

Politecnico di Torino
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria
Meccanica



Tesi di Laurea Magistrale

**STUDIO RELATIVO ALL'UTILIZZO DI STAMPI
COMPATTI PER LA PRODUZIONE DI PARAURTI NEL
SETTORE AUTOMOTIVE**

Relatore:

Prof. Paolo Minetola

Candidato:

Cosimo Tamburrano

Tutor aziendale:

Walter Quaglino

Anno accademico 2017/2018

Sommario

Introduzione	4
Capitolo 1 – Stampaggio ad iniezione ed elementi principali di uno stampo	5
1.1 Componenti del sistema	5
1.1.1 Unità di iniezione.....	5
1.1.2 Unità di chiusura	7
1.1.3 Stampo	8
1.2 Elementi principali di uno stampo	8
1.2.1 Parti Figura.....	9
1.2.2 Canali di alimentazione	10
1.2.3 Punti di iniezione	11
1.2.4 Sistema di raffreddamento	12
1.2.5 Costo dello stampo.....	12
Capitolo 2 – Caratteristiche di uno stampo per paraurti e Stampo Compatto	13
2.1 Caratteristiche geometriche di un paraurti	13
2.2 Caratteristiche di uno stampo per paraurti.....	14
2.3 Stampo compatto e confronto con stampo tradizionale	17
2.3.1 Parti figura	18
2.3.2 Piastra di supporto e corsa di estrazione	18
2.3.3 Elementi laterali	19
2.3.4 Estrazione.....	21
Capitolo 3 – Caso studio.....	22
3.1 Componenti stampati	22
3.2 Stampi.....	23
3.2.1 Dimensioni ed elementi principali.....	23
3.2.2 Piastra punzone ed Elementi Mobili.....	26
3.3 Riflessioni.....	32
Capitolo 4 – Simulazione	33
4.1 Modelli della simulazione	33
4.2 Modalità di simulazione.....	34
4.2.1 Applicazione della forza di chiusura	34
4.2.2 Applicazione della pressione in cavità	34
4.2.3 Materiale	35
4.2.4 Contatti.....	35
4.2.5 Tipologia di discretizzazione.....	35

4.2.6 Risultati ricercati.....	35
4.3 Risultati Stampo Tradizionale	35
4.4 Risultati Stampo Compatto.....	38
4.5 Componenti Virtuali.....	41
4.5.1 Risultati Stampo Tradizionale virtuale.....	42
4.5.2 Risultati Stampo Compatto virtuale.....	44
Capitolo 5 – Confronto Risultati.....	46
5.1 Stampo Compatto e Stampo Tradizionale	46
5.2 Stampo Compatto Virtuale e Stampo Tradizionale	49
Appendice 1: Analisi e confronto del Time-to-Market.....	53
Appendice 2: Analisi e confronto dei Costi di Produzione.....	55
Conclusioni	57
Bibliografia	58

Introduzione

La tecnologia di produzione dello stampaggio ad iniezione è diventata ormai fondamentale nell'industria automobilistica: la maggior parte dei componenti costituenti la vettura sono realizzati in materiale plastico e sono per la quasi totalità prodotti tramite stampaggio ad iniezione. L'alta competitività del settore automobilistico ha spinto le aziende ad investire sulla ricerca e lo sviluppo delle tecnologie di produzione, in particolare sullo stampaggio dei materiali polimerici; questi investimenti hanno portato all'utilizzo di presse più efficienti e stampi di dimensioni ridotte.

I componenti realizzati per il settore automotive hanno dimensione che varia da qualche millimetro al metro di lunghezza, come ad esempio i paraurti frontali e posteriori che richiedono presse e stampi di dimensioni notevoli. La realizzazione di questi particolari elementi richiede grossi investimenti sia in termini di attrezzature che di progettazione e realizzazione degli stampi, per questo motivo è necessario realizzare stampi che necessitino il meno possibile di manutenzione e ricambio componenti e che, allo stesso tempo, siano in grado di realizzare componenti di elevata qualità e ripetibilità.

Negli ultimi anni i fornitori di stampi per il settore automotive hanno iniziato a proporre ai propri clienti, una nuova tipologia di stampo caratterizzata da dimensioni contenute e alta semplicità di assemblaggio e manutenzione, ma che presenta dei costi di progettazione maggiori rispetto alle tecnologie tradizionali. La nuova tecnologia è chiamata Stampo Compatto, nome attribuito dalla possibilità di ridurre le dimensioni di ingombro rispetto ad uno stampo tradizionale, attraverso l'eliminazione dei longheroni e la creazione dello spazio necessario al tavolino di estrazione direttamente nel blocco di acciaio.

L'obiettivo del presente lavoro di tesi è stato quello di descrivere il funzionamento dello stampo compatto e di confrontarlo con la tecnologia tradizionale al fine di mostrare i vantaggi che questa nuova tecnologia offre in termini di risparmio di materiale e incremento della qualità dei componenti realizzati.

Capitolo 1 – Stampaggio ad iniezione ed elementi principali di uno stampo

Per stampaggio ad iniezione si intende la particolare tecnologia che prevede la realizzazione di un manufatto a partire da granulato polimerico che viene iniettato in una cavità dopo essere stato plastificato; il termine indica la trasformazione del materiale plastico da solido a fuso tramite l'apporto di calore. Lo stampaggio ad iniezione è il processo più utilizzato per realizzare componenti in materiale termoplastico grazie all'elevata produttività e alla capacità di realizzare prodotti finiti.

1.1 Componenti del sistema

Il sistema di iniezione (fig.1) è composto da due parti principali, una pressa, adibita alla trasformazione del materiale plastico granuloso in materiale fuso, ed uno stampo, che funge da cavità nel quale è iniettato il polimero. La pressa, a sua volta, è composta da un'unità di iniezione ed una unità di chiusura. La disposizione delle due unità rispetto all'operatore è standard e prevede l'unità di iniezione a destra e quella di chiusura a sinistra [1] [2].

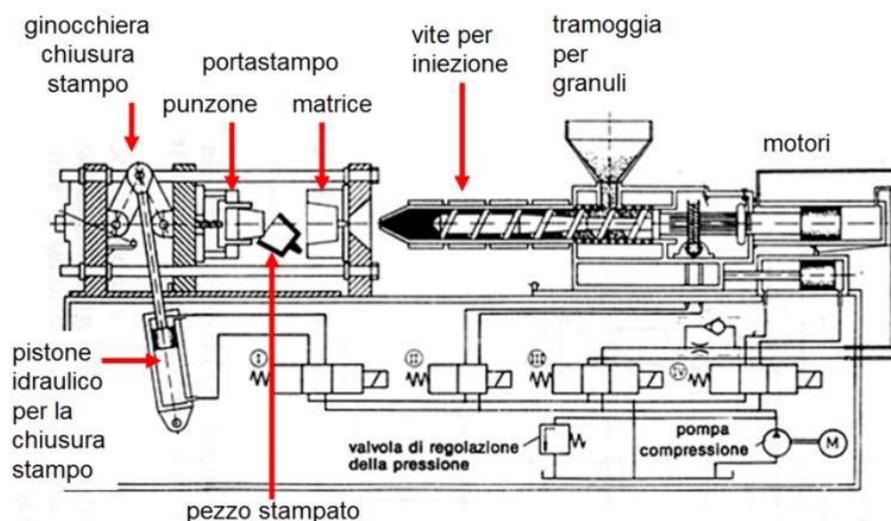


Figura 1 – Schema di una pressa per stampaggio ad iniezione

1.1.1 Unità di iniezione

L'unità di iniezione (fig.2) ricopre un duplice ruolo all'interno del processo di stampaggio essendo utilizzata sia per la trasformazione del polimero allo stato fuso, sia per l'iniezione di questo all'interno dello stampo. I grani di polimero devono per prima cosa essere sottoposti a dei trattamenti che rendano il materiale adatto alle successive lavorazioni: una fase di essiccazione viene utilizzata per eliminare eventuali tracce di umidità, mentre per garantire assenza di contaminazioni esterne sono utilizzati sistemi di trasporto pneumatico che isolano il materiale dall'ambiente. Eliminati i difetti dal materiale, i grani di polimero vengono inseriti in un cilindro riscaldato attraverso una tramoggia. All'interno del cilindro di plastificazione è presente una vite che ha la funzione di far avanzare il polimero verso l'estremità del cilindro e contemporaneamente portarlo allo stato fuso per mezzo di un movimento rotatorio; una volta accumulata la quantità necessaria di polimero, tramite un movimento traslatorio della vite, esso viene iniettato nello stampo. La vite di plastificazione fonde il polimero grazie all'attrito generato

durante la rotazione, mentre delle bande posizionate all'esterno del cilindro mantengono fuso il polimero in assenza di rotazione della vite.

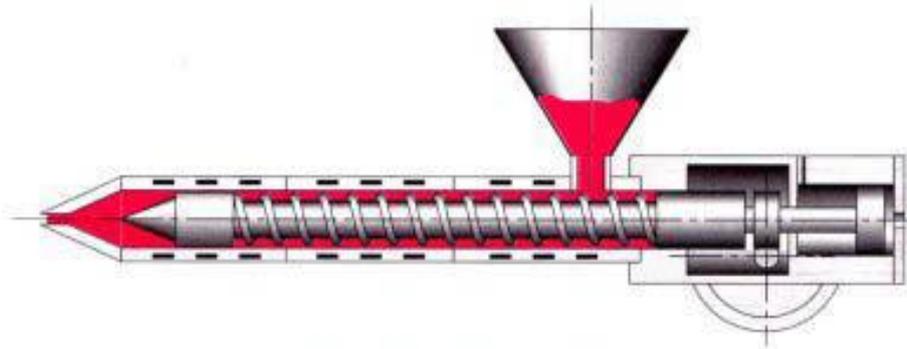


Figura 2 – Gruppo di plastificazione

Il riscaldamento per attrito è permesso da un diametro di testa costante e uno di nocciolo variabile. È possibile distinguere 3 zone:

- Zona di Alimentazione: occupa il 50% della lunghezza totale della vite. In questa zona il diametro di nocciolo ha valore minimo per accogliere una maggior quantità di granulato plastico;
- Zona di Plastificazione: occupa il 25% della lunghezza. Questa zona presenta un diametro variabile, che permette di aumentare lo sfregamento tra i granuli e quindi incrementare l'attrito generando calore. La plastificazione del polimero avviene quasi totalmente in questa zona;
- Zona di Accumulo: occupa il 25% della lunghezza. Il diametro di nocciolo ha valore massimo in questa zona a causa della riduzione di volume del polimero dovuta alla fusione.

In testa alla vite punzonante è presente una valvola di non ritorno (fig.3) che ha il compito di evitare il reflusso del materiale plastico lungo la vite durante la fase di iniezione. La valvola realizza una tenuta meccanica tra un collare che si accoppia ad un corrispondente profilo conico sulla vite. Durante la fase di plastificazione, l'anello viene portato in battuta sul puntale della vite dal materiale plastico; in questo modo il materiale fuso fluisce nella camera di accumulo attraverso opportune scanalature ricavate sulla vite. Nella fase successiva l'anello retrocede fino ad andare in battuta sulla ghiera, sviluppando così la tenuta ed evitando il reflusso del materiale fuso verso la vite.

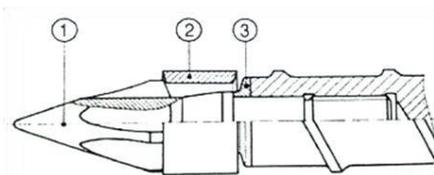


Figura 3 – Valvola di non ritorno

L'ugello è l'elemento di collegamento tra il gruppo di plastificazione e lo stampo; un otturatore chiude la sezione di passaggio del fuso in condizioni di stampo aperto evitando in questo modo una fuoriuscita di materiale dal cilindro di plastificazione durante questa fase. Se non fosse presente questo componente, all'apertura dello stampo, del polimero fuso continuerebbe a fuoriuscire generando dei gocciolamenti che portano a difetti nella stampata successiva.

1.1.2 Unità di chiusura

La funzione di questo componente è di comandare l'apertura e chiusura dello stampo durante le fasi di iniezione e mantenimento, mediante l'applicazione di una forza che contrasta quella di apertura generata dal polimero in pressione durante le due fasi. L'unità di chiusura è composta da:

- Due piastre di fissaggio solidali al basamento della pressa; la piastra di destra è la sede della matrice dello stampo;
- Una piastra di fissaggio mobile, posizionata tra le due fisse, sulla quale è montato il punzone;
- Quattro colonne disposte due per lato con il compito di guidare la piastra di fissaggio mobile lungo il movimento di apertura/chiusura;
- La meccanica di chiusura che può essere idraulica, meccanica oppure una combinazione delle due.

La matrice dello stampo è montata sulla piastra di fissaggio a destra rispetto all'operatore, mentre il punzone è montato sulla piastra mobile. Entrambe le piastre sono munite di fori di posizionamento che alloggiavano gli anelli di centraggio dei due semi stampi; questi sono necessari affinché si abbia un montaggio corretto e preciso delle piastre sulla pressa.

Per quanto riguarda i sistemi di chiusura, quello a pistoni idraulici è un sistema diretto, in quanto è presente un pistone centrale che spinge sulla piastra e tiene chiuso lo stampo. Il sistema di chiusura meccanico (fig.4), o a ginocchiera, è invece un sistema indiretto in quanto la forza di chiusura non è direttamente fornita da un pistone ma da un'incastellatura autobloccante. La posizione di singolarità raggiunta dal braccio dalla ginocchiera a fine corsa permette di incrementare notevolmente la forza di chiusura: rispetto ad un pistone idraulico la spinta generata è 25 volte maggiore. I sistemi a ginocchiera possono essere a 4 o 5 punti di articolazione, più alto è il numero maggiore sono le accelerazioni raggiungibili con conseguente riduzione del tempo ciclo.

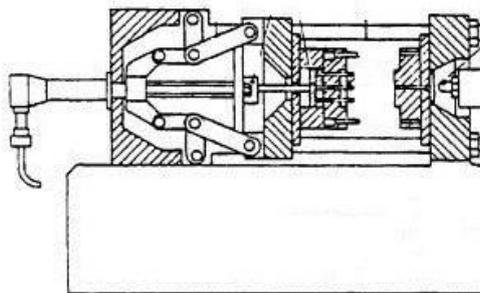


Figura 4 - Sistema di chiusura meccanica del tipo ginocchiera a 4 punti di articolazione

La chiusura meccanica ha un costo minore rispetto a quella idraulica di pari tonnellaggio ma un ingombro notevolmente maggiore; per questo motivo su presse con tonnellaggio molto grande si preferisce utilizzare una chiusura a pistoni idraulici.

Insieme al sistema di chiusura, sono presenti dei sistemi di sicurezza che regolano la pressione e la velocità di apertura/chiusura, oltre che sistemi di blocco nel caso in cui tra le due piastre sia presente un corpo estraneo (componente non estratto correttamente, braccio di un operatore, etc.).

Ogni pressa viene identificata attraverso la taglia, determinata attraverso il calcolo della forza di chiusura. Questa è calcolata come il prodotto tra il massimo valore di pressione raggiunto dal materiale plastico e l'area proiettata della figura (o la somma delle diverse proiezioni se si parla di stampo multi impronta), compresi gli eventuali canali di iniezione. Tipicamente, il valore calcolato in questo modo, è incrementato con un fattore di sicurezza del 15-20%.

$$F_{chiusura} = 1.2 \cdot A_{proiettata} \cdot p_{max}$$

1.1.3 Stampo

Lo stampo rappresenta l'elemento centrale del sistema di stampaggio ad iniezione, ed è costituito dalle due impronte che daranno forma al prodotto finito, dai canali di alimentazione, da un sistema di estrazione e da un sistema di raffreddamento opportunamente progettati per ottenere un manufatto di elevata qualità.

Lo stampo è l'elemento fondamentale dello stampaggio ad iniezione in quanto:

- Determina la forma dell'oggetto stampato;
- Propaga il fuso dal gruppo di plastificazione alla cavità mediante i canali di alimentazione;
- Raffredda il manufatto fino alla solidificazione;
- Estrae il manufatto senza deformarlo o danneggiarlo.

Una qualità fondamentale dello stampo è la precisione, ovvero la capacità di realizzare manufatti che rispettino le tolleranze di progetto nelle varie stampate; Per ottenere questo bisogna progettare uno stampo che non richieda continui aggiustamenti dei parametri di processo al fine di ottenere una buona ripetibilità. Inoltre, lo stampo non deve richiedere eccessivi tempi di manutenzione e deve essere fornito di un efficiente sistema di raffreddamento, per ottimizzare l'asportazione di calore e, di conseguenza, il tempo ciclo. Se uno stampo non rispetta queste caratteristiche è necessario riprogettarlo per ottenere una buona riproducibilità dei componenti ed evitare che il macchinario risulti fermo e improduttivo.

1.2 Elementi principali di uno stampo

Lo stampo per stampaggio ad iniezione è un sistema che può risultare anche molto complesso assimilabile per complessità a quello di un macchinario industriale. Come detto in precedenza, lo stampo è progettato per poter distribuire il polimero fuso all'interno della cavità nella maniera più efficiente in modo da poter formare correttamente il pezzo e farlo solidificare. Al termine della solidificazione e del raffreddamento, degli elementi dello stampo permettono l'estrazione del pezzo. Uno stampo (fig.5) è principalmente composto dai seguenti elementi:

- Parti Figura: tutti gli elementi che entrano in contatto con il materiale fuso e che definiscono la cavità, comprese le piastre matrice e punzone e gli eventuali movimenti;
- Canali di Alimentazione;
- Sistema di Estrazione;
- Sistema di Raffreddamento.

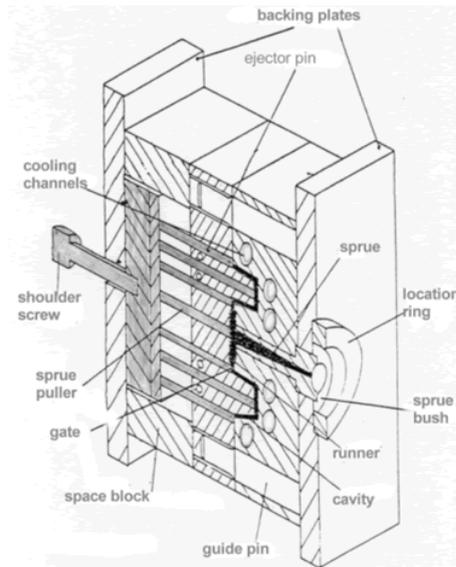


Figura 5 - Schema di uno stampo con estrazione meccanica [3]

1.2.1 Parti Figura

I due elementi che costituiscono il cuore dello stampo sono la Piastra Matrice e la Piastra Punzone, lavorate in modo da determinare la cavità, rappresentando così il negativo del pezzo da realizzare. La piastra matrice, definita anche Piastra Fissa, è posizionata a destra rispetto all'operatore, dalla parte del gruppo di iniezione, e durante il ciclo rimane fissa nella sua posizione; la piastra punzone, chiamata anche Piastra Mobile, è posizionata a sinistra e durante il ciclo di stampaggio si muove insieme al gruppo di estrazione per permettere l'estrazione del pezzo dallo stampo. Le dimensioni della cavità sulle piastre sono maggiorate rispetto a quelle del componente finale in quanto si tiene in conto il ritiro che subisce il pezzo in fase di raffreddamento. Possono essere presenti delle altre piastre di supporto per matrice e punzone in modo da aumentare la rigidità ed evitare eccessive deformazioni.

Altri elementi che fanno parte delle parti figura sono i movimenti; che siano carrelli o tasselli, questi elementi consentono di realizzare delle geometrie in sottosquadro che normalmente non permetterebbero l'estrazione del pezzo. I Carrelli (fig.6) scorrono lungo la superficie della piastra su cui sono montati (generalmente punzone, ma è possibile il montaggio anche sulla matrice) e, nel loro movimento, sono guidati da colonne inclinate che ne definiscono la corsa. Alcune superfici del carrello sono lavorate in modo tale da realizzare il componente stampato, altre invece sono modellate per fungere da ritenuta in condizione di chiusura stampo ed evitare che il carrello si sposti a causa della pressione del materiale fuso a contatto.

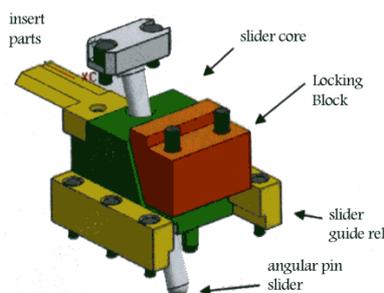


Figura 6 - Schema degli elementi che costituiscono il Carrello [4]

I Tasselli (fig.7) sono elementi mobili azionati dalla piastra di estrazione mediante delle colonne inclinate che scorrono attraverso la piastra punzone; essi hanno il duplice compito di liberare il componente dalle geometrie in sottosquadro e di estrarlo dalla cavità dello stampo.

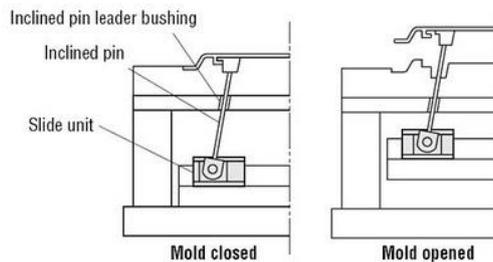


Figura 7 - Schema funzionamento di un Tassello [4]

1.2.2 Canali di alimentazione

I canali di alimentazione sono degli elementi che collegano la boccola di iniezione, posta lungo l'asse centrale dello stampo, e le cavità. L'insieme dei canali che li costituisce convoglia il polimero fuso all'interno delle cavità da riempire. La struttura dei canali influenza sia i costi che la qualità del pezzo stampato: canali troppo sottili possono portare a degradare il materiale fuso a causa delle alte temperature raggiunte, a seguito di una riduzione di sezione, oppure possono portare a congelamento prematuro del fronte di flusso. Le geometrie che hanno la minor influenza sulle condizioni del flusso sono quelle circolari, inoltre minimizzano lo spreco di materiale a parità di caduta di pressione, ma sono anche le più costose da realizzare, in quanto è necessario eseguire una lavorazione su entrambe le piastre dello stampo. Altre geometrie (fig.8) spesso utilizzate sono, dalla più costosa alla più economica: semicircolare, trapezoidale, rettangolare. Esistono due sistemi di alimentazione principali: Il sistema tradizionale e il sistema a camera calda.

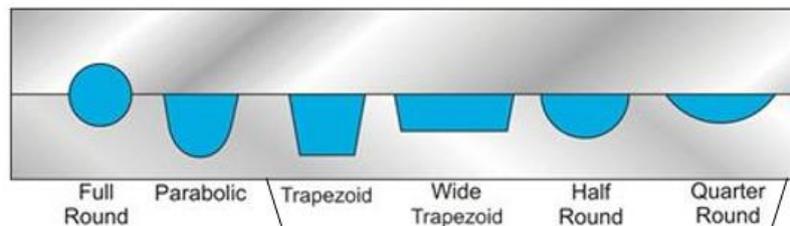


Figura 8 - Geometrie canali di alimentazione [5]

Sistema di alimentazione tradizionale

La struttura del sistema tradizionale (fig.9) è costituita da tre principali canali freddi:

- Carota (*sprue*);
- Canali di alimentazione (*runners*);
- Canali di iniezione (*gate*).

L'insieme dei tre elementi costituisce la Materozza, ovvero lo scarto che ad ogni ciclo va estratto e separato dal componente, e che viene conservata per poter essere riciclata e riutilizzata in successive stampate. I canali sono progettati in modo da distribuire in modo uniforme tutto il materiale all'interno dello stampo, non devono determinare cadute di pressione elevate e congelare prima che siano riempite tutte le cavità. Data la loro semplicità, l'utilizzo di canali tradizionali determina dei costi minori per lo stampo, penalizzandone tuttavia la produttività: non è possibile ridurre il tempo ciclo (il termine della fase di iniezione è vincolato

dal congelamento del gate) e la quantità di materiale che costituisce la materozza determina uno scarto.

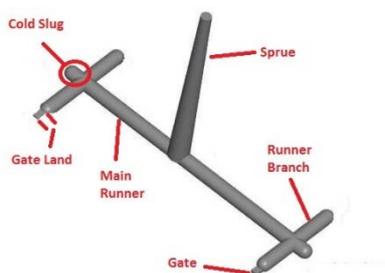


Figura 9 - sistema di alimentazione a canali freddi [6]

Sistema di alimentazione a camera calda

Un sistema a camera calda (fig.10) trasferisce il materiale fuso dal cilindro di plastificazione alle cavità tramite una camera mantenuta calda (da cui il nome). La camera, chiamata anche *mainfold*, contiene i canali veri e propri i quali sono collegati ai punti di iniezione mediante degli ugelli caldi. È necessario separare il sistema a camera calda dallo stampo utilizzando degli isolanti, in quanto le alte temperature raggiunte dalla camera disturberebbero il sistema di condizionamento dello stampo. Il riscaldamento è applicato direttamente al manifold garantendo un ottimo controllo termico sul materiale iniettato nello stampo; il mantenimento allo stato fuso permette di ridurre le pressioni di iniezione e lo spreco di materiale. Gli ugelli caldi sono costituiti da cilindri riscaldati esternamente, all'interno dei quali è presente un otturatore comandato da un attuatore idraulico che comanda la chiusura/apertura dell'ugello. I sistemi a camera calda più moderni permettono un controllo puntuale delle condizioni di flusso del materiale plastico: per ogni ugello è possibile determinare temperatura, pressione o portata di materiale e tempo di apertura. Sistemi di questo tipo sono chiamati Sequenziali e sono utilizzati principalmente per lo stampaggio di componenti di grandi dimensioni, per i quali sono necessari alti valori di pressione per garantire un corretto riempimento della cavità. Con un sistema sequenziale è possibile ridurre la pressione di iniezione aprendo gli ugelli man mano che il materiale fuso scorre all'interno della cavità. La complessità di questi sistemi di alimentazione influisce pesantemente sul loro costo, rendendo vantaggioso l'utilizzo di questo sistema solo quando sono previste elevate produzioni.

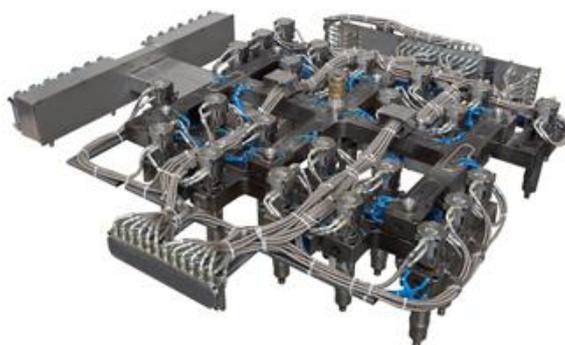
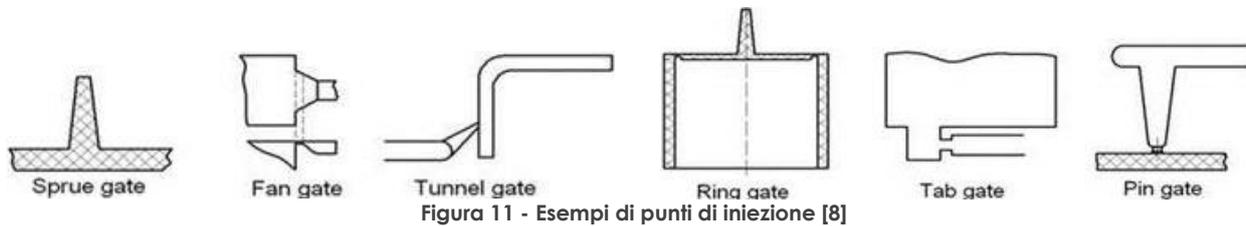


Figura 10 - Sistema di alimentazione a Camera Calda [7]

1.2.3 Punti di iniezione

I punti di iniezione determinano le condizioni di flusso del materiale in ingresso nella cavità e consentono una facile rimozione della materozza poiché generalmente avviene una grossa

riduzione di sezione. Il numero e la tipologia dei punti di iniezione (fig.11) è funzione della complessità del componente e della qualità che si vuole ottenere. Esistono numerosi software che sono utilizzati per determinare la posizione e quantità corretta dei punti di iniezione, che vengono generalmente posizionati nelle zone a spessore più elevato.



1.2.4 Sistema di raffreddamento

Il sistema di raffreddamento è un impianto fondamentale per l'asportazione di calore nello stampo: per ridurre al minimo il tempo di raffreddamento è necessario infatti mantenere costante ed omogenea la temperatura dello stampo. I sistemi di raffreddamento possono essere ad aria o acqua: i primi sono utilizzati per il raffreddamento di stampi di piccole dimensioni mentre, quando non è sufficiente un sistema di condizionamento ad aria, sono utilizzati i sistemi ad acqua. L'impianto di condizionamento ad acqua costituisce generalmente un sistema esterno alla pressa.

1.2.5 Costo dello stampo

Lo stampo, rispetto agli altri componenti della pressa, ha un costo molto elevato tale da essere quasi pari al costo del macchinario stesso. I principali fattori che incidono sul costo sono:

- La geometria del componente da realizzare: maggiore è la complessità e maggiore sarà il costo dello stampo;
- Il numero di cavità, cioè il numero di pezzi stampabili ad ogni ciclo di iniezione o anche il numero di figure presenti all'interno dello stampo. I costi di progettazione aumentano con il numero di cavità ma si ha anche un aumento della produttività della macchina;
- La tipologia e la posizione dei canali di alimentazione. Utilizzando uno schema di alimentazione a canali caldi si riducono il tempo ciclo, andando ad incidere sul tempo di propagazione del fuso nello stampo, e il tempo di raffreddamento, tuttavia il costo dello stampo aumenta notevolmente. Utilizzando un sistema di alimentazione a canali freddi i tempi ciclo sono leggermente più lunghi ma si hanno costi di produzione minori;
- La tipologia e posizione degli elementi mobili e di estrazione: il numero di movimenti previsti per l'estrazione del pezzo incide notevolmente sul costo di progettazione e produzione, ma è possibile utilizzare alcuni elementi standardizzati per ridurre i costi;
- Il grado di finitura superficiale;
- La tipologia e disposizione dei canali di raffreddamento: l'utilizzo di canali di raffreddamento tradizionali consente di avere dei costi contenuti ma una climatizzazione dello stampo non ottimale. Utilizzando raffreddamento con canali conformali è possibile ottenere il miglior condizionamento possibile con miglioramenti in termini di tempo ciclo e qualità dei componenti realizzati ma i costi di realizzazione incrementano notevolmente.

Capitolo 2 – Caratteristiche di uno stampo per paraurti e Stampo Compatto

In questo capitolo verranno descritte le caratteristiche geometriche principali di un paraurti per automobile e le caratteristiche di uno stampo necessarie per poter realizzare correttamente il componente. In seguito, verrà descritto il funzionamento di uno stampo compatto soffermando l'attenzione sui suoi elementi principali. Infine, verranno evidenziati i punti di forza dello stampo compatto facendone un confronto con la tecnologia tradizionale.

Questo lavoro di tesi è stato svolto in seguito ad un Tirocinio in Azienda in collaborazione con HCM STAMPI s.r.l. (fig.12), azienda che ha fornito le informazioni e i modelli 3D che verranno mostrati di seguito.

HCM STAMPI s.r.l., con sede a San Martino Alfieri (AT) in via Alfieri 45, si occupa di progettazione e produzione di stampi per componenti automotive. Fondata nel 1999 a seguito della fusione tra CANTA s.r.l. e MANTELLI s.r.l., è oggi parte del gruppo SELMAT Automotive s.r.l.; nonostante la maggior parte della produzione sia concentrata sulla realizzazione di stampi per SELMAT, HCM STAMPI s.r.l. conserva una sua indipendenza progettando e realizzando stampi anche per altri clienti esterni. L'azienda è specializzata nella progettazione e produzione di stampi per iniezione di paraurti e ha sviluppato e brevettato la tecnologia di stampo compatto descritta in questo elaborato.



Figura 12 - Logo HCM Stampi s.r.l [9]

2.1 Caratteristiche geometriche di un paraurti

Il paraurti è un componente in materiale polimerico rinforzato posizionato nella parte anteriore dell'autovettura; la sua funzione è quella di assorbire parte dell'energia derivante da un eventuale urto. I paraurti sono caratterizzati da spessori molto sottili estesi su delle superfici molto ampie, caratteristica che rende i tempi di stampaggio molto lunghi; inoltre le caratteristiche estetiche richieste sono molto elevate, essendo il paraurti un componente che caratterizza l'estetica del veicolo. Per ridurre difetti estetici, quali ad esempio linee di giunzione e risucchi, vengono utilizzati sistemi di iniezione a camera calda sequenziati. Con questa tecnologia di iniezione è possibile controllare l'apertura dei singoli ugelli costituenti la camera in modo da ottenere un'ottimizzazione del riempimento insieme a tempi ciclo ridotti e una diminuzione della forza di chiusura. [10]

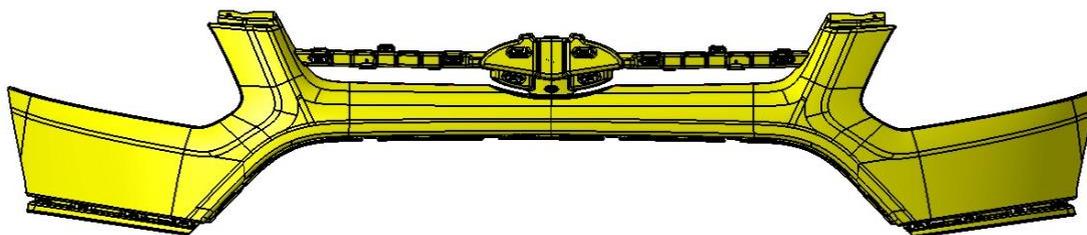


Figura 13 – Esempio di Paraurti per automobile (vista frontale)

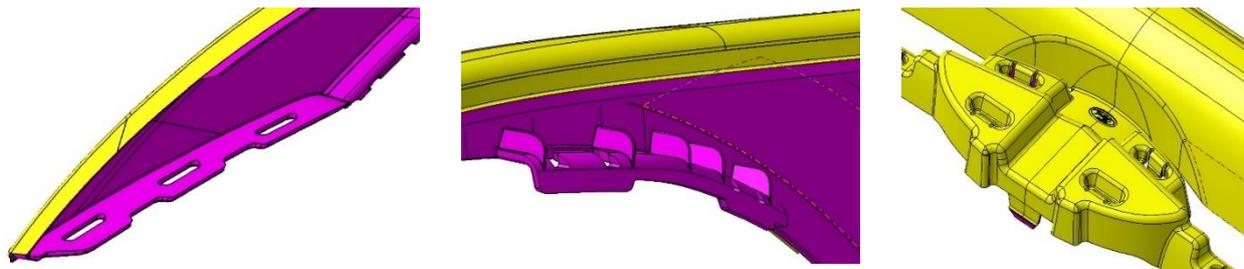


Figura 14 – Elementi geometrici di un paraurti

Le dimensioni di un paraurti (fig.13) sono in media tra 1500-1900 mm di lunghezza, 400-600 mm di larghezza e 3-5 mm di spessore; la caratteristica di avere delle grandi superfici e spessori sottili complica notevolmente il processo di stampaggio ed aumenta il rischio di ottenere dei difetti sul manufatto. Il componente presenta inoltre degli elementi geometrici che necessitano di particolare attenzione quali ad esempio le linguette di montaggio posizionate lungo il perimetro del componente (fig.14), oppure i vani di alloggiamento per ulteriori componenti. La superficie estetica è quella rivolta verso la piastra matrice; non è ammesso alcun difetto estetico, in quanto questo comprometterebbe l'estetica del veicolo. Per questo motivo si cerca di posizionare i punti di iniezione in zone non visibili e viene effettuato un rigido controllo sulla formazione di bave.

2.2 Caratteristiche di uno stampo per paraurti

Come visto precedentemente nel capitolo 1, uno stampo (fig.15) per iniezione di plastica è composto da due parti, una matrice e un punzone, che insieme costituiscono, nella posizione di chiusura, una cavità interna, che permette di realizzare il componente desiderato attraverso l'iniezione del materiale plastico per mezzo di una pressa.

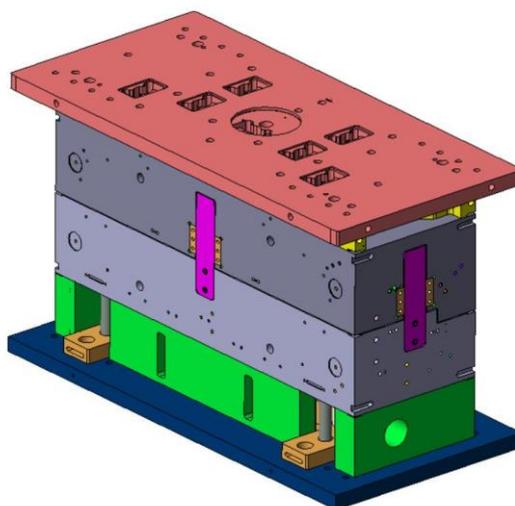


Figura 15 – Esempio di stampo tradizionale

Nel particolare caso di stampi utilizzati per la produzione di paraurti automotive, il punzone generalmente non si compone di un'unica piastra, ma è suddiviso in almeno tre elementi: un elemento centrale (fig. 16) e una coppia di elementi laterali simmetricamente disposti rispetto a questo (fig. 17). Il profilo di questi tre elementi, in posizione di chiusura, definisce la geometria interna del paraurti.

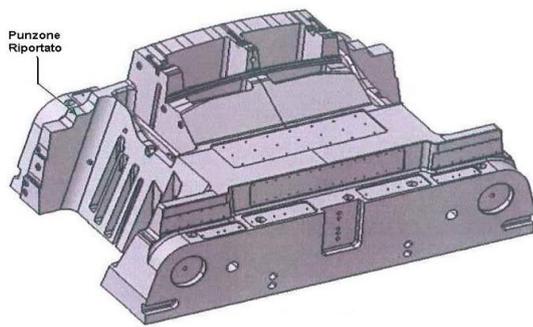


Figura 16 – Elemento centrale del punzone: viene fissato ad una piastra di supporto.

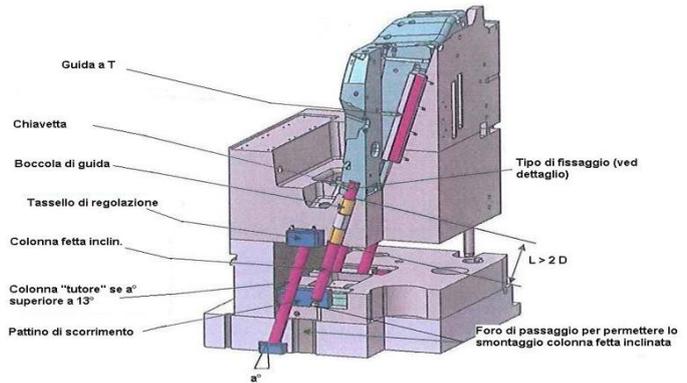


Figura 17 – Elemento laterale del punzone: il sistema di montaggio cambia a seconda dell'inclinazione del movimento

Gli elementi laterali sono assemblati in modo da poter scorrere rispetto all'elemento centrale lungo delle superfici ricavate su quest'ultimo. All'apertura dello stampo essi sono spinti in avanti dalla piastra di estrazione liberando così le geometrie in sottosquadro e permettendo di estrarre il componente stampato dal punzone.

Negli stampi per stampaggio ad iniezione è comunemente presente una struttura di supporto al punzone detta Cavalletto, composta da una piastra di base e da due o più blocchi detti Longheroni (fig. 18). Il volume libero creato dai longheroni permette di alloggiare una piastra di estrazione con la possibilità di muoversi lungo la direzione di apertura /chiusura dello stampo.

Collegati alla piastra di estrazione come mostrato in figura 19, gli Elementi di Estrazione permettono, appunto, l'estrazione del manufatto dallo stampo: nel movimento traslatorio della piastra di estrazione, questi elementi scorrono all'interno di fori ricavati sulla piastra punzone, spingendo via il manufatto.

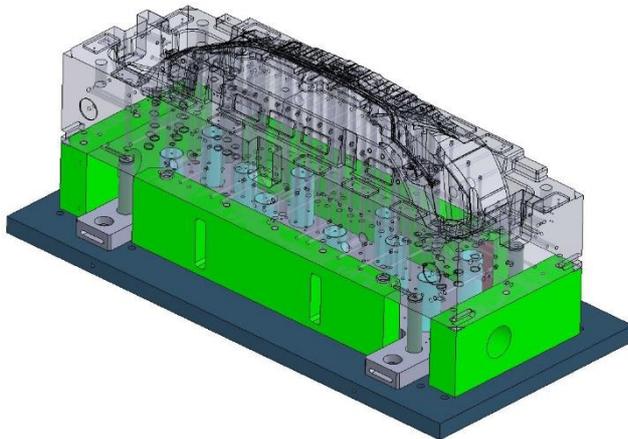


Figura 18 - Cavalletto del punzone: in verde, i Longheroni; in blu, la Piastra di Base.

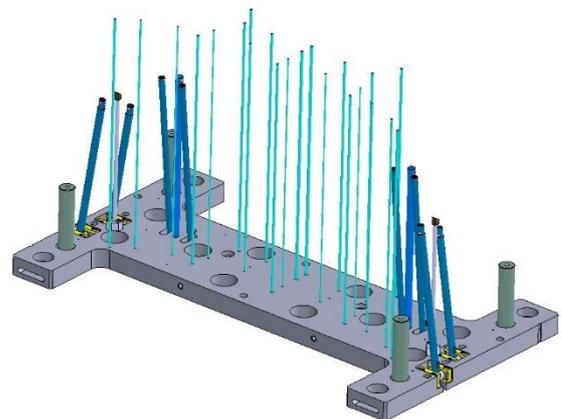


Figura 19 - Elementi di Estrazione

I due elementi laterali sono anch'essi collegati alla piastra di estrazione per mezzo di colonne inclinate che scorrono in appositi fori ricavati sulla piastra di supporto, sulla quale è fissato l'elemento centrale del punzone. Il movimento di questi elementi è dunque vincolato da quello della piastra; ciò comporta dei limiti di corsa dell'elemento e di inclinazione della colonna. Sono possibili diverse soluzioni di montaggio come mostrano le figure 17, 20 e 21.

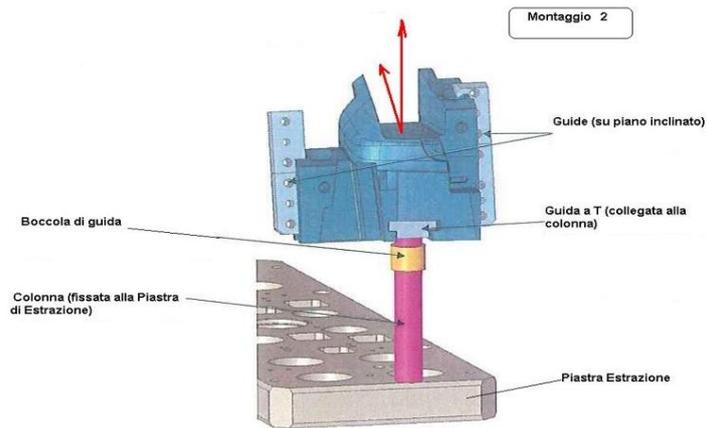


Figura 20 – Elemento Laterale: soluzione di montaggio con guida T e colonna.

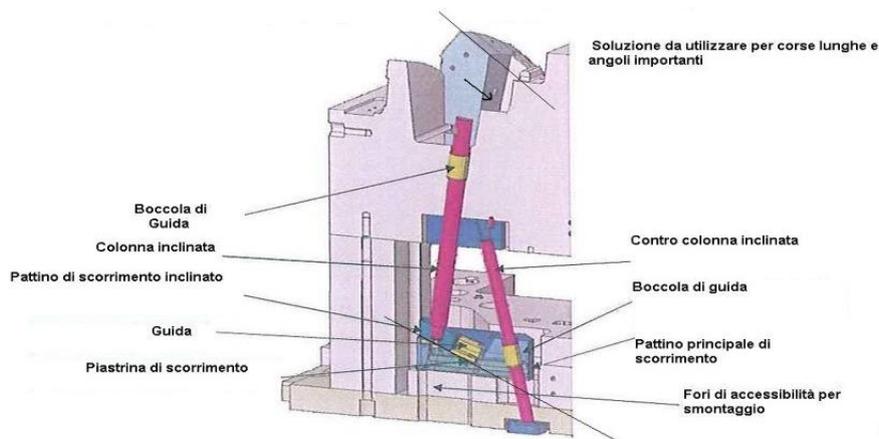


Figura 21 – Elemento Laterale: soluzione di montaggio con colonne a doppia inclinazione.

Il movimento della piastra di estrazione è permesso attraverso l'Unità di Movimentazione, meccanica o idraulica. Nel sistema meccanico vengono usate delle candele montate sull'unità di chiusura della pressa, che muovono la piastra di estrazione durante la fase di apertura dello stampo; nel sistema idraulico, invece, vengono utilizzati degli attuatori lineari collegati alla piastra di estrazione e fissati alla piastra di base oppure sul punzone.

La struttura degli stampi per iniezione di componenti in plastica descritta in precedenza ha lo svantaggio di avere una lavorazione complicata ed elevati costi di realizzazione dei componenti mobili. Il punzone e le colonne inclinate sono soggetti a flessioni e deformazioni durante il processo di iniezione, fenomeni che hanno un effetto negativo sulla qualità del pezzo stampato e che, se non correttamente controllate, possono portare allo scarto del pezzo. Infine, l'utilizzo della piastra di estrazione per movimentare sia gli elementi di estrazione che gli elementi laterali obbliga, nel caso di inclinazioni elevate, ad utilizzare complesse soluzioni di montaggio come visto, portando a realizzare uno stampo con ingombri elevati.

2.3 Stampo compatto e confronto con stampo tradizionale

La tecnologia di progettazione dello stampo compatto permette di eliminare o ridurre gli svantaggi della tecnologia descritta in precedenza. Lo stampo così progettato risulta più semplice e compatto, ha peso e ingombri ridotti e opera in condizioni più flessibili e affidabili. [11]

Uno stampo che utilizza una tecnologia compatta (fig.22) è principalmente composto da:

- una Matrice;
- un Punzone, formato da un elemento centrale stazionario e da almeno due elementi laterali, mobili rispetto al primo;
- degli Elementi di Estrazione che scorrono lungo delle sedi ricavate sul del punzone;
- una Piastra di Estrazione, collocata in una camera definita tra il corpo di supporto e la piastra di base, che si muove lungo la direzione di apertura/chiusura dello stampo e permette la movimentazione degli elementi di estrazione.

I due elementi laterali del punzone sono connessi direttamente ad un sistema di movimentazione, senza la necessità di interporre una piastra di estrazione. Questo sistema è composto da attuatori lineari ed elementi rigidi che permettono il movimento indipendente degli elementi laterali del punzone, a differenza dalla tecnologia tradizionale che prevede l'utilizzo di colonne inclinate collegate alla piastra di estrazione. Una soluzione di questo tipo permette di avere dimensioni ridotte della piastra di estrazione rispetto al caso precedente, fino ad un massimo ingombro pari a quello dell'elemento centrale; conseguentemente anche il volume libero risulta ridotto. Le ridotte dimensioni della camera di estrazione permettono allo stampo di subire minori deformazioni durante il processo di iniezione essendo la struttura più rigida.

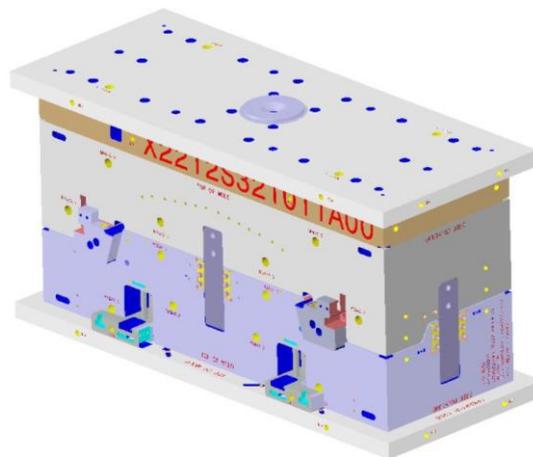


Figura 22 – Esempio di stampo compatto

Questo tipo di tecnologia permette di ottenere pezzi stampati di elevata qualità, di semplificare la struttura dello stampo evitando l'utilizzo di colonne inclinate per la movimentazione degli elementi mobili.

Di seguito sono analizzate nello specifico le varie parti di uno stampo realizzato con una tecnologia compatta.

2.3.1 Parti figura

Vengono definite parti figura tutti i componenti che durante l'iniezione vengono a contatto con il materiale plastico fuso e determinano il componente da realizzare; le superfici in verde nella figura 23 sono quelle che entrano in contatto con il polimero. Uno stampo comprende una matrice ed un punzone i quali, in posizione di chiusura stampo, definiscono una cavità in cui viene iniettata della plastica fusa per mezzo di una pressa. Il punzone è a sua volta composto da un elemento centrale fisso, una prima coppia di elementi laterali mobili, definiti Elementi Laterali Primari, posizionati in modo simmetrico rispetto all'elemento centrale, e una seconda tipologia di elementi laterali mobili, Elementi Laterali Secondari. Le superfici esterne dell'elemento centrale e degli elementi laterali primari e secondari sono opportunamente realizzate per definire, insieme alla matrice, la forma della cavità di iniezione e per dare al componente stampato la forma desiderata.

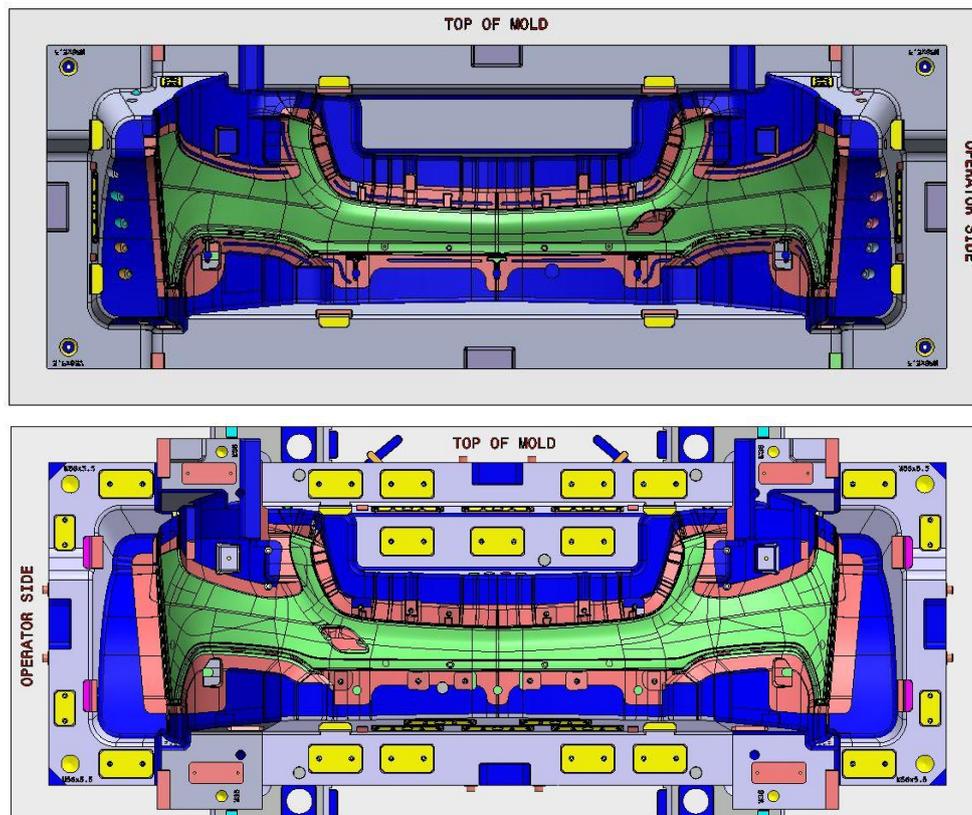


Figura 23 – Parti figura sulla parte fissa (in alto) e sulla parte mobile (in basso): in verde le superfici a contatto con il polimero fuso.

2.3.2 Piastra di supporto e corsa di estrazione

Lo stampo può anche comprendere una Piastra di Supporto la cui funzione è appunto quella di supportare il punzone e la matrice. L'Elemento Centrale è fisso sulla piastra di supporto (fig.24) mentre gli altri elementi del punzone possono muoversi con moto relativo rispetto a quest'ultimo.

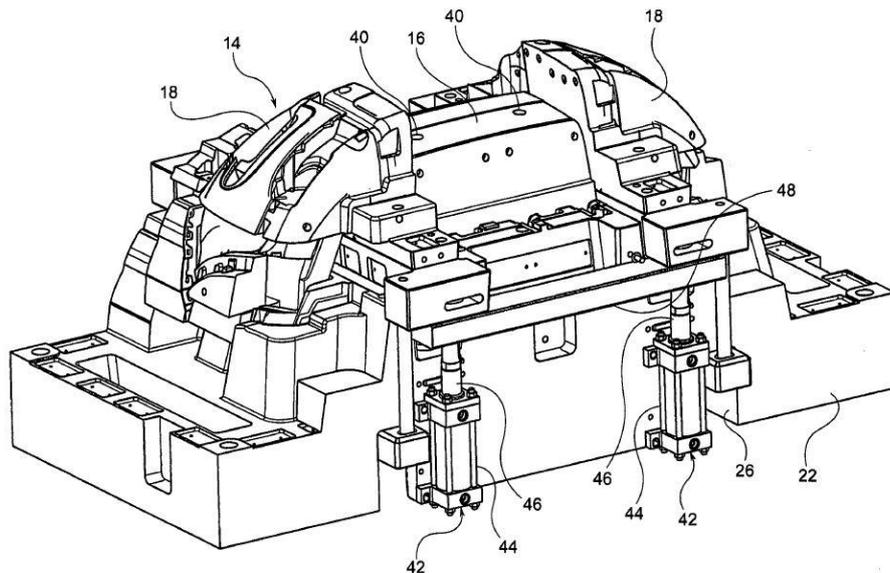


Figura 24 – Piastra di supporto (n°22 in figura). La figura mostra la posizione di Fine Corsa di estrazione con lo spostamento degli elementi laterali primari (n° 18) e secondari (non indicati) e l'elemento centrale fisso (n° 16).

Nella parte inferiore del supporto è ricavata una cavità (fig.25), chiusa inferiormente da una piastra, detta Piastra di Base (sulla quale è montata la piastra di supporto), che ha lo scopo di alloggiare la piastra di estrazione (non mostrata in figura). Le dimensioni della piastra non superano quelle dell'elemento centrale del punzone. Con la riduzione delle dimensioni della camera è possibile ridurre le dimensioni del corpo di supporto rispetto ad uno stampo tradizionale e sono ridotte anche le deformazioni subite da cappello e punzone a seguito sia del peso dei componenti sia della pressione esercitata dal polimero fuso nella cavità durante l'iniezione.

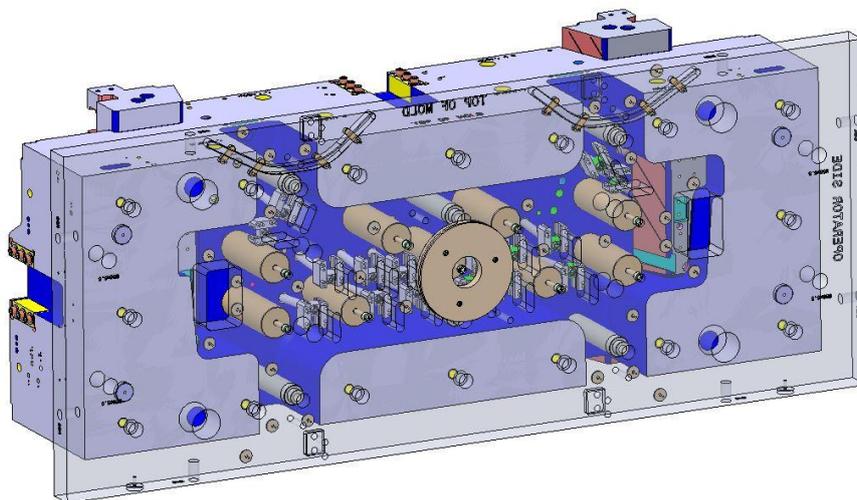


Figura 25 – Cavità di alloggiamento del tavolino di estrazione (non mostrato)

2.3.3 Elementi laterali

Gli elementi laterali primari, indicati con il numero 18 nelle figure 26 e 27, possono scorrere per mezzo di guide lungo delle superfici inclinate ricavate in parte sul cappello ed in parte sulla piastra di supporto. Durante la fase di estrazione del componente le guide permettono ai due elementi di traslare lungo una direzione verticale ma anche longitudinale, permettendo al componente stampato di poter essere estratto.

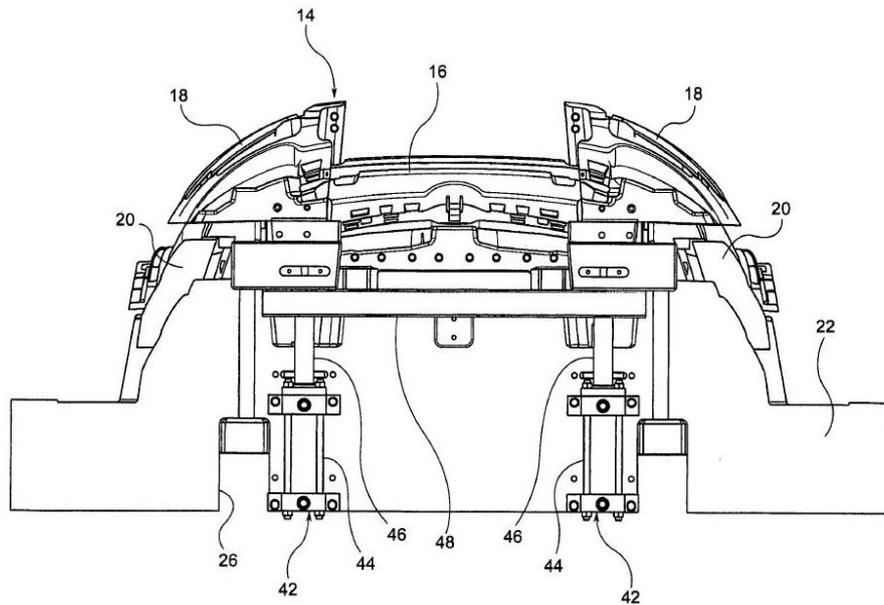


Figura 26 - Vista frontale di uno stampo compatto in posizione di fine corsa estrazione

Gli elementi laterali secondari, indicati con il numero 20 nelle figure 26 e 27, presentano delle superfici inclinate grazie alle quali possono scorrere su delle guide della piastra di supporto, e sono collegati agli elementi laterali primari con dei perni (n° 34 in figura 27). L'accoppiamento con dei perni permette agli elementi primari di trascinare gli elementi secondari e, sfruttando la differenza di inclinazione tra le superfici di scorrimento, è possibile generare dei moti relativi tra gli elementi mobili.

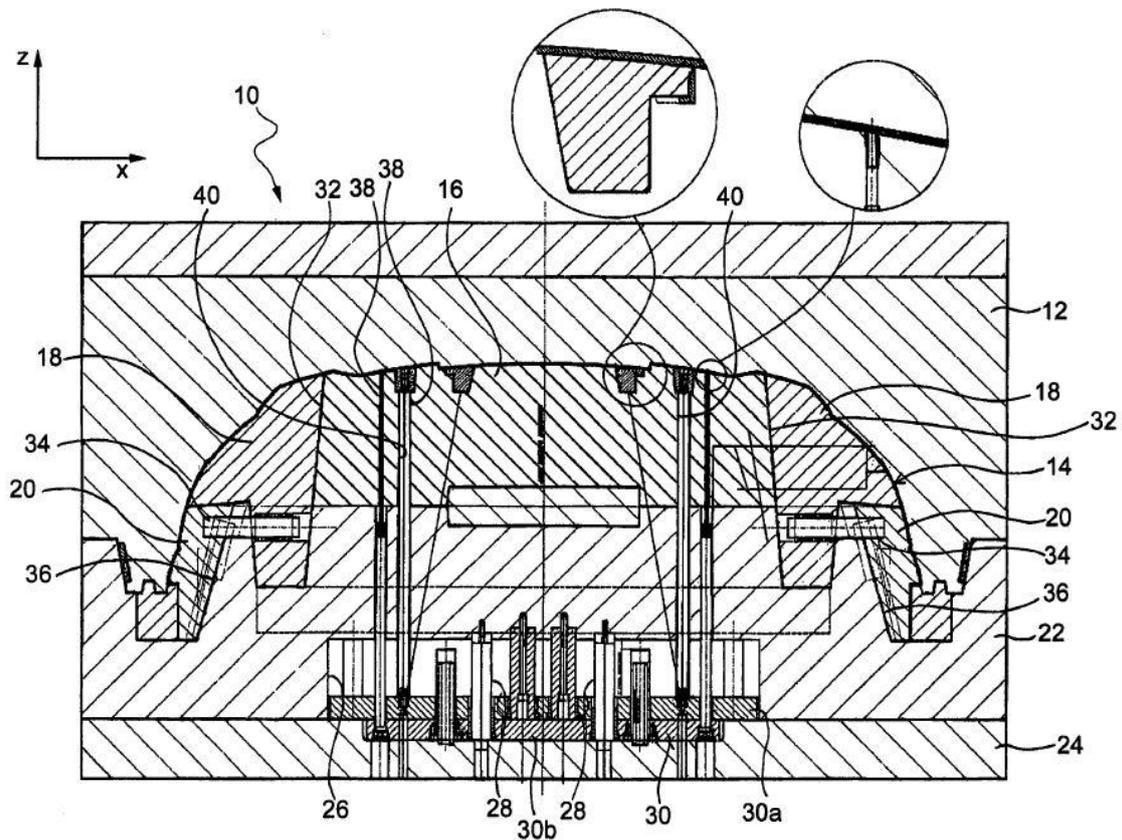


Figura 27 - Sezione di uno stampo compatto: Le superfici inclinate n°32 e n°36 determinano il movimento degli elementi laterali durante la fase di estrazione del manufatto.

L'inclinazione delle superfici di guida n° 32 e 36 è progettata in funzione delle caratteristiche geometriche e dei sottosquadri del componente da stampare. I valori di inclinazione utilizzabili con questa tecnologia di progettazione sono maggiori di quelli permessi da uno stampo convenzionale.

2.3.4 Estrazione

L'estrazione del componente dallo stampo è garantita per mezzo di un certo numero di elementi dedicati (fig. 21), che scorrono lungo dei fori che attraversano sia la piastra di supporto sia l'elemento centrale del punzone. Il numero e la tipologia degli elementi utilizzati dipendono dalla specifica applicazione, in particolare dal numero di sottosquadri presenti nella zona di interesse. Diversamente dalla tecnologia convenzionale, la piastra di estrazione ha lo scopo di muovere solamente gli elementi di estrazione in quanto gli elementi laterali secondari e primari sono movimentati direttamente dagli attuatori lineari.

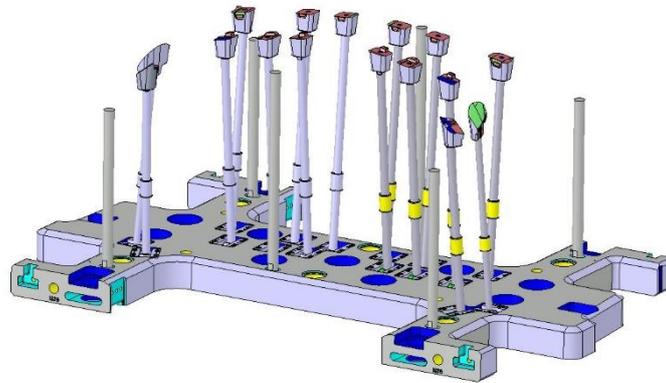


Figura 28 – Piastra di estrazione ed elementi di estrazione.

Capitolo 3 – Caso studio

Il seguente capitolo ha lo scopo di analizzare nel dettaglio due tipologie di stampo prodotte da *HCM Stampi s.r.l.*, al fine di mettere in evidenza i vantaggi dello stampo compatto descritti nel capitolo precedente. Verranno analizzate le dimensioni e il funzionamento dei singoli stampi, confrontando le diverse soluzioni progettuali.

3.1 Componenti stampati

I due paraurti presi in esame hanno caratteristiche simili tali da poterne confrontare gli stampi, tuttavia è bene evidenziare alcuni aspetti che differenziano i due modelli.

Da una sovrapposizione dei due diversi modelli (fig.29) risulta evidente la differenza tra le dimensioni: il componente in grigio, realizzato con lo stampo compatto, è più grande di quello realizzato con tecnologia tradizionale (in blu), aspetto che risulterà particolarmente interessante con il confronto delle dimensioni di ingombro fra i due stampi.

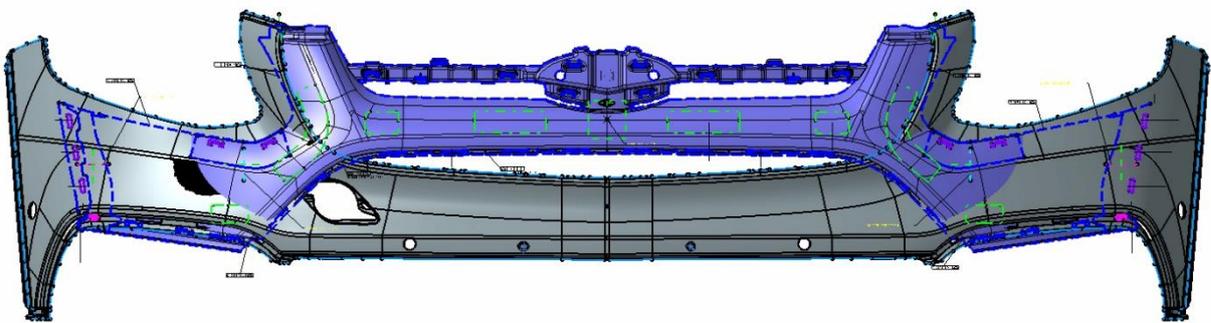


Figura 29 – Confronto dimensionale dei due paraurti: in grigio il componente realizzato con tecnologia compatta, in blu il componente realizzato con tecnologia tradizionale.

Un'ulteriore differenza, evidente nella geometria del componente tradizionale, è nella parte centrale; in questa zona è presente una struttura che collega le due estremità, su cui verranno successivamente montati altri elementi della vettura. Le linguette di montaggio nell'elemento tradizionale sono localizzate lungo il bordo inferiore e le estremità destra e sinistra (figg.13 e 14), mentre nel componente compatto sono localizzate lungo tutto il bordo del componente, inoltre sono presenti numerosi fori e geometrie di forma complessa (fig. 30).

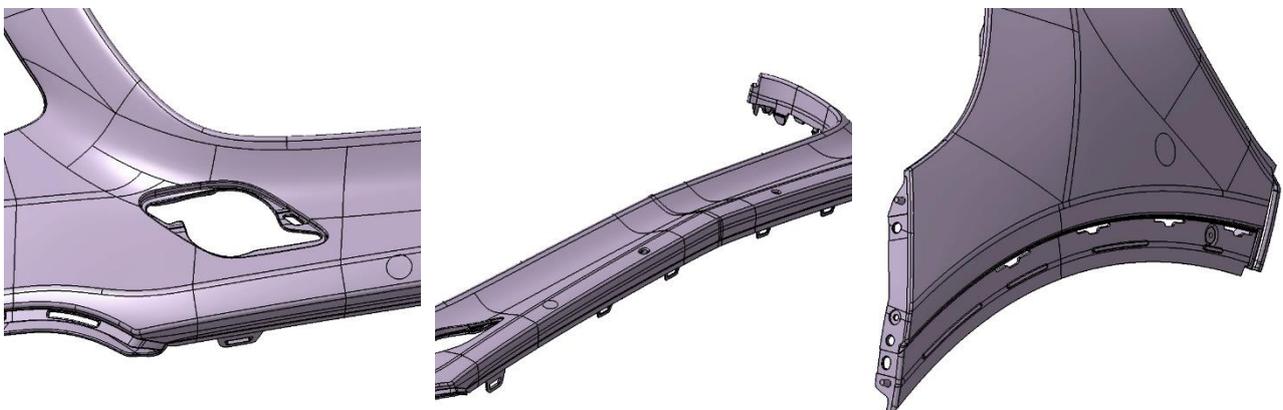


Figura 30 – Particolari geometrie Elemento Compatto

3.2 Stampi

3.2.1 Dimensioni ed elementi principali

I due stampi (fig.31) presentano delle dimensioni importanti dovendo realizzare dei componenti tra i più grandi costituenti la vettura. Lo stampo tradizionale presenta un ingombro di 2500x1200x1450 mm con un peso complessivo di circa 25000 kg, mentre il compatto 2700x1100x1375 mm con peso di 23500 kg. Come già accennato, il confronto tra le dimensioni dei due stampi mette in mostra la possibilità di realizzare dei componenti di dimensione maggiore utilizzando stampi di dimensioni ridotte, ma il risparmio è evidente anche in termini di peso: con peso e dimensioni ridotte è semplificato il trasporto e la manipolazione dello stampo.

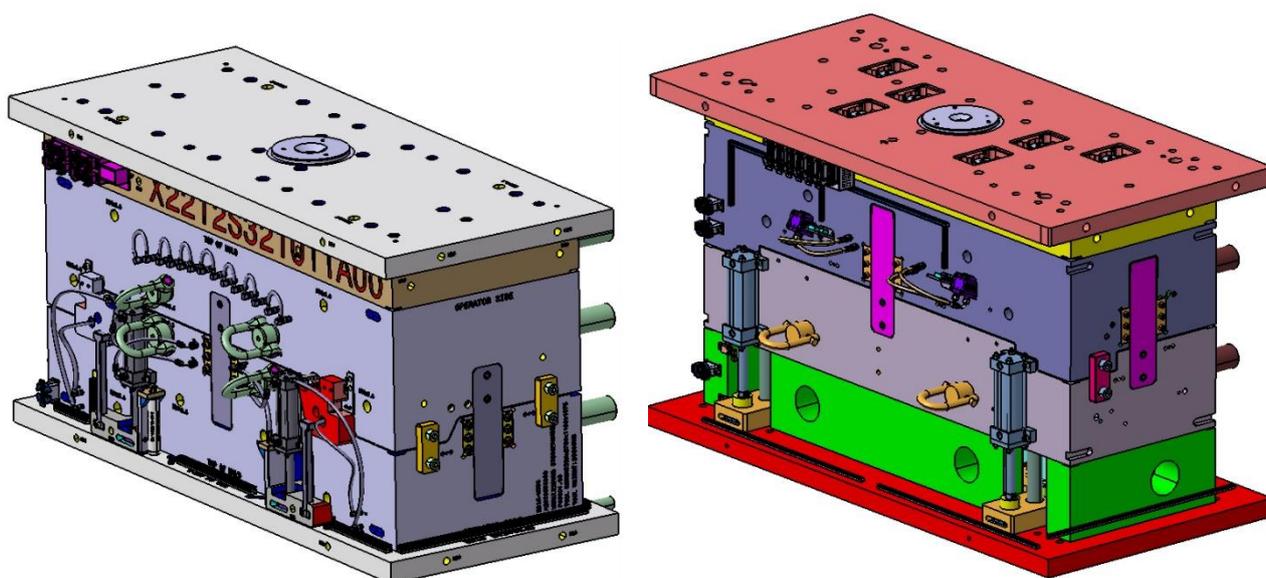


Figura 31 – Modelli completi degli stampi: a destra, Stampo Tradizionale; a sinistra, Stampo Compatto.

Gli stampi sono entrambi composti da piastre di base per entrambi i lati, da distanziali predisposti per l'alloggiamento di una camera calda con azionamento sequenziale, da piastre matrice e punzone e da sistemi per la movimentazione degli elementi mobili. Lo stampo tradizionale presenta degli elementi di sostegno aggiuntivi, i quattro lardoni, per permettere di alloggiare il tavolino di estrazione. Nello stampo compatto, invece, il vano di alloggiamento è ricavato direttamente sul punzone, in modo da rendere la struttura più rigida e di dimensioni contenute (fig. 32).

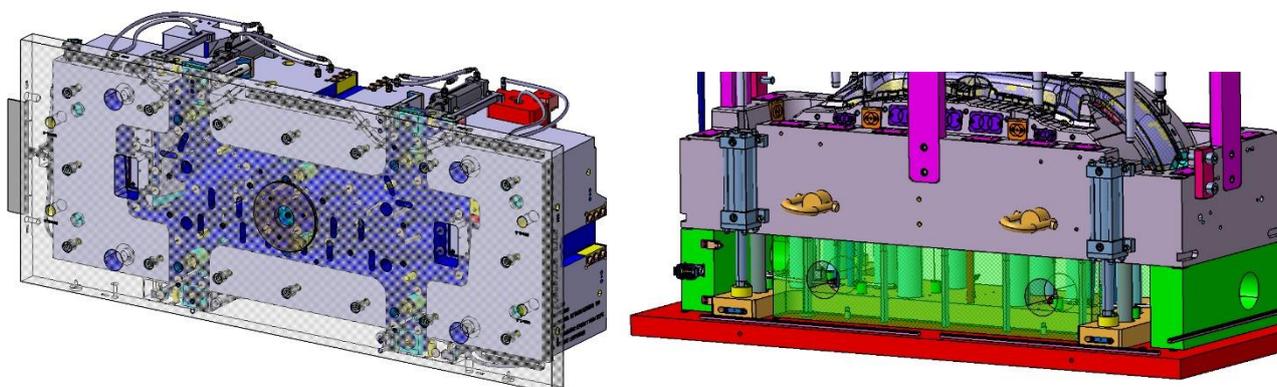


Figura 32 – Confronto alloggiamento tavolino di estrazione

Matrice

Il lato matrice non presenta grosse differenze tra i due stampi presi in esame, come mostrato in figura 33, tuttavia sullo stampo tradizionale sono utilizzati dei Perno Figura con azionamento idraulico (fig.34) per realizzare dei vani cilindrici sulle estremità superiori del paraurti. Non sono presenti le tradizionali colonne guida cilindriche ma per questi particolari stampi sono utilizzate delle colonne prismatiche posizionate lungo i quattro lati delle piastre; questa tipologia di colonne permette una guida più precisa oltre che deformazioni minori dovute al peso stesso degli stampi. Nel caso dello stampo tradizionale le colonne sono montate sul lato punzone mentre per lo stampo compatto il montaggio avviene sulla matrice; il diverso posizionamento è dovuto a questioni legate alla comodità di estrazione del componente.

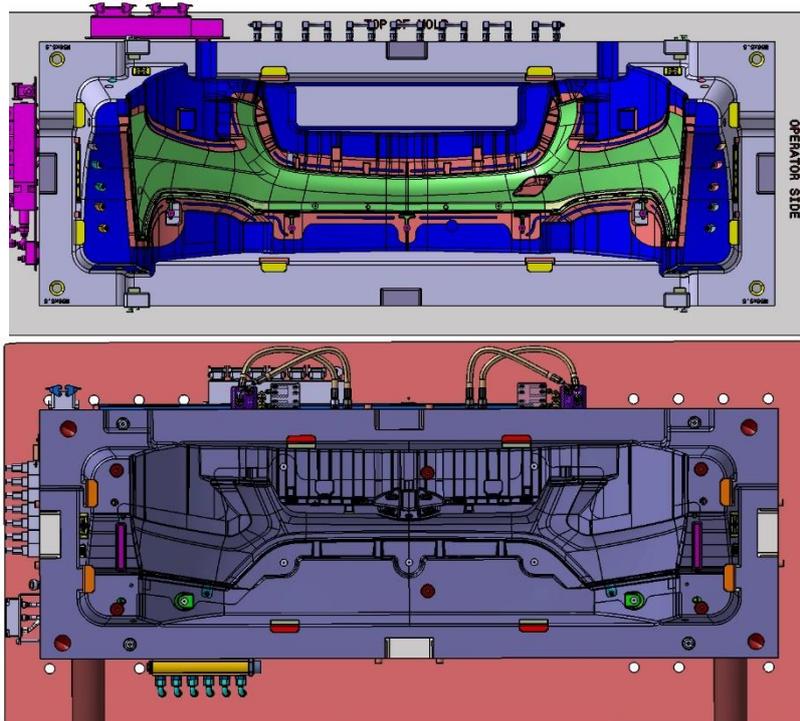


Figura 33 – Confronto Piastre Matrice: In alto, Stampo Compatto; in basso, Stampo Tradizionale.

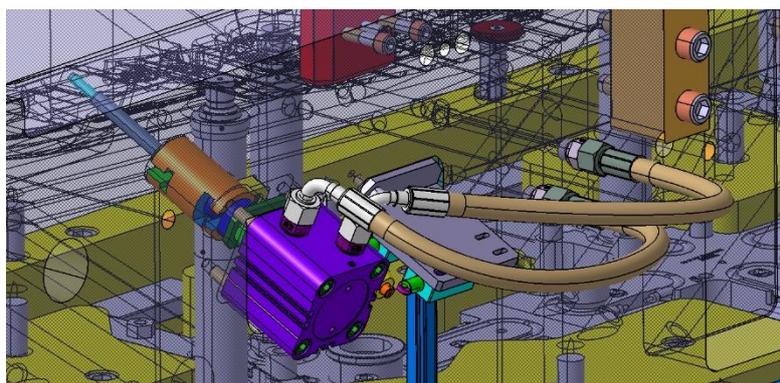


Figura 34 – Perno Figura con azionamento idraulico utilizzato sullo Stampo Tradizionale

Camera calda

I sistemi a camera calda utilizzati sono del tipo sequenziale hanno cioè la possibilità di azionare gli ugelli in modo indipendente e programmato; in questo modo è possibile ridurre le pressioni di iniezione seguendo quello che è il percorso di riempimento più efficiente, è inoltre possibile stabilire la pressione e la temperatura di iniezione dei singoli ugelli ed anche quella di mantenimento. L'iniezione sequenziale è sfruttata anche per correggere eventuali difetti,

intervenendo sui parametri in modo da modificare le condizioni di flusso del materiale fuso. Un sistema a camera calda è composto da un certo numero di ugelli, un canale riscaldato, che permette la distribuzione del fuso ai vari ugelli e ne evita la solidificazione, ed un sistema di azionamento idraulico per gli ugelli oltre che alla sensoristica di controllo. Lo stampo tradizionale in esame presenta un sistema a camera calda composto da 7 ugelli mentre lo stampo compatto ne prevede 5 (fig.35).

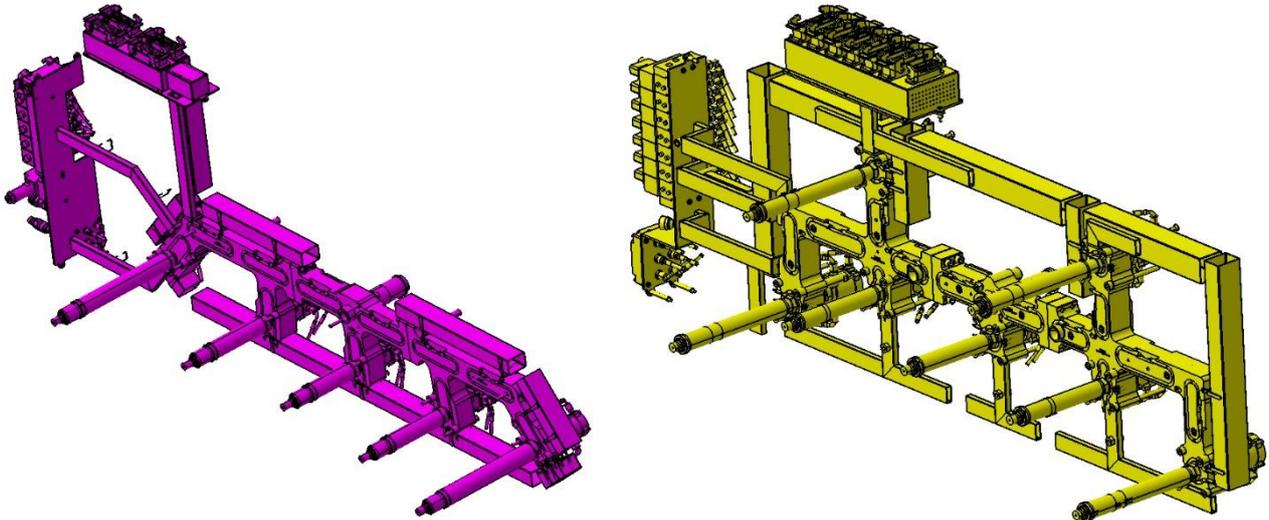


Figura 35 - Confronto Camere Calde: a sinistra, Stampo Compatto; a destra, Stampo Tradizionale.

Estrazione

Il sistema di estrazione prevede l'utilizzo di un azionamento idraulico in entrambi i casi in esame, con i cilindri che movimentano la piastra di estrazione e con essa anche gli estrattori e i tasselli, necessari a liberare le geometrie in sottosquadro ed estrarre il componente. Nel caso dello stampo tradizionale, il tavolino di estrazione è movimentato da 4 attuatori idraulici (fig.36) installati sulla piastra punzone e collegati opportunamente alle estremità della stessa. Il movimento è guidato da colonne poste in prossimità degli attuatori e la corsa è limitata attraverso due sensori di posizione meccanici (fig.37) montati sui lardoni e posizionati diametralmente opposti per evitare errori di lettura del segnale: se le due coppie di sensori fossero posizionate su uno stesso lato il sistema potrebbe non rilevare dei movimenti anomali della piastra di estrazione.

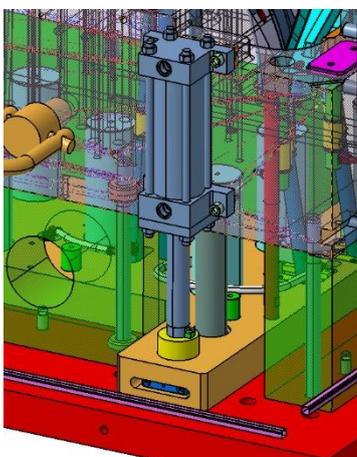


Figura 36 - Sistema di estrazione Stampo Tradizionale: è visibile l'attuatore idraulico e la colonna guida.

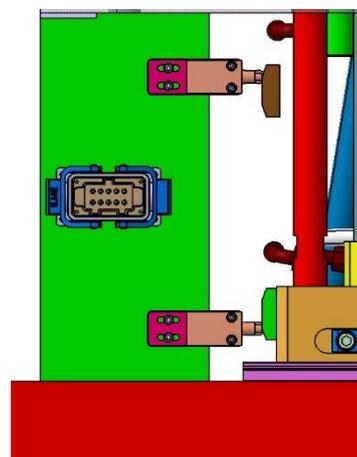


Figura 37 - Particolare Sensori di Posizione Meccanici: l'elemento marrone indica la posizione a fine corsa.

