

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale
Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

Processo di stampaggio a iniezione e analisi delle sue caratteristiche

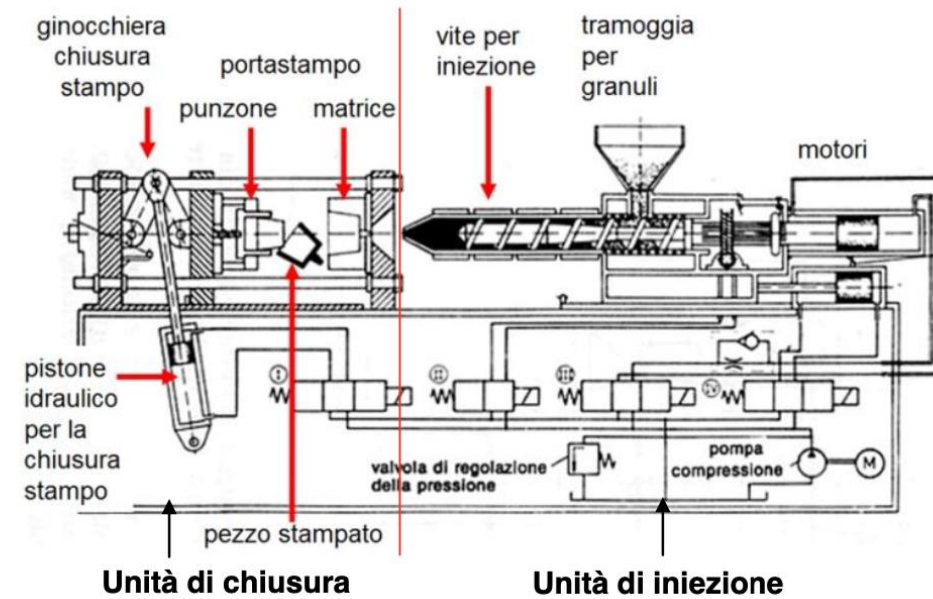
Tutor universitario:
Prof. Galvanetto Ugo

Laureando: *Daniel Legumi*

Padova, 27/09/2024

Il presente documento riguarda il processo industriale dello stampaggio a iniezione e l'analisi delle sue caratteristiche relative ai materiali e alle principali fasi.

Lo stampaggio a iniezione è un processo di produzione utilizzato per realizzare componenti in materiale plastico in grandi quantità. La tecnica consiste nell'iniettare una determinata quantità di materiale plastico fuso all'interno di uno stampo, dopo un fissato tempo di raffreddamento il pezzo viene espulso, ottenendo così un prodotto con la forma desiderata.



La relazione mira a delineare i sottostanti punti dello stampaggio a iniezione.

Materiali:

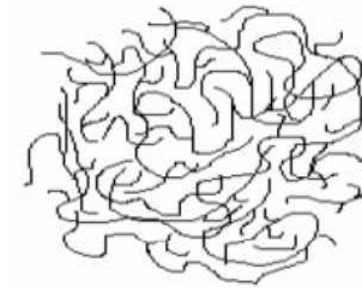
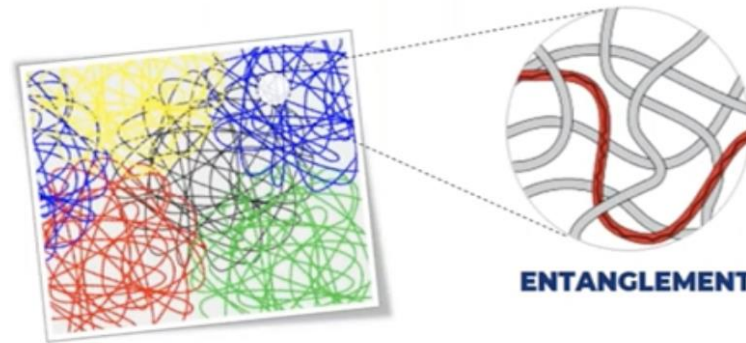
- I polimeri e morfologia
- Proprietà reologiche
- Caratteristiche termico-meccaniche

All'interno del processo produttivo:

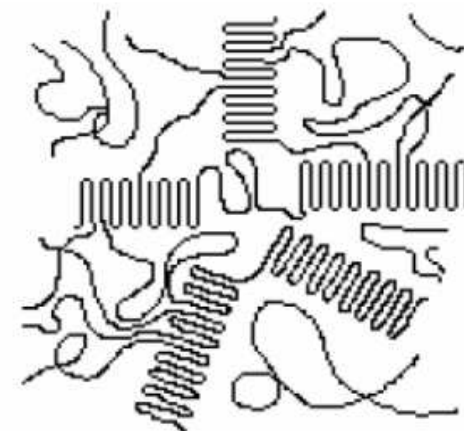
- Fase di iniezione
- Fase di raffreddamento:
 - cooling design
 - scambi termici
 - tempo di raffreddamento
 - influenza del numero di Reynolds

Un polimero è una macromolecola, ovvero una molecola dall'elevato peso molecolare, costituita dalla ripetizione di unità elementari (monomeri) uguali o diversi, uniti "a catena" mediante la ripetizione dello stesso tipo di legame (covalente).

- termoplastici
- termoindurenti

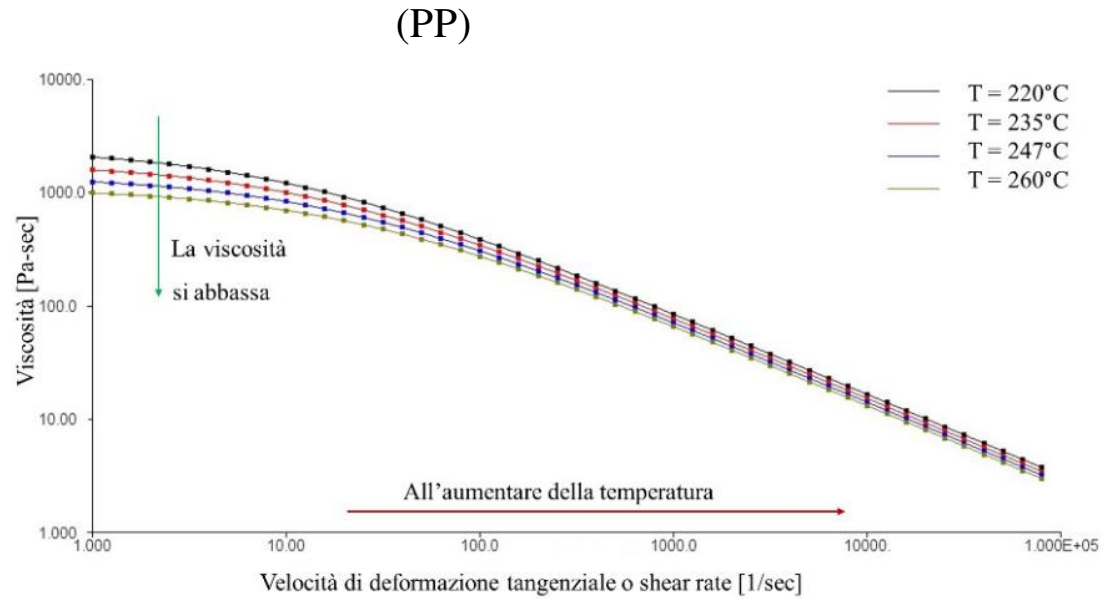
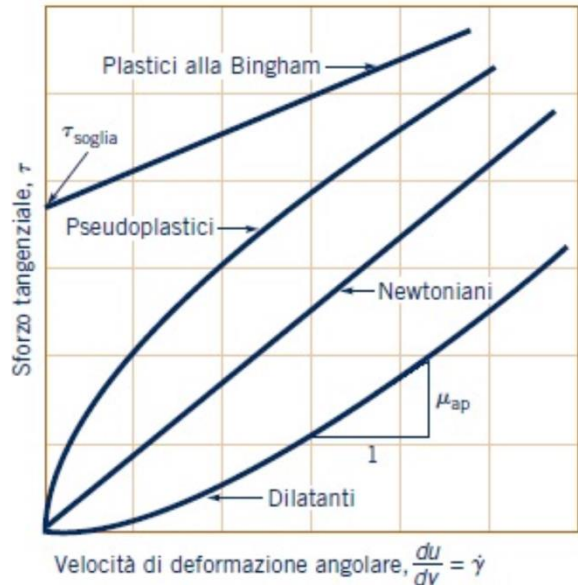


- **amorfi:** polistirene (PS), il policarbonato (PC), e il polimetilmetacrilato (PMMA)
- **semicristallini:** polietilene (PE), il polipropilene (PP), e il nylon (PA)



Dal punto di vista reologico, cioè analizzando come i liquidi rispondono alle sollecitazioni esterne, come ad esempio le forze di taglio, si può dire che i polimeri fusi sono fluidi non Newtoniani, in particolare Pseudoplastici.

$$\mu = \mu(\dot{\gamma}, T, p) \quad \tau = K\dot{\gamma}^n \quad (1) \quad n < 1$$

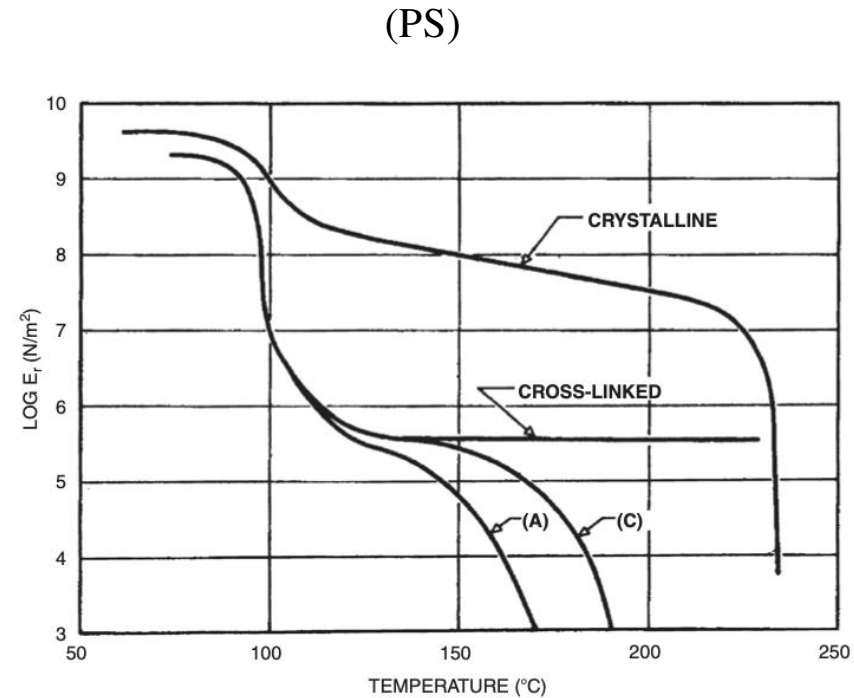
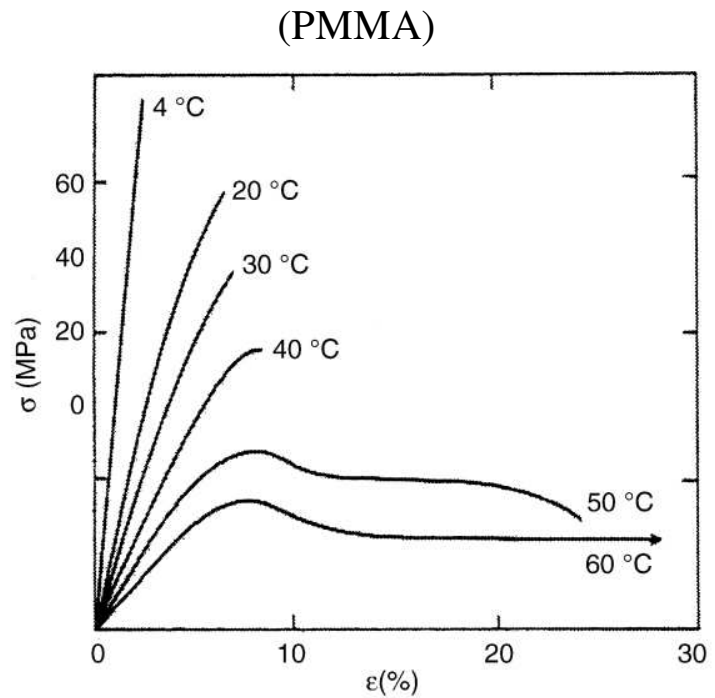


→ Shear Thinning

In base alla morfologia del polimero si hanno diverse risposte del materiale se sottoposto a diversi stati di temperatura, in particolare il Modulo di Young varia con quest'ultima.

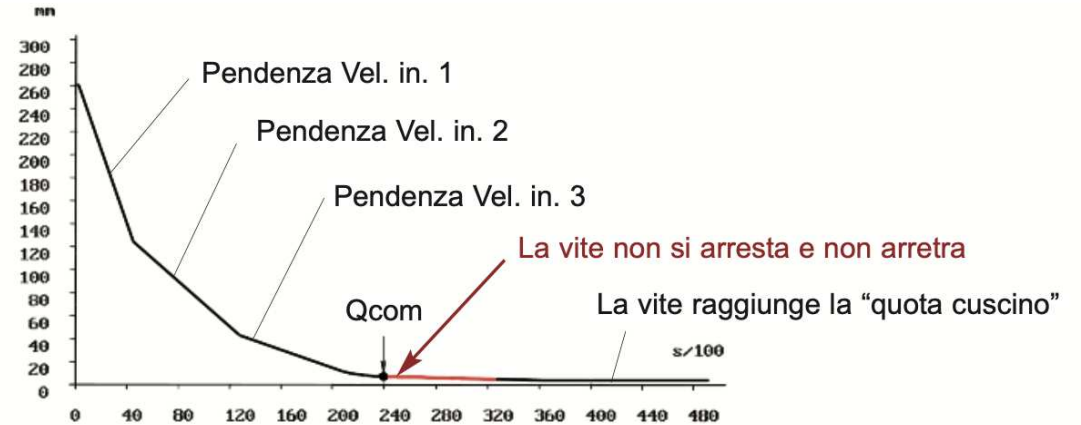
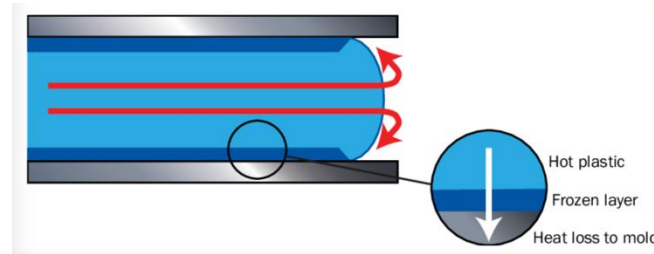
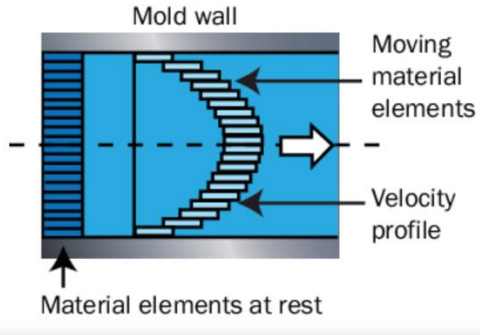
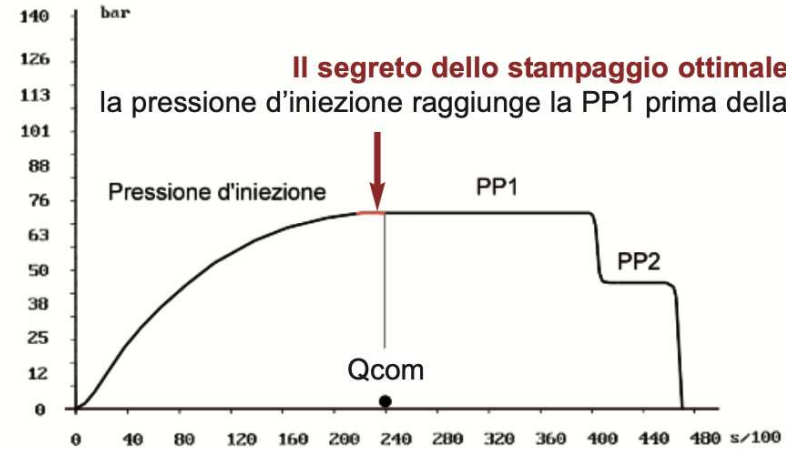
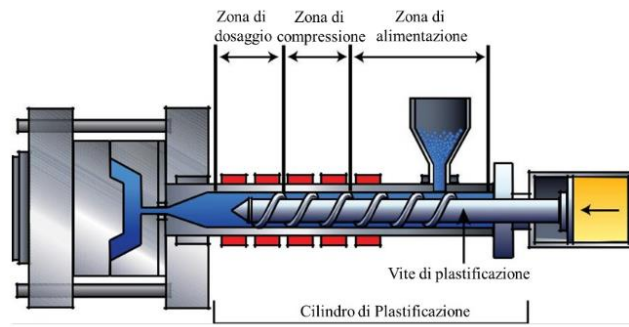
Sono presenti due grandezze fisiche di notevole importanza:

- Temperatura di transizione vetrosa (T_g)
- Temperatura di fusione (T_m)

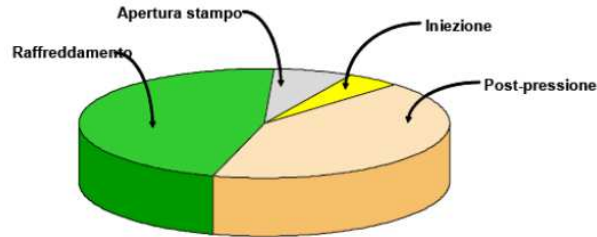


Il polimero allo stato fuso scorre dalla zona di iniezione verso le cavità dello stampo, la parte a contatto con quest'ultimo solidifica istantaneamente creando una guaina sottile. Durante la fase di iniezione le catene polimeriche sono sottoposte a sollecitazioni e deformazioni, allineandosi nella direzione della deformazione. Si raggiunge così uno stato di non equilibrio.

www.dii.unipd.it



La fase di raffreddamento può essere considerata la fase principale del processo, infatti occupa circa più della metà di quest'ultimo. Un design efficiente del circuito di raffreddamento riduce il tempo di cooling, il che a sua volta aumenta la produttività complessiva. Inoltre il raffreddamento uniforme migliora la qualità, riducendo le sollecitazioni residue e le deformazioni.

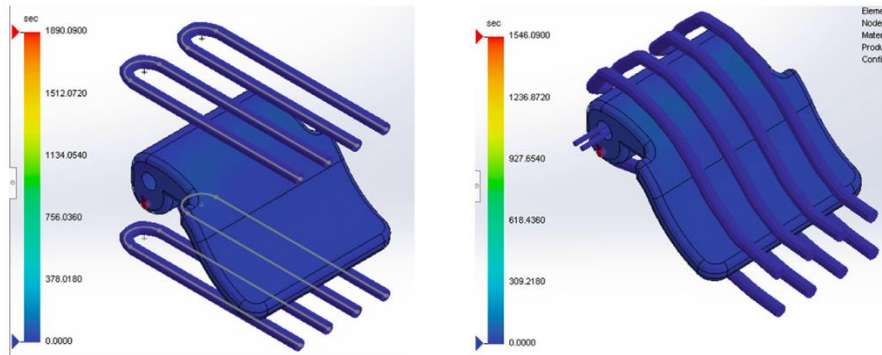


Traditional cooling design:

- costruzione di geometrie semplici

Conformal cooling design:

- raffreddamento in modo più uniforme ed efficace
- eliminazione degli hot-spot (punti caldi difficili da raggiungere convenzionalmente)
- riduzione del tempo ciclo anche del 50-75 % per design ottimizzati



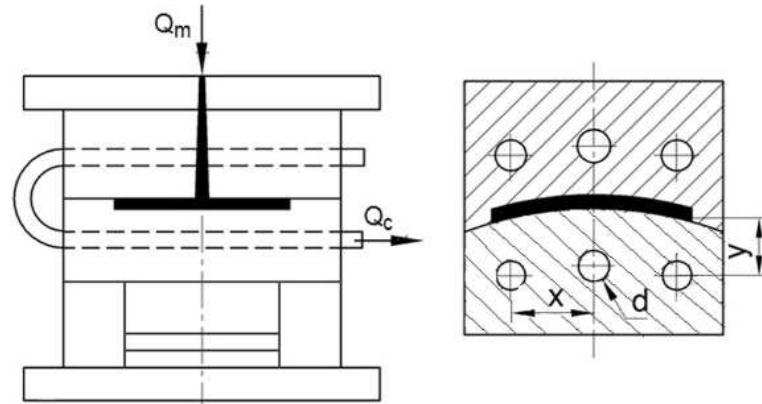
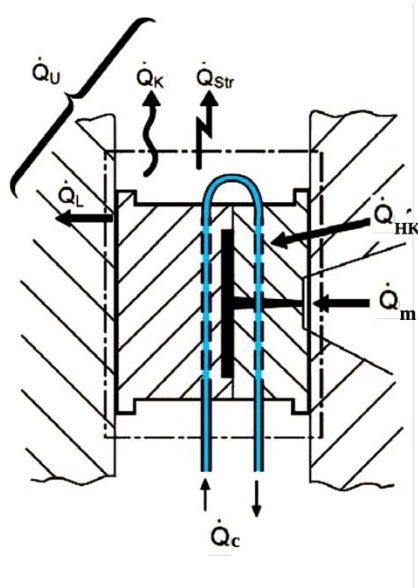
$$\dot{Q}_m + \dot{Q}_{HK} - \dot{Q}_K - \dot{Q}_{Str} - \dot{Q}_L - \dot{Q}_c = 0 \longrightarrow \dot{Q}_m = \dot{Q}_c \quad (2)$$

Scambio termico tra il polimero fuso, i mezzi tra esso e le pareti dei canali di raffreddamento e il fluido.

$$\dot{Q}_m = \frac{m_p}{t_c} c_p (T_M - T_E)$$

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_c c_{pc} (T_{out} - T_{in})$$

$$\longrightarrow \dot{m}_c = \frac{m_p}{t_c} c_p (T_M - T_E) \frac{1}{c_{pc} (T_{out} - T_{in})} \quad (3)$$



Il flusso termico passa dal polimero fuso fino ai canali di raffreddamento per conduzione attraverso lo stampo e convezione a causa del liquido che scorre nei canali di raffreddamento.

$$\dot{Q}_{cond} = \frac{\lambda A_{cond}}{y'} (T_{WP} - T_{Wc}) \quad R_{cond} = \frac{1}{\lambda S_e dx} \quad (4)$$

$$\dot{Q}_{conv} = \alpha_{conv} A_{conv} (T_{Wc} - T_c) \quad R_{conv} = \frac{1}{\alpha_{conv} \pi D dx} \quad (5)$$

$$S_e = \frac{2\pi}{\ln\left[\frac{2x' \sinh\left(2\pi \frac{y}{x'}\right)}{\pi D}\right]} \quad (6)$$

$$\alpha_{conv} = Nu \frac{\lambda}{D_H}$$

Correlazione di Dittus-Boelter:

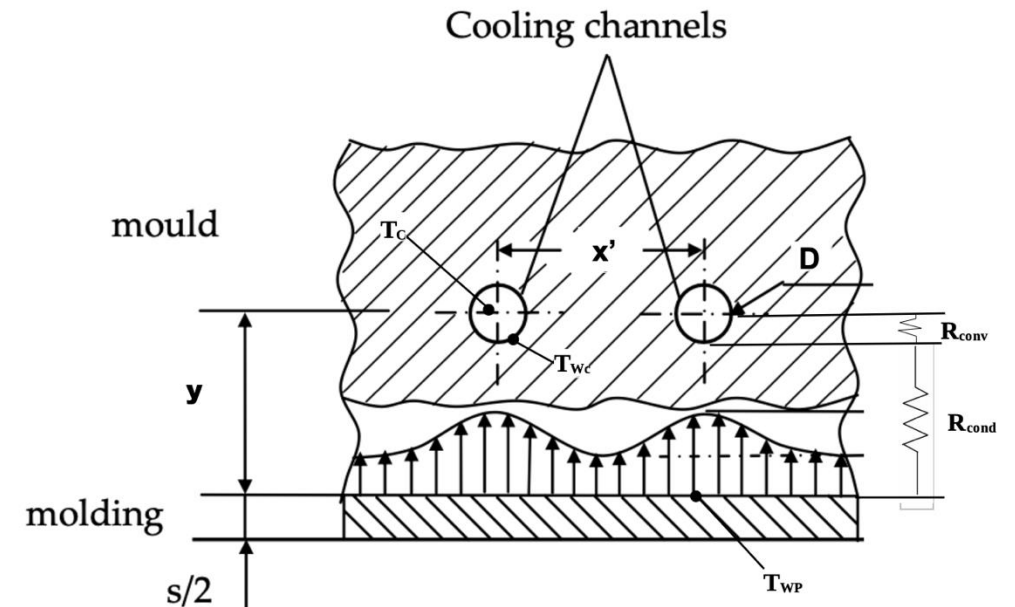
$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4}$$

$$\alpha_{conv} = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4} \frac{\lambda}{D_H} \quad (7)$$

$$y' = y - \frac{D}{2}$$

Quindi il flusso di calore per convezione e conduzione risulta pari a :

$$\dot{Q}_{cc} = dx \left(\frac{1}{\lambda S_e} + \frac{1}{\alpha_{conv} \pi D} \right)^{-1} (T_{WP} - T_c) \quad (8)$$



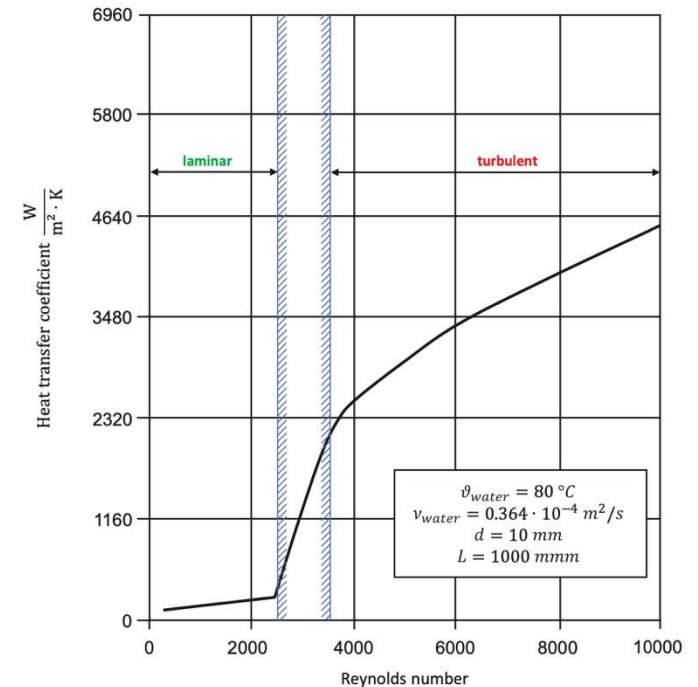
Il tempo di raffreddamento è uno dei parametri cruciali nella progettazione dello stampaggio a iniezione, non solo in termini di qualità del pezzo, ma anche sotto l'aspetto energetico e tempistico dell'intero processo.

$$t_{cool} = \frac{s^2}{\pi^2 \alpha} \ln\left(\frac{4(T_{inj} - T_{mold})}{\pi(T_{estr} - T_{mold})}\right) \quad (9)$$

$$Q_m = \rho \frac{s}{2} x' c_p (T_M - T_E) dx \quad Q_{cc} = dx \left(\frac{1}{\lambda S_e} + \frac{1}{\alpha_{conv} \pi D} \right)^{-1} (T_{WP} - T_c) t_c \quad \xrightarrow{\text{per il bilancio termico}} \quad t_c = \frac{[c_p T_M - T_E] \rho \frac{s}{2} x'}{T_{WP} - T_c} \left(\frac{1}{\lambda S_e} + \frac{1}{\alpha_{conv} \pi D} \right) \quad (10)$$

Si raggiunge la massima efficienza di raffreddamento quando il fluido ha un moto di tipo turbolento, cioè quando si hanno valori del numero di Reynolds oltre i 4000.

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad Re > 4000 \longrightarrow D_{max} < \frac{\rho Q_c}{\mu \pi 1000} \quad (11)$$



Vantaggi:

- precisione
- automazione
- produzione di massa
- ampia gamma di materiali
- post elaborazione ridotta

Svantaggi:

- investimento iniziale
- limiti dimensionali
- limiti di progettazione

- In questo documento sono state esaminate le caratteristiche del processo di stampaggio a iniezione nell'ambito industriale.
- Oggi lo stampaggio a iniezione domina diversi settori grazie alla sua efficienza nella produzione su larga scala di componenti complessi e di alta qualità. In conclusione si può dire che un processo industriale come questo, come tanti altri, si compone di fasi cruciali e indispensabili per garantire al consumatore un prodotto di qualità e conforme alle richieste fatte.

GRAZIE PER LA VOSTRA ATTENZIONE