



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea magistrale in Ingegneria Meccanica

INGEGNERIZZAZIONE DI PRODOTTO E PROGETTAZIONE DI
UN SISTEMA DI INIEZIONE MEDIANTE SIMULAZIONE DEL
PROCESSO DI STAMPAGGIO AD INIEZIONE PER
MASSIMIZZARE LA PRODUZIONE ED EVITARE DIFETTI

PRODUCT ENGINEERING AND DESIGN OF AN INJECTION
SYSTEM BY SIMULATION OF THE INJECTION MOULDING
PROCESS TO MAXIMISE PRODUCTION AND AVOID
DEFECTS

Relatore:
Prof. Sasso Marco

Tesi di Laurea di:
Mazzuferi Riccardo

A.A. 2019 / 2020

*“Quello che noi facciamo è solo una goccia nell'oceano,
ma se non lo facessimo l'oceano avrebbe una goccia in meno.”*

Madre Teresa di Calcutta

*Alla mia famiglia,
e a tutte quelle persone
che non hanno mai smesso
di credere che questo momento
potesse un giorno manifestarsi.*

SOMMARIO

| | |
|---|----|
| SOMMARIO | 4 |
| ELENCO DELLE TABELLE..... | 7 |
| ELENCO DELLE FIGURE | 8 |
| INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI | 11 |
| CAPITOLO 1 L'AZIENDA | 13 |
| 1.1 YUDO ITALY srl..... | 13 |
| CAPITOLO 2 LO STAMPAGGIO AD INIEZIONE | 14 |
| 2.1 PANORAMICA DEL PROCESSO..... | 14 |
| 2.2 CENNI STORICI..... | 14 |
| 2.2.1 Vantaggi dello stampaggio ad iniezione | 15 |
| 2.2.2 Processi di stampaggio ad iniezione alternativi | 15 |
| 2.3 DESCRIZIONE DI UNA GENERICA PRESSA AD INIEZIONE | 16 |
| 2.3.1 Gruppo di plastificazione e la vite senza fine | 17 |
| 2.3.2 Valvola di non ritorno..... | 20 |
| 2.3.3 L'ugello..... | 21 |
| 2.4 LO STAMPO | 22 |
| 2.4.1 Canali di alimentazione | 25 |
| 2.4.2 Sistema di alimentazione tradizionale | 25 |
| 2.4.3 Sistemi di alimentazione caldi | 27 |
| 2.4.4 Punti di iniezione (gate)..... | 28 |
| 2.4.5 Sfiati..... | 28 |
| 2.4.6 Materiale dello stampo..... | 29 |
| 2.4.7 Sistema di raffreddamento | 30 |
| 2.5 L'UNITÀ DI CHIUSURA..... | 30 |
| 2.5.1 Estrattori..... | 32 |
| 2.6 LE VITI A RICIRCOLO DI SFERE | 32 |
| 2.7 I PARAMETRI COSTRUTTIVI E LA CLASSIFICAZIONE DI UNA PRESSA | 33 |

| | |
|---|----|
| 2.8 DESCRIZIONE DEL CICLO DI STAMPAGGIO AD INIEZIONE: FISICA DEL PROCESSO | 34 |
| 2.8.1 Evoluzione della pressione | 36 |
| 2.8.2 Tempo Ciclo | 37 |
| CAPITOLO 3 I MATERIALI POLIMERICI | 39 |
| 3.1 GENERALITÀ | 39 |
| 3.2 MATERIALI TERMOPLASTICI | 40 |
| 3.2.1 Proprietà Reologiche..... | 40 |
| 3.3 PP | 45 |
| Applicazioni tipiche..... | 46 |
| Parametri stampaggio ad iniezione | 46 |
| 3.4 TERMOPLASTICI RINFORZATI | 46 |
| 3.4.1 La fibra vetro | 47 |
| 3.5 ELASTOMERO TERMOPLASTICO – TPE..... | 50 |
| 3.5.1 TPE-V | 51 |
| 3.6 MATERIALE UTILIZZATO PER LA REALIZZAZIONE DELLO STAMPO ED INSERTI..... | 53 |
| CAPITOLO 4 LAVORO SVOLTO DALLA YUDO | 54 |
| 4.1 INIZIO DELLO STUDIO..... | 54 |
| 4.2 ANALISI TECNICA | 56 |
| CAPITOLO 5 PROGETTAZIONE DI PRODOTTO/PROCESSO TRAMITE IL SOFTWARE MOLDFLOW SIMULATION | 59 |
| 5.1 PRODUCTION DESIGN E MOLDFLOW | 59 |
| 5.2 SEQUENZA DI ANALISI | 59 |
| 5.2.1 Ottimizzazione del Riempimento del particolare..... | 60 |
| 5.2.2 Condizioni di stampaggio | 61 |
| 5.2.3 I canali di alimentazione | 61 |
| 5.2.4 Ottimizzazione del raffreddamento..... | 61 |
| 5.2.5 Ottimizzazione della post-pressione | 62 |
| 5.2.6 Ottimizzazione delle Deflessioni (Warpage) | 62 |
| 5.3 CONCETTO DI FLUSSO | 62 |
| 5.3.1 Gradiente pressione costante..... | 62 |
| 5.3.2 Massima tensione tangenziale (shear stress at wall)..... | 63 |
| 5.3.3 Raffreddamento uniforme..... | 64 |
| 5.3.4 Posizionamento Weld e Melt Lines | 65 |

| | |
|--|-----|
| CAPITOLO 6 PRE-SIMULAZIONE IN MOLDFLOW SIMULATION | 66 |
| 6.1 INTRODUZIONE AL SOFTWARE..... | 66 |
| 6.2 DETERMINARE GLI OBIETTIVI DELL'ANALISI | 67 |
| 6.3 PROCEDURA DI ANALISI MOLDFLOW | 68 |
| 6.3.1 L'intero procedimento | 68 |
| 6.3.2 Ottimizzazione della fase di riempimento | 69 |
| 6.3.3 Preparazione della Mesh..... | 69 |
| 6.3.4 Selezionare il materiale..... | 75 |
| 6.3.5 Realizzazione dei canali di iniezione | 78 |
| 6.3.6 Determinare le condizioni di stampaggio | 78 |
| 6.3.7 Impostazione dei parametri di stampaggio | 79 |
| 6.3.8 Esecuzione dell'analisi | 80 |
| 6.3.9 Analisi dei risultati e soluzioni | 81 |
| 6.4 MODIFICHE AL MODELLO 3D..... | 90 |
| CAPITOLO 7 BILANCIAMENTO DEL SISTEMA DI INIEZIONE E SIMULAZIONE FINALE..... | 92 |
| 7.1 COS'È UN SISTEMA DI INIEZIONE | 92 |
| 7.2 REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA DI INIEZIONE MEDIANTE SOFTWARE MOLDFLOW | 93 |
| 7.2.1 Scelta del Layout | 94 |
| 7.3 SIMULAZIONE FINALE | 95 |
| 7.3.1 Importazione dei particolari e degli assi del sistema di iniezione..... | 96 |
| 7.3.2 Ottimizzazione pressione di compattazione..... | 97 |
| 7.3.3 Determinare la pressione di compattazione iniziale e finale..... | 98 |
| 7.4 ANALISI DEI RISULTATI | 99 |
| 7.4.1 Fill time..... | 99 |
| 7.4.2 Pressure..... | 100 |
| 7.4.3 Air Traps..... | 102 |
| 7.4.4 Ritiro volumetrico..... | 102 |
| 7.5 CONSIDERAZIONI SUL CICLO TOTALE DI STAMPAGGIO..... | 103 |
| CONCLUSIONI | 104 |
| BIBLIOGRAFIA | 106 |
| RINGRAZIAMENTI | 108 |

ELENCO DELLE TABELLE

| | |
|--|-----|
| Tabella 3-1 Composizioni chimiche delle fibre di vetro E | 48 |
| Tabella 3-2 Proprietà specifiche delle fibre di vetro E ed S | 50 |
| Tabella 3-3 Composizione chimica acciaio P20 | 53 |
| Tabella 4 Diagnostica mesh Moldflow | 75 |
| Tabella 5 Caratteristiche principali del primo materiale selezionato per il guscio bi-materia | 76 |
| Tabella 6 Caratteristiche principali del secondo materiale selezionato per il guscio bi- materia..... | 77 |
| Tabella 7 Tempi di stampaggio..... | 103 |

ELENCO DELLE FIGURE

| | |
|---|----|
| Figura 1-1 Azienda YUDO sede Caronno | 13 |
| Figura 2-1 Schema di una macchina di stampaggio ad iniezione | 17 |
| Figura 2-2 Zone dell'unità di plastificazione..... | 18 |
| Figura 2-3 Il percorso della carica in una vite a profilo normale..... | 18 |
| Figura 2-4 Flussi che si creano dall'azione della vite sul materiale | 19 |
| Figura 2-5 Puntale, Valvola di non ritorno, Ralla..... | 20 |
| Figura 2-6 Ugello in sezione (area blu) | 22 |
| Figura 2-7 (A) ugello in posizione di lavorazione (b) ugello in posizione per spurgo | 22 |
| Figura 2-8 Schema Stampo con 3° piastra..... | 23 |
| Figura 2-9 Schema di una materozza con indicati i canali principali | 26 |
| Figura 2-10 Schema gruppo di chiusura a ginocchiera | 30 |
| Figura 2-11 Rappresentazione del ciclo di stampaggio ad iniezione | 34 |
| Figura 2-12 Ciclo di stampaggio..... | 36 |
| Figura 2-13 Evoluzione idealizzata della pressione in cavità con il tempo | 37 |
| Figura 2-14 Tempo ciclo totale con evidenziate le singole fasi..... | 38 |
| Figura 3-1(a) flusso di taglio (b) flusso estensionale (c) flusso di taglio nella cavità (d) flusso estensionale nella cavità | 41 |
| Figura 3-2 La definizione di viscosità allo stato fuso del polimero, illustrato da un semplice flusso di taglio..... | 42 |
| Figura 3-3 Caratteristiche principali materiale polimerico | 42 |
| Figura 3-4 Propilene e la struttura del polipropilene isotattico..... | 45 |
| Figura 3-5 Elementi principali materiale composito..... | 47 |
| Figura 3-6 Schema processo di produzione fibre di vetro | 49 |
| Figura 3-7 Struttura del TPE-V..... | 51 |
| Figura 4-1 STEP per realizzazione sistema di iniezione..... | 54 |
| Figura 4-2 Cover motorino di apertura e chiusura dello sportello del carburante | 55 |
| Figura 4-3 Sportello del carburante | 55 |
| Figura 4-4 Step analisi tecnica | 56 |

| | |
|--|----|
| Figura 4-5 Dimensioni e peso dei particolari..... | 56 |
| Figura 4-6 Ugello e punto di iniezione del PP..... | 57 |
| Figura 4-7 Ugello e punto di iniezione del TPE-V..... | 58 |
| Figura 5-1 Gradiente di pressione..... | 63 |
| Figura 5-2 Shear stress at wall..... | 64 |
| Figura 5-3 Raffreddamento..... | 65 |
| Figura 5-4 Weld e Melt Lines..... | 65 |
| Figura 6-1 I passi fondamentali per ottimizzare la parte da riempimento alle deformazioni | 68 |
| Figura 6-2 STEP avvio progetto..... | 69 |
| Figura 6-3 Tipi di elementi..... | 70 |
| Figura 6-4 Tipi di Mesh..... | 70 |
| Figura 6-5 Impatto delle analisi correlando la preparazione della mesh con il calcolo del risolutore..... | 71 |
| Figura 6-6 Predizione linee di giunzione in base alla mesh..... | 72 |
| Figura 6-7 Predizione trappole d'aria in base alla mesh..... | 72 |
| Figura 6-8 Step dalla preparazione all'analisi della mesh..... | 73 |
| Figura 6-9 Mesh generata dal software Moldflow..... | 74 |
| Figura 6-10 Modelli ugelli a) flusso libero, b) otturazione..... | 78 |
| Figura 6-11 Determinare le condizioni di stampaggio..... | 79 |
| Figura 6-12 Parametri di stampaggio PP..... | 79 |
| Figura 6-13 Parametri di stampaggio TPE-V..... | 80 |
| Figura 6-14 Selezione del tipo di analisi nel Moldflow..... | 80 |
| Figura 6-15 Fill parte in PP..... | 82 |
| Figura 6-16 Fill parte in TPE-V..... | 83 |
| Figura 6-17 Pressure at V/P switchover PP..... | 84 |
| Figura 6-18 Pressure at V/P switchover TPE-V..... | 84 |
| Figura 6-19 Temperature at flow front PP..... | 85 |
| Figura 6-20 Temperature at flow front TPE-V..... | 86 |
| Figura 6-21 Air Traps PP..... | 87 |
| Figura 6-22 Air Traps TPE-V..... | 88 |
| Figura 6-23 Differenza fra linee di giunzione e linee di fusione..... | 88 |
| Figura 6-24 Risultato Weld Lines con annessa modifica..... | 89 |
| Figura 6-25 Re-melt zone..... | 90 |

| | |
|--|-----|
| Figura 6-26 Modifiche modello PP..... | 91 |
| Figura 6-27 Modifiche modello TPE-V..... | 91 |
| Figura 7-1 Componenti sistema di iniezione | 93 |
| Figura 7-2 Vista stampo in sezione per determinare l'ingombro della camera calda | 94 |
| Figura 7-3 Posizione figure all'interno dello stampo | 94 |
| Figura 7-4 Layout camera calda..... | 95 |
| Figura 7-5 Impostazione simulazione finale PP..... | 96 |
| Figura 7-6 Impostazione simulazione finale TPE-V..... | 97 |
| Figura 7-7 Ottimizzazione profilo della pressione di compattazione | 98 |
| Figura 7-8 Fill time PP..... | 99 |
| Figura 7-9 Fill time TPE-V | 100 |
| Figura 7-10 Pressure PP..... | 101 |
| Figura 7-11 Pressure TPE-V | 101 |
| Figura 7-12 Air Traps PP..... | 102 |
| Figura 7-13 Air Traps TPE-V | 102 |
| Figura 7-14 Ritiro volumetrico | 103 |

INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI

Prevedere con accuratezza elevata, fin dalla fase di progettazione, la forma finale di un particolare realizzato in materiale termoplastico è sempre più richiesto, soprattutto nel settore dell'Automotive, non solo perché l'accoppiamento delle parti gioca un ruolo fondamentale, ma anche per quanto riguarda l'aspetto costruttivo ed estetico dell'autoveicolo.

È da considerare che sono molte le componenti di un autoveicolo realizzate mediante processo di Stampaggio ad Iniezione e il mercato impone vincoli sempre più precisi circa la qualità di tali componenti, qualità resa possibile non solo dallo sviluppo tecnologico, ma anche dallo sviluppo di metodologie di simulazione, basate su metodi sempre più accurati ed allo stesso tempo affidabili.

La ditta YUDO ITALY progetta e realizza sistemi di iniezione, offrendo al cliente un servizio che parte dallo studio del pezzo da realizzare, per vedere la fattibilità ed eventuali problematiche del particolare, per poi progettare e bilanciare il relativo sistema di iniezione.

Sulla base di ciò è stata sviluppata un'analisi di un processo di stampaggio di un particolare bi-materia, ovvero un prodotto costituito da due materiali, il corpo principale stampato in Polipropilene (PP) e le relative guarnizioni sovrastampate in materiale Termoplastico (TPE-V).

La struttura del documento si sviluppa come segue:

- Nel capitolo 1 si presenta l'azienda in cui lavoro e dove ho realizzato questo lavoro;
- Nei capitoli 2 e 3 si presentano le nozioni teoriche sul settore dello stampaggio ad iniezione ed i materiali polimerici;
- Nel capitolo 4, si presenta il lavoro svolto in azienda e le fasi che anticipano il progetto finale del sistema di iniezione;

- Nel capitolo 5 si discute i principi di progettazione Moldflow e come essi si riferiscono alla produzione di pezzi di qualità;
- Nel capitolo 6 si descrive la metodologia utilizzata e i principi base per eseguire una simulazione, ponendo l'attenzione sui risultati ottenuti e sulle soluzioni;
- Nel capitolo 7 si esplica i principi di progettazione di un sistema di iniezione e l'esecuzione della simulazione finale con i rispettivi risultati.

La YUDO ITALY, in concomitanza con la richiesta del cliente che ha commissionato il lavoro ha definito un obiettivo preciso:

- Valutare l'efficienza del software Moldflow sulla restituzione dei dati relativi al processo di stampaggio e alle eventuale problematiche riscontrabili durante il processo.

Il lavoro è stato sviluppato nelle seguenti fasi:

- Analisi qualitative sul 3D fornito dal cliente (valutazione modello 3D, problematiche, parametri di processo);
- Modifiche da apportare al 3D per evitare problematiche durante la produzione;
- Simulazione finale con relativo sistema di iniezione.

È stato seguito un approccio scientifico supportato dall'utilizzo del programma *Autodesk Moldflow Insight 2019 "ASMI"* per la generazione e lettura dei dati utili all'analisi.

Capitolo 1

L'AZIENDA

1.1 YUDO ITALY srl

YUDO ITALY, la filiale italiana del gruppo YUDO, si occupa della commercializzazione del prodotto Yudo sul territorio italiano, affiancando la clientela sin dalla fase di scelta della miglior soluzione tecnica fino alla fase di collaudo stampo ed assistenza post vendita.

YUDO è produttore, sin dalla sua creazione nel 1980, di sistemi di iniezione a canale caldo e componenti per la termoregolazione per gli stampi destinati allo stampaggio ad iniezione di materie plastiche. È oggi diventato il primo produttore di sistemi di iniezione a livello mondiale. Produce internamente camere calde, ugelli, resistenze e tutti gli accessori dei sistemi di iniezione. Dispone delle migliori tecnologie per il sistema di gestione della progettazione, della ricerca e sviluppo, della produzione e del controllo qualità.

Inoltre, YUDO è sempre lì in mezzo alla tecnologia in rapida evoluzione. È l'ideologia creativa di YUDO a guidare il mondo intero materializzando la tecnologia avanzata che lo ha reso fermo.



Figura 1-1 Azienda YUDO sede Caronno

Capitolo 2

LO STAMPAGGIO AD INIEZIONE

2.1 PANORAMICA DEL PROCESSO

Lo stampaggio a iniezione è un processo di produzione industriale in cui un materiale plastico viene fuso (plastificato) e iniettato ad elevata pressione all'interno di uno stampo chiuso, che viene aperto dopo la solidificazione del manufatto.

Generalmente l'iniezione avviene a pressioni elevate ed a temperature abbastanza elevate da consentire lo scorrimento del materiale "plastificato" all'interno del macchinario e dello stampo. (Salvi, 1997)

Il principio di funzionamento dello stampaggio a iniezione è simile alla pressofusione. La formatura viene ottenuta mediante raffreddamento (termoplastici) o una reazione chimica (termoindurenti). È una delle operazioni più comuni e versatili per la produzione di massa di particolari plastici con una geometria complessa e che richiedono un'ottima tolleranza dimensionale. Oltre ai materiali termoplastici e termoindurenti, materiali come fibre, ceramiche e metalli in polvere vengono anche utilizzati con polimeri come leganti.

2.2 CENNI STORICI

Nel 1872 *Hyatt* brevetta la prima pressa a iniezione nella quale il materiale caldo (celluloide, termoindurente) è plasticizzato in un cilindro caldo e successivamente iniettato con il moto dello stantuffo. L'introduzione di un secondo cilindro consente di separare la fase di riscaldamento da quella di iniezione: mentre il cilindro inietta il materiale nello stampo, una nuova carica può essere effettuata sul cilindro secondario, riducendo il tempo di ciclo.

Successivamente il cilindro di riscaldamento viene sostituito da un estrusore a vite, mentre rimane il cilindro di iniezione, tecnica ancora utilizzata ad oggi in materiali rinforzati in quanto riduce la rottura delle fibre.

Con la nascita, negli anni '30 – '40, dei polimeri termoplastici come poliammide (PA, commercialmente chiamato Nylon), polietilene (PE), polietilentereftalato (PET) e policarbonato (PC) si ha la necessità di sviluppare nuove macchine per la produzione di pezzi con questi nuovi materiali termoplastici. Viene ideata nei primi anni '50 la prima pressa con

vite bi-funzione (svolge sia la funzione di plastificare che di iniettare) ed è utilizzata ancora oggi.

Nel 1998 viene introdotta nel mercato la prima pressa totalmente elettrica, che in Giappone rimpiazza del tutto la pressa idraulica, mentre in Europa si ha un picco di richieste solo a partire dal 2008, quando viene introdotta la pressa *full electric* di grandi dimensioni. (Bertacchi, 2011)

2.2.1 *Vantaggi dello stampaggio ad iniezione*

Lo stampaggio ad iniezione è uno dei processi industriali maggiormente utilizzato ancora oggi. Si tratta di una tecnica già da molto tempo consolidata che permette di ottenere elevati volumi di produzione a costi contenuti. Una corretta progettazione iniziale affiancata ad una attenta analisi di costo e quantità di prodotto permette di evitare perdite economiche rilevanti.

Il tipo di processo di fabbricazione da adottare dipende fondamentalmente dalle proprietà e caratteristiche del polimero, dalla forma o sezione del prodotto finale e non meno importante dal volume di produzione prevista.

Come accennato precedentemente, l'effettiva industrializzazione è possibile solamente se il processo produttivo ha un costo ragionevole.

$$\text{COSTO} < \text{PREZZO} < \text{VALORE}$$

Il costo totale del prodotto, considerando anche il materiale e il processo per fabbricarlo, ai fini della redditività di una produzione industriale, dev'essere più che compensato dal prezzo di vendita. Pertanto, può procedere in due direzioni: aumentando il valore del prodotto stesso, oppure riducendo i costi di produzione.

È opportuno quindi, per l'azienda, considerare tutti i fattori che influiscono nel costo sia del prodotto ma anche del processo.

2.2.2 *Processi di stampaggio ad iniezione alternativi*

Nel corso degli ultimi decenni, numerosi tentativi sono stati fatti per sviluppare processi di stampaggio ad iniezione per la produzione di parti con caratteristiche di design e proprietà speciali. I processi alternativi derivati dallo stampaggio ad iniezione convenzionale hanno creato una nuova era per le applicazioni aggiuntive, maggiore libertà di progettazione, e le caratteristiche strutturali speciali. Questi sforzi hanno portato a una serie di processi, tra cui:

- Co-iniezione di stampaggio;
- Stampaggio ad iniezione assistita da gas;
- Stampaggio ad inietto-compressione;
- Stampaggio ad iniezione diretta dall'alimentazione
- Stampaggio ad iniezione a bassa pressione

- Stampaggio reattivo;
- Stampaggio ad iniezione di schiuma strutturale.

Il processo di stampaggio ad iniezione è il metodo più importante per i materiali termoplastici.

In generale, consiste nell'iniettare a pressioni più o meno elevate, il materiale preriscaldato all'interno di uno stampo, sfruttando così la capacità di fusione del materiale.

È importante per ottenere un buon risultato, utilizzare un materiale che riesca a resistere ad alte pressioni di stampaggio e che detenga un'adeguata capacità di "fluidità allo stato fuso".

2.3 DESCRIZIONE DI UNA GENERICA PRESSA AD INIEZIONE

La pressa per l'iniezione è suddivisa in due gruppi fondamentali: l'unità di iniezione e l'unità di chiusura. Le presse più largamente sviluppate ed utilizzate per la produzione sono di tipo orizzontale, la cui disposizione delle due zone rimane immutata nel tempo: il gruppo di iniezione alla destra dell'operatore, quello di chiusura alla sua sinistra.

Si definisce gruppo di iniezione l'insieme di componenti che contribuiscono alla fase di plastificazione del polimero.

Il materiale, inizialmente in granuli, viene raccolto in un imbuto posto nella parte destra della macchina, dove è presente il gruppo di plastificazione. Esso cade dalla tramoggia dal momento in cui il pistone viene ritirato (il meccanismo di alimentazione della macchina di stampaggio è attivato dalla corsa del pistone). Lo stantuffo, poi, spinge il materiale nella zona di riscaldamento, dove si assiste alla plastificazione e alla fusione del materiale, la quale avviene per mezzo di termo – coppie posizionate in periferia della camera di plastificazione. Lo spostamento del materiale è generato dalla spinta dello stantuffo e dalla contemporanea addizione di altro materiale proveniente dalla tramoggia. Ormai diventato polimero fuso, l'elemento continua a scorrere fino a giungere al punto di iniezione, dove viene forzato in tutte le parti e cavità dello stampo per riprodurre il modello progettato.

La parte a sinistra del macchinario, il gruppo di chiusura, è costituito dai principali componenti: un semi-stampo fisso collegato all'unità di iniezione, una parte mobile collegata alla ginocchiera, le centraline per il raffreddamento, gli estrattori per l'espulsione del prodotto finito o eventuali manipolatori esterni, il motore per la regolazione del gruppo di chiusura.

Il materiale introdotto viene raffreddato sotto pressione ad una temperatura al di sotto della T_f (temperatura di fusione) prima che la parte mobile del semi-stampo si apra.

La maggior parte del tempo ciclo è occupata dalla fase del raffreddamento, tempo di rilevante importanza per ottenere un prodotto finito privo di difetti o che potrebbe addirittura risultare un pezzo di scarto. Attualmente si dà molta importanza alla progettazione del layout ottimale per i canali di raffreddamento, che consentono una corretta refrigerazione durante la fase di raffreddamento.

A raggiungimento della temperatura desiderata, lo stampo si apre, la parte stampata o modello, viene espulsa, lo stantuffo viene nuovamente ritirato e il ciclo riparte.

La chiusura dello stampo può avvenire in diversi modi, che, assieme al tempo di ciclo, influiscono nelle forze applicate.

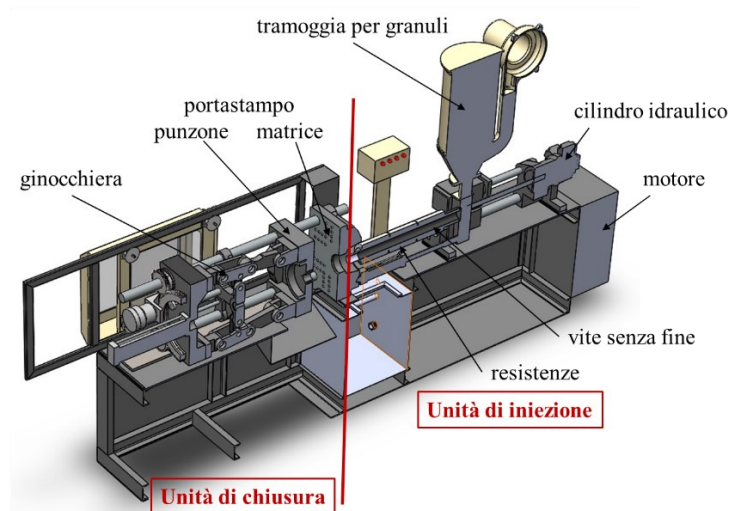


Figura 2-1 Schema di una macchina di stampaggio ad iniezione

2.3.1 Gruppo di plastificazione e la vite senza fine

L'unità di iniezione, o gruppo di plastificazione, è costituita da una tramoggia, un complesso di vite e cilindro idraulico, ed un ugello di iniezione.

La parte fondamentale del gruppo di plastificazione è la vite senza fine posta all'interno del cilindro di plastificazione. Il cilindro è costituito da fasce riscaldanti elettriche che contribuiscono al riscaldamento e mantenimento in temperatura specifica per ogni tipo di polimero: al suo interno raccoglie il materiale da plastificare e la vite che ruota avanti e indietro sul cilindro. Grazie alla particolare filettatura di cui è dotata la vite, il materiale viene riscaldato per attrito (riscaldamento autogeno) e contemporaneamente fatto avanzare lungo il cilindro verso la zona di iniezione. (Bertacchi, 2011)

Lungo la direzione del flusso del materiale la vite si suddivide in tre zone, come mostrato nella Figura 2.2:

- Zona di alimentazione, di lunghezza pari al 60% della lunghezza totale della vite, dove il riscaldamento del polimero avviene quasi totalmente per effetto delle resistenze elettriche poste esternamente al cilindro;
- Zona di compressione, pari al 20% della lunghezza totale della vite, in cui il riscaldamento avviene per il 60% ad opera del cilindro e per il restante 40% dall'attrito che si genera fra vite-polimero;
- Zona di dosaggio, di lunghezza pari al 20% della lunghezza totale della vite e in cui l'apporto termico è dovuto per l'80% dalla frizione vite-carica e per il restante 20% dalla conduzione termica del cilindro.

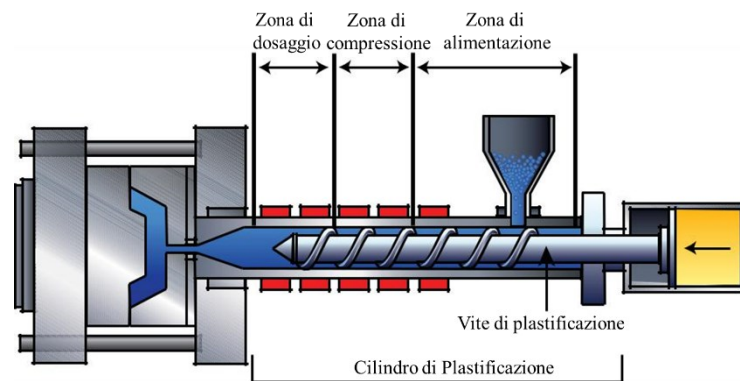


Figura 2-2 Zone dell'unità di plastificazione

Il diametro esterno della vite rimane costante in tutta la sua lunghezza, mentre varia il diametro del nocciolo interno (Figura 2.3): nella zona di alimentazione ha un valore minimo per accogliere il grande volume di granulato, nella parte del dosaggio ha un diametro massimo a causa della riduzione del volume di polimero. Nella parte intermedia si ha un aumento lineare per raccordare le due zone esterne.

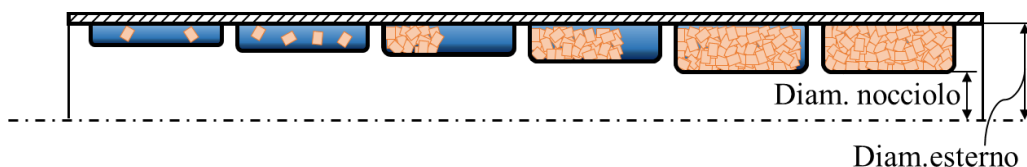


Figura 2-3 Il percorso della carica in una vite a profilo normale

Nell'unità di plastificazione si possono distinguere diversi flussi che si creano dall'azione della vite sul materiale (Figura 2.4):

- Flusso di scorrimento: generato dall'attrito provocato dall'azione di trasporto del materiale dalla tramoggia verso l'ugello, posto al termine dell'unità di plastificazione;
- Flusso di ritorno: ritorno è una massa di fluido che va in direzione opposta a quella di avanzamento;
- Flusso trasversale: deriva dalla combinazione dei flussi precedentemente descritti con angolazione diversa e con andamento trasversale al fondo del canale della vite. Esso, è fondamentale ai fini dell'effetto della miscelazione meccanica e termica;
- Flusso di fuga: si manifesta fra la cresta del filetto della vite e la parete interna del cilindro.

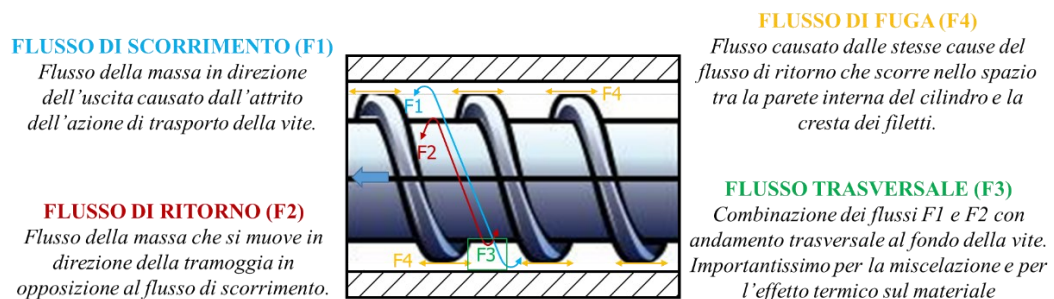


Figura 2-4 Flussi che si creano dall'azione della vite sul materiale

Nella realtà, la distinzione di questi quattro flussi non è così evidente e si semplifica identificando due moti principali, quello rotatorio e quello di avanzamento.

Questi effetti generano altri effetti di attrito tra la superficie interna del cilindro fissa e quella mobile del vano della vite. Questi attriti, seppur minimi, si possono controllare, entro certi limiti, agendo su variazioni di temperatura nelle varie zone del cilindro operando con delle resistenze o termocoppie.

Nel caso in cui si ha un moto prevalente di avanzamento, non si avrà un effetto di alta qualità nella plastificazione e dispersione dei vari materiali, pertanto se l'obiettivo è quello di ottenere un componente omogeneo si deve prestare molta attenzione a questo fattore. Invece, il movimento rotatorio provoca il riscaldamento del materiale per attrito ottenendo un materiale ben miscelato e plastificato con effetti positivi sulla qualità finale del componente. Occorre prestare attenzione ai tempi di residenza (o permanenza) del materiale nell'unità di plastificazione.