L'estrazione nel caso dello stampo compatto è anch'essa comandata da attuatori idraulici ed è controllata nella sua corsa mediante l'utilizzo di sensori di posizione meccanici (figg.38 e 39). Il sistema di attuazione, in questo caso, permette anche di movimentare gli elementi laterali principali per mezzo di elementi rigidi che ne rendono solidale il movimento col tavolino di estrazione. Le dimensioni del tavolino di estrazione sono ridotte rispetto al caso tradizionale e limitate a quelle della parte di punzone compresa tra i due elementi laterali principali. Il ritorno in posizione del tavolino è garantito da 4 molle di ritorno. A differenza del caso precedente gli elementi laterali mobili non sono collegati direttamente alla piastra di estrazione ma indirettamente, senza andare a gravare sulle colonne guida con il rischio di danneggiarle.

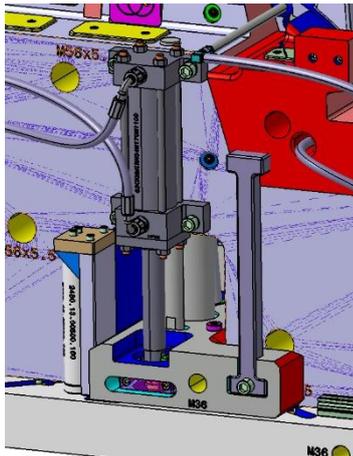


Figura 38 – Sistema di Estrazione Stampo compatto: a destra del cilindro idraulico è presente l'elemento rigido, a sinistra la molla di ritorno.

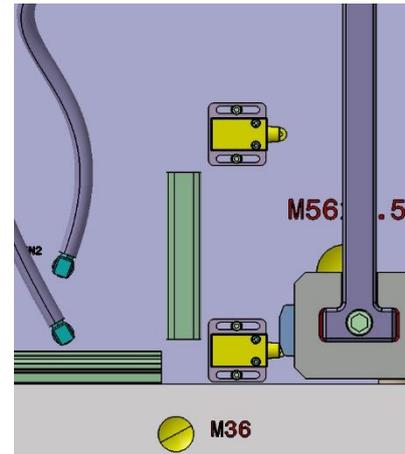


Figura 39 – Particolare sensori di posizione meccanici.

3.2.2 Piastra punzone ed Elementi Mobili

È necessario analizzare separatamente gli elementi mobili di ciascuno stampo poiché è proprio di questi elementi che si caratterizza uno stampo per paraurti. La principale caratteristica è la presenza di due elementi laterali mobili utilizzati per realizzare le geometrie in sottosquadro presenti alle estremità del paraurti; eventualmente possono presentarsi elementi mobili anche in altre zone del componente, in base alle caratteristiche del pezzo stampato.

Nel caso dello stampo tradizionale analizzato, come mostrato in figura 40, si ha la presenza dei due elementi mobili laterali ed in aggiunta altre due coppie di elementi in prossimità della zona di montaggio dei fanali anteriori.

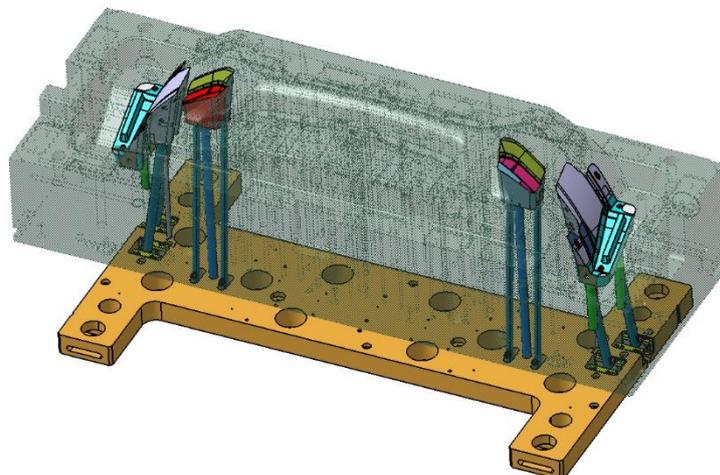


Figura 40 – Disposizione Elementi Mobili Stampo Tradizionale

Lo stampo compatto in esame presenta due elementi laterali principali e tre coppie di elementi laterali secondari solidali ai primi (fig.41). Vengono inoltre utilizzati 14 tasselli per realizzare dei fori lungo il perimetro esterno nella parte centrale del componente stampato e una coppia di tasselli per la realizzazione di linguette di montaggio.

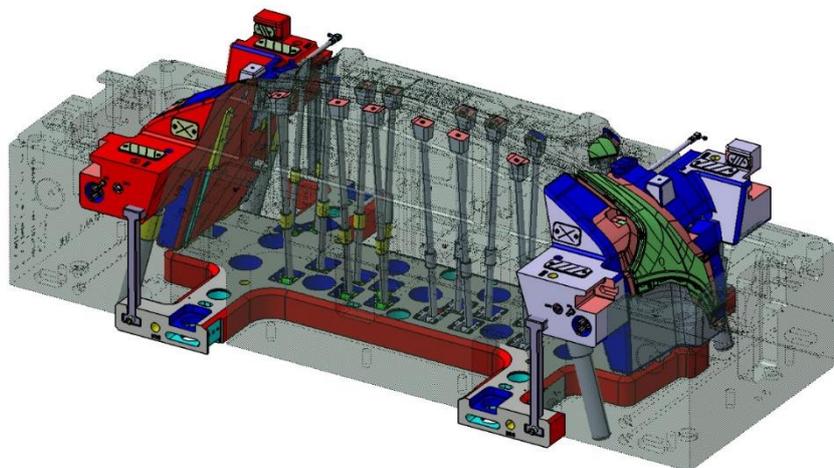


Figura 41 – Disposizione Elementi Mobili Stampo Compatto

Punzone

Sia nel caso di stampo compatto che di stampo tradizionale, la piastra punzone è realizzata da un unico blocco di acciaio nel quale sono ricavate le sedi degli elementi mobili. L'accoppiamento con la piastra matrice è realizzato mediante l'uso di piastrine lubrificate e con inclinazione di 1° fungendo da elemento di accoppiamento fra piastre. Sul punzone dello stampo tradizionale sono inoltre ricavate le cavità per i canali di iniezione (fig.42), mentre per quanto riguarda lo stampo compatto queste sono ricavate sulla piastra matrice.

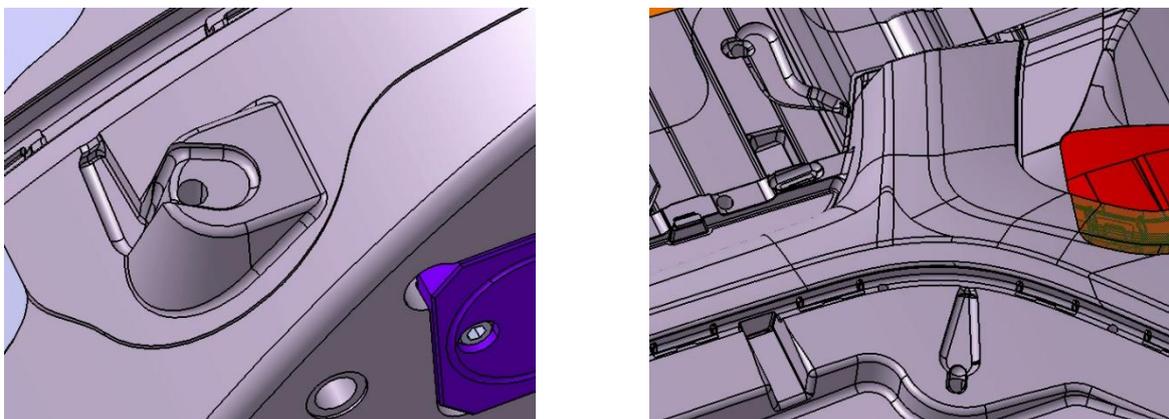


Figura 42 – Sedi Punti di Iniezione Stampo Tradizionale

Elementi mobili Stampo Tradizionale

Gli elementi laterali unitamente al tassello fisso in azzurro permettono di realizzare delle linguette di montaggio sulle estremità del componente (fig.43). Il tassello fisso è lavorato in modo da formare le cavità presenti nel componente mentre l'elemento mobile presenta una superficie continua nella zona interessata, altrimenti esso non potrebbe scorrere per liberare il componente. Data l'entità del sottosquadro è necessario avere una grande corsa del tavolino di estrazione oppure una maggiore inclinazione delle colonne; si cerca di progettare gli elementi combinando le due variabili, in quanto corse eccessive non sono consigliabili per questioni di ingombro in macchina e inclinazioni maggiori di un determinato valore richiedono

supporti aggiuntivi, come visto nel secondo capitolo. L'elemento laterale inoltre funge da supporto durante la fase di estrazione del componente.

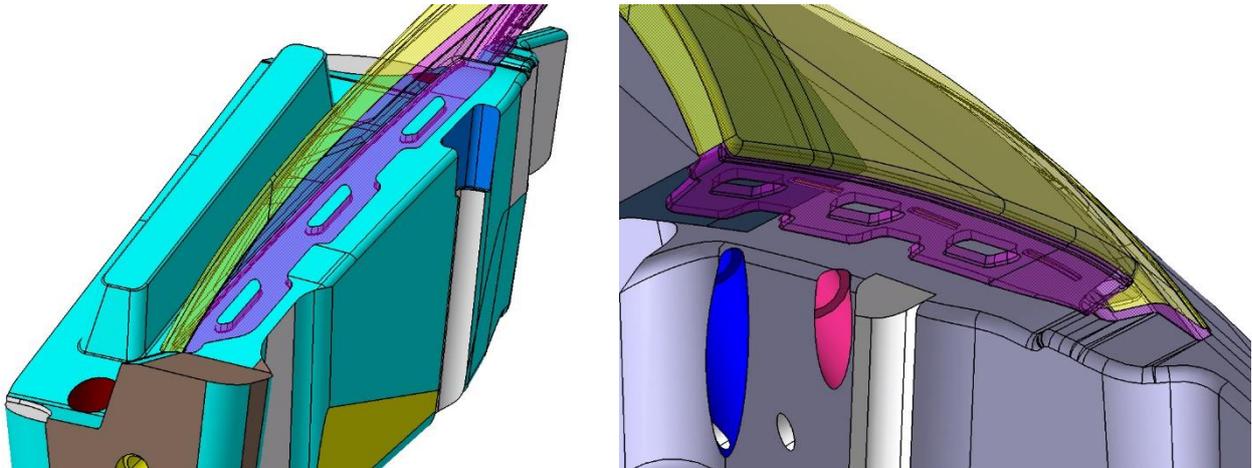


Figura 43 – Elementi Mobili Tradizionale: Particolare della geometria realizzata dalla coppia di elementi.

Le due coppie di elementi mobili aggiuntivi (fig.44) sono progettate per realizzare delle clips di montaggio e delle nervature di rinforzo in prossimità della zona di accoppiamento con i fanali. L'elemento in rosso è lavorato in modo da realizzare parte della cavità necessaria alla realizzazione della clip, mentre l'elemento in giallo oltre a completare la cavità realizza le nervature del componente visibili nell'immagine a sinistra. In questo caso le corse necessarie sono decisamente più piccole ed è possibile quindi utilizzare delle inclinazioni minori. L'elemento in rosso non ha alcuna inclinazione e la sua funzione è quella di supportare il componente stampato durante il movimento dell'elemento in giallo.

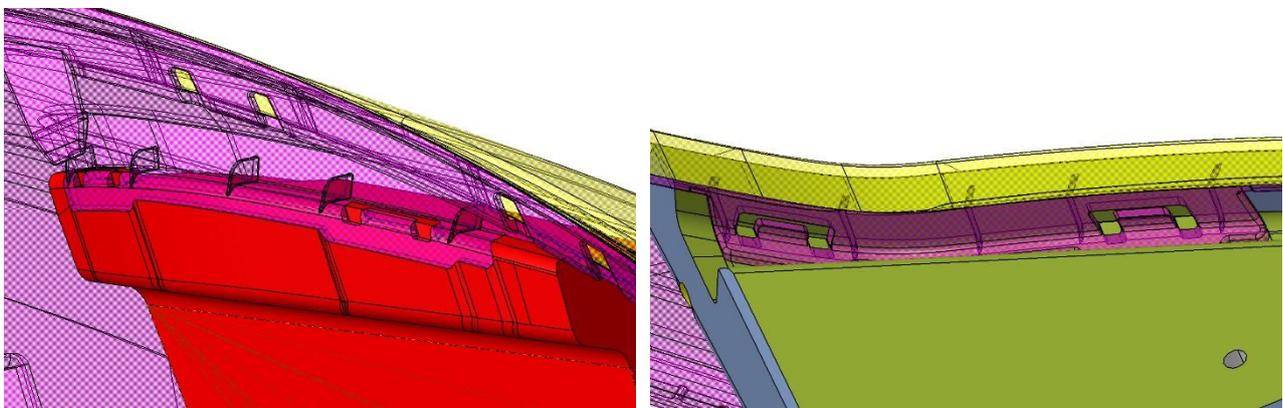


Figura 44 – Elementi mobili Tradizionale: L'elemento in giallo realizza le nervature del componente visibili a sinistra; l'elemento in rosso realizza le linguette di montaggio visibili a destra.

Elementi mobili Stampo Compatto

L'elemento laterale primario (fig.45), oltre a permettere lo stampaggio del componente, funge da supporto per gli elementi laterali secondari, e scorre lungo la superficie inclinata ricavata sul punzone per mezzo di guide a T (fig.46). Le guide permettono al componente di muoversi lungo le direzioni x e z liberando dei sottosquadri del componente e, congiuntamente, permettono di movimentare anche gli elementi mobili secondari. Lo stampo in esame presenta tre tipologie di elementi mobili secondari che saranno di seguito indicate come Movimento1, Movimento2 e Movimento3.

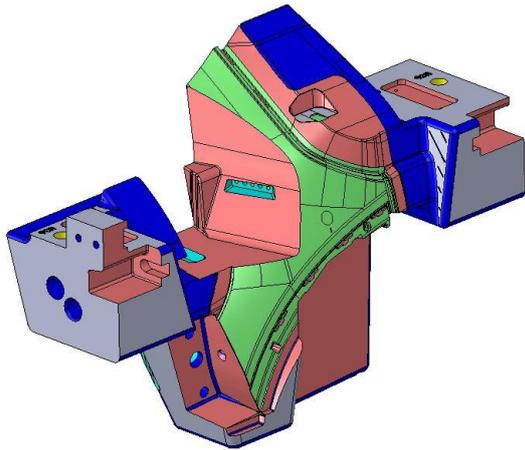


Figura 45 – Elemento Laterale Primario: sono visibili in azzurro le guide degli elementi laterali secondari.

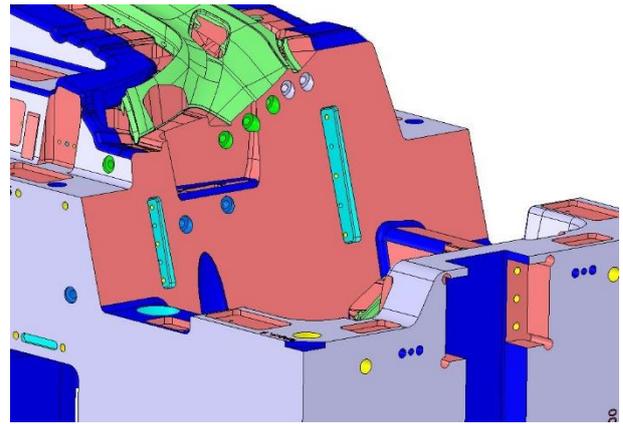


Figura 46 – Superficie inclinata e guide ricavate sul Punzone

Gli elementi mobili secondari sono collegati all'elemento laterale primario per mezzo di guide lineari (fig.47), il cui orientamento permette di generare una corsa di apertura lungo la direzione y liberando le geometrie in sottosquadro lungo il bordo del componente.

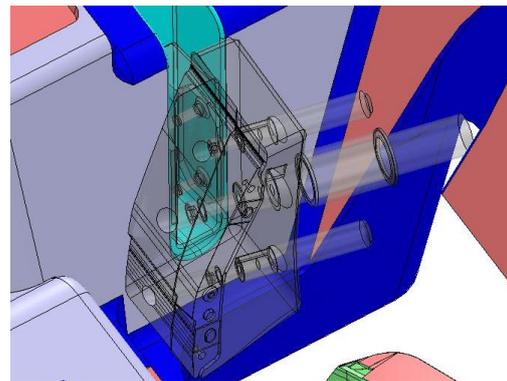
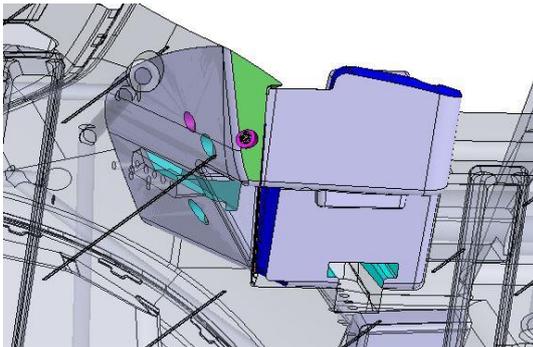


Figura 47 – Elementi laterali Secondari: a sinistra, Movimento 1 e Movimento 2; a destra, Movimento 3.

Durante la corsa di azionamento degli attuatori, gli elementi laterali primari avanzano e contemporaneamente collassano verso l'asse centrale dello stampo seguendo l'inclinazione della superficie ricavata sul punzone, come mostrato in figura 48.

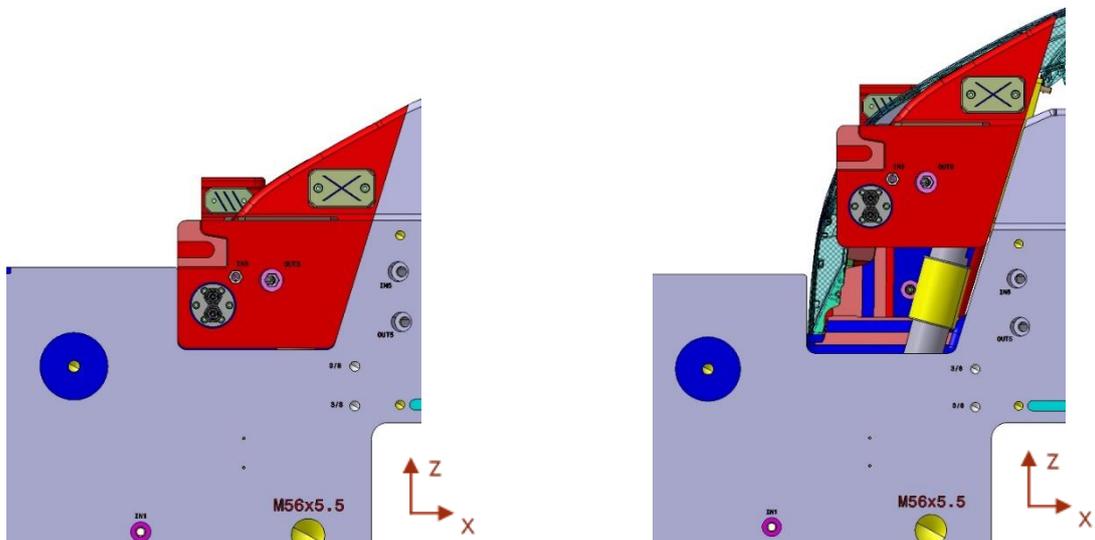


Figura 48 – Spostamento Elemento Laterale Primario: L'elemento scorre lungo la superficie ricavata sul punzone; contemporaneamente solleva il componente stampato e muove gli altri elementi mobili.

Gli elementi mobili secondari, Movimento 1 e Movimento 2, sono azionati dal movimento degli elementi primari, dei quali seguono il moto lungo la direzione z, mentre il movimento lungo la direzione y è reso possibile dall'azione delle guide lineari. Durante il moto, gli elementi secondari non modificano la loro posizione lungo la direzione x, agendo indipendentemente allo spostamento dell'elemento primario lungo la stessa direzione (figg.49,50,51,52).

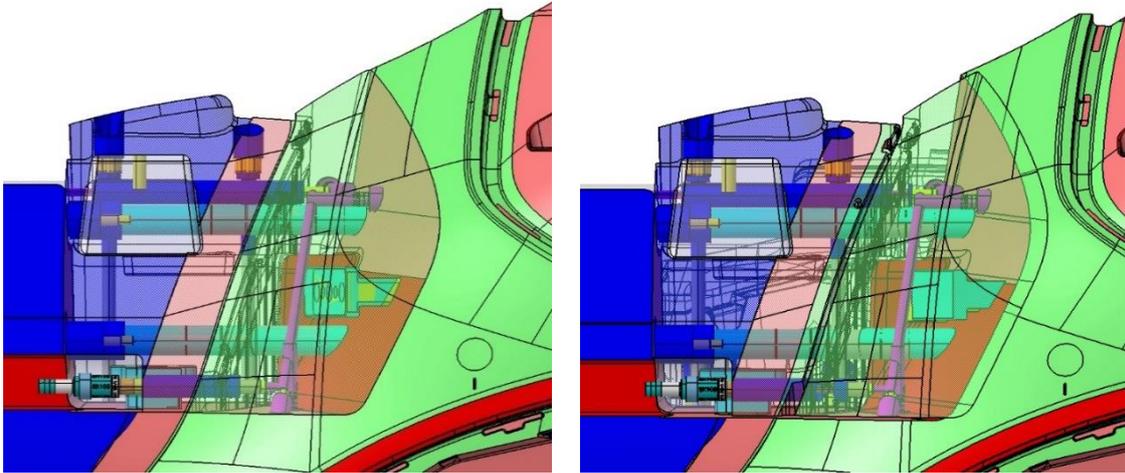


Figura 49 – Spostamento Movimento1 e 2 Piano yz.

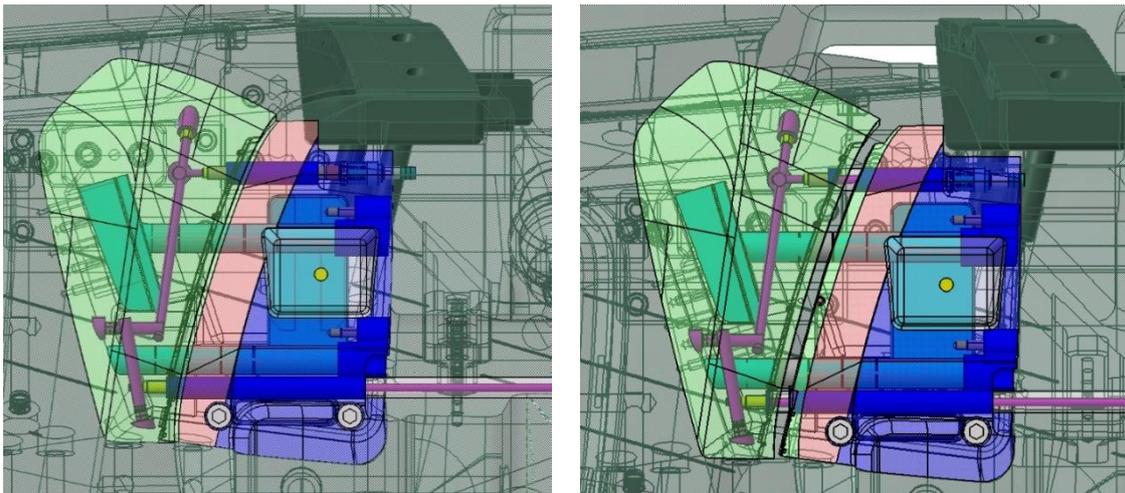


Figura 50 – Spostamento Movimento1 e 2 Piano xy.

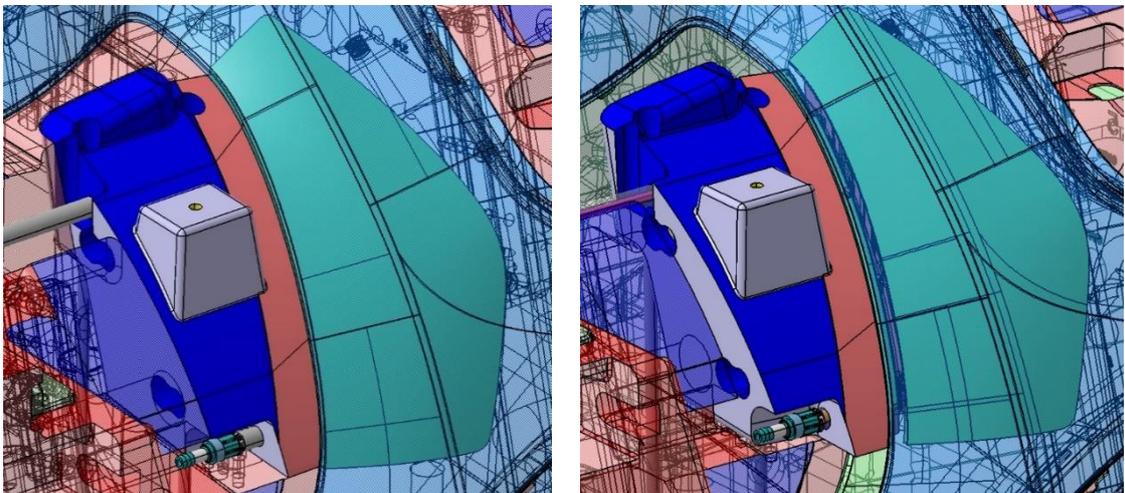


Figura 51 – Spostamento Movimento1 e 2: i due elementi non modificano la loro posizione in x

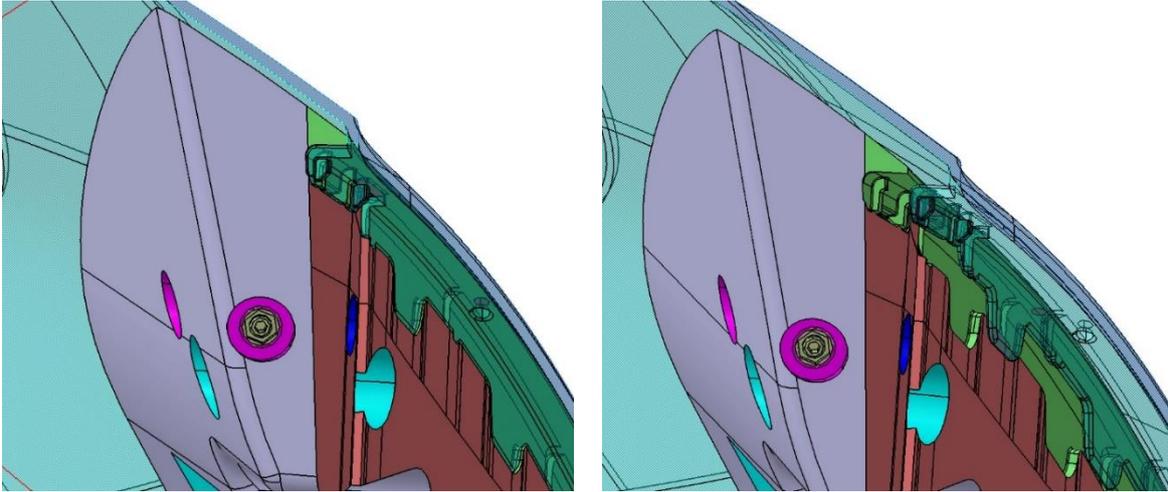


Figura 52 – Spostamento Movimento 1: a fine corsa l'elemento mobile libera completamente il sottosquadro.

I movimenti laterali secondari, denominati Movimento3, sono posizionati alle estremità del componente stampato e permettono di realizzare i fori in figura 56. Il loro movimento è comandato dall'elemento laterale primario, che permette il trascinamento dei componenti (figg.53,54) mediante dei perni (fig.55). La traslazione in direzione x è vincolata per mezzo di una guida ricavata sulla piastra punzone, che limita il movimento sul piano yz.

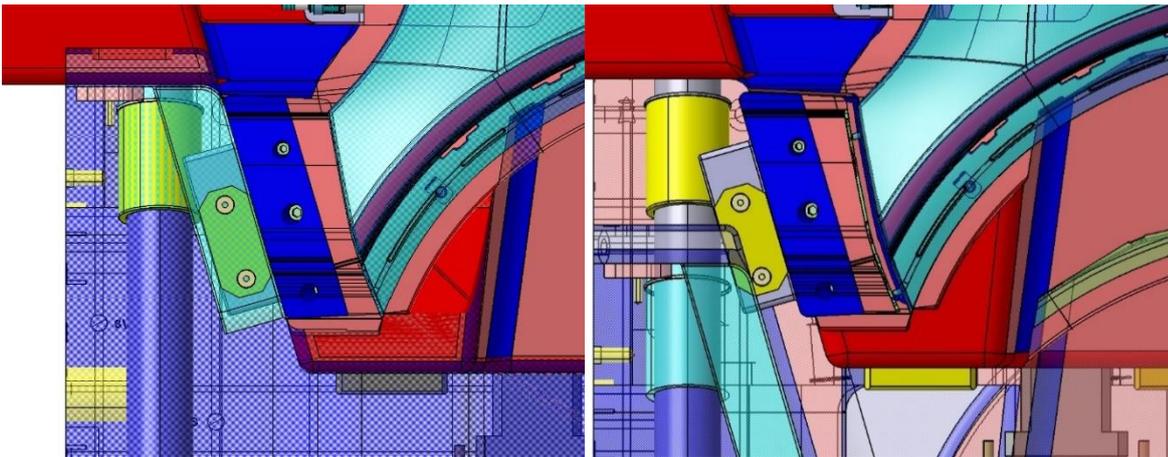


Figura 53 – Spostamento Movimento3 (piano yz): l'elemento scorre lungo la guida ricavata sul punzone.

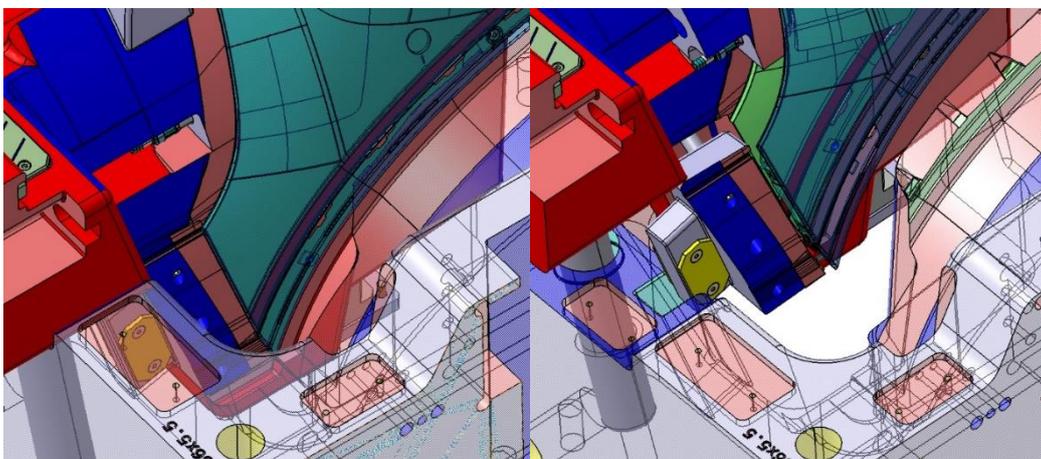


Figura 54 – Spostamento Movimento3

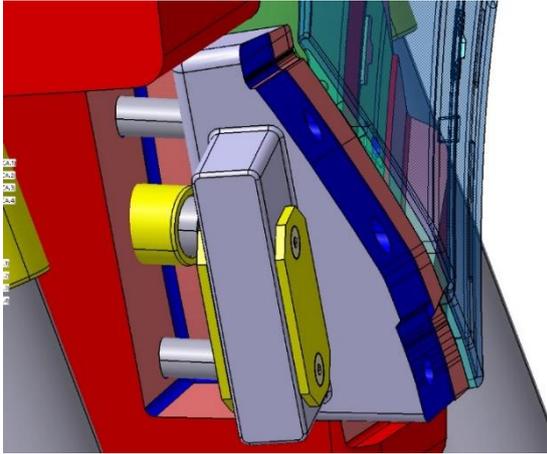


Figura 55 - Movimento3: Perna di trascinamento collegati all'Elemento Laterale Primario

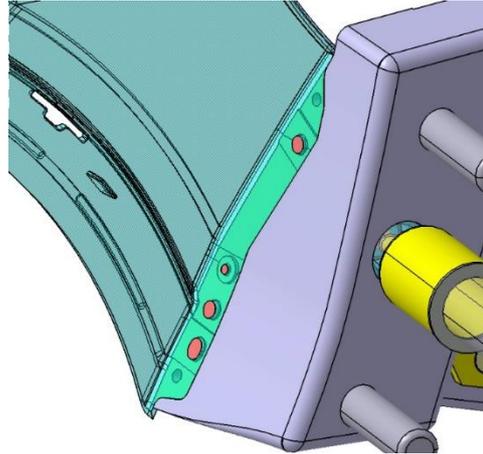


Figura 56 - Movimento3: geometrie realizzate dall'elemento

3.3 Riflessioni

Dopo aver descritto e analizzato il funzionamento dei due stampi, risulta evidente come l'utilizzo di uno stampo compatto apporti dei miglioramenti a livello progettuale: l'assenza di limiti imposti da inclinazioni troppo elevate per gli elementi mobili lascia libertà al progettista di ridurre al minimo le dimensioni dello stampo, permettendo un notevole miglioramento in termini di materiale utilizzato e tempi di produzione dei componenti dello stampo. L'utilizzo di guide lineari anziché di colonne inclinate per la movimentazione degli elementi mobili riduce la complessità di assemblaggio e semplifica la manutenzione dello stampo, in quanto i vari componenti risultano più facilmente accessibili: non è più necessario disassemblare e manipolare eccessivamente il componente.

Un aspetto interessante da valutare è quanto le dimensioni della camera di estrazione influiscano sulle deformazioni dello stampo durante il processo di stampaggio: questo tema verrà analizzato nel prossimo capitolo.

Capitolo 4 – Simulazione

Durante il processo di stampaggio, lo stampo subisce notevoli sollecitazioni che possono portare a deformazioni e, con il tempo, al danneggiamento dei componenti; in questo capitolo verrà analizzata l'applicazione statica delle sollecitazioni al fine di valutare le deformazioni che i vari componenti dello stampo subiscono soffermando l'attenzione sulle differenze nei comportamenti dei due stampi. [12] [13]

4.1 Modelli della simulazione

Gli stampi possono costituire anche dei sistemi molto complessi, dunque per poter effettuare una simulazione agli elementi finiti occorre quanto più possibile semplificare il modello da analizzare. Una prima semplificazione può essere fatta limitando il numero di elementi: il modello matematico completo di uno stampo può contenere centinaia di elementi dei quali la maggior parte non fondamentali ai fini della simulazione. Per questo motivo sono stati individuati ed eliminati dal modello gli elementi meno interessanti e si sono mantenuti i soli componenti principali dello stampo quali: piastre di base, piastre matrice e punzone, distanziali di reazione e longheroni.

Data la complessità delle geometrie si sono incontrate notevoli difficoltà in fase di discretizzazione dei modelli, motivo che ha reso necessaria un'ulteriore semplificazione.

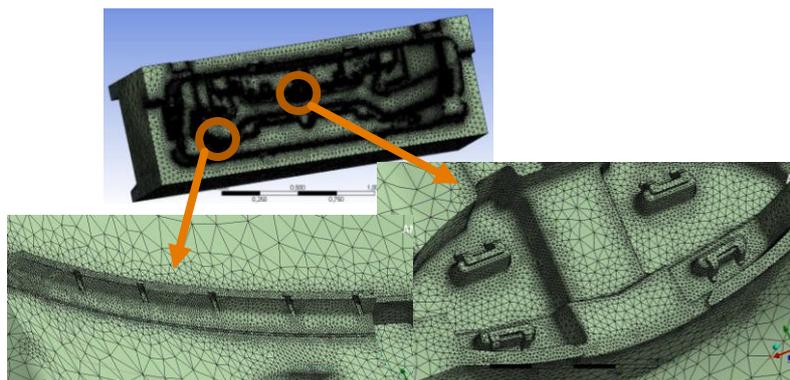


Figura 57 – Geometrie problematiche ai fine della simulazione

I modelli presentavano delle geometrie molto piccole (fig.57) che creavano difficoltà nell'effettuare correttamente la discretizzazione; tutto ciò ha reso necessario modellare delle nuove piastre matrice e punzone per entrambi gli stampi, semplificando così l'elemento stampato, come mostrato in figura 58. [14]

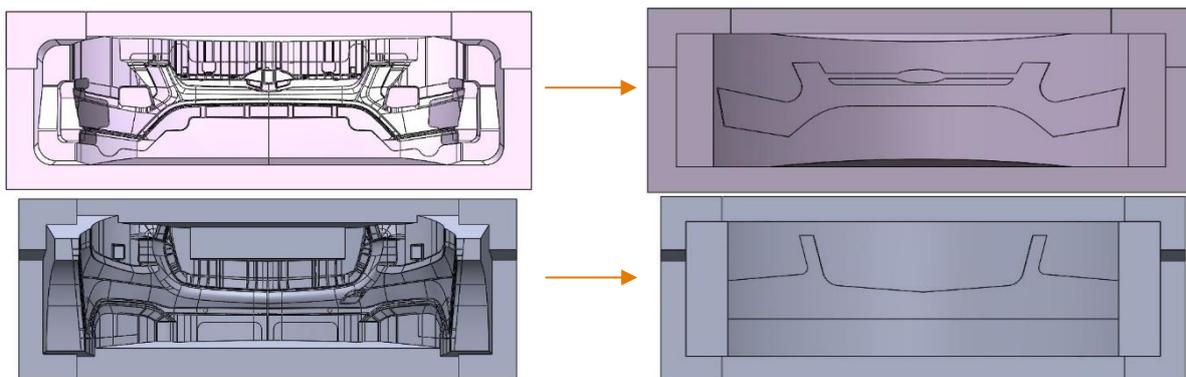


Figura 58 – Modifica componenti stampati: a sinistra, Modelli Originali complessi; a destra, Modelli Semplificati.

Gli elementi mobili sono stati incorporati alle piastre punzone; la scelta è giustificata dal fatto che la piastra punzone e gli elementi mobili sono realizzati con lo stesso materiale. I nuovi modelli non presentano i fori interni per il condizionamento e sono state eliminate tutte le sedi dei componenti aggiuntivi, quali ad esempio piastrine di tallonaggio e le incisioni. La decisione di eliminare le geometrie sopracitate si giustifica osservando che l'analisi che verrà effettuata è un'analisi di massima, volta a valutare il comportamento dello stampo nel suo insieme e a caratterizzare l'influenza delle dimensioni della camera di estrazione.

4.2 Modalità di simulazione

Analizzando nel dettaglio le varie fasi dello stampaggio ad iniezione e soffermando l'attenzione sulle sollecitazioni subite dallo stampo, è possibile distinguere due fasi del processo che influiscono sul suo comportamento strutturale: la prima è la chiusura dello stampo da parte dell'unità di chiusura, la seconda è l'effetto del materiale fuso in pressione durante le fasi di riempimento e mantenimento. [15] Come per il processo reale, la simulazione è stata suddivisa in due step:

1. Applicazione della forza di chiusura;
2. Applicazione della pressione in cavità.

L'entità e le modalità di applicazione delle condizioni sono state mantenute per entrambe le tipologie di stampo, in modo da poter effettuare un confronto sotto condizioni di carico simili.

4.2.1 Applicazione della forza di chiusura

Al primo step di simulazione (figg.60 e 59, sinistra) è stata applicata una forza di 1500 ton, corrispondenti a circa 15 MN, per simulare il carico dell'unità di chiusura sulla piastra di supporto del punzone. Per tenere conto della presenza dell'unità di chiusura e quindi ridurre la deformabilità della piastra di base, è stato incrementato per quest'ultima il modulo elastico della piastra di base e portato a $2 \cdot 10^8$ MPa. Come condizioni al contorno sono stati imposti spostamenti nulli nelle direzioni ortogonali all'applicazione della forza alla piastra di base del punzone ed è stato imposto un incastro alla piastra di base della matrice.

4.2.2 Applicazione della pressione in cavità

Al secondo step di simulazione (figg.60 e 59, destra) sono state mantenute tutte le condizioni imposte nel primo step ed è stata introdotta la pressione in cavità. A tutte le superfici della camera è stata applicata una pressione di 45 MPa, per simulare l'iniezione della materia plastica. Il valore scelto per l'analisi è stato identificato ricercando quelli che sono i tipici valori di pressione durante la fase di mantenimento per lo stampaggio di paraurti e mediandone i risultati.

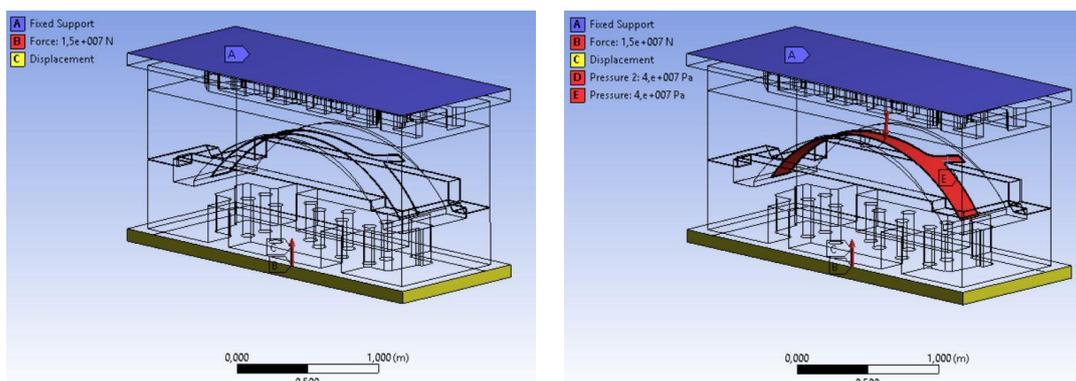


Figura 59 - Condizioni al contorno applicate al modello: a sinistra, il primo step, a destra il secondo.

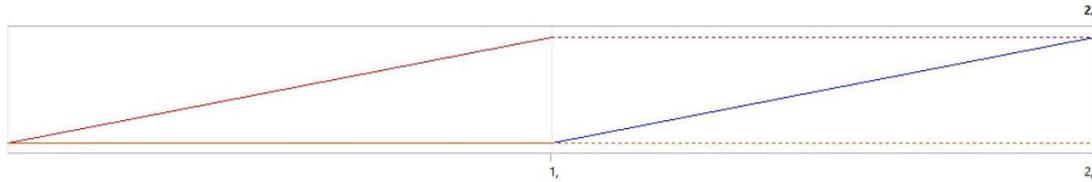


Figura 60 – Grafico di applicazione delle forze: in rosso, forza di chiusura; in blu, pressione in cavità.

4.2.3 Materiale

Ad ognuno dei componenti è stato attribuito l'acciaio Wr 1.2311 come materiale, con una variazione per la piastra base punzone: il materiale base scelto per quest'ultima è il medesimo, tuttavia, come spiegato in precedenza, ne è stato modificato il valore di modulo elastico per rendere la piastra meno deformabile.

4.2.4 Contatti

La tipologia di contatto scelta per le superfici comuni tra gli elementi è stata del tipo *bonded*, un tipo di accoppiamento che non permette separazione o scorrimento delle superfici selezionate [16]. Per le superfici in contatto tra matrice e punzone, invece, è stata scelta la tipologia *frictional* che permette la separazione fra le superfici selezionate e lo scorrimento una volta superato un certo valore di sforzo di taglio, impostato inserendo il valore del coefficiente d'attrito desiderato. Il coefficiente d'attrito scelto per le analisi è stato di 0,3.

4.2.5 Tipologia di discretizzazione

La tipologia di discretizzazione utilizzata prevede l'utilizzo di elementi tridimensionali [17] per i quali è stato impostato un dimensionamento basato sulla *curvatura* degli elementi. Questo comando esamina la curvatura degli spigoli e delle facce del modello e calcola le dimensioni degli elementi affinché ne venga rispettato l'angolo di curvatura normale (parametro impostato dall'utente o calcolato dal programma, che rappresenta l'angolo massimo che un elemento può discretizzare). Per le superfici in contatto tra le piastre matrice e punzone è stato utilizzato un diverso comando di dimensionamento chiamato *Contact Sizing*, il quale genera elementi sulla superficie di contatto uguali per entrambi i corpi; inserendo un parametro, chiamato *relevance*, è possibile modificare la dimensione massima degli elementi utilizzati.

4.2.6 Risultati ricercati

Le soluzioni ricercate sono legate alle deformazioni degli elementi dello stampo, in particolare le deformazioni subite dalle piastre matrice e punzone. Considerata la tipologia dei carichi applicati, le soluzioni più interessanti risultano essere: le deformazioni lungo l'asse stampo (asse z), la pressione di contatto e la separazione fra le superfici in prossimità della cavità.

4.3 Risultati Stampo Tradizionale

Elementi

Il modello di Stampo Tradizionale utilizzato per l'analisi, come in figura 61, si compone dei seguenti elementi:

- Piastra di base Matrice;
- Distanziale Camera Calda;
- Piastra Matrice e Punzone;
- 10 distanziali di reazione;
- 4 Longheroni;
- Piastra di base Punzone.

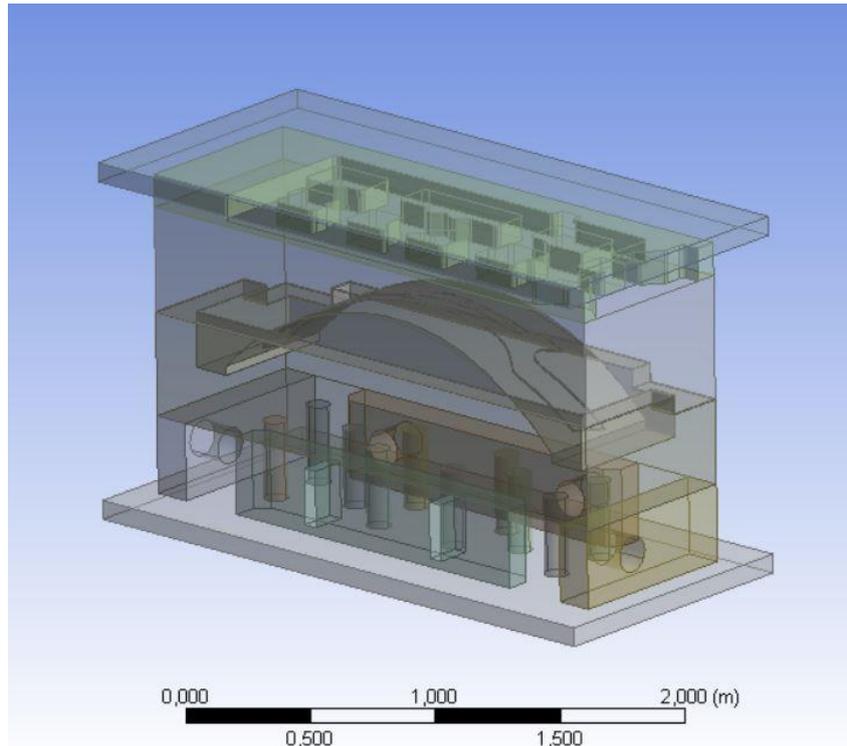


Figura 61 – Stampo Tradizionale: Elementi del modello.

Contatti

In figura 62 è mostrata la superficie con tipologia di contatto *frictional*.

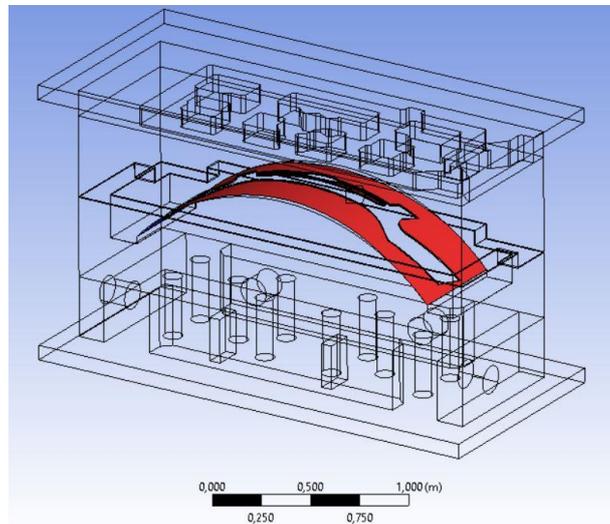


Figura 62 - Superfici in contatto con tipologia "Frictional"

Mesh

In figura 63 è mostrata la mesh delle parti fissa e mobile dello stampo. Al termine del processo di discretizzazione si sono definiti:

- N°Elementi: 772'228;
- N°Nodi: 1'219'765;

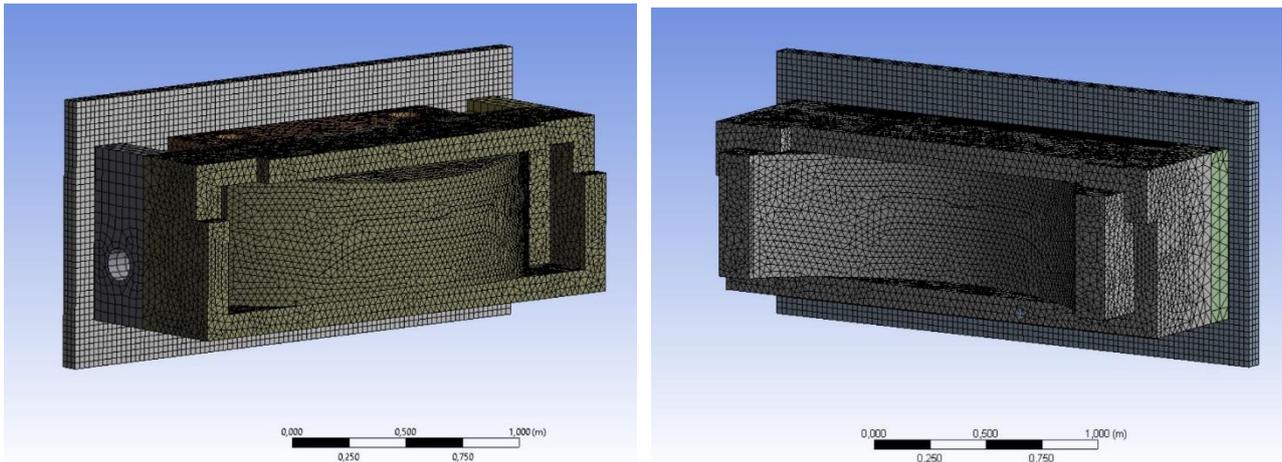


Figura 63 – Mesh Stampo Tradizionale: a destra, Parte Fissa; a sinistra, Parte Mobile

Risultati

- Deformazione in z

In figura 64 i risultati della deformazione lungo l'asse z. Le deformazioni maggiori e minori sono in prossimità delle piastre di base con valori massimi di qualche decimo di millimetro

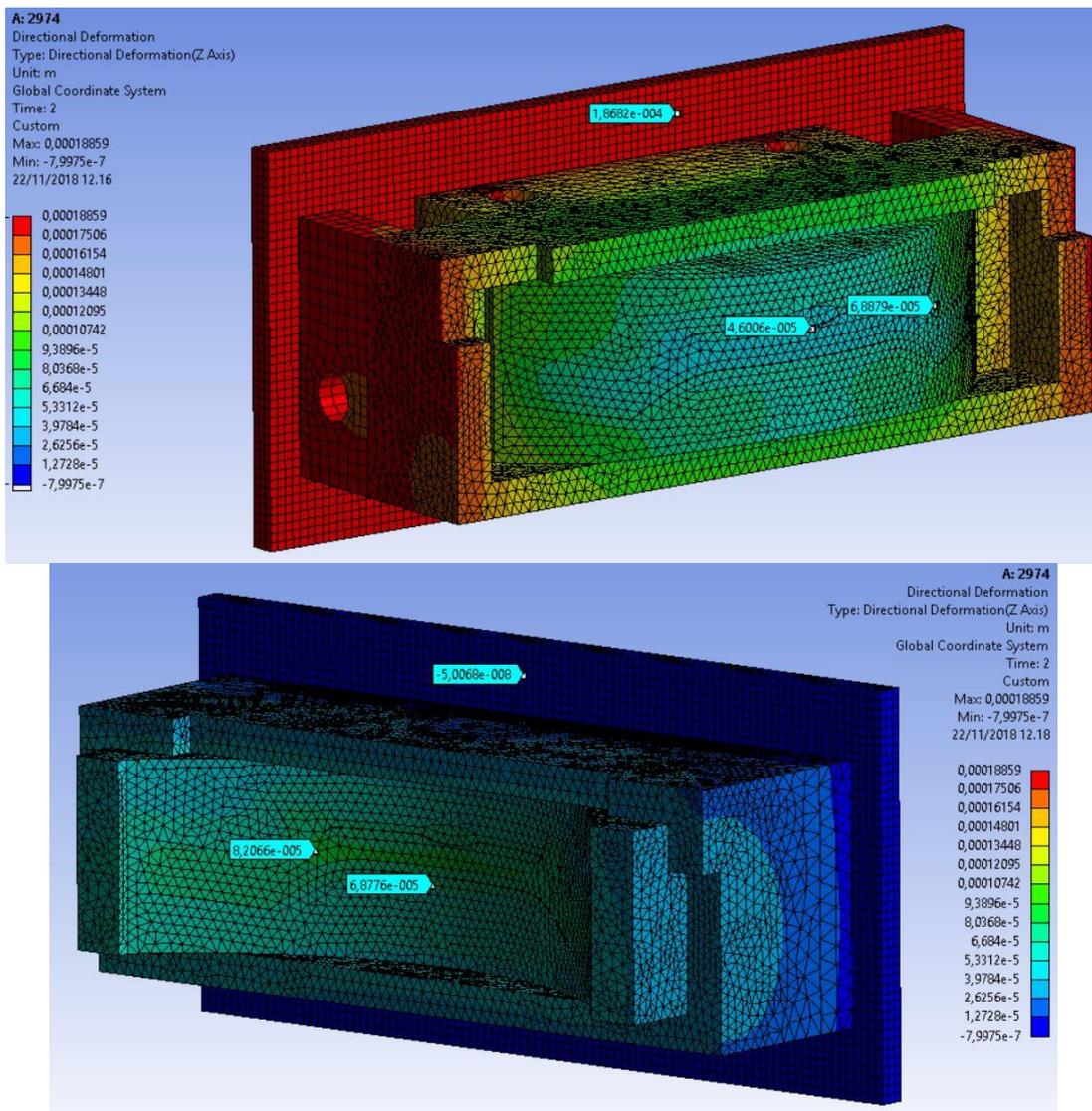


Figura 64 – Deformazione lungo asse z: in alto, Parte Mobile; in basso, Parte Fissa

- Separazione superfici di contatto

In figura 65 sono mostrati i risultati della separazione tra le superfici in contatto di matrice e punzone. I valori negativi indicano distacco tra le superfici, mentre le zone in viola sono a contatto.

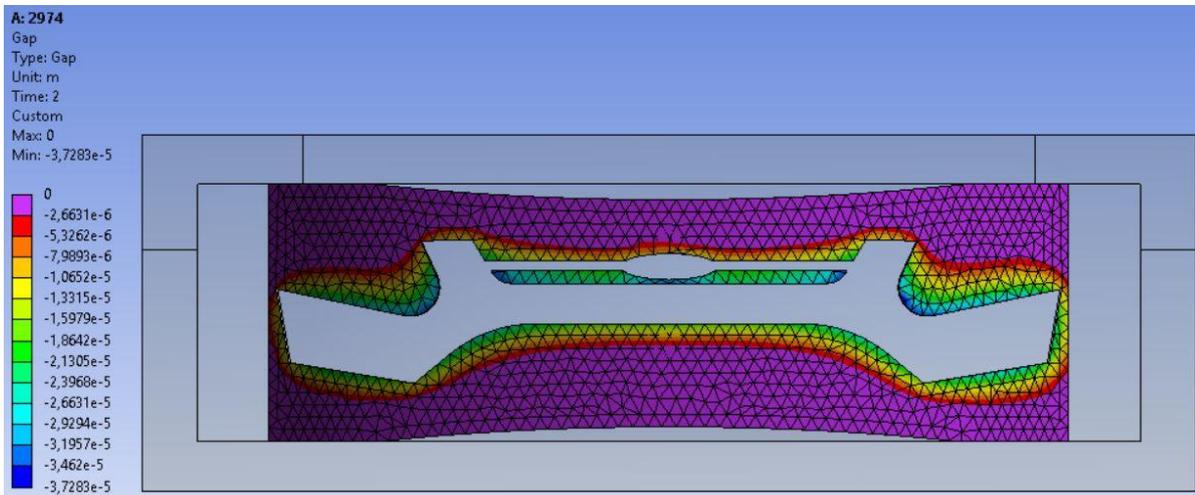


Figura 65 -Separazione delle superfici di contatto.

- Pressione di Contatto

I risultati della pressione di contatto tra matrice e punzone sono mostrati in figura 66.

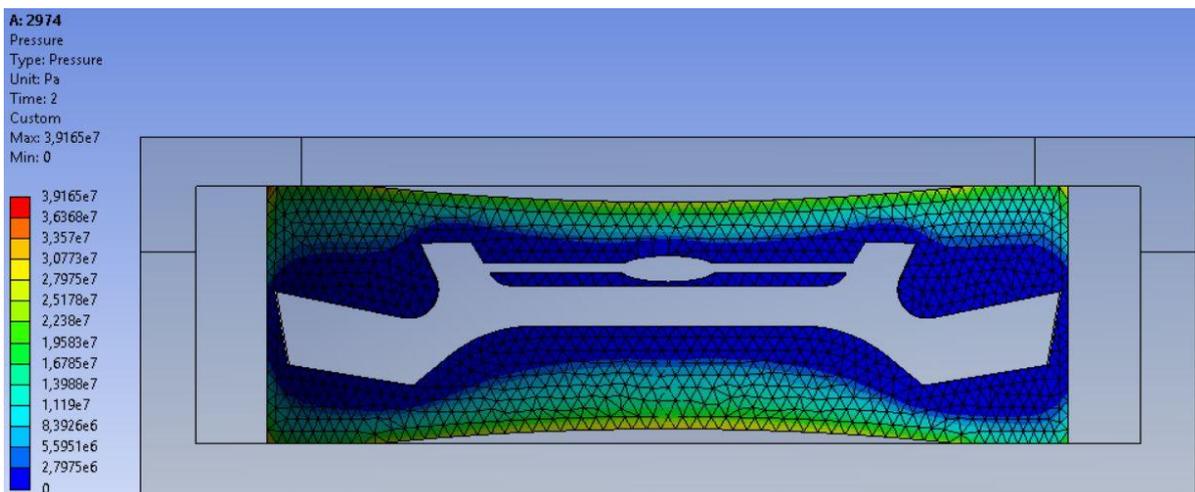


Figura 66 – Pressione di contatto tra matrice e punzone

4.4 Risultati Stampo Compatto

Il modello di Stampo (fig.67) Compatto utilizzato per l'analisi si compone dei seguenti elementi:

- Piastra di base Matrice;
- Distanziale Camera Calda;
- Piastra Matrice;
- Piastra Punzone;
- 9 distanziali di reazione;
- Piastra di base Punzone.

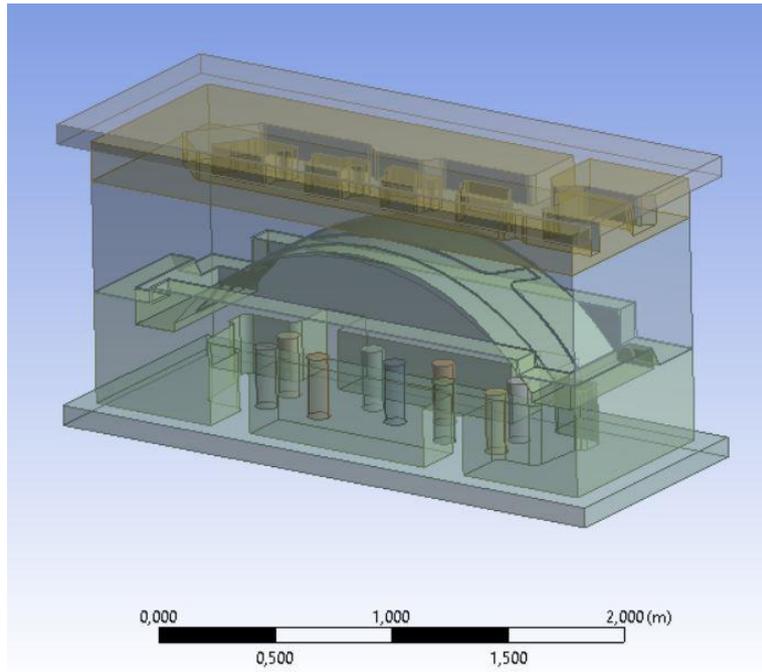


Figura 67 - Stampo Compatto: Elementi del modello

Contatti

In figura 68 è mostrata la superficie con tipologia di contatto *frictional*.

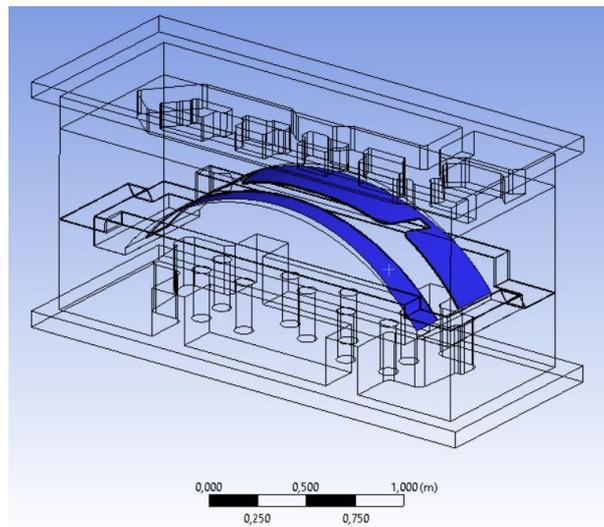


Figura 68 – Superfici in contatto con tipologia "Frictional"

Mesh

In figura 69 è mostrata la mesh delle parti fissa e mobile dello stampo. Al termine del processo di discretizzazione si sono definiti:

- N°Elementi: 698'532;
- N°Nodi: 997'330;

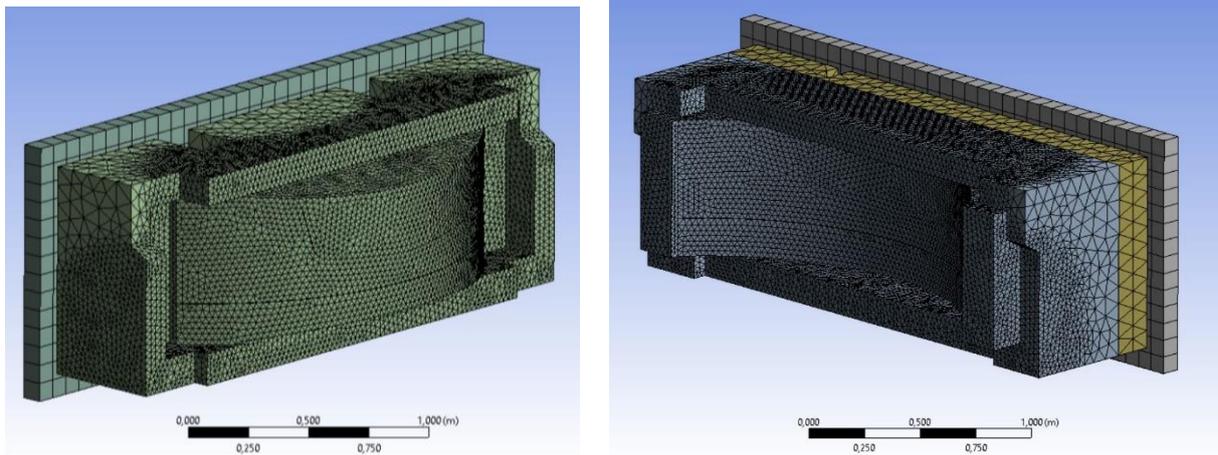


Figura 69 – Mesh Stampo Compatto: a destra, Parte Fissa; a sinistra, Parte Mobile

Risultati

- Deformazione in z

In figura 70 i risultati della deformazione lungo l'asse z. Le deformazioni maggiori e minori sono in prossimità delle piastre di base con valori massimi intorno al decimo di millimetro.

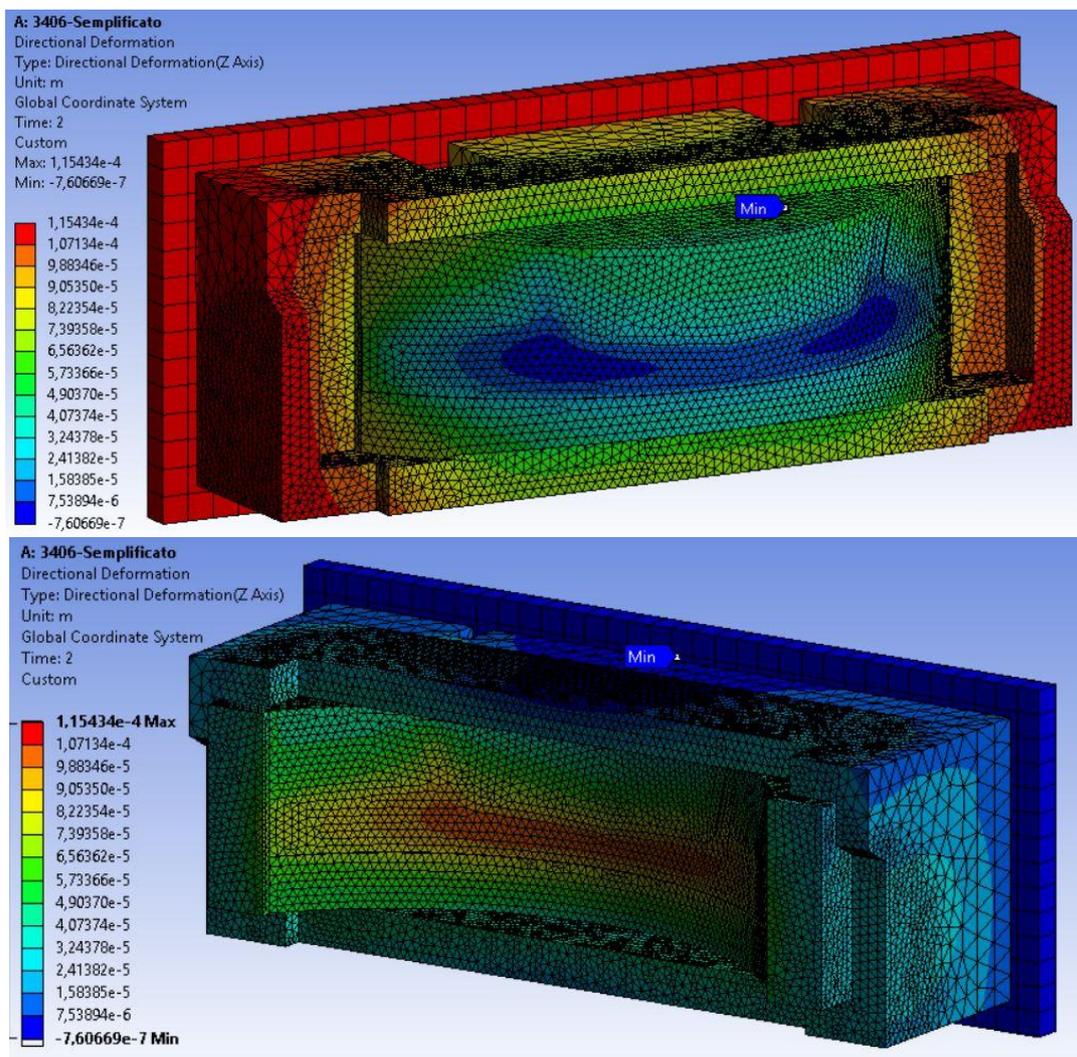


Figura 70 – Deformazione lungo asse z: in alto, Parte Mobile; in basso, Parte Fissa

- Separazione superfici di contatto

In figura 71 sono mostrati i risultati della separazione tra le superfici in contatto di matrice e punzone. I valori negativi indicano distacco tra le superfici, mentre le zone in viola sono a contatto.

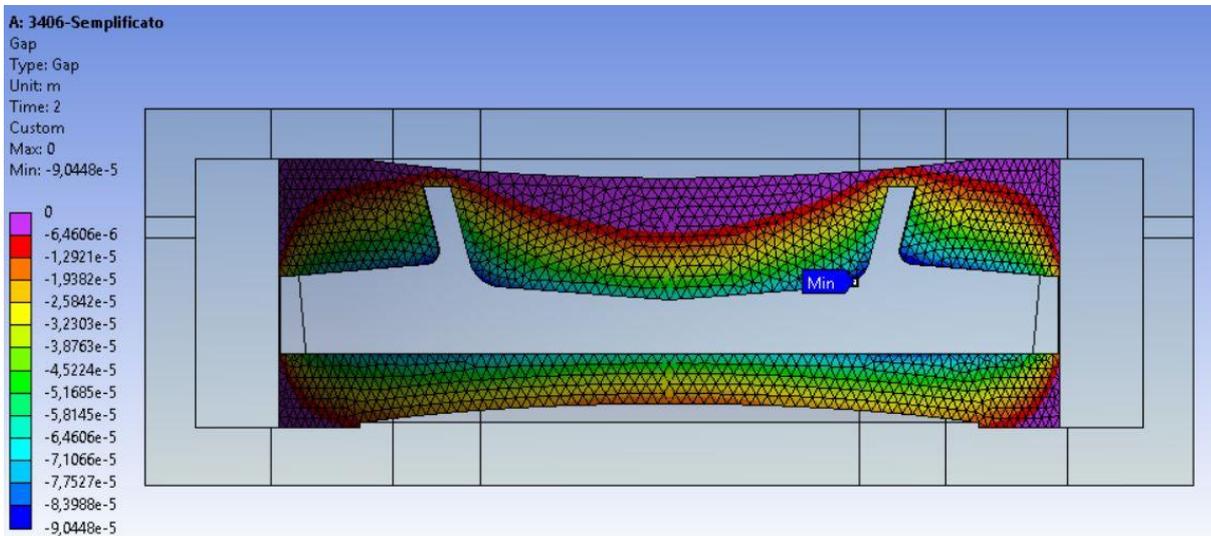


Figura 71 – Separazione delle superfici di contatto

- Pressione di Contatto

I risultati della pressione di contatto tra matrice e punzone sono mostrati in figura 72.

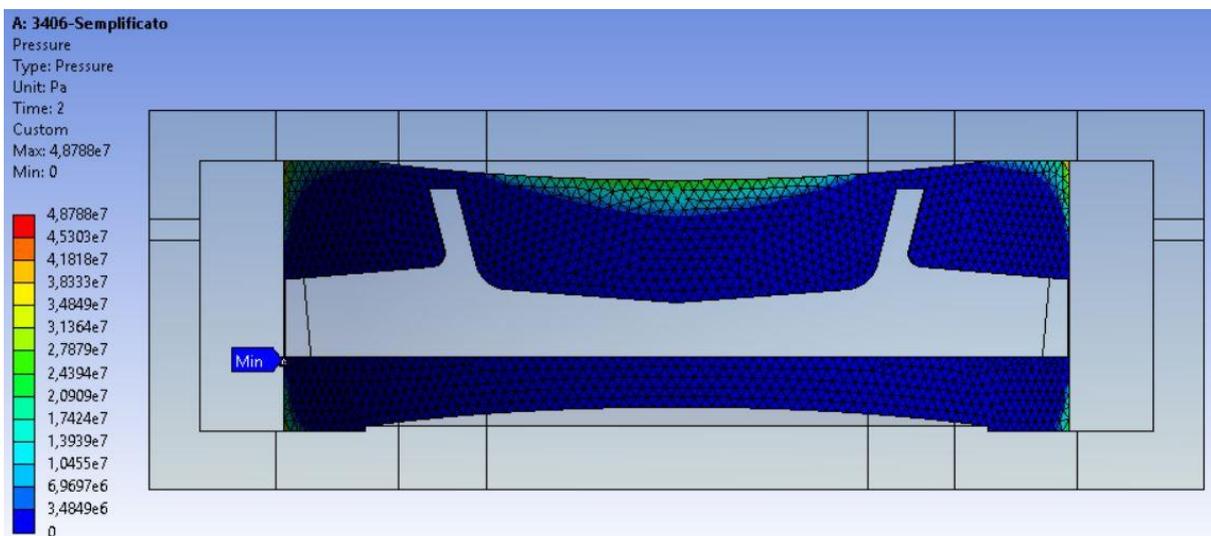


Figura 72 – Pressione di contatto tra matrice e punzone

4.5 Componenti Virtuali

Al fine di valutare il comportamento dei due stampi soggetti alle stesse condizioni di carico, si sono modellate delle nuove piastre matrice e punzone per entrambi gli stampi, modificandone le cavità (fig.73). Nello specifico, sono state modellate le piastre dello stampo compatto con la stessa cavità di iniezione dello stampo tradizionale e viceversa. Si è reso necessario, tuttavia, ridurre del 10% le dimensioni dell'elemento compatto in quanto troppo elevate per poter essere modellate sulle piastre dello stampo tradizionale.

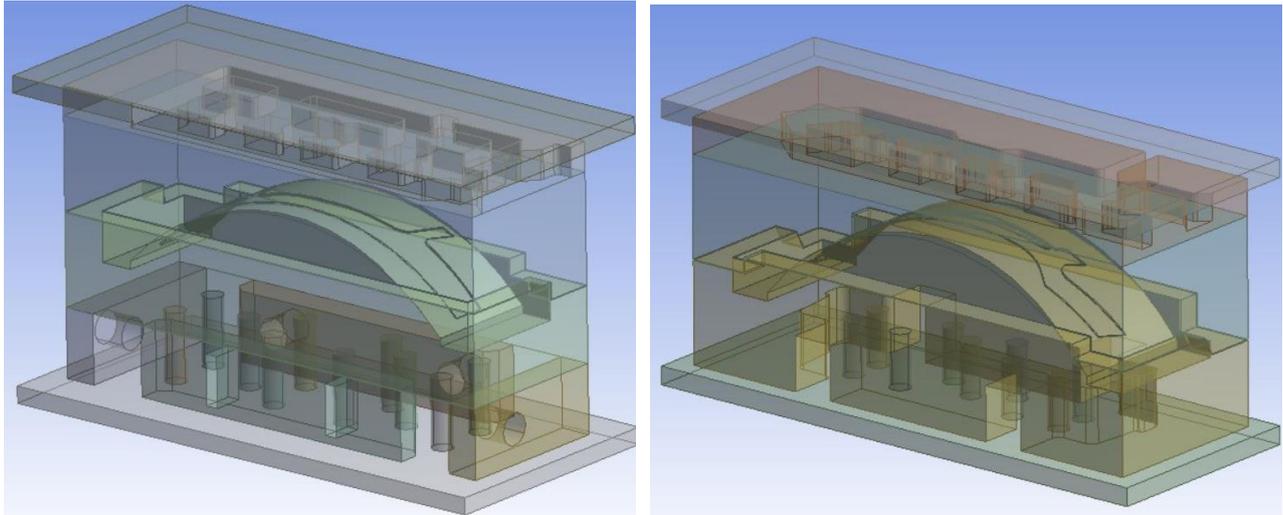


Figura 73 – Nuovi modelli di stampo tradizionale (a sinistra) e compatto (a destra).

4.5.1 Risultati Stampo Tradizionale virtuale

- Deformazione in z

In figura 74 i risultati della deformazione lungo l'asse z. Le deformazioni maggiori e minori sono in prossimità delle piastre di base.

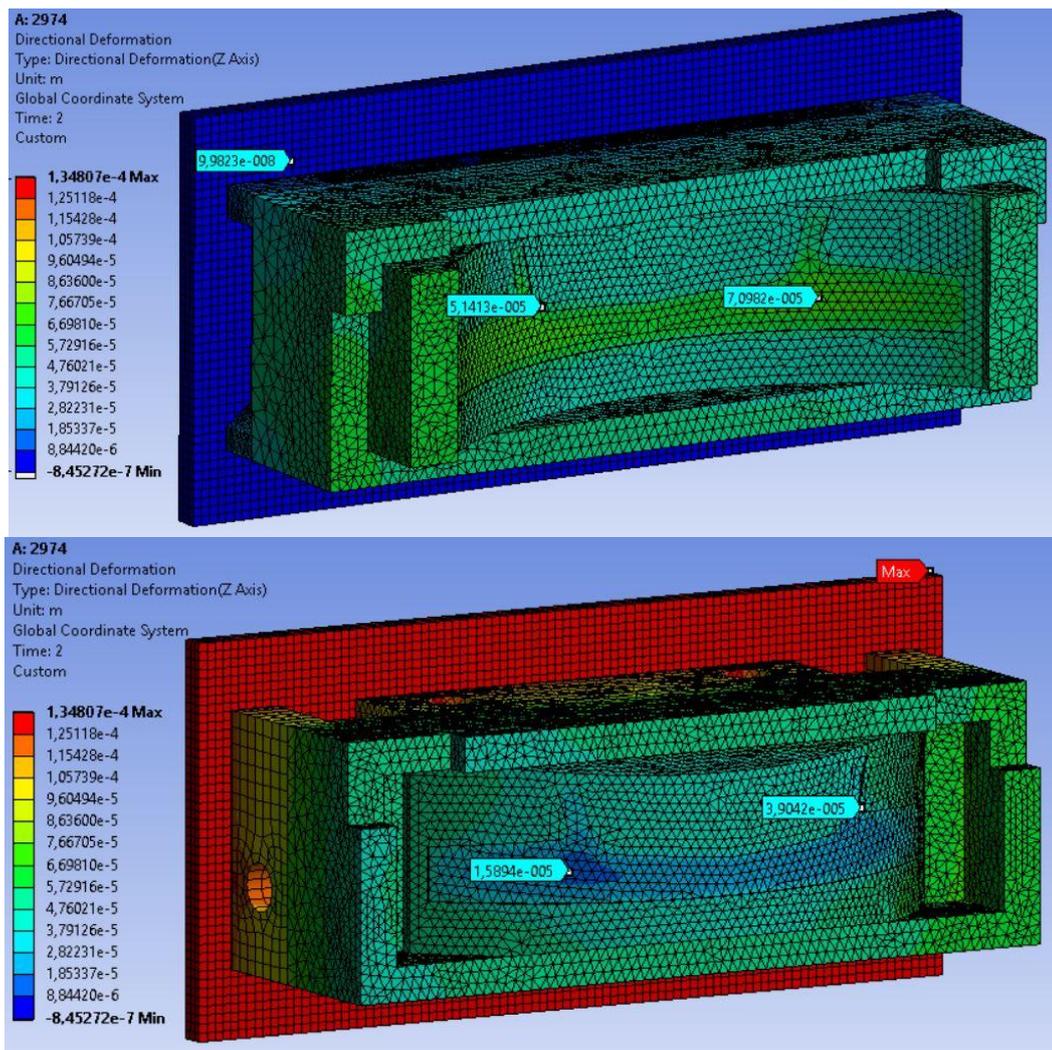


Figura 74 - Deformazione lungo asse z: in alto, Parte Mobile; in basso, Parte Fissa

- Separazione superficie di contatto

In figura 75 sono mostrati i risultati della separazione tra le superfici in contatto di matrice e punzone. I valori negativi indicano distacco tra le superfici, mentre le zone in viola sono a contatto.

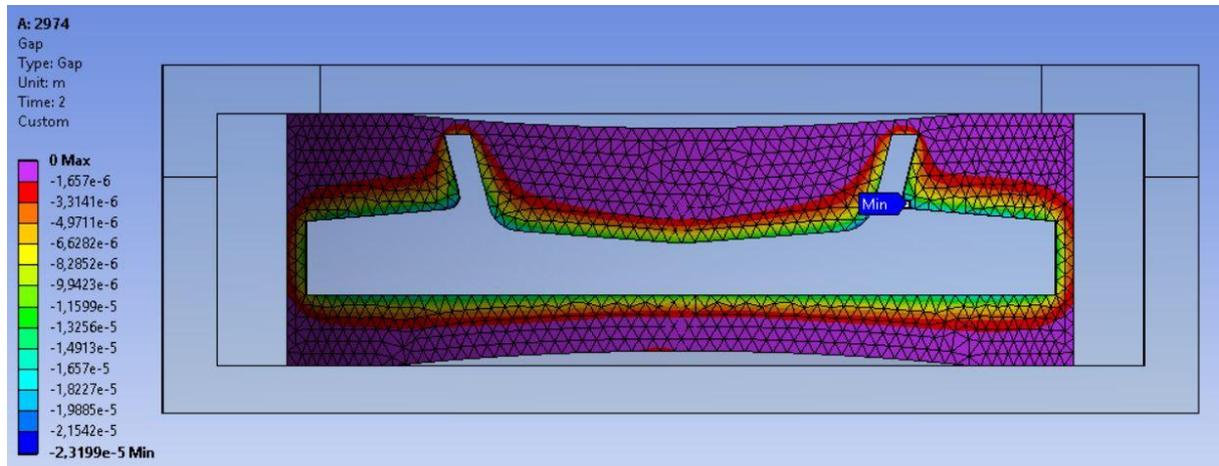


Figura 75 – Separazione delle superfici di contatto

- Pressione di contatto

I risultati della pressione di contatto tra matrice e punzone sono mostrati in figura 76.

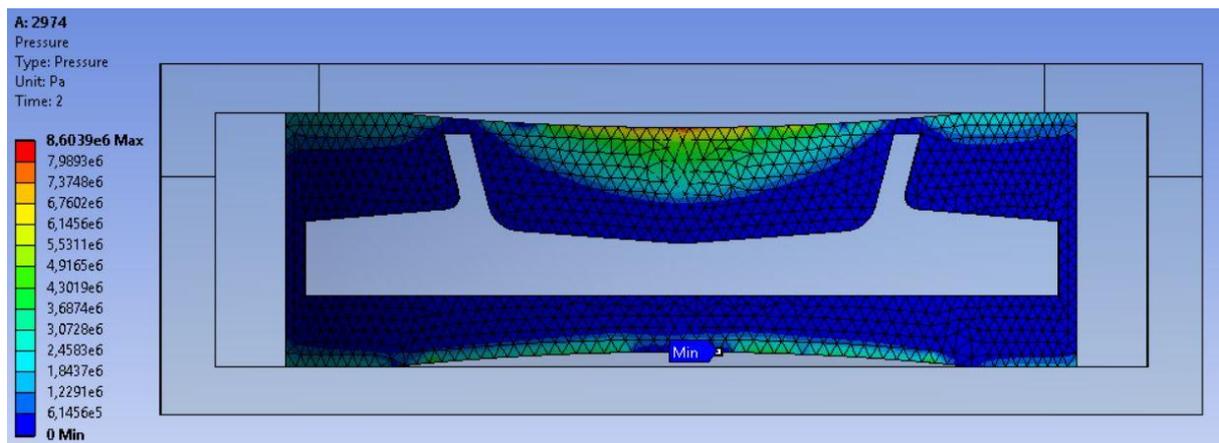


Figura 76 – Pressione di contatto tra matrice e punzone

4.5.2 Risultati Stampo Compatto virtuale

- Deformazione in z

In figura 77 i risultati della deformazione lungo l'asse z. Le deformazioni maggiori e minori sono in prossimità delle piastre di base.

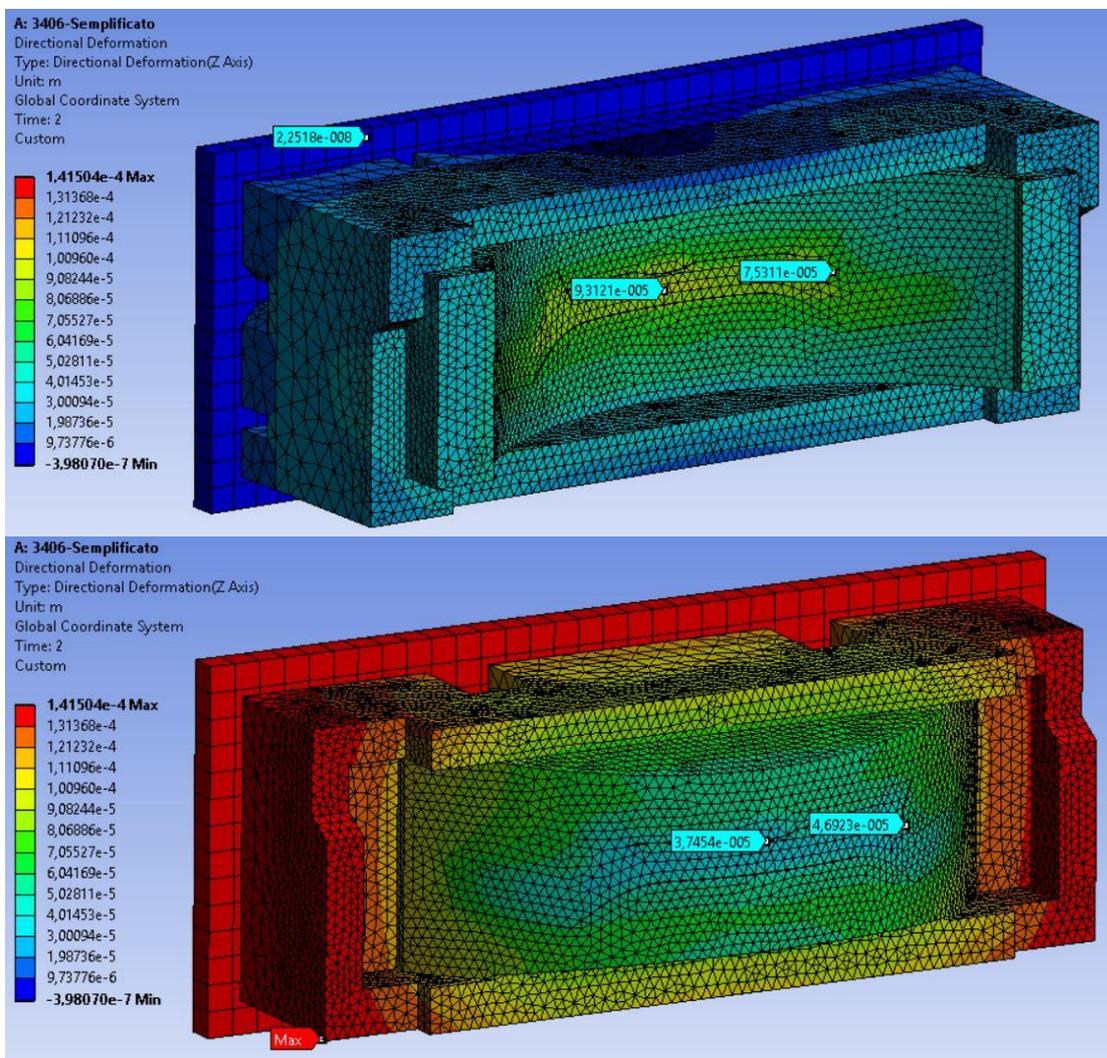


Figura 77 - Deformazione lungo asse z: in alto, Parte Mobile; in basso, Parte Fissa

- Separazione superficie di contatto

In figura 78 sono mostrati i risultati della separazione tra le superfici in contatto di matrice e punzone. I valori negativi indicano distacco tra le superfici, mentre le zone in viola sono a contatto.

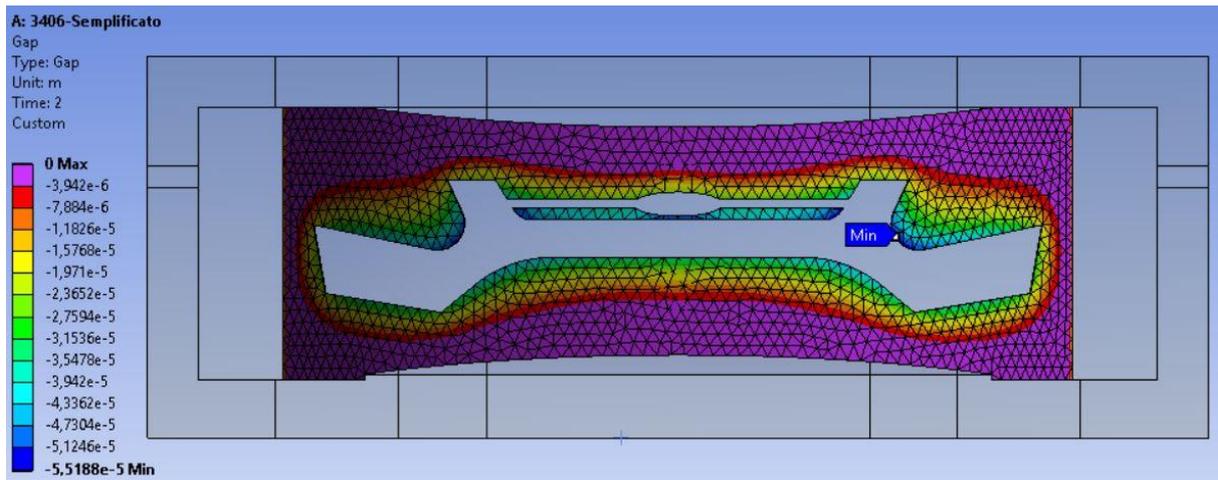


Figura 78 – Separazione delle superfici di contatto

- Pressione di contatto

I risultati della pressione di contatto tra matrice e punzone sono mostrati in figura 79.

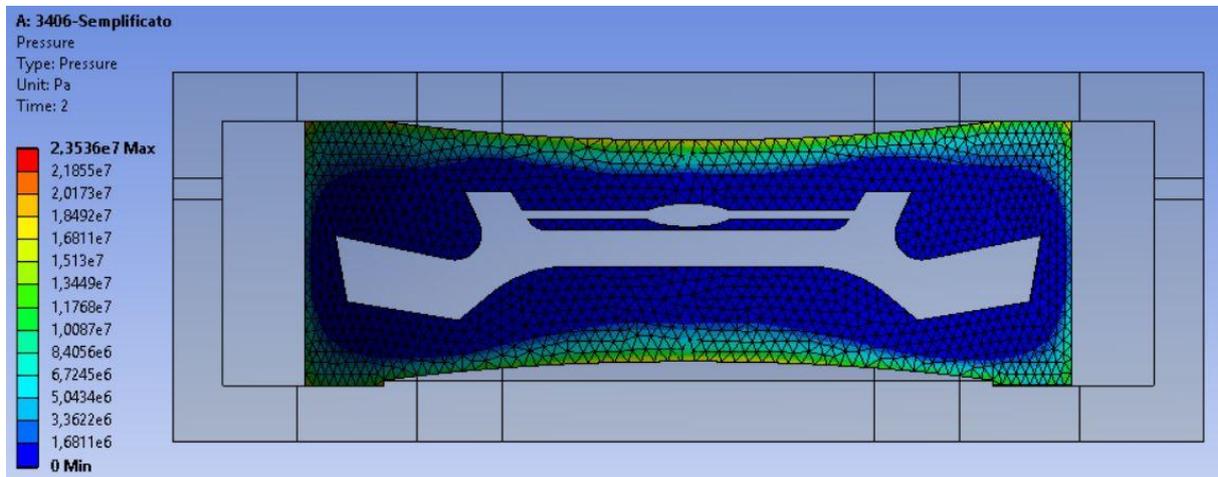


Figura 79 – Pressione di contatto tra Matrice e Punzone

Capitolo 5 – Confronto Risultati

Ottenuti tutti i risultati delle analisi è possibile mettere a confronto le due tecnologie di stampi e valutarne il comportamento sotto carico. Verranno messi a confronto i due modelli semplificati, sottolineando le differenze nei comportamenti dei vari elementi e soffermando l'attenzione sul comportamento delle zone in prossimità delle cavità. Successivamente si confronteranno i modelli virtuali; in questo modo sarà possibile valutare i risultati ottenuti con dei modelli sotto stesse condizioni di carico.

5.1 Stampo Compatto e Stampo Tradizionale

Dal confronto dei risultati delle prime analisi effettuate è possibile osservare la differenza di comportamento dei due stampi. Saranno confrontate le deformazioni subite dalle piastre matrice e punzone, le deformazioni delle superfici di contatto attorno alle cavità e le rispettive pressioni di contatto.

Deformazione in z

In figura 80 sono mostrati i risultati delle piastre matrice dei due stampi: è stata impostata una scala comune per una più semplice lettura dei risultati ed è stata visualizzata la struttura dell'elemento indeformato. Si osserva come lo stampo tradizionale presenti delle deformazioni massime e minime minori rispetto allo stampo compatto, fenomeno causato dalla differente dimensione della superficie cui è applicata la pressione del fuso; tuttavia lo stampo tradizionale presenta delle deformazioni maggiori in prossimità dei due elementi sporgenti.

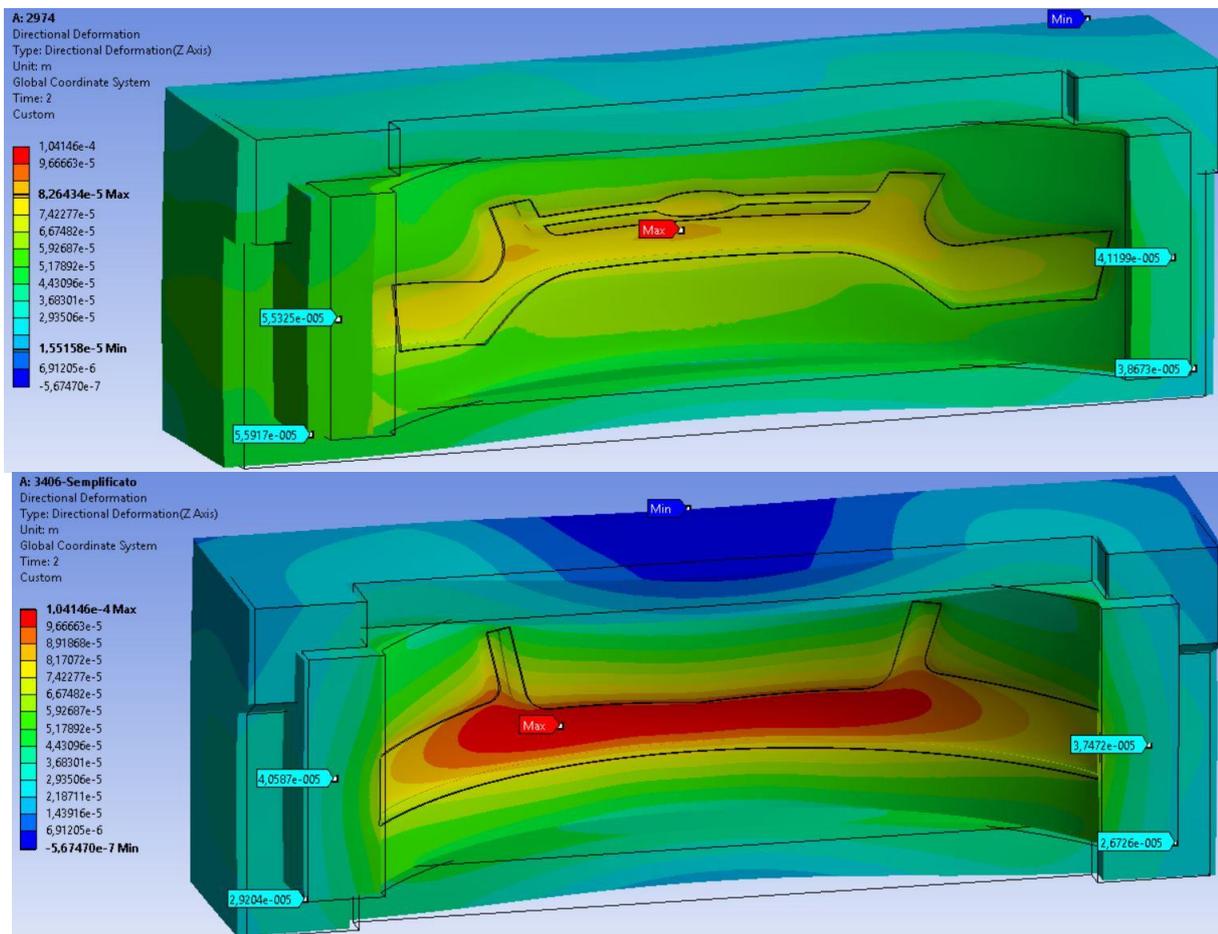


Figura 80 – Confronto deformazioni lungo l'asse z tra la piastra matrice compatta (in basso) e quella tradizionale (in alto).

Confrontando le deformazioni delle due piastre punzone (fig.81), si nota come lo stampo compatto risulti più rigido di quello tradizionale. Come è possibile vedere nella figura 72, le deformazioni subite dallo stampo compatto sono inferiori di quelle dello stampo tradizionale, inoltre anche l'effetto di "imbarcamento" è ridotto.

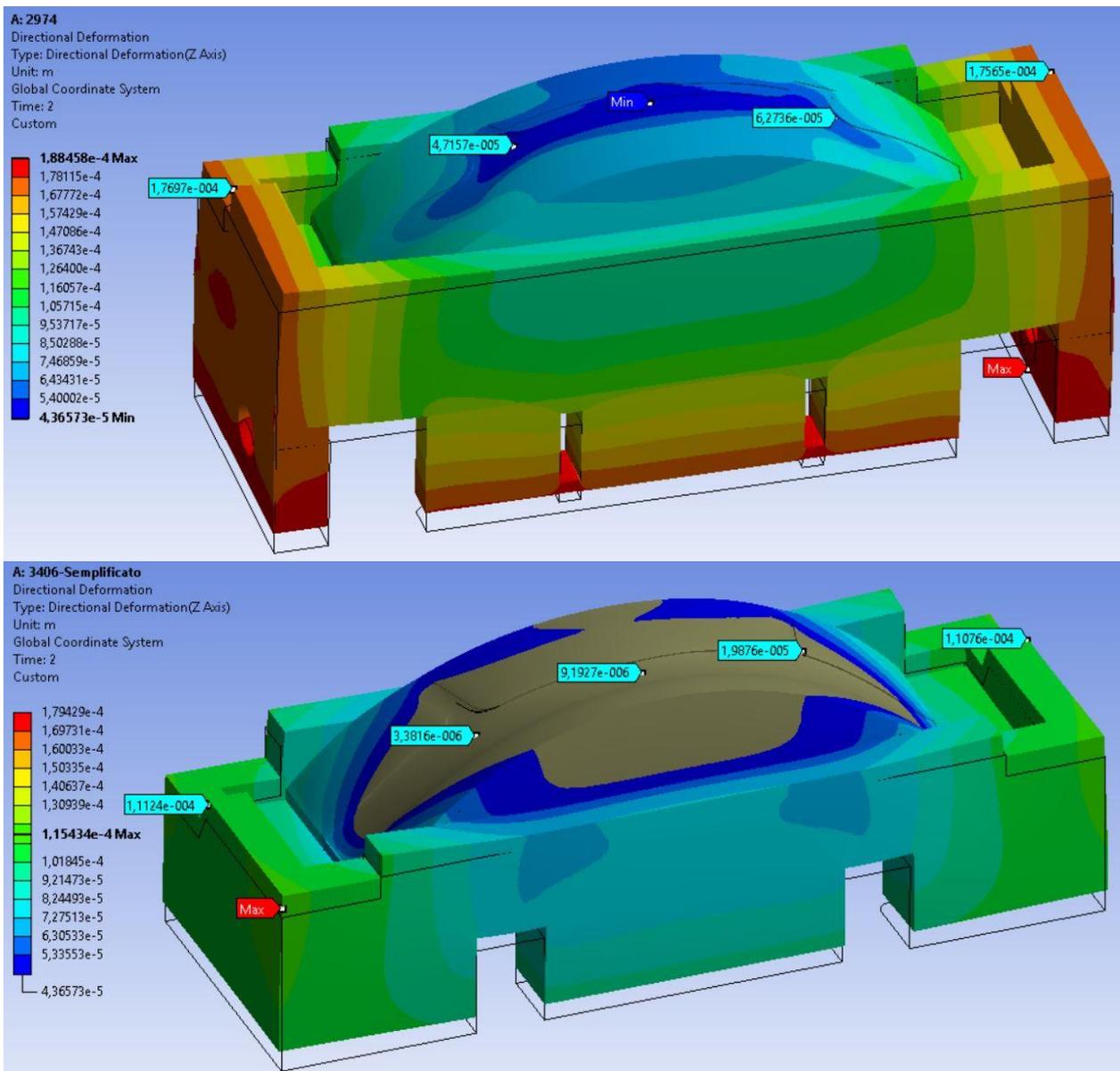


Figura 81- Confronto deformazioni lungo l'asse z fra la piastra punzone compatta (in basso) e quella Tradizionale (in alto).
 Con la piastra punzone tradizionale sono mostrati anche i quattro longheroni.

Separazione delle Superfici

La figura 82 mostra il diverso comportamento delle superfici a contatto tra le piastre matrice e punzone; valori negativi indicano distacco fra le superfici. La forza di apertura generata dal materiale fuso nella cavità dello stampo compatto porta a separare maggiormente le due piastre rispetto a quanto accade per lo stampo tradizionale che risulta avere una minor separazione tra le superfici; la differenza è, tuttavia, trascurabile in quanto differisce solamente di qualche decimo di millimetro.

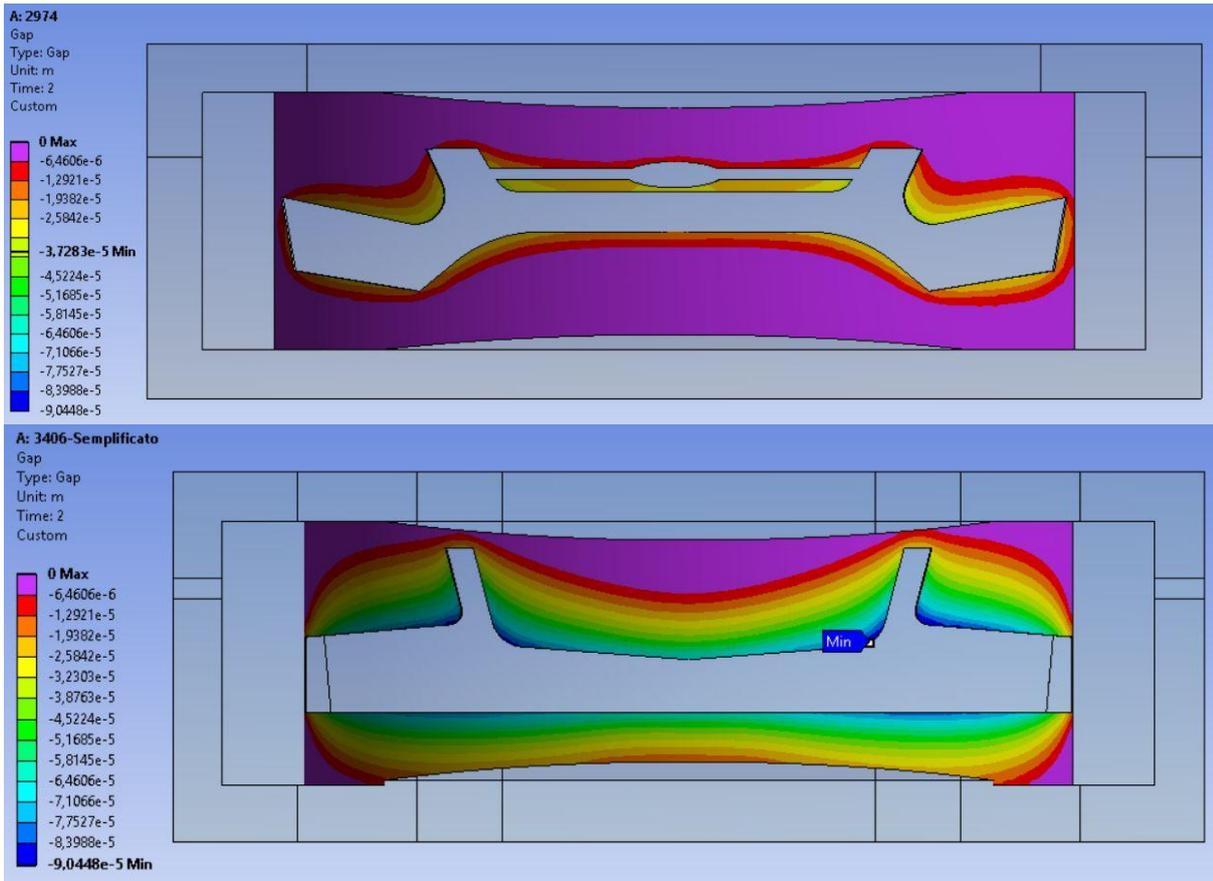


Figura 82 -Confronto separazione delle superfici di contatto tra matrice e punzone.
 Valori negativi indicano distacco fra le superfici.

Pressione di contatto

In figura 83 è mostrato il confronto tra le pressioni di contatto tra le piastre matrice e punzone.

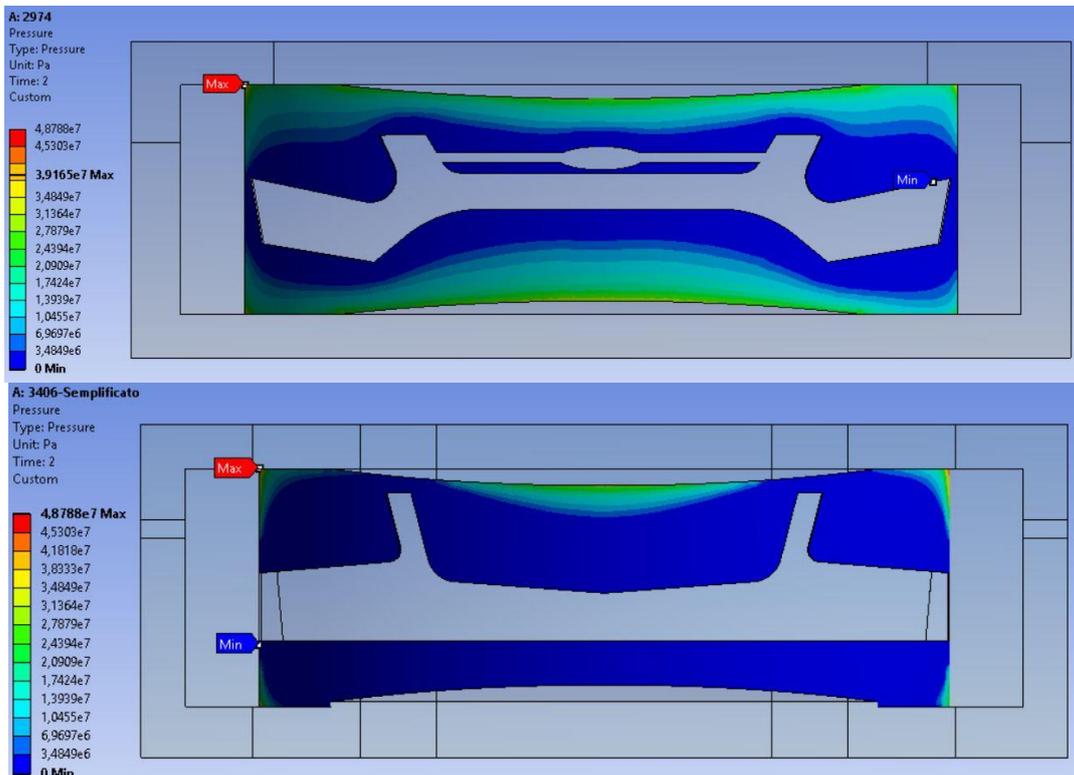


Figura 83 – Confronto valori di pressione di contatto

Tensioni

I valori di tensione delle due piastre punzone sono mostrati in figura 84. Si nota che il punzone dello stampo compatto presenta dei valori di tensione mediamente più bassi rispetto allo stampo tradizionale.

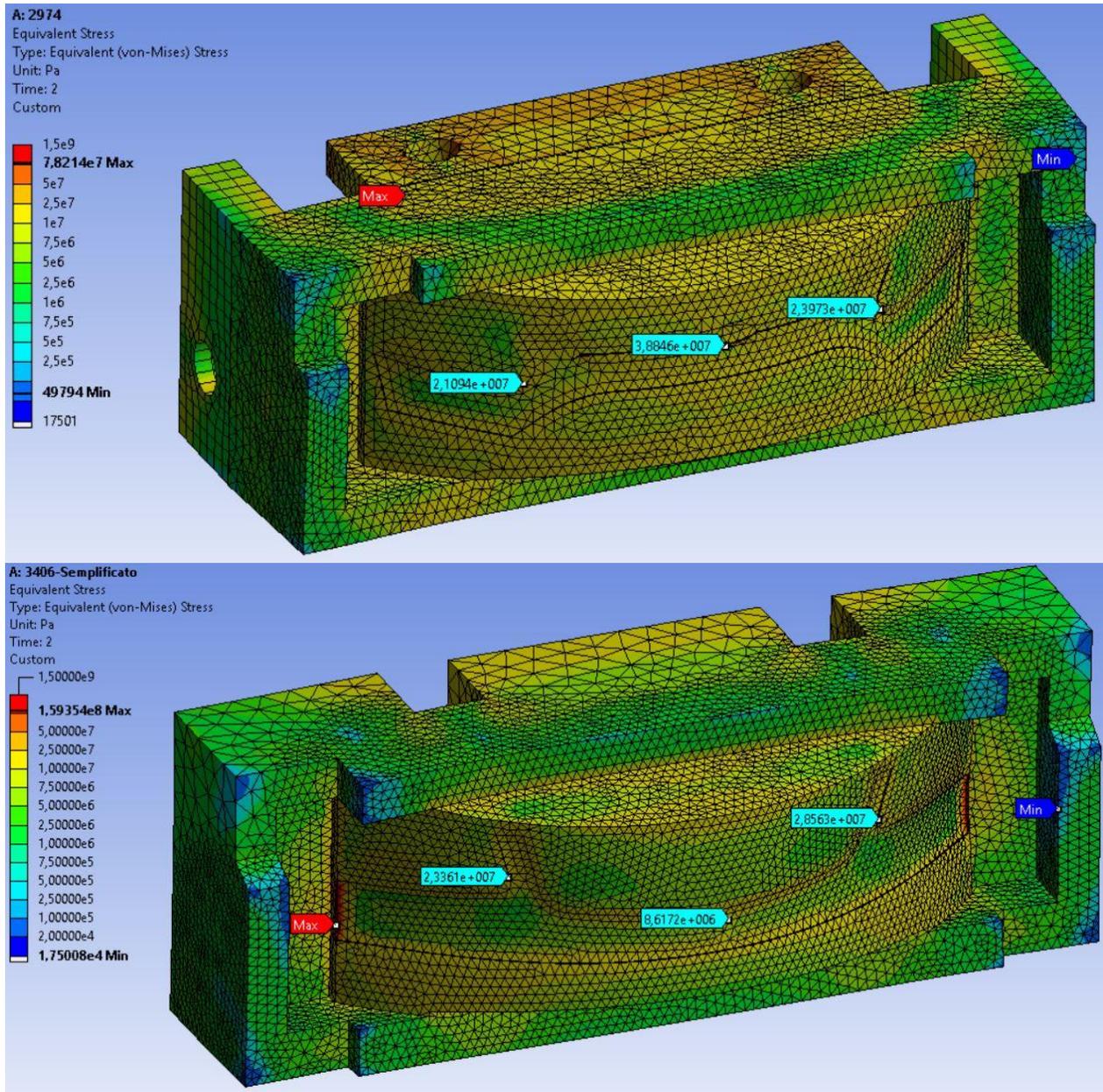


Figura 84 - Confronto dei valori di tensione delle piastre punzone

5.2 Stampo Compatto Virtuale e Stampo Tradizionale

Il confronto seguente ha lo scopo di valutare il comportamento degli stampi sotto le stesse condizioni di carico. È stata ricavata sullo stampo compatto la cavità dell'elemento tradizionale: in questo modo si eliminano le differenze date da una diversa distribuzione di pressione sulle piastre matrice e punzone. Anche in questo caso si analizzeranno le deformazioni delle piastre e successivamente si valuteranno gli effetti sulla superficie di contatto tra matrice e punzone.

Deformazione in z

In figura 85 sono mostrati i risultati per le due piastre matrici e, anche in questo caso, è stata definita una scala comune per permettere un confronto immediato. Si ripresenta la stessa situazione del caso precedente, la matrice compatta ha dei valori maggiori di deformazione, ma in prossimità degli elementi sporgenti risulta meno deformata. Considerato che le due piastre sono soggette alle stesse pressioni in cavità, in questo caso il fattore che influisce sul diverso comportamento è la geometria dei componenti.

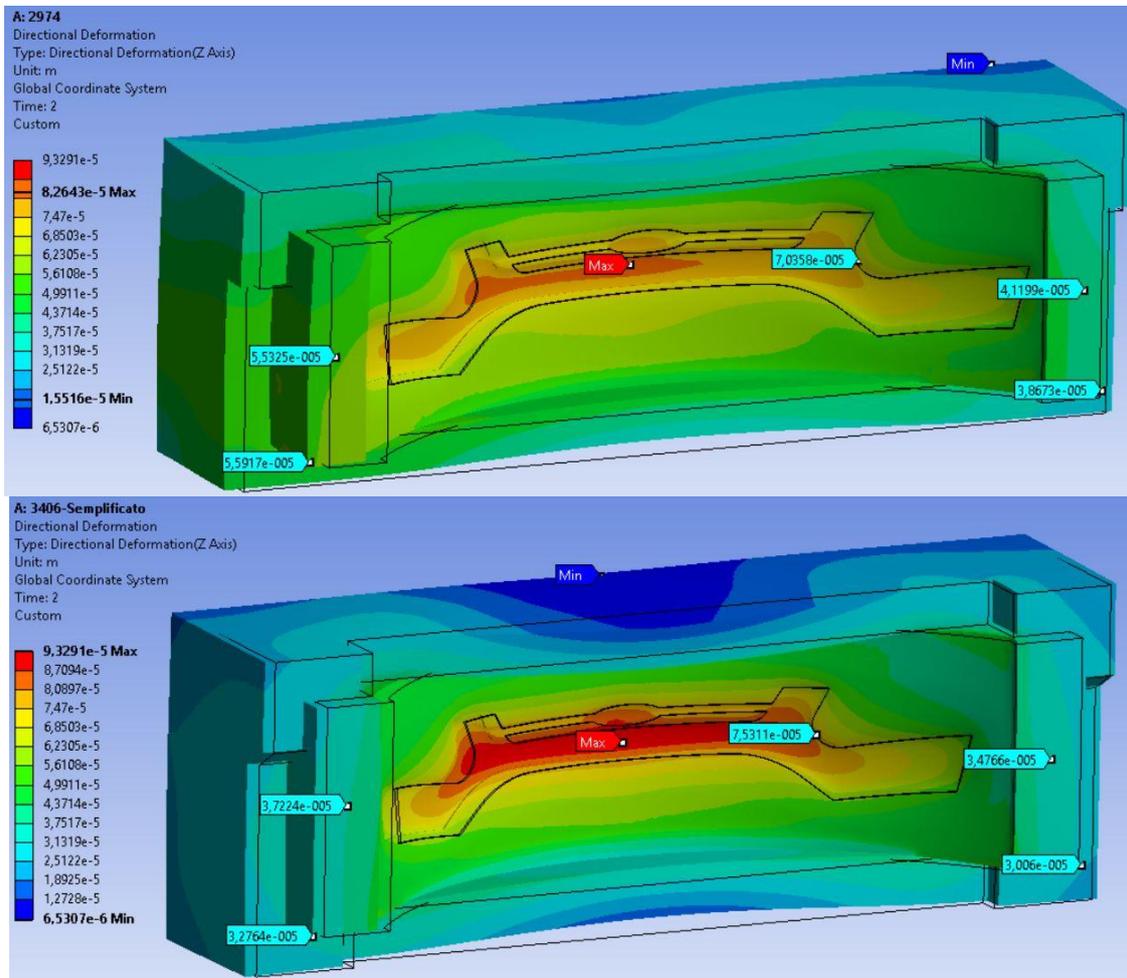


Figura 85 - Confronto deformazioni in z tra la piastra matrice compatta virtuale (in basso) e quella tradizionale (in alto).

Vengono analizzate adesso le deformazioni delle piastre punzone (fig.86): come nel caso precedente la piastra punzone dello stampo tradizionale è completa dei quattro longheroni. Con il componente virtuale, la piastra punzone dello stampo compatto subisce deformazioni maggiori rispetto al caso precedente poiché la pressione in camera bilancia in misura minore la forza di chiusura applicata alla piastra di base.

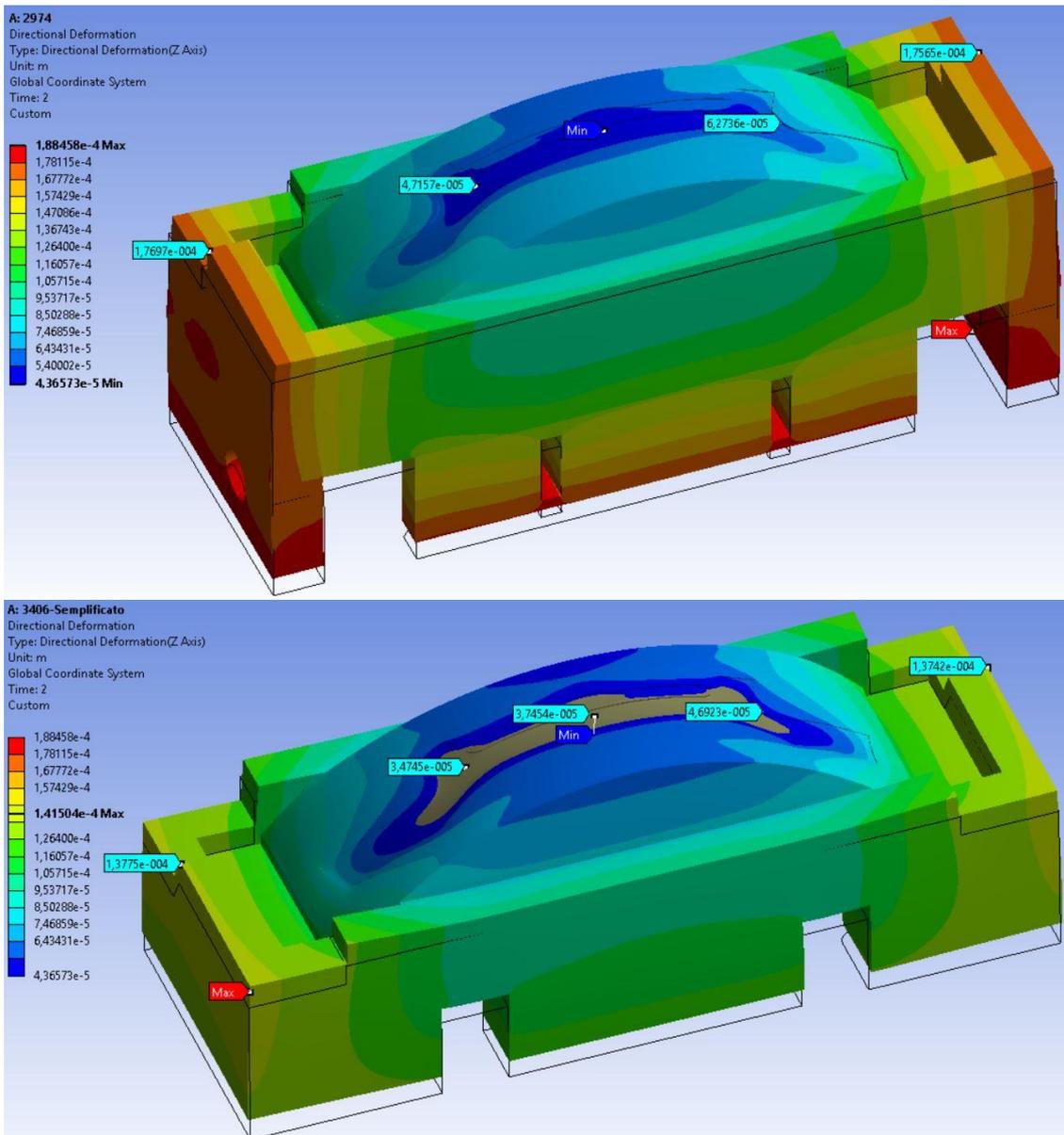


Figura 86 - Confronto deformazioni lungo l'asse z fra la piastra punzone compatta virtuale (in basso) e quella Tradizionale (in alto). Con la piastra punzone tradizionale sono mostrati anche i quattro longheroni.

Separazione delle superfici

Rispetto al caso precedente la differenza tra i risultati dei due stampi si è ridotta, anche in questo, però, la separazione delle superfici è maggiore nello stampo compatto (fig.87). Il fenomeno è spiegato dal fatto che la forza di chiusura applicata alla piastra di base dello stampo compatto agisce su una superficie minore, essendo questa più piccola rispetto alla piastra di base dello stampo tradizionale. Anche in questo caso, però, la differenza è trascurabile essendo di appena due decimi di millimetro.

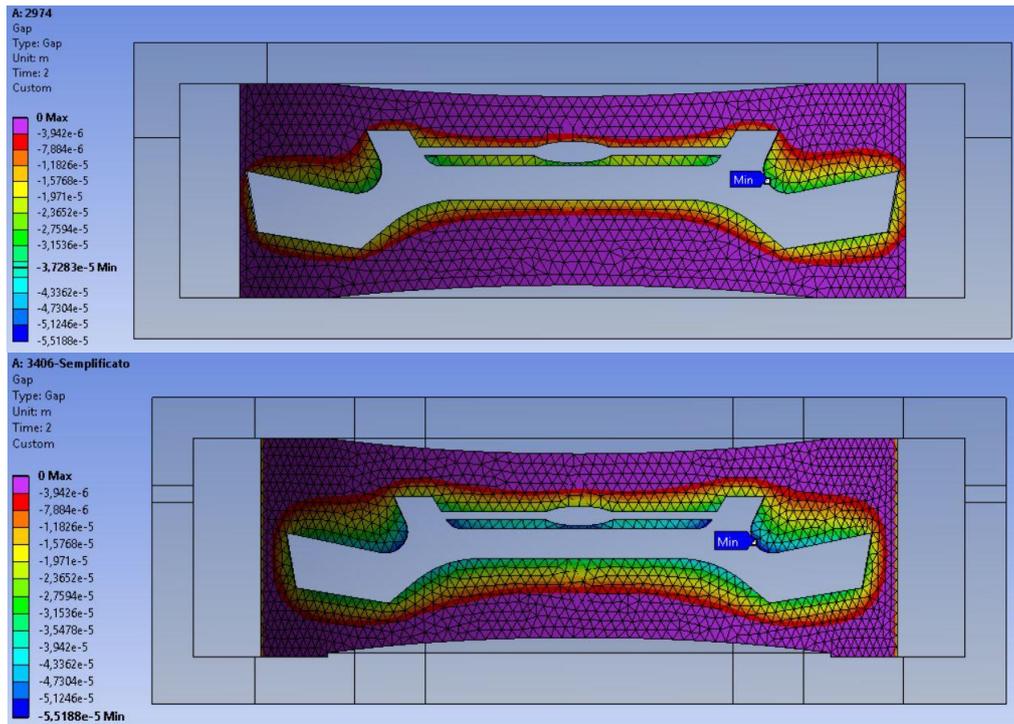


Figura 87 - Confronto separazione delle superfici: Stampa Tradizionale, in alto; Stampa Compatto Virtuale, in basso. Valori negativi indicano distacco fra le superfici.

Pressione di contatto

In figura 88 è mostrato il confronto tra le pressioni di contatto tra le piastre matrice e punzone.

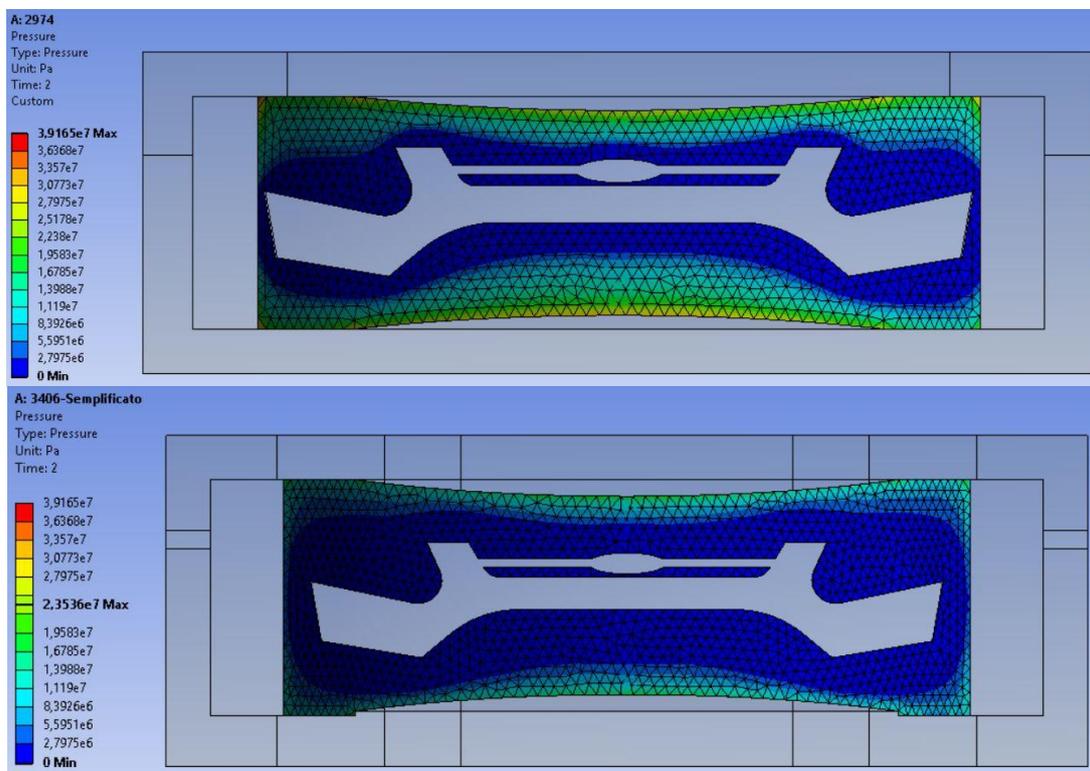


Figura 88 - Confronto valori di pressione di contatto

Appendice 1: Analisi e confronto del Time-to-Market

Al termine dell'analisi ed il confronto sul funzionamento e dei risultati della simulazione fra i due stampi, è interessante valutare e confrontare i tempi che sono stati necessari per il loro sviluppo, dalla ricezione dell'ordine alla consegna del prodotto.

Per poter effettuare questo tipo di analisi, HCM Stampi s.r.l. ha concesso la consultazione dei dati sulle ore di lavoro interne dedicate per entrambi i progetti. Dai Dati forniti è stata estrapolata la seguente tabella:

Tabella 1 - Tempi di progettazione e produzione dei due stampi

	Stampo Tradizionale		Stampo Compatto	
Time-To-Market	79 wk		66 wk	
Ore Totali	1430		3230	
Progettazione	680	47,5%	620	19,2%
Produzione	250	17,5%	1450	44,9%
Banco	390	27,3%	940	29,1%
Gestione	110	7,7%	220	6,8%

La prima riga della tabella 1 mostra i tempi dalla ricezione dell'ordine alla vendita al cliente per i due stampi analizzati nel presente elaborato. Si evince come si siano concentrate le attenzioni sulla realizzazione dello stampo compatto impiegando appena 66 settimane contro le 79 dedicate a quello tradizionale. Da questo confronto si evidenzia come HCM Stampi abbia investito un maggior numero risorse per la realizzazione dello stampo compatto indice di profonda fiducia nei confronti di questa nuova tecnologia.

Il resto della tabella mostra il dettaglio delle ore di lavoro dedicate per entrambi gli stampi. Anche da questo confronto si nota come le risorse impiegate per la realizzazione dello stampo compatto siano state maggiori di quelle dedicate per lo stampo tradizionale: 3230 ore del compatto contro 1430 del tradizionale. La scomposizione delle ore nelle varie fasi dello sviluppo dello stampo mostra, inoltre, degli aspetti interessanti.



Figura 89 – Grafico Tempi di sviluppo prodotto Stampo Tradizionale

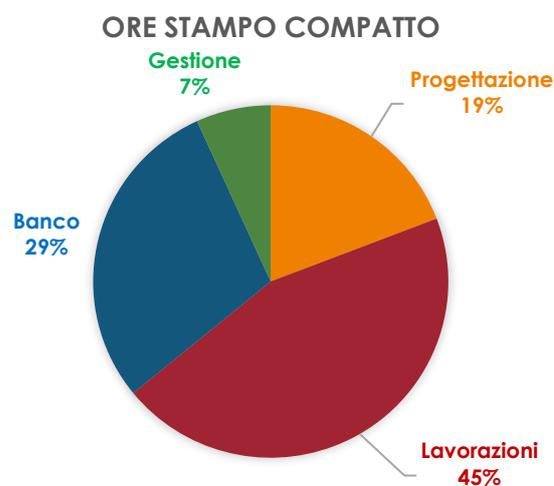


Figura 90 – Grafico Tempi di sviluppo prodotto Stampo Compatto

Dai grafici in figura 89 e 90, si nota come i tempi in percentuale dedicati alla progettazione e alla produzione siano notevolmente differenti, indice del fatto che lo stampo compatto prevede una progettazione relativamente più snella ma che, data la complessità dei componenti costituenti prevede una lavorazione più lunga. Lo stampo tradizionale, al contrario, richiede tempi minori in lavorazione ma una progettazione relativamente più lunga.

Appendice 2: Analisi e confronto dei Costi di Produzione

Dopo aver analizzato i tempi di sviluppo dei due stampi verranno adesso affrontati quelli che sono stati i costi di realizzazione. Anche in questo caso i dati forniti da HCM Stampi sono stati filtrati e raggruppati in tre diverse categorie: Materiali, Manodopera e Servizi Esterni.

Nella categoria Materiali sono raggruppati i costi degli acciai da fresare, i componenti standard (quali ad esempio fissaggi, raccorderia, boccole, guide, etc...) ed elementi standardizzati HCM (sono quegli elementi comuni alla maggior parte degli stampi che costituiscono di fatto uno standard aziendale come ad esempio anelli di centraggio, colonne guida, piastrine di tallonaggio, etc...). Nella categoria Manodopera sono inseriti i costi delle lavorazioni interne quali fresature, forature, elettroerosioni, ma anche manipolazione ai banchi di prova e assemblaggio. I servizi esterni riguardano quei componenti che non sono stati realizzati internamente ma che hanno richiesto l'acquisto da fornitori esterni.

In tabella 2 sono mostrati i costi in euro dello stampo tradizionale e di quello compatto:

Tabella 2 - Costi di produzione dei due stampi

	Stampo Tradizionale	Stampo Compatto
Costo Materiali [€]	73'330	103'275
Costo Manodopera [€]	68'160	157'332
Costo Servizi Esterni [€]	99'195	37'370
TOTALE [€]	240'685	297'977

Dalla tabella risulta semplice il confronto tra i costi di produzione dei due stampi. La prima considerazione da fare riguarda il costo totale degli stampi, in particolare il costo totale dello stampo compatto risulta essere maggiore di quello dello stampo tradizionale del 20%; la differenza è data principalmente dal maggiore costo di manodopera. Il costo dei materiali per lo stampo compatto è più alto in quanto costituito da un numero maggiore di elementi e di maggiore qualità, mentre il costo dei servizi esterni è più basso per ragioni legate a standard qualitativi: HCM ha preferito produrre internamente la maggior parte dei componenti costituenti lo stampo compatto per poterne avere un maggiore controllo sulla qualità.

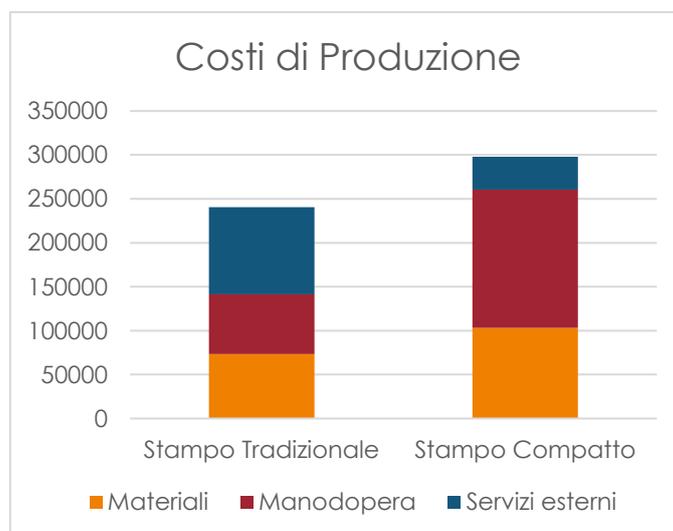


Figura 91 - Grafico Costi di Produzione

Dal grafico in figura 91, che riporta i dati presentati in tabella 2, si nota come ci sia stata una diversa gestione tra i due progetti. Il costo dei Servizi Esterni per lo stampo tradizionale è preponderante rispetto agli altri costituendo il 41,2% del totale, mentre per lo stampo compatto costituisce appena il 12,5%.

Conclusioni

L'industria automotive è un settore in continuo sviluppo e altamente competitivo: è necessario che un nuovo prodotto venga inserito nel mercato nel minor tempo possibile e che rispecchi degli standard qualitativi molto elevati. La competitività è una caratteristica che si ripercuote su tutta la *supply chain*, obbligando i fornitori a rispettare gli elevati standard di qualità e tempi di consegna sempre più ristretti.

Il processo di stampaggio ad iniezione come tecnologia di produzione ben si inserisce all'interno dell'industria automotive, essendo caratterizzato da un'alta produttività; nonostante ciò, questa tecnologia richiede dei tempi di progettazione e di ingegnerizzazione dello stampo molto elevati, soprattutto considerate le complessità geometriche dei componenti moderni. Le tipologie di progettazione di stampi tradizionali possono risultare inconclusive o di difficile realizzazione, per questo motivo negli ultimi anni si è sviluppata una nuova tecnologia, lo Stampo Compatto.

Lo scopo di questa tesi è stato quello di sottolineare i vantaggi dello Stampo Compatto rispetto ad uno Stampo Tradizionale, attraverso la descrizione ed il confronto del funzionamento degli elementi principali delle due tipologie di stampo. Successivamente è stata eseguita un'analisi strutturale allo scopo di valutare le diverse deformabilità dei due stampi. Il presente lavoro di tesi si è inserito in un contesto aziendale più ampio con lo scopo di validare le caratteristiche positive della nuova tecnologia al fine di convincere il cliente ad optare per l'acquisto di uno stampo compatto rispetto ad uno tradizionale.

Come si è visto, rispetto alla tecnologia tradizionale, lo Stampo Compatto permette di realizzare elementi di dimensioni elevate e geometricamente complessi, quali ad esempio paraurti anteriori e posteriori di automobile, mantenendo delle dimensioni contenute. Questa tipologia di stampo permette un assemblaggio e una manutenzione semplici senza la necessità di rimuovere i componenti più ingombranti. Le ridotte dimensioni, dovute all'eliminazione degli elementi di sostegno del punzone (Longheroni), permettono allo stampo compatto di ridurre le deformazioni dovute alle sollecitazioni di stampaggio portando notevoli miglioramenti nella qualità dei componenti stampati.

Sono attualmente in sviluppo nuove tecnologie che permettano di realizzare degli stampi che non presentano la necessità del tavolino di estrazione. L'eliminazione del tavolino come metodo di estrazione porterebbe a una minore lavorazione degli acciai, non avendo più la necessità di ricavare sul punzone la sede per il tavolino, e, contemporaneamente, a irrigidire ulteriormente la struttura dello stampo con conseguente riduzione delle deformazioni.

Bibliografia

- [1] G. Bertacchi, *Manuale dello stampaggio progettato*, Milano: Tecniche Nuove, 2011.
- [2] R. Suzzani, *Manuale dello stampista*, Milano: Tecniche Nuove, 2002.
- [3] «Tooling Magazine,» [Online]. Available: <http://toolingmagazine.com/2014/08/25/injection-molding-basics/>.
- [4] «Mould-Technology,» [Online]. Available: <http://mould-technology.blogspot.com/2007/11/when-need-slider-parts.html>.
- [5] «Beaumont,» [Online]. Available: <http://www.beaumontinc.com/injection-molding-glossary/runner/>.
- [6] «XCentric Mold and Engineering,» [Online]. Available: <https://www.xcentricmold.com/gates-and-runners/>.
- [7] «HRS Flow,» [Online]. Available: <https://www.hrsflow.com/eng/prodotti/hot-runner-systems-for-mediumlarge-applications/screwed-in-systems-1.php>.
- [8] «Mould Plastic,» [Online]. Available: <http://www.mouldplastic.org/gates-types-of-an-injection-mold.html>.
- [9] «HCM Stampi,» [Online]. Available: <http://www.hcm.it/>.
- [10] L. Sun e X. Liu, «Control Analysis of Production and Apparent Quality of Automobile Large Plastic Parts,» *Procedia Engineering*, n. 16, 2011.
- [11] A. Bregolin, «Mould for injection-moulding of plastic parts». Italia Brevetto WO 2011/092650 A1, 4 Agosto 2011.
- [12] A. Bakharev, Z. Fan e F. Costa, «Prediction of Core Shift Effects Using Mold Filling Simulation,» *ANTEC 2004 Plastics: Annual Technical Conference*, vol. 1, pp. 1-5, 2004.
- [13] D. Delaunay, P. Le Bot, R. Fulchiron, J. F. Luye e G. Regnier, «Nature of Contact Between Polymer and Mold in Injection Molding. Part II: Influence of Mold Deflection on Pressure History and Shrinkage,» *Polymer Engineering & Science*, vol. 40, n. 7, pp. 1692-1700, 2000.
- [14] S. Kleindel, R. Eder, H. Shretter e C. Hochenauer, «The Elastic Mold Deformation During the Filling and Packing Stage of the Injection Molding Process,» *Smart Science*, vol. 2, n. 1, pp. 44-53, 2014.
- [15] B. Carpenter, S. Patil, R. Hoffman, B. Lilly e J. Castro, «Effect of Machine Compliance on Mold Deflection During Injection and Packing of Thermoplastic Parts,» *Polymer Engineering & Science*, vol. 46, n. 7, pp. 844-852, 2006.
- [16] «Guida on-line Ansys».

- [17] Y.-Y. Chou, W.-H. Yang, A. J. Giacomin e A. J. Hade, «3D Numerical Simulation Investigating the Effect of Volumetric Flow Rate on Core Deflection,» *ANTEC 2008 Plastics: Annual Technical Conference Proceedings*, pp. 18-23, 2008.