

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Meccanica



Tesi di Laurea Magistrale

Reingegnerizzazione di componenti meccanici con l'utilizzo di una progettazione integrata CAD/CAE/CAM di prodotto e di processo

Relatore:
Prof. Salmi Alessandro

Candidato:
Garino Enrico

A. A. 2024/2025

Sommario

1. INTRODUZIONE	4
2. CARATERISTICHE DEI MATERIALI E PROCESSI DI PRODUZIONE	6
2.1 Reologia dei materiali	8
2.2 Processo di colata in stampo siliconico.....	10
2.3 Componenti utilizzati nello stampaggio ad iniezione	12
2.4 Ciclo di stampaggio.....	16
2.5 Canali di iniezione.....	18
2.6 Progettazione integrata CAD/CAM e utensili per fresatura.....	22
3. RIPROGETTAZIONE DEL COMPONENTE	29
3.1 Studio della matematica originale	29
3.2 Principali problemi della scatola iniziale	31
3.3 Modifiche progettuali.....	32
3.4 Prototipazione rapida tramite stampa 3D	39
4. ANALISI FEM DI FLUSSO E DEFORMAZIONE.....	44
4.1 Scelta del materiale e preparazione del modello	44
4.2 Calcolo degli spessori.....	47
4.3 Parametri scelti per l'analisi di riempimento	48
4.4 Risultati dell'analisi di riempimento	50
4.5 Risultati dell'analisi di mantenimento e raffreddamento	54
4.6 Analisi qualitativa delle deformazioni.....	60
5. PROTOTIPAZIONE STAMPO	63
5.1 Piastre standard	64
5.2 Corsa di apertura	66
5.3 Estrazione del componente.....	69
5.4 Progettazione dei carrelli.....	71
5.5 Canali di raffreddamento.....	76

6.	LAVORAZIONI CAM.....	81
6.1	Operazioni utilizzate in fresatura	81
6.3	Programma CAM per la realizzazione del tassello	86
7.	MISURE E COLLAUDO	98
7.1	Tolleranze dimensionali da normativa ISO	98
7.2	Risultati analisi modello con canali	104
8.	CONCLUSIONI.....	119
	BIBLIOGRAFIA.....	121
	INDICE DELLE FIGURE	122
	INDICE DEI GRAFICI.....	126
	INDICE DELLE TABELLE	127
	RINGRAZIAMENTI	128

1. INTRODUZIONE

Il presente lavoro di tesi è stato svolto presso la Merlo SPA, azienda leader nella progettazione e realizzazione di telescopici. Uno dei reparti di detta azienda si occupa della produzione di componenti polimerici, in particolar modo ottenuti attraverso l'iniezione plastica, la quale assicura alti volumi di produzione a costi contenuti.

Nel seguente lavoro di tesi viene riprogettata la scatola SIP (scheda interfaccia potenza) contenente la scheda di potenza dell'e-worker Merlo, il quale è l'unico telescopico elettrico commercializzato dall'azienda. La scatola originale era ottenuta per colata attraverso uno stampo in silicone che, deformandosi, permette l'estrazione del componente ma dopo circa poche decine di volte deve essere sostituito. L'azienda ha quindi deciso di iniziare a produrle internamente andando a ridurre notevolmente il costo di ogni singolo componente e allo stesso tempo migliorandone le caratteristiche tecniche. È stata necessaria la riprogettazione del pezzo per fare in modo che possa essere prodotto tramite iniezione anziché per colata.

Una volta ottenuta la geometria CAD che rispettasse tutti i parametri desiderati sono stati creati dei prototipi con l'ausilio di una stampante 3D per verificare che il montaggio dei componenti interni e il collegamento con quelli esterni potesse essere svolto senza problemi e grazie a questa fase si sono potute apportare ulteriori migliorie alla scatola finita.

Successivamente sono state condotte diverse analisi di flusso e soprattutto di deformazione per ottimizzare i parametri da impostare sulla pressa ad iniezione. Nella fase seguente si è andati a compiere la completa progettazione dello stampo iniziando con i vari componenti standard per poi andare a lavorarli al fine di ottenere le geometrie desiderate.

Per fare tutto ciò è stato utilizzato il software VISI attraverso il quale sono state applicate le modifiche progettuali necessarie, le analisi FEM (Finite Element Method) di flusso e soprattutto deformazione per finire con la programmazione CAM (Computer Aided Design) per le lavorazioni meccaniche dello stampo.

Si è proseguito con lo stampaggio della scatola tramite pressa ad iniezione per verificare effettivamente che le modifiche applicate in fase di progettazione fossero esatte e che non si verificassero problemi durante la produzione dei lotti futuri, sia lato stampo che componente.

Infine, sono state fatte delle verifiche per controllare che le tolleranze, sia quelle imposte dalla norma DIN ISO 20457:2018, sia quelle indicate sulla tavola, fossero rispettate andando a

compiere le varie misurazioni sul modello virtuale. Per ottenere un risultato il più veritiero possibile in questa fase si è utilizzato un modello comprendente sia il canale di iniezione che quelli di raffreddamento.

2. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI E PROCESSI DI PRODUZIONE

Vengono classificate materie plastiche tutte le sostanze organiche ottenute attraverso reazioni chimiche di prodotti naturali o di sintesi derivanti dalla scissione chimica del carbone, petrolio (per la maggior parte) e gas naturale. Le caratteristiche dei componenti sviluppati con questo materiale sono fortemente dipendenti da quelle dei loro costituenti organici.



Grafico 2.1 Schema logico del processo produttivo di componenti polimerici

Nel grafico 2.1 è riportato tutto lo schema logico che segue il materiale che andrà a comporre un pezzo in plastica. Dal materiale grezzo si ottengono i monomeri che tramite la polimerizzazione vengono uniti per formare i polimeri. Esistono due principali tipi di polimerizzazione: la poliaddizione, solitamente procede con meccanismi a catena, che tramite la somma dei monomeri di partenza si ottiene il polimero finale e la policondensazione, solitamente procede a stadi, che durante il processo elimina una molecola semplice, in genere acqua.

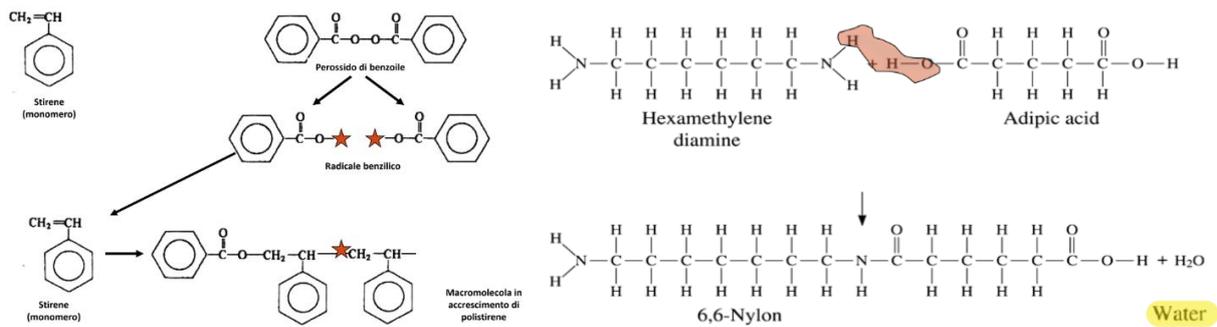


Figura 2.1 Esempio di poliaddizione a sinistra e policondensazione a destra

Con il processo di polimerizzazione, qualunque esso sia, si possono decidere le caratteristiche desiderate che avranno le macromolecole finali.

Esistono tre diversi tipi di macromolecole:

- Polimero lineare: caratterizzato da forti legami covalenti carbonio-carbonio tra le molecole lungo una catena e deboli interazioni con legami secondari tra le diverse catene. Con un piccolo aumento di temperatura si permette lo scorrimento tra catene ottenendo di fatto un materiale allo stato fluido.
- Polimero ramificato: la crescita delle catene non avviene solo lungo l'asse ma anche lateralmente. Anche se i rami di diverse catene sono indipendenti essi interagiscono tra loro aumentando la difficoltà di scorrimento.
- Polimero reticolato: si creano dei tratti tra le diverse catene con legami covalenti andando ad unirle in maniera stabile. Le caratteristiche dipendono dalla lunghezza delle catene e il materiale finale può essere gommoso ed elastomerico oppure rigido e fragile. All'aumentare della temperatura il polimero arriva prima a uno stadio di decomposizione piuttosto che fluido.

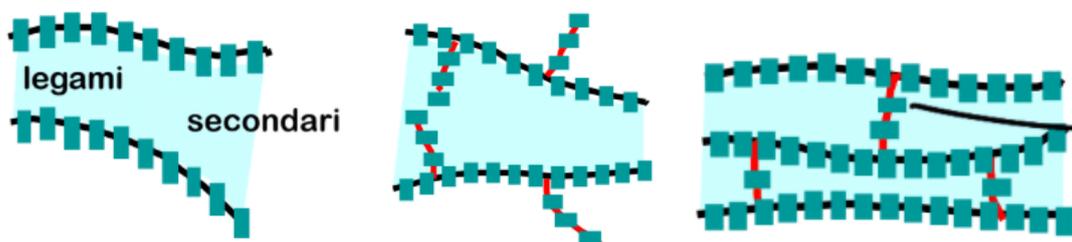


Figura 2.2 Schema polimero lineare, ramificato e reticolato (da sinistra a destra)

I materiali polimerici vengono suddivisi in tre principali categorie: termoplastici, termoindurenti ed elastomerici. Quelli di interesse nel campo dell'iniezione plastica sono quelli termoplastici i quali possono essere a catena lineare o leggermente ramificata con una distribuzione casuale ma possono subire orientamenti per effetto delle lavorazioni meccaniche. Se sottoposti a un aumento di temperatura rammolliscono fino allo stato fluido ma se raffreddati riacquisiscono consistenza solida. Questa proprietà consente un ciclo teoricamente infinito, non è così in realtà perché il materiale subisce del degrado nel caso in cui viene superata la massima temperatura di esercizio del materiale. Infatti, il materiale di scarto può essere riutilizzato se non ha subito temperature troppo elevate. Unito al fatto che sono solubili in solventi senza subire degrado chimico rende questo tipo di materiale particolarmente adatto al riciclo. Essi possono essere ulteriormente distinti tra amorfi e semicristallini; i primi sono rigidi e fragili a temperatura ambiente e trasparenti con un intervallo di fusione tra i 30 e 40°C al contrario i secondi sono tenaci, stabili e rigidi ma presentano un ritiro maggiore in fase solida dopo lo stampaggio rispetto ai primi. I polimeri amorfi sono costituiti da una massa disordinata di catene continue o ramificate mentre in quelli cristallini esse sono allineate in modo ordinato con le catene legate tra loro tramite legami secondari. Solitamente i polimeri più utilizzati sono semicristallini siccome presentano delle zone amorfe e zone cristalline e si definisce il grado di cristallinità come segue; esso è la percentuale in peso della sostanza allo stato cristallino rispetto al peso totale (cristallino + amorfo).

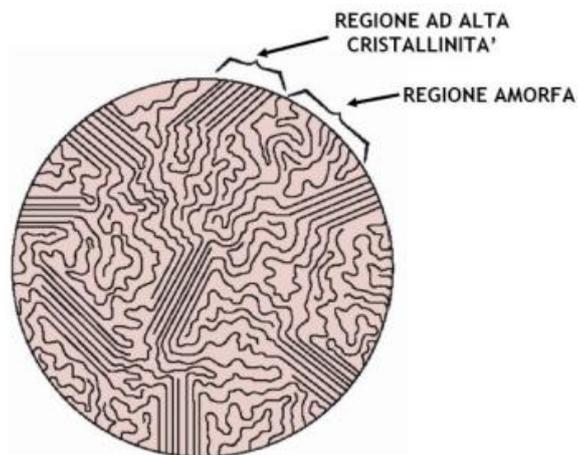


Figura 2.3 Schematizzazione della parte amorfa e cristallina di un polimero

2.1 Reologia dei materiali

Per comportamento reologico si intende l'andamento della viscosità in funzione delle condizioni di flusso e della temperatura. Per produrre componenti in materiale plastico è

necessario utilizzarli nel loro stato fluido, quindi, diventa necessario conoscere la reologia del fuso determinando gli sforzi che il materiale subisce durante le operazioni di trasformazione, siccome andranno ad influenzare le proprietà meccaniche dei prodotti. Le proprietà reologiche dipendono da numerose variabili e le più importanti sono: velocità di scorrimento, peso molecolare, struttura delle catene, temperatura, pressione e il tempo.

Tutti i corpi assumono proprietà intermedie tra un solido perfettamente elastico, secondo cui la deformazione è proporzionale allo sforzo, e un fluido perfettamente viscoso, dove c'è una relazione di proporzionalità tra lo sforzo di taglio e il gradiente di velocità (o velocità di scorrimento). I materiali termoplastici non hanno un unico valore di viscosità perché varia al variare delle condizioni di flusso, in particolar modo con la velocità di scorrimento; quindi, vengono definiti fluidi non newtoniani e si stabilisce un valore di viscosità apparente. Si utilizzano grafici, validi ad una determinata temperatura, dove in ascissa è riportato il valore della velocità di scorrimento e in ordinata la viscosità (grafico 2.2). Un'altra variabile da tenere in considerazione è la temperatura, infatti, all'aumentare di quest'ultima la viscosità del materiale cala a parità di velocità di deformazione, questo effetto è ben visibile sul grafico 2.3. Anche la struttura delle catene polimeriche influenza notevolmente la viscosità, proprio come lo sforzo di taglio; più la struttura è ramificata e meno sarà viscoso il materiale, come anche all'aumentare dello sforzo di taglio. Inoltre, più la densità è alta e maggiore sarà la viscosità, tutti questi comportamenti sono visibili nel grafico 2.4.

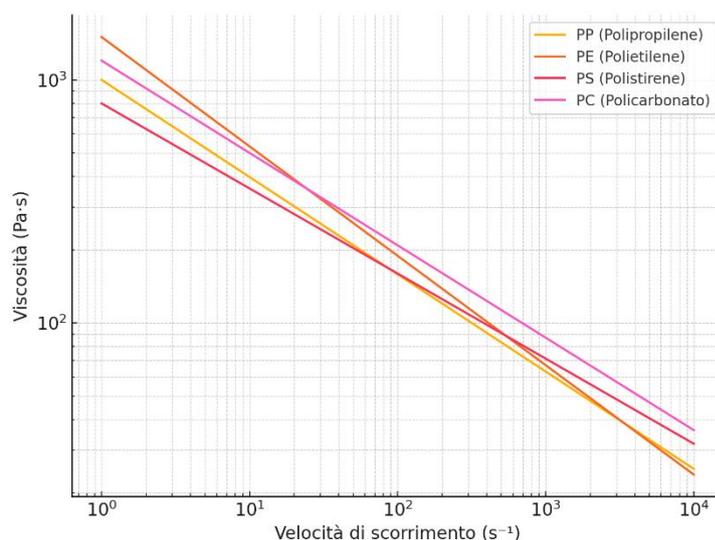


Grafico 2.2 Andamento della viscosità in funzione della velocità di scorrimento e del materiale

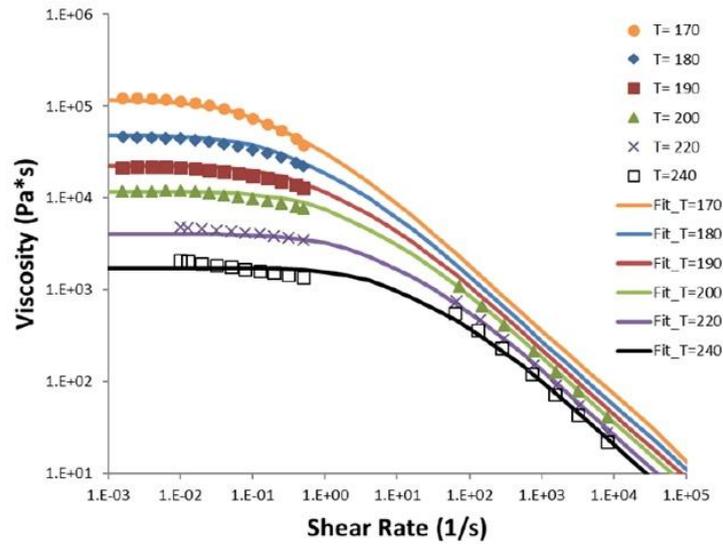


Grafico 2.3 Andamento viscosità in funzione della velocità di scorrimento e della temperatura

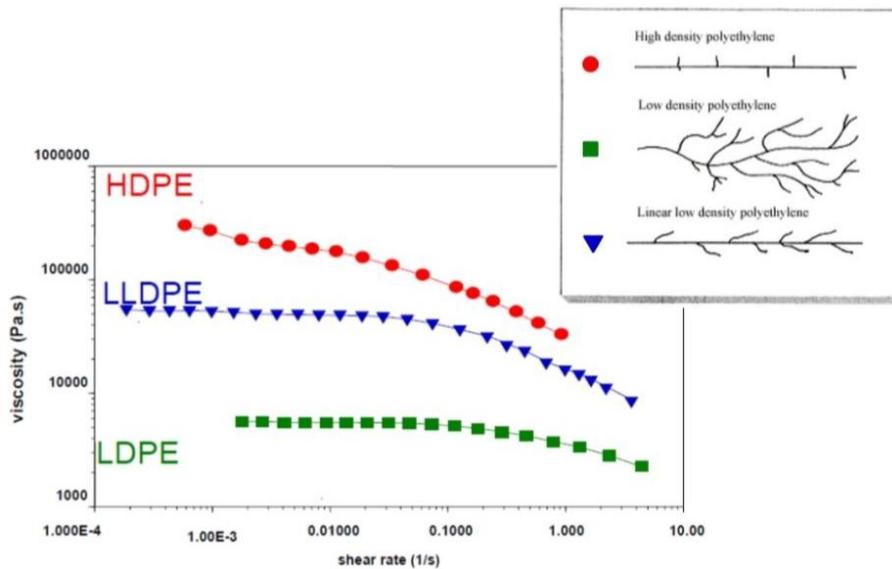


Figura 2.4 Andamento della viscosità con la struttura e la velocità di scorrimento

2.2 Processo di colata in stampo siliconico

Il vecchio componente era prodotto tramite questa tecnica che consente la realizzazione di componenti tramite colata gravitazionale o sottovuoto all'interno di uno stampo flessibile, solitamente costituito da silicone RTV (Room Temperature Vulcanizing) che grazie alla sua deformazione permette l'estrazione del componente.

Il ciclo produttivo può essere suddiviso nelle seguenti fasi principali:

1. Realizzazione del modello master: rappresenta la geometria che si desidera replicare e può essere prodotto mediante stampa 3D, fresatura CNC o lavorazioni manuali. La parte fondamentale di questo modello è che presenti una finitura superficiale identica al prodotto finito, in quanto ogni dettaglio sarà trasferito dallo stampo al pezzo.
2. Preparazione dello stampo in silicone: il master viene posizionato all'interno di una cassaforma, e si progettano i canali di colata e gli sfiati per permettere all'aria di fuoriuscire. Il silicone viene miscelato con il catalizzatore, colato sul master e attraverso il processo di vulcanizzazione, che avviene a temperatura ambiente o con moderato riscaldamento in un intervallo di 6–24 ore, si ottiene lo stampo.
3. Separazione dello stampo e rimozione del master: una volta polimerizzato, lo stampo viene rimosso dalla cassaforma e il master estratto e in alcuni casi lo stampo è progettato in due o più sezioni per facilitare lo sforno, soprattutto nel caso di geometrie complesse.
4. Colata della resina epossidica: la resina epossidica viene preparata mediante miscelazione dei due componenti (resina + indurente) e, se necessario, degassata in camera sottovuoto per eliminare le bolle che si potrebbero verificare durante questa fase. La colata può essere effettuata per gravità o sottovuoto e lo stampo può essere successivamente messo in forno per accelerare la reticolazione.
5. Sformatura e finitura del pezzo: dopo la completa polimerizzazione della resina, che può richiedere da alcune ore fino a un giorno, il pezzo viene estratto dallo stampo. Successivamente eventuali bave, canali di colata o imperfezioni vengono rimossi mediante operazioni di finitura meccanica ottenendo così il pezzo finito.

Il processo con stampo siliconico è molto efficace per la produzione di pezzi in piccole serie ma presenta alcune limitazioni rispetto allo stampaggio a iniezione, soprattutto in contesti di produzione industriale su larga scala. In particolare modo gli stampi siliconici possono fare un numero di cicli molto limitato, circa una cinquantina di pezzi a causa del degrado del silicone, prima di essere rifatti e questo non è accettabile se si intende produrre un numero di pezzi molto più elevato. Inoltre, i tempi ciclo sono notevolmente più lunghi rispetto allo stampaggio ad iniezione a causa del tempo di polimerizzazione della resina rendendo il processo meno produttivo in termini di tempi e costi. Questo è stato anche uno dei principali motivi per cui si è deciso di cambiare metodo di produzione perché un singolo componente in stampo siliconico costava all'azienda circa 200€ mentre lo stesso pezzo prodotto tramite iniezione plastica in ABS circa 0.60€. Infine, se si considerano le proprietà meccaniche e termiche i componenti ottenuti con resine epossidiche colate hanno caratteristiche inferiori rispetto a quelli ottenuti per

iniezione e uno dei problemi maggiori è la bassa ripetibilità dimensionale a causa dell'elasticità degli stampi. Questo è stato l'altro motivo principale su cui si è basata la scelta di cambiare processo produttivo siccome è richiesta una ripetibilità del componente entro i limiti della norma ISO 22514-4 “Statistical methods in process management — Capability and performance — Part 4: Process capability estimates and performance measures”.

A causa di tutti gli svantaggi precedentemente trattati si è deciso di puntare sullo stampaggio ad iniezione, anche a fronte di un investimento iniziale maggiore, prevedendo una produzione importante di questo componente per gli anni futuri.

2.3 Componenti utilizzati nello stampaggio ad iniezione

Lo stampaggio ad iniezione è uno dei metodi per produrre pezzi in plastica tra i più utilizzati siccome offre molti vantaggi, tra i quali alta produttività, possibilità di produrre pezzi di geometrie e dimensioni variabili, bassi costi di produzione. Vanno però evidenziati anche alcuni svantaggi come il costo degli stampi, delle presse e l'impossibilità di determinare, immediatamente, la qualità del particolare stampato.

I principali sottoassiemi che si utilizzano nello stampaggio ad iniezione sono due: la pressa e lo stampo.



Figura 2.5 Principali parti di una pressa

La pressa, rappresentata in figura 2.5, si può ancora suddividere in gruppo di iniezione (o plastificazione), gruppo di chiusura e unità di controllo.

Il gruppo di plastificazione consente di plastificare ed iniettare il polimero nello stampo; il polimero base può avere diverse forme e dimensioni e le più utilizzate sono: polvere, granuli, fogli e fili. Esso è inserito attraverso la tramoggia all'interno del cilindro riscaldato da resistenze che consentono di regolarne la temperatura e far arrivare il materiale alla temperatura desiderata all'interno dello stampo. Il materiale così riscaldato è trascinato in avanti dal movimento rotatorio della vite punzonante che scorre nel cilindro e attraverso questo movimento il materiale si scalda ulteriormente attraverso l'attrito andando di fatto a diminuire il calore che si deve dare dall'esterno. Infine, il materiale è iniettato attraverso l'ugello con un movimento di avanzamento della vite. L'unità idraulica della pressa ha il compito di regolare i movimenti della vite sia in fase di plastificazione che in quella di iniezione andando ad ottenere la giusta portata di materiale che fluisce all'interno dello stampo.

Il gruppo di chiusura ha la funzione di tenere chiuso lo stampo durante tutta la fase di iniezione e di mantenimento in pressione e di aprirlo al momento dell'estrazione. Essa è composta da una piastra di supporto all'estremità sinistra, saldamente fissata al basamento della pressa, da una piastra di fissaggio, anch'essa solidale alla pressa a cui è applicata la matrice dello stampo ed infine dalla piastra di fissaggio mobile, guidata nel suo spostamento avanti e indietro, da colonne. Le piastre di fissaggio sono munite di fori detti di centraggio per gli anelli di posizionamento delle due parti dello stampo.

I gruppi di chiusura sono fondamentalmente di due tipi: a ginocchiera e con pistoni idraulici. I primi, di costo minore, a parità di tonnellaggio di chiusura, hanno un ingombro notevolmente superiore ai secondi. Il vantaggio di questi è che non serve applicare una forza dall'esterno, quindi spendere energia, per tenere chiuso lo stampo siccome questo compito è assicurato da posizionamenti geometrici dei vari bracci. Inoltre, non si può stabilire la forza di chiusura desiderata ma essa sarà proporzionale alla pressione che si genera nella cavità dello stampo, il quale rimarrà chiuso fino alla forza massima che la pressa può sostenere. Per questo, soprattutto per presse dalle prestazioni importanti, sono utilizzati sistemi di chiusura a pistoni idraulici.

Le presse sono munite di regolazioni di sicurezza che agiscono sulla pressione di chiusura e sul movimento del gruppo di chiusura rallentandolo sia in fase di chiusura che di apertura dello stampo e bloccandolo nel caso che un corpo estraneo come un manufatto non espulso o il braccio di un operatore intralci la normale corsa di chiusura. Queste attività vengono gestite dall'unità di controllo, la quale monitora in tempo reale tutti i parametri di processo e consente la programmazione a bordo macchina tramite un'interfaccia grafica.

L'altra parte fondamentale è lo stampo che rappresenta il cuore dello stampaggio ad iniezione siccome contiene le impronte che daranno la forma al prodotto finito, oltre ai canali di alimentazione, al sistema di condizionamento per mantenere la temperatura sotto controllo, agli estrattori. Fondamentalmente è costituito da due parti: una piastra mobile (maschio) che si muove con l'estrazione e mantiene attaccato il pezzo durante questa fase, e una piastra fissa (femmina) che rimane attaccata alla pressa nel lato dell'iniezione e all'interno di queste due vengono ricavate le impronte che andranno a formare il pezzo finito. Essi possono essere di diversi tipi e la loro classificazione è assegnata dalla norma DIN E 16750 "Stampi a iniezione e a compressione per materie plastiche" che li divide in:

- stampi standard (stampi a due piastre);
- a cavità scomposta;
- con estrazione a piastra;
- a tre piastre;
- a piastre sovrapposte (stack mold);
- a canale caldo.

Entrando più nel dettaglio dei componenti della pressa si nota la tramoggia che serve per contenere il materiale grezzo, nel caso della Merlo il materiale è in granuli e le tramogge di ogni pressa contengono dai 20 ai 25 kg a seconda del materiale, il quale deve essere adeguatamente deumidificato; infatti, prima di arrivare alla pressa il materiale passa attraverso un sistema atto a questo compito. Se l'operazione di deumidificazione non è fatta correttamente si riscontreranno sicuramente dei difetti sui pezzi finiti che potranno essere sia estetici che strutturali. Alla Merlo è presente un'area a parte nella quale sono presenti numerosi silos, ognuno dei quali contiene all'incirca 300 kg a seconda del materiale, che mantengono i granuli ad una certa temperatura pronti per essere inviati alle presse. Sono posizionati in un'area apposita siccome il materiale grezzo è infiammabile ed esso viene trasportato alle macchine tramite un sistema di aria secca in pressione. I silos che contengono il materiale più comune vengono mantenuti sempre pieni mentre solo alcuni sono adibiti a materiali più particolari. In figura 2.6 si possono vedere i silos e l'impianto di deumidificazione che è presente in Merlo nel reparto di iniezione plastica.



Figura 2.6 Silos e deumidificatore presenti in Merlo

L'altro componente fondamentale è la vite punzonante che è sagomata con particolari filettature ed ha il compito di lavorare a fondo il polimero, farlo avanzare lungo il cilindro e contemporaneamente contribuire con il movimento al suo riscaldamento per effetto dell'attrito interno. La funzione principale della vite è quella di miscelare continuamente il materiale e provvedere ad uniformare le temperature del polimero tra le zone più calde, vicine alle pareti del cilindro, e quelle a più bassa temperatura, verso le zone incavate della vite. È divisa principalmente in tre zone, la prima chiamata zona di alimentazione con un diametro interno della vite minore, la seconda è la zona di transizione in cui il diametro interno aumenta sempre più facendo così aumentare l'attrito nel materiale ed infine la zona di plastificazione con il diametro interno maggiore nella quale il materiale è fuso. Il calore autogeno è prodotto dall'elevato sforzo di taglio a cui è sottoposto il polimero nella zona tra l'apice della filettatura e la parete del cilindro dove l'attrito è fortissimo e il polimero risente anche del calore della parete dal momento che le resistenze esterne la riscaldano direttamente. Le temperature delle varie zone sono gestite dall'unità di controllo della pressa per fare in modo che il materiale venga iniettato alla temperatura desiderata. Solitamente non bisogna far sostare molto il materiale in questo elemento perché, se sottoposto per molto tempo a queste temperature rischia di degradarsi; infatti, si cerca di caricare il materiale al suo interno in modo tale che sia sufficiente per soli due pezzi avendo così un ricircolo elevato del materiale presente nella vite.

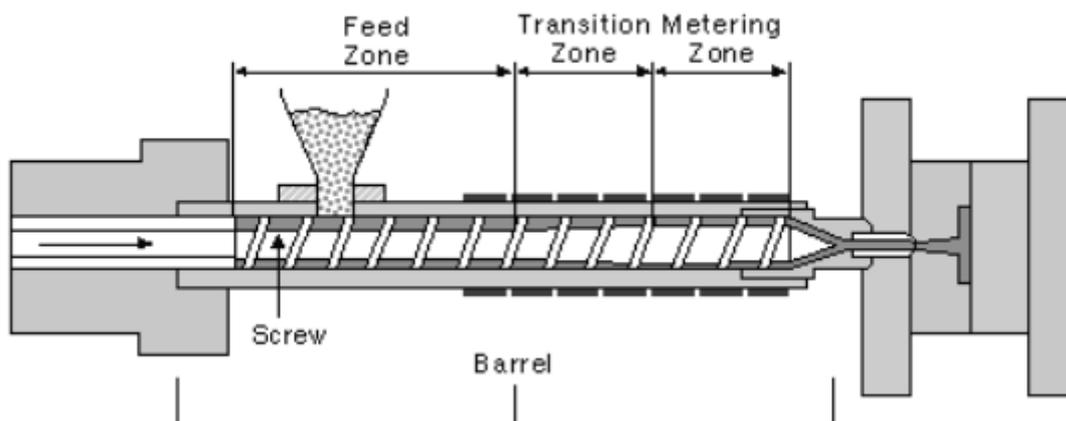


Figura 2.7 Schema di una vite punzonante per iniezione plastica

Le caratteristiche costruttive e i dati tecnici delle presse vengono stabiliti dal Comitato europeo dei costruttori di macchine per materie plastiche e gomma, EUROMAP.

Una pressa è identificata dai seguenti dati:

- Forza di chiusura espressa in kN che esprime la forza massima disponibile per tenere chiuso lo stampo durante il processo di iniezione.
- Disposizione dell'unità di chiusura rispetto al cilindro di iniezione; si hanno le classificazioni: H per la posizione orizzontale, V per la posizione verticale, L per l'iniezione nel piano di separazione dello stampo con il cilindro e gruppo di chiusura orizzontali.
- Volume teorico di iniezione: è dato dal prodotto della sezione del pistone per la corsa, espresso in cm^3 e riferito alla pressione di iniezione di 1000 bar.
- Altri dati delle presse riguardano i sistemi di fissaggio dello stampo e le misure dell'unità di chiusura, la potenza massima di iniezione, i dati di produzione programmabili e registrabili ecc.

2.4 Ciclo di stampaggio

Il ciclo di iniezione è caratterizzato da diverse fasi, ognuna delle quali svolge dei compiti ben definiti che servono per ottenere il pezzo partendo dal materiale in stato fluido. In figura 2.8 sono riportate schematicamente le fasi del processo dove è definita la fase, il movimento della vite punzonante e la condizione dello stampo.

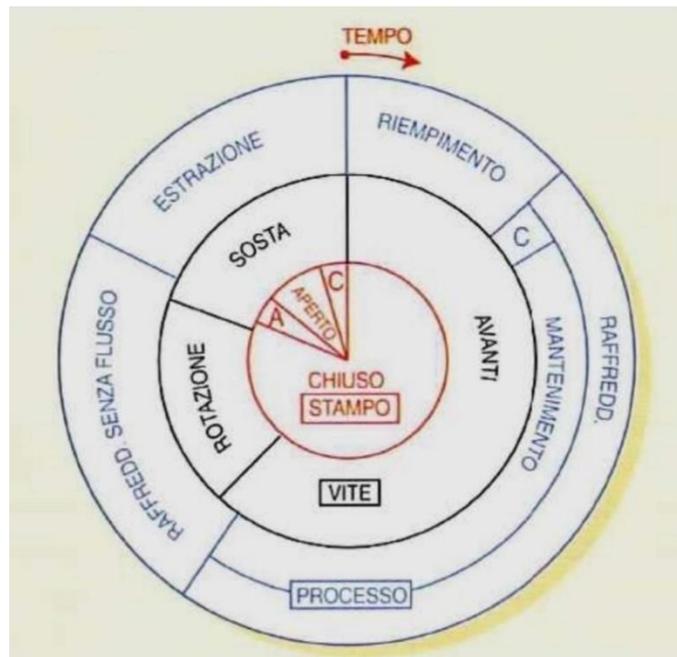


Figura 2.8 Schema del ciclo di stampaggio ad iniezione

La fisica del processo è illustrata nell'anello esterno della Figura 2.8.

1. Riempimento (filling): il materiale in stato fluido è iniettato nella cavità dello stampo attraverso opportuni canali controllando la velocità della vite, che funge da pistone, fino al completo riempimento. Questa fase termina idealmente un istante prima che la cavità sia completamente riempita dal fuso per evitare picchi di pressione. Al raggiungimento del punto di commutazione, circa al 95% del volume, si passa da un controllo in velocità ad un controllo in pressione.
2. "C" compensazione o pressurizzazione: fase breve di crescita rapida di pressione all'interno della cavità, ottenuta alla fine del flusso dopo che il controllo di quest'ultimo è già stato commutato al livello di pressione. Si inietta ancora un po' di materiale sfruttando la sua comprimibilità fino ad un massimo del 15 % in più.
3. Mantenimento: con questa fase si cerca di mantenere una pressione costante compensando il ritiro volumetrico del materiale nello stampo con l'introduzione di altro fuso. Sia la fase di mantenimento che quella di riempimento sono dunque fasi interessate dalla fisica del flusso di materiale; il mantenimento ha termine con la solidificazione del punto di iniezione. Seppur la portata di materiale entrante è piccola, in confronto alle fasi precedenti, è importante perché è funzione dell'equilibrio idrodinamico e quindi del delta di pressione. Questa fase e la precedente sono molto utili al fine di ottenere una

densità, e quindi peso, il più vicino possibile a quella teorica ottenendo una qualità maggiore del pezzo finito.

4. Raffreddamento senza flusso: viene indicato come tempo di raffreddamento durante il quale il componente si trova all'interno dello stampo ma non c'è più flusso di materiale. Bisogna quindi fare attenzione a cosa si intende per raffreddamento siccome in realtà il fenomeno fisico del raffreddamento del fuso inizia non appena questo è iniettato nella cavità ed entra in contatto con le pareti fredde dello stampo (tempo zero). Tuttavia, tale fenomeno, nella fase di riempimento è contrastato dal calore generato per dissipazione dal flusso che riempie rapidamente lo stampo; pertanto, si tende a considerare la fine della fase di iniezione come inizio del tempo totale di raffreddamento. E' corretto suddividere la fase di raffreddamento in due sotto fasi: nella prima c'è un raffreddamento con un apporto di materiale, e quindi una situazione di flusso, anche se estremamente limitata rispetto alla fase dinamica d'iniezione; nella seconda sotto fase, invece, avviene un raffreddamento sigillato (senza flusso), in cui la densità del polimero aumenta per contrazione termica, ma il volume occupato (forma dello stampo) non varia sino a che permane pressione, grazie alla compressibilità del materiale effettuata nella fase precedente.
5. Estrazione: il componente viene estratto per mezzo di estrattori posizionati in punti strategici nello stampo in modo tale da non alterare la qualità del pezzo. Quest'ultimo, ancora caldo al momento dell'estrazione, completa il suo raffreddamento solitamente in aria. La forma finale con i ritiri e le eventuali deformazioni richiede del tempo per completarsi, a causa dei fenomeni di ritardo di cristallizzazione e riequilibrio delle tensioni interne. È fondamentale estrarre il pezzo quando è al di sotto della "temperatura di estrazione" andando ad evitare la maggior parte di questi fenomeni che deformano il pezzo.

2.5 Canali di iniezione

Il materiale fuso che si trova nell'ugello della vite punzonate viene trasportato fino al pezzo che si vuole stampare tramite un sistema di canali che possono essere: freddi, caldi o un utilizzo congiunto. La tipologia più diffusa è quella dei canali freddi, i quali si ottengono andando a lavorare gli stampi creando dei canali al loro interno che portino il materiale fuso fino al pezzo; può essere uno oppure di più a seconda della forza di chiusura richiesta dagli stampi e quella che la macchina può fornire. Al contrario per i canali caldi è sufficiente andare a creare negli

stampi la sede di alloggiamento del canale caldo e sarà proprio questo elemento che permetterà al materiale di arrivare direttamente nel pezzo. Infine, si utilizzano entrambi i sistemi quando si vuole utilizzare un unico canale caldo per portare il materiale alla temperatura desiderata vicino ai pezzi da stampare ma essendo solitamente stampato più di un pezzo con lo stesso stampo, per non aggiungere ulteriori elementi che innalzerebbero il prezzo di quest'ultimo, si realizzano dei brevi tratti di canale freddo per portare il materiale fino alle cavità.

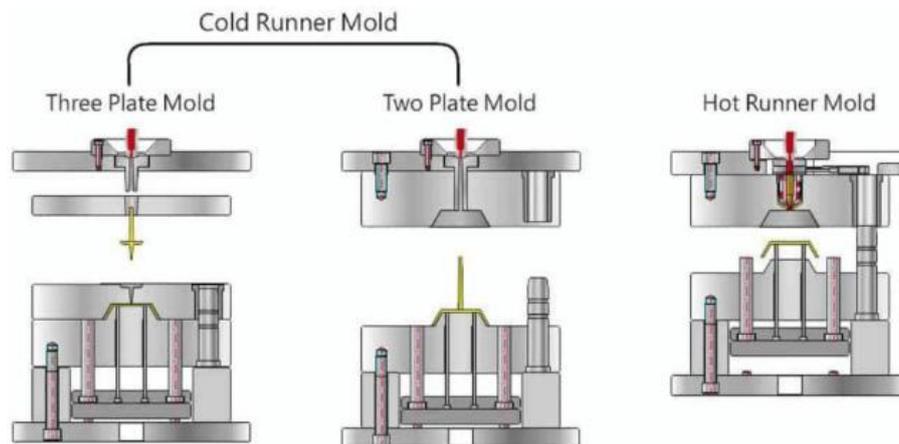


Figura 2.9 Differenti tipologie di canali di iniezione

Come si può osservare in figura 2.9 le prime due immagini rappresentano le diverse tipologie di canali freddi: nella prima i canali vengono separati dal pezzo finito ed è necessario utilizzare uno stampo a tre piastre per permettere la loro estrazione mentre nella seconda i canali rimangono attaccati al pezzo e devono essere staccati in un secondo momento meccanicamente. I canali freddi devono essere dimensionati correttamente in modo tale da far arrivare il materiale alla temperatura desiderata all'interno della cavità andando a scegliere il diametro corretto. Più il canale ha diametro piccolo e più il materiale si scalderà a causa dell'attrito e viceversa; quindi, con il corretto dimensionamento si può scaldare meno il materiale all'interno della vite di plastificazione evitando di esporlo per troppo tempo ad alte temperature andando così a prevenire il degrado. In figura 2.9 è rappresentato un solo pezzo prodotto ma si possono realizzare più componenti con un unico stampo andando a disporli in modo adeguato. Nella figura 2.10 sono rappresentate diverse geometrie di canali freddi multi-impronta i quali possono essere bilanciati per naturale disposizione oppure possono essere bilanciati andando ad aumentare le dimensioni di alcuni tratti a scapito di altri andando così a decidere la velocità di riempimento delle varie parti modificando la portata in ingresso.

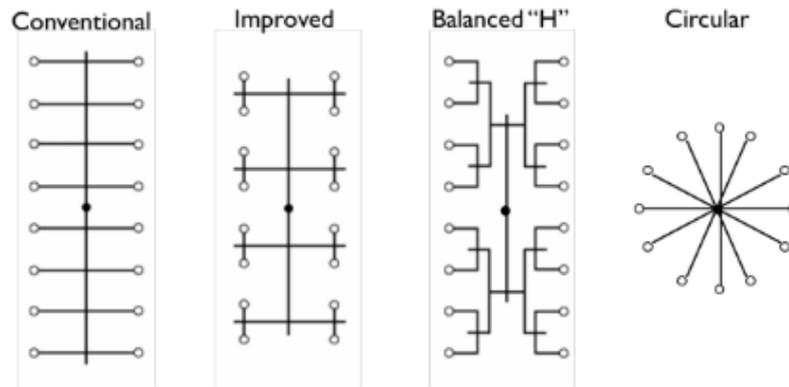


Figura 2.10 Disposizione canali freddi per stampi multi-impronta

Un altro parametro molto importante è il punto di iniezione, il quale può avere diverse forme a seconda delle esigenze, ma deve rispettare un parametro fondamentale al fine di ridurre al minimo il segno che rimane sul pezzo finito. Per evitare, o quantomeno ridurre, il problema appena esposto è necessario che il diametro del tratto che va a contatto con il pezzo deve essere di dimensione compresa tra metà e due terzi dello spessore della parete su cui si va ad iniettare. I principali tipi di iniezione sono i seguenti:

- Convenzionale o diretta
- Sezione rettangolare
- Anello
- Film
- Sottomarina
- Capillare

I vari tipi di iniezione appena citati sono riportati schematicamente in figura 2.11.

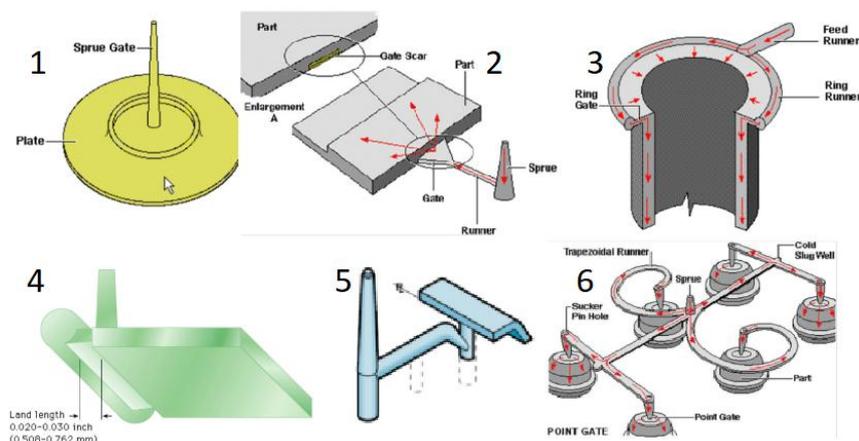


Figura 2.11 1-Convenzionale 2-Rettangolare 3-Anello 4-Film 5-Sottomarina 6-Capillare

In figura 2.9 è riportata nella terza immagine uno schema di canale caldo, che sarà la tipologia scelta per la realizzazione del componente trattato in questa tesi. Come si può osservare è presente una camera calda, la quale mantiene il materiale alla temperatura desiderata pronto per essere iniettato, tramite delle resistenze cilindriche interne a 24V e resistenze a fascia a 240V. I principali difetti di questa tipologia di canale di iniezione rispetto ai canali freddi sono i seguenti: ha un costo e una complessità tecnica maggiore, consuma energia elettrica, se non ben controllato rischia di degradare il materiale siccome rimane per più tempo ad alte temperature, i materiali caricati con fibre possono dare problemi di intasamento e infine si possono avere dei problemi di perdite nel tempo. Però questa soluzione offre anche numerosi pregi, i quali sono stati ritenuti più importanti dei problemi che si possono riscontrare andando a scegliere questo sistema di iniezione. I principali punti di forza che sono stati valutati sono i seguenti:

- Riduzione degli scarti siccome non c'è la formazione di canali freddi che vanno successivamente smaltiti e riciclati. In Merlo non è presente un sistema di recupero del materiale di scarto quindi i canali freddi andrebbero smaltiti tramite delle aziende esterne andando ad aggiungere ulteriori spese indesiderate che, nel tempo, risulterebbero maggiori dell'acquisto della camera calda.
- Si ha una migliore qualità del pezzo finito siccome il materiale è mantenuto a una temperatura costante e si ottiene un riempimento più uniforme dello stampo riducendo difetti quali giunzioni fredde o linee di saldatura.
- Riduzione dei costi post-produzione perché non sono necessarie ulteriori operazioni atte alla rimozione dei canali freddi che risultano uniti al pezzo finito.

Infine, in fase di progettazione, bisogna tenere in conto che il punto di iniezione con camera calda sarà molto visibile sul pezzo, quindi, bisogna cercare di metterlo in posizioni non visibili una volta che il prodotto finito si trova in opera.

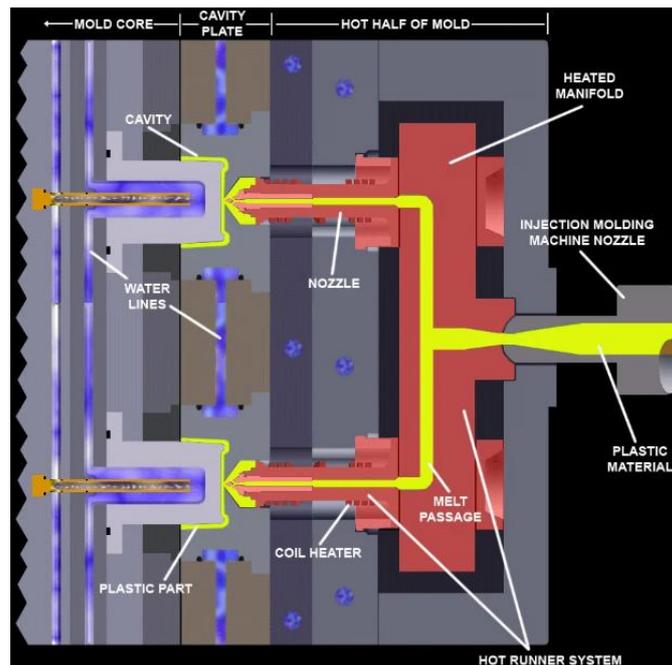


Figura 2.12 Schema di iniezione tramite canale caldo

In figura 2.12 è rappresentato lo schema di funzionamento di questo tipo di iniezione; come si può notare sulla destra è rappresentato l'ugello della pressa che va a contatto direttamente con la parte iniziale del canale caldo (rappresentato in rosso). In questo caso il canale caldo è doppio e va ad iniettare contemporaneamente in due pezzi ma il principio di funzionamento è il medesimo del canale singolo. La sede per la camera calda è ricavata direttamente nella piastra di iniezione quindi essa subirà un maggior riscaldamento anche se è presente dell'aria attorno che serve da isolante; quindi, ciò andrà tenuto in conto durante la progettazione del sistema di raffreddamento dello stampo. Il materiale fuso passando attraverso questo elemento viene iniettato direttamente nella cavità che genera il pezzo e una volta terminato il ciclo di iniezione solo la parte finale sarà solida mentre tutto il resto del materiale che si trova dietro rimarrà liquido all'interno della camera calda.

2.6 Progettazione integrata CAD/CAM e utensili per fresatura

La lavorazione meccanica più frequentemente utilizzata per la realizzazione di stampi per iniezione plastica è la fresatura. Essa è un'operazione ad asportazione di truciolo e la macchina utensile utilizzata è la fresatrice, solitamente a controllo numerico denominate CNC (Computerized Numerical Control). Le macchine CNC hanno all'interno dell'unità di controllo un PC integrato grazie al quale possono essere letti, modificati o anche creati programmi per la

realizzazione dei percorsi utensili. Solitamente in Merlo la programmazione è svolta dall'ufficio tecnico e agli operatori a bordo macchina è fornito il programma in linguaggio ISO il quale viene letto direttamente dalla macchina utensile. Però per quanto riguarda le lavorazioni più semplici, come le forature o simili, queste sono svolte dagli operatori i quali ricevono dall'ufficio tecnico le tavole quotate e scrivono il programma a bordo macchina.

Questo tipo di approccio è definito CAM (Computer Aided Manufacturing) ovvero produzione assistita da computer e rientrano in questa categoria tutti i software che permettono di generare le istruzioni necessarie a una macchina utensile per realizzare un determinato manufatto partendo da un progetto CAD.

Le funzionalità di un software CAM si possono dividere in:

1. Lettura e analisi di un disegno CAD
2. Simulazione virtuale di sistemi di controllo computerizzati
3. Calcolo con diversi algoritmi di percorsi utensile
4. Traduzione dei percorsi in linguaggio macchina

Un moderno software CAM opera sulla matematica della superficie da lavorare, modellata sia per solidi che per superfici ed esso è dotato di un proprio modellatore ma può ricevere le matematiche secondo gli standard più diffusi: IGES, VDA, STL ... La precisione del percorso utensile dipende pesantemente dagli algoritmi impiegati per approssimare le superfici reali:

- il percorso utensile viene generato direttamente a partire dal solido sottraendo da esso il volume generato dal moto dell'utensile e necessita di notevoli risorse computazionali per calcolare tutte le intersezioni che definiscono la forma lavorata
- Il percorso utensile è generato a partire dalle superfici del pezzo e dalla superficie dell'utensile, applicando la protezione dei contorni alle superfici stesse (e cioè la non intersezione tra di esse) e il contorno dell'utensile sempre tangente alla superficie lavorata
- Ogni ambiente di lavoro CAM è in grado di importare sia un disegno bidimensionale che tridimensionale sul quale esegue una serie di scansioni per calcolare i percorsi utensili attraverso diverse strategie, allo scopo di riprodurre l'oggetto da virtuale a reale nel modo più fedele possibile e cercando di ottimizzare al meglio il processo
- Un software di CAM, quindi, deve poter simulare nel modo migliore possibile il sistema computerizzato che lavorerà l'oggetto realizzato al CAD

- Siccome solitamente si parte da un blocco di materiale per creare l'oggetto reale il software deve disporre di diversi percorsi utensile a seconda del tipo di operazione che si va ad eseguire e solitamente si dividono in quattro categorie: sgrossatura, semi finitura, finitura e ripresa

Nella fresatura a controllo numerico computerizzato (CNC), l'utensile rappresenta un elemento cruciale per garantire la precisione, l'efficienza e la qualità della lavorazione. Gli utensili impiegati in questa tecnologia possono essere classificati secondo vari criteri come: la geometria, il materiale, l'uso specifico e il tipo di lavorazione eseguita. Di seguito si presenta la suddivisione in base alla geometria siccome è la più diffusa e si riescono a caratterizzare meglio gli utensili.

1. Fresa cilindrica: è una fresa a sezione cilindrica ed è caratterizzata da taglienti disposti sull'involuppo laterale e a volte anche sull'estremità frontale quindi può essere impiegata sia per lavorazioni perpendicolari che laterali. Presenta diverse varianti siccome può essere a taglio centrale che può penetrare il pezzo assialmente oppure a taglio non centrale e quindi richiede un foro di ingresso. Possono avere più taglienti e con l'aumentare di questo numero il truciolo evacuerà più difficilmente ma la fresa avrà maggiore rigidità e si riesce ad ottenere una finitura superficiale migliore. Una variante molto utilizzata di questa tipologia sono quelle chiamate a "candela" siccome hanno una parte senza taglienti più lunga e quindi sono adatte a lavorazioni in tasche più profonde ma bisogna tenere in conto che più la fresa sporge rispetto al mandrino e più fletterà e vibrerà andando ad inficiare la qualità della lavorazione.



Figura 2.13 Schema di una fresa cilindrica con evidenziazione di un tagliente

2. Fresa a sfera: ha un'estremità emisferica che consente l'asportazione di materiale con contatto puntuale e non lineare. È particolarmente utilizzata per realizzare superfici tridimensionali o per la finitura di superfici curve siccome ha un miglior adattamento a

questo tipo di superfici. Bisogna però tenere in considerazione che ha una minor capacità di asportazione di truciolo unito al fatto che sono soggette a una maggior usura.



Figura 2.14 Fresa sferica

3. Fresa toroidale: presenta all'estremità un raggio toroidale e non emisferico con una transizione arrotondata tra i taglienti laterali e quelli frontali. Possono essere utilizzate sia in fase di sgrossatura che di finitura e sono tra le più utilizzate perché sono una via di mezzo tra le due tipologie viste precedentemente siccome offrono una miglior distribuzione dello stress rispetto alle prime ma hanno una vita superiore rispetto alle seconde, oltre a una maggior robustezza del tagliente.



Figura 2.15 Confronto fresa cilindrica e torica

4. Frese per spianare: hanno solitamente un corpo cilindrico ampio con inserti intercambiabili montati radialmente e la particolarità è che tagliano solo i fianchi

inferiori. Sono adatte a spianare superfici ampie e piane quindi bassi valori di profