

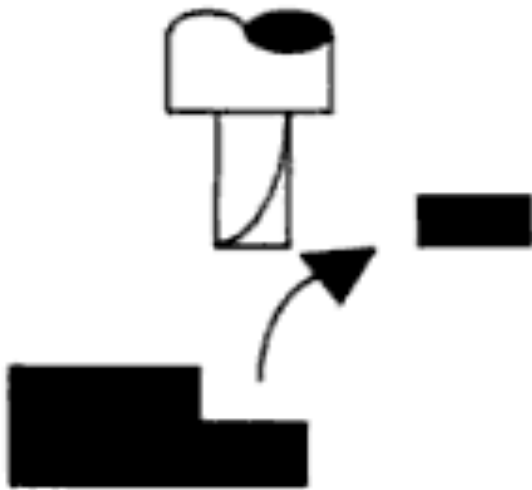
**Laboratorio di
tecnologie biomediche**

Injection molding
e compression molding

carmelo.demaria@unipi.it

Breve richiamo

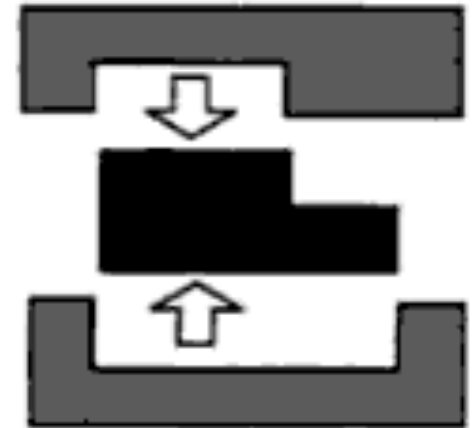
- Costruire oggetti 3D



Subtractive



Additive



Formative

Processi tecnologici

- Comprendono tutta una serie di operazioni che consentono di trasformare il materiale nel manufatto finito (Processi di tecnologici di trasformazione)
- La scelta di un tipo di processo dipende:
 - Dal materiale da utilizzare nella lavorazione (plastica, metallo, ceramico)
 - Dalla forma e dimensioni del manufatto da realizzare (estrusione, iniezione)
 - Dal costo (tecnologie più precise sono in genere meno economiche)
 - Dai volumi di produzione

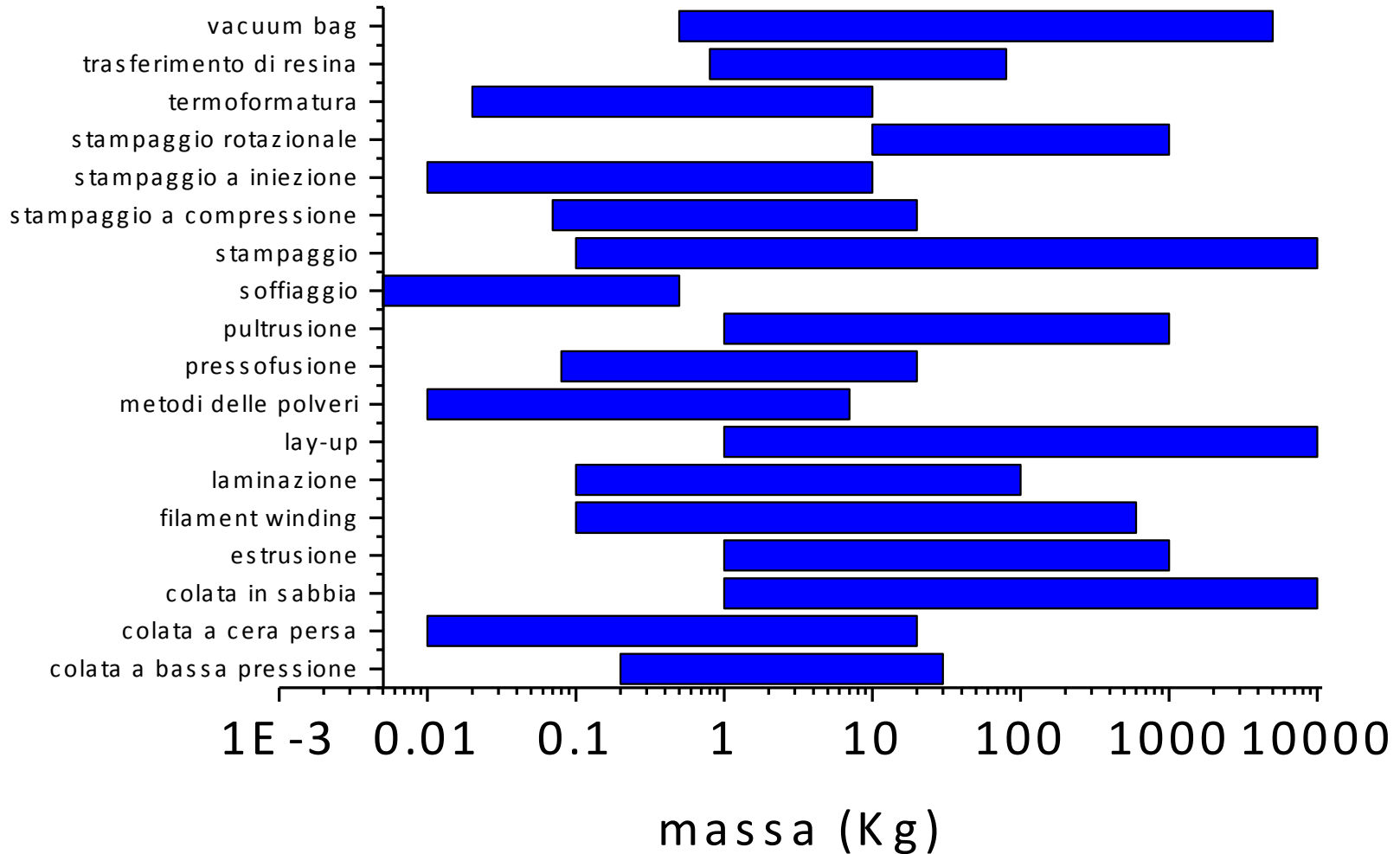
- Processi per tipo di materiale (produzione per formatura)

	metallo	ceramico	vetro	Polimeri termoplastici	Polimeri termoindurenti	Compositi
Colata in sabbia	•					
Pressofusione	•					
Colata a cera persa	•					
Colata a bassa pressione	•					
Stampaggio	•					
Estrusione	•					
Laminazione	•					
Metodi delle polveri		•				
Stampaggio ad iniezione		•	•	•	•	
Soffiaggio			•	•		
Stampaggio a compressione			•	•	•	
Stampaggio rotazionale				•	•	
Termoformatura				•	•	
Trasferimento di resina				•	•	
Filament winding						•
Layup						•
Vacuum bag						•
pultrusione						•

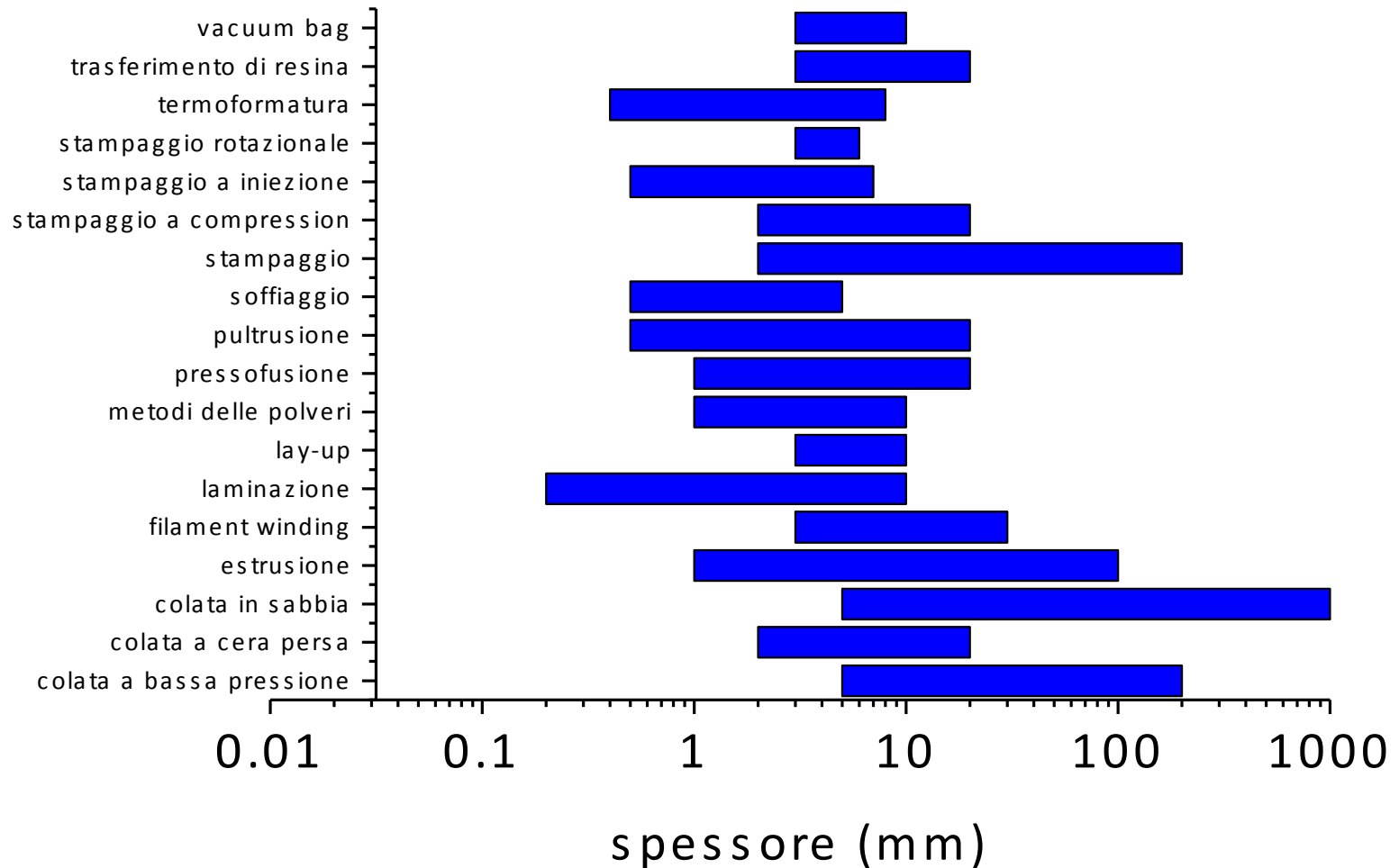
- Processi per forma del pezzo (produzione per formatura)

	Prismatiche circolari	Prismatiche non circolari	Lastre piane	Lastre curve	3-D piene	3-D cave
Colata in sabbia	•	•			•	•
Pressofusione	•	•			•	•
Colata a cera persa	•	•			•	•
Colata a bassa pressione	•	•			•	•
Stampaggio	•	•				
Estrusione	•	•				
Laminazione	•	•	•	•		
Metodi delle polveri	•	•			•	•
Stampaggio ad iniezione	•	•			•	•
Soffiaggio				•		•
Stampaggio a compressione			•	•	•	
Stampaggio rotazionale				•		•
Termoformatura				•		
Trasferimento di resina	•	•	•	•	•	•
Filament winding	•	•		•		•
Layup			•	•		
Vacuum bag			•	•		
pultrusione	•	•				

Processi per massa del prodotto



Processi per spessore del pezzo



Altri fattori

- Altri fattori giocano un ruolo chiave nella scelta dei processi:
 - Tolleranza dimensionale
 - Rugosità superficiale
 - Costi
 - produttività

Tecnologie di formatura

- Generalmente, un processo di produzione comprende:
 - un riscaldamento del materiale
 - l'applicazione di una forza o una pressione
- La pressione viene in genere applicata quando il materiale si trova allo stato fluido (per consentire la formatura con pressioni abbastanza ridotte)
- Da questo punto di vista si possono individuare due macro-classi di materiali:
 - “Termoplastici”: acquisiscono fluidità se riscaldati e proprietà meccaniche quando vengono raffreddati. Il processo di acquisizione fluidità- proprietà meccaniche è reversibile (metalli, polimeri termoplastici, vetri)
 - “Termoindurenti”: inizialmente sono fluidi a temperatura ambiente. Dopo un certo intervallo di tempo (ridotto se si aumenta la temperatura) il materiale indurisce. Il processo di indurimento è irreversibile (polimeri termoindurenti, cementi, ceramici)

Stampaggio di materiale plastico

Classificazione Plastiche

```
graph TD; A[Classificazione Plastiche] --> B[Termoindurenti]; A --> C[Termoplastiche]; A --> D[Elastomeri];
```

Termoindurenti

Termoplastiche

Elastomeri

Principali lavorazioni

POLIMERI TERMOINDURENTI

Possono essere formati una sola volta, perché, se sottoposti al calore una seconda volta, carbonizzano.

Resine fenoliche: Le caratteristiche dipendono dai materiali con cui sono mescolate. Usi: Settore casalingo, mobili per televisori.

Resine ureiche: Dure e colorate. Hanno buone proprietà meccaniche e sono facilmente lavorabili. Usi: Spine, prese, elettrodomestici, interruttori.

Resine melamminiche: Buona resistenza alle alte temperature e all'umidità. Usi: Laminati, settore casalingo, arredamenti, vernici.

Resine epossidiche: Eccellente adesività, resistenza al calore e chimica. Inoltre possiedono buone proprietà meccaniche e sono ottimi isolanti elettrici. Usi: Vernici, rivestimenti, adesivi e materiali compositi.

Resine poliesteri insature: Sono leggere, facilmente lavorabili e resistenti agli agenti atmosferici. Usi: Piscine, coperture per tetti.

POLIMERI TERMOPLASTICI

Sono essenzialmente costituiti da polimeri lineari che per riscaldamenti rammolliscono e fluidificano. In questa forma possono essere lavorati con diverse tecniche quali lo stampaggio a iniezione o estrusione assumendo una forma che rimane stabile dopo il raffreddamento.

Il processo è reversibile e quindi permette ai polimeri di essere riciclati.

Vi appartengono i più comuni e usati polimeri come : Polietilene PET, Polipropilene PP , PVC , Polistirolo PS , Poliammidi (nylon)

Polietilene

PET (Polietilene Tereftalato): Consente di ottenere fogli sottili e leggeri.
Resistente fino 250°C ed impermeabile ai gas.

Usi: Contenitori per liquidi, vaschette per frigo e forno.

HDPE (Polietilene ad alta densità): È resistente agli urti.

Usi: Cosmetici, contenitori per detersivi, tubi per l'acqua

LDPE (Polietilene a bassa densità): Impermeabile ai gas e flessibile.

Usi: Sacchetti, imballaggi, pellicole per alimenti

Polistirene

PS (Polistirene o, meno comunemente, polistirolo): Duro e rigido.

Usi: Scotch per le auto, giocattoli, oggetti d'arredamento.

Polistirene espanso: Resina polistirenica a forma schiumosa; ha bassissimo peso specifico e conducibilità termica; buona elasticità.

Usi: Imballaggi, isolamento termico ed elettrico dei muri

Altri polimeri termoplastici

PVC (Polivinilcloruro o cloruro di polivinile): È la plastica più utilizzata. Ha buone proprietà Meccaniche. Usi: Finestre, serramenti esterni, giocattoli, bottiglie, contenitori, grondaie.

PP (Polipropilene): È la plastica più leggera. Resiste al calore ed agli agenti chimici. Ha un buon isolamento elettrico.

Usi: Nel settore casalingo, parti di elettrodomestici, imballaggi.

PA - Poliammide (Nylon): Una fra le prime plastiche scoperte. Resistente all'usura e non infiammabile

Usi: Ingranaggi, apparecchi radiotelevisivi, abbigliamento.

Resine acriliche: Simili al vetro perché sono trasparenti.

Usi: Fusori delle lampade, coperture trasparenti, oggetti d'arredamento.

Celluloide: La prima plastica in assoluto ad essere scoperta. Simile alla madreperla

Usi: Pettini, tasti, oggetti che imitano l'avorio.

ELASTOMERI

Le gomme naturali, secondo la normativa UNI 7703, si ottengono coagulando il lattice ricavato da piante tropicali (in particolare *Hevea brasiliensis*) e raccolte tramite incisione del tronco della pianta.

Hanno ottime caratteristiche meccaniche, ma scarsa resistenza agli agenti atmosferici, alla temperatura ed a molti composti chimici.

Le gomme sintetiche vengono prodotte a partire da semplici idrocarburi generando tramite polimerizzazione lattici artificiali successivamente coagulati, sono attualmente disponibili molti elastomeri artificiali, aventi caratteristiche meccaniche e di resistenza chimica assai diversificate.

Polimeri dell' isoprene (gomma naturale o caucciù)

Il lattice estratto dalle piante viene coagulato con fumi di legni resinosi per ottenere la “para”, oppure con aggiunta di acido acetico o acido formico e successivamente essiccate a caldo per ottenere il “crèpe”.

La gomma essiccata si ricava per diluizione del lattice al 15% e acidificazione con acido formico con conseguente coagulazione e precipitazione sul fondo; un successivo passaggio attraverso una calandra a cilindri rotanti le impartisce la forma di fogli lisci o crespati. Il prodotto è poi inviato all' essiccamento in stufe in presenza di fumo di legna.

Negli ultimi tempi la gomma è stata immessa sul mercato anche sotto forma di balle ricavate per granulazione del coagulo, essiccamento e compressione in stampi.

Gomme siliconiche

Hanno natura diversa da quella di tutti gli altri elastomeri, in quanto, le loro molecole non sono catene di atomi di carbonio, ma di silicio e ossigeno alternati, cui si collegano gruppi laterali alchilici.

La principale caratteristica è l'estrema resistenza alle temperature, infatti non si alterano fino a 250°C e mantengono l'elasticità fino a -150°C. Inoltre resistono ottimamente all'ossigeno e all'ozono anche a caldo.

Le caratteristiche meccaniche sono limitate, la resistenza agli idrocarburi clorurati e ai solventi ossigenati è bassa.

La presenza di nerofumo causerebbe lo sviluppo di gas ad alta temperatura e favorirebbe la combustione, pertanto vengono utilizzati solo rinforzanti e cariche minerali (silice, caolino, carbonato di calcio).

La vulcanizzazione si esegue spesso per irraggiamento con particelle ad alta energia.

Tecnologie a stampo aperto

- Prevedono l'uso di un unico stampo (maschio o femmina)
 - Solo una faccia del manufatto finale avrà una finitura superficiale controllata.
 - La maggior parte di queste tecnologie, essendo poco automatizzate, vengono utilizzate per produzioni di piccole serie di parti voluminose.
 - In tutte le tecnologie a stampo aperto il pericolo per la salute degli operatori è notevole, soprattutto quando la fase di polimerizzazione avviene negli ambienti di lavoro (stirolo).

Tecnologie a stampo aperto

- Formatura a mano
- Formatura per contatto e spruzzo
- Stampaggio in sacco
- Filament winding

Tecnologie a stampo chiuso

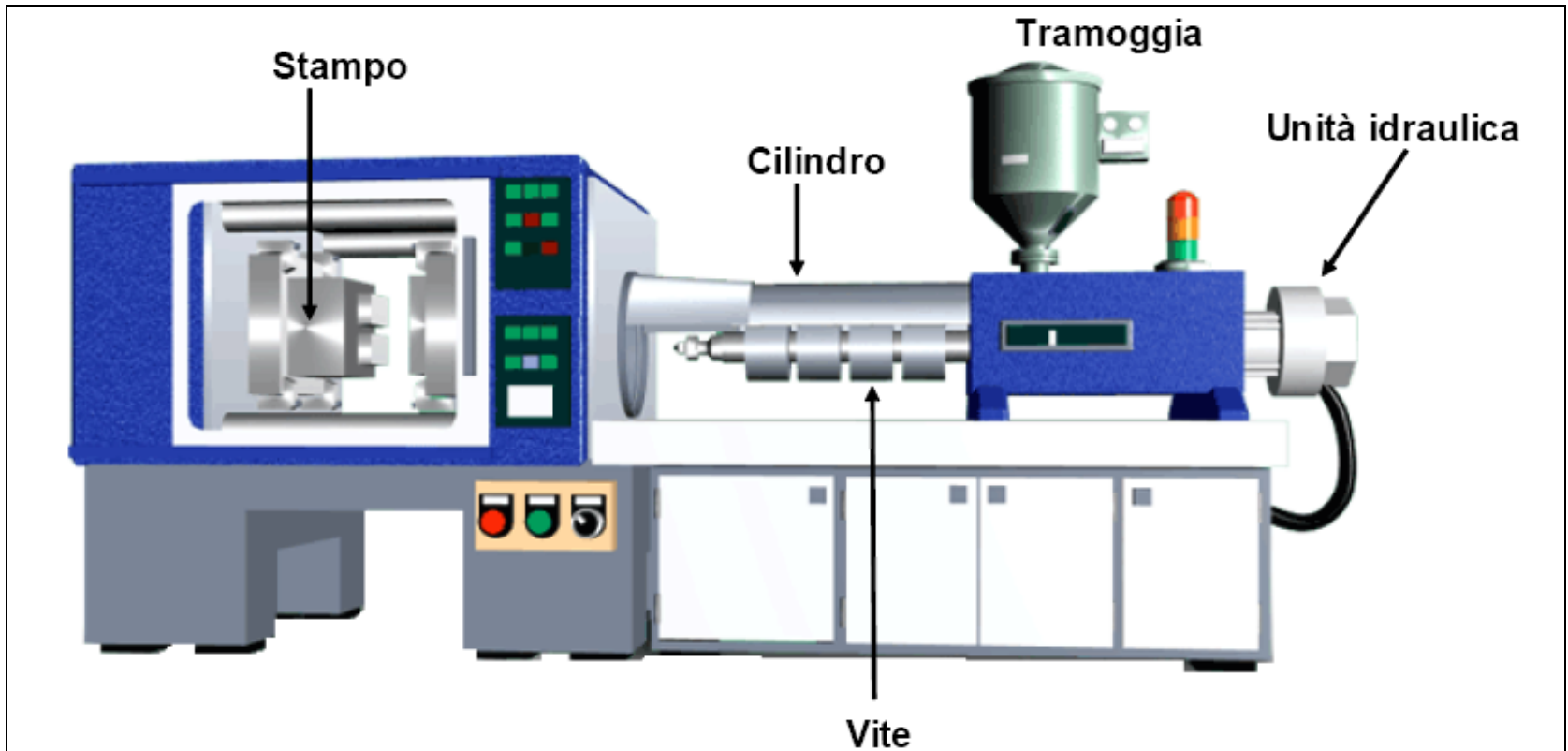
- La formatura avviene tra stampo e controstampo.
 - La polimerizzazione della resina avviene mentre il materiale è contenuto tra due superfici: stampo e controstampo.
 - Consente di avere il controllo della qualità superficiale su tutto il prodotto.
 - Sebbene il costo di impianto risulti molto elevato, esso è ben giustificato per
 - produzioni in serie consentendo:
 - una standardizzazione della produzione
 - una riduzione molto drastica dei tempi di produzione,
 - un intervento limitato da parte dell'operatore.
- Gli elevati costi d'impianto sono legati soprattutto agli stampi, solitamente plastici o metallici, i quali:
 - devono essere progettati con particolare cura, soprattutto se le pressioni in gioco sono molto elevate
 - devono resistere all'abrasione dovuta ai ripetuti cicli di lavoro

Injection molding

Credits: tecnologia dei beni strumentali – Roma 3

STAMPAGGIO PER INIEZIONE

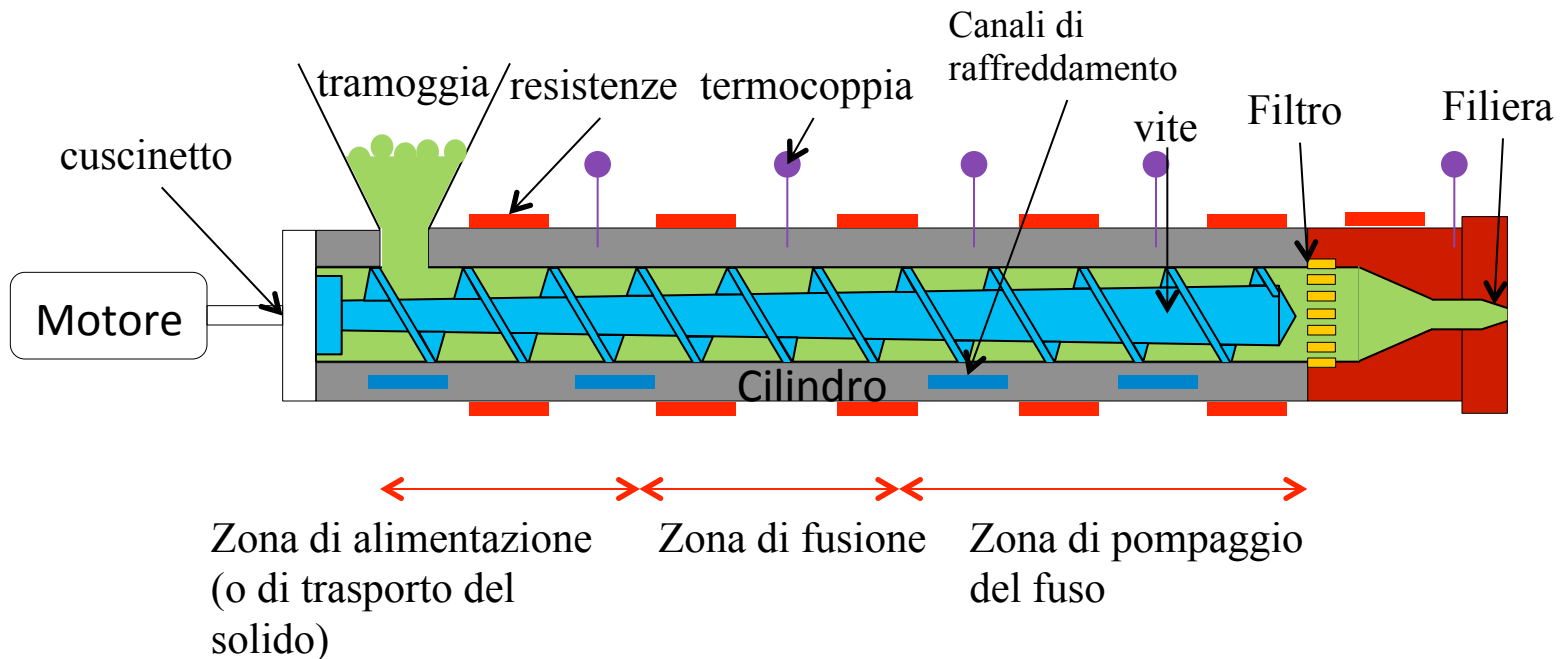
Spampaggio a iniezione



Processo di estrusione

- Materiale polimerico in forma di polveri o pellets viene alimentato nel gap tra vite rotante e cilindro riscaldato.
- Il materiale viene trasportato in avanti, miscelato, fuso, e quindi espulso (pompato) attraverso una filiera

Processo di estrusione



- Tre zone

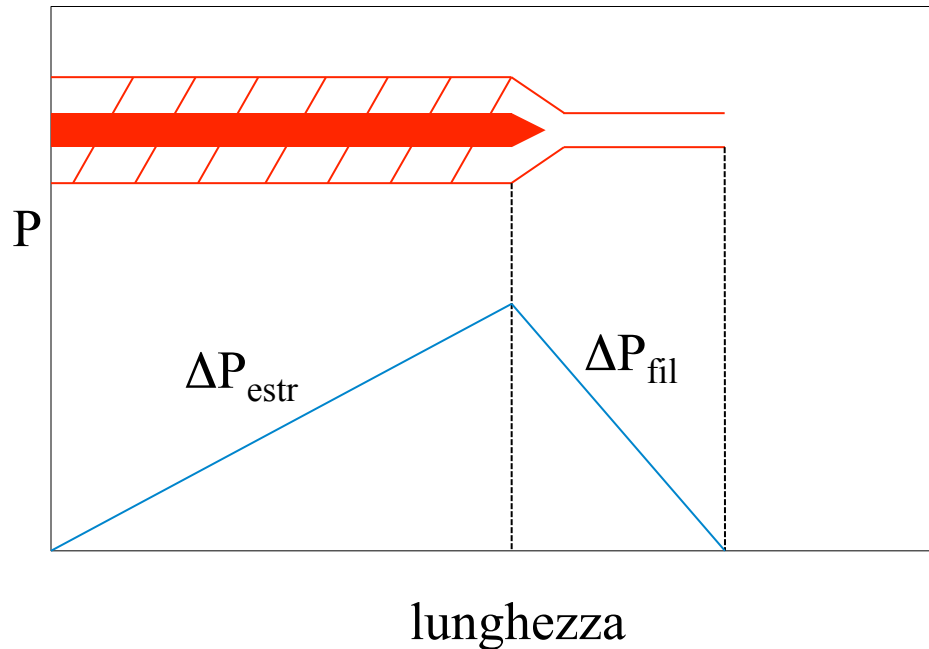
- Trasporto del solido o alimentazione (4D-8D) (pre-riscaldamento del polimero)
- Fusione o compressione (6D) (eliminazione di aria intrappolata)
- Pompaggio o espulsione del fuso (12D) (omogeneizzazione del fuso prima del die)

Parti principali di un estrusore

- Cilindro (in cui è presente la vite e si inserisce il polimero)
 - Costruito d'acciaio, per resistere ad alta pressione, viene riscaldato da resistenze elettriche, e/o raffreddato per rimuovere calore in eccesso prodotto dalle dissipazioni viscose
 - Viene spesso scanalato per aumentare l'aderenza del fuso ed il moto relativo tra fuso e vite
- Motore
 - Permette alla vite (senza fine) di ruotare ad una velocità prefissata.
- Filiera
 - Impartisce la forma desiderata all'estruso (fibre, nastri, film, ecc.)
- Parametri caratteristici
 - $D=2-20\text{cm}$ diametro interno del cilindro
 - $L/D=16:1-40:1$ rapporto lunghezza cilindro:diametro cilindro
 - Portata volumetrica $Q \approx D^{2.2}$

Principio di funzionamento

- E' necessario che vi sia un ΔP tra l'imbocco e l'uscita della filiera (>0) per permettere l'efflusso di materiale
- Nell'estrusore si deve avere un aumento di pressione \Rightarrow compressione

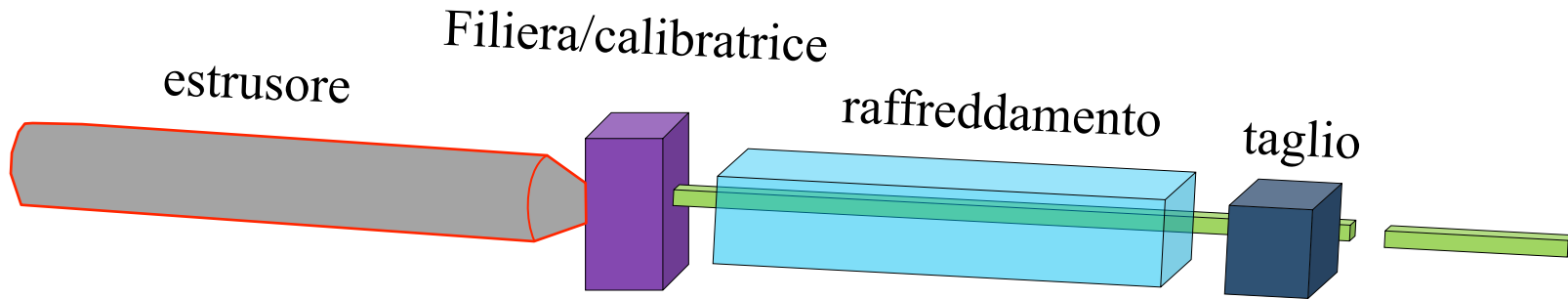


$$P_i + \Delta P_{estr} + \Delta P_{fil} - P_e = 0$$

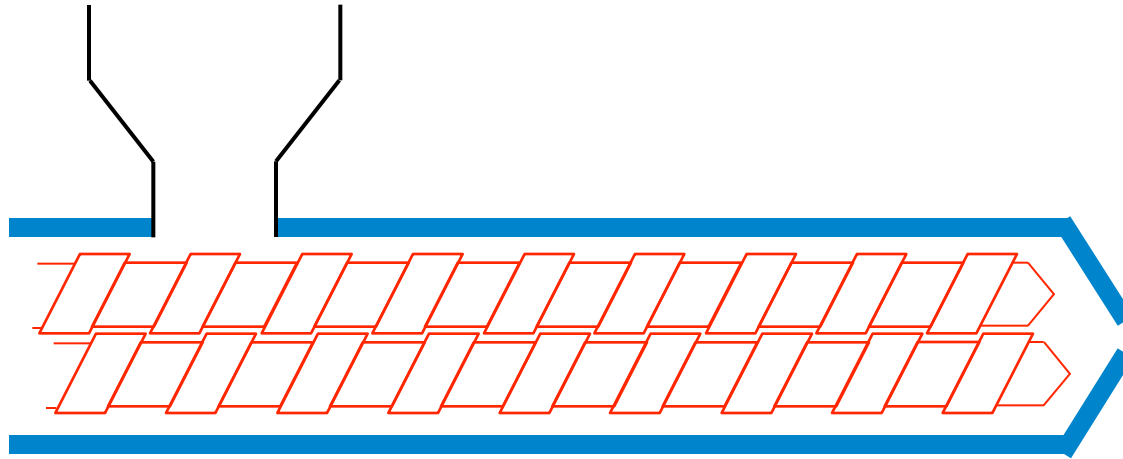
$$P_i = P_e = P_{atm}$$

$$\Delta P_{estr} = -\Delta P_{fil}$$

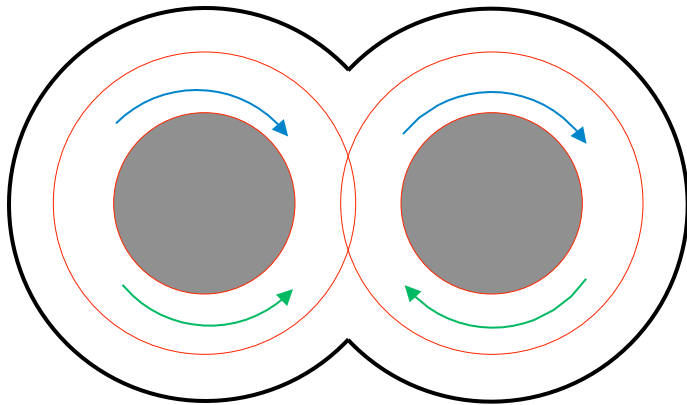
Estrusione di profili termoplastici



Estrusori bivate

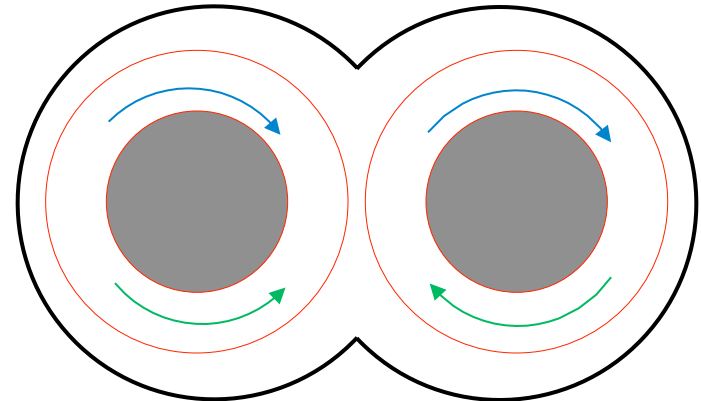


corotanti



controrotanti

corotanti

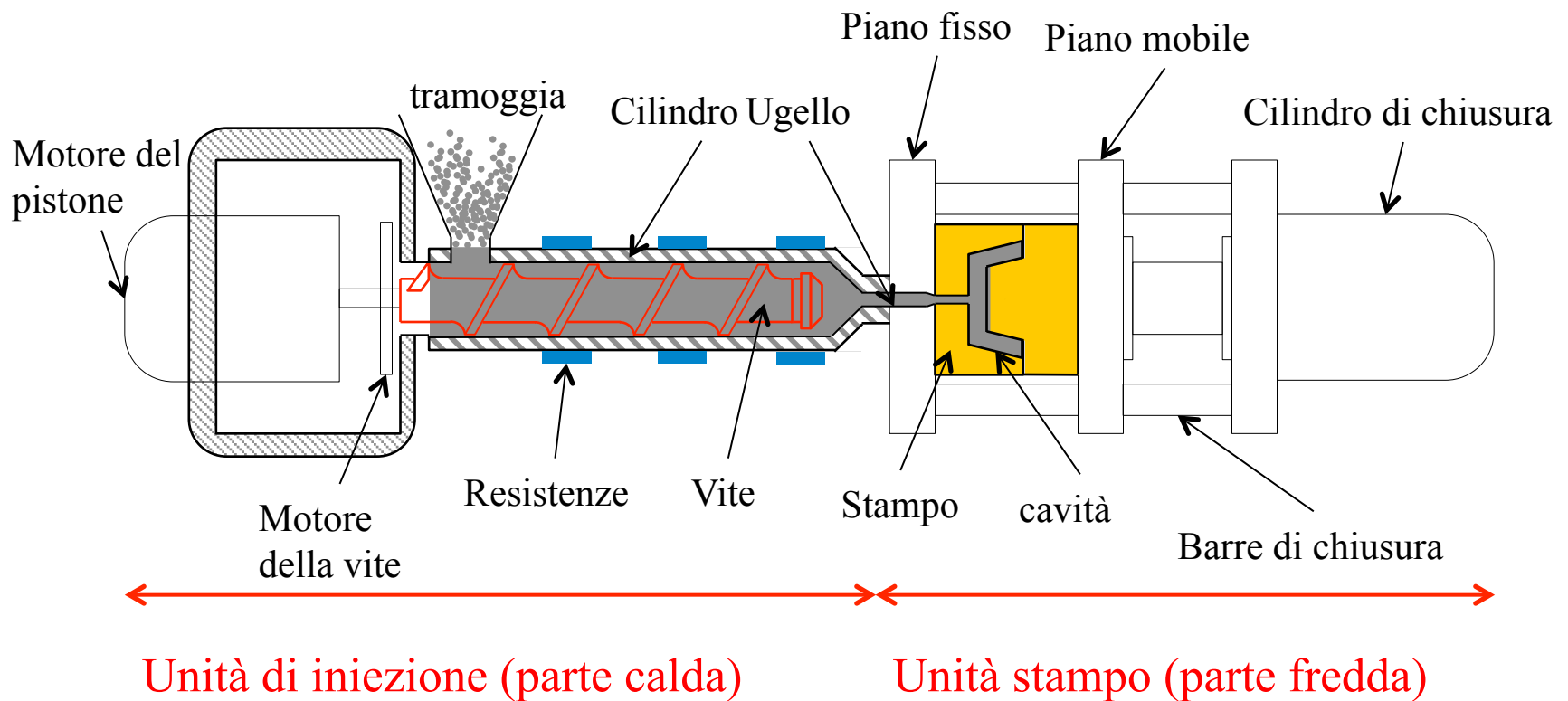


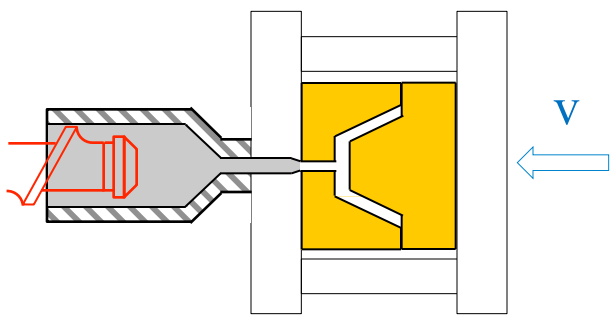
controrotanti

Stampaggio ad iniezione con estrusione

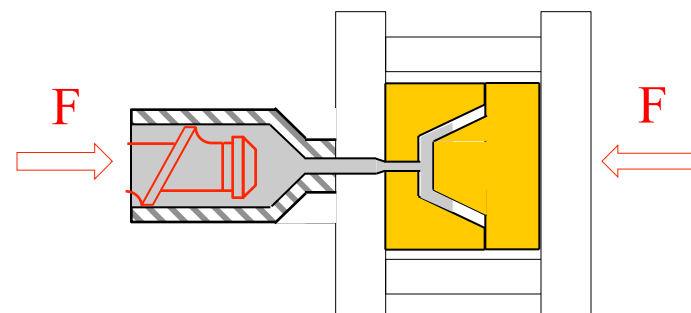
- L'utilizzo dell'estrusore permette di migliorare sia l'efficienza della fase di riscaldamento che la miscelazione
- La vite trasporta la massa fusa in testa all'estrusore.
- Per aumentare la pressione, la vite si muove assialmente forzando il materiale nello stampo
- Per estrarre il prodotto, la pressione deve essere annullata. Prime dell'estrazione, la vite si riporta indietro

Stampaggio ad iniezione con estrusione

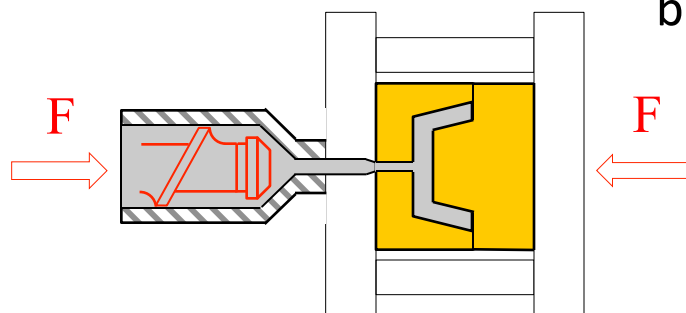




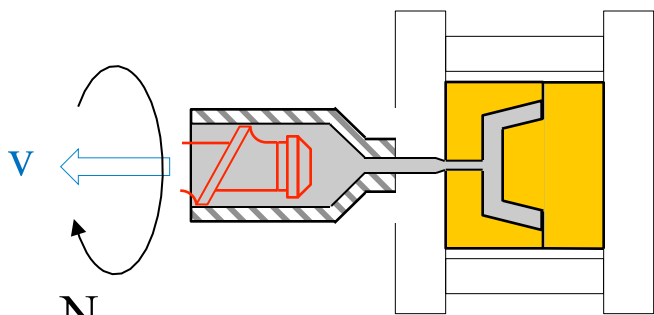
a) Chiusura stampo
Pistone a fondo corsa
sinistro



b) Iniezione materiale

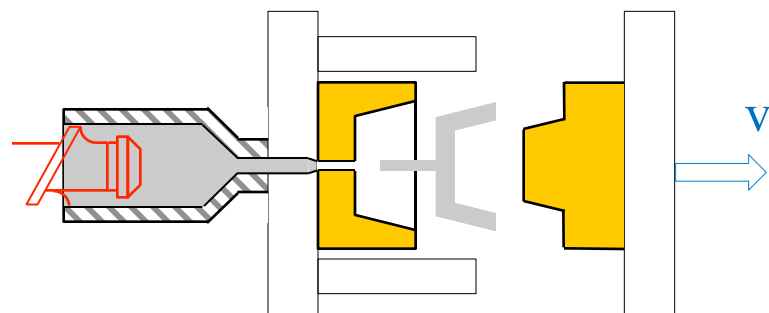


c) Mantenimento
Pistone a fondo corsa
destra



d) Alimentazione

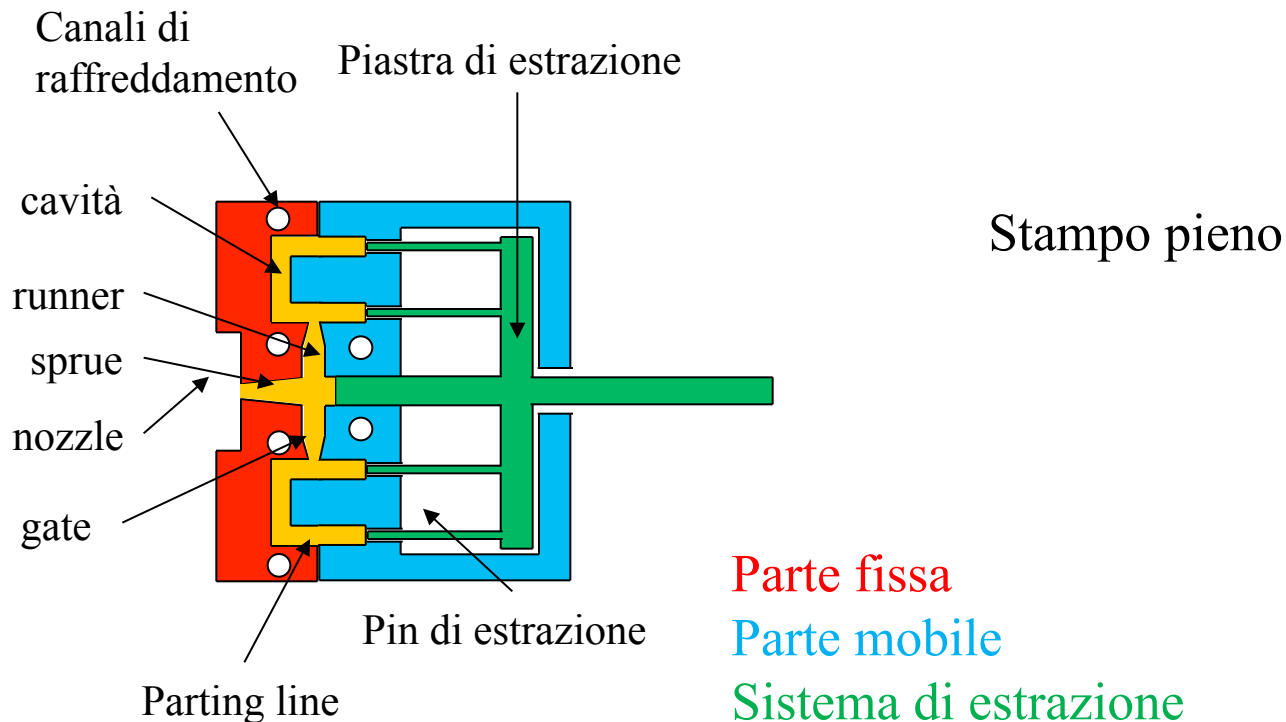
e) Solidificazione nello stampo



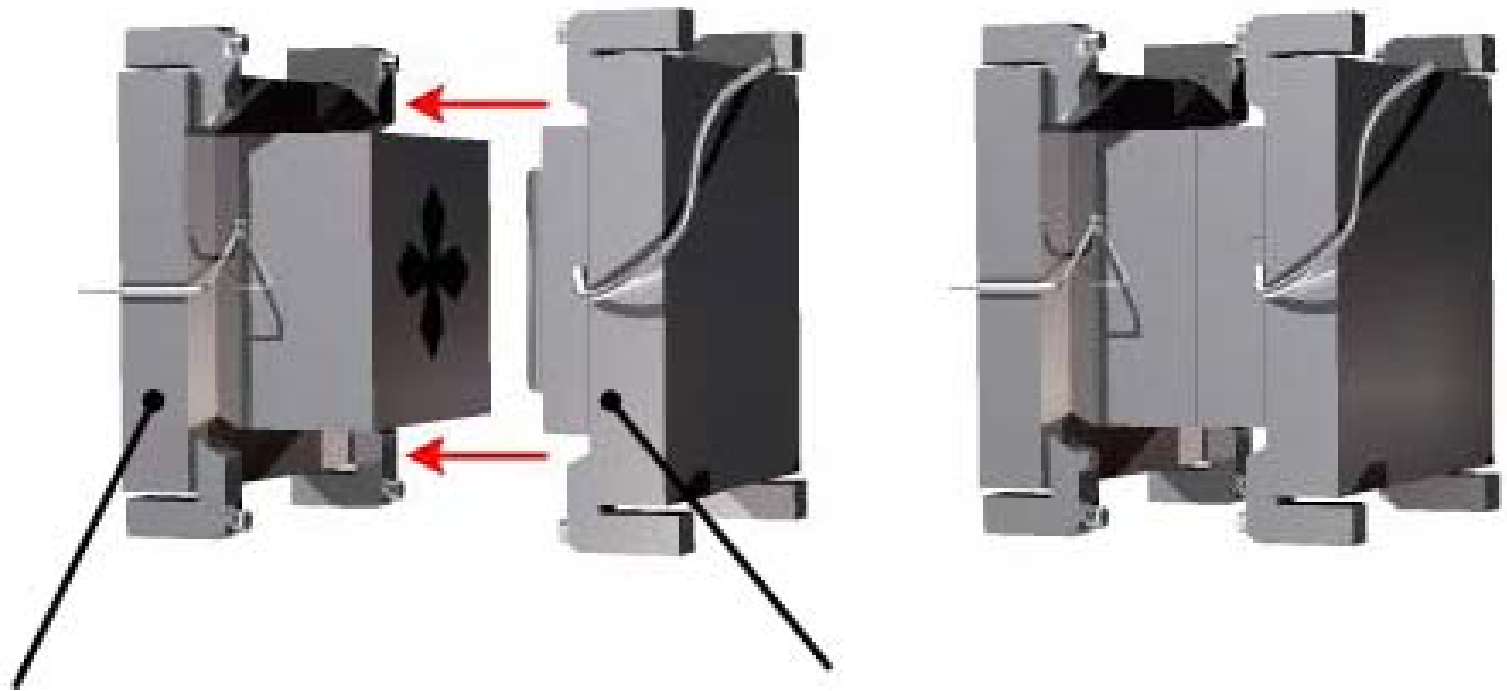
d) Estrazione

Lo stampo

- Unità di iniezione
- Sistemi di ammortaggio
 - Lo stampo è composto di due gusci
 - L'accoppiamento dei due gusci forma la cavità
la linea (piano) di separazione tra le due metà stampo è la parting line (PL)



Lo stampo



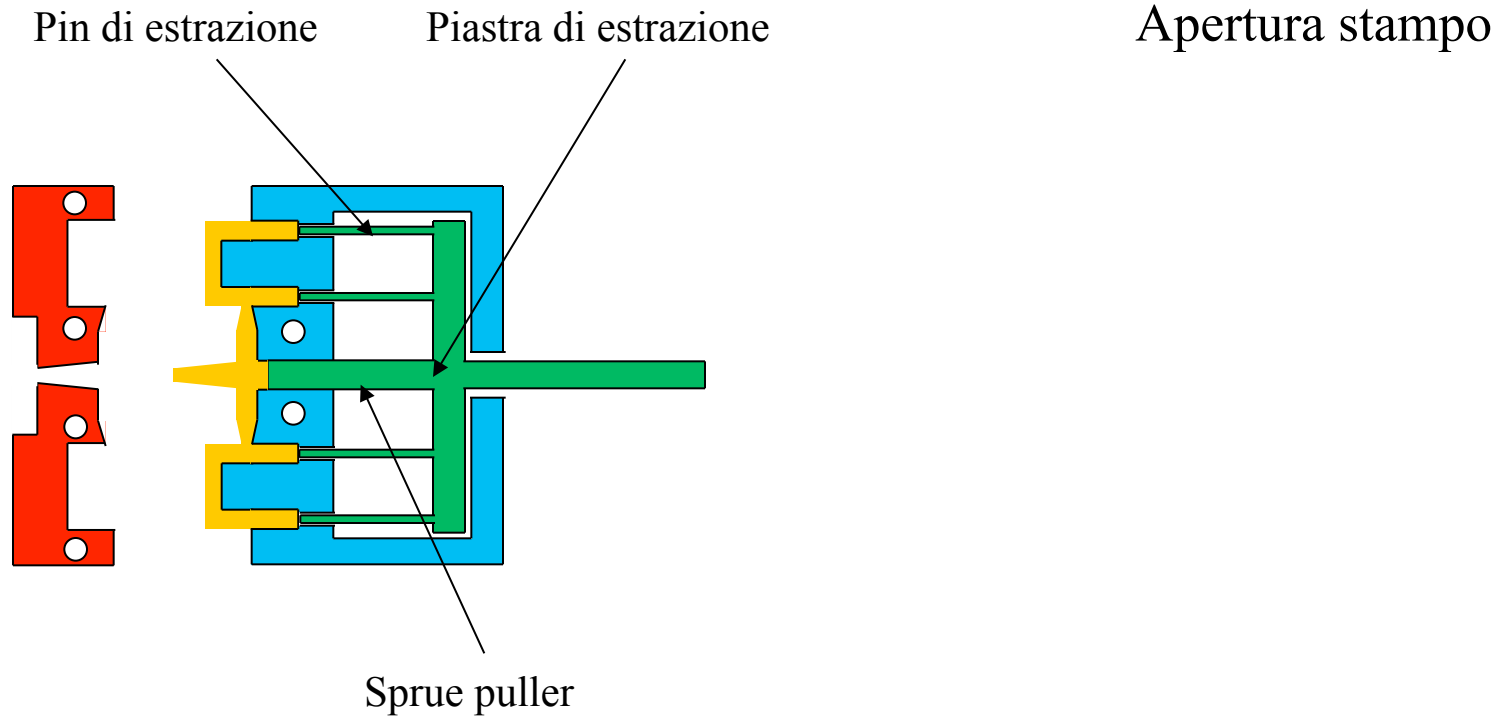
Piastra fissa

Piastra mobile

Lo stampo

- Lo stampo deve funzionare in maniera ottimale:
 - Non deve richiedere continui aggiustamenti dei parametri di processo
 - Non deve prevedere lunghi tempi di manutenzione
- Lo stampo è caratterizzato da:
 - Numero delle figure
 - Superfici di separazione
 - Tipo e posizione dei canali di alimentazione
 - Tipo e posizione dei punti di iniezioni
 - Tipo e posizione degli estrattori
 - Tipo e posizione dei dispositivi di sfianto
 - Finitura superficiale
 - Materiale
 - Processo di fabbricazione

Lo stampo



Parte fissa

Parte mobile

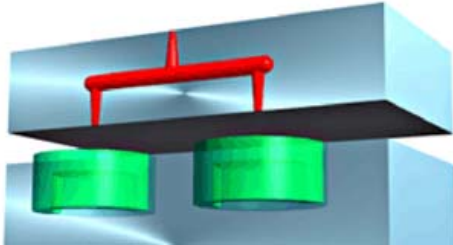
Sistema di estrazione

Lo stampo

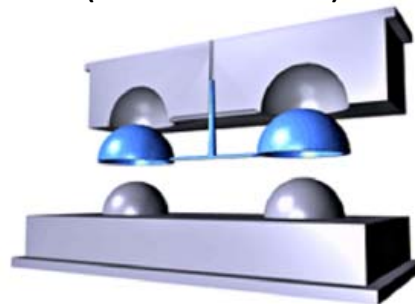
- Superfici di separazione

- Stampi a 2 piastre o a 3 piastre

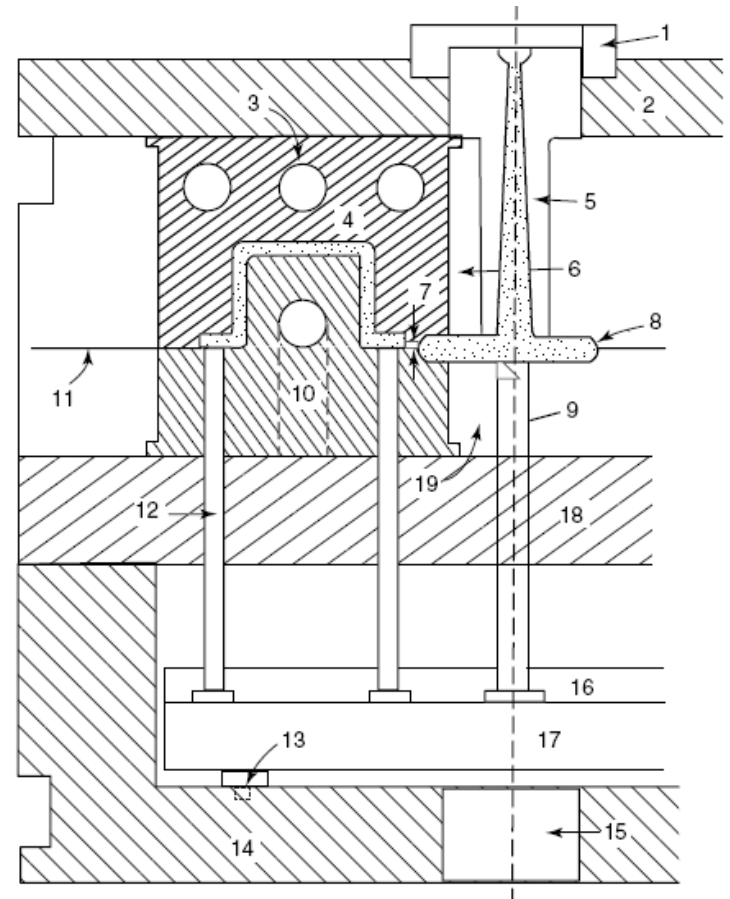
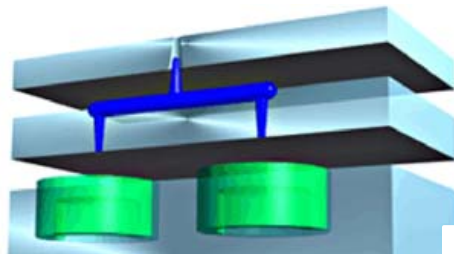
Two-Plate Molds
(Hot Runners)



Two-Plate Molds
(Cold Runners)



Three-Plate Molds



Lo stampo

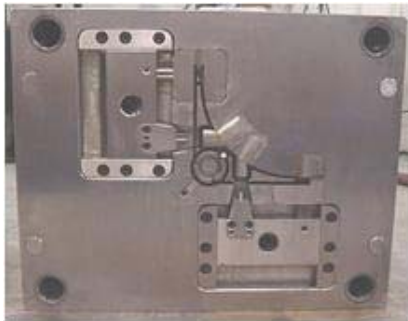
Le **figure** possono essere:

- **Integrali:**

- Ottenute per fresatura delle piastre dello stampo
- Migliore raffreddamento per la continuità del materiale

- **Riportate:**

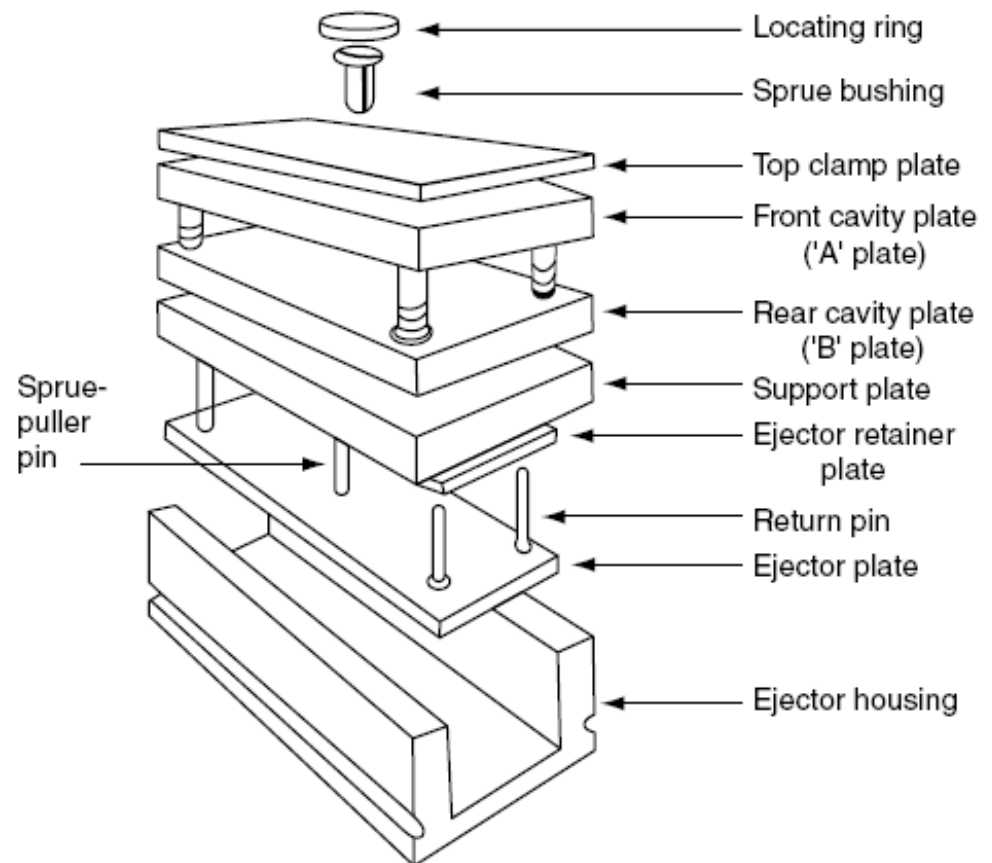
- Realizzate su tasselli inseriti in sedi ricavate nelle piastre
- Maggiore costo della lavorazione per la presenza di collegamenti di riferimento (spine) e di forza (viti)
- Abbattimento dei tempi di manutenzione nel caso di danneggiamento della figura



Lo stampo

Per garantire il perfetto accoppiamento dei semistampi:

- Colonne di guida della pressa
- Colonnine di guida (posizionate sul semistampo fisso, si impegnano in boccole su quello mobile)
- Tasselli a cuneo (agiscono a chiusura pressoché ultimata)

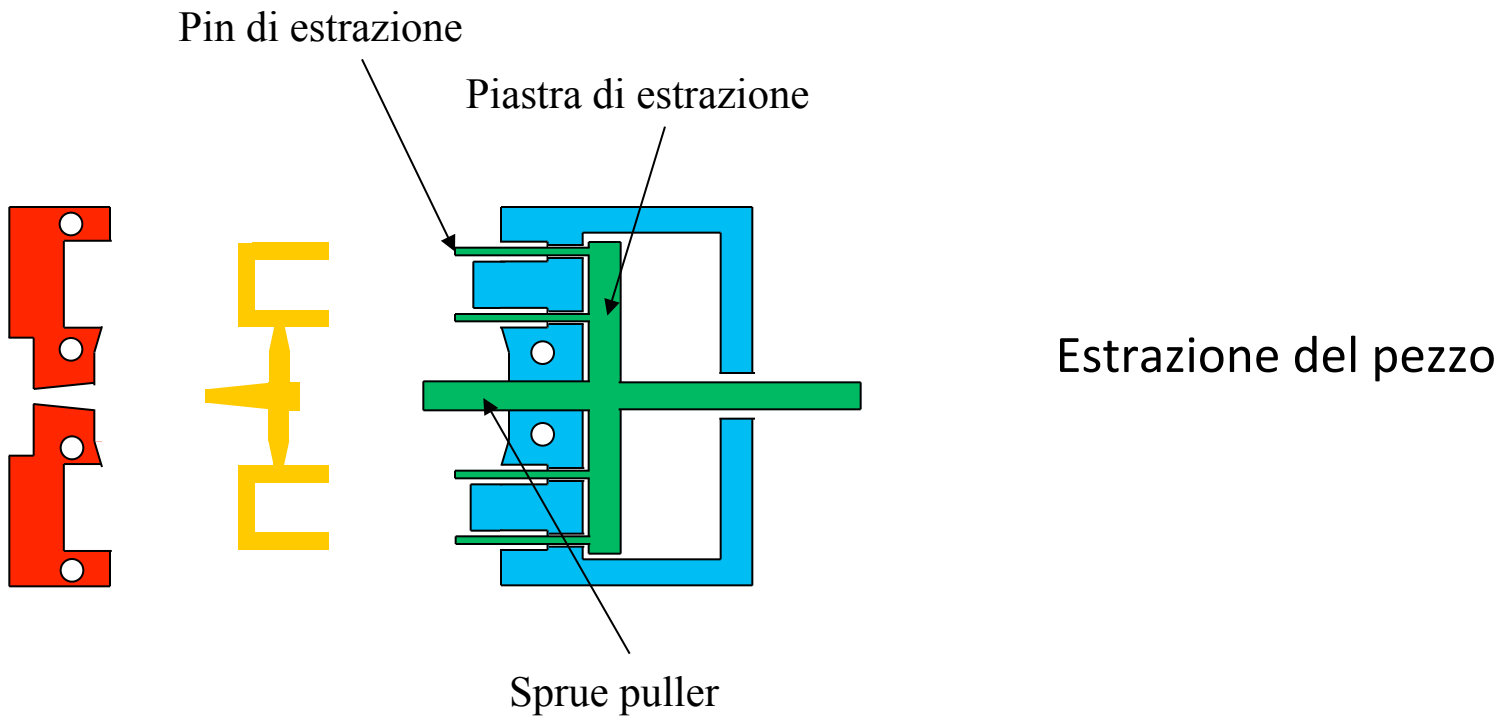


Lo stampo

- Condiziona l'estetica e l'estraibilità del componente ("ancoraggio" al maschio a causa del ritiro)
- Finitura eccessiva fa crescere i costi e può causare problemi di estrazione ("effetto vuoto")

Rugosità R_a [μm]	Abrasivo	Applicazioni tecniche
0,025	Pasta diamantata 8.000	Qualità ottica
0,05	Abrasivo 900 Pasta diamantata 8.000	Provette
0,08	Abrasivo 900 Pasta diamantata 3.000	Bicchieri
0,1	Abrasivo 600 Pasta diamantata 3.000	Superfici opache/lucide
0,1 ÷ 0,2	Abrasivo 900	Superfici opache
0,2	Abrasivo 600 Pasta diamantata 3.000	Usi generali
0,2 ÷ 0,3	Abrasivo 400+600	Finitura non specificata

Lo stampo



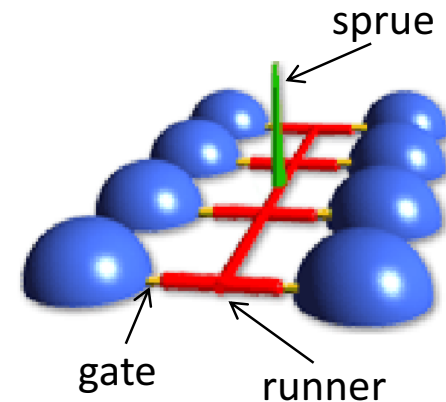
Parte fissa

Parte mobile

Sistema di estrazione

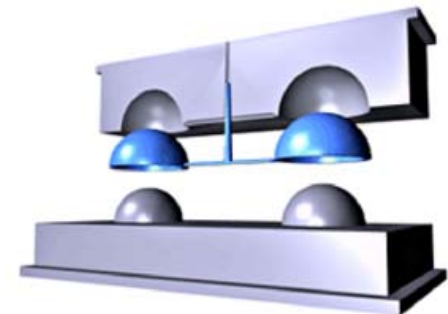
Lo stampo

- **Sprue** (carota), **runner** (canale), **gate** (punto di iniezione)
- Pressione nell'impronta 70% della pressione di iniezione → *converrebbe* aumentare la sezione dei canali, ma le perdite contribuiscono ad incrementare il calore



Tipi di canali:

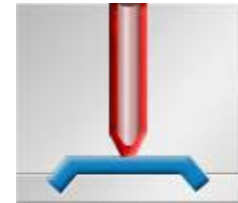
- **Canali freddi:** non hanno accorgimenti per contrastare la solidificazione del polimero
 - Vantaggi: semplicità costruttiva
 - Svantaggi: il materiale presente nel canale deve essere rimosso ad ogni ciclo



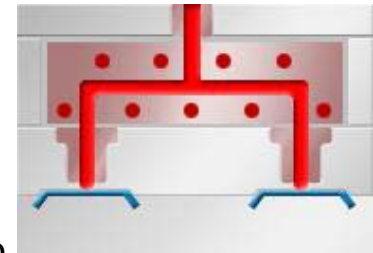
Lo stampo

■ Canali caldi:

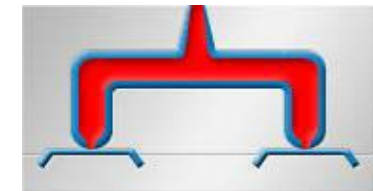
- **Riscaldati dall'interno:** passaggio anulare riscaldato con un elemento interno
 - Vantaggi: effetto isolante del polimero limita le perdite per calore ceduto allo stampo, migliore controllo della temperatura



- **Riscaldati dall'esterno:** è presente un collettore del fuso (*manifold*) riscaldato con resistenze; elementi isolanti per ridurre le perdite
 - Vantaggi: controllo della temperatura sofisticato
 - Svantaggi: costo elevato e progettazione complessa, necessario considerare l'espansione termica dei vari componenti dello stampo

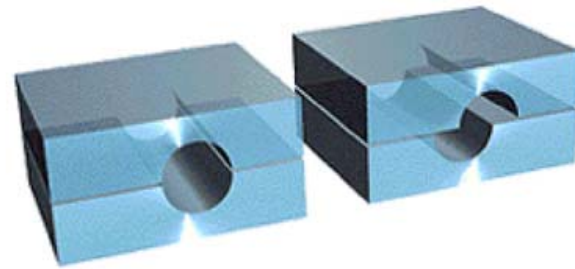
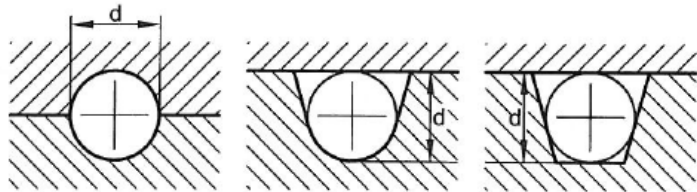


- **Isolati:** canali presentano dimensioni tali che, a regime, l'effetto di isolamento del polimero solidificato sulla parete combinato con il calore applicato ad ogni stampata mantiene il canale aperto
 - Vantaggi: meno complicati e meno costosi da realizzare
 - Svantaggi: possibilità di congelamento del gate, tempo ciclo deve essere breve, lunghi tempi di start-up per stabilizzare le temperature



Lo stampo

- Sezione dei canali: forma ottimale è la circolare (ridotta velocità di solidificazione), ma più costosa e problematica → parabolica o trapezia



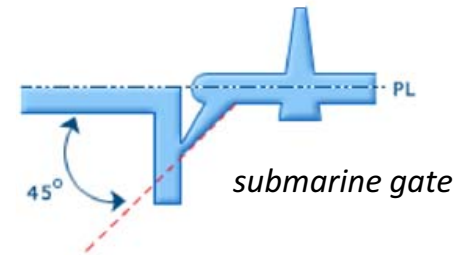
- **Punti di iniezione:**

- Funzioni:

- Controllano il flusso
- Facilitano il distacco

- Sezione piccola per riscaldare il polimero e lo stampo nella zona circostante il gate, che deve essere l'ultima parte a solidificare

- Spesso è complesso valutare il numero e la posizione dei punti di iniezione; nel caso di **canali caldi** è possibile usare **ugelli con otturatore** (evitano le linee di giunzione per stampati con più punti di iniezione, ottimizzano la fase di mantenimento per *family mold*)



Lo stampo

- Consentono all'aria di fuoriuscire dalla cavità, evitando la formazione di bruciature

- **Sfiati passivi:**

- Piccoli canali alla fine del percorso del polimero; luci di spessore 0.01-0.02 mm poste in corrispondenza del piano di separazione; geometria tale da impedire fughe di polimero
- Numero e posizione → esperienza dello stampista
- Anche il gioco tra estrattori e loro sedi consente l'evacuazione dell'aria



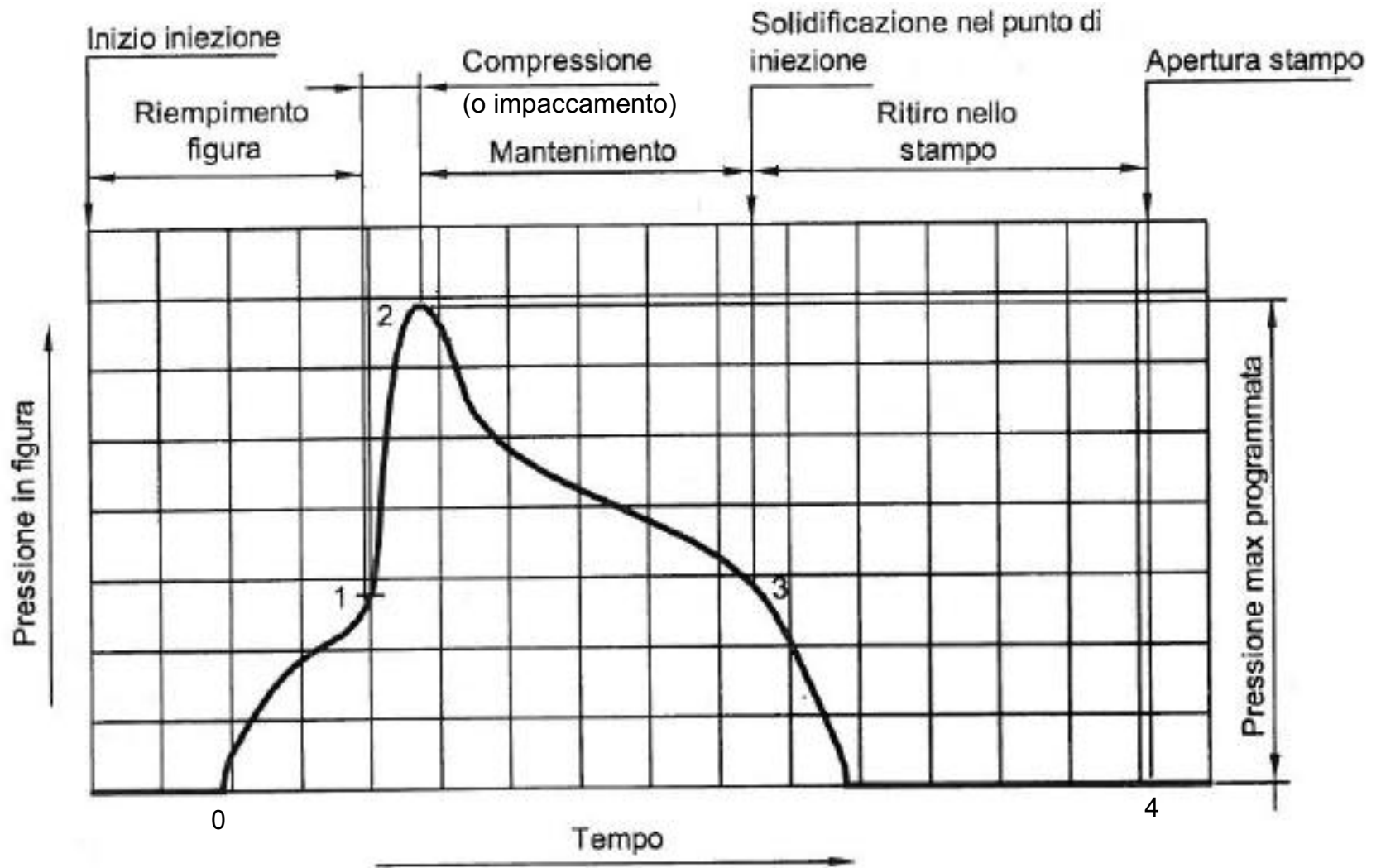
- **Sfiati attivi:**

- Dispositivo che aspira il gas prima dell'iniezione
- Si impiegano per polimeri molto fluidi
- Problema: tenuta dello stampo

Controllo temperatura

- Se la temperatura dello stampo è:
 - Troppo alta
 - Aumento del tempo ciclo
 - Aumento dei cristalliti (per i termoplastici semicristallini) → aumento del ritiro, ma anche delle proprietà meccaniche
 - Troppo bassa
 - Rischio di solidificazione prematura → riempimento incompleto
- Occorre prevedere la **termoregolazione** dello stampo mediante circolazione di acqua calda o fredda
 - Termoplastici: refrigerazione (tranne riscaldamento iniziale per raggiungere la temperatura di regime)
 - Termoindurenti: a regime spesso è la reticolazione a mantenere in temperatura lo stampo

Controllo pressione

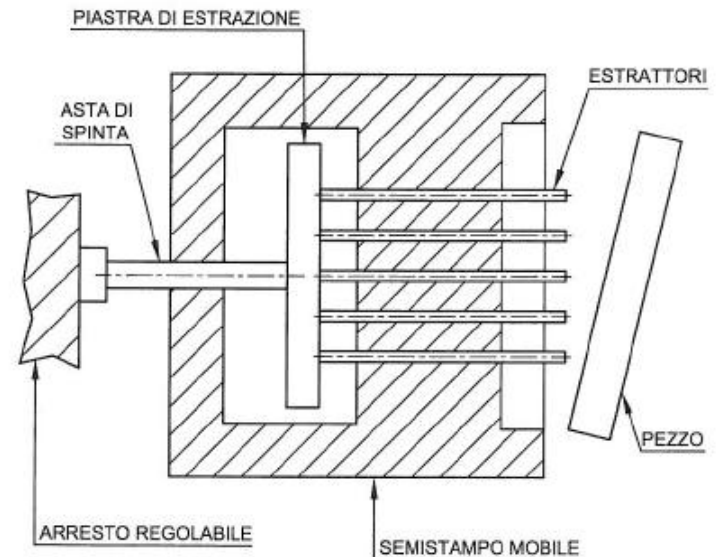


Controllo pressione

- 0-1: riempimento cavità di stampo
- Punto 1: cavità completamente piena, posizione vite 95% della corsa totale
- 1-2: immesso altro materiale (comprimibilità)
- Punto 2: raggiunta la pressione max programmata; nella camera d'iniezione rimane il "cuscino" (spessore 3-6 mm)
- 2-3: inizio solidificazione e compensazione del ritiro con immissione di altro materiale; pressione di mantenimento
- Punto 3: solidificazione del punto di iniezione → ritiro non più compensato
- 3-4: riduzione di pressione
- Punto 4: apertura stampo con pezzo ancora caldo ma sufficientemente stabile

Estrazione del pezzo

- Dispositivi di estrazione sempre necessari a causa di sottosquadri (anche derivanti da finitura) e ritiri
- Dopo l'estrazione, i pezzi piccoli cadono per gravità in contenitori o nastri, i pezzi grandi vengono prelevati da robot
- Estrazione facilitata con angoli di sforno e con lubrificanti presenti nel compound; si cerca di evitare l'impiego di lubrificanti "esterni"
- Gli estrattori lasciano sempre un segno sul manufatto → occorre definire con attenzione il posizionamento

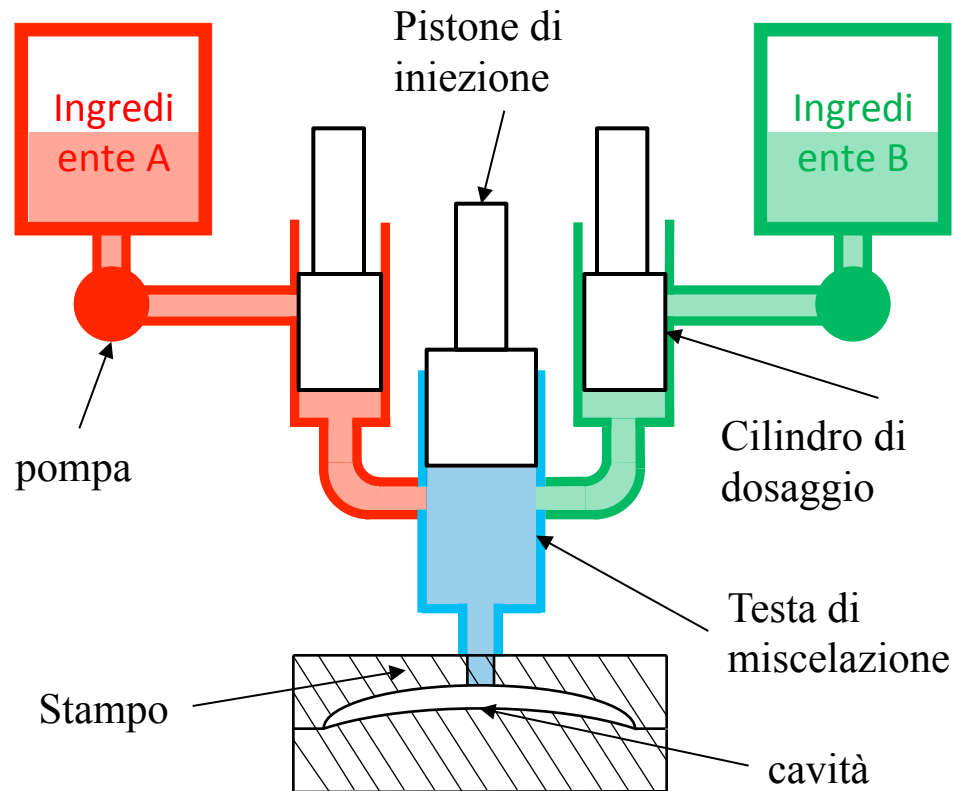


Reaction injection molding

- Il problema maggiore legato allo stampaggio ad iniezione tradizionale è legato alle alte pressioni, dovute alla geometria del pezzo ed alla viscosità del fuso
- Per prodotti grandi, le pressioni possono anche essere molto grandi
- Soluzione: ridurre la viscosità e mantenere pressioni più basse
- Nel RIM i componenti in fase liquida vengono iniettati separatamente nello stampo. La reazione avviene nello stampo, dopo che il riempimento è finito
- Polimeri termoindurenti + agenti di cura
- Macchinari più economici
- Miscelazione migliore e più efficace
- Maggiori problemi di ritiro (fino al 10%) in fase di polimerizzazione. Aggiunta di agenti schiumanti
- No estrusione (viscosità bassissima, non si crea pressione), miscelatori e presse
- Problemi ambientali

Reaction injection molding

- Utilizzato per la produzione di poliuretani espansi

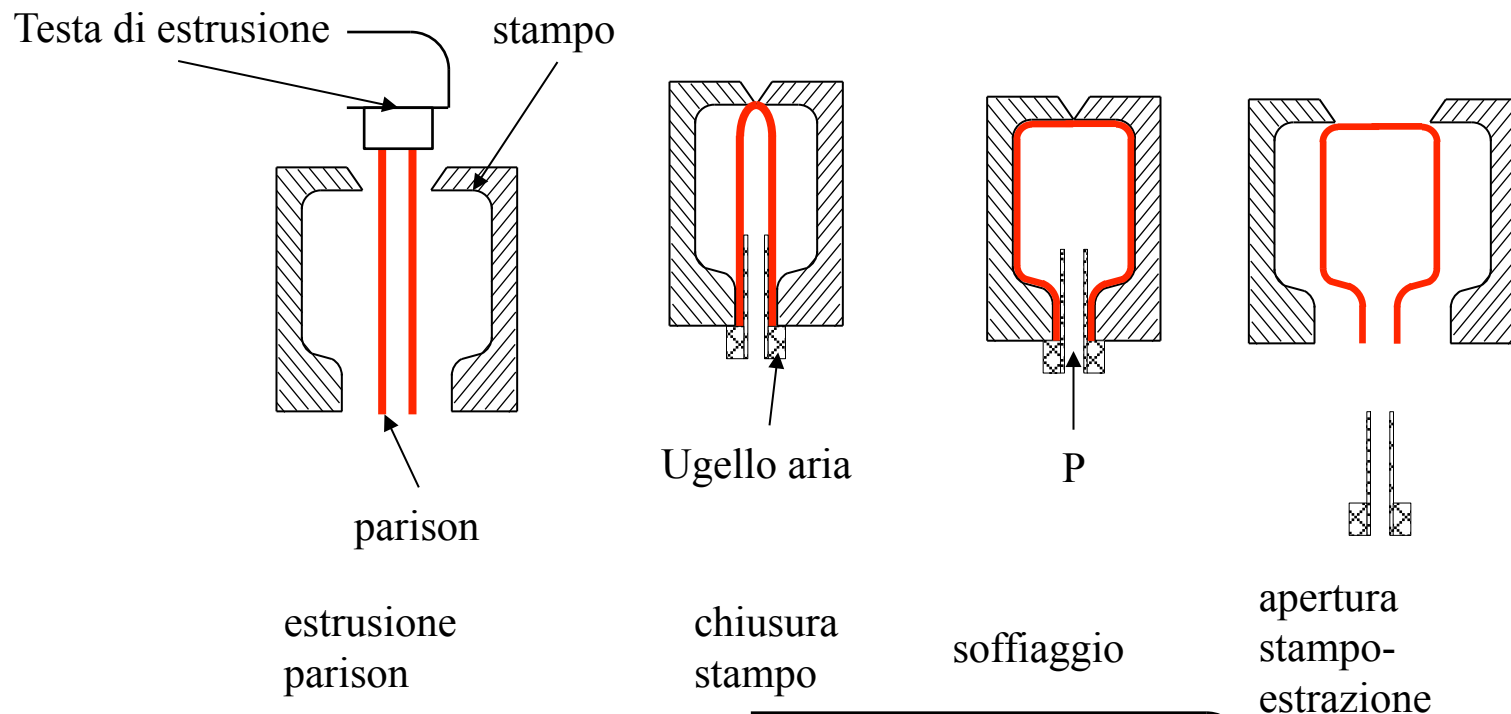


Stampaggio per soffiaggio

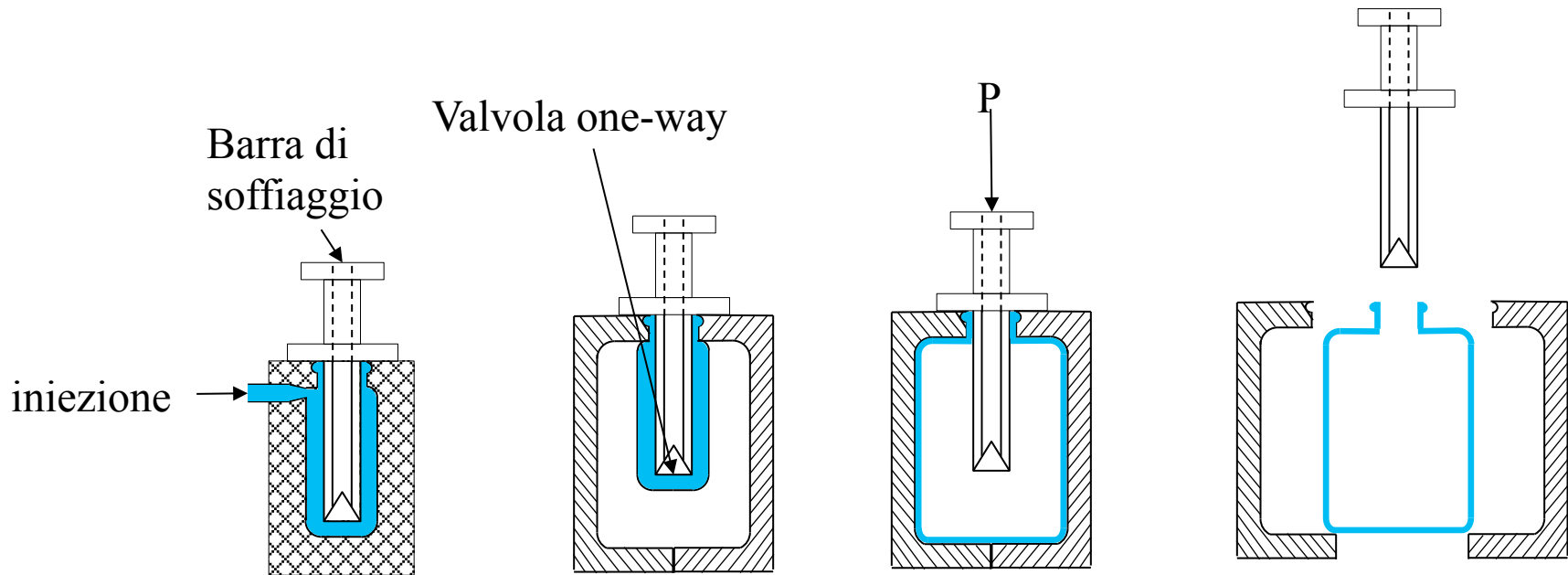
- Processo adoperato per la produzione di bottiglie o corpi cavi, tramite l'iniezione di aria all'interno della plastica fusa
- Due varianti:
 - stampaggio per soffiaggio a estrusione
 - stampaggio per soffiaggio a iniezione
- Si produce una preforma (parison) in cui viene iniettata l'aria
- Nella prima variante il parison in uscita dall'estusore viene messo direttamente nello stampo. Si realizza un processo continuo. Ci sono problemi legati alla gravità, che possono causare spessori del parison non uniformi
- Nella seconda variante il processo è discontinuo, la preforma ottenuta per iniezione deve essere riscaldata una seconda volta per essere soffiata

Stampaggio per soffiaggio ad estrusione

- Variante a più stampi o più teste di estrusione
- Il controllo dello spessore del parison permette di ottimizzare il rapporto resistenza (spessore minimo)/prezzo (spessore medio)



Stampaggio per soffiaggio ad iniezione



1) iniezione

2) Parison
preriscaldato nello
stampo più grande

3) Soffiaggio

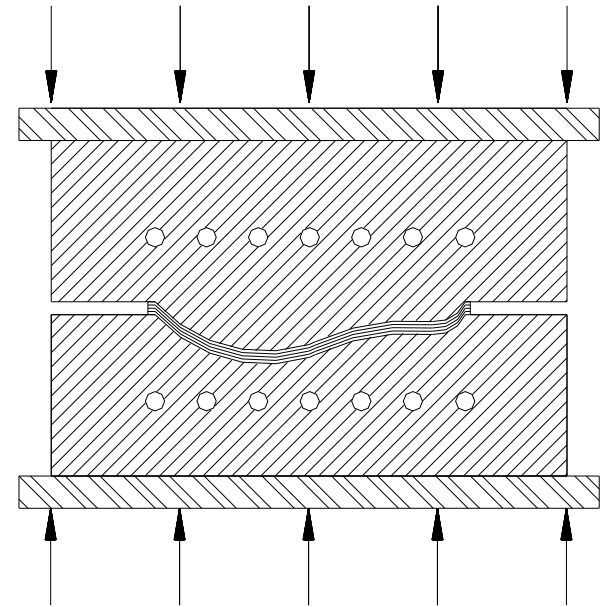
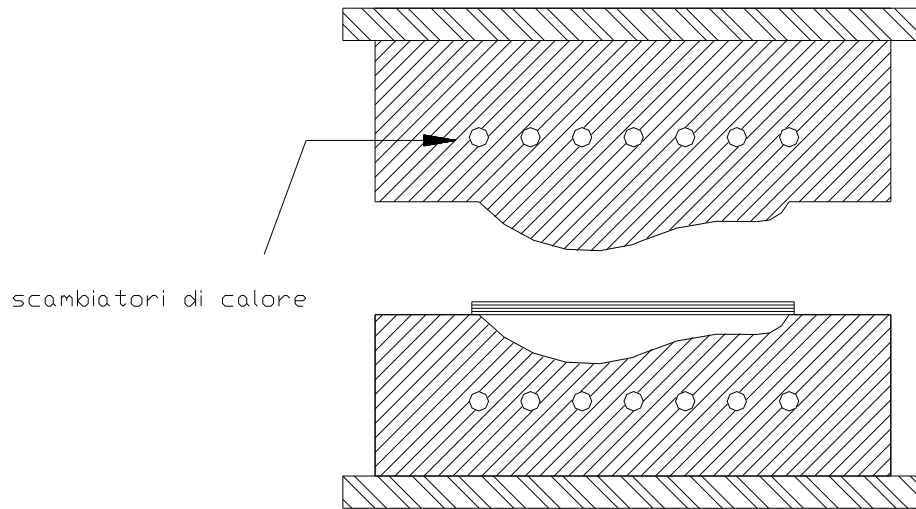
4) Estrazione

Usato per il PET

Compression molding –
credits: corso di tecnologie speciali I – prof. Carrino

STAMPAGGIO PER COMPRESSIONE

Compression molding



Compression molding

- Vantaggi
 - Tempi di ciclo relativamente bassi (1-6 minuti)
 - Elevati volumi di produzione
 - Qualità superficiale molto alta
- Svantaggi
 - Elevati costi di attrezzatura
 - Lavorazioni successive sul prodotto stampato

Compression molding



Costruzione di oggetti con
materiale composito
(plastiche caricate con
fibre)



Compression molding

- Fasi del processo
 - Posizionamento materiale
 - Chiusura stampo
 - Polimerizzazione
 - Estrazione pezzo

Compression molding

- Posizionamento del materiale
 - Posizionare nella metà inferiore dello stampo preriscaldato un quantitativo opportunamente pesato e ritagliato di Sheet Molding Compound (SMC), costituito da una pila di lamine rettangolari chiamate “carica”.
 - La preparazione della carica avviene al di fuori dello stampo.
 - Le lamine hanno forma rettangolare, ma si possono avere anche configurazioni circolari ed ellittiche.
 - Il materiale solitamente deve ricoprire il 60-70% della superficie dello stampo.
 - Il posizionamento della carica sullo stampo influenza, per esempio, l’orientazione delle fibre ed il contenuto di vuoti.

Compression molding

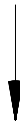
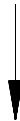
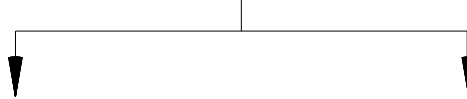
- Chiusura stampo
 - Il controstampo viene portato a contatto con la superficie superiore della carica repentinamente.
 - Dopo il contatto si procede abbassando la metà superiore dello stampo a velocità minore e costante pari a circa 5-10 mm/s.
 - Durante questa fase la pressione sul materiale cresce fino al valore prestabilito di progetto.
 - All'aumentare della pressione, lo SMC comincia a fluire all'interno dello stampo andando a riempirne la cavità. In questa fase l'aria nello stampo viene eliminata, così come quella all'interno del materiale.

Compression molding

- Chiusura stampo
 - La velocità di chiusura dello stampo influenza la qualità del pezzo stampato.
 - Alle alte velocità, gli strati fluiscono con estensione uniforme con scorrimento al contatto con la superficie dello stampo; in questo caso lo spessore del materiale non influenza il percorso di tale flusso.
 - Per basse velocità di chiusura il flusso dipende fortemente dallo spessore.
 - Per pezzi spessi, la viscosità degli strati di materiale adiacente allo stampo caldo decresce rapidamente, mentre all'interno rimane alta: questo comporta un disuniforme scorrimento degli strati (più esterni fluiscono prima e possono fuoriuscire dallo stampo).
 - Per spessori minori, l'allungamento è più uniforme.
 - E' preferibile chiudere lo stampo con una velocità non eccessivamente bassa per evitare una solidificazione prematura e per un flusso più uniforme indipendentemente dallo spessore.

Compression molding

laminato iniziale



chiusura veloce dello stampo



chiusura lenta dello stampo

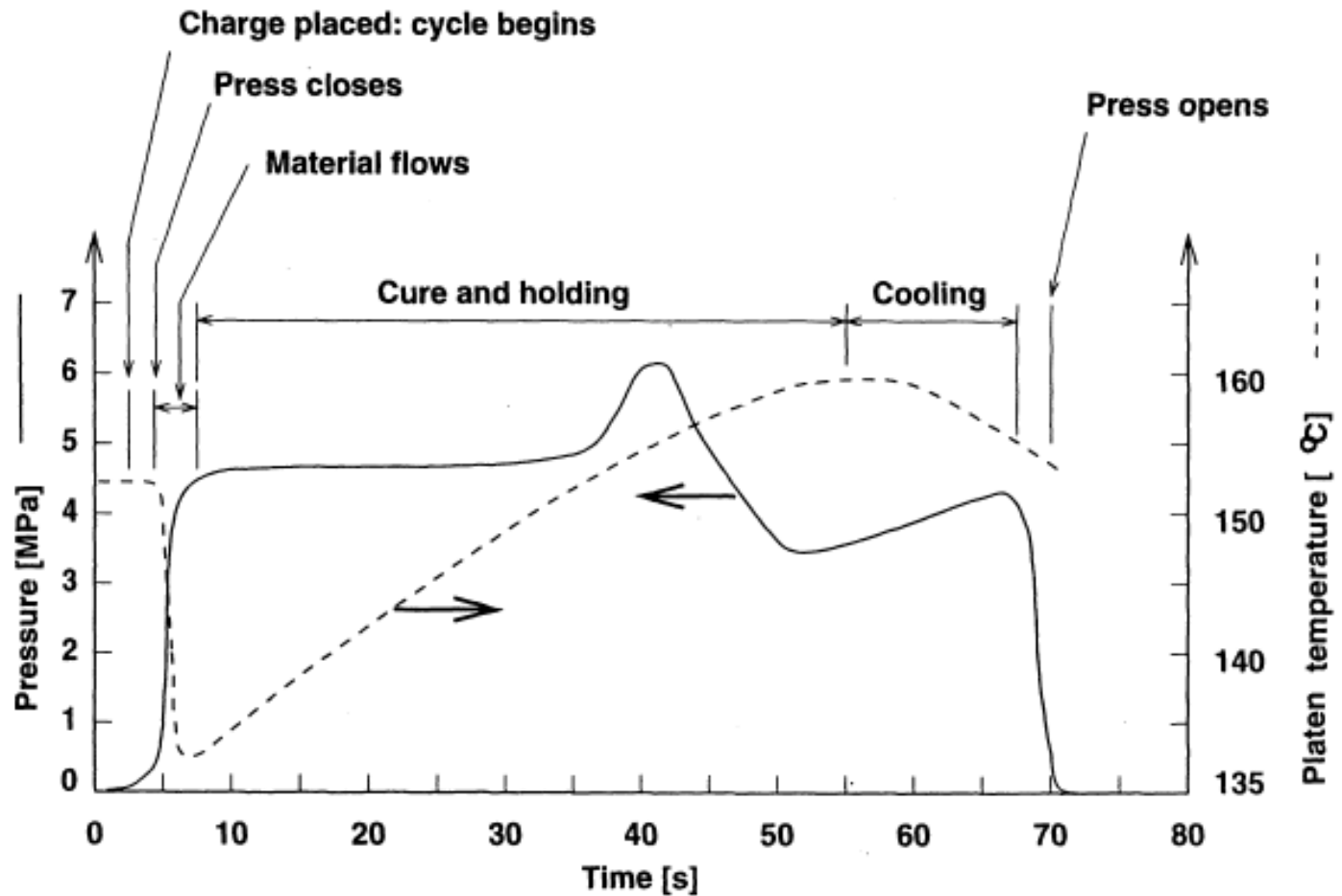
Compression molding

- Chiusura stampo:
 - La pressione di stampaggio può variare largamente da 1 a 40 MPa:
 - complessità della forma da ottenere;
 - tempo;
 - contenuto di fibre;
 - viscosità del SMC alla temperatura impostata.
 - Le temperature superficiali dello stampo solitamente stanno nel range 130-160°C.
 - Sia lo stampo che il controstampo vengono riscaldati esternamente in modo da mantenere la temperatura superficiale costantemente al valore desiderato $\pm 5^\circ\text{C}$

Compression molding

- Polimerizzazione
 - Lo stampo solitamente viene chiuso per circa 1-3 minuti per permettere la polimerizzazione della resina
 - Il tempo di reticolazione dipende da:
 - reattività del sistema resina-catalizzatori-inibitori;
 - spessore del pezzo;
 - temperatura dello stampo.

Compression molding



Compression molding

- Estrazione del pezzo
 - Ottenuto un opportuno grado di reticolazione, la metà superiore dello stampo viene aperta ed il pezzo rimosso spesso con l'aiuto di perni espulsori.
 - Il pezzo viene quindi raffreddato all'esterno dello stampo, mentre la superficie dello stampo viene pulita dai residui e cosparsa di un distaccante in preparazione del successivo stampaggio.
 - Il raffreddamento del pezzo è una fase delicata in quanto la distribuzione delle temperature può determinare tensioni residue nel pezzo finale; le modalità di raffreddamento sono strettamente legate alla geometria del pezzo.

Compression molding

- SMC
 - fogli di materiale composito, costituito da fibre, resina e additivi, già pronto per lo stampaggio (prepreg): Termoplastici-Termoindurenti
- ALTRI MATERIALI
 - Riempitivo (carbonato di calcio)
 - Agenti iniziatori del processo di polimerizzazione
 - Componenti che aumentano la viscosità (idrossido di magnesio)
 - Agenti lubrificanti (stearato di zinco)
- BMC (bulk molding compound)
 - massa di materiale composito, costituito da fibre random, resina e additivi, già pronto per lo stampaggio (prepreg)

PROBLEMATICHE

Problematiche: il fenomeno del ritiro

- Il ritiro è essenzialmente legato a due fenomeni:
 - Polimerizzazione (riarrangiamento molecole);
 - contrazione termica (raffreddamento post-reazione)
- Resina epossidica 1-5%
- Resine poliesteri e vinili-esteri dal 5 al 12%
- Un ritiro elevato:
 - favorisce il distacco del pezzo dallo stampo,
 - è causa di molti difetti di stampaggio (distorsioni e depressioni superficiali).

Problematiche: presenza di vuoti- porosità

- I vuoti fondamentalmente si formano da:
 - bolle d'aria
 - presenza di agenti ad alto grado di volatilità presenti nella resina.
- Il flusso di resina non rimuove completamente l'aria intrappolata:
 - per la velocità di impregnazione,
 - per la viscosità della resina,
- Questo fenomeno può essere ridotto in vari modi:
 - degasando la resina liquida;
 - applicando il vuoto durante lo stampaggio;
 - permettendo alla resina di fluire liberamente nello stampo.