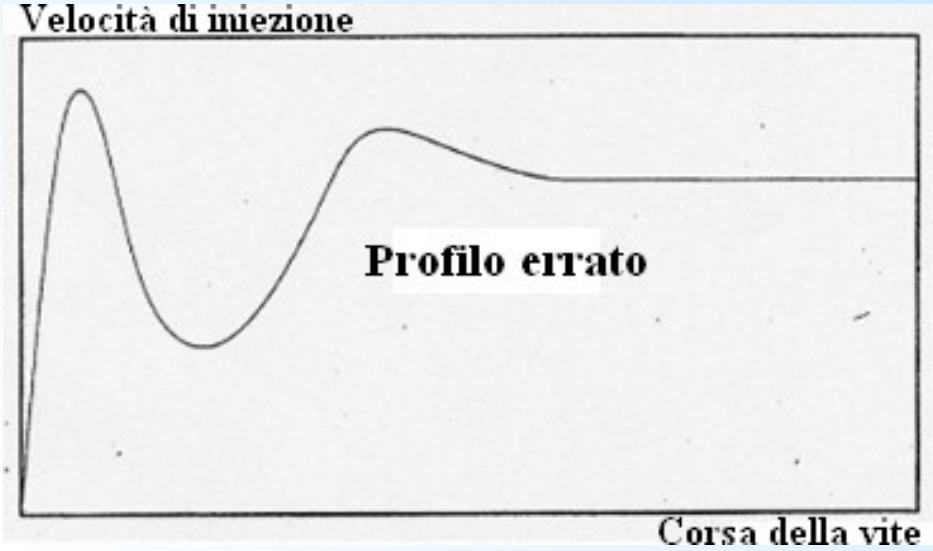
Velocità di riempimento

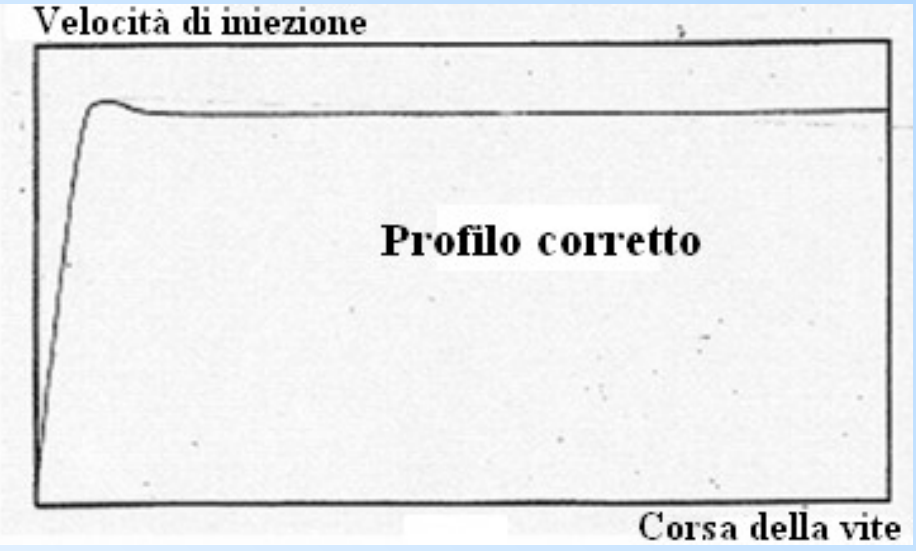
Determina:

•Effetti di taglio sul materiale;

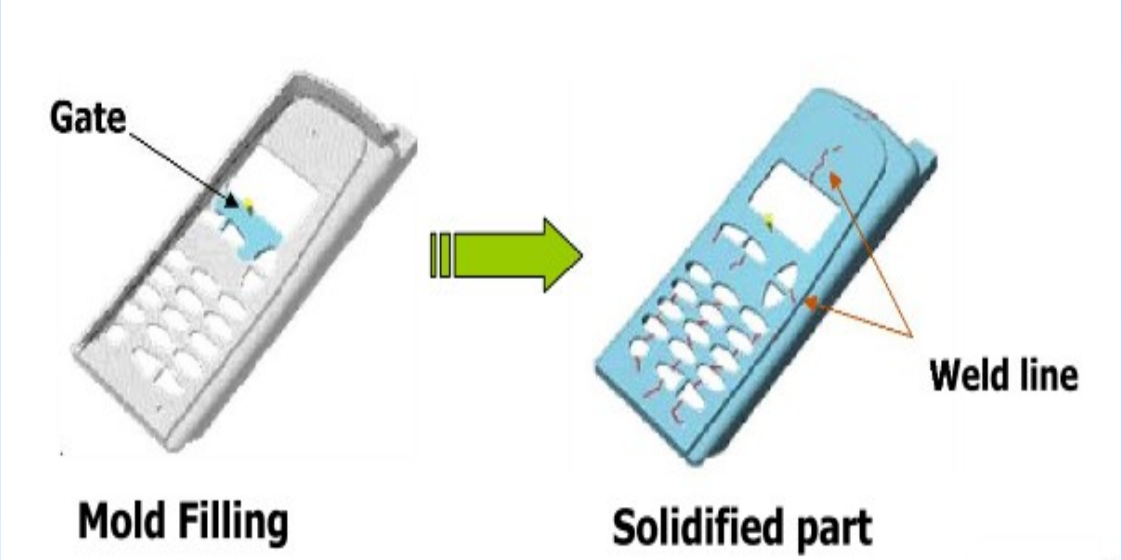
•Tensioni residue ed eventuale distorsione del componente stampato (warpage o svergolatura);

•Difetti di flusso (linee di saldatura, effetto Diesel, degradazioni localizzate).

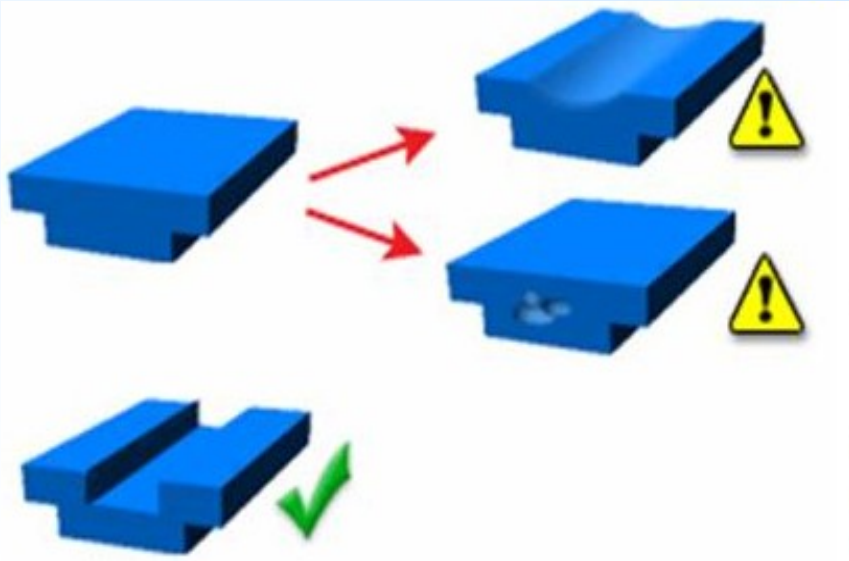


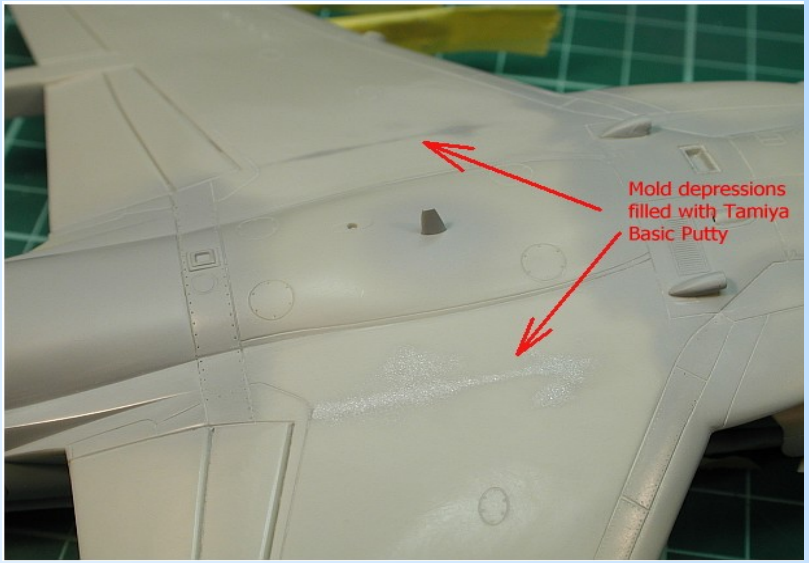


Linee di saldatura (Weld Lines)

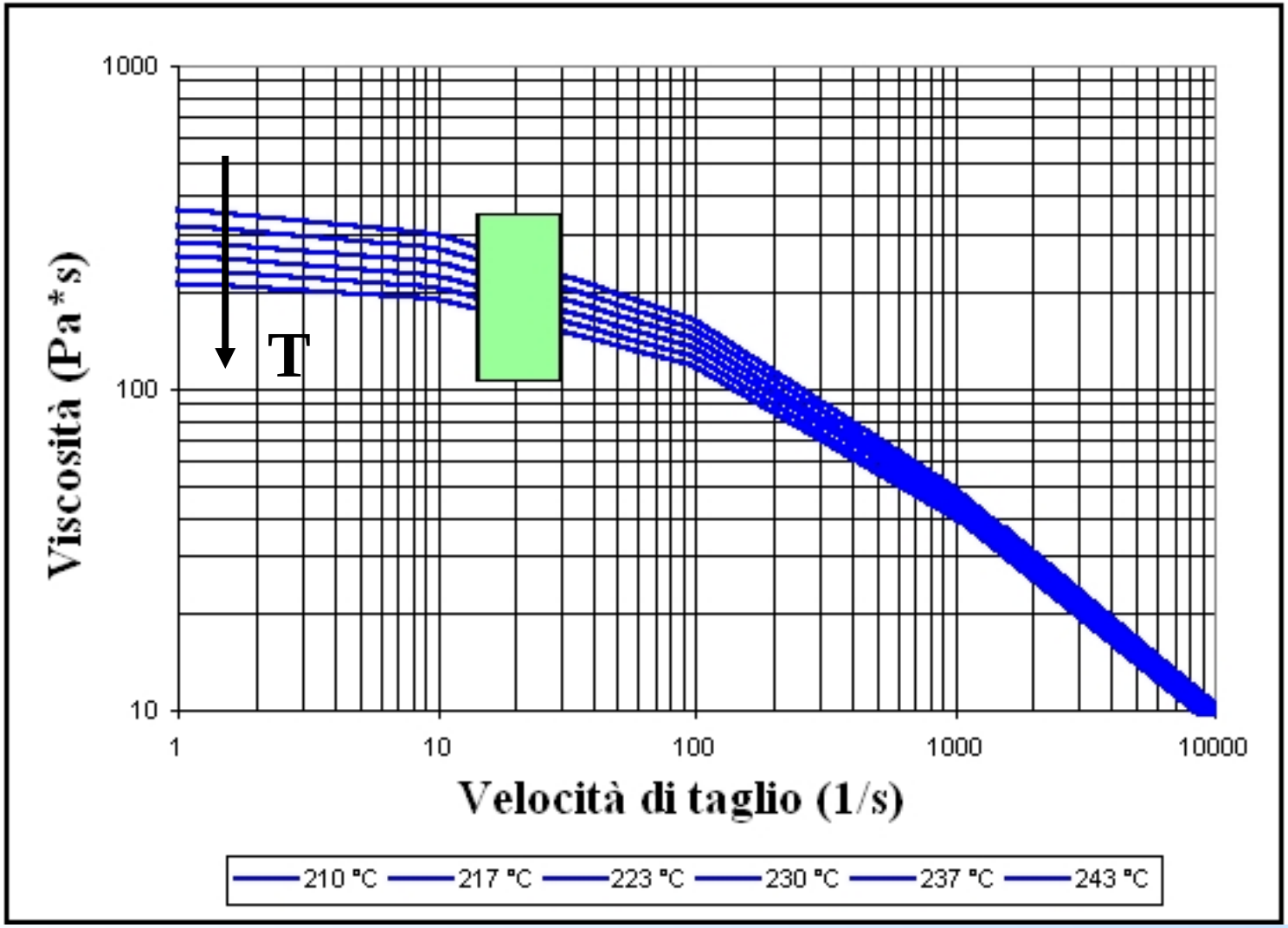


Soffiature (Sink Marks)





Esempio di curve reologiche di PP viscosità fz. gradiente di taglio e temperatura



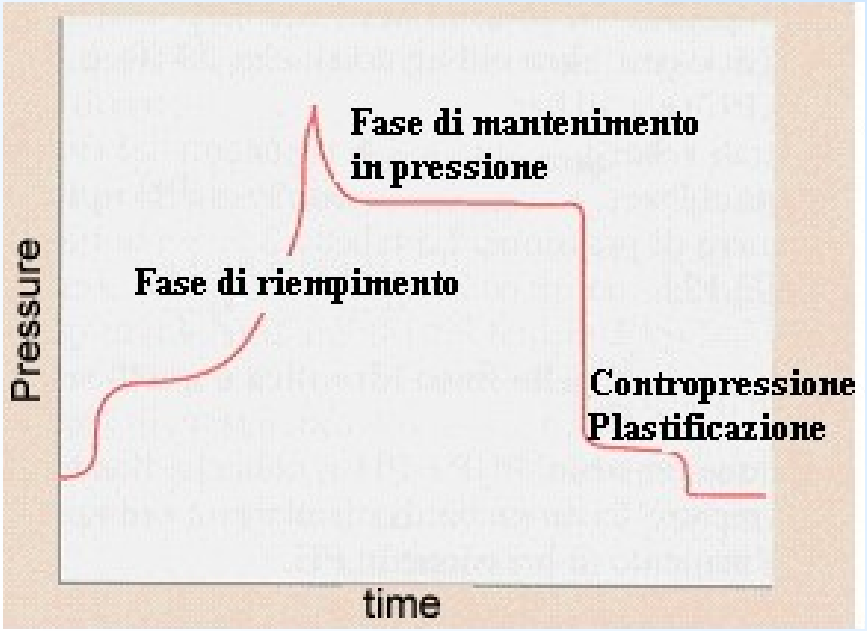
Pressioni di processo

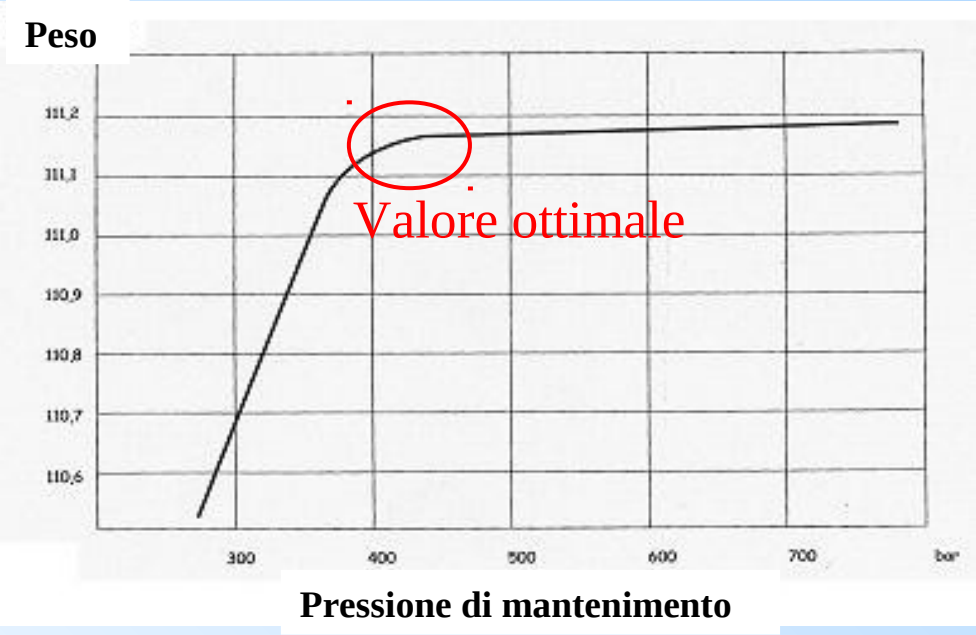
Pressione di iniezione

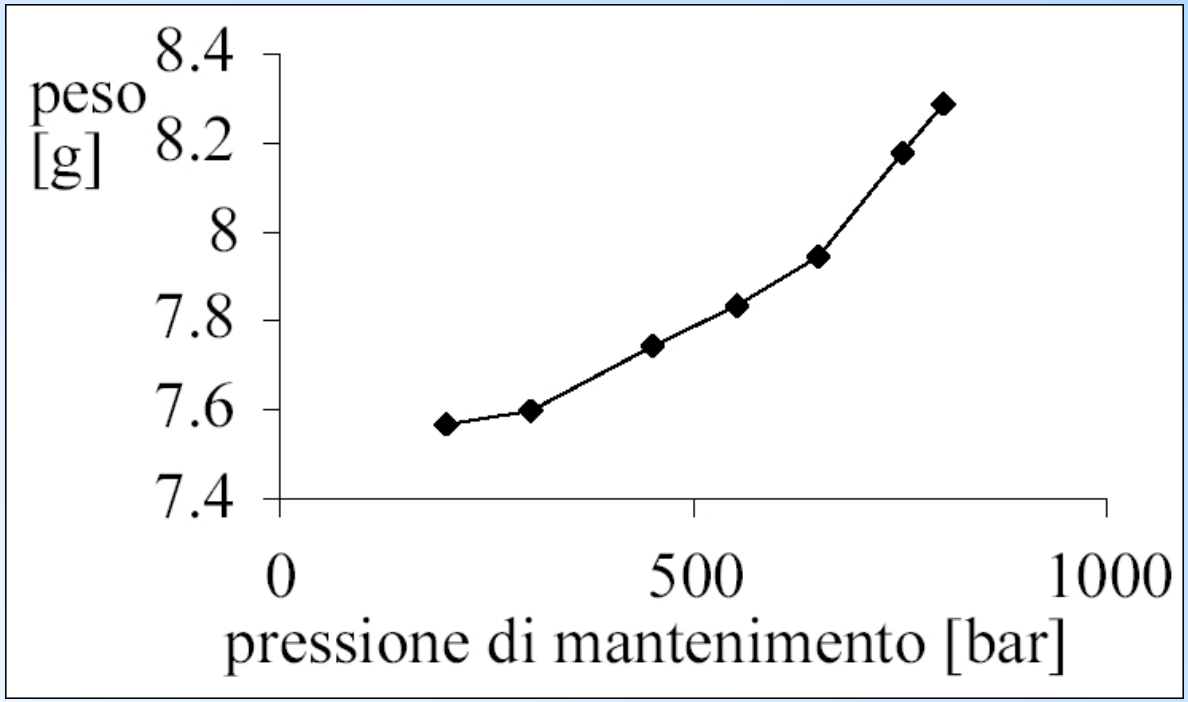
Variabile Dipendente dalle proprietà reologiche del materiale

Pressione di mantenimento

Variabile Indipendente – ha una forte influenza sulla densità dei componenti stampati, sulla presenza di difetti, sulle tensioni residue, ecc.

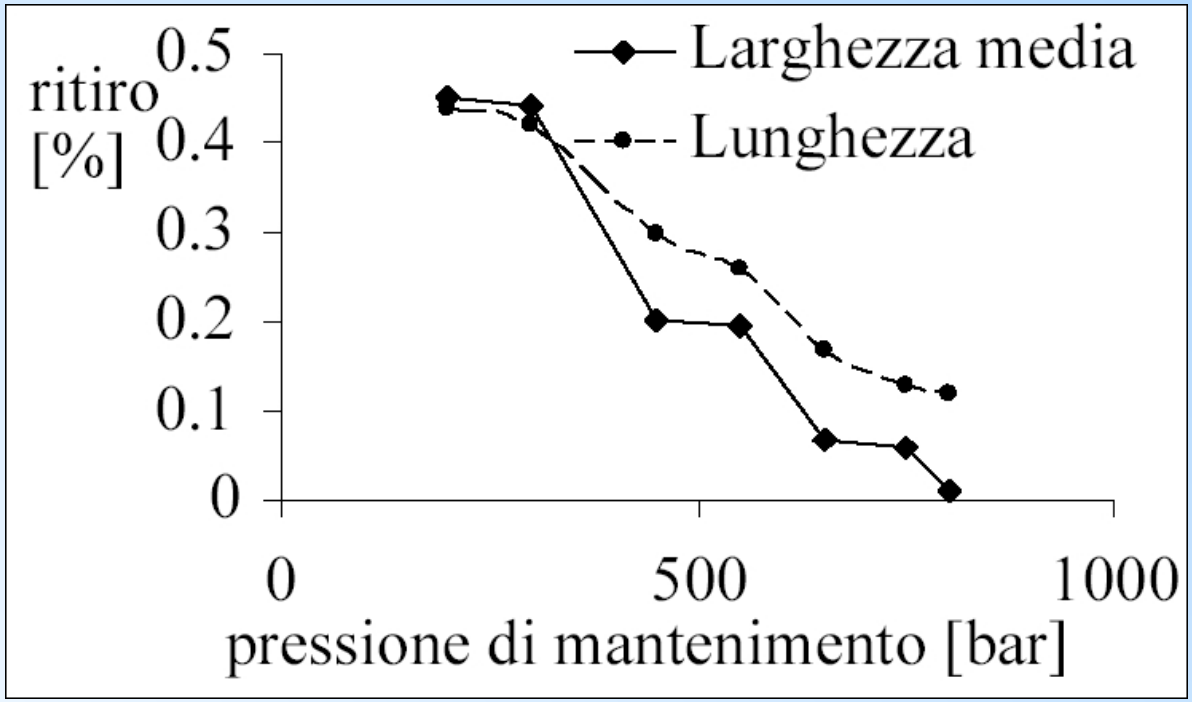






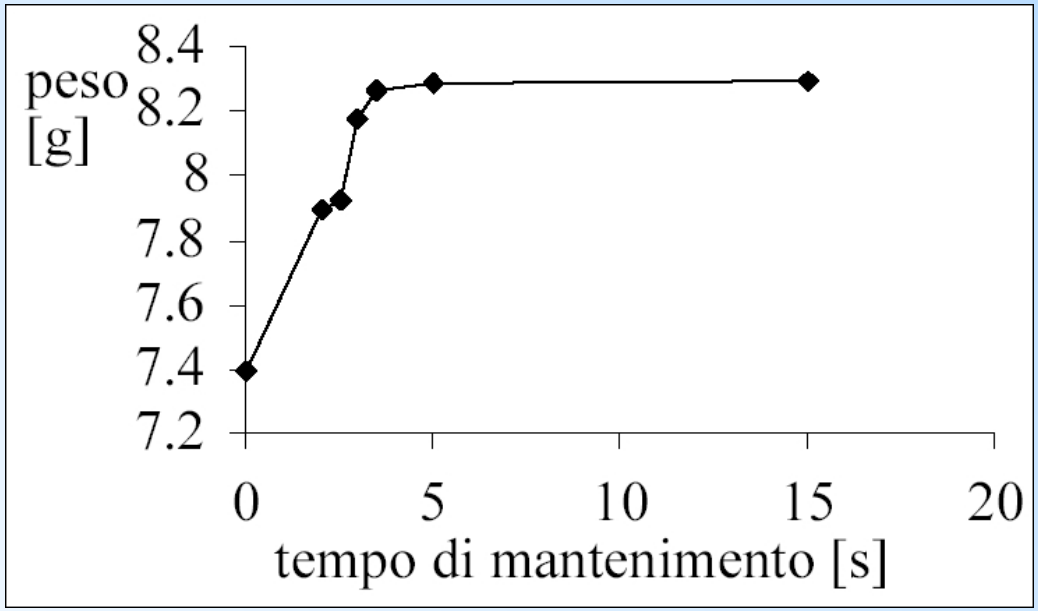
- Resistenza meccanica
- Rigidezza
- Densità

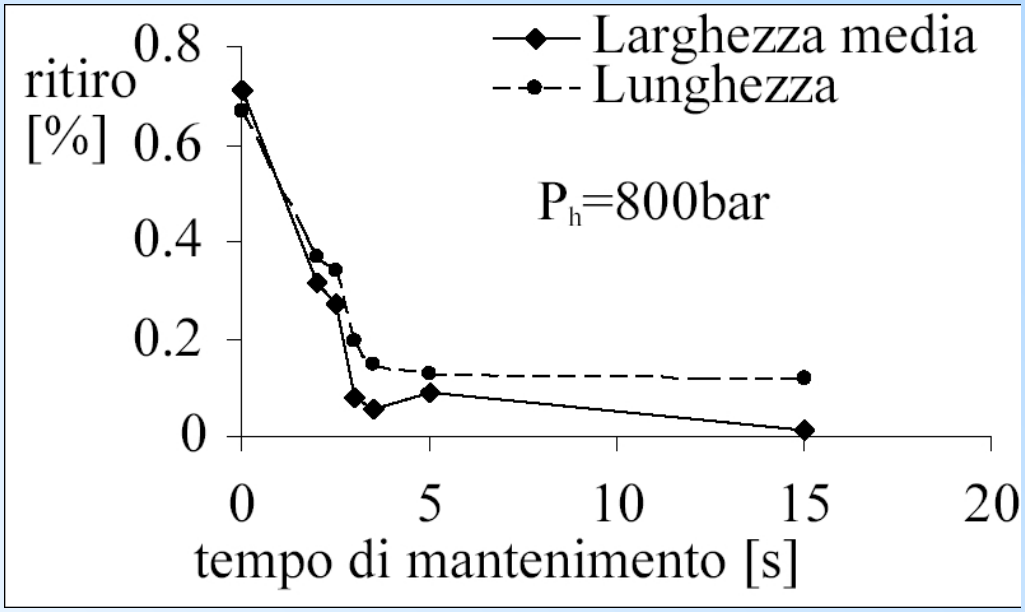
- Deformabilità
- Volume libero



Tempo di mantenimento

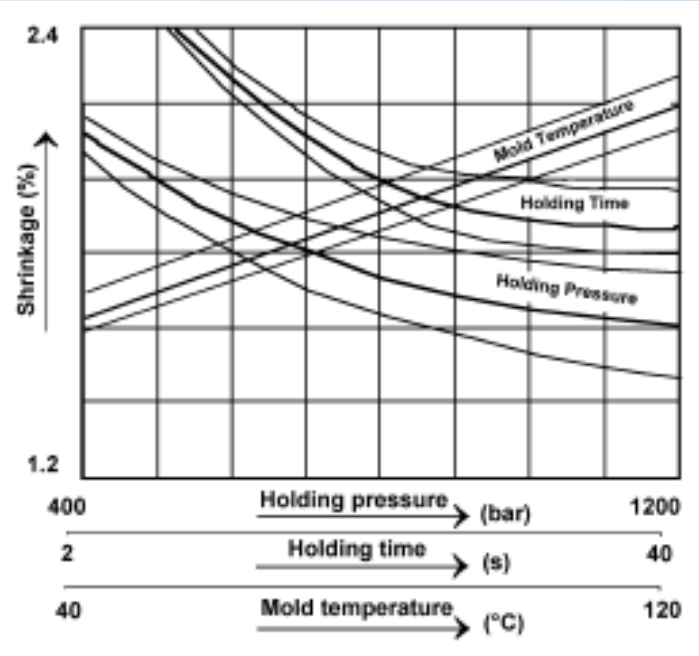
Stesso effetto della pressione di mantenimento

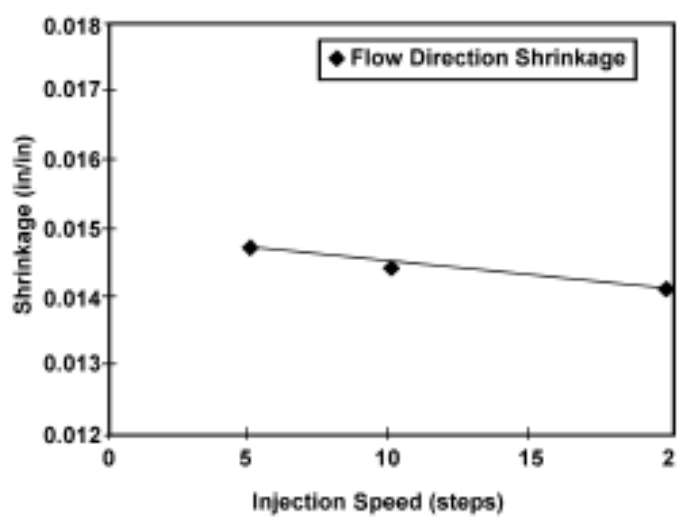




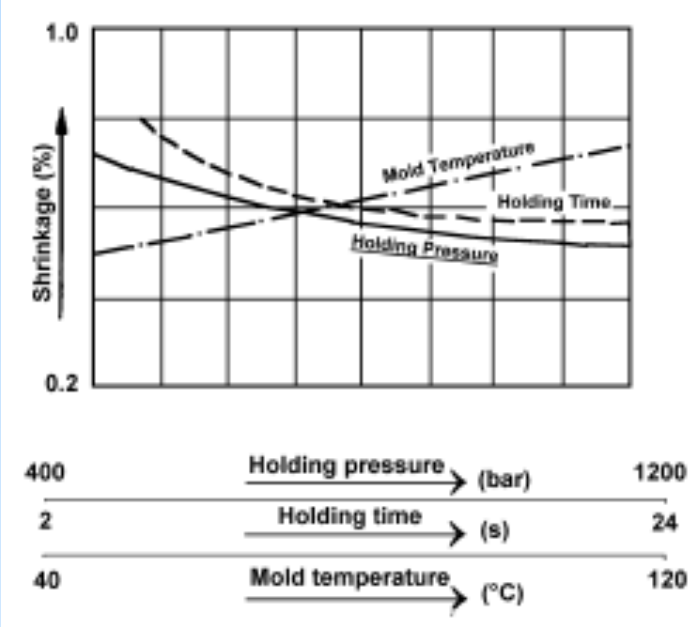
ESEMPI PRATICI

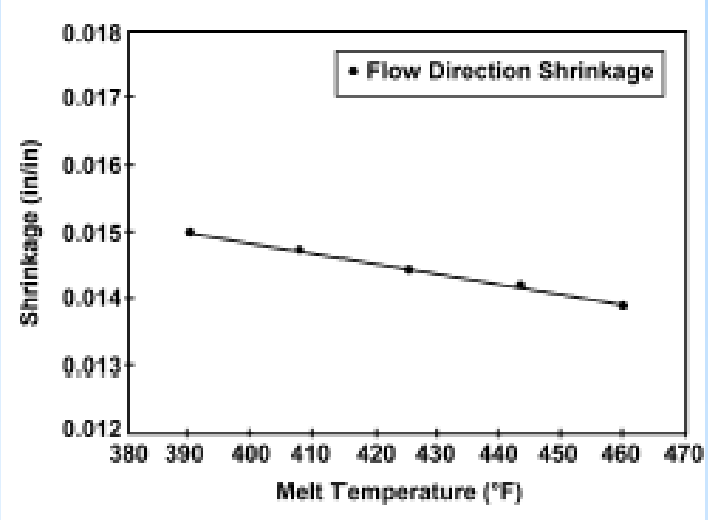
Polibutilene Tereftalato (PBT)– Non caricato

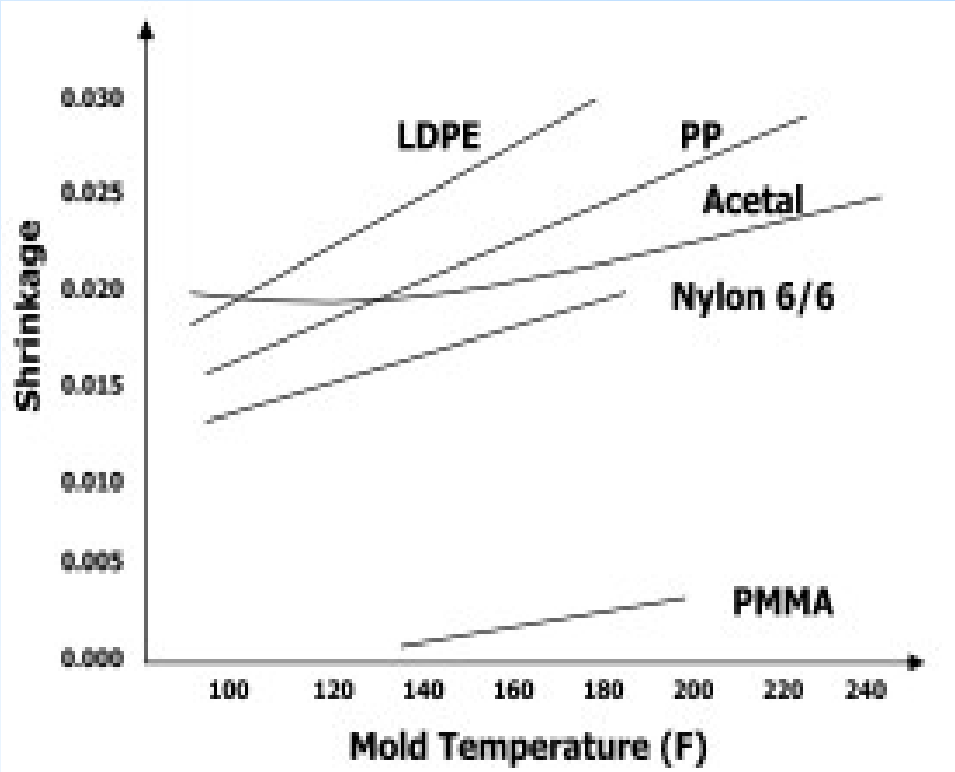


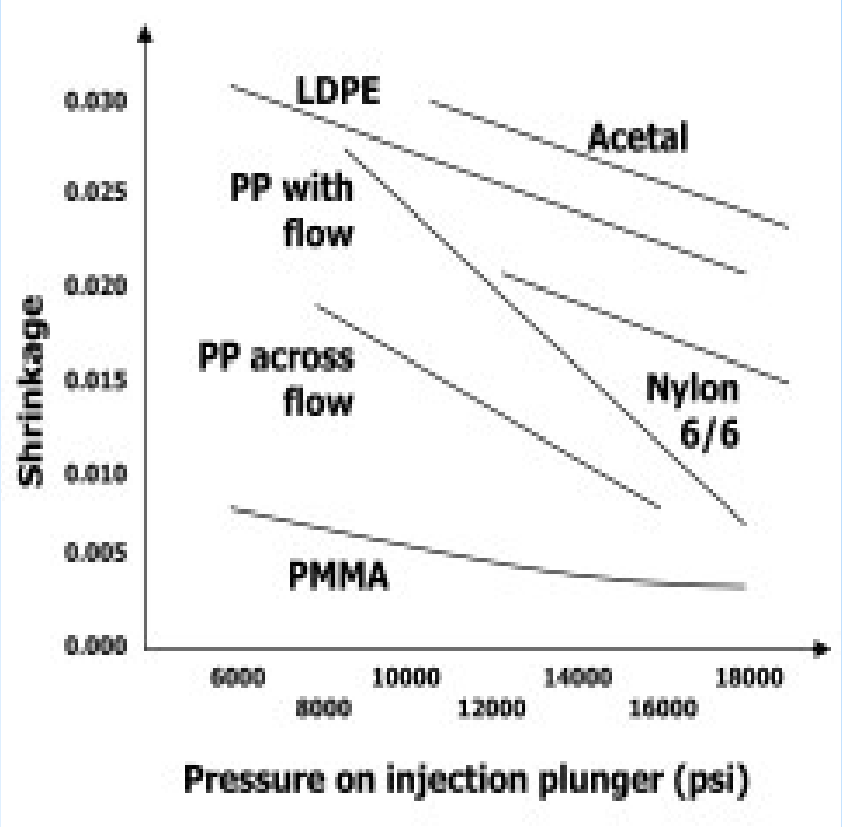


Polibutilene Tereftalato (PBT) – Caricato






Shrinkage
0.030
0.025
0.020
0.015
0.010
0.005
0.000
LDPE
PP
Acetal
Nylon 6/6
PMMA
100
120
140
160
180
200
220
240
Mold Temperature (F)


Shrinkage
0.030
0.025
0.020
0.015
0.010
0.005
0.000
LDPE
Acetal
PP with flow
PP across flow
Nylon 6/6
PMMA
6000
8000
10000
12000
14000
16000
18000
Pressure on injection plunger (psi)

Velocità di rotazione della vite

Diametro vite

Velocità angolare vite

→ **Velocità periferica vite**

→ Fenomeni di taglio

→ Riscaldamento localizzato del materiale

→ Degradazione del materiale

Esiste un limite massimo tecnologico per la velocità periferica della vite, che dipende dalle proprietà del materiale (PE, PP 850 ÷ 1000 mm/s)

Contropressione

Dissipazione di lavoro meccanico della vite durante la rotazione.

Importante contributo al riscaldamento del materiale.

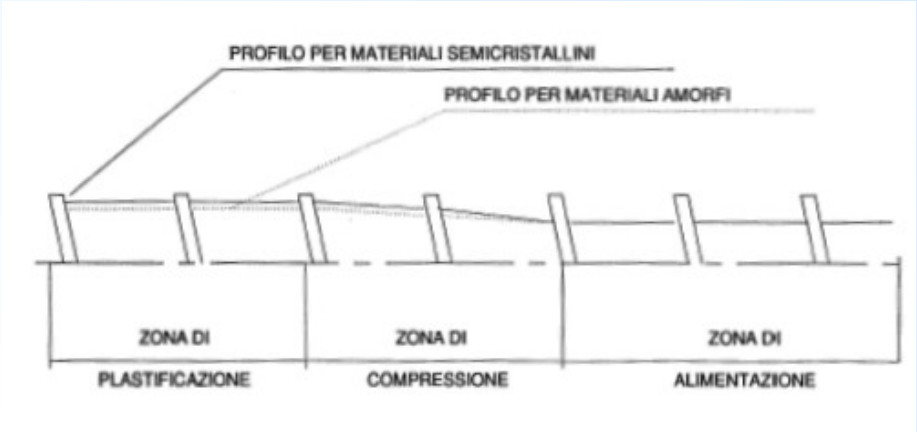
Configurazione e Profilo della vite

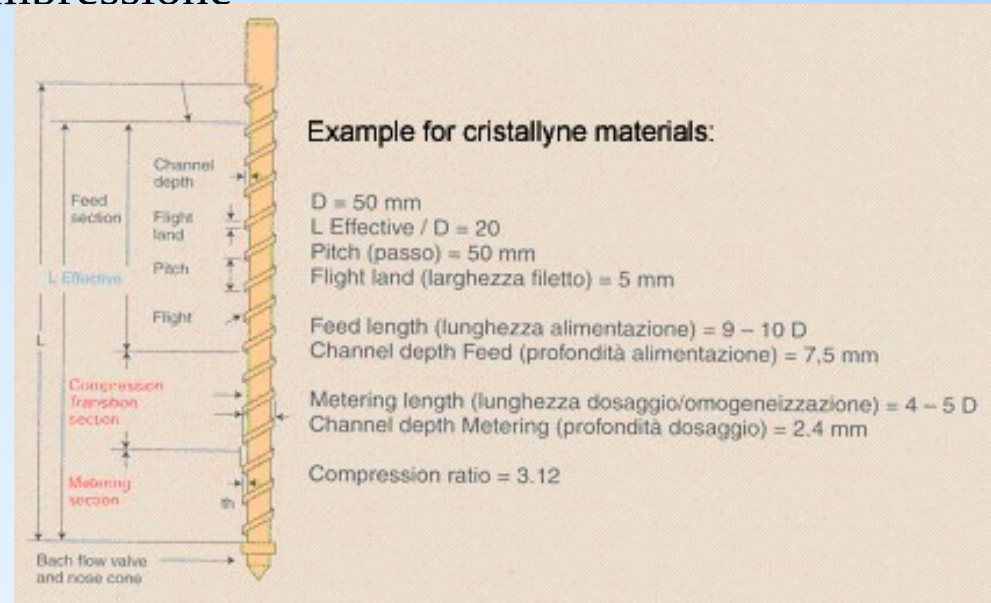
Polimeri Termoplastici

Semicristallini → Grande quantità di calore assorbito in un piccolo intervallo di temperature

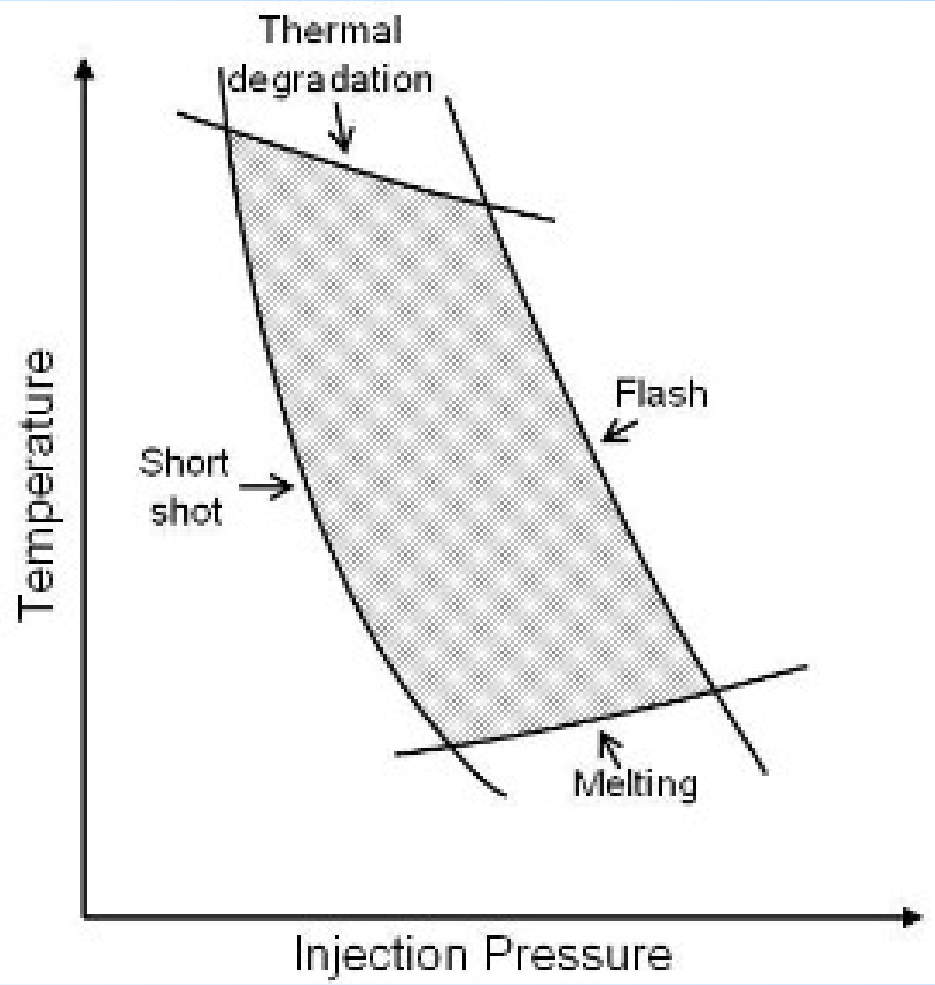
Amorfi → Piccola quantità di calore assorbito gradualmente

Sono richiesti differenti profili, soprattutto diversi rapporti di compressione





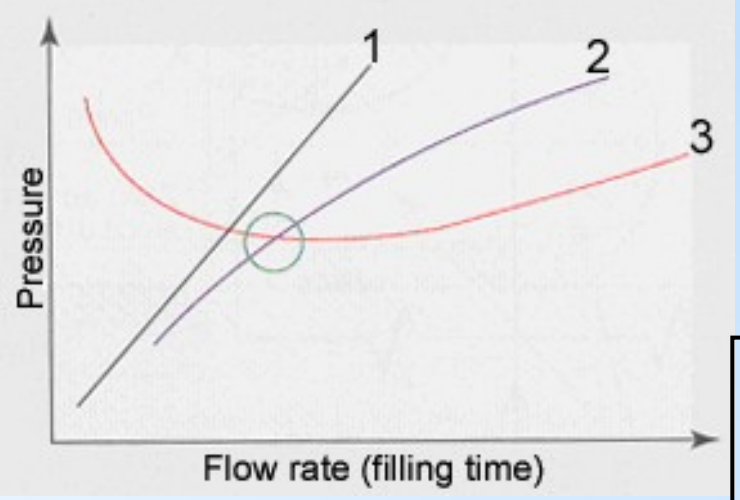
SOMMARIO PRELIMINARE
Finestra di lavoro nello stampaggio a iniezione



Varia da materiale a materiale, es:

- Molto ampia nel caso del PP;
- Estremamente ristretta nel caso dei Nylon (PA);

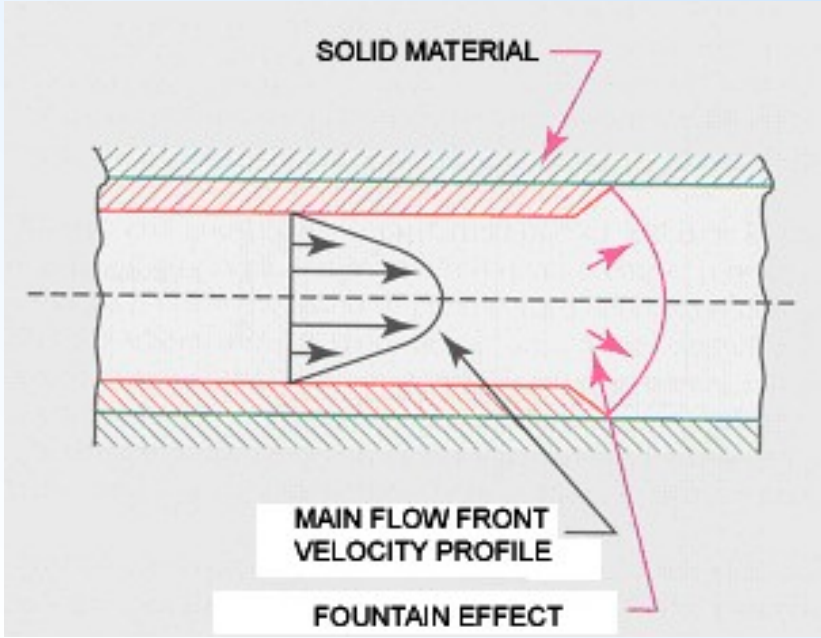
Comportamento dei fluidi durante la fase di riempimento

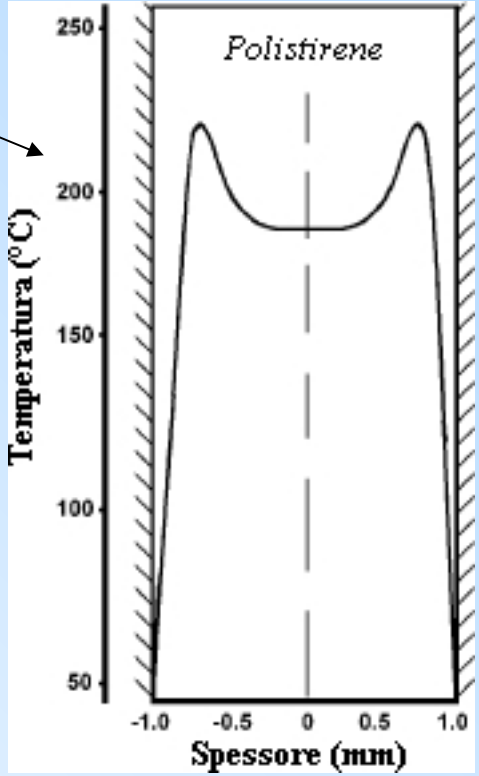


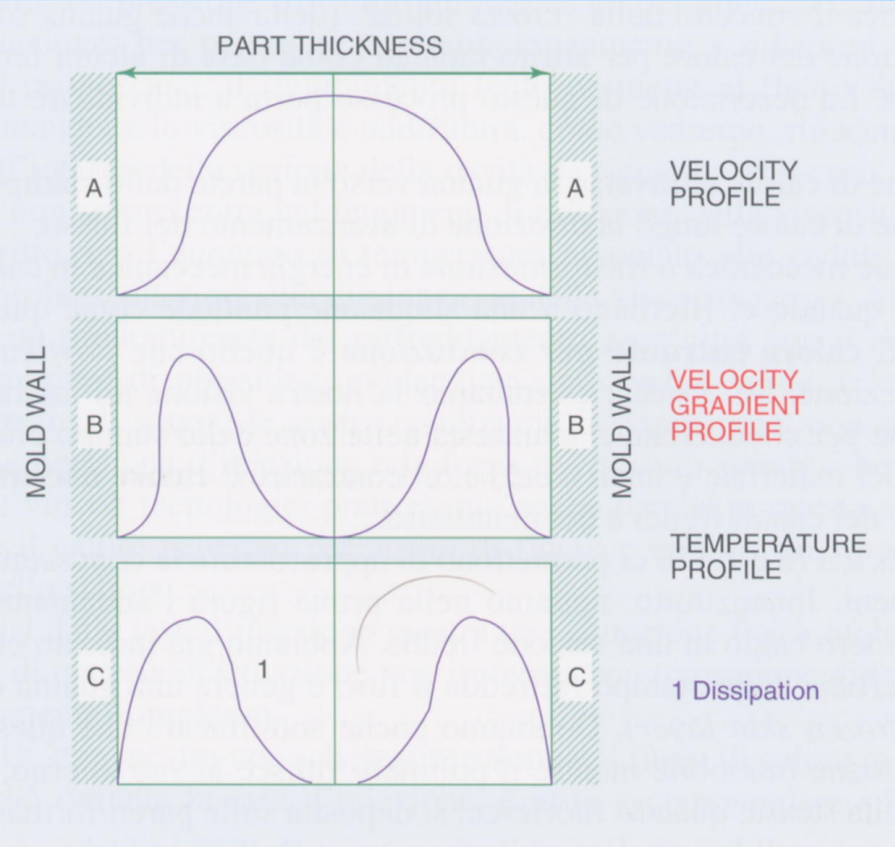
1-Fluidi normali (acqua, etc.) a temperatura costante: Influenza della viscosità di taglio.

2-Tipico polimero che scorre con una temperatura uguale a quella dei canali e delle cavità: La viscosità diminuisce all'aumentare della portata.

3-Flusso di un polimero in una cavità fredda: Il minimo della curva (zona cerchiata) indicale le migliori condizioni di processo.

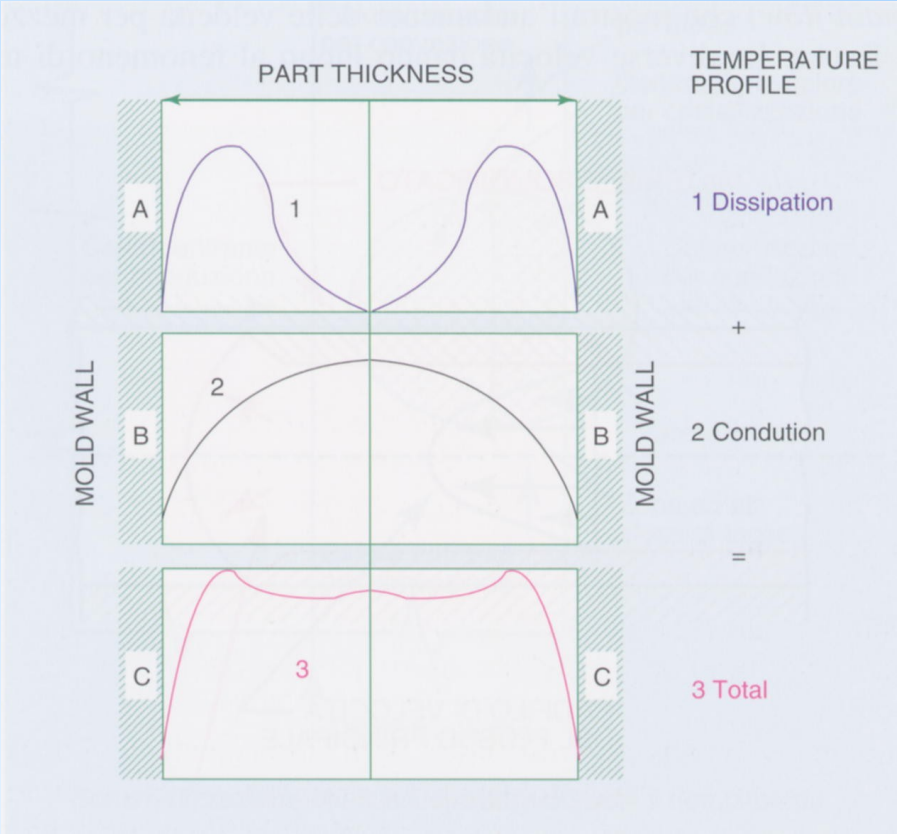






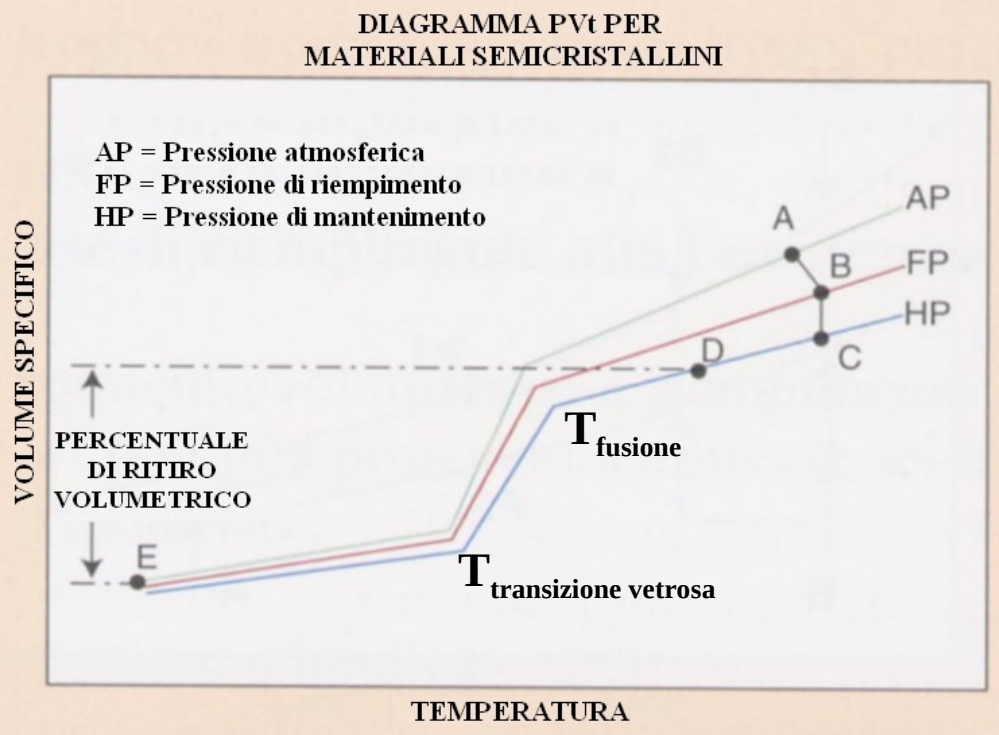
Profili di velocità, velocità di taglio e temperatura

Bilancio termico



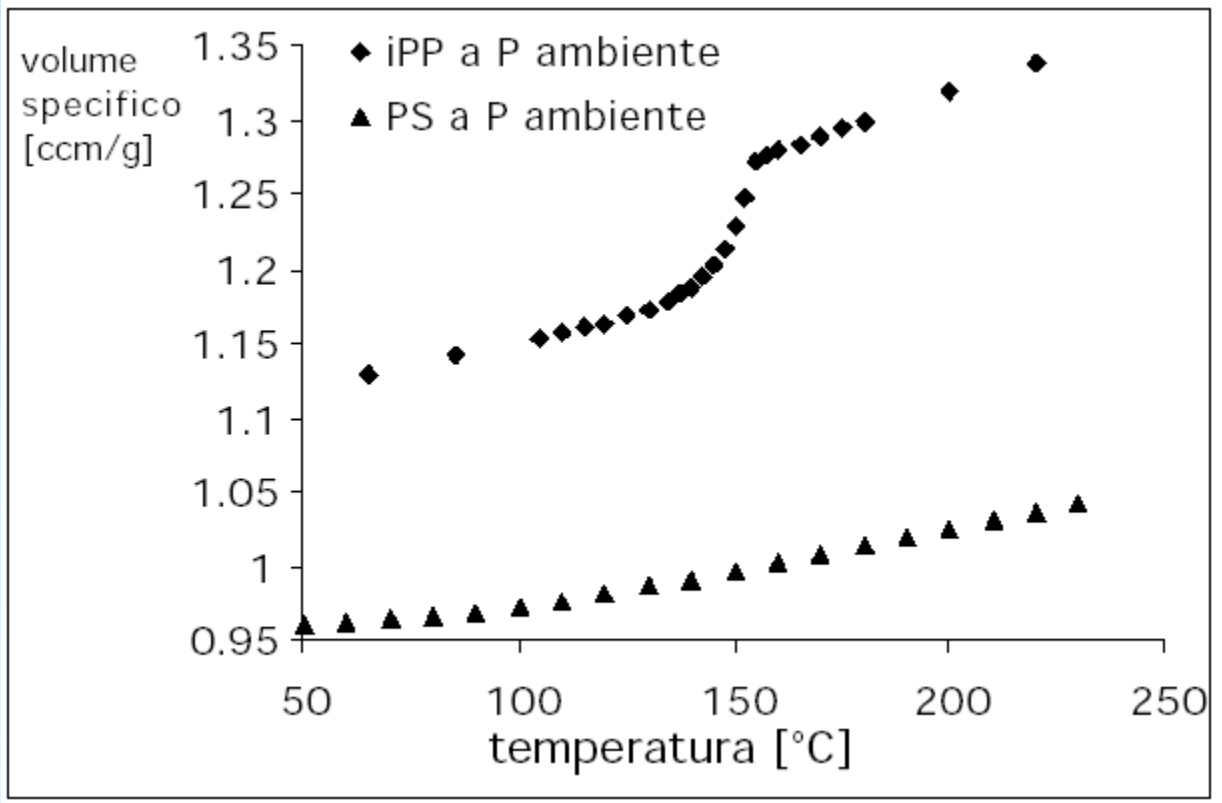
Fase di mantenimento in pressione

Es. – Flusso unidirezionale



- Punto A: Cavità vuota e materiale a Pressione Atmosferica;
- Punto B: Cavità piena e fase di riempimento completa;
- Puinto C: Inizio della fase di mantenimento ($P_h > P_f$);
- Punto D: Fase di mantenimento completa;
- Puinto E: Fase di raffreddamento completa e materiale a temperatura ambiente e pressione atmosferica.

ESEMPIO PRATICO



Il volume specifico del Polistirene, come per tutti gli amorfi, cambia relativamente poco con la temperatura. Invece, il PP, come tutti i semicristallini, non appena inizia la fase di cristallizzazione riduce notevolmente il proprio volume specifico.

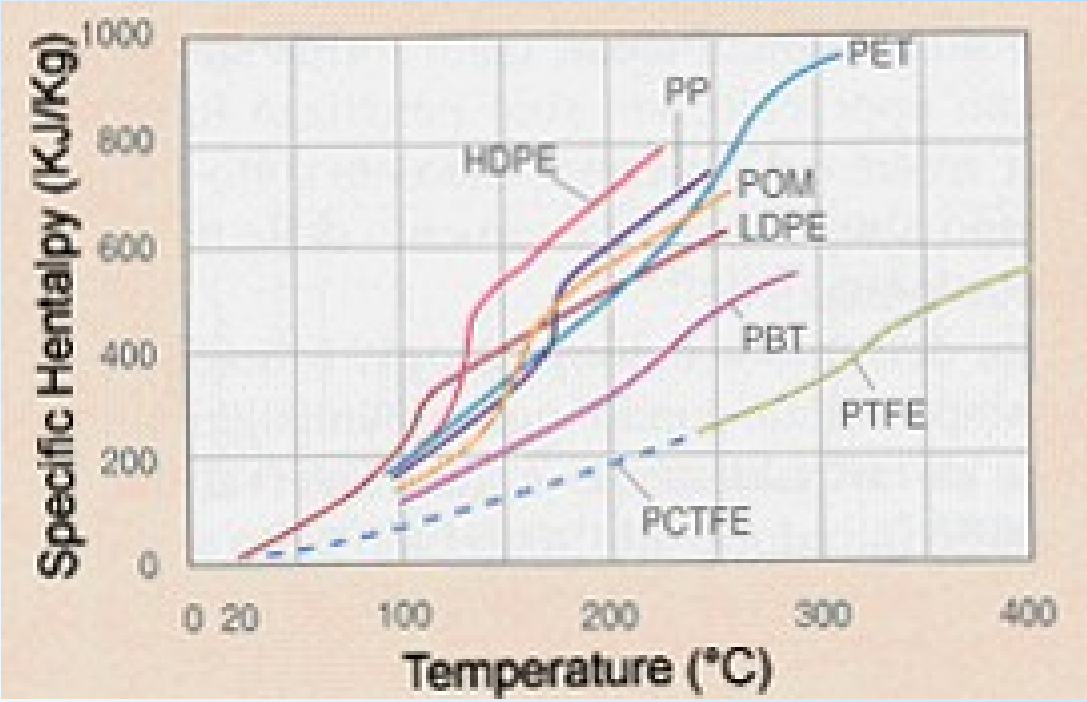
Questo comporta anche un maggior ritiro del PP rispetto al PS.

Fase di raffreddamento

Fortemente legata alla morfologia del polimero iniettato e alle esigenze di qualità del pezzo stampato

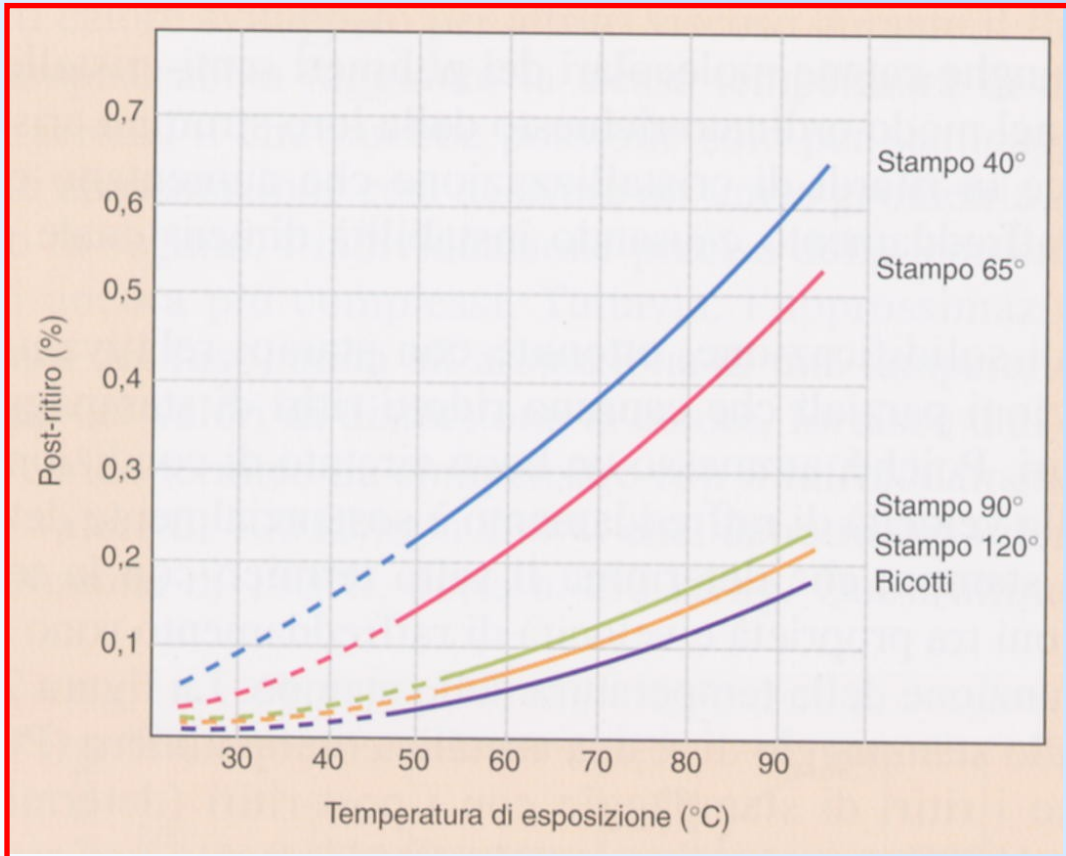
Definizione delle procedure di riempimento

1-Quantità di calore che deve essere estratto (evoluto) dal materiale;

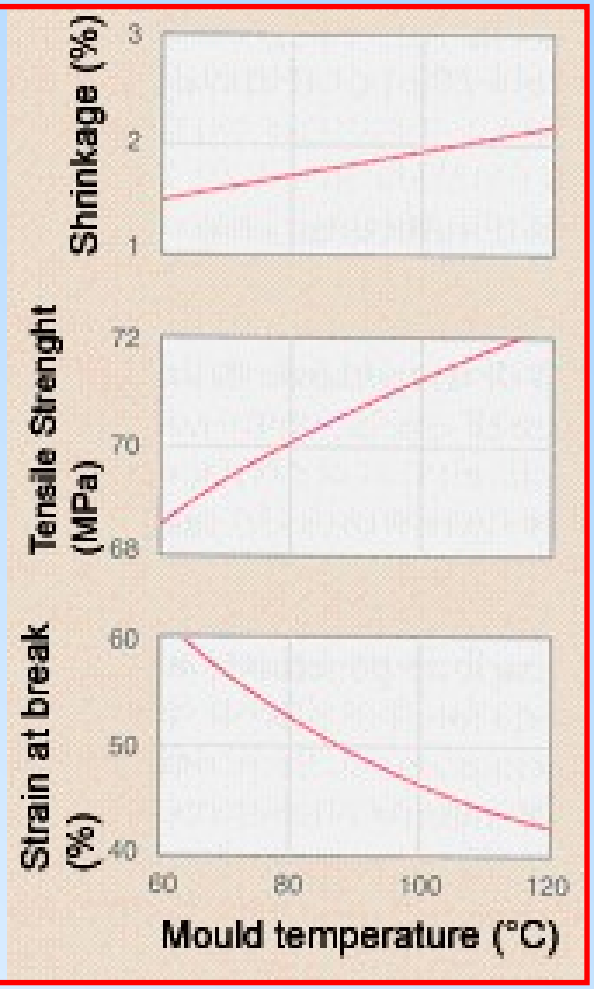


In questo approccio si trascura la dissipazione viscosa.

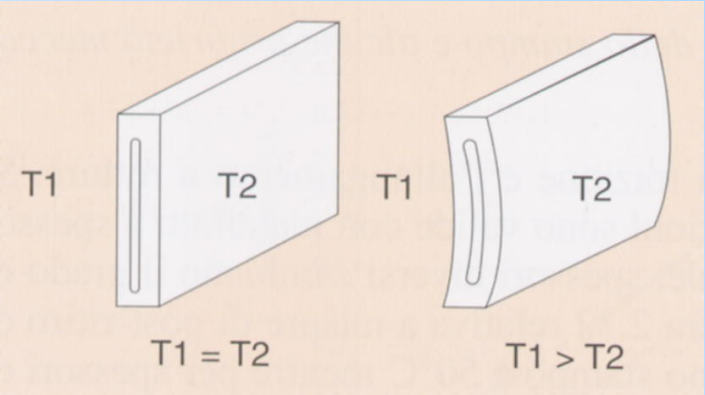
2-Velocità di raffreddamento: Influenza il ritiro, la stabilità dimensionale e le proprietà del materiale (grado di cristallinità, proprietà meccaniche, ecc.)



3 mm di spessore



3-Uniformità del raffreddamento: Svergolatura da raffreddamento.



3-Stima del tempo minimo di Raffreddamento: Equazione di Ballman e Shusman.

$$T_{raff.} = \frac{-t^2 * \log_e[\pi * (T_g - T_m)]}{2\pi\alpha[4 * (T_c - T_m)]}$$

Temperatura dello stampo

Temperatura di estrazione

Spessore del Componente

Diffusività del Materiale

Temperatura del Materiale

Evoluzione del calore in una sola direzione (spessore trascurato rispetto alla larghezza) e nessuna variazione di temperatura nei differenti punti del componente stampato

PARTICOLARI PROCESSI DI INIEZIONE

Stampaggio per coiniezione:

-Più unità di plastificazione collegate allo steso stampo attraverso differenti canali;

-Un materiale costituisce il nocciolo, l’altro la pelle esterna;

-Il materiale che costituisce la pelle è iniettato per primo;

-I materiali impiegati devono essere compatibili, altrimenti si può verificare delaminazione trai due.

Stampaggio assistito dal gas:

-Produzione componenti cavi;

-Gas (azoto) iniettato attraverso l’ugello o attraverso i canali;

-Il gas permea nel centro del materiale a bassa viscosità, lo preme verso l’esterno e lo spinge verso le pareti.

Problematiche di stampaggio dei polimeri semicristallini

- *Striature superficiali (Streaks):*

  -Causate dalla presenza d'umidità.

- *Fragilità dei pezzi (Brittleness):*

  -Presenza d'umidità.

  -Incipiente degradazione (ridurre le temperature e/o il tempo di durata del ciclo di stampaggio).

  -Insufficiente plastificazione del materiale (assenza di contropressione sulla vite).

- *Fumosità del fuso (Smoking Purge Shot)*:

  -Presenza di vapore acqueo o formazione di prodotti di degradazione (Riduzione temperature e dei tempi di permanenza del fuso nel cilindro).

- *Presenza di chiazze scure (Bleak Streaks)*:
  - -Si ripete ad ogni stampata ⇒ Fenomeni degradativi.
  - -Si presenta in modo sporadico ⇒ Si sono formati ristagni di materiale in varie zone dell'iniettore (cilindro, valvola di non ritorno o nei canali caldi) ⇒ interrompere il ciclo e pulire la macchina.
- *Linee di giunzione(Weld Lines)*:
  - -Aumentare temperatura del fuso o dello stampo.
  - -Aumentare, se è possibile, pressioni d'iniezione e di mantenimento.
- *Presenza di bruciature (Burning)*:
  - - Effetto Diesel ⇒ diminuzione velocità d'iniezione.

•*Pezzo incompleto (Short Shot)*:

-Eccessivo ritiro del materiale e cattiva impostazione d'alcuni parametri di stampaggio (dosaggio della quantità da iniettare).

-Temperatura del fuso bassa e/o viscosità del polimero troppo alta ⇒ Aumentare temperatura del fuso, pressione e tempo di mantenimento.

Presenza di bave (Flashes):

-Si verifica nei polimeri semicristallini, caratterizzati da una viscosità molto bassa.

-Temperatura troppo alta.

-Dosaggio eccessivo. Troppo materiale caricato.

-Ritardo nella commutazione tra pressione d'iniezione

e quella di mantenimento.

⇓

- Riduzione velocità d'iniezione e della pressione di mantenimento.

-Ritiro volumetrico del polimero non sufficientemente compensato

dall'apporto di altro polimero nella fase di mantenimento.

-Aumentare dosaggio, pressione e

tempo di mantenimento.

- *Affioramento della fibra di vetro (Silver Streaks) o di altri tipi di fibra*:

-Stampare a temperatura abbastanza elevata.

-Condizionare lo stampo (T≥80°C).

-Ritardare l'inserzione della pressione di mantenimento, che deve essere impostata a valori piuttosto elevati.

- *Superfici opache (Cloudy Appearance)*:

-Si verificano quando il materiale non è ben Plastificato ⇒ aumentare la temperatura del fuso e la

- *Variazione di colore (Color Variations Shot to Shot)*:

  -Degradazione termo ossidativa ⇒ Ridurre la temperatura del fuso.

  -Plastificazione disomogenea ⇒ Ridurre velocità di rotazione della vite e aumentare la contropressione.

- *Bolle sotto la superficie (Bubbles)*:

  -Materiale non plastificato correttamente ⇒

  Ridurre velocità di rotazione della vite e aumentare contropressione.

- *Porosità (Voids)*:

  -Se si verificano al centro dello spessore ⇒ Materiale non sufficiente a compensare i ritiri ⇒ Aumentare dosaggio e pressione di mantenimento.

  -Se si trova localizzata anche in zone non centrate nello spessore ⇒ sviluppo di gas dovuto all'eccessivo riscaldamento del fuso ⇒ Ridurre le temperature impostate.

•*Delaminazione*:

-I pezzi presentano zone superficiali poco saldate dal resto del materiale.

-Presenza di contaminazione del materiale da stampare

⇒ Interrompere la produzione e pulire il tutto.

•*Difficoltà d'estrazione del pezzo (Ejection Difficulties):*

-Ridurre pressione di mantenimento e/o aumentare durata del raffreddamento.

•*Linee di flusso visibili*:

-Aumentare la velocità d'iniezione o la temperatura del fuso.

•*Ritiri eccessivi o troppo ridotti (Shrinkage)*:

-Impostare per lo stampo temperature superiori a quella di transizione vetrosa del materiale.

GRAZIE PER LA VOSTRA ATTENZIONE