Un parametro di grande importanza per la scelta della pressa su cui iniziare un ciclo produttivo è il rapporto L/D , ovvero il rapporto tra la lunghezza della vite di plastificazione e il suo diametro. Maggiore è tale valore, maggiore sarà il percorso che il materiale deve compiere dall'ingresso nel cilindro sino all'ugello di iniezione. Un valore tipico di una vite ad uso normale, con passo costante ed unico filetto è di 20/21 diametri della vite. La lunghezza della vite viene misurata dal secondo filetto a partire dalla bocca di alimentazione sino all'ultimo filetto prima del puntale. La zona di alimentazione della vite generalmente ha una lunghezza pari a 10 diametri della stessa. (Bertacchi, 2011)

Un parametro fondamentale per il dimensionamento della vite è il rapporto di compressione "compression ratio" pari al rapporto tra la zona di alimentazione e quella di dosaggio, il quale deve rimanere entro un range di valori tra 2 e 5 e varia a seconda della viscosità caratteristica del materiale: raggiunge valori minimi per materiali semicristallini e massimi per i materiali amorfi.

2.3.2 Valvola di non ritorno

È un particolare componente posto in testa alla vite, costituita da 3 elementi, denominati Puntale, Ralla e Valvola di non ritorno, raffigurati nella Figura 2.5. Questa è indispensabile per consentire lo spostamento alla stessa in direzioni opposte (vite avanti, vite indietro) ed evita il reflusso del polimero durante l'iniezione.

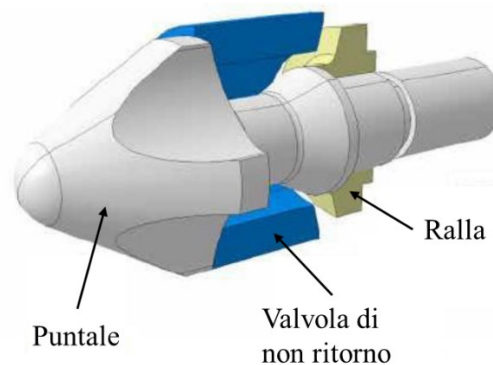


Figura 2-5 Puntale, Valvola di non ritorno, Ralla

Consiste in una tenuta meccanica realizzata mediante un collare mobile che si accoppia con un corrispondente profilo conico della vite.

Nella fase di plastificazione l'anello denominato "valvola di non ritorno" viene spinto in avanti fino al puntale dal materiale fuso, che così ha lo spazio per fluire nella camera di

accumulo fino all'iniezione successiva. Successivamente l'anello retrocede fino ad andare in battuta sulla ghiera, denominata "ralla", la quale realizza una tenuta ermetica che impedisce al materiale di ritornare nella camera di plastificazione (effetto di non ritorno). Se l'anello non è abbastanza reattivo, quindi non si muove con necessaria rapidità e regolarità, oppure non riesce ad andare completamente in battuta, le condizioni di iniezione vengono variate.

Il successo di una buona iniezione è la tenuta fra la ralla, la valvola e il materiale di carica. Una tenuta errata comporta la perdita di materiale dalla camera d'iniezione e il ritorno di esso dalla zona di omogeneizzazione alla zona di compressione, con conseguenze nefaste per il prodotto finale e per l'intero ciclo produttivo.

Per permettere un'ottima lavorazione, l'insieme puntale-ralla-valvola dovrebbe garantire che durante il percorso della carica sino alla zona prettamente vicino allo stampo, chiamata Camera d'iniezione, non si verificano:

- Punti di ristagno del materiale, pericolosi nel caso di cariche additivate con fibre usuranti, quali la Fibra di vetro, con conseguenze abrasive nei confronti della vite;
- Restrizioni di flusso, con conseguenti compressioni sulla carica e possibili gradienti termici localizzati in grado di degradare il termoplastico;
- Tenute imperfette con perdita di materiale dalla camera d'iniezione e conseguente arretramento della vite.

2.3.3 L'ugello

L'ultimo componente del cilindro di plastificazione è l'ugello, dal cui foro il materiale allo stato fuso verrà iniettato nelle cavità dello stampo. Esistono molteplici varianti di questo elemento, dai tradizionali ugelli standard con funzione di solo iniettore ad ugelli filtro, in grado di separare impurità del fuso, quali particelle metalliche. Esistono altresì ugelli miscelatori, che permettono l'omogeneizzazione della massa fusa. Essi vengono usati soprattutto qualora la carica sia una miscela di più polimeri, facilitando la loro mescola ed evitano striature e tensionamenti dovuti a differenti ritiri nel manufatto finale.

Nella Figura 2.6 è schematizzato un ugello, ed in particolare sono evidenziate le aree di passaggio del fuso. Il Diametro dell'Ugello deve essere sufficientemente ampio da non costituire una strozzatura per il passaggio del materiale, provocando una caduta di pressione eccessiva, durante la fase di riempimento impronta. Tale caduta di pressione è inversamente proporzionale alla quarta potenza del Diametro ugello. La Lunghezza dell'ugello, al passaggio del materiale, genera anch'essa (anche se solo in modo proporzionale) una caduta di pressione,

pertanto si consiglia di ridurre tale lunghezza alla stessa dimensione del diametro ugello, o poco di più. Quindi si può affermare che la lunghezza dell'ugello è uguale al diametro dell'ugello, ovvero $L_u = D_u$ con $L_u = 1,5 D_u$. (Bertacchi, 2011)

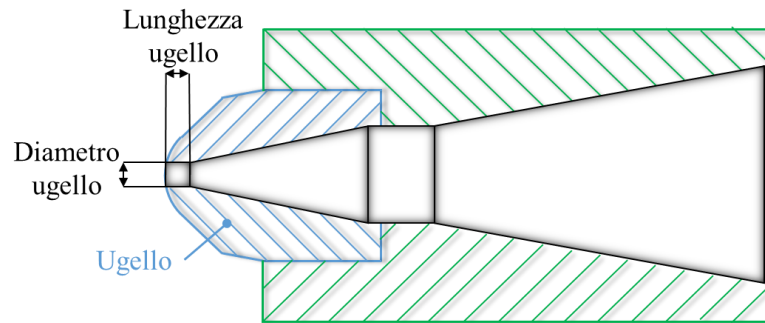


Figura 2-6 Ugello in sezione (area blu)

La temperatura dell'ugello deve essere impostata sulla temperatura di fusione del materiale o appena sotto di essa, a seconda della raccomandazione del fornitore del materiale. Quando si è nella fase di lavorazione, il cilindro di plastificazione avanza finché il raggio dell'ugello non si trova a battuta col raggio della bocca del canale di colata, come mostrato nella Figura 2.7(a). Durante lo spurgo del cilindro, questo trasla indietro, si discosta dal faro di colata dello stampo, come mostrato nella Figura 2.7(b), in modo che il composto può essere espulso liberamente a caduta.

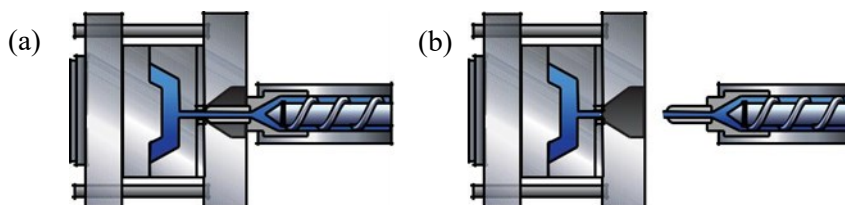


Figura 2-7 (A) ugello in posizione di lavorazione (b) ugello in posizione per spurgo

2.4 LO STAMPO

È una matrice che viene appositamente costruita per la realizzazione di un pezzo con una determinata forma. Lo stampo è costituito da due gusci, chiamati semi-stampi.

Il semi-stampo mobile (punzone) trasla insieme alla ginocchiera posta nel gruppo di chiusura; la parte fissa (matrice) rimane ancorata nella zona di plastificazione (lato fisso) vedi Figura 2.8.

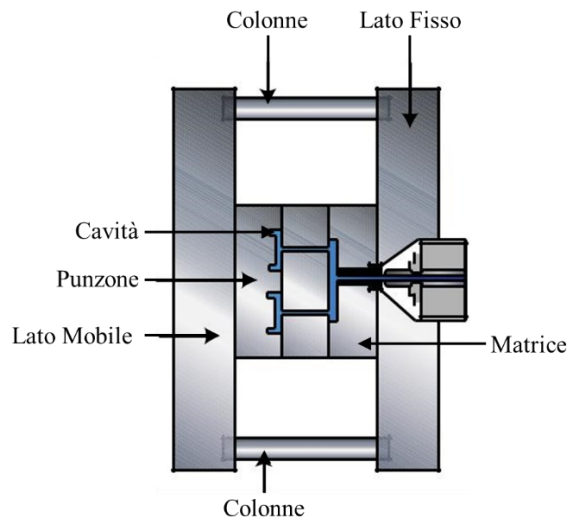


Figura 2-8 Schema Stampo con 3° piastra

Lo stampo è uno dei componenti indispensabili per il processo di iniezione, in quanto al suo interno avvengono le seguenti fasi: Determinare della forma dell'oggetto da stampare; Propagare il fuso dal cilindro di plastificazione all'interno dello stesso tramite i canali di alimentazione; Raffreddare del manufatto finché non si è solidificato; Espellere l'oggetto stampato senza provocare deformazioni e rotture.

Una caratteristica molto importante che determina l'efficienza del macchinario è la precisione dello stampo: esso non deve richiedere continui aggiustamenti ai parametri del processo, non deve prevedere lunghi tempi di manutenzione, inoltre l'asportazione del calore per il raffreddamento deve essere corretta in modo da ottimizzare il tempo di ciclo. Se non vengono rispettate le condizioni per la massima precisione dello stampaggio è indispensabile riprogettare lo stampo in modo da avere il massimo della riproducibilità nel processo di stampaggio, evitando quindi che il macchinario stia fermo risultano improduttivo.

È di fondamentale importanza evidenziare che lo stampo, rispetto a tutti gli altri componenti che costituiscono la pressa, ha un costo di acquisto elevato che in certi casi risulta essere pari quasi al costo del macchinario stesso.

Diversi fattori incidono sul costo di realizzazione di uno stampo:

- La geometria: più complessa è la struttura geometrica del manufatto, più è elevato il costo dello stampo;
- Numero di cavità: corrisponde al numero di pezzi che si possono stampare in ogni ciclo, cioè la quantità di figure presenti in uno stampo.

- I costi di progettazione aumentano all'aumentare del numero di cavità, ma aumenta la produttività della macchina, aumentando anche il profitto;
- Tipo e posizione dei canali di alimentazione: nello schema a canali caldi diminuisce il tempo di propagazione del fuso nello stampo, si riduce il tempo di raffreddamento, riducendo di conseguenza il tempo di un ciclo, ma con un notevole aumento il costo dello stampo a causa della struttura geometrica più complessa; uno schema a canali freddi richiede tempi di ciclo leggermente più lunghi, ma ha costi di produzione minori;
- Materiale utilizzato: per sfruttare al meglio le caratteristiche meccaniche e ridurre l'usura, gli stampi vengono realizzati in acciaio bonificato o temprato;
- Tipo e posizione degli estrattori;
- Tipo e posizione dei canali di raffreddamento;
- Tipo e posizione dei dispositivi di sfiato;
- Grado di finitura superficiale che si vuole ottenere;

Come definito prima, il numero di cavità è il numero di figure presenti in uno stampo: usare stampi con cavità multiple incrementa la produttività della pressa, a discapito della capacità di plasticizzazione dell'unità di plastificazione. Un maggiore numero di cavità comporta un maggiore volume che il cilindro di plastificazione deve fondere. Non esiste un criterio matematico per determinare il numero di cavità di uno stampo, in quanto dipende da diversi fattori, tra i quali il più importante è la geometria del pezzo da stampare. In ogni caso conviene sempre, dove possibile, avere due o più figure per ogni stampo, in modo da avere un ritorno economico più rapido.

La definizione di uno stampo avviene in base alle scelte costruttive fatte dal progettista, che dovrà prendere decisioni in merito ad alcuni parametri che influenzano i costi di produzione dello stampo: numero di sottosquadri, superficie di separazione tra i semi-stampi, numero di figure, tipo e posizione dei canali di alimentazione, tipo e posizione dei canali di iniezione, tipo e posizione degli estrattori, tipo e posizione dei dispositivi di sfiato, materiale dello stampo.

2.4.1 *Canali di alimentazione*

Ogni stampo ha la necessità di avere dei canali di alimentazione per trasportare il fuso dall'iniettore, posto al centro dello stampo, e le figure posizionate all'estremità. È costituito dall'insieme di canali che convogliano il polimero fuso nelle cavità da riempire.

La scelta della struttura delle canalizzazioni influenza in modo sostanziale i costi di costruzione sia dello stampo che dello stampaggio ed ha incidenti effetti sulla qualità dei prodotti. Un sistema di alimentazione non idoneo può portare a prodotti finiti difettosi, in quanto non vengono soddisfatti i criteri di omogeneità delle variabili di campo, come ad esempio la temperatura: possono verificarsi condizioni di degradamento del materiale dovuto a temperature troppo elevate, oppure l'estremo opposto in cui le cavità non sono completamente riempite a causa dei sistemi di alimentazione che provocano un raffreddamento anticipato del polimero, bloccandone il flusso.

Le migliori geometrie sono sempre a sezione circolare che rendono minimo lo spreco di materiale a parità di perdite di pressione, inoltre sono prive di "spigoli vivi" che aumenterebbero il rischio di degradazione del polimero fuso; in commercio sono presenti anche altre geometrie per canali particolari: a sezione rettangolare, trapezoidale o semicircolare.

Per ridurre i tempi di produzione si può utilizzare un sistema di alimentazione a canali caldi, che diminuisce il tempo di ciclo ma aumenta i costi di progettazione e produzione dello stampo, in alternativa al sistema di alimentazione tradizionale a canali freddi.

2.4.2 *Sistema di alimentazione tradizionale*

Sono posizionati nella parte fissa dello stampo, in modo consentire facilmente l'espulsione della materozza quando si ha l'estrazione del manufatto. La struttura è costituita da un ugello caldo che collega lo stampo all'unità di plastificazione e da tre principali canali freddi (vedi Figura 2.8):

- La carota (sprue);
- I canali di alimentazione (runner);
- I canali di iniezione (gate).

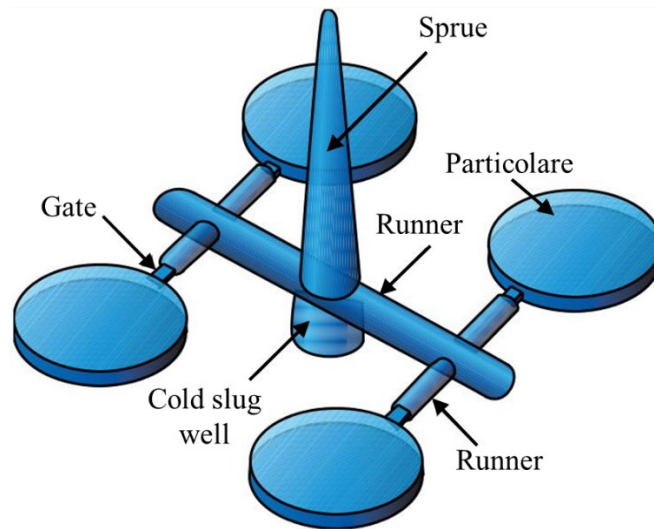


Figura 2-9 Schema di una materozza con indicati i canali principali

L'insieme dei tre elementi (*sprue, runner e gate*) forma la materozza; inoltre i canali di alimentazione si suddividono in primari e secondari: i primari sono direttamente collegati alla carota, mentre i secondari sono i rami che si collegano ai canali primari.

Il sistema a canali tradizionali è lavorato direttamente sullo stampo di cui assume la stessa temperatura media. Il materiale solidifica nei canali ad ogni iniezione e va estratto alla fine di ogni ciclo, poi viene riciclato e riutilizzato per le successive miscele.

Nel caso di stampi multi-impronta i canali devono essere in grado di distribuire in maniera uniforme il materiale fuso in tutte le zone dello stampo in modo simultaneo (per non avere tempi di raffreddamento diversi), ed inoltre devono garantire minime cadute di pressione in tutte le cavità. È di fondamentale importanza che i canali vengano progettati in modo da non raffreddarsi fino alla temperatura di non flusso prima che sia terminato il tempo di compattazione specifico del polimero, cioè i canali non si devono raffreddare finché non è stato iniettato tutto il volume di materiale fuso (prima iniezione e compattazione). Intuitivamente si può pensare di aumentare il diametro dei canali per ridurre i problemi di raffreddamento precoce ma, l'aumento dell'area del canale porta ad una maggiore necessità di plastificazione e un ΔT di temperatura da asportare maggiore, penalizzando il ciclo del processo.

Data la struttura interna meno complessa dei canali tradizionali, i costi di degli stampi risultano minori, fattore non trascurabile dato che lo stampo costa indicativamente come il macchinario. Di contro, questo sistema di alimentazione penalizza leggermente la produttività, perché i tempi di ciclo non si possono ridurre; inoltre l'utilizzo di materozza aumenta la

quantità di materiale utilizzato per ogni singola stampata, incidendo sui costi delle materie prime.

2.4.3 Sistemi di alimentazione caldi

Il processo in a canali caldi viene definito senza materozza, nel quale il trasferimento del polimero fuso dal cilindro di plastificazione alle cavità avviene tramite passaggi mantenuti caldi che consentono di tenere fuso il polimero. I canali sono contenuti in un apposito blocco, il *manifold*, ovvero il distributore e sono collegati ai punti di iniezione tramite degli ugelli caldi. È tenuto separato dal resto dello stampo riducendo il più possibile le aree di contatto perché deve operare a temperature uguali a quelle del polimero fuso (tra i 150 °C e i 300 °C).

I primi sistemi di alimentazione a canali caldi ad essere stati progettati sono definiti canali isolati, i quali vengono creati grazie ad uno strato di materiale polimerico che solidifica e permette al suo interno il passaggio dello stesso allo stato fuso. Per creare la situazione a canali isolati è necessario avere dei canali sufficientemente grandi in modo tale da mantenere delle temperature elevate al centro e garantire il flusso di polimero.

È necessario dimensionare i canali caldi non solo in funzione del polimero e della temperatura, ma anche della qualità iniettata ad ogni ciclo e della frequenza di stampaggio. I sistemi a canali isolati sono fortemente influenzati dal tempo e dalla frequenza di ciclo in quanto, se si verifica un'interruzione durante il ciclo, si ha il raffreddamento completo del canale, che va a incidere sulle condizioni di flusso. Per questo motivo i sistemi a canali caldi sono sconsigliati per processi di stampaggio con tempi di ciclo lunghi e, in ogni modo, sono poco utilizzati perché non ci sono le condizioni di continuità del processo: un'interruzione di ciclo modifica le condizioni della stampata successiva, quindi non si ha un controllo termico dello stampaggio.

Esistono dei sistemi senza materozza più efficienti, nei quali viene applicato un riscaldamento direttamente sul blocco esterno della manifold mentre il resto dello stampo viene isolato e tenuto a temperature inferiori rispetto agli stampi con canali progettati in maniera differente. Questi impianti vengono definiti a canali caldi veri e propri. Sono molto più popolari dei canali descritti in precedenza ed inoltre non presentano i problemi di ripetibilità del ciclo di produzione, perché il controllo termico è migliore nelle interruzioni durante lo stampaggio. Anche i sistemi a canali caldi presentano delle difficoltà, le quali sono ancora oggi oggetto di studio al fine di ottimizzare le iniezioni: problemi nell'isolamento corretto del *manifold* dallo stampo, senza penalizzare il tempo di ciclo; rapido riscaldamento del *manifold* con buona omogeneità nella temperatura in tutte le zone dello stampo; possibilità di avere delle zone di ristagno nel *manifold* con un conseguente degradamento del fuso; problemi di

gocciolamenti e raffreddamenti prematuri nella zona di iniezione; possibili problemi di manutenzione e di usura dello stampo.

Rispetto a quanto detto sui canali tradizionali, questi sistemi sono più convenienti dal punto di vista pratico: dovendo asportare calore solo in un'area ridotta dello stampo (*manifold*) si riducono notevolmente i tempi di raffreddamento, che incidono positivamente sul tempo di ciclo e quindi anche sulla produttività; inoltre il mantenimento del materiale allo stato fuso, ciclo dopo ciclo riduce il consumo di polimero (grazie all'assenza della materozza) e richiede meno energia alla pressa perché sono necessarie minori pressioni di iniezione. L'aspetto negativo di questi stampi è la struttura molto complessa, che ha un impatto pesante sul costo di acquisto dello stesso e, spesso, un'elevata produzione non riesce ancora a giustificare il costo di investimento così elevato.

2.4.4 Punti di iniezione (*gate*)

I punti di iniezione hanno la duplice funzione di controllare il flusso in entrata del polimero nella cavità e di consentire un facile distacco del materiale durante l'estrazione.

Non esiste una regola matematica per determinare quanti punti di iniezione sono necessari per ogni figura, bensì una regola empirica: si parte con un unico *gate*, soluzione migliore in quanto si minimizza il numero di canali, aggiungendone altri eventualmente quando si verificano problemi di incompleto riempimento della cavità.

Se la figura ha uno spessore variabile, conviene posizionare il punto di iniezione nella zona a spessore più elevato. Di norma comunque il progettista utilizza *software* per determinare il posizionamento ottimale del *gate*.

Nel caso di sistemi a canali caldi, la struttura risulta incompleta: bisogna posizionare un ulteriore ugello con otturatore nel punto di iniezione per evitare il riempimento parziale della cavità (il polimero plastificato tende a rimanere nel canale allo stato fuso).

2.4.5 Sfiati

Un stampo ben progettato include dei canali di sfiato che hanno la funzione di espellere inclusioni di gas che potrebbero risiedere all'interno del polimero fuso.

Per quanto riguarda gli sfiati passivi, basta inserire un sistema di canalizzazione che espelle le inclusioni di gas all'esterno, o eventualmente creare dei giochi negli estrattori, in modo da permettere il passaggio dell'aria. Una regola empirica stabilisce che un sistema adeguato di sfiato deve ricoprire il 30% del perimetro della cavità. Un problema che deriva da uno scarso

sistema di espulsione dell'aria porta alla presenza di bolle di gas o bruciature superficiali che rendono il manufatto un pezzo di scarto.

Considerando che l'aria intrappolata nel fuso subisce una trasformazione adiabatica di compressione allora segue la legge

$$pv^k = cost$$

Dove p è la pressione [Pa], v il volume massico specifico [m^3/kg] e k esponente dell'adiabatica (per l'aria $k=1,4$) e trattando l'aria come un gas ideale alla pressione atmosferica allora risponde alla legge del gas ideale

$$pv = RT$$

Dove R è la costante del gas aria e vale 287 kJ/kg.

Sostituendo nella prima equazione la legge del gas ideale, posso esplicitare la temperatura T_2 di fine compressione, per dimostrare che è più elevata della prima, provocando delle bruciature superficiali nel pezzo senza gli adeguati canali di sfiato:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1-k}{k}}$$

In cui T_1 , p_1 indicano la temperatura e la pressione a inizio compressione, T_2 , p_2 la temperatura e la pressione a fine compressione.

Il rapporto p_1/p_2 è minore di zero, mentre l'esponente è una quantità negativa quindi la potenza che ne risulta è un valore maggiore dell'unità che va ad incrementare la temperatura di inizio compressione.

Accanto ai sistemi passivi, esistono quelli attivi, caratterizzati dalla presenza di dispositivi per l'aspirazione del gas; in questo caso le figure sono svuotate prima dell'iniezione. Per alcuni materiali polimerici altamente fluidi è necessaria l'espulsione attiva del gas, in quanto si rischia un'occlusione indesiderata dei canali prima del completo riempimento. Sicuramente un sistema attivo risulta molto più sicuro ed efficiente di uno passivo, ma i costi per l'installazione dell'impianto ausiliario sono maggiori, andando ad incrementare i costi di investimento iniziali.

2.4.6 *Materiale dello stampo*

La scelta del materiale dipende fondamentalmente dalle dimensioni del manufatto e dalla durata della produzione. I requisiti che un materiale deve soddisfare sono:

- Elevata lavorabilità in fase di produzione dello stampo;
- Possibilità di eseguire trattamenti termici senza alterare lo stato di tensione interne dello stampo;
- Buone caratteristiche meccaniche (durezza);

- Elevata resistenza al calore, all'usura e alla corrosione;
- Ottima conducibilità termica.

Per la realizzazione dello stampo il materiale più utilizzato è sicuramente l'acciaio: acciai da cementazione e da tempra, acciai da nitrurazione, acciai da bonifica ed acciai inossidabili. Altri materiali per soddisfare richieste di stampaggio particolari sono: leghe di rame, leghe di zinco, leghe di alluminio o leghe di bismuto.

2.4.7 Sistema di raffreddamento

È un impianto indispensabile per l'esportazione del calore nello stampo, al fine di avere sempre una temperatura omogenea in tutte le zone dello stampo e di ridurre al minimo il tempo di raffreddamento. I raffreddatori possono essere ad aria o ad acqua, i secondi per manufatti di grandi dimensioni e necessitano di un impianto ad acqua esterno alla pressa.

2.5 L'UNITÀ DI CHIUSURA

Il sistema di chiusura della pressa ha la funzione di chiudere lo stampo imprimendo una forza quando il materiale si sta plasticizzando all'interno della vite, seguito dal mantenimento dello stampo chiuso durante la fase di compattazione. Successivamente, terminata la fase di raffreddamento del manufatto, il motore aziona il meccanismo di apertura dello stampo e sgancia il prodotto finito dallo stampo per mezzo degli estrattori.

Al gruppo di chiusura è affidato il compito fondamentale di contrastare la forza di apertura che si genera a causa dell'iniezione del polimero fuso nello stampo.

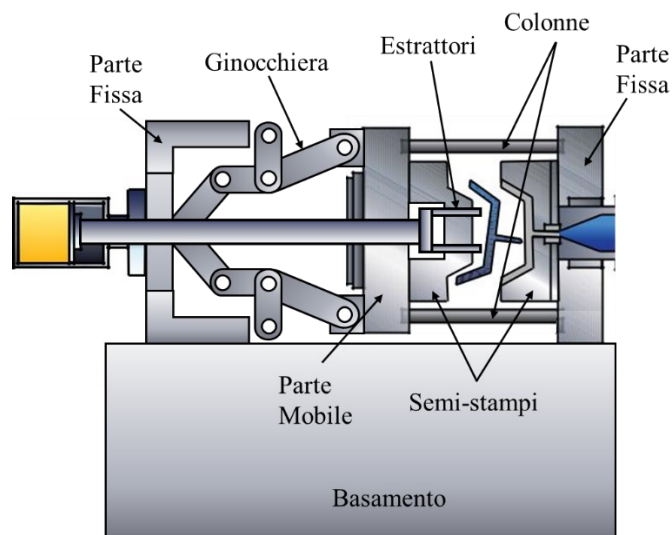


Figura 2-10 Schema gruppo di chiusura a ginocchiera

Dalla figura 2.10 si può vedere che il gruppo di chiusura è costituito da due piastre fisse sorrette da quattro colonne, posizionate a due a due per lato. Tra le piastre fisse è posizionata la piastra mobile che ha il compito di traslare avanti e indietro a seconda che il comando sia di apertura o di chiusura dello stampo. Infine, i due semi-stampi sono montati secondo un ordine ben preciso: la femmina (parte fissa dello stampo) è posizionata a destra della zona di chiusura, cioè quella più vicina alla zona di plastificazione; il maschio viene collocato nella piastra mobile libera di traslare. Tra i due semi-stampi sono presenti delle colonne guida che consentono un perfetto accoppiamento nella fase di chiusura per l'iniezione.

I sistemi di chiusura vengono realizzati in vari modi a partire dai metodi diretti, nei quali un unico pistone centrale spinge la piastra mobile verso il semi-stampo fisso, ormai abbandonati per le ridotte potenze in gioco e gli ingombri notevoli, a sistemi indiretti.

Non si è ancora raggiunto il massimo risultato nel sistema di chiusura: le continue ricerche portano a miglioramenti sempre più eccellenti in merito ad ingombro, rumorosità e usura dei componenti meccanici. Attualmente le migliori unità di chiusura sono quelle a ginocchiera, preferibili rispetto ai sistemi diretti per due motivi: Esercitano delle forze di chiusura elevate nonostante la potenza del motore sia minore; Utili quando si hanno corse ridotte.

Grazie alla posizione di singolarità che assume il braccio della ginocchiera quando l'angolo α è pari a zero (posizione della biella manovella a fine corsa), le forze di chiusura aumentano: esse infatti moltiplicano la spinta fatta da un pistone per venticinque volte rispetto ad un semplice pistone.

I sistemi di regolazione di sicurezza che agiscono sulle pressioni generate dalla forza di serraggio del sistema di chiusura, garantiscono la precisione millimetrica in fase di chiusura/apertura dello stampo, inoltre bloccano il macchinario in presenza di corpi estranei.

Per scegliere il valore della forza di chiusura, e quindi per poter scegliere la taglia della pressa, si calcola il prodotto dell'area proiettata della figura (o della somma delle figure di uno stampo), cioè l'area della proiezione della stessa sul piano perpendicolare alla direzione di chiusura dello stampo con i canali di iniezione inclusi e moltiplicata per la pressione massima. Il risultato ottenuto è maggiorato del 15% - 20% per motivi di sicurezza.

$$F_{serraggio} = 1,2 \times (A_{proiettata\ delle\ figure} \times p_{max})$$

2.5.1 Estrattori

I sottosquadri presenti nello stampo e i ritiri che si verificano durante la fase di mantenimento provocano delle adesioni del manufatto alle pareti dello stampo: più precisamente si verifica una tenuta nello stampo mobile. L'espulsione del pezzo stampato e solidificato avviene per mezzo degli estrattori, componenti meccanici che possono essere di tipo pneumatico, idraulico ed elettrico; sono collegati al motore dell'unità di chiusura e agiscono provocando una forza sul manufatto una volta che lo stampo è aperto.

Gli estrattori tradizionali sono molto efficienti quando si tratta di espellere componenti stampati piccoli ed agiscono imprimendo una forza agli stessi che li spinge per effetto gravitazionale verso i nastri trasportatori.

Gli estrattori presenti in commercio sono dei perni cilindrici a sezione circolare con diametro che varia tra i 1,5 mm e i 25 mm, sono soggetti a instabilità per carico di punta e quindi soggetti a una forza massima (forza critica) che possono imprimere.

Per quanto riguarda il posizionamento nello stampo, si considera che un estrattore lascia l'impronta, quindi bisogna posizionarli in zone non estetiche dello stampo.

Nel caso di manufatti di grandi dimensioni, bisognerebbe aumentare la forza di estrazione, soluzione non conveniente in alcuni casi. L'introduzione dei manipolatori, particolare tipologia di macchinare ausiliario, riduce i problemi di estrazione di grandi componenti.

2.6 LE VITI A RICIRCOLO DI SFERE

Per la conversione da moto rotatorio a lineare dal motore è necessario un componente meccanico aggiuntivo: la vite a ricircolo di sfere, che è un particolare tipo di vite filettata (concava) in cui vengono inserite delle sfere nel vano a spirale creato. L'evoluzione verso questo tipo di componente meccanico ha permesso di convertire l'attrito radente in attrito volvente, preferibile al primo perché ha una resistenza molto minore con conseguente minore forza da applicare per avere lo stesso risultato.

Man mano che la chiocciola avanza, le sfere vengono scaricate dietro la chiocciola stessa, trasportate davanti ad essa e automaticamente ricaricate, dando origine al nome della vite.

L'utilizzo della vite a ricircolo di sfere garantisce dei vantaggi:

- Elevata efficienza ($\eta=90\%$) e durata;
- Resistenza all'usura;
- Significativa rigidità assiale;
- Riduzione dell'attrito tra le parti in contatto.

2.7 I PARAMETRI COSTRUTTIVI E LA CLASSIFICAZIONE DI UNA PRESSA

Una pressa per l'iniezione è caratterizzata da:

- Volume massimo di iniezione, espresso in cm^3 . È il volume massimo di iniezione teoricamente iniettabile in ogni ciclo, calcolato in base alla geometria del sistema. Si calcola come prodotto della sezione del pistone per la sua corsa;
- Portata volumetrica massima di iniezione, espressa in cm^3/s . Si riferisce alla portata di iniezione in riferimento alla velocità massima di traslazione della vite;
- Portata massima di plastificazione, espressa in g/s. Valuta la portata massima di polimero fuso, se questa variabile è troppo grande rispetto al volume della stampata si ha un tempo di attraversamento della vite troppo lungo con conseguente degrado del polimero e tempi di ciclo troppo lunghi;
- Pressione massima di iniezione [Pa]. È generata dal moto traslatorio della vite verso lo stampo;
- Forza massima di chiusura dello stampo [N]. Esprime la forza massima che il meccanismo di chiusura è in grado di esercitare sullo stampo, forza che riesce a contrastare la pressione di iniezione;
- Passaggio tra le colonne. È il parametro che identifica la massima dimensione dello stampo che può essere montato nella pressa. In caso di stampo molto grande si può eliminare una colonna per installarlo, mentre se lo stampo è eccessivamente piccolo rispetto al passaggio tra le colonne è preferibile montarlo su presse di misura minore, in quanto la forza di chiusura provoca delle flessioni sulle piastre, fino a causare anche la rottura delle colonne. Uno stampo di misura ottimale ricopre almeno il 70% dell'area tra le colonne;
- Disposizione dell'unità di chiusura rispetto al gruppo di plastificazione: le presse vengono classificate in orizzontali (H) o disposte verticalmente (V);
- La corsa di apertura del piano mobile, cioè la distanza massima tra i due semi-stampi in posizione aperta;
- Il tempo di ciclo a vuoto che la pressa può effettuare alla velocità massima, senza produzione di manufatti.

Le presse vengono classificate in base alla loro taglia (forza di chiusura):

- Presse piccole, con taglie tra i 50-100 tonnellate ($1 \text{ tonnellata} = 10^4 \text{ N}$), con diametri della vite di circa 25 mm e volumi di iniezione di 30-100 cm^3 ;
- Presse medie, taglie tra le 100-600 tonnellate, diametri nel range 35-100 mm e volumi di iniezione da 200 a 2000 cm^3 . Il numero di giri della vite è di circa 200-

300 rpm, la pressione di iniezione pari a 1000-2500 bar (1 bar = 10^5 Pa) e il flusso di iniezione di 100-1000 cm^3/s ;

- Presse grandi. La forza di chiusura varia tra 1500 e le 10000 tonnellate, volumi di iniezioni fino a 200000 cm^3 , utilizzate solo per grandi manufatti (cabine telefoniche, componenti di una nave, contenitori per rifiuti, settore automobilistico).

2.8 DESCRIZIONE DEL CICLO DI STAMPAGGIO AD INIEZIONE: FISICA DEL PROCESSO

Le fasi e le interazioni sono espresse in figura 2.11 e descritte successivamente. Una sequenza di immagini può aiutare la comprensione.

Il processo di stampaggio è diviso in 5 fasi principali:

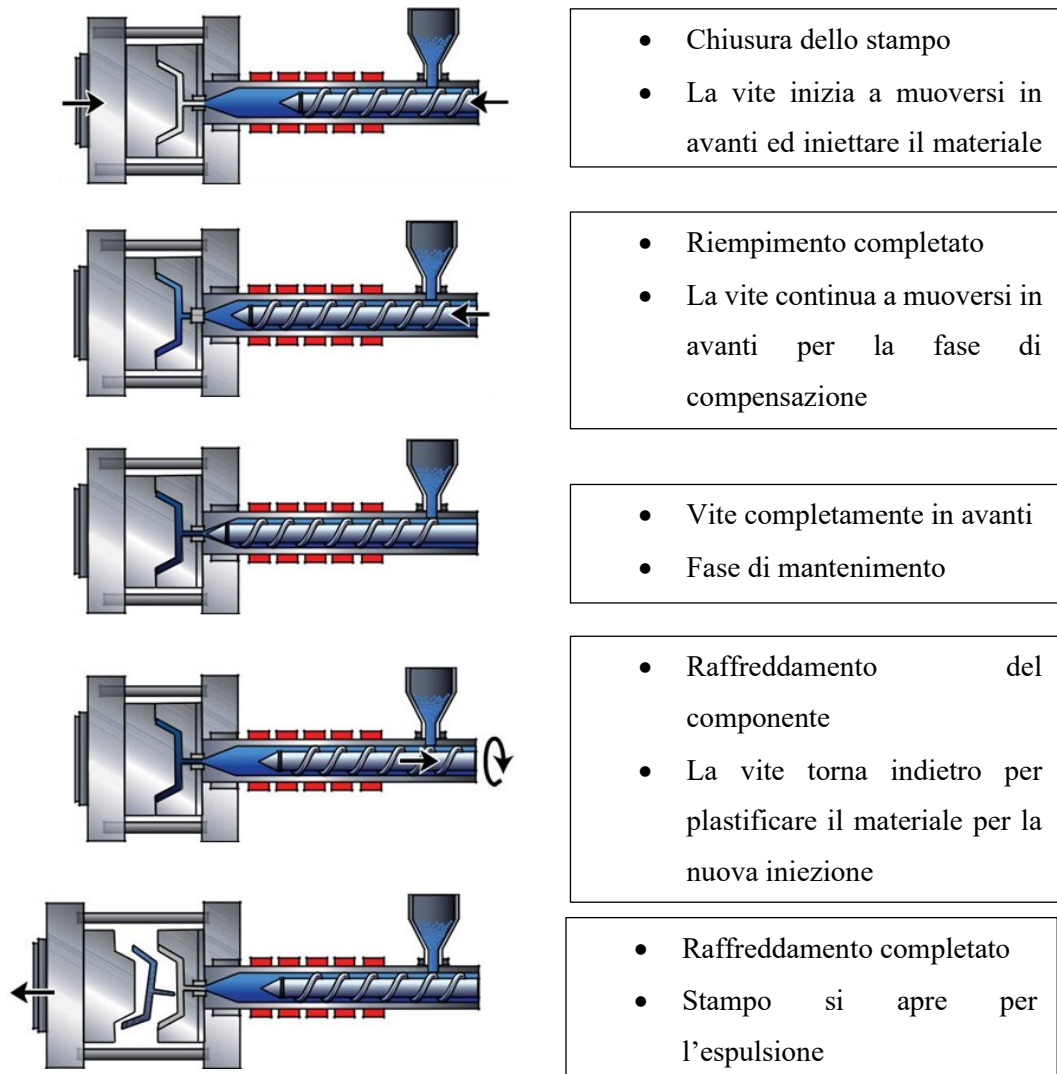


Figura 2-11 Rappresentazione del ciclo di stampaggio ad iniezione

- Fase di riempimento: il materiale caricato all'interno della tramoggia scende nella camera di plastificazione. Qui, la rotazione della vite ne permette il passaggio lungo l'intera camera fino a raggiungere il punto di iniezione, dove viene spinto all'interno delle cavità dello stampo. Il controllo di questa fase è puramente volumetrico, la velocità di avanzamento o velocità di iniezione della vite punzonante è determinata dalla pressa, per regolare la portata di materiale.
- Fase di iniezione e compensazione o pressurizzazione: il materiale fuso prosegue nelle cavità dello stampo, dove si assiste ad una leggera crescita di pressione. In questa fase si ha la pressione di "picco" o di "compattamento".
- Fase di mantenimento e plastificazione: il materiale ormai giunto in tutte le cavità dev'essere ulteriormente spinto per migliorare la densità finale e compensare le contrazioni termiche causate dal raffreddamento. Se non correttamente compensate, tali contrazioni sarebbero oggetto di risucchi, sia sulla superficie sia nella sua parte più interna. La portata di materiale introdotta in questa fase è nettamente inferiore rispetto a quella delle fasi precedenti e dipende dall'equilibrio idrodinamico (delta di pressione).
- Fase di raffreddamento: questa fase inizia dall'istante in cui il materiale fluisce all'interno dello stampo, al tempo zero. Se lo stampaggio è ben impostato, il fenomeno di raffreddamento viene contrastato dal calore generato per dissipazione dal flusso contenuto nello stampo. Per questo motivo, si considera la fine della fase di iniezione come inizio del tempo totale della fase di raffreddamento.
- Fase di estrazione del componente: affinché il componente sia raffreddato a sufficienza, la pressione interna viene azzerata e si procede alla sua espulsione dallo stampo. È necessario che l'elemento raggiunga una temperatura idonea e una certa rigidità strutturale tale da impedire eventuali deformazioni durante l'estrazione e il successivo raffreddamento in aria. La forma finale del pezzo, con i ritiri ed eventuali deformazioni, richiede tempo per completarsi a causa dei fenomeni di ritardo di cristallizzazione e riequilibrio di tensioni interne.

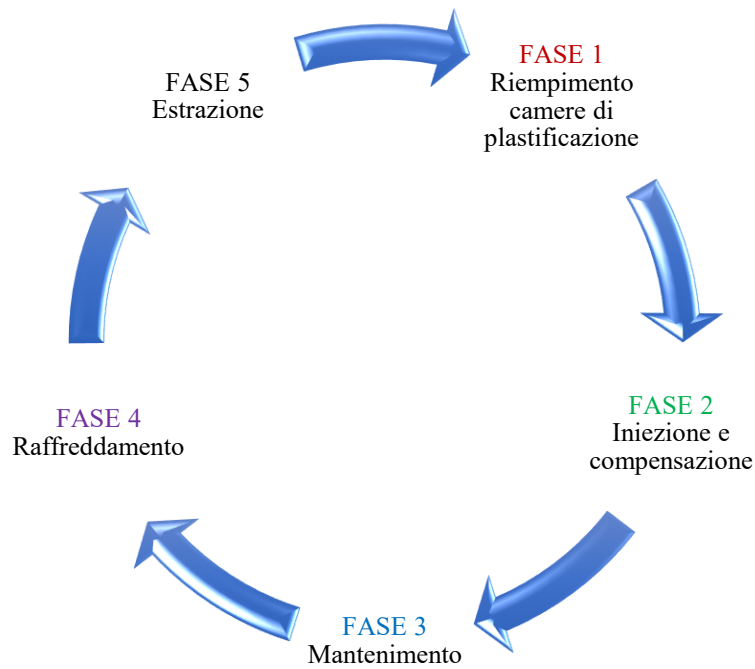


Figura 2-12 Ciclo di stampaggio

2.8.1 Evoluzione della pressione

Per semplicità, si trascurano le perdite di carico all'inizio della fase d'impaccamento. Le misurazioni di pressione all'interno dello stampo vengono effettuate in due posizioni distinte:

- All'entrata dello stampo (nella materozza) durante la fase di iniezione sino all'inizio della fase di compattazione;
- Localmente nella cavità del manufatto (dopo il punto di iniezione) dopo la fine della compattazione e il completamento del raffreddamento sino al momento di estrazione.

Come si evidenzia nel grafico in figura 2.13, nella fase di riempimento la pressione comincia a crescere dall'istante in cui il fuso raggiunge il sensore di pressione piazzato nella cavità; completato il riempimento dello stampo la pressione cambia rapidamente di livello perché inizia la fase di mantenimento.

Nella fase di mantenimento, la pressione decresce linearmente. Ciò dipende dall'aumento della viscosità dovuto al raffreddamento ed è relativamente bassa, si continua ad applicare pressione e introdurre materiale.

Nella fase successiva, che comprende sia il raffreddamento che l'estrazione, il grado di decrescita della pressione è maggiore, ed è dovuta al fatto che il raffreddamento avviene senza alcun ulteriore aggiunta di materiale (avviene quando il gate si solidifica).

Alcune considerazioni importanti per una buona finalit  del processo sono:

- Avere una fase di riempimento sufficientemente rapida, per ottenere la migliore uniformit  di temperatura in tutti i punti del manufatto;
- Utilizzare il minor numero di punti di iniezione, per ridurre il numero di giunzioni possibili e pertanto la possibile generazione di difetti sia estetici che di scarsa prestazione meccaniche.

I parametri che maggiormente influiscono la fase di compattazione riguardano le caratteristiche del materiale polimerico, in modo particolare alla compressibilit  e la diminuzione del volume specifico.

Per comprendere e controllare il ciclo di stampaggio uno dei metodi pi  efficienti e semplici   quello di seguire l'evoluzione della pressione.

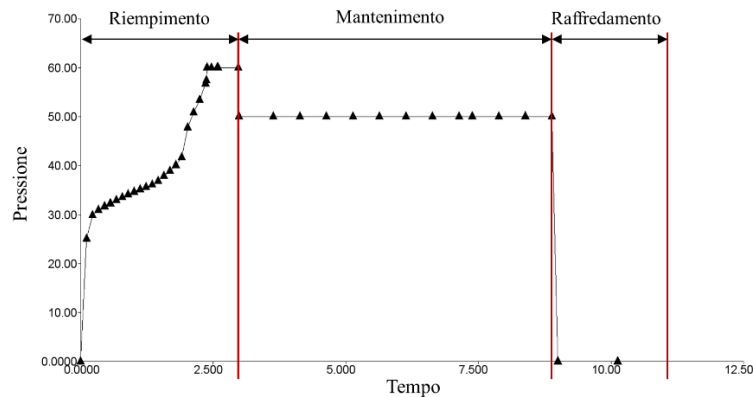


Figura 2-13 Evoluzione idealizzata della pressione in cavit  con il tempo

2.8.2 Tempo Ciclo

Come si osserva dalla figura 2.14, si   rappresentato un semplice diagramma a torta con le singole fasi che racchiudono l'intero tempo ciclo di un comune processo di stampaggio.

Il tempo ciclo totale   somma dei tempi delle singole fasi. La fase di mantenimento in pressione e quella dovuta al raffreddamento del pezzo stampato richiedono un maggior tempo rispetto alle altre.

  da considerare che frazione del tempo di raffreddamento pu  essere parzialmente recuperata, in quanto si verifica una fase definita come raffreddamento sigillato. Nella parte finale del processo, il flusso ormai   solido e ci  consente di tenere intrappolato il materiale all'interno dello stampo; in questo modo la vite pu  retrarre e procedere con la rotazione per raccogliere altro materiale per il ciclo successivo. Per accorciare i tempi e quindi costi,   importante controllare e valutare le variabili di processo che portano ad un cambiamento del tempo nelle singole fasi.

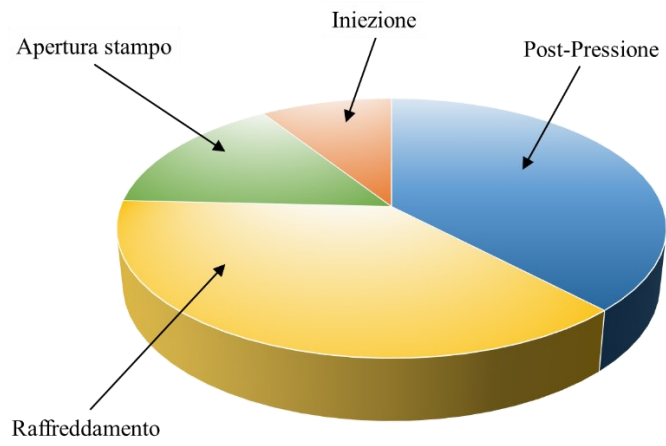


Figura 2-14 Tempo ciclo totale con evidenziate le singole fasi

Capitolo 3

I MATERIALI POLIMERICI

I materiali utilizzati per lo studio del particolare sono polimeri termoplastici ed elastomero termoplastico, in particolare PP+30%FibraVetro e TPE-V.

Questo capitolo ha l'obiettivo di introdurre in modo generale le caratteristiche dei materiali polimerici, focalizzando l'attenzione sui materiali utilizzati, integrando le conoscenze apprese durante il Corso di Studi con le informazioni acquisite in azienda.

Diversi argomenti trattati in questo capitolo sono alla base dei procedimenti e delle scelte riguardanti le fasi di stampaggio e delle proprietà meccaniche.

3.1 GENERALITÀ

La famiglia dei polimeri è composta da materiali termoplastici e termoindurenti. Le resine termoplastiche sono formate da lunghe catene polimeriche, ognuna delle quali può essere più o meno ramificata da altre catene o gruppi di catene.

La caratteristica principale riguarda la loro capacità di poter essere ripetutamente portate a temperatura di fusione e raffreddate mantenendo pressoché le stesse proprietà di partenza.

Nelle resine termoindurenti questa attività non avviene, in quanto il materiale ne resterebbe carbonizzato.

Nel tempo, la demarcazione tra polimeri termoplastici e termoindurenti è stata progressivamente ridotta.

Lo stampaggio a compressione e a trasferimento sono i metodi più comuni per la lavorazione delle plastiche termoindurenti. Per i termoplastici invece, sono l'estrusione e l'iniezione. Altri possibili processi meno impiegati sono la termoformatura, stampaggio a freddo e filatura.

In modo particolare successivamente si andrà a descrivere meglio le caratteristiche più significative dei materiali termoplastici, la famiglia del materiale la quale sarà soggetto al processo di iniezione. (Smith & Hashemi, 2016)

3.2 MATERIALI TERMOPLASTICI

Come descritto in precedenza, i materiali polimerici termoplastici hanno il grande vantaggio di poter essere plasmabili se sottoposti a variazioni di temperatura.

Le proprietà di un polimero dipendono dal tipo di monomero con cui è stato ottenuto, dalla lunghezza delle macromolecole, dalla loro struttura e dal modo con cui si dispongono nello spazio.

3.2.1 *Proprietà Reologiche*

Con il termine reologia si definisce la scienza del moto e della deformazione, nell'ambito della quale vengono studiate le proprietà chimico – fisiche dei materiali che presentano un comportamento viscoso ed elastico, tra cui i materiali polimerici.

I materiali termoplastici mostrano un comportamento viscoelastico, che combina caratteristiche viscosi dei liquidi ed elastiche dei solidi.

Quando un liquido viscoso scorre, l'energia che causa la deformazione viene dissipata e diventa calore viscoso. D'altra parte, quando un solido elastico si deforma, l'energia di deformazione viene memorizzata.

Per esempio, il flusso di acqua è un tipico flusso viscoso, mentre la deformazione di un cubo gomma rientra nella categoria elastico.

Approfondiremo, dunque, cosa sono le deformazioni e la viscosità

Le Deformazioni

Oltre ai due tipi di comportamento esistono anche due tipi di deformazione: taglio ed estensionale (trazione), come mostrato nella Figura 3.1 (a) e (b). Il flusso di materiali termoplastici fusi, durante la fase di riempimento dello stampaggio ad iniezione è prevalentemente flusso di taglio, come mostrato nella Figura 3.1 (c), in cui gli strati di elementi materiali "scorrono" gli uni sugli altri. Il flusso estensionale, tuttavia, diventa significativo quando si ha una variazione di spessore, come mostrato nella Figura 3.1 (d).

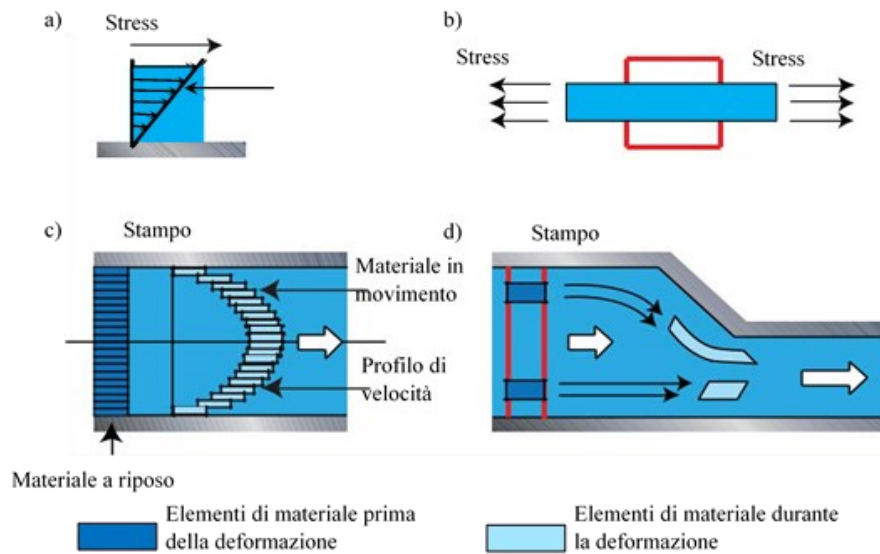


Figura 3-1(a) flusso di taglio (b) flusso estensionale (c) flusso di taglio nella cavità (d) flusso estensionale nella cavità

La Viscosità

La viscosità è una grandezza fisica che misura la resistenza di un fluido allo scorrimento. In generale, masse fuse polimeriche sono altamente viscosi a causa della loro struttura molecolare. La viscosità di un polimero fuso varia da 2 a 3.000 Pa·s (acqua 10-1 Pa·s, vetro 1020 Pa·s).

La viscosità dinamica di un fluido è una misura della sua resistenza a fluire quando è applicato uno sforzo tangenziale. La causa di tale resistenza è dovuta agli strati adiacenti di fluido che si muovono con velocità diversa.

La viscosità, pertanto, è espressa come il rapporto fra lo sforzo di taglio (forza per unità di superficie) e la velocità di taglio, come mostrato nell'equazione sotto riportata e nella Figura 3.2:

$$\text{Viscosità} = \frac{\text{sforzo di taglio}}{\text{velocità di taglio}}$$

$$\text{sforzo di taglio} = \frac{\text{Forza (F)}}{\text{Area(A)}} \quad e \quad \text{velocità di taglio} = \frac{\text{velocità}(v)}{\text{altezza}(h)}$$

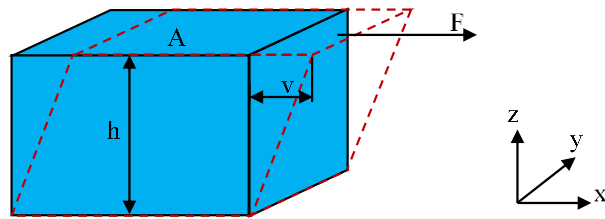


Figura 3-2 La definizione di viscosità allo stato fuso del polimero, illustrato da un semplice flusso di taglio

Ricapitolando le proprietà intrinseche al polimero sono legate allo sforzo e alla deformazione applicati alla velocità che si innesca durante l'azione di sollecitazioni meccaniche esterne (Smith & Hashemi, 2016)

Di seguito saranno illustrati i meccanismi e le leggi che governano la trasformazione dei polimeri. La Figura 3.3 mostra le caratteristiche principali attribuite al materiale polimerico.

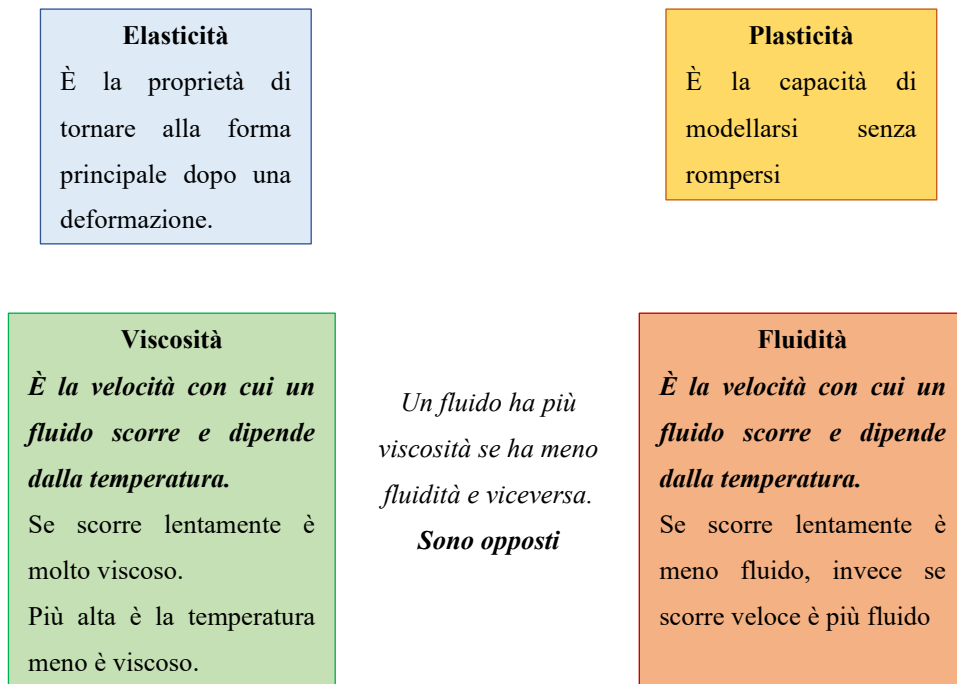


Figura 3-3 Caratteristiche principali materiale polimerico

I polimeri presentano una proporzionalità lineare tra sforzo e deformazione.

I materiali polimerici fusi quando scorrono lungo i canali e successivamente all'interno dello stampo, sono definiti come fluidi visco – elastici e non newtoniani. Questo comportamento si può comprendere dal grafico di viscosità – velocità di deformazione.

La portata della plastica fusa non cresce proporzionalmente alla pressione. La plastica fusa ha una viscosità alta, e che diminuisce al crescere della pressione.

Questo comportamento lo si può comprendere con le curve reologiche o curve di flusso (viscosità – pressione oppure viscosità – velocità di scorrimento o *shear rate*) del materiale in esame. Attraverso questi grafici si osserva l'effetto dello *shear rate* sulla viscosità del materiale fuso.

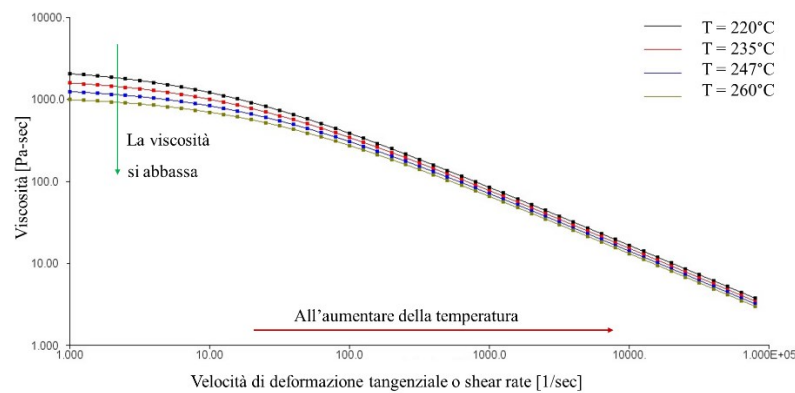


Grafico 1 Profili Viscosità materiale "ARMLLEN PP GF 30"

All'aumentare dello sforzo di deformazione "*shear rate*" la viscosità diminuisce progressivamente, la temperatura è costante per ogni curva e che all'aumentare della T il comportamento del polimero varia e le curve si abbassano.

Velocità di taglio apparente (ugello a sezione circolare):

$$\dot{\gamma}_a = \frac{4\dot{Q}}{\pi R^3}$$

dove:

\dot{Q} = volume che scorre in un secondo

R = raggio capillare

La velocità di taglio apparente viene riportata sulla sollecitazione al taglio reale alla parete dell'ugello con parametro temperatura della massa fusa. L'equazione che determina il comportamento della sollecitazione al taglio è:

$$\tau = \frac{p - p_c}{2 \left(\frac{L}{R} \right)}$$

dove:

L, R = lunghezza e raggio del capillare

p = pressione prima del capillare

La viscosità apparente invece si determina mediante questa semplice equazione:

$$\eta_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}_a}$$

In funzione sia della velocità di taglio e della temperatura.

La velocità di taglio reale viene derivata da quella apparente secondo *Rabinowitsch*:

$$\dot{\gamma}_r = \left(\frac{n + 3}{4} \right) \dot{\gamma}_a$$

La viscosità reale è:

$$\eta_w = \frac{\tau}{\dot{\gamma}_r}$$

Un altro concetto importante è che la viscosità del polimero fuso cambia con la pressione a cui è sottoposto. Questo è dovuto a due cause principali:

- durante il flusso, il polimero cambia forma ciò dovuto alla presenza di molecole filiformi
- le molecole si adattano al flusso, si orientano secondo la direzione di flusso.

Questi fenomeni portano ad affermare che c'è una riduzione della difficoltà dello scorrere, cioè si ha più facilità allo scorrimento. Ciò si può tradurre in una riduzione della viscosità al crescere della pressione.

Le materie plastiche fuse sono caratterizzate da due fattori fondamentali:

1. la viscosità (che dipende dalla sollecitazione);
2. la elasticità;

queste due proprietà possono essere ricavate mediante la caratterizzazione del materiale e con prove dinamo - meccaniche.

La proprietà di elasticità del materiale fuso si può studiare mediante l'utilizzo delle curve **pVT** (pressione, volume e temperatura). Forniscono informazioni sul comportamento del materiale in specifiche condizioni, mettono in correlazione il volume specifico come funzione della pressione e temperatura. Aumentando la temperatura e mantenendo la pressione costante, il volume del campione aumenta (come rappresentato nel grafico).

Variando le condizioni si ottengono differenti curve che aiutano a caratterizzare il materiale.

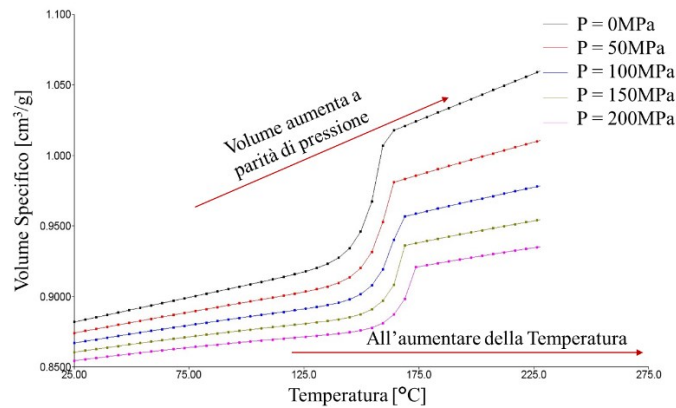


Grafico 2 pvT materiale "ARMLen PP GF 30"

Si osserva, dal grafico 2, che aumentando la pressione si ha un abbassamento delle curve.

La reologia del materiale influisce notevolmente nel processo di stampaggio, in modo particolare anche sulla distribuzione della fibra. Inoltre, si deve tener conto che la distribuzione della fibra è strettamente correlata alla lunghezza della stessa. Questo è dovuto, a casi studi statistici i quali affermano che la rottura della fibra è causata al fenomeno del *buckling* e del comportamento dello shear rate durante il processo di stampaggio.

3.3 PP

Il polipropilene (PP), conosciuto anche come polipropene, è un polimero termoplastico ottenuto tramite la polimerizzazione per addizione del propilene (propene) – Figura 3.4

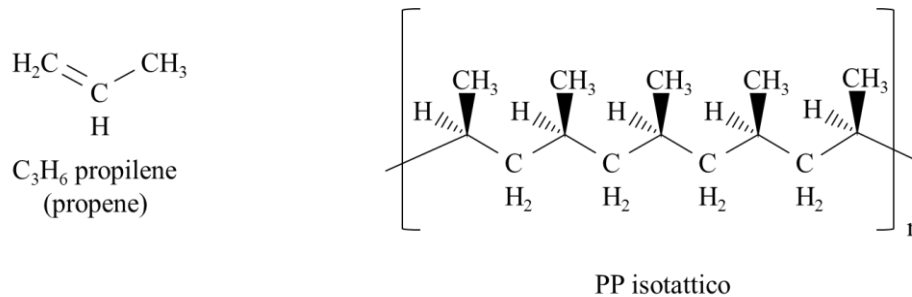


Figura 3-4 Propilene e la struttura del polipropilene isotattico

Il polipropilene è considerato una *commodity*, con un costo basso rispetto ad altre resine plastiche disponibili sul mercato e possiede un vasto range di applicazioni, come imballaggi, fibre, oggettistica, beni durevoli, settore automotive, ecc. Il polipropilene può essere riciclato (gli oggetti riciclabili di PP sono marcati col numero 5) ed è molto resistente all'umidità, a sostanze chimiche e a solventi in genere. La preparazione del PP è stata resa possibile con lo

sviluppo dei catalizzatori di Ziegler (una miscela di cloruro di titanio con organometallici di alluminio).

Applicazioni tipiche

- *Automotive* (soprattutto con carica minerale PP viene utilizzato: componenti cruscotto, lavoro condotto, ventole e alcuni componenti sotto-cofano)
- Elettrodomestici (sotto porta per lavastoviglie, condotto per essiccatori, cremagliere e coperchi per lavatrici, rivestimenti frigorifero)
- Prodotti di consumo (mobili da giardino / giardino)
- *Packaging* (confezioni, tappi, coperchi)

Parametri stampaggio ad iniezione

- Asciugatura: Normalmente non necessario se si utilizza una corretta conservazione.
- Temperatura di fusione: 220-280°C, non superiore a 280°C.
- Temperatura dello stampo: 20-80°C. Il livello di cristallinità è determinato dalla temperatura dello stampo.
- La pressione di iniezione: Fino a 80/90 MPa.
- Velocità di iniezione: Tipicamente, velocità di iniezione veloci per ridurre al minimo le sollecitazioni interne; se si verificano difetti superficiali, stampaggio a bassa velocità ad una temperatura superiore è preferito.

3.4 TERMOPLASTICI RINFORZATI

L'impiego di materiali compositi è sempre più utilizzato, specialmente nel settore automotive.

Un materiale composito è la combinazione di due o più elementi insolubili, che differiscono in forma e in composizione chimica. Nasce per rispondere all'esigenza di incrementare le proprietà meccaniche e fisiche presenti nel singolo pezzo, minimizzando il peso complessivo.

La peculiarità dei materiali compositi è quella che offre la possibilità di progettare e costruire un materiale in funzione delle esigenze strutturali.

Il materiale composito è costituito da:

- La matrice, elemento principale: consente il fissaggio delle fibre e il trasferimento del carico esterno, protegge dall'ambiente esterno, dall'usura e da eventuali azioni meccaniche di taglio;

- Il materiale di rinforzo (o carica): la percentuale di carica può variare, può essere di diverse forma (fibra corta, fibra lunga o particelle);
- L'interfaccia tra il materiale di rinforzo e la matrice: un sottile strato tra fibra e matrice.

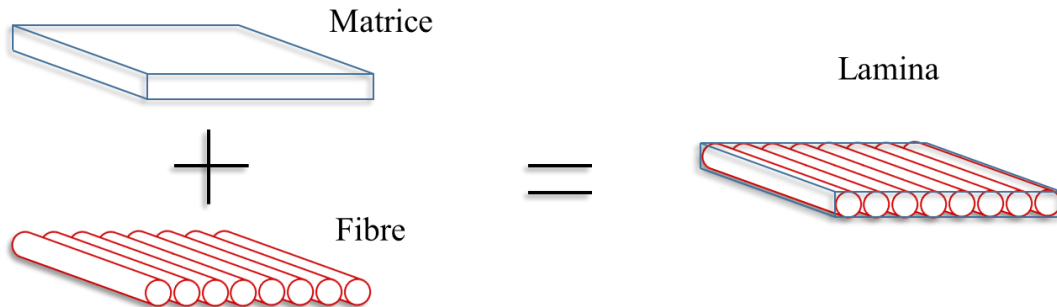


Figura 3-5 Elementi principali materiale composito

Si possono distinguere i seguenti compositi in base al tipo di matrice:

- Compositi a matrice polimerica (PMC), hanno elevate proprietà meccaniche specifiche;
- Compositi a matrice metallica (MMC), elevata resistenza alle alte temperature;
- Compositi a matrice ceramica (CMC), la tenacità viene migliorata.

Il materiale addizionato (rinforzo o carica) può essere di diversa forma:

- Inclusioni sferiche: generano caratteristiche elettriche, termiche e magnetiche.
- Inclusioni irregolari;
- Inclusioni a fibre (corte, lunghe, compositi unidirezionali o laminati): le fibre possono essere disposte secondo una certa logica funzionale durante il processo di fabbricazione del composito. Forniscono delle proprietà in una certa direzione piuttosto che in un'altra (anisotropia). Oppure, nel caso in cui le fibre siano disposte parallelamente all'interno della matrice, il materiale composito è unidirezionale e le proprietà meccaniche del materiale si definiscono anisotrope. A seconda del tipo di fibra addizionata le caratteristiche meccaniche del composito variano.

I materiali compositi con alta visco – plasticità come (PP – GF) hanno uno spessore al cuore più elevato rispetto i materiali con bassa visco – plasticità (PA – GF).

3.4.1 La fibra vetro

Le fibre di vetro costituiscono il rinforzo di più largo impiego per i compositi a matrice polimerica. I principali vantaggi delle fibre di vetro sono il basso costo, l'alta resistenza, l'alta resistenza chimica, le ottime caratteristiche di isolamento termico ed elettrico. Gli svantaggi

sono il modulo elastico relativamente basso, la densità, superiore a quella di molte altre fibre di rinforzo, la relativamente bassa resistenza a fatica; la fragilità e l'elevata durezza, inoltre, le rendono sensibili all'abrasione durante il maneggiamento e inducono marcata usura negli utensili di lavorazione e taglio.

I tipi di fibra più comunemente impiegati nei compositi a matrice polimerica sono le fibre di vetro E ed S. Queste fibre di vetro sono molto impiegate e il processo di produzione avviene come il processo di produzione del vetro standard. La Tabella 3.1 riporta le composizioni chimiche delle fibre di vetro E ed S

| Tipo | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | CaO | MgO | B ₂ O ₃ | Na ₂ O |
|----------------|------------------|--------------------------------|-----|-----|-------------------------------|-------------------|
| <i>E-glass</i> | 54.5 | 14.5 | 17 | 4.5 | 8.5 | 0.5 |
| <i>S-glass</i> | 64 | 26 | - | 10 | - | - |

Tabella 3-1 Composizioni chimiche delle fibre di vetro E

Come per i normali vetri, l'ingrediente principale delle fibre è silice. Altri ossidi (allumina, CaO, MgO, B₂O₃) vengono aggiunti per modificare la struttura e la lavorabilità del fuso. Il vetro ha una struttura amorfa (non cristallina) ed è costituito da una struttura reticolata, tridimensionale, isotropa. La Figura 3.6 mostra lo schema del processo di produzione delle fibre di vetro. Il processo consiste nella fusione degli ingredienti all'interno di grandi forni operanti a temperature superiori a 1300°C. Il fuso viene estruso e filato ad alta velocità attraverso delle filiere in platino (*bushing*) in fili di diametro dell'ordine di 10-20µm, raggruppati in fasci (*strand*) di poche centinaia di fibre. Le fibre vengono rivestite con appretti all'uscita del *bushing*. Gli *strand* possono poi essere ulteriormente raggruppati in fasci di dimensioni maggiori (*roving*) e raccolti su bobine per ulteriori lavorazioni. Un componente essenziale delle fibre di vetro è l'appretto (*sizing*). Fibre dello stesso produttore ma destinate ad impieghi e matrici diverse, spesso provengono dallo stesso impianto produttivo ed hanno identica composizione del vetro. Sono però caratterizzate da *sizing* diversi, specifici per l'applicazione finale. Come per le fibre di carbonio, i *sizing* hanno la funzione primaria di proteggere le fibre durante le lavorazioni; inoltre contengono generalmente leganti e agenti attivi, per favorire la bagnabilità e l'adesione da parte delle matrici polimeriche. I promotori di adesione (*coupling agent*) maggiormente impiegati sono basati su complessi organo-silani dotati di tre gruppi chimici idrolizzabili in grado di formare legami (covalenti e/o idrogeno) con la superficie del vetro e una catena polimerica in grado di legarsi alla matrice, specifica per il tipo di matrice del composito.

La purezza richiesta dalla filatura e le piccole dimensioni, con conseguente minore probabilità di introdurre difetti, determinano una resistenza meccanica delle fibre sensibilmente superiore rispetto al vetro in massa. Come in tutte le fibre fragili, anche nelle singole fibre di vetro la rottura è governata dalla presenza di difetti e viene descritta con buona approssimazione dalla funzione di *Weibull*. (G. Sala, s.d.)

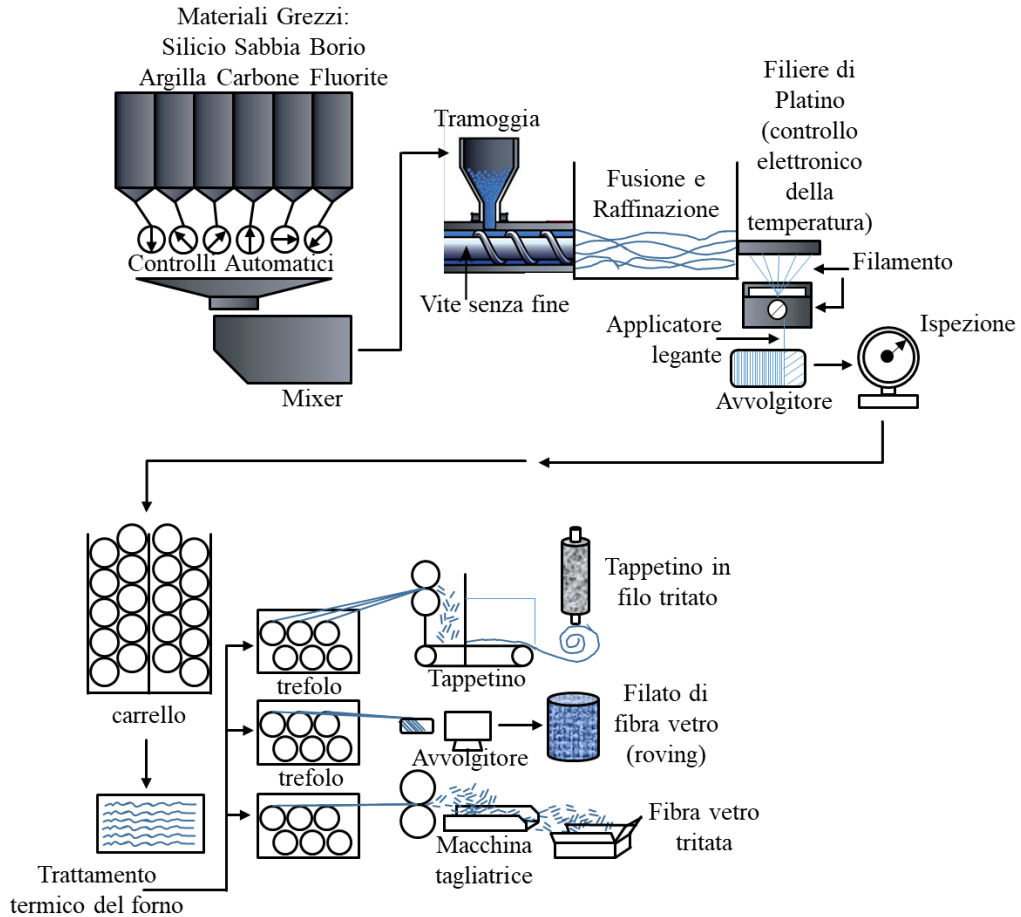


Figura 3-6 Schema processo di produzione fibre di vetro

Le fibre di vetro hanno resistenze medie confrontabili o anche superiori a quelle di altre fibre resistenti, ma con densità relativamente elevata. La Tabella 3.2 confronta le proprietà specifiche di fibre di vetro E ed S con quelle di altre fibre

| Materiale delle fibre | Resistenza a trazione σ_r (MPa) | Modulo elastico E (MPa) | Densità ρ (g/cm ³) | Resistenza specifica σ_r/ρ (m ² /s ²) | Modulo specifico E/ ρ (m ² /s ²) |
|-----------------------|--|-------------------------------|---|--|--|
| Vetro E | 3000 | 72400 -76000 | 2.54 | 1.18 | 28.5 |
| Vetro S | 4600 | 84000 - 88000 | 2.48 | 1.85 | 35.5 |

Tabella 3-2 Proprietà specifiche delle fibre di vetro E ed S

3.5 ELASTOMERO TERMOPLASTICO – TPE

TPE nome utilizzato per definire un Elastomero Termoplastico, denominato anche gomma termoplastica. Il TPE è un materiale simile alla gomma, che può essere lavorato con tecnologie termoplastiche come lo stampaggio a iniezione, il co-stampaggio o l'estrusione. Gli elastomeri termoplastici (TPE) sono compound costituiti di materiali termoplastici duri come il PP, il PBT il PA, in combinazione con un materiale soffice e gommoso e spesso anche con additivi come oli e cariche.

A partire dal 1960 i materiali termoplastici di base diventarono sempre più comuni. In quel tempo i compound di gomma (termoindurenti) erano già diventati popolari nel mercato dell'automobile, ma erano costosi, complicati da fabbricare e difficoltosi da riciclare.

Con le nuove tendenze dell'industria (colori più brillanti, soft touch, ecc.), vi fu una crescente domanda di materiali morbidi, meno costosi e di più facile produzione. Questa crescita si consolidò negli anni '70, quando il TPE cominciò a essere prodotto su larga scala.

Oggi la vasta gamma degli elastomeri termoplastici (TPE) riunisce moltissimi tipi, tra cui:

- Le Poliolefine termoplastiche (miscele co-continue duro/morbido) - TPE-O;
- I compound stirenici SBS, SEBS o SEPS – TPE-S;
- I compound PP/EPDM vulcanizzati – TPE-V;
- I compound copoliestere – TPE-E;
- Il poliuretano termoplastico – TPE-U;
- la poliammide termoplastica - TPE-A.

Gli svantaggi del TPE rispetto alle gomme termoindurenti convenzionali sono le inferiori proprietà del materiale. I TPE hanno una resistenza alla temperatura e agli agenti chimici inferiore, una peggiore flessibilità e compression set.

Tra i principali vantaggi degli elastomeri termoplastici vi è la maggiore facilità nel processarli (e la minore spesa energetica rispetto ai termoindurenti), con i processi termoplastici convenzionali come lo stampaggio a iniezione, l'estrusione, la termoformatura e

lo stampaggio a soffiatura. Inoltre i TPE possono essere facilmente colorati e sovrastampati ai vari termoplastici, con una buona adesione.

3.5.1 TPE-V

Nel corso degli anni novanta, l'EPDM è stato l'elastomero più utilizzato (95%) nelle applicazioni di isolamento automobilistiche dinamiche e semi-dinamiche. Ma verso l'inizio del 2000, ci si è concentrati in particolar modo su un nuovo materiale che offriva prestazioni come EPDM, ma che poteva essere processato con facilità come un termoplastico.

Il TPV appartiene alla famiglia degli Elastomeri Termoplastici Vulcanizzati. È costituito da una fase elastomerica EPDM dispersa in una matrice termoplastica di natura poliolefina termoplastica. La fase elastomerica gli conferisce le proprietà elastiche e la morbidezza tipiche di una gomma, la fase poliolefina gli conferisce le proprietà meccaniche e termiche.

La versatilità del TPV favorisce il design di nuovi sistemi e il consolidamento delle parti, per poter integrare facilmente altri materiali termoplastici ed eliminare gli inserti in metallo. Alla fine del processo, i costi delle parti finite sono tipicamente inferiori del 20% rispetto a quelli dell'EPDM.

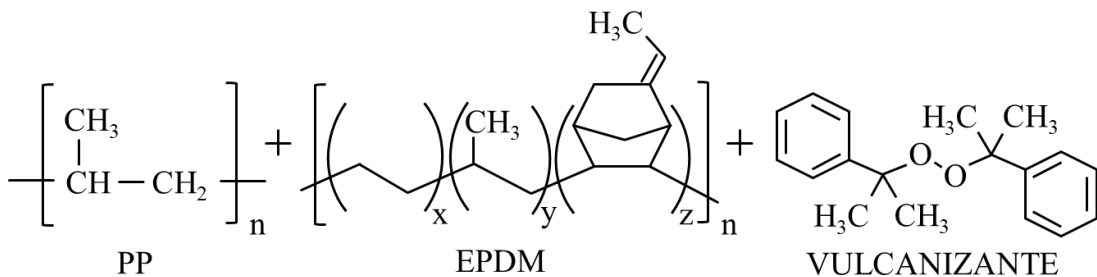


Figura 3-7 Struttura del TPE-V

Caratteristiche:

- Durezza/shore: da 35 A a 50 D;
- Temperatura di esercizio da -40 to 130 °C;
- Densità da 0,89 a 1,20 gr/cm³;
- Buona resistenza agenti atmosferici;
- Ottima resistenza UV;
- Buona resistenza chimica;
- Ottimo compression set;
- Buona resistenza all'abrasione;
- Buona processabilità;

- compatibile con PP;
- 100% Riciclabile;

Proprietà Fisico-Meccaniche

Disponibile in durezze che vanno da 45A a 50D, questi materiali mostrano una resistenza chimica superiore, resistenza agli agenti atmosferici, resistenza alla temperatura, e compression set migliore rispetto ad altri TPE. I TPV hanno un'eccellente durata in applicazioni in cui le prestazioni ad alta temperatura non è critica. Il TPV è ideale in applicazioni ad alta temperatura con resistenza al calore superiore ad altri elastomeri. TPV offrono una temperatura di servizio costante da -60 - 135°C senza fessurazione o appiccicosità. Eccellente invecchiamento del calore è combinato con olio e grasso resistenza per una durata eccezionale. I gradi di resistenza al fuoco soddisfano i requisiti di UL94.

Proprietà termiche

Questi materiali, che presentano un'ottima resistenza all'ossidazione, eccellente resistenza agli agenti atmosferici, agli UV e all'ozono, rappresentando pertanto la scelta ideale per applicazioni per esterno e ove sono richiesti lunghi tempi di durata del prodotto all'invecchiamento. La temperatura di transizione vetrosa (T_g) dei blocchi di EPDM è tipicamente -90°C mentre T_g dei blocchi di polipropilene è -18°C. Quindi, a qualsiasi temperatura tra circa -50°C e +130°C agirà come un elastomero reticolato fisicamente. La temperatura di esercizio è garantito dai -30°C ai +130°C.

Proprietà chimiche

TPV ha una buona resistenza a molti acidi e soluzioni di base e acquose. Ottima resistenza all'acqua, acidi, alcali, alcoli, acetone e oli vegetali. Tuttavia, occorre prestare attenzione perché è suscettibile di essere attaccata da solventi organici aromatici, benzina, olio minerale, ecc.

Sovrastampaggio - 2k

Grazie alla sua affinità chimica con i polimeri di poliolefina, aderisce facilmente al polipropilene o al polietilene senza la necessità di adesivi o trattamenti superficiali. La capacità di aderire a una varietà di substrati con due colpi o sovrastampaggio consente una facile lavorazione con un'adesione eccellente. Sono disponibili prodotti trasparenti e traslucidi. Il

TPV è offerto morbido con adesione chimica sulla maggior parte dei polimeri, tra cui: PP, ABS, PC, PMMA, PBT, PA, ecc.

Applicazioni

Il TPV è un sostituto ideale per gomma termoplastica ed elastomeri a base di PVC in un'ampia varietà di applicazioni che richiedono proprietà altamente elastiche. Oltre a superare altri elastomeri termoplastici competitivi in termini di resistenza ai graffi e agli strappi e comportamento elastico, *pharaprene* è anche un materiale rimovibile ultra-basso, che lo rende ideale per molte applicazioni di consumo e industriali. Il POS è riciclabile al 100% e non contiene ftalati trovati in materiali a base di PVC. È una scelta superiore per modellatori e produttori che cercano di ridurre il loro impatto ambientale. Industria automobilistica: soffietti dello sterzo, soffietti degli ammortizzatori, condotti di aspirazione dell'aria, cavi delle candele, tappi del corpo, lavorazione del cuoio, incapsulamento del vetro, cavi di comando, tubi di alimentazione del carburante, coperture e alloggiamenti degli airbag, braccioli e superfici delle porte, pulsanti e manopole, sottobicchieri, tappetini, cruscotti, schermi touch. Industria elettrica: cavi altamente flessibili per portate fino a 30000 V. Connettori elettrici, impugnature isolanti, industria alimentare, posate e stoviglie usa e getta, contenitori per alimenti da cucina, giocattoli, vassoi per frigoriferi, ferri da stiro trasparenti.

3.6 MATERIALE UTILIZZATO PER LA REALIZZAZIONE DELLO STAMPO ED INSERTI

Le indicazioni ricevute per quanto riguarda il materiale utilizzato per gli stampi è un comune acciaio AISI P20, o secondo la normativa DIN definito 40CrMnMo7. La tabella 3.3 mostra gli elementi di composizione del materiale.

| Composizione chimica "acciaio comune P20" in (%): | | | | | |
|--|-------------|-------------|-----------|-------------|-------------|
| C | Si | Mn | Ni | Mo | Cr |
| 0,35 ÷ 0,45 | 0,20 ÷ 0,40 | 1,30 ÷ 1,60 | / | 0,15 ÷ 0,25 | 1,80 ÷ 2,10 |

Tabella 3-3 Composizione chimica acciaio P20

Capitolo 4

LAVORO SVOLTO DALLA YUDO

Come già detto YUDO è un produttore di sistemi di iniezione a canale caldo per gli stampi destinati allo stampaggio ad iniezione di materie plastiche.

Ad oggi è sempre più richiesta dal cliente, soprattutto se si opera nel settore automotive, di prevedere con accuratezza, fin dalla fase di progettazione, la forma finale di un particolare realizzato in materiale termoplastico, per cercare di ottimizzare la produzione evitando pezzi di scarto, fermi macchina e altre situazioni che porterebbero a delle perdite economiche.

Vista l'esigenza del mercato YUDO si è mostrata vicina al cliente fornendo ad esso un servizio di simulazione mediante *Moldflow Simulation*.

In questo capitolo analizzeremo gli step iniziale utili per la realizzazione di un sistema di iniezione, partendo dalla ricezione della commessa del cliente da parte della YUDO.



Figura 4-1 STEP per realizzazione sistema di iniezione

4.1 INIZIO DELLO STUDIO

Lo studio inizia con la ricezione del particolare 3D che si intende stampare, specificando il materiale da utilizzare, i vincoli progettuali e le criticità del particolare quando sarà utilizzato.

Il particolare in esame è la cover del motorino di apertura e chiusura dello sportello del carburante (Figura 4.2).

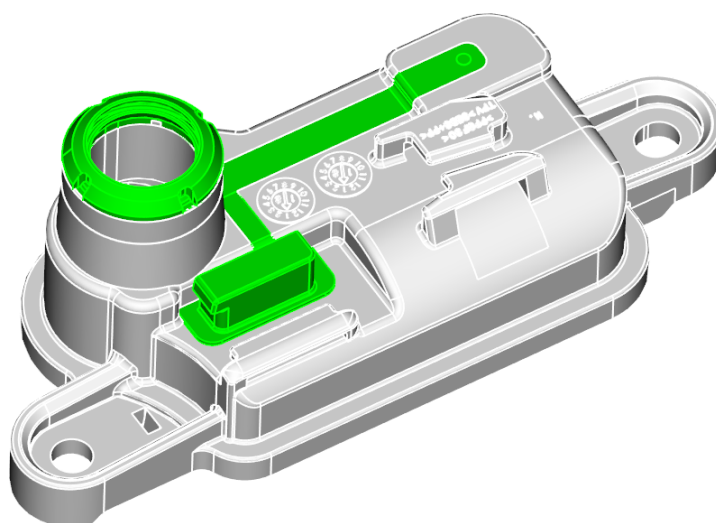


Figura 4-2 Cover motorino di apertura e chiusura dello sportello del carburante

È un particolare bi-materia, dove il corpo centrale (figura 4.2 colore grigio), realizzato in PP+20%FV, deve rispettare dei vincoli geometrici di planarità, poiché nella fase finale di assemblaggio viene saldato, mediante saldatura ad ultrasuoni, ad una cover posteriore che sigilla i componenti elettrici contenuti al suo interno.

Il secondo materiale, TPE-V, viene sovrastampato al primo ed ha come funzione principale quella di impedire che l'acqua percoli all'interno poiché il collarino di gomma non aderisce perfettamente al primo materiale, quindi in fase di simulazione occorre verificare l'adesione fra i medesimi materiali.

Nella Figura 4.3 si può notare come la parte in gomma e il pistoncino sono a contatto con l'esterno, mentre il corpo è posto dietro allo sportello del carburante.

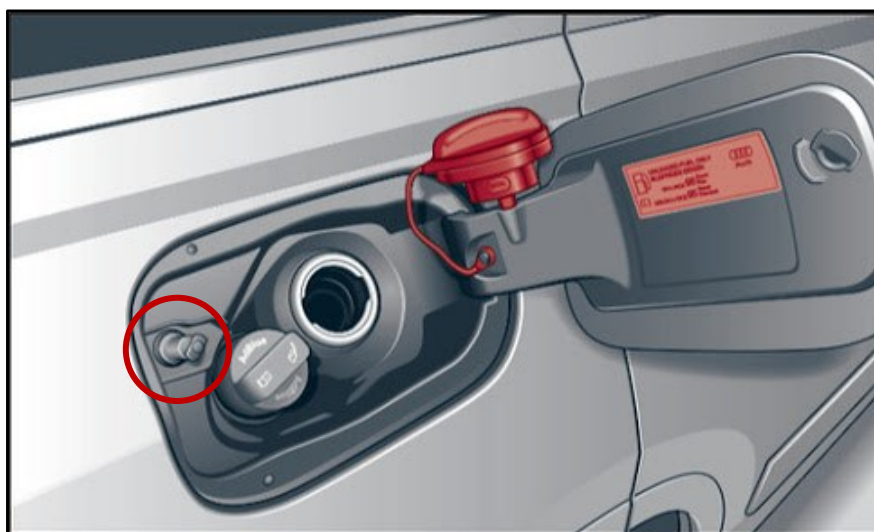


Figura 4-3 Sportello del carburante

4.2 ANALISI TECNICA

Si dovrà realizzare uno stampo multi-cavità, in particolare uno stampo 8+8 (8 per la parte in PP e 8 per la parte in TPE-V) poiché è previsto un incremento di produzione, dovuto al restyling di una nuova autovettura.

Tramite il diagramma rappresentato in Figura 4.4 possiamo vedere le fasi che caratterizzano l'analisi tecnica.

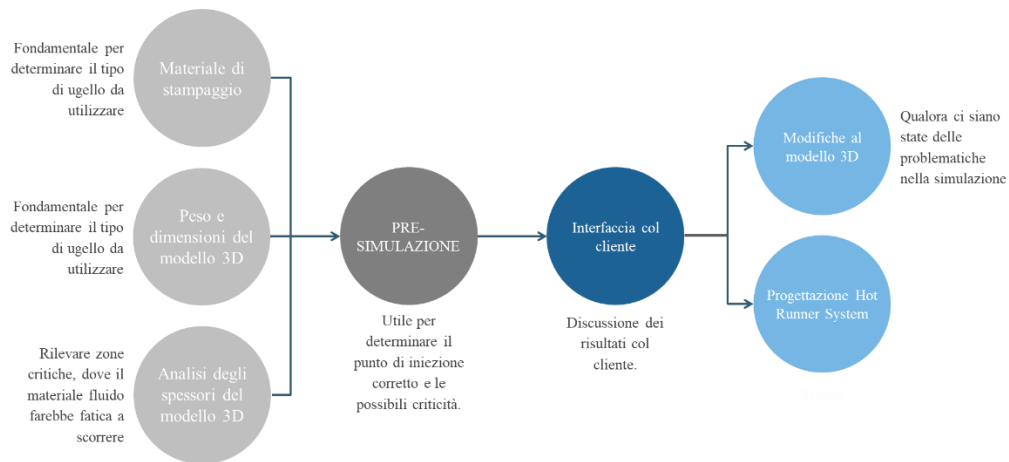


Figura 4-4 Step analisi tecnica

Come prima cosa si fa una valutazione delle dimensioni e del peso dei particolari.

Esse sono fondamentali per scegliere il diametro corretto del canale di iniezione, poiché in base a degli studi effettuati siamo in grado di stabilire il percorso massimo del flusso prima che si raffreddi generando difetti nel particolare (mancato riempimento).

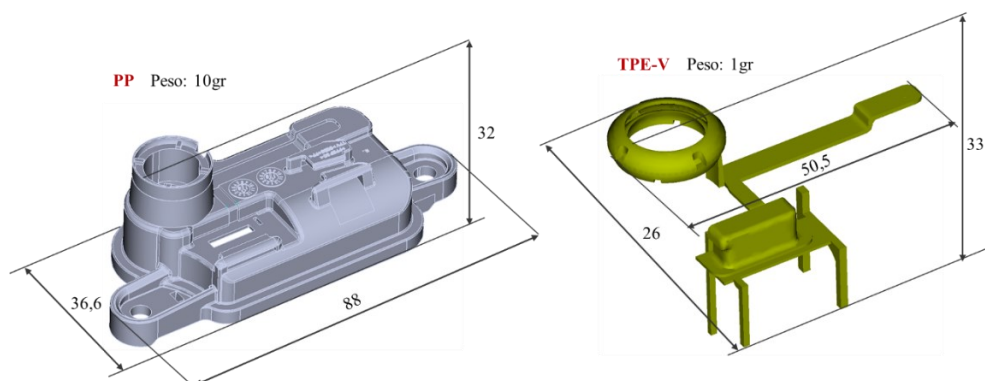


Figura 4-5 Dimensioni e peso dei particolari

Scelto il diametro dei canali si passa alla scelta dei possibili punti di iniezione. In questo caso siamo stati vincolati dalla richiesta del cliente, poiché essendo un particolare estetico, il cliente non vuole che si notino i punti di iniezione.

Quindi sulla base di questa indicazione siamo andati ad individuare i possibili punti di iniezione e la tipologia di ugello da utilizzare.

Per la parte in PP, abbiamo utilizzato un ugello a flusso libero, questo lascia alla fine dell'iniezione un piccolo testimone, ma decidendo di iniettare all'interno della cava che ospiterà il TPE-V, questo andrà a mascherare tale testimone.

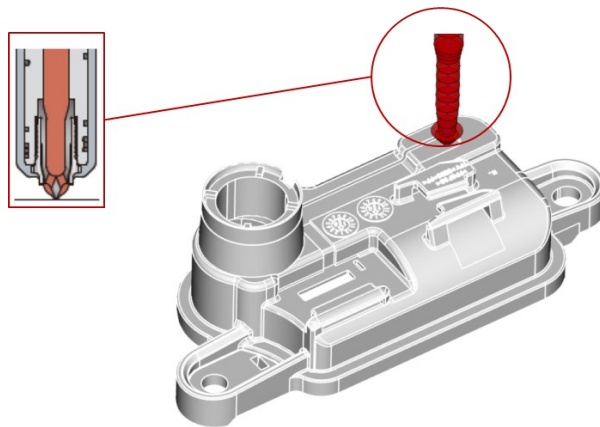


Figura 4-6 Ugello e punto di iniezione del PP

Per la parte in TPE-V invece è stato scelto un ugello ad otturazione, ovvero un ugello dove al suo interno scorre uno spillo che va a chiudere ed aprire il gate, lasciando così una superficie quasi liscia.

Inizialmente si pensava di iniettare sopra al testimone di iniezione lasciato dal PP, ma ci è sorto il dubbio che questo con la pressione potesse staccarsi e muoversi lungo la cava, generando un'imperfezione, quindi abbiamo deciso di spostare il punto di iniezione (*gate*) più avanti rispetto al punto di iniezione del PP cosicché se il testimone si stacca va a sbattere contro la parete posteriore senza generare imperfezioni.

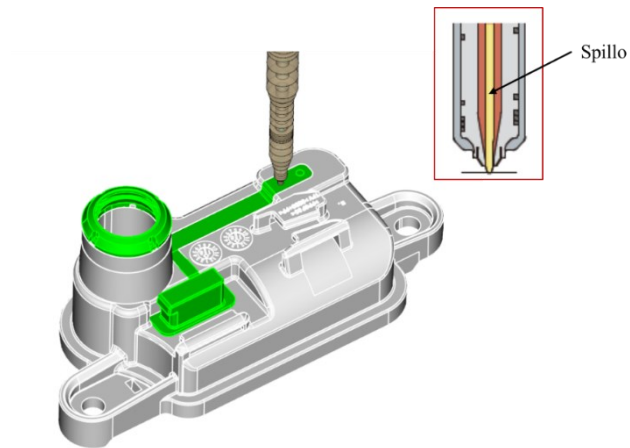


Figura 4-7 Ugello e punto di iniezione del TPE-V

Una volta decisi i punti di iniezione e il tipo di ugello da utilizzare, ci trasferiamo all'interno del software *Moldflow Simulation Insight*, dove andremo a verificare se i punti scelti sono idonei, ovvero consentono un corretto riempimento del particolare, impediscono il formarsi di difetti e di pressioni elevate.

Capitolo 5

PROGETTAZIONE DI PRODOTTO/PROCESSO TRAMITE IL SOFTWARE MOLDFLOW SIMULATION

Prima di addentrarci all'interno del software *Moldflow* e visionare il lavoro svolto è bene approfondire alcuni aspetti che riguardano i principi di progettazione di un particolare che andremo ad analizzare tramite software *Moldflow*.

In questo capitolo analizzeremo:

- Il design del prodotto e *Moldflow*;
- Sequenza di analisi;
- Concetti di flusso di *Moldflow*.

5.1 PRODUCTION DESIGN E MOLDFLOW

Come in tutte le progettazioni, alcuni dettagli che costituiscono il particolare si basano su un modello ideale. In pratica, potrebbe essere necessario adottare dei compromessi, fra particolare ideale e la fattibilità realizzativa della cavità nello stampo. L'analisi infatti può mostrare che non sarà possibile realizzare delle lavorazioni in base alla richiesta di partenza. In questo caso occorre riesaminare il progetto del prodotto così da evitare di dover sistemare il problema una volta avviata la produzione provocando un bloccaggio della linea produttiva. Un piccolo cambiamento del design del prodotto può spesso dare notevoli miglioramenti. Questa integrazione fra stampo da realizzare e design del prodotto è un elemento chiave per la progettazione tramite *software Moldflow*.

5.2 SEQUENZA DI ANALISI

La procedura per la progettazione dello stampo inizia sempre con la cavità e le varie opzioni per la posizione del punto di iniezione, così da ottimizzare le condizioni di stampaggio all'interno della cavità. Quindi, utilizzando queste condizioni la procedura può risolvere dei problemi già all'inizio, come la definizione delle dimensioni dei canali del sistema di

alimentazione. In questa procedura, l'ottimizzazione delle condizioni di stampaggio è una parte fondamentale del processo di progettazione.

Una volta definita la posizione del punto di iniezione e note le condizioni di stampaggio (pressa utilizzata, materiale da iniettare e condizionamento dello stampo), tramite il *software* possiamo determinare in automatico la portata, la temperatura di fusione, e la pressione che si svilupperà all'interno della cavità e del sistema di iniezione. In altre parole, l'analisi di riempimento del particolare determina una corretta progettazione del sistema di iniezione.

Una volta che il riempimento della parte è stato ottimizzato, possiamo analizzare il sistema di raffreddamento dello stampo.

Generalmente l'obiettivo è quello di progettare il sistema di raffreddamento dello stampo per estrarre uniformemente il calore dalla parte. Questo ridurrà al minimo il tempo di ciclo, garantendo la produzione di componenti di alta qualità. Anche se il riempimento e il mantenimento sono strettamente correlati, la fase di mantenimento è meglio ottimizzarla dopo l'analisi raffreddamento.

Le fasi di mantenimento sono dominate da trasferimento di calore, mentre il riempimento è dominato dal flusso del fluido.

L'analisi di raffreddamento fornisce un quadro preciso di come il calore del pezzo viene estratto, quindi utile per ottimizzare il mantenimento della parte dopo il raffreddamento.

Il passo finale è quello di determinare la deformazione della parte.

Quando il particolare è correttamente analizzato nei passaggi precedenti, l'analisi deformazione è una conferma che il particolare e i processi sono stati ben ottimizzati.

5.2.1 Ottimizzazione del Riempimento del particolare

Il componente chiave dell'analisi di un prodotto stampato ad iniezione è il particolare stesso. L'analisi del particolare dovrebbe iniziare all'inizio della fase di progettazione. Di seguito descriviamo le tre fasi principali per l'ottimizzazione del riempimento della parte.

Determinazione del numero di punti di iniezione

Il numero di punti da impiegare è principalmente legato alla pressione. La pressione necessaria per riempire la parte deve essere ben sotto la capacità della macchina. Una linea guida conservativa è che la pressione di riempimento per la parte dovrebbe essere la metà della pressione della macchina. Per le presse attualmente in commercio, questa è compresa fra i 60 e i 180 MPa (600 e i 1800 bar). Il limite è circa la metà della pressione massima della pressa, in quanto in questa fase del processo di progettazione, non viene calcolata la caduta di pressione attraverso il sistema di iniezione. La caduta di pressione totale, quindi sistema di

iniezione e particolare dovrebbe essere di circa il 75% della capacità della pressa qualora lavorasse a pieno regime.

Aggiungeremo punti di iniezione in base alle necessità per ridurre la pressione di riempimento o per conseguire un riempimento desiderato.

Posizionare i punti di iniezione per un riempimento bilanciato

La posizione del punto di iniezione deve produrre un fronte del flusso equilibrato nella parte, senza causare effetti di *underflow* o *overpacking*. Se il particolare non si riesce a bilanciare pur cambiando la posizione del punto di iniezione, si potrebbe creare dei canali di flusso preferenziale, quindi andare ad inspessire o viceversa, alcune zone del particolare per bilanciare il flusso.

Assicurarsi che il modello di flusso sia unidirezionale

Il modello di riempimento deve essere dritto e uniforme, altrimenti si potrebbero verificare problemi quali l'esitazione del flusso, linee di giunzione e bolle d'aria in zone indesiderate.

5.2.2 Condizioni di stampaggio

Le condizioni di stampaggio utilizzate devono essere determinate in congiunzione con i passaggi precedenti. Quando si considera il numero di punti di iniezione occorre considerare la pressione necessaria per riempire la parte.

Le condizioni di stampaggio sono la temperatura dello stampo, la temperatura di fusione, e il tempo di iniezione, questi influiscono molto sul valore della pressione finale.

5.2.3 I canali di alimentazione

I canali di alimentazione dovrebbero essere progettati per aiutare a raggiungere la configurazione di flusso desiderata. Questi potrebbero dover essere dimensionati e bilanciati così da avere un riempimento uniforme e un volume in camera che sia circa il volume del particolare da stampare, così da evitare di lasciare materiale all'interno del sistema di iniezione col rischio che questo degradi.

5.2.4 Ottimizzazione del raffreddamento

La progettazione del sistema di raffreddamento può essere ottimizzata quando il particolare e i canali sono stati analizzati. L'analisi di raffreddamento favorisce la progettazione di un sistema di raffreddamento adeguato. L'estrazione del calore dalla parte è bilanciata se il calore

viene trasferito equamente su entrambi i lati della sezione trasversale di plastica. Questo ridurrà al minimo la deformazione.

5.2.5 Ottimizzazione della post-pressione

Durante la fase di post-pressione, il ritiro volumetrico all'interno della parte è determinato. Il livello di contrazione volumetrica è un fattore chiave per il ritiro e le deformazioni della parte. L'analisi di compattazione dà ottimi risultati dopo aver ottimizzato il raffreddamento.

5.2.6 Ottimizzazione delle Deflessioni (*Warpage*)

Il passaggio finale del processo di analisi è guardare le deformazioni della parte. Le deflessioni sono influenzate dal materiale, dal *design* della parte e dalle condizioni di stampaggio.

Ottimizzando le fasi di riempimento, raffreddamento e compattazione, l'analisi delle deformazioni diventa una convalida che il particolare e il processo sono ottimali.

5.3 CONCETTO DI FLUSSO

Il concetto di flusso nel *Moldflow*, fa capo ad un insieme di regole che influenzano sia la progettazione di un particolare che gli strumenti per ottimizzare il riempimento del particolare. Quando questi principi sono seguiti, otteniamo come risultato parti di qualità superiore e tempi di ciclo più veloci. Non seguendo questi principi si incorre in particolari problematici che creeranno problemi in fase di stampaggio.

Andremo ora ad analizzare questi principi che influenzano il riempimento della parte.

5.3.1 Gradiente pressione costante

Il gradiente di pressione deve essere più uniforme possibile durante il riempimento della parte. La Figura 5.1 mostra un particolare che non ha un gradiente di pressione costante durante il riempimento. Il grafico XY mostra la pressione nel punto di iniezione. All'inizio del riempimento, si ha un picco di pressione, dovuto all'ingresso del materiale fuso nel particolare tramite il *gate*. Tuttavia, il grosso problema si ha alla fine del riempimento, poiché la parte si sta riempiendo principalmente da un flusso radiale. Quando il fronte di flusso incontra il centro delle pareti laterali, questo provoca un leggero aumento del gradiente di pressione. Il grande picco si verifica quando il particolare è tutto riempito ad eccezione della zona in alto a destra, che è l'unica non ancora riempita. Quindi tutto il materiale in uscita dal *gate* viene spinto nella zona ancora libera, causando il picco di pressione. La portata volumetrica è costante.

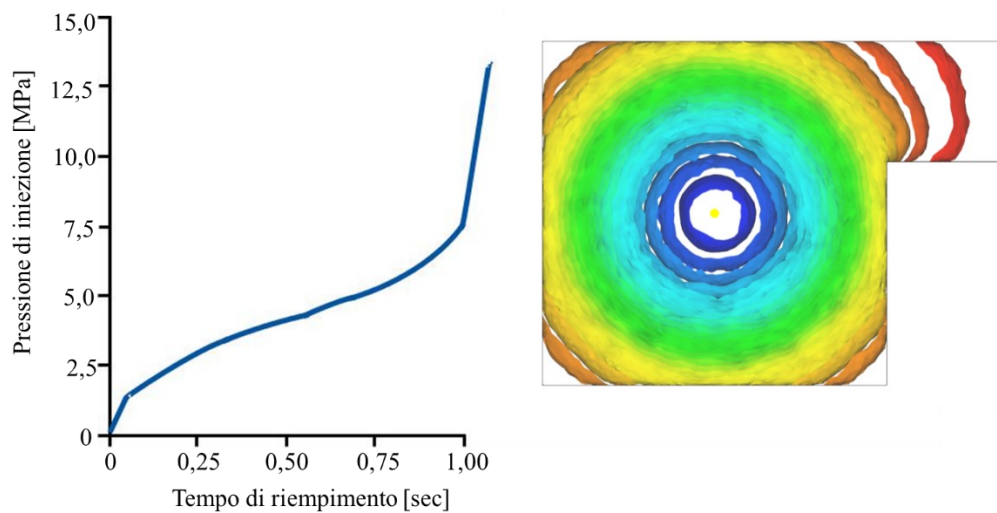


Figura 5-1 *Gradiente di pressione*

5.3.2 *Massima tensione tangenziale (shear stress at wall)*

La massima tensione tangenziale è la forza di taglio all'interfaccia congelata/fusa, per unità di area, ed è proporzionale al gradiente di pressione in ogni posizione (se la sezione del polimero è completamente fusa, l'interfaccia congelata/fusa si trova sulla parete dello stampo). Sotto la formulazione del flusso viscoso, lo sforzo di taglio è zero al centro della sezione trasversale e aumenta linearmente all'interfaccia congelata/fusa. Pertanto, la sollecitazione di taglio a parete potrebbe essere al suo massimo valore in qualsiasi porzione della sezione trasversale.

Lo sforzo di taglio dovrebbe essere inferiore al massimo raccomandato per il materiale nel *database* dei materiali. La sollecitazione di taglio può essere confrontata direttamente con i valori memorizzati nel *database* dei materiali. Le regioni al di sopra di questo limite potrebbero essere soggette a rotture da *stress* durante l'espulsione o durante il funzionamento delle medesime.

Per parti utilizzate in ambienti difficili, quali temperature elevate, sotto un carico elevato durante l'uso, o esposti ad agenti chimici, il limite specificato nel *database* può essere troppo alto. In alternativa, se la parte non viene utilizzato in un ambiente difficile il limite è basso, e lo *stress* può essere significativamente superato senza problemi. Quando la sollecitazione di taglio arriva al di sopra del limite, questo deve essere mantenuto il più basso possibile. La Figura 5.2 mostra la massima tensione tangenziale in un particolare. Le aree di colore rosso sono quindi al di sopra del limite. In questo caso, il massimo sforzo di taglio è 0,77 MPa, che

non è troppo alto. La maggior parte del tempo, le parti avranno aree di alto sforzo di taglio che sarà due a cinque volte il limite di stress. In questo caso, è solo 1,5 volte il limite.

Tuttavia, buona parte del particolare è leggermente superiore al limite. La massima tensione tangenziale nella sezione trasversale è all'interfaccia *layer* congelato / fuso, o In questo caso, è solo 1,5 volte il limite. Tuttavia, gran parte della parte è leggermente superiore al limite.

Tre principali fattori che influenzano sforzo di taglio:

- Lo spessore della parete, aumentare lo spessore della parete ridurrà lo *stress*;
- La portata, abbassare la portata (localmente o globalmente) ridurrà lo *stress*;
- *Melt-temperature*, aumentare la temperatura di fusione abbasserà la tensione di taglio.

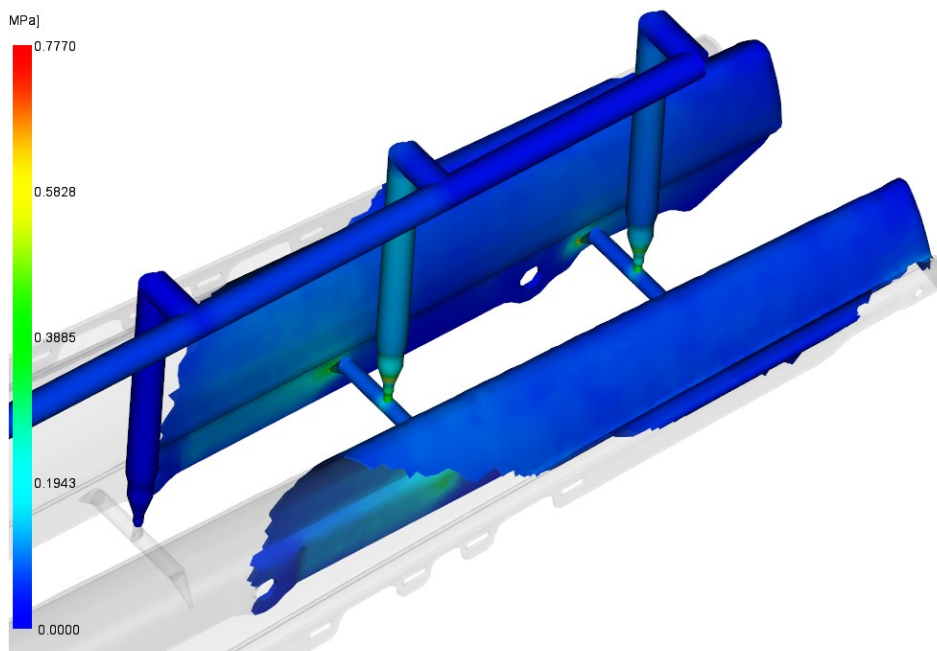


Figura 5-2 Shear stress at wall

5.3.3 Raffreddamento uniforme

La temperatura della superficie dello stampo deve essere uniforme su entrambi i lati della parte.

Quando le temperature non sono uniformi, le molecole sul lato caldo hanno un tempo più lungo per raffreddare e quindi compattare più.

Questo fa sì che il particolare si piegherà verso il lato caldo come mostrato in Figura 5.3.

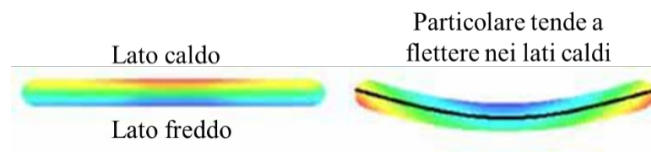


Figura 5-3 Raffreddamento

5.3.4 Posizionamento Weld e Melt Lines

Una linea di saldatura è formata da due fronti di flusso che si scontrano frontalmente. Una linea di fusione si forma quando i fronti di flusso si incontrano mentre scorrono nella stessa direzione. La differenza fra la formazione di linee di saldatura e linee di fusione è mostrata in Figura 5.4. Le linee di saldatura sono generalmente più deboli e più visibili delle linee di fusione, ma entrambe dovrebbero essere evitate.

Ogni volta che un punto di iniezione (*gate*) viene aggiunto alla parte, si formerà una linea di saldatura o di fusione. Quando il numero di linee di saldatura o di fusione non possono essere ridotte, esse devono essere collocate in zone meno sensibili o meno critiche per non compromettere la struttura e l'estetica del pezzo. La forza delle linee di saldatura o di fusione generalmente viene migliorata quando esse si formano a temperature più elevate e quando le pressioni di compattamento sono maggiore. Posizionare degli appositi sfiati d'aria dove si andranno a formare le linee di saldatura sono fondamentali così da evitare anche la formazione di trappole d'aria e bruciature.

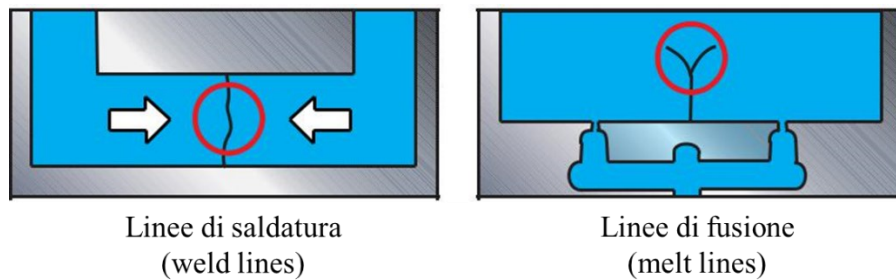


Figura 5-4 Weld e Melt Lines

Capitolo 6

PRE-SIMULAZIONE IN MOLDFLOW SIMULATION

Dopo una breve, ma dovuta, spiegazione di come collegare la progettazione del particolare con il *software* andiamo ad analizzare gli step iniziali da eseguire una volta che iniziamo a lavorare con esso, così da fornire dei concetti fondamentali per addentrarci all'interno del programma *Moldflow*.

Dopo un'introduzione al programma andremo ad esporre le fasi per avviare una simulazione, nel caso specifico una pre-simulazione utile a capire se i punti indicati vanno bene e se ci sono dei difetti problematici.

6.1 INTRODUZIONE AL SOFTWARE

L'industria termoplastica, in continua evoluzione, ha riconosciuto l'aiuto offerto dalle tecniche di *Computer - Aided Engineering*, individuando i seguenti vantaggi:

- La diminuzione del numero di prototipi di stampi;
- La riduzione degli scarti di materiale;
- Un netto miglioramento della fase di progettazione;
- Analisi dell'influenza dei parametri di processo;
- La riduzione del tempo di sviluppo del prodotto e del time to market;
- La garanzia di qualità più elevata;
- Riduzione dei costi di prodotto e di processo.

Il processo di simulazione è un metodo che integra i criteri tradizionali di calcolo e l'esperienza dell'ingegnere nella rilevazione di possibili discordanze e nell'adozione preventiva di azione correttive.

Ne deriva uno strumento di calcolo potentissimo, se utilizzato in modo corretto (Chen, 2009). Fornisce una previsione con buona approssimazione di molti fenomeni che avvengono durante il processo di stampaggio ad iniezione.

Come accennato in precedenza, è fondamentale per le aziende ridurre in modo consistente il time to market e i costi di progetto e di processo. Si vogliono ricercare soluzioni innovative,

sia nell'evoluzione del prodotto ma soprattutto nella fase iniziale di progettazione (“prevenire è meglio che curare”).

In questo modo, le aziende che dispongono di un'area ricerca e sviluppo hanno maggiori possibilità di ottenere risultati migliori.

Autodesk Simulation Moldflow Insight (ASMI) è un software basato sul sistema “*Finit Element Analysis*” (*FEA*). Si tratta di un metodo computerizzato che prevede la reazione di un prodotto di fronte a diversi fattori: le reali forze sottoposte, le vibrazioni, il calore, il flusso di fluido e altri possibili effetti fisici.

L'analisi degli elementi finiti permette di capire la resistenza di un prodotto e il rispetto delle condizioni di progettazione.

Viene diviso un oggetto reale (modello) in un infinitesimale numero di elementi finiti: le equazioni matematiche integrate nel software aiutano a prevedere il comportamento di ciascuno di questi elementi.

Quindi una volta determinati gli obiettivi, l'analisi *Moldflow* permette di visualizzare e verificare il flusso di fluido e il trasferimento di calore attraverso equazioni per simulare il processo di stampaggio a iniezione, così da valutare un progetto iniziale ed ottimizzare la progettazione sulla base dei risultati ottenuti.

6.2 DETERMINARE GLI OBIETTIVI DELL'ANALISI

Ogni parte analizzata ha un diverso insieme di vincoli in forma di obiettivi, restrizioni, e linee guida. Questi vincoli devono essere presi in considerazione quando si fa un'analisi. Tuttavia, non si vuole limitare l'analisi al punto in cui una soluzione non può essere trovata.

Il *Moldflow* può aiutare a identificare i problemi e le soluzioni a questi problemi, ma ci deve essere flessibilità nella progettazione per consentire soluzioni inizialmente non considerate.

Gli obiettivi definiti per il particolare che andremo ad analizzare sono i seguenti:

- Con il punto di iniezione già definito, abbiamo un flusso bilanciato?
- Le pressioni sono elevate?
- La temperatura al fronte di flusso si mantiene costante o aumenta a causa dello stress causando problemi estetici?
- Si formano trappole d'aria in zone non idonee?
- Si formano linee di giunzione in zone indesiderate?
- Posso agire sulla geometria del pezzo per evitare questi problemi?

6.3 PROCEDURA DI ANALISI MOLDFLOW

Le procedure corrette da adottare per condurre un'analisi su una parte sono varie quanto le parti e i problemi da risolvere. I risultati di un'analisi ci guideranno in un percorso per trovare soluzione che cambierà a seconda del problema e le scelte che si fanno per risolvere il problema. In generale, ci sono diversi modi per risolvere un problema, alcuni meglio di altri. Di seguito sono i passaggi di base per condurre una corretta ottimizzazione di un'analisi di flusso, di raffreddamento e di deformazione su una parte.

6.3.1 L'intero procedimento

La procedura per analizzare una parte dal riempimento alla deformazione è mostrata in Figura 6.1, essa segue i principi di progettazione di *Moldflow* discussi nel capitolo 5: il riempimento della parte, seguito dai canali di alimentazione, per passare al sistema di raffreddamento, migliorare la fase di mantenimento ed infine migliorare le deflessioni. Ciascuno di questi passaggi saranno discussi in dettaglio nelle sezioni successive.

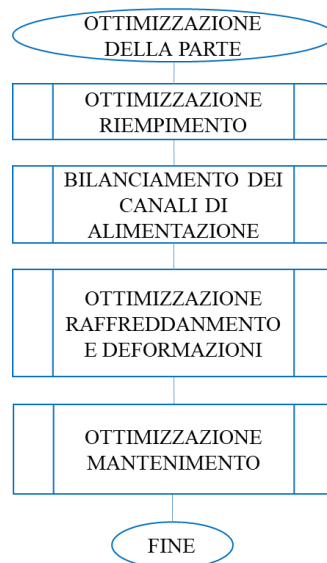


Figura 6-1 I passi fondamentali per ottimizzare la parte da riempimento alle deformazioni

6.3.2 Ottimizzazione della fase di riempimento

Ottimizzare il riempimento della parte è il primo passo importante. Questa è la base per tutti i successivi *step* dell'analisi. I passaggi per ottimizzare il riempimento sono mostrati nella Figura 6.2 e poi descritti.

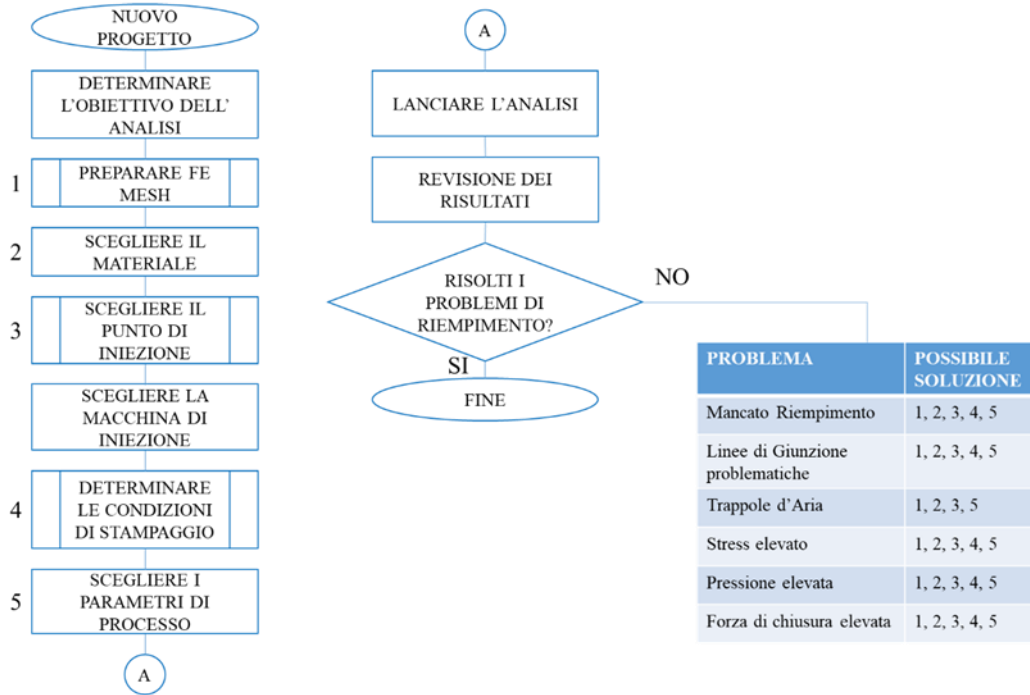


Figura 6-2 STEP avvio progetto

6.3.3 Preparazione della Mesh

Per eseguire un'analisi *Moldflow*, il modello deve avere un'appropriata meshatura, formata da un numero di elementi finiti che ricalcano la superficie del modello. Spesso, la mesh è indicata semplicemente come maglia. Gli elementi dividono la geometria (dominio) della parte o di un altro componente in una serie di piccoli domini. Questi piccoli domini o elementi sono definiti dai nodi (coordinate nello spazio) e sono utilizzati per i calcoli interni del *Moldflow*. Ci sono tre principali categorie di elementi:

- **Beam:** composto da due nodi e viene usato per descrivere il sistema di alimentazione, canali materozza, raffreddamenti.
- **Triangoli:** formato da tre nodi, viene usato per descrivere le parte, gli inserti di stampo, etc.

- **Tetraedri:** costituito da quattro nodi, è usato per descrivere le parti, nuclei, sistemi di alimentazione, ecc.

Esempi di questi tre tipi di elementi sono mostrati nella Figura 6.3.

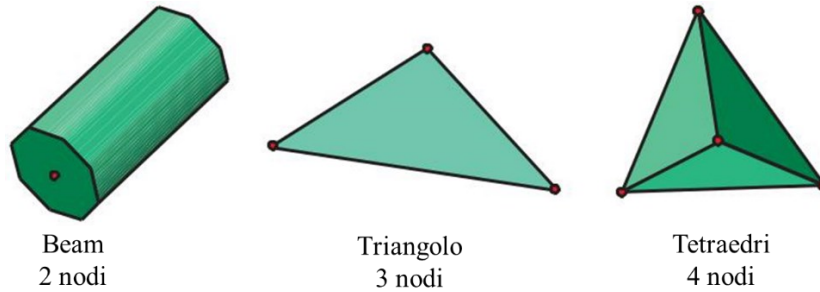


Figura 6-3 Tipi di elementi

Moldflow utilizza tre tipi di maglia per l'analisi. I tipi di maglia utilizzano una combinazione dei tipi di elementi sopra descritti. I tipi di maglia sono:

- **Midplain** (1D): la mesh è definita sulla mezzeria della sezione trasversale del particolare, come mostrato nella Figura 6.4 (a);
- **Dual domain** (2.5D Modificata): viene creata la mesh tra due superfici (superiore ed inferiore), lo spessore del modello definisce la distanza tra le *mesh*, come mostrato nella Figura 6.4 (b);
- **3D:** con elementi tetragonali. Lo spessore del componente in esame viene suddiviso in strati. Ad ogni nodo si hanno informazioni di pressione, temperatura e velocità del flusso, si considera il calore di conduzione in tutte le direzioni e possibile valutare gli effetti dell'inerzia e/o della gravità, come mostrato nella Figura 6.4 (c).

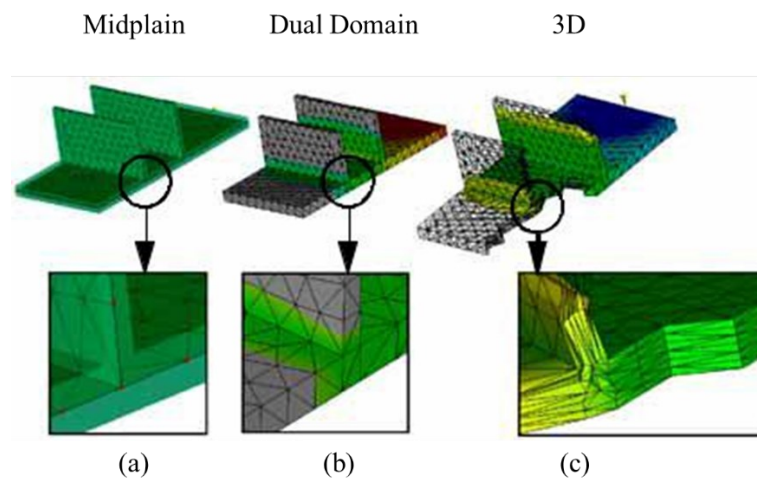


Figura 6-4 Tipi di Mesh

Come raffigura il diagramma a colonne, nella Figura 6.5, è evidente che il processo *Dual Domain* è un buon compromesso tra l'analisi *Mildplane* e quella *3D*. La preparazione del modello in tutte le mesh è comunque fondamentale per ottenere risultati con approssimazioni molto piccole.

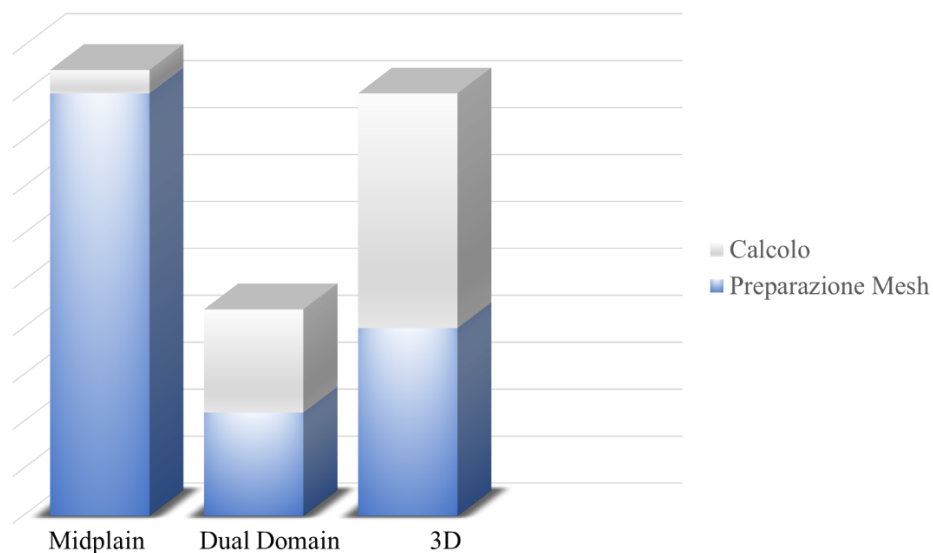


Figura 6-5 *Impatto delle analisi correlando la preparazione della mesh con il calcolo del risolutore*

Requisiti della Mesh

Oltre ad avere una mesh senza errori, essa dovrebbe anche rappresentare la parte correttamente. La densità della *mesh* è una considerazione importante oltre a rappresentare adeguatamente la geometria del pezzo.

La densità della *mesh* è un valore importante oltre che ai fini dei risultati finali, anche al tempo di esecuzione del *software* ad eseguire le simulazioni. Una *mesh* molto fine, con un maggior numero di maglie e di nodi, comporta un aumento del tempo di utilizzo della *CPU* del computer. Non è detto che avere una densità della *mesh* molto fitta comporti una migliore simulazione. Si deve “scegliere” un opportuno valore, dato dall’esperienza dell’utente o in forma più approfondita da un’analisi di sensitività, così da ottenere dei risultati soddisfacenti nel tempo più breve possibile.

Alcune considerazioni ulteriori sono ragionate su altri aspetti, non meno importanti. Per prevedere in modo ottimale le linee di salutare o linee di giunzione, è necessario disporre di una *mesh* fine e non grossolana, infatti la localizzazione dei nodi e della *mesh* influenza l’esatta posizione delle linee di giunzione.

Pertanto, quando sono necessarie informazioni sulle linee di giunzione, una maglia fine è essenziale poiché una mesh grossolana non indica con precisione la presenza di esse. Nella Figura 6.6 (a), i contorni di riempimento in funzione del tempo mostrano una V al fronte del flusso sagomato sul lato destro di ciascun foro, tuttavia, nessuna linea di giunzione è prevista per il foro alla fine del riempimento. Una linea di giunzione si formerà sempre quando c'è un foro o una tasca nella parte anteriore del flusso. Con la maglia fine nella Figura 6.6 (b), le linee di giunzione sono visualizzate come previsto. Si noti come la linea di giunzione in prossimità del foro di destra della Figura 6.6 (b) è angolata in su. Le posizioni dei nodi della maglia influenzano la posizione esatta della linea di saldatura.

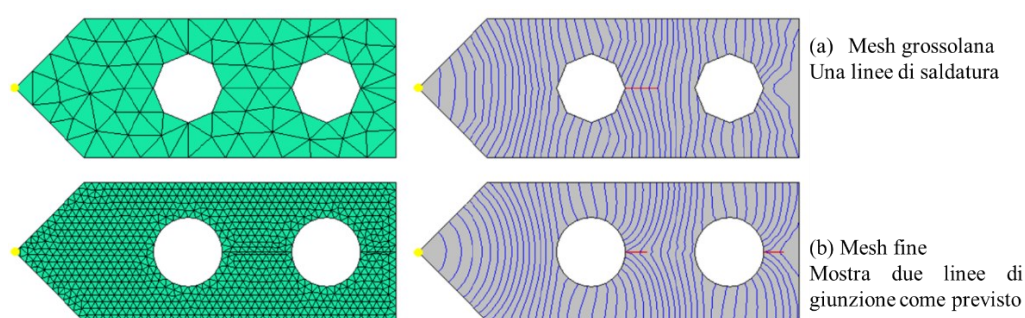


Figura 6-6 Predizione linee di giunzione in base alla mesh

Analogo ragionamento può essere fatto prevedere delle trappole d'aria. Nella Figura 6.7, possiamo vedere come infittendo la maglia riusciamo a vedere la formazione di trappole d'aria che non si avrebbero.

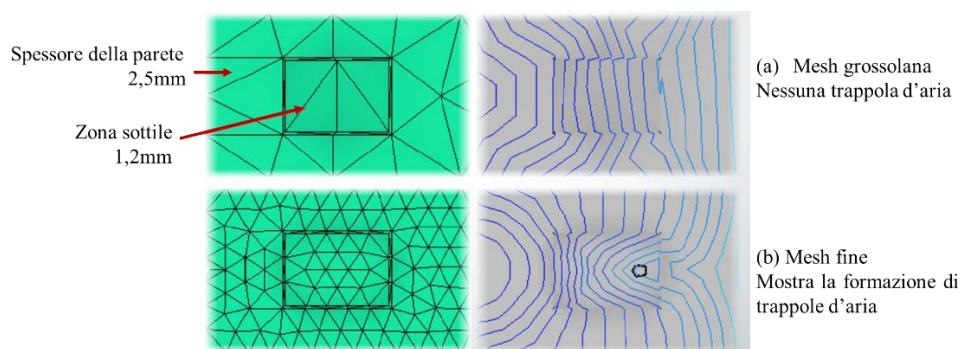


Figura 6-7 Predizione trappole d'aria in base alla mesh

Il volume della parte viene calcolato dalla forma parte, le dimensioni e lo spessore della parete. Il volume è un buon modo per determinare se la nostra meshatura è accurata. Confrontare il volume del CAD con il volume modello di *Moldflow* è fondamentale,

normalmente, il volume calcolato non deve oltrepassare il 5% del volume calcolato nel modello *CAD*.

Il volume calcolato per i modelli 3D sarà generalmente più accurato rispetto ad un Midplane a causa del reticolo di superficie utilizzato nel 3D. Il volume è importante in quanto aiuta a definire la portata necessaria nella parte, e influenzerà in modo significativo il calcolo della pressione nel sistema dei canali. Il volume della parte ha poca influenza sulla caduta di pressione all'interno della parte stessa. Quando viene aggiunto il sistema di canali, il volume della parte influenzerà la portata nel sistema a canale e, pertanto, la caduta di pressione.

Lo schema Figura 6.8, mostra in sequenza gli steps necessari per svolgere una corretta preparazione e valutazione dei risultati della *mesh*.

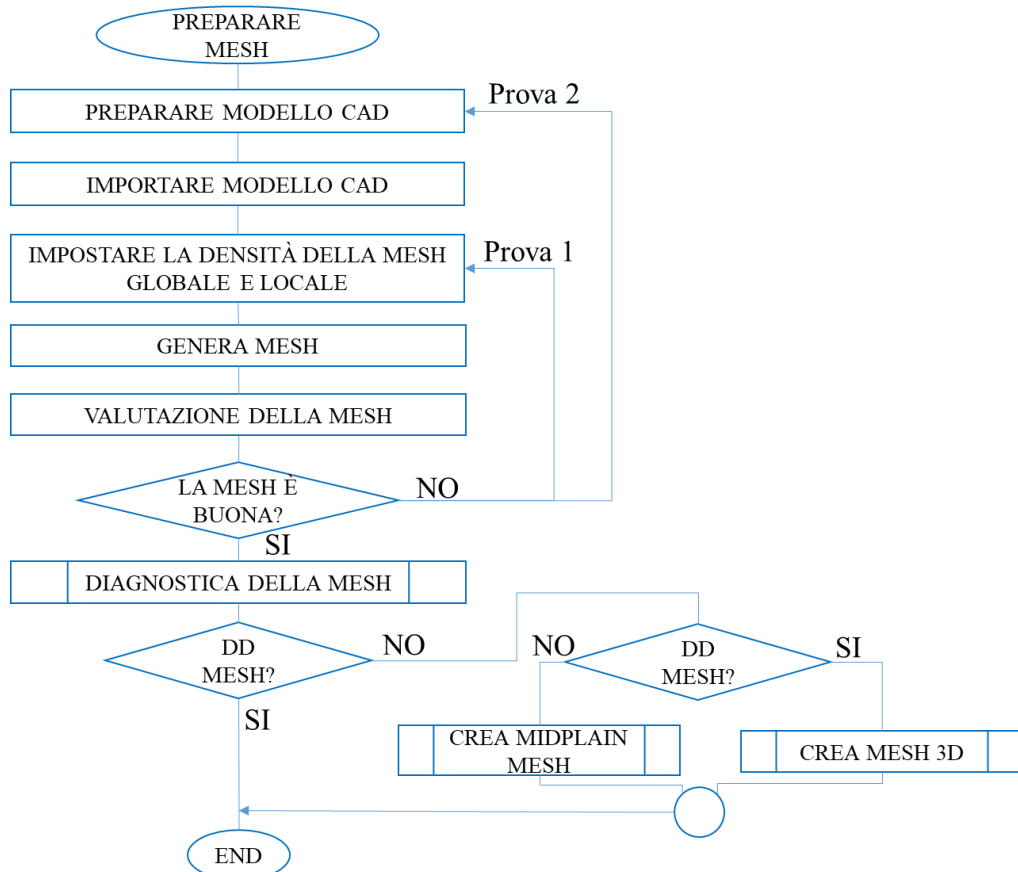


Figura 6-8 Step dalla preparazione all'analisi della *mesh*

Pertanto, per ottenere dei risultati migliori e più prossimi alla realtà è necessario sin dall'inizio prestare molta attenzione sul tipo di *mesh* da adottare. A seconda della geometria, delle dimensioni e degli spessori del modello si stabilisce il tipo di *mesh*.

Aspetto variabile che influisce sul risultato è il valore di densità della *mesh* che influisce sia sul tempo di calcolo sia sulla qualità della *mesh* e quindi dei risultati finali.

Il software Moldflow permette attraverso uno strumento di diagnostica, di visualizzare i valori rappresentativi della *mesh*, come ad esempio il massimo, il medio e il minimo *aspect ratio*.

Questo parametro di controllo (*aspect ratio*) rappresenta il rapporto tra il lato più lungo e l'altezza del triangolo.

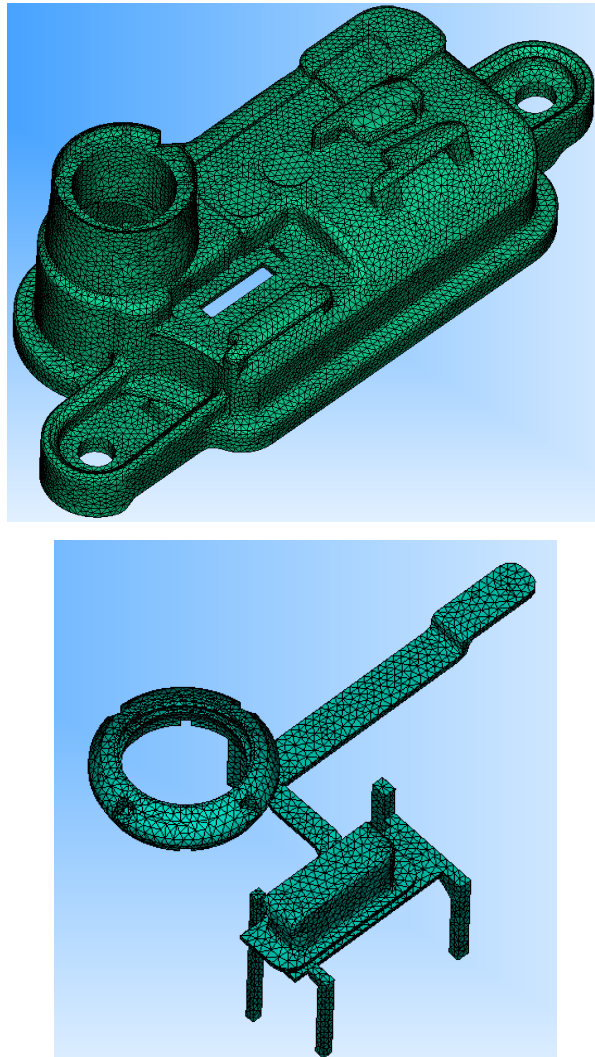


Figura 6-9 Mesh generata dal software Moldflow

Il software ha suggerito una dimensione della *mesh* di 0,87 mm; il compromesso giusto fra numero di elementi e tempi di calcolo dell'analisi l'abbiamo riscontrato applicando una riduzione del 20% sul valore consigliato dal *Moldflow*, pertanto si è optato per una dimensione della *mesh* di 0.7 mm.

Per migliorare la *mesh* è stata variata la densità della stessa in prossimità dei raggi di raccordi e delle parti in contatto fra i due materiali.

| Conteggio delle entità | Valori | Unità di misura |
|------------------------|---------|-----------------|
| Tetraedri | 1154231 | / |
| Nodi | 209997 | / |
| Volume per componenti | | |
| Cavità PP | 9,83 | cm ³ |
| Cavità TPE-V | 3,28 | cm ³ |
| Rapporto di forma | | |
| Massimo | 12,4685 | / |
| Medio | 1,9144 | / |
| Angolo diedro massimo: | | |
| | 178° | / |

Tabella 4 Diagnostica mesh Moldflow

Come si osserva dalla tabella 4, il dato più interessante è quello espresso dal rapporto di forma, dove indica il rapporto tra l'altezza e la lunghezza del triangolo. Sono state effettuate delle piccole correzioni per migliorare e abbassare il rapporto di forma massimo.

6.3.4 Selezionare il materiale

Per avviare un'analisi *Moldflow*, occorre conoscere il materiale e le sue proprietà. *Moldflow* ha una vasta base di dati con le proprietà richieste necessarie per l'analisi. Se un materiale non viene trovato, i dati possono essere ottenuti dai servizi di *Moldflow*, il produttore del materiale, o da altre fonti.

Le proprietà del materiale presenti nel database sono:

- Proprietà reologiche;
- Proprietà PVT;
- Proprietà meccaniche;
- Proprietà di ritiro.

Il materiale utilizzato per la prima iniezione è un *SIRMAX - Isoglass H 30 FVL*. Si tratta di polipropilene "PP" caricato al 30% fibra di vetro. Presenta le seguenti caratteristiche principali riportate in tabella:

ISOGLASS® - PP (glass fiber reinforced)

| | |
|-----------------------|---|
| Structure | Semicristalline |
| Density | 0.97 – 1.26 g/cm ³ (10-40% filled) |
| General properties | Hard, good resilience. High stiffness. Low hygroscopicity and good thermal stability. |
| Barrel temperature | (decrease 15°C for flame retardant grades) |
| Feed zone: | 30 – 50 °C |
| Zone 1: | 160 – 240 °C |
| Zone 2: | 210 – 250 °C |
| Zone 3: | 230 – 250 °C |
| Zone 4: | 230 – 250 °C |
| Zone 5: | 230 – 250 °C |
| Nozzle: | 230 – 250 °C |
| Melt temperature | 230 – 250 °C |
| Mould temperature | 20 – 70 °C |
| Injection temperature | 800 – 1400 bar |
| Post-pressure | Between 30 and 60% of injection pressure, high post-pressure time |
| Counterpressure | 50 – 200 bar |
| Injection speed | Medium |
| Screw speed | Equal to peripheric speed of 1.3 m/s |
| Metering | 0.5 – 4.0 diameters |
| Cushion | 2 – 8 mm, depends on metering and screw diameter |
| Drying | Not necessary. 1 hour at 70°C if stored in humid place. |
| Recycle | 100% of regrinded material. This percentage decreases for technical and aesthetic parts. |
| Shrinkage | 0.3 – 0.7 %, complete after 40 hours. |
| Barrel equipment | Standard screw, non-return valve, free-flow nozzle |
| Quenching | Not necessary to purge with other materials. Purge with natural product suggested after flame retardant processing. |

Tabella 5 Caratteristiche principali del primo materiale selezionato per il guscio bi-materia

Mentre il materiale utilizzato per la seconda iniezione è un *KRAIBURG TPE THERMOLAST K TV7LVZ*, si tratta di un TPE-V. Presenta le seguenti caratteristiche principali riportate in tabella:


|  | | Scheda tecnica TV7LVN (Serie LTP) THERMOLAST® V | |
|---|---|--|---------------------------------|
| Proprietà del materiale | Value | Unit | Standard |
| Durezza | 68 | Shore A | DIN ISO 7619-1 |
| Densità | 1.050 | g/cm ³ | DIN EN ISO 1183-1 |
| Resistenza a trazione ¹ | 7.5 | MPa | DIN 53504/ISO 37 |
| Allungamento a rottura ¹ | 450 | % | DIN 53504/ISO 37 |
| Resistenza allo strappo | 15.0 | N/mm | ISO 34-1 Methode B (b) (Graves) |
| CS 72 h/23 °C | 14 | % | DIN ISO B15-1 Method A |
| CS 24 h/70 °C | 36 | % | DIN ISO B15-1 Method A |
| CS 24 h/100 °C | 37 | % | DIN ISO B15-1 Method A |
| CS 24 h/120 °C | 43 | % | DIN ISO B15-1 Method A |
| Temperatura cilindro | 180 - 200 - 220 °C, max. 250 °C | | |
| Canali caldi | Temperatura del canale caldo: 200 - 250 °C. La capacità del canale caldo deve essere di massimo 2 - 3 stampate. | | |
| Pressione iniezione | Compresa tra 200 e 1000 bar (2900 - 14504 psi) (in funzione della geometria e del peso del pezzo) | | |
| Tempo di Riempimento | In generale, il tempo di riempimento non dovrebbe essere superiore ad 1-2 secondi. | | |
| Pressione di mantenimento | Si raccomanda una pressione di mantenimento partendo da un valore compreso tra il 40% ed il 60% della pressione di iniezione utilizzata. | | |
| Contropressione | Tra 20 e 100 bar; se si utilizzano masterbatches è necessaria una contropressione maggiore. | | |
| Risucchio | Il risucchio è necessario quando si utilizza un ugello aperto. | | |
| Temperatura stampo | Tra 25 e 40 °C | | |
| Deumidificazione | Non è necessaria la deumidificazione. Se si crea condensa a causa di una variazione di temperatura, il materiale dovrebbe essere deumidificato per 2 ore a 60 °C - 80 °C (140 - 175 °F) | | |
| Ugello con otturatore | Con materiali aventi durezza <50 Sh.A, si consiglia l'uso di ugelli con otturatore. | | |
| Geometria vite | Vite tre zone standard (per poliolefine). | | |
| Tempo di residenza | Il tempo di residenza in vite deve essere il più corto possibile e comunque non deve eccedere i 10 minuti. | | |

Tabella 6 Caratteristiche principali del secondo materiale selezionato per il guscio bi-materia

6.3.5 Realizzazione dei canali di iniezione

Come primo approccio siamo andati ad effettuare la simulazione su un singolo particolare, così da ridurre il tempo di esecuzione dell'analisi, per avere in maniera tempestiva un risultato dell'analisi e vedere se ci sono dei possibili problemi legati alla matematica del particolare, oppure problemi che riguardano il sistema di iniezione.

Inizialmente siamo andati a modellare la geometria del canale partendo dalle dimensioni dell'ugello 3D, riportandole all'interno del moldflow mediante l'utilizzo dei *beam*.

Nella figura 6.10 sono rappresentate gli ugelli in sezione.

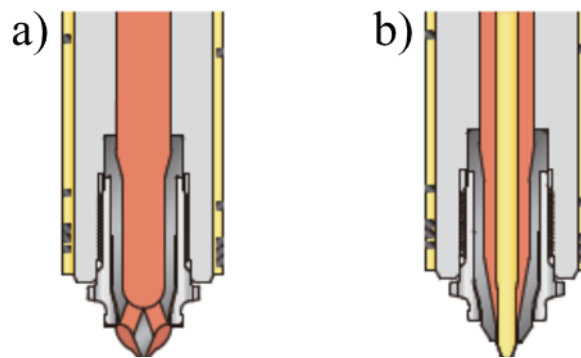


Figura 6-10 Modelli ugelli a) flusso libero, b) otturazione

6.3.6 Determinare le condizioni di stampaggio

Devono essere definite le condizioni di stampaggio fra cui le seguenti:

- Temperatura dello stampo;
- Temperatura di fusione;
- Tempo di iniezione.

Queste sono le condizioni di stampaggio fondamentali necessarie per un riempimento o flusso di analisi. Ottimizzare queste condizioni è spesso un passaggio critico per l'analisi del particolare ed è illustrato nella Figura 6.11.

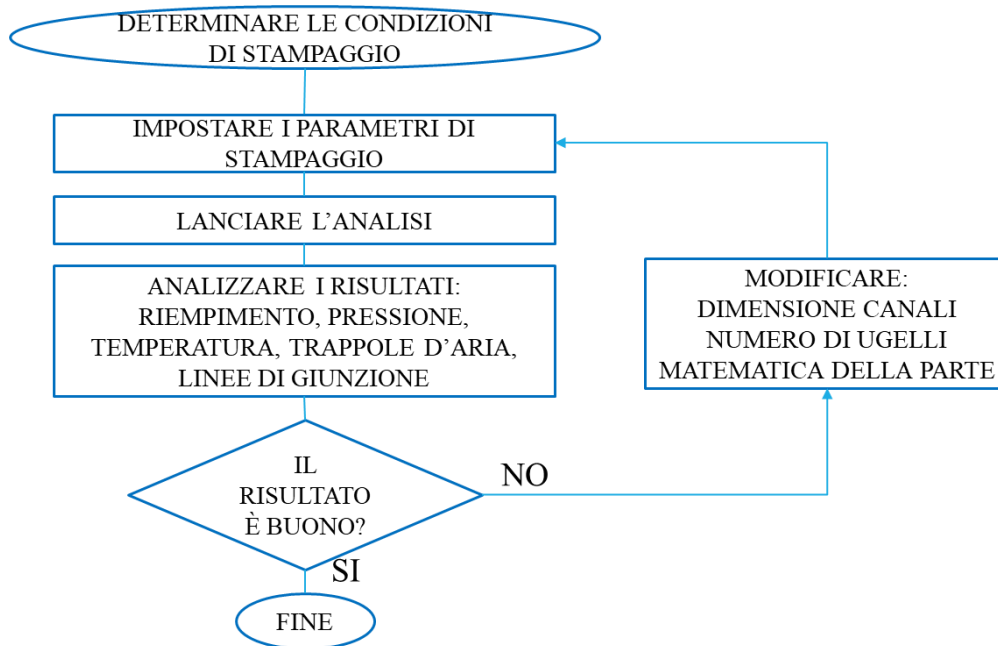


Figura 6-11 Determinare le condizioni di stampaggio

6.3.7 Impostazione dei parametri di stampaggio

I parametri di stampaggio comprendono altri input necessari per l'analisi di riempimento. Inizialmente abbiamo utilizzato dei valori, almeno inizialmente. I parametri chiave includono il metodo e la tempistica della velocità di commutazione pressione e il profilo di imballaggio.

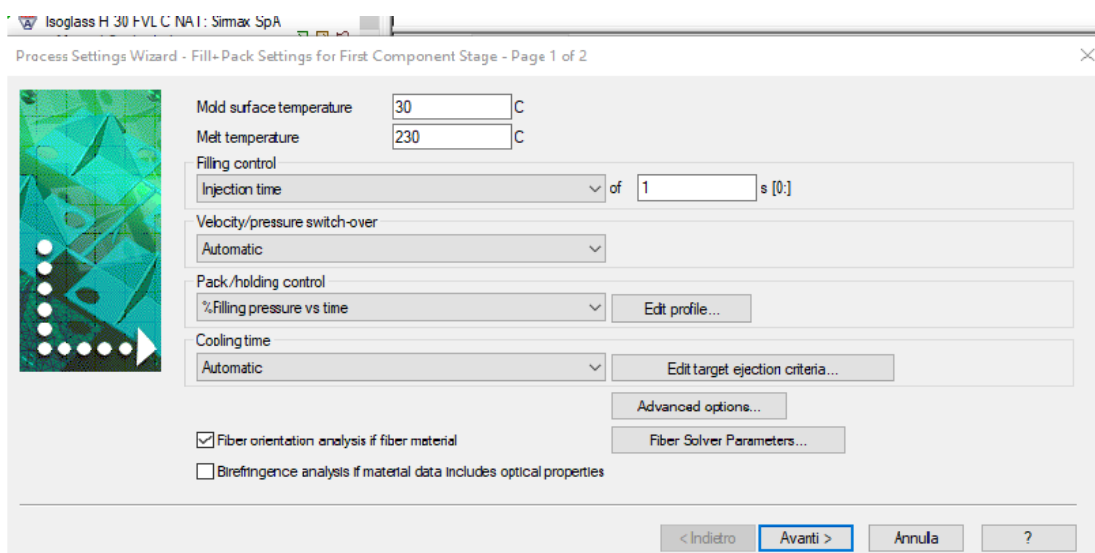


Figura 6-12 Parametri di stampaggio PP

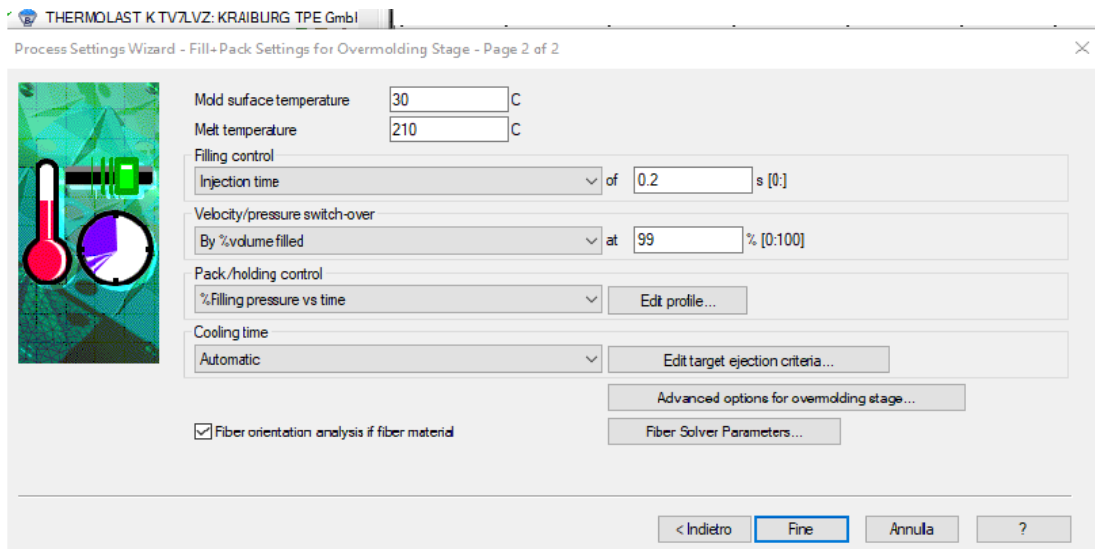


Figura 6-13 Parametri di stampaggio TPE-V

6.3.8 Esecuzione dell'analisi

L'analisi in questo caso è un'analisi di riempimento che guarda solo la fase di riempimento del ciclo. L'analisi termina quando il particolare è pieno al 100%. La fase di riempimento è la fase del ciclo in cui si verificheranno più problemi.

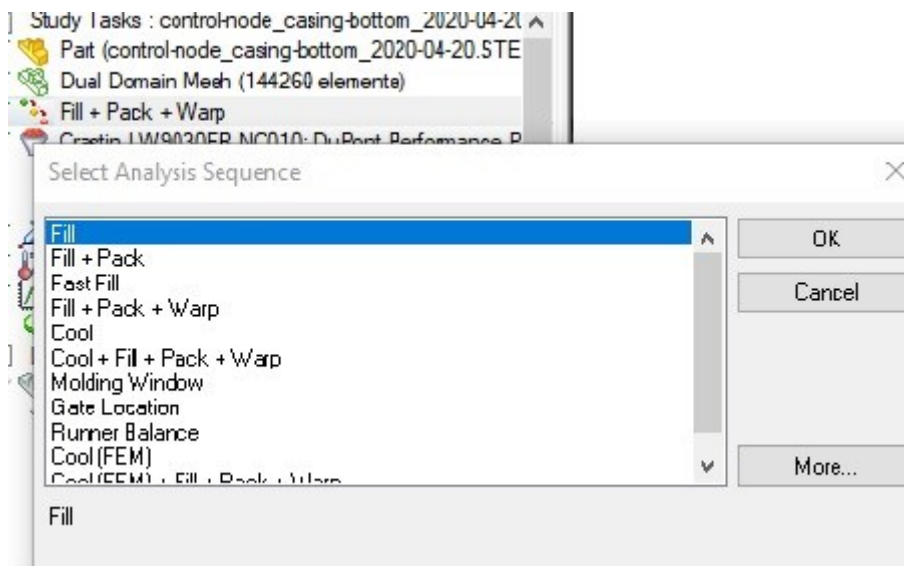


Figura 6-14 Selezione del tipo di analisi nel Moldflow

6.3.9 Analisi dei risultati e soluzioni

Quando l'analisi di riempimento è conclusa, esaminiamo i risultati per trovare tutti i possibili problemi e per determinare come procedere. Ci sono un numero significativo di risultati che possono essere rivisti, ma quelli che riteniamo fondamentali per la corretta progettazione del particolare e del relativo sistema di iniezione sono i seguenti:

- *Fill Time;*
- *Pressure at V/P switchover;*
- *Temperature at Flow Front;*
- *Air Traps;*
- *Weld Line;*
- *Re-melt zone.*

Ora andremo nello specifico a commentare i risultati ottenuti.

Fill Time

È la rappresentazione grafica del risultato del tempo di riempimento e mostra la posizione della parte anteriore del flusso a intervalli regolari mentre la cavità si riempie.

I diagrammi mostrano dei contorni colorati che rappresentano il flusso di plastica nella parte. Tutte le regioni con lo stesso colore vengono riempite contemporaneamente. Il risultato è blu scuro all'inizio dell'iniezione e le ultime aree da riempire sono rosse. Se la parte subisce un mancato riempimento, la sezione che non ha riempito non ha nessun colore.

Come utilizzare questo risultato?

Lo schema di flusso è bilanciato in una parte con un buon risultato del tempo di riempimento se:

- Tutti i percorsi di flusso terminano contemporaneamente e raggiungono i bordi del modello contemporaneamente;
- I contorni sono distribuiti uniformemente ed indicano la velocità con il polimero scorre. I contorni ampiamente distanziati indicano un flusso rapido; i contorni stretti indicano che la parte si sta riempiendo lentamente.

Cosa cercare?

- *Short Shot:* apparirà come traslucido. Bisogna controllare le estremità dei percorsi di flusso per eventuali aree traslucide. Per i modelli analizzati utilizzando la tecnologia di analisi 3D, è anche possibile utilizzare il risultato della cavità non riempita per vedere se ci sono sezioni non riempite all'interno della parte.

- **Esitazione:** è un risultato del tempo di riempimento che mostra una sezione in cui i contorni sono molto distanziati. L'esitazione può provocare un mancato riempimento se si ha una zona sottile dove il materiale si blocca prima che la parte sia completamente riempita.

Nella Figura 6.15, possiamo vedere il risultato del riempimento della parte in PP e vediamo subito come pur non avendo un riempimento bilanciato, ovvero tutti i bordi non chiudono contemporaneamente, a causa dell'iniezione decentrata, i contorni, quindi le linee di flusso sono uniformi fra loro. Questo sta ad indicare che il polimero scorre all'interno della cavità con una velocità costante, eccetto nella zona evidenziata, dove queste linee si distanziano, quindi il materiale scorre più velocemente.

Questo ci identifica già un possibile problema, che potremo risolvere andando a diminuire lo spessore del particolare in quella zona, così da rallentare il flusso.

Nella Figura 6.16, possiamo vedere il risultato del riempimento della parte in TPE-V e possiamo fare un analogo ragionamento, in questo caso, a differenza di prima, possiamo vedere come le linee di flusso si assottiglino nella zona evidenziata, quindi il materiale tende a rallentare.

Una soluzione a questo problema può essere quello di aumentare lo spessore in quella zona così da avere un riempimento uniforme.

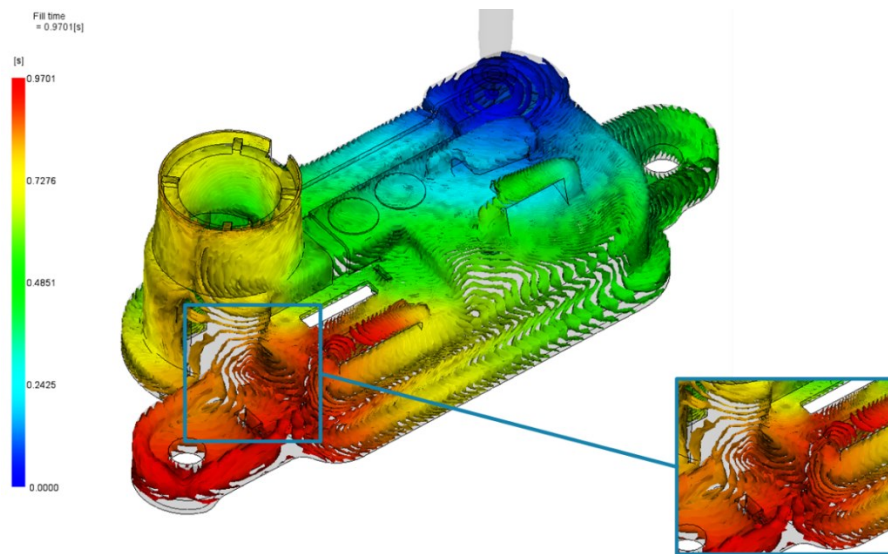


Figura 6-15 Fill parte in PP

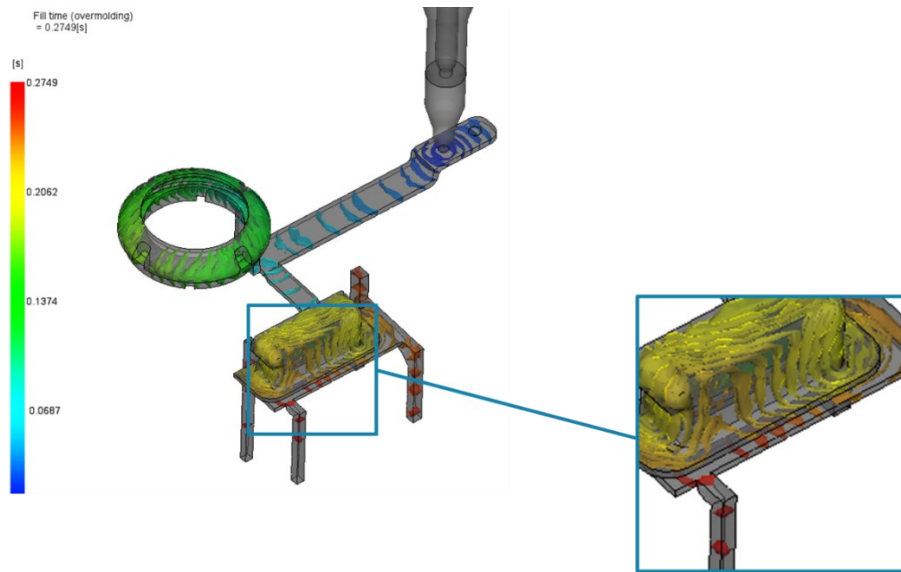


Figura 6-16 Fill parte in TPE-V

Pressure at V/P switchover

Il risultato *pressure at V/P switchover* viene generato da un'analisi di riempimento e mostra la distribuzione della pressione attraverso il percorso del flusso all'interno dello stampo nel punto di passaggio dalla velocità al controllo della pressione, quindi dalla fase di riempimento a quella di compattazione.

Normalmente la massima pressione di iniezione sull'ugello è di circa 140 MPa (20.000 psi). Si consiglia di avere una pressione massima di 100 MPa (14.500 psi) per lo stampo (parte e sistema di alimentazione) e 70 MPa (10.000 psi) al massimo per la parte.

Se superiamo questi valori occorre aumentare i punti di iniezione.

Nel caso specifico siamo all'interno di questo limite massime, quindi le dimensioni degli ugelli e le relative posizioni sono buone.

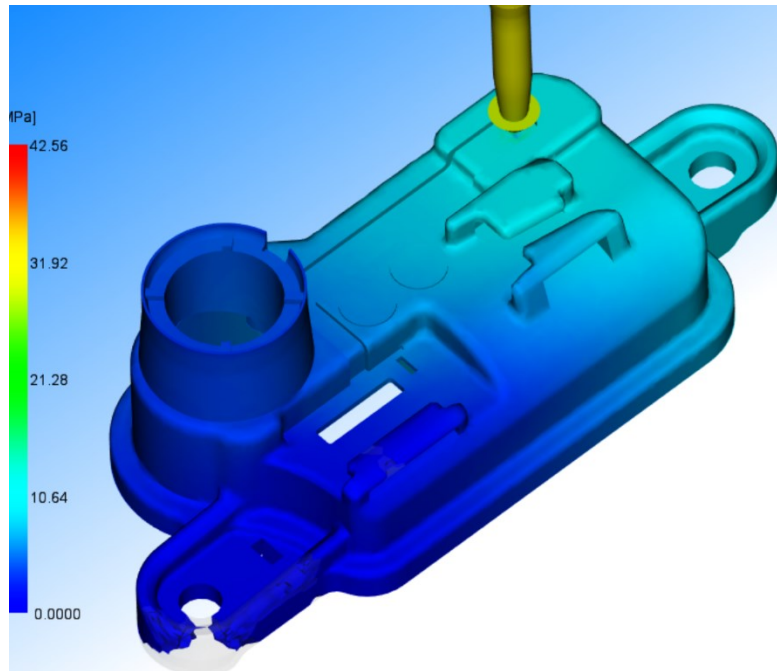


Figura 6-17 Pressure at V/P switchover PP

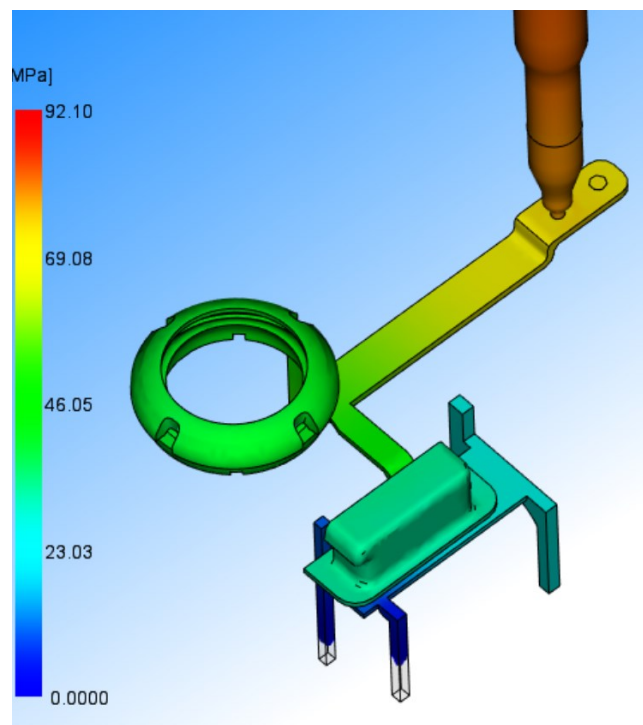


Figura 6-18 Pressure at V/P switchover TPE-V

Temperature at Flow Front

Il risultato della temperatura al fronte di flusso, che viene prodotta da un'analisi di riempimento, mostra la temperatura del polimero quando il fronte di flusso raggiunge un punto specificato al centro della sezione.

Come mostrato nella Figura 6.19, il risultato della temperatura al fronte di flusso utilizza una gamma di colori per indicare la regione con la temperatura più bassa in blu fino alla regione con la temperatura più alta in rosso. I colori rappresentano la temperatura del materiale, in ciascun punto, quando esso è stato riempito.

Il risultato mostra le variazioni della temperatura del flusso durante il riempimento.

La temperatura al fronte di flusso deve essere compresa fra i $\pm 10^{\circ}\text{C}$ rispetto alla temperatura di iniezione del polimero. Cambiamenti più grandi spesso indicano che il tempo di iniezione è troppo basso o che ci sono aree di esitazione. Se la temperatura è troppo bassa in una zona sottile della parte, l'esitazione può provocare un mancato riempimento. Nelle aree in cui la temperatura aumenta di diversi gradi, può verificarsi un degrado del materiale e relativi difetti superficiali.

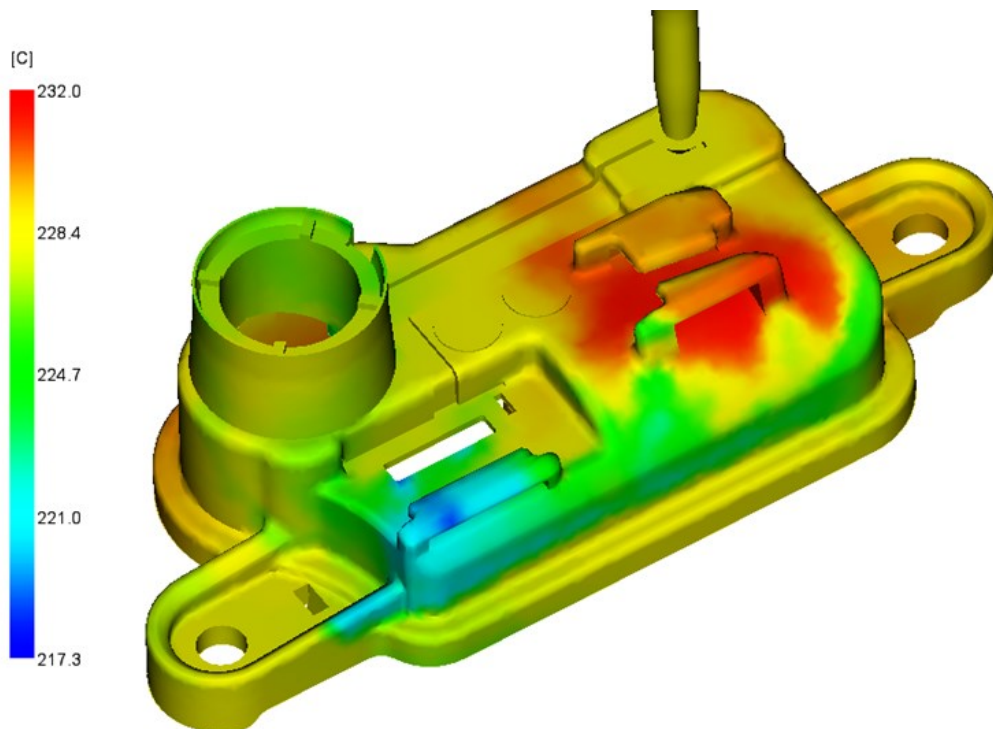


Figura 6-19 Temperature at flow front PP

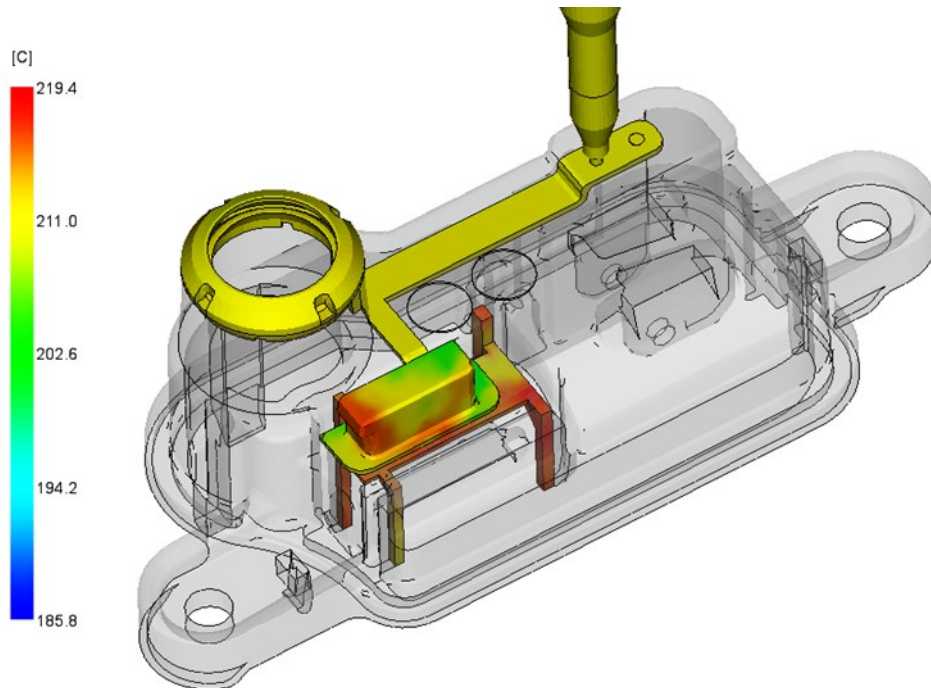


Figura 6-20 Temperature at flow front TPE-V

Nel nostro caso siamo all'interno di questo range dunque il materiale non si raffredda e non si degrada.

Air Traps

Si ha una trappola d'aria quando il materiale fuso intrappola e comprime una bolla d'aria o di gas tra due o più fronti di flusso convergenti o tra la parte anteriore del flusso e la parete della cavità. In genere, il risultato è un piccolo foro o una macchia sulla superficie della parte. In casi estremi, la compressione della bolla d'aria che si forma aumenta la temperatura a un livello che provoca il degrado o la bruciatura del polimero.

Le trappole d'aria sono spesso dovute a fronti di flusso convergenti causati *racetracking* (la tendenza del materiale fluido a scorrere preferenzialmente nelle sezioni più spesse, causata da un grande rapporto di spessore) o effetti di esitazione o da schemi di riempimento non uniformi o non lineari. Anche quando la parte ha percorsi di flusso bilanciati, uno sfiato inadeguato può causare trappole d'aria alle estremità dei percorsi di flusso.

Come utilizzare questo risultato

Le *Air Traps* mostrano quanto sono gravi le trappole d'aria e dove è probabile che si verificano nella parte. Le trappole d'aria possono essere accettabili se si verificano su una superficie che non deve essere visivamente perfetta.

Il risultato del tempo di riempimento viene sovrapposto al risultato delle trappole d'aria per confermare il comportamento di riempimento e valutare la probabilità che appaiano le trappole d'aria.

Il risultato delle trappole d'aria può rivelare i seguenti problemi:

- Segni di bruciatura causati dall'aria intrappolata, che si incendia sotto pressione e brucia la plastica.
- *Short shot* causati dal riempimento incompleto della parte; se una trappola d'aria non viene ventilata e non compressa abbastanza rapidamente da provocare un segno di bruciatura, può causare un mancato riempimento lasciando bolle d'aria o gas nel particolare stampato.
- Altre imperfezioni superficiali.

Soluzione

I seguenti metodi possono essere utilizzati per prevenire le trappole d'aria:

- Utilizzare direttori di flusso o deflettori.
- Ridurre il rapporto di spessore della parete della parte per ridurre il percorso di flusso.

Nelle Figure 6.21 e 6.22 possiamo vedere il risultato delle trappole d'aria sovrapposto al risultato di riempimento, quindi possiamo confermare le considerazioni fatte nel paragrafo del riempimento (*Fill*).

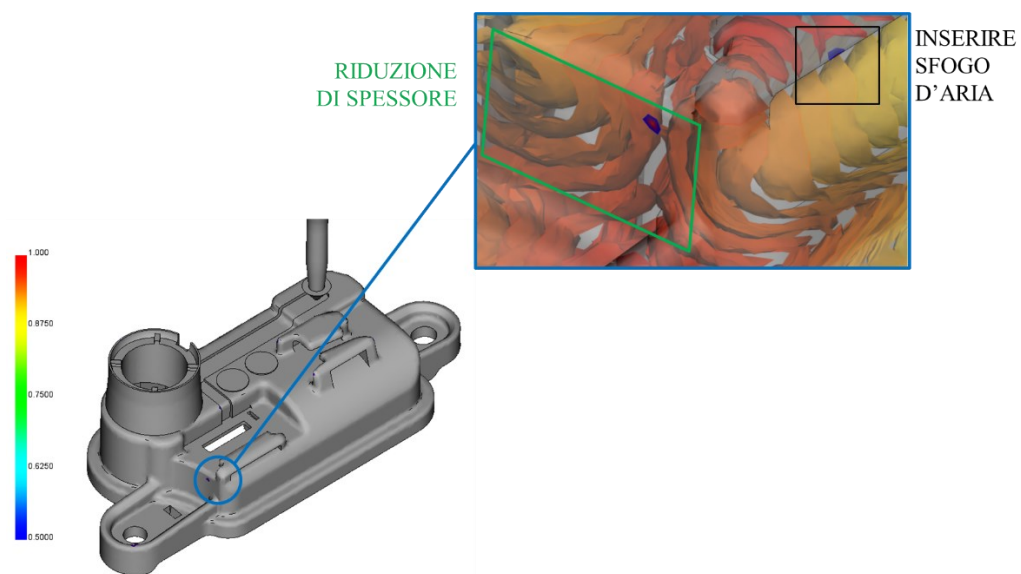


Figura 6-21 Air Traps PP

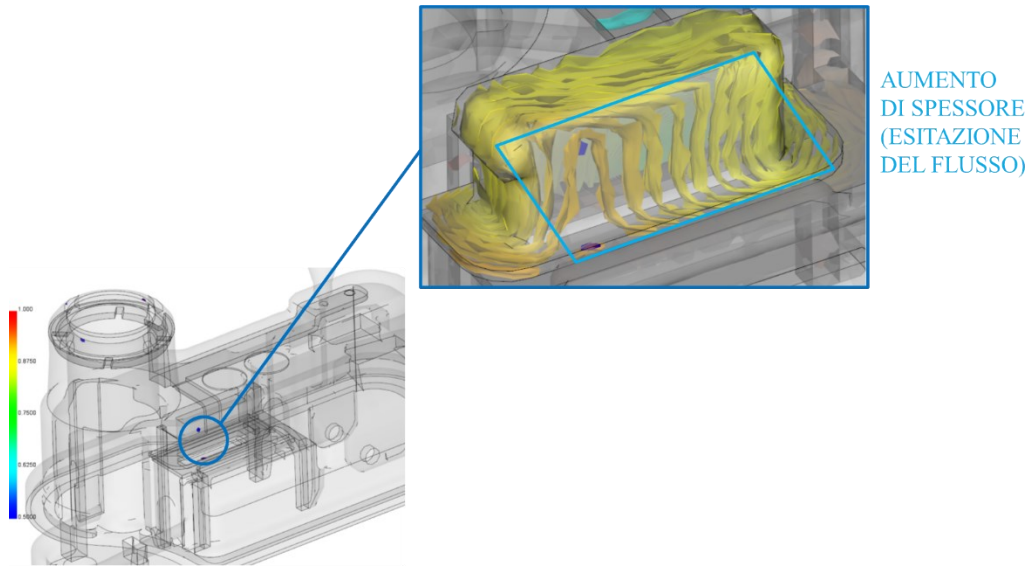


Figura 6-22 Air Traps TPE-V

Weld Lines

Le linee di giunzione sono molto importanti, in particolare per i pezzi estetici, in quanto è fondamentale prevedere con precisione il punto dove si incontreranno due o più fronti di flusso formando quasi sicuramente una linea di giunzione. Se tale linea risulta essere troppo evidente, per un pezzo, sarà opportuno modificarlo. Con tale rappresentazione si è quindi in grado di visualizzare i probabili punti in cui i flussi di materiale si incontreranno.

Il termine "*weld lines*" viene utilizzato per indicare sia le linee di giunzione che quelle di fusione. L'unica differenza tra loro è l'angolo con cui si formano:

- Le linee di giunzione si formano ad angoli inferiori rispetto alle linee di fusione;
- Le linee di giunzione possono causare problemi strutturali e rendere la parte visivamente inaccettabile.

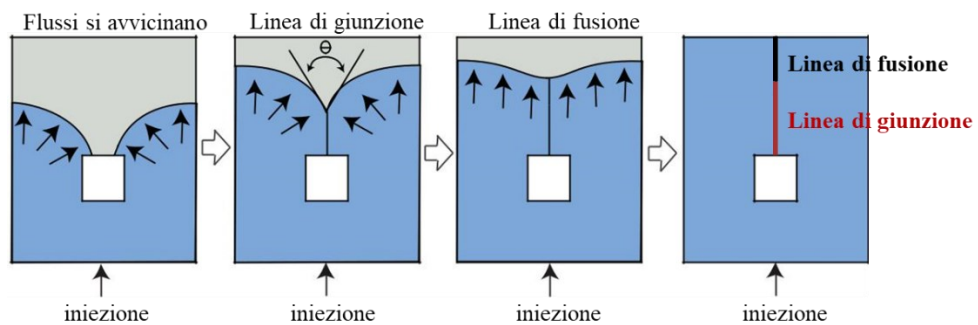


Figura 6-23 Differenza fra linee di giunzione e linee di fusione

Il risultato delle *weld lines* consente di identificare i seguenti problemi:

- Difetti visivi: una linea di giunzione può causare una linea, una tacca o un cambiamento di colore sulla superficie del pezzo. Se la linea di giunzione è posizionata su una superficie della parte non critica, come il fondo, questo potrebbe non essere un problema;
- Problemi strutturali: è più probabile che il pezzo si rompa o si deformi in una linea di saldatura, specialmente se la linea di saldatura è di bassa qualità, ovvero si forma a basse temperature. Questa debolezza è un problema più grave nelle aree della parte soggette a stress.

Nel risultato abbiamo una linea di giunzione grave nella parte in cui la gomma deve fare da guarnizione, quindi da tenuta. Tale zona è soggetta a stress, poiché non è possibile cambiare la zona di iniezione, e verificando che, in quella zona si avrebbe sempre uno scontro fra i due flussi si è deciso di aggiungere materiale al di sotto di dove si congiunge il flusso, così da spostare la linea di giunzione nella nuova zona ricavata, così da evitare un possibile problema durante la vita del particolare.

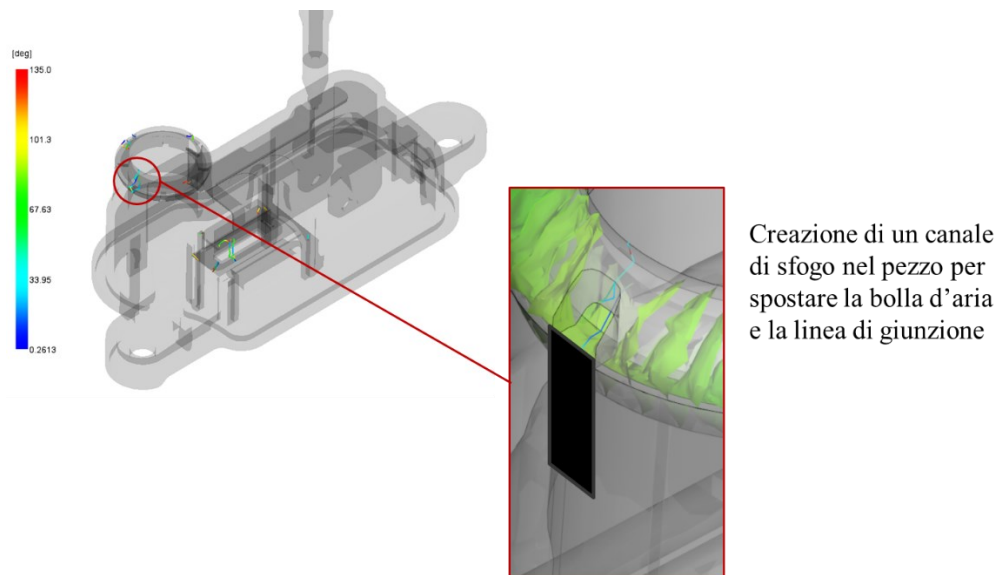


Figura 6-24 Risultato Weld Lines con annessa modifica

Re-melt zone

Re-melt zone, mostra il risultato dei componenti sovrastampati, in particolare le zone in cui il primo materiale potrebbe non essere completamente congelato o essere nuovamente fuso, quando viene iniettato il secondo materiale.

Come utilizzare questo risultato

La rifusione si verifica quando il primo materiale non si è sufficientemente raffreddato prima dell'iniezione del secondo materiale o quando la temperatura di fusione del secondo componente è sufficiente per riscaldare il primo materiale al di sopra della sua temperatura di transizione. Questo risultato indica dove, al confine tra il primo e il secondo componente, è probabile che si verifichi una nuova fusione.

La nuova fusione aumenta la resistenza strutturale tra i componenti.

Andremo a porre l'attenzione sul collare, in quanto una rifusione dei materiali fa sì che abbiamo una maggiore resistenza; ciò come possiamo vedere dalla Figura 6.25 si verifica.

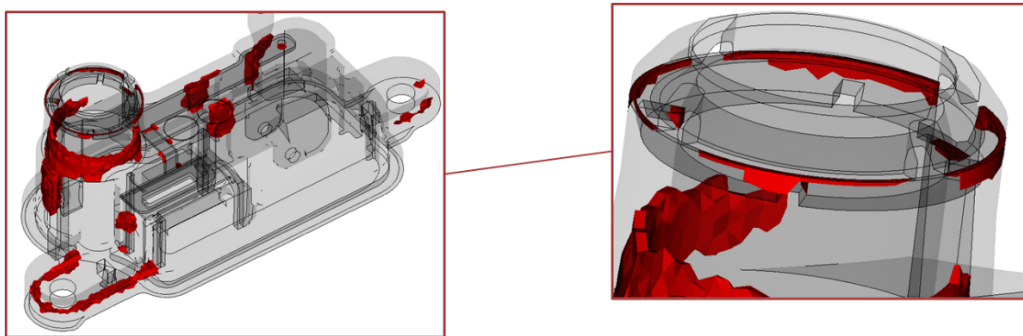


Figura 6-25 Re-melt zone

6.4 MODIFICHE AL MODELLO 3D

Dopo aver analizzato i risultati, valutato i potenziali problemi ed analizzato le possibili soluzioni, siamo giunti alle seguenti conclusioni:

- Gli ugelli ipotizzati sono corretti;
- Modificare lo spessore della parte in PP e TPE-V;
- Inserire uno scasso per far fluire il TPE-V così da evitare linee di giunzione e trappole d'aria.

In Figura 6.26 e 6.27 possiamo vedere le modifiche apportate al modello 3D

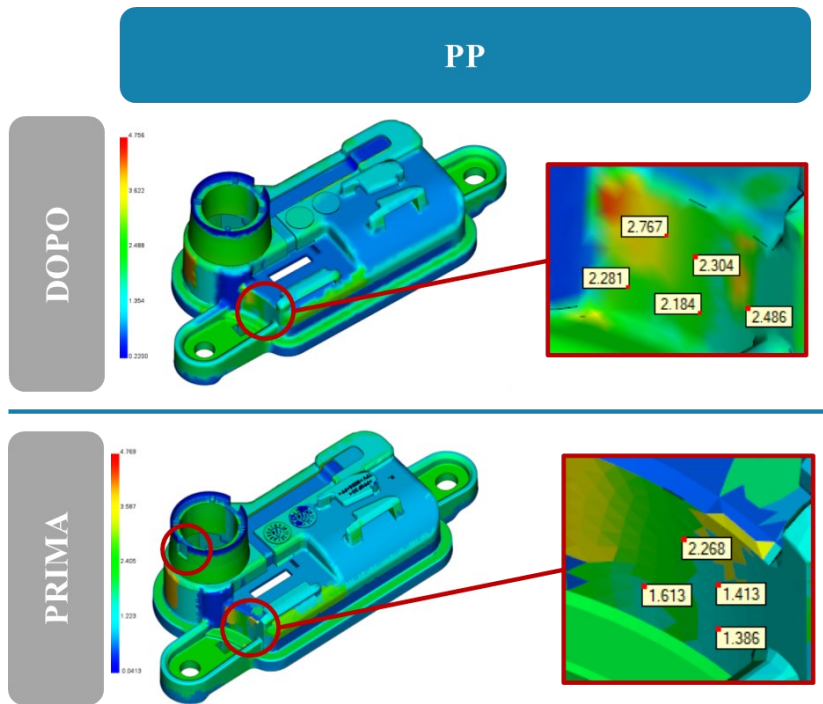


Figura 6-26 Modifiche modello PP

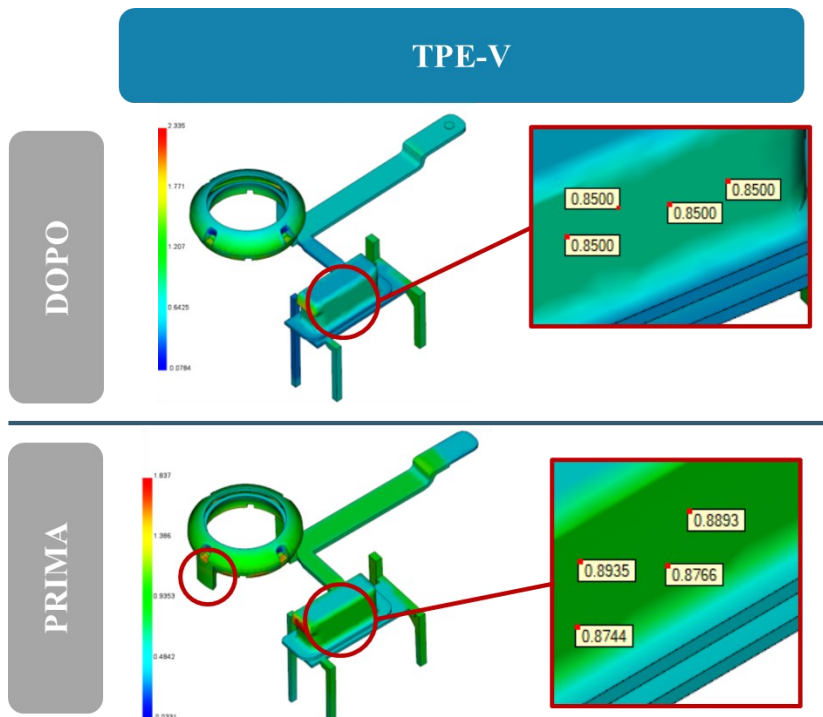


Figura 6-27 Modifiche modello TPE-V

Capitolo 7

BILANCIAMENTO DEL SISTEMA DI INIEZIONE E SIMULAZIONE FINALE

Dopo avere svolto l'analisi preliminare ed individuato i possibili problemi ed effettuate le dovute modifiche, passiamo ora alla progettazione ed al bilanciamento del sistema di iniezione.

7.1 COS'È UN SISTEMA DI INIEZIONE

Un sistema di iniezione viene utilizzato per mantenere caldo il flusso di materiale polimerico fuso dalla macchina di stampaggio fino all'ingresso della cavità dello stampo.

I vantaggi dell'utilizzo di un sistema di iniezione sono:

- Riduce i tempi di ciclo;
- Miglior qualità delle parti stampate;
- Riduce la pressione di iniezione;
- Maggiore controllo del processo per la messa a punto di stampi e parti;

In generale il sistema è composto come in Figura 7.1, e possiamo identificare tre parti principali; la bussola di iniezione, il *manifold* e gli ugelli. Nel nostro caso il sistema include anche dei pistoni con annessi spilli che servono per effettuare la chiusura del gate.

Occorre bilanciare il sistema di iniezione così da avere:

- Controllo preciso della temperatura della plastica fusa;
- Flusso bilanciato verso tutte le cavità per un riempimento uniforme delle parti;
- Dimensionamento degli ugelli per mantenere un flusso sufficiente di materiale fuso;
- Dettaglio cancello richiesto per riempire correttamente la parte e chiudere il cancello;
- Caduta di pressione minima attraverso il sistema di iniezione;
- Materiale in camera che sia minore o uguale al volume totale della stampata, così da non far rimanere materiale all'interno del sistema, rischiando che esso degradi.

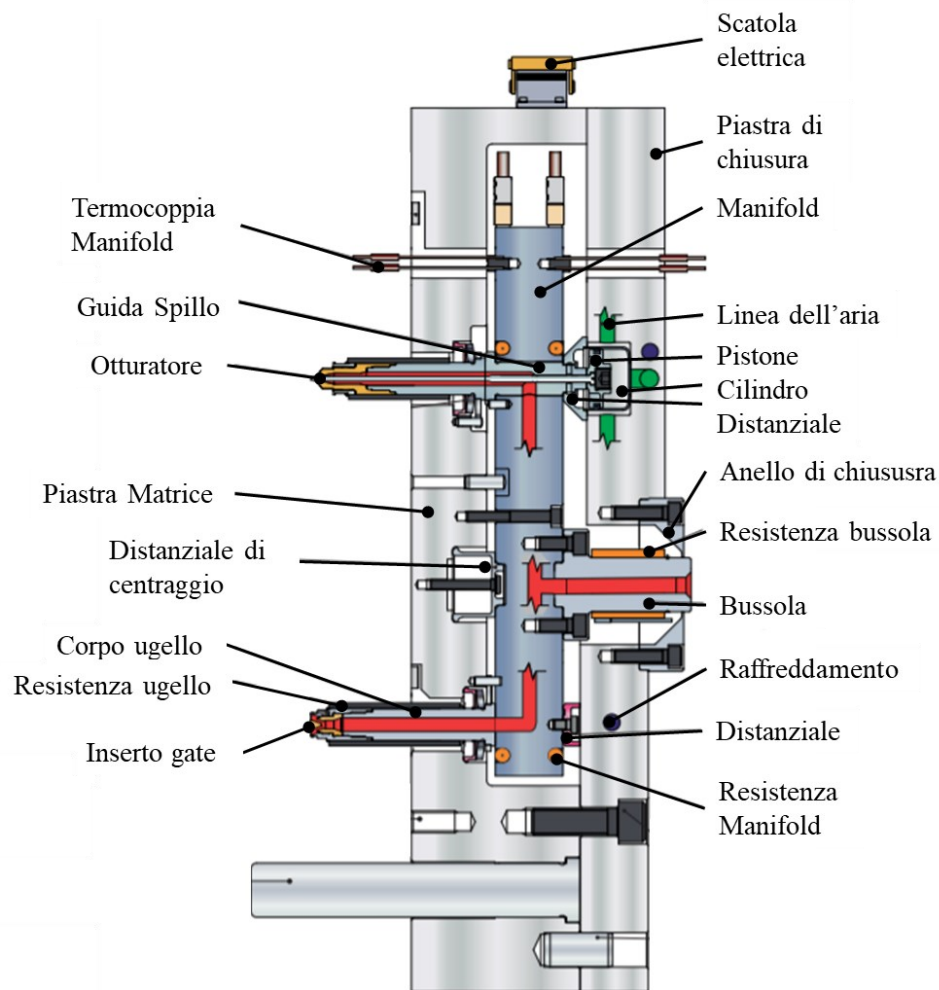


Figura 7-1 Componenti sistema di iniezione

7.2 REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA DI INIEZIONE MEDIANTE SOFTWARE MOLDFLOW

Dallo stampo del cliente andiamo a ricavare gli ingombri del sistema di iniezione così da avere le giuste altezze degli ugelli per effettuare una simulazione quanto più vicina alla realtà.

L'ingombro massimo che dovrà avere il sistema di iniezione è di 270mm, per cui conoscendo l'ingombro del manifold che è di 55mm e della bussola di 60mm, avremo che gli ugelli saranno lunghi 155mm.



Figura 7-2 Vista stampo in sezione per determinare l'ingombro della camera calda

Abbiamo tutte le indicazioni necessarie per costruire il nostro sistema ed avviare la simulazione.

7.2.1 Scelta del Layout

Definite le posizioni dei particolari, (Figura 7.3) andiamo a studiare le possibili soluzioni. Per definire il corretto *layout*. Ragioneremo solo sui particolari in PP, ovvero quelli inerenti alla prima stampata, poiché le posizioni degli ugelli sono simili, quindi vale la stessa idea di progetto.

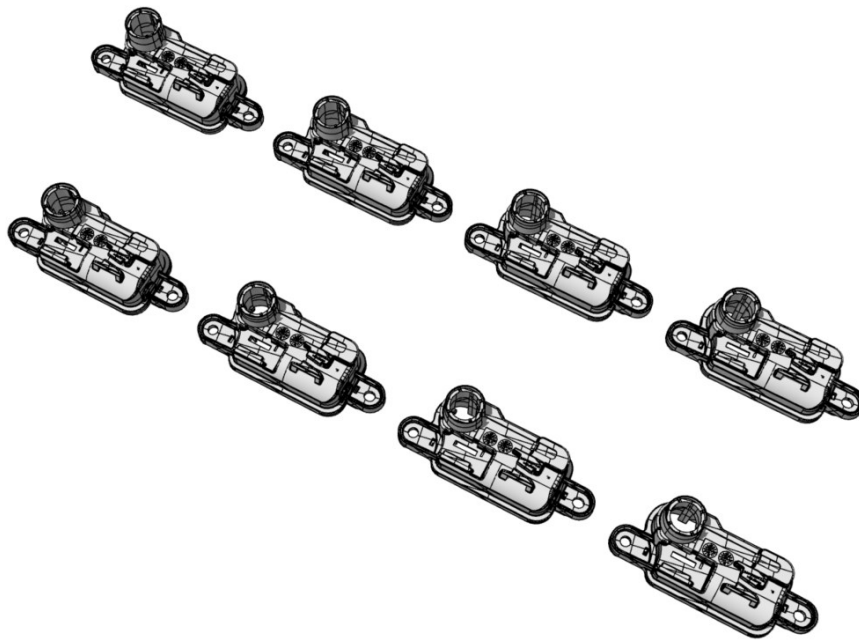


Figura 7-3 Posizione figure all'interno dello stampo

Un *layout* corretto è fondamentale per avere una camera bilanciata, quindi un riempimento uniforme di tutti i particolari, così da non creare squilibri che portano ad un innalzamento delle pressioni e uno stampaggio errato.

Per progettare un corretto *layout* come prima cosa andremo ad applicare dei cilindri in prossimità dell'iniezione, così da avere un'idea di come realizzare i canali per collegare gli ugelli alla bussola di iniezione.

In questo caso il *layout* della camera calda sarà costituito da una doppia H, infatti andremo a collegare a due a due gli ugelli, che successivamente collegheremo a coppie di quattro così da avere un bilanciamento del sistema.

Per quanto riguarda i diametri dei canali del sistema, partiremo dal valore del canale e lo maggioriamo di un 10% ogni tratto, così da ridurre la caduta di pressione.

Il risultato finale è quello ottenuto in Figura 7.4.

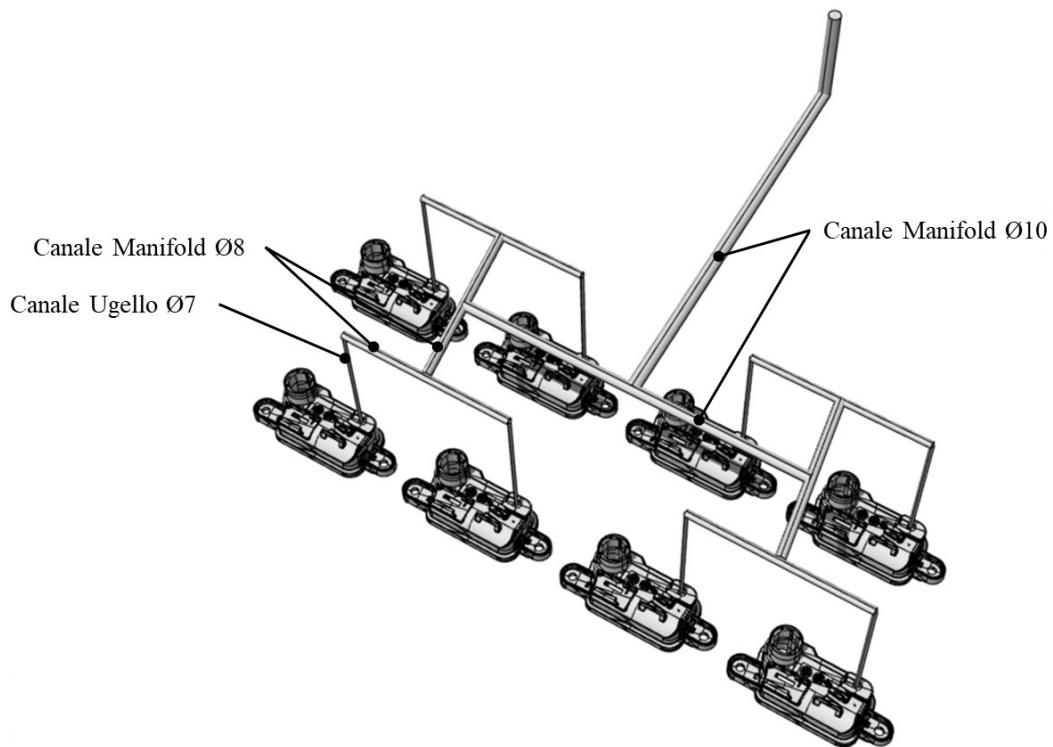


Figura 7-4 Layout camera calda

7.3 SIMULAZIONE FINALE

Definito il *layout* della camera calda e la nuova geometria, procediamo con la stessa metodologia illustrata precedentemente, quindi importiamo i particolari e gli assi del layout della camera calda che abbiamo realizzato ed avviamo l'analisi.

A differenza di prima, però, ora faremo un ulteriore step, ovvero quello di ottimizzare la fase di compattazione e di mantenimento, così da riuscire ad avere un risultato corretto per quanto riguarda il ritiro volumetrico e le deformazioni.

7.3.1 Importazione dei particolari e degli assi del sistema di iniezione

Prima di lanciare la meshatura, andiamo a definire le proprietà dei singoli tratti che costituiscono il sistema, imposteremo quindi le dimensioni dei canali e dei gate.

Definite le proprietà andremo ad eseguire la meshatura, infittendo la mesh in prossimità del gate, cosicché il software possa calcolare meglio gli sforzi di taglio che si ha nel materiale e quindi anche un riscaldamento del materiale dovuto allo stress.

Eseguita la mesh avremo i risultati di Figura 7.5, 7.6.

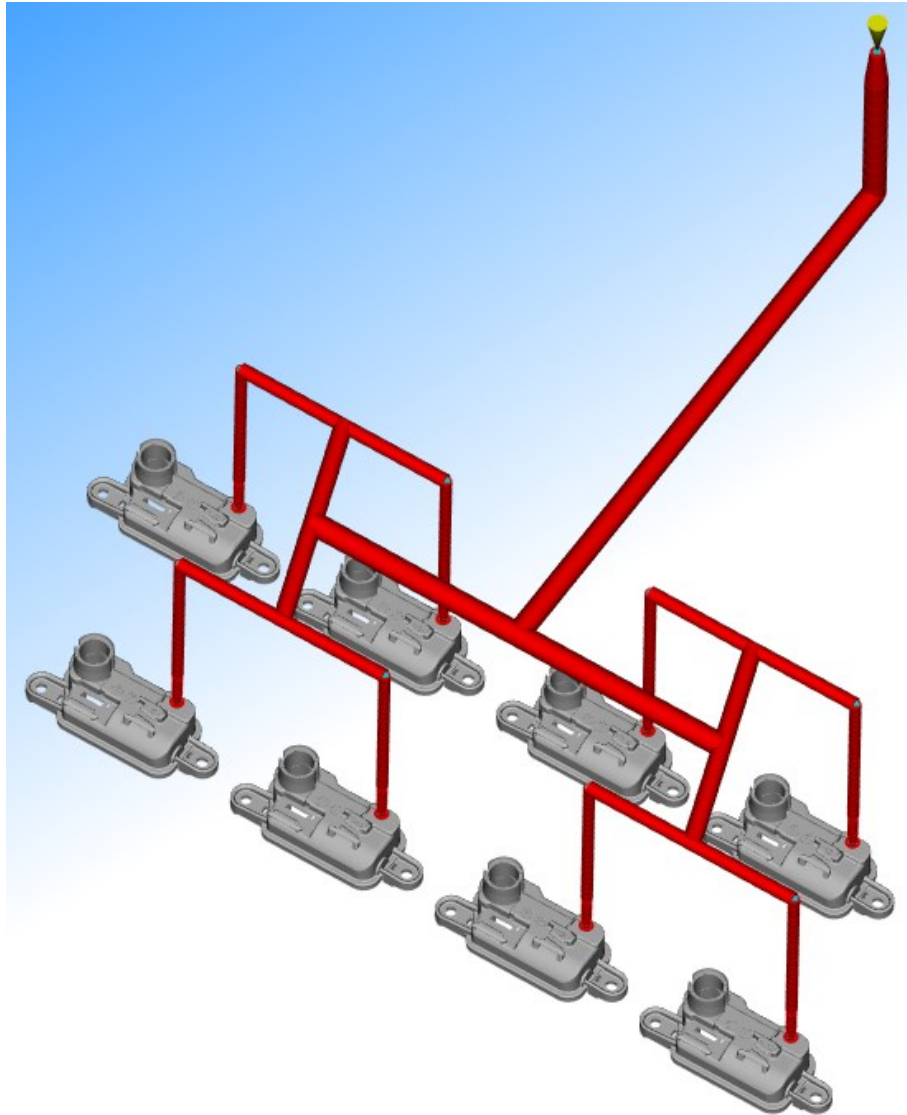


Figura 7-5 Impostazione simulazione finale PP

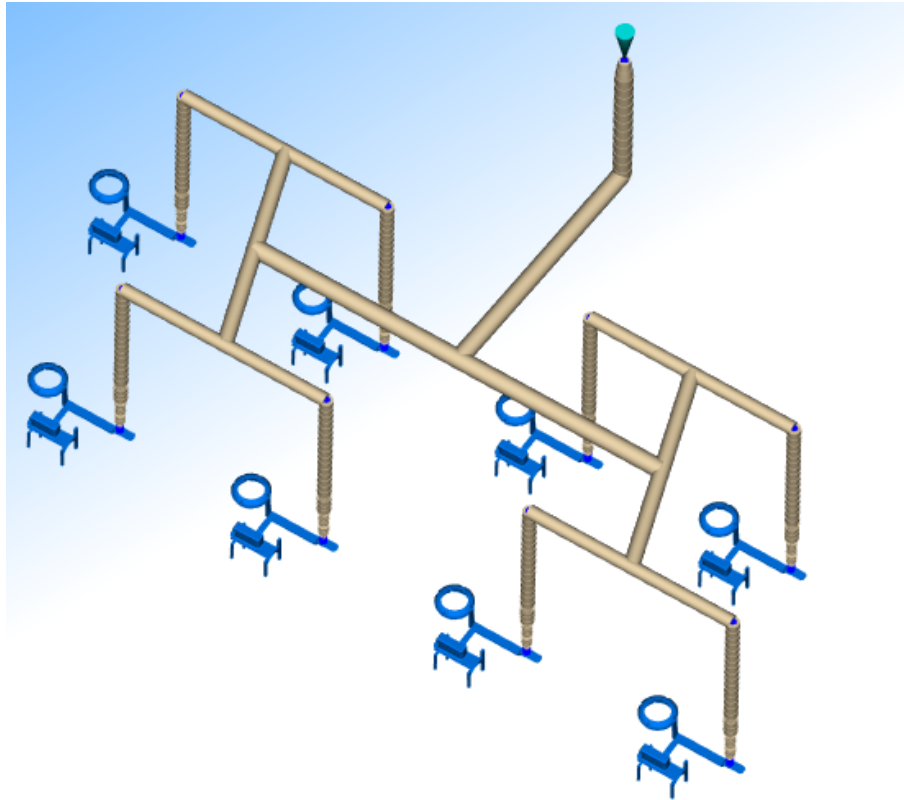


Figura 7-6 Impostazione simulazione finale TPE-V

7.3.2 Ottimizzazione pressione di compattazione

Il risultato principale di un'analisi di compattazione è il ritiro volumetrico. La quantità e la distribuzione della contrazione volumetrica è fondamentale per determinare il ritiro lineare e la deformazione della parte. Per ottimizzare la contrazione volumetrica, essa deve essere ridotta al minimo. La Figura 7.7 mostra le fasi coinvolte per ottimizzare un profilo della post-pressione.

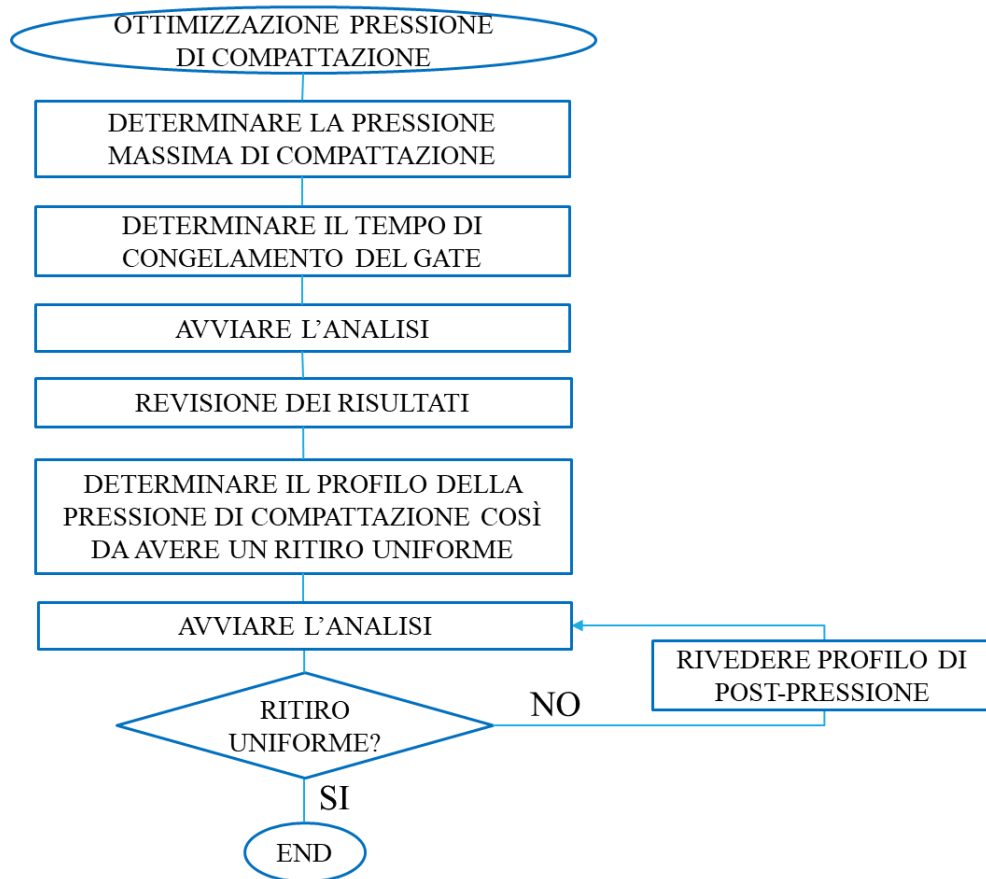


Figura 7-7 Ottimizzazione profilo della pressione di compattazione

7.3.3 Determinare la pressione di compattazione iniziale e finale

La pressione massima è correlata alla forza di chiusura della macchina utilizzata per stampare i particolari, ed è data dalla formula:

$$P_{max} = \frac{\text{Forza di chiusura massima della macchina}}{\text{Totale area proiettata della stampata}} \times 100 \times 0.8$$

dove:

- P_{max} = La pressione di impaccamento massima che potrebbe essere utilizzata.
- Forza di chiusura massima della macchina = Tonnellate (metriche)
- Totale area proiettata della stampata = cm²
- 100 = Fattore di conversione
- 0.8 = Fattore di sicurezza per utilizzare solo l'80% della capacità della macchina

Spesso la pressione massima che potrebbe essere utilizzata in base all'equazione di cui sopra è molto più elevata del necessario. Le pressioni di compattazione variano generalmente dall'80 al 100% della pressione massima necessaria per riempire la parte. La pressione di compattazione, tuttavia, può essere molto più alta o più bassa.

7.4 ANALISI DEI RISULTATI

7.4.1 *Fill time*

Come possiamo vedere dalla Figura 7.8 e 7.9 il riempimento risulta bilanciato e tutte le cavità chiudono contemporaneamente, possiamo dunque dire che il layout utilizzato è ottimale.

In entrambi i casi possiamo vedere come la modifica degli spessori abbia contribuito ad avere un flusso più omogeneo nelle zone incrininate nella prima simulazione.

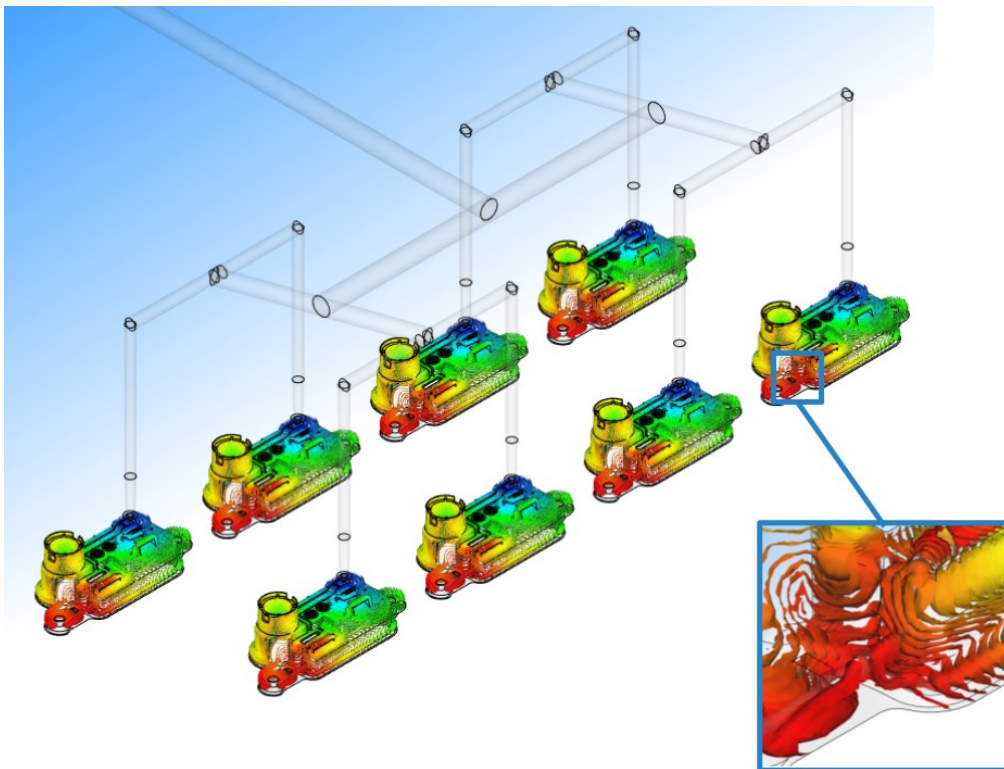


Figura 7-8 Fill time PP

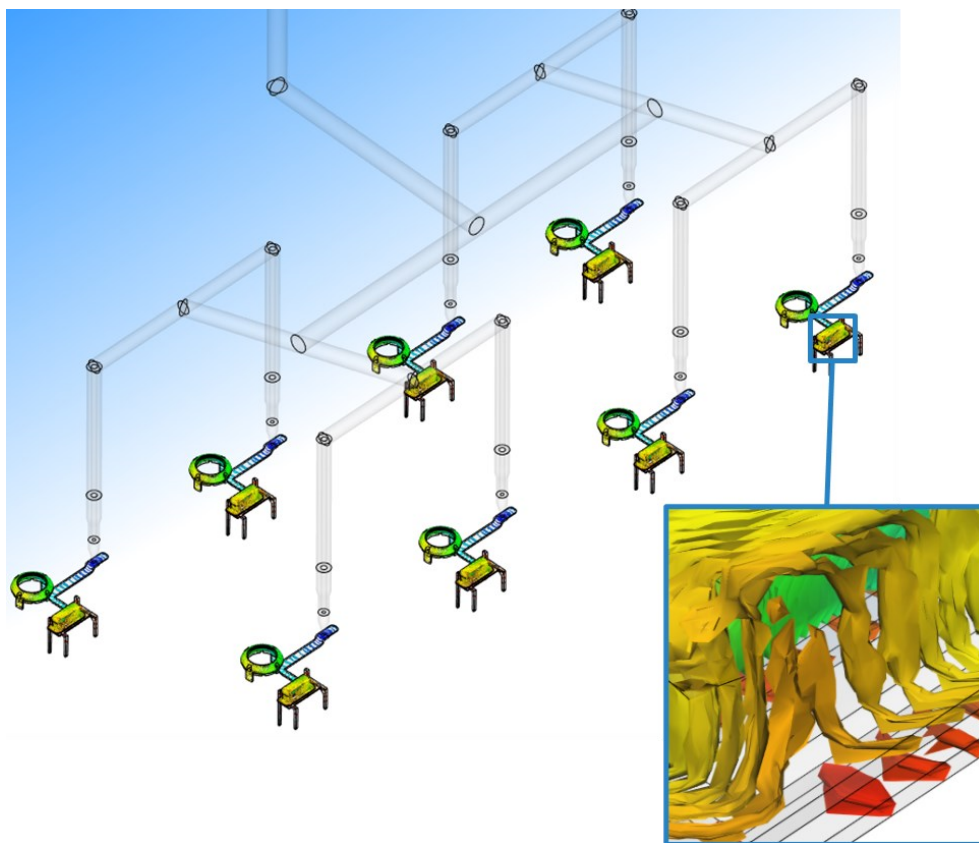


Figura 7-9 Fill time TPE-V

7.4.2 Pressure

Il risultato della pressione ci dice se il sistema realizzato presenta delle perdite di pressione, infatti il valore di pressione misurato all'ingresso e della bussola di iniezione, deve essere circa il 20-30% del valore della pressione rilevato nel gate.

In entrambi i casi siamo all'interno di questo range quindi il sistema non è ben progettato.

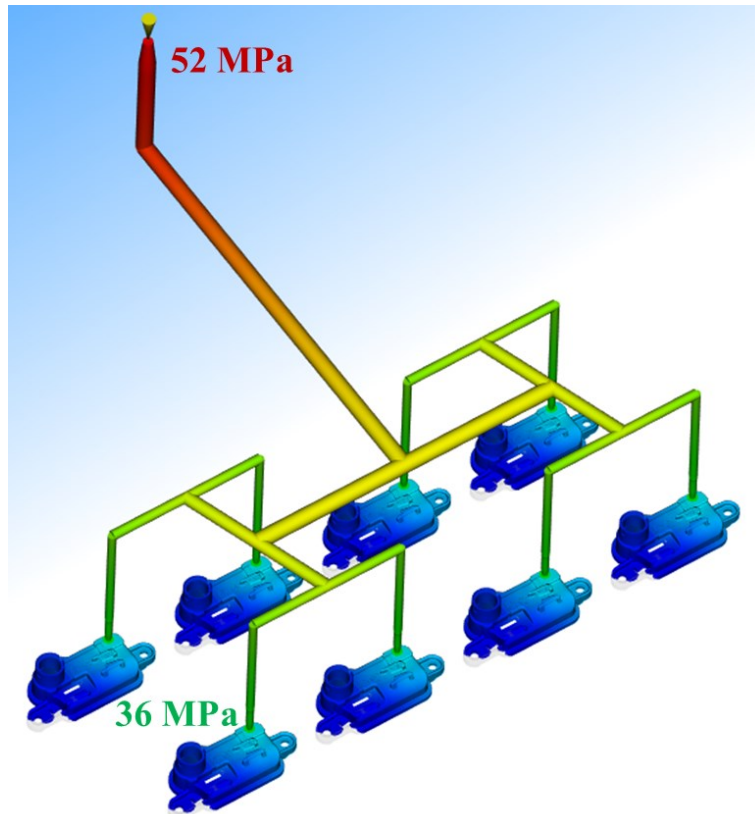


Figura 7-10 Pressure PP

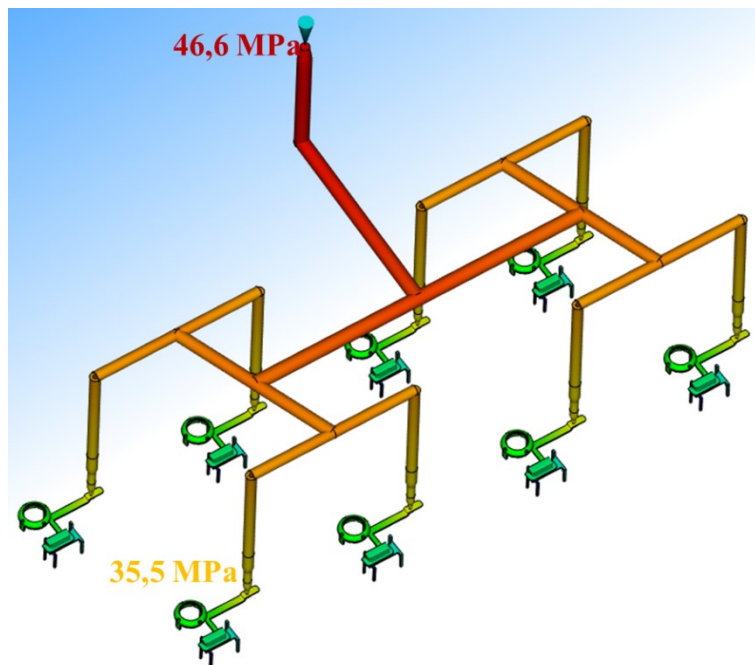


Figura 7-11 Pressure TPE-V

7.4.3 Air Traps

Nella parte in PP si aveva una trappola d'aria in una superficie inclinata, dove era difficile ricavare degli opportuni sfoghi d'aria, grazie alla riduzione di spessore siamo riusciti a spostare questa nella zona piana dove è facile realizzare uno sfianto dell'aria ed evitare che il materiale bruci in quella zona.

Analogo ragionamento può essere fatto per la parte in TPE-V, infatti l'aumento di spessore ha fatto sì che la trappola d'aria si spostasse nella zona piana dove è possibile ricavare con facilità uno sfogo dell'aria, mentre sul collare abbiamo eliminato la trappola d'aria bassa, mentre è rimasta la trappola d'aria nella punta del collare, eliminabile solo tramite un apposito sfogo dell'aria.

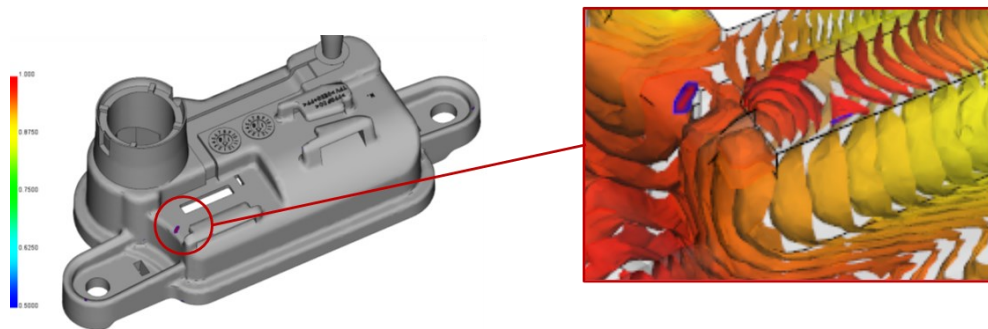


Figura 7-12 Air Traps PP

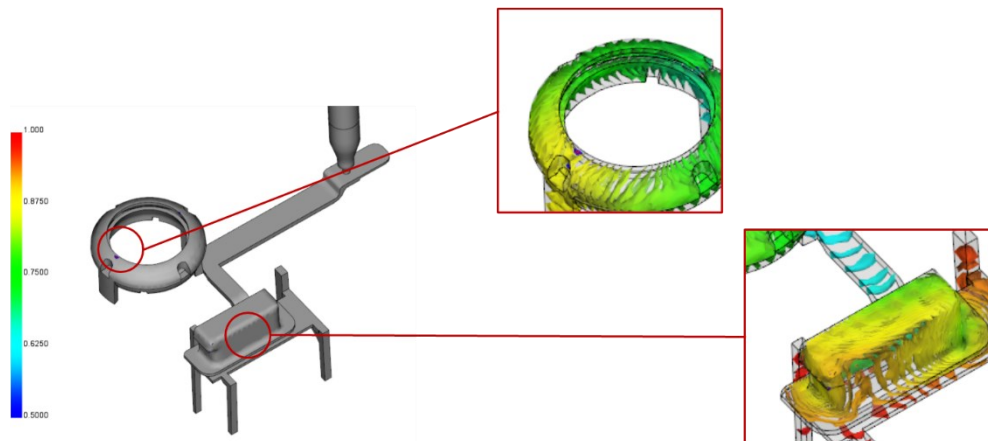


Figura 7-13 Air Traps TPE-V

7.4.4 Ritiro volumetrico

Il risultato del ritiro volumetrico rappresenta il valore del restringimento volumetrico sullo spessore del semispazio e viene tracciato sulla superficie. Questo risultato può essere utilizzato per rilevare i segni di risucchio sul modello. Valori di restringimento elevati potrebbero indicare segni di risucchio o vuoti all'interno della parte.

Il ritiro volumetrico deve essere uniforme su tutta la parte per ridurre la deformazione.

Come possiamo vedere dalla Figura 7.14 la parte ritira in maniera uniforme, quindi il profilo di post pressione impostato è ottimo.

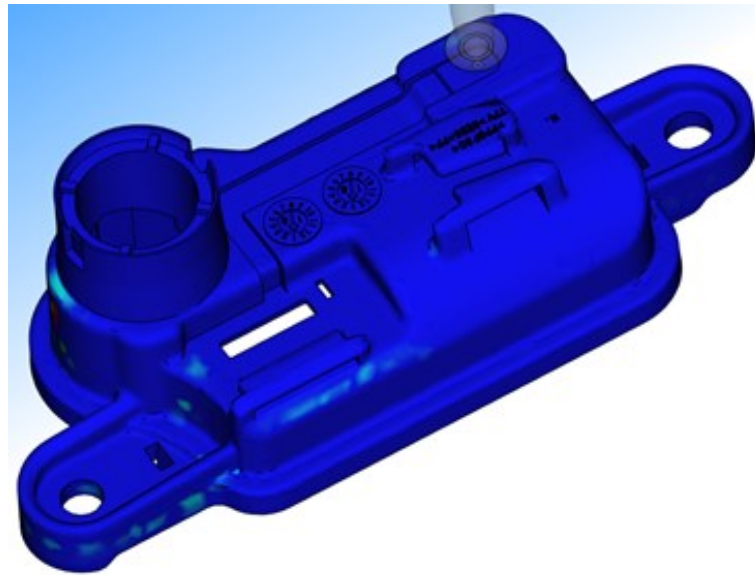


Figura 7-14 Ritiro volumetrico

7.5 CONSIDERAZIONI SUL CICLO TOTALE DI STAMPAGGIO

Il ciclo totale di stampaggio viene definito principalmente dal tempo che impiega la parte in PP a riempirsi e raffreddarsi, poiché ha un volume maggiore rispetto alla parte in TPE-V.

| Tempi iniezione per componenti | Valori | Unità di misura |
|-------------------------------------|--------|-----------------|
| Cavità PP | 0,8 | Sec |
| Cavità TPE-V | 0,6 | Sec |
| Tempi raffreddamento per componenti | | |
| Cavità PP | 18 | Sec |
| Cavità TPE-V | 10 | Sec |
| Tempi movimentazione stampo | | |
| Apertura e chiusura | 5 | Sec |
| Rotazione piastra | 2 | Sec |
| Tempo ciclo totale | | |
| | 30,8 | Sec |

Tabella 7 Tempi di stampaggio

CONCLUSIONI

Per la realizzazione di questo progetto è stato utilizzato il software di simulazione ASMI (*Autodesk Simulation Moldflow Insight*), inizialmente per lo studio del prodotto, così da individuare eventuali criticità dello stesso; successivamente, per ottimizzare il processo di stampaggio, così da fornire al cliente dei valori fondamentali per l'avvio dello stampaggio.

Lo studio del prodotto mediante il software è stato eseguito su un singolo componente, ed ha consentito di individuare alcune criticità del prodotto legate alla formazione di trappole d'aria e linee di giunzione in zone potenzialmente pericolose durante il suo l'utilizzo. Individuate queste criticità si è intervenuti in primo luogo sul particolare andando ad eseguire delle modifiche sugli spessori, così da creare delle zone preferenziali per spostare le trappole d'aria e le rispettive linee di giunzione in zone non critiche per l'utilizzo.

Non potendo eliminare, solo tramite la modifica del materiale del prodotto, la formazione di trappole d'aria; per evitare che il materiale si surriscaldi e quindi degradi nel tentativo di espellere la bolla d'aria, sono state fornite al cliente le posizioni per ricavare degli appositi sfoghi d'aria, così che l'aria possa uscire tramite essi e non generare possibili difetti.

Successivamente, dopo le modifiche apportate al prodotto e dotato il cliente degli accorgimenti da prendere per la realizzazione dello stampo, si è avviata una simulazione di processo, andando a simulare un ipotetico ciclo di stampaggio.

Siamo partiti esaminando la posizioni dei particolari nello stampo, da queste è stato studiato il *layout* della camera calda, per avere un riscontro sulle cadute di pressione e sul bilanciamento della stessa.

Inoltre la simulazione di processo è stata utile per:

- Identificare la pressa idonea per lo stampaggio;
- I valori delle temperature della camera calda e dei relativi ugelli da impostare nella centralina;
- Il volume di dosaggio da impostare nella pressa per riempire completamente la camera calda;

- Il tempo ciclo.

Il collaudo ha permesso di verificare la bontà delle scelte fatte, in quanto:

- Le pressioni di iniezioni, come prevedibile, sono risultate circa un 30% più elevate, questo valore risulta essere nella norma, poiché il risultato fornito dalla simulazione ci restituisce un valore dove la pressione massima viene calcolata in prossimità della bussola di iniezione, mentre la macchina ci restituisce il valore della pressione che si ha nel cilindro di iniezione della pressa;
- Il tempo ciclo è risultato essere più lungo di 10sec rispetto a quello ipotizzato, questo è dovuto principalmente alla piastra rotante, ed alle varie fasi di apertura e chiusura per le quali abbiamo previsto una velocità maggiore.

Come prevedibile si è riscontrata una certa distanza tra i dati sperimentali e quelli rilevati in fase di collaudo, ma pur avendo realmente un tempo ciclo di 45 sec, possiamo dire che abbiamo raggiunto l'obiettivo prefissato, in quanto siamo riusciti a minimizzare gli scarti (circa 50 pezzi giornalieri) e massimizzato la produzione, aumentando la produttività del 60%, rispondendo così all'elevata richiesta.

Si può affermare che l'utilizzo del simulatore aiuta molto nella fase di progettazione di un prodotto e fornisce anche delle linee guida utili per il processo di stampaggio.

BIBLIOGRAFIA

- Bertacchi, G., 2011. *Manuale dello stampaggio progettato*. 2011 a cura di s.l.:Tecniche Nuove.
- Bianchi, G., Verdi, G. & Rossi, M., 2018. Titolo dell'articolo. *Journal Name*, 48(3), pp. 11-15.
- Chen, Z. X. W. Z. H., 2009. Comprehensive Simulation Analysis of Plastic Injection Process. *In Intelligent Information Technology Application Workshop*, pp. 46-49.
- G. Sala, L. D. L. A. A. P. B., s.d. TECNOLOGIE E MATERIALI AEROSPAZIALI – Ver. 01. *Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale – Politecnico di Milano*.
- Rossi, M., Bianchi, G. & Verdi, G., 2018. Titolo dell'articolo. *Journal Name*, pp. 10-15.
- Salvi, S. A., 1997. *Plastica Tecnologia Design*. 1997 a cura di Milano: Hoepli.
- Smith, W. F. & Hashemi, J., 2016. *Scienza e Tecnologia dei Materiali*. s.l.:McGraw-Hill.
- Verdi, G., 2017. Titolo del capitolo. In: R. Cristiano, a cura di *Titolo del libro*. Ancona: CasaEditrice, pp. 10-20.

Manuali software

- ASMI Fundamentals Handouts 2018
- ASMI Adv Flow Handouts 2018

Siti Web

- <http://www.yudo.com/>
- <https://old.sirmax.com/sites/default/files/SIDS%20ISOFIL%20ENG%20003.pdf>
- <https://pdb.kraiburg-tpe.com/?cid=1331>
- <https://knowledge.autodesk.com/support/moldflow-insight/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2017/ENU/MoldflowInsight/files/GUID-7A85D18E-4D00-4439-8A8E-BF94FED55270-htm.html>

- <https://knowledge.autodesk.com/support/moldflow-insight/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/MoldflowInsight-Results/files/GUID-E81A1CF3-0A91-43DE-8954-005E76897E51-htm.html>
- <https://knowledge.autodesk.com/support/moldflow-insight/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ENU/MoldflowInsight/files/GUID-BEEA8CE2-D25E-4A87-851E-E2068AB9D94B-htm.html>
- <https://knowledge.autodesk.com/support/moldflow-insight/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2017/ENU/MoldflowInsight/files/GUID-701F297E-6008-45B9-9C19-0BEAC63C31BD-htm.html>

RINGRAZIAMENTI

Una tesi è sempre frutto di un intenso lavoro, dove si possono presentare imprevisti e momenti di scoraggiamento che ho potuto superare soltanto grazie al sostegno delle persone che mi sono state accanto.

Desidero in primis ringraziare i miei genitori che hanno creduto in me anche quando tutto sembrava impossibile, senza i cui sacrifici non avrei raggiunto questo traguardo.

Un sentito ringraziamento va a Tamara, con cui durante questo periodo abbiamo condiviso fatiche e difficoltà, ma nonostante tutto ci siamo fatti forza a vicenda e siamo andati avanti.

Un ringraziamento a tutta la famiglia di Tamara, per come mi hanno accolto e sostenuto, perché sono persone forti, umili e solari dalle quali puoi solo imparare come affrontare la vita con le sue difficoltà.

Impossibile non ringraziare Daniele, dove la lontananza non è mai stato un problema, anzi c'è stata sempre molta vicinanza in tutte le vicende accadute, e se oggi questo è possibile è anche merito suo.

Un ringraziamento a tutta la mia famiglia, a partire dai miei nonni che aspettavano questo momento più di me, fino ad arrivare ai miei zii e cugini, che mi hanno sempre detto di non mollare, di stringere i denti ed andare avanti.

Come non ringraziare tre persone, che mi hanno aiutato a crescere ed affrontare i problemi di petto, senza evitarli, grazie Giorgia (mi padrona), Erika e Padre Luciano.

Un ringraziamento a tutta la fraternità con cui condivido il mio cammino di fede, senza di loro non sarei ciò che sono oggi.

Un doveroso ringraziamento va alla ditta YUDO ITALY che mi ha permesso di imparare, crescere e migliorare, in particolare vorrei ringraziare Giacomo e Angelo per tutto quello che mi hanno insegnato e Luca, “collega di banco”, con il quale ho avuto la fortuna di condividere gioie e difficoltà che si incontrano nelle giornate lavorative.

Ringrazio il mio relatore Sasso Marco perché nonostante fossi impegnato col lavoro è sempre stato disponibile e gentile, venendo incontro alle mie esigenze.

Concludo con alcune righe che in questo periodo mi hanno aiutato: “Prendi tempo per riflettere, magari sui momenti più memorabili che hai vissuto, quando il tempo si è fermato,

ma ripensa anche ai momenti brutti, quando sei caduto a terra, ti sei rialzato e sei andato avanti, quando ce l'hai fatta, anche i problemi più seri ti sembrano diversi quando il tempo passerà. Guarda al futuro, col tempo supererai tutto, il tempo entra nella tua vita, plasma la tua esistenza, c'è un tempo per pensare e c'è un tempo per vivere, alla fine devi rimboccarti le maniche e mettere in pratica quello che hai imparato, tutti hanno i loro problemi e la vita non è sempre perfetta, non lo sarà mai e se non hai del tempo fai come me; trasforma il mezzo in uno scopo corri e un secondo ti sembrerà un'eternità. Questa è la vita, c'è un tempo per vivere, uno per piangere, uno per morire e c'è un tempo per raggiungere i tuoi obiettivi.”

Ciao Anna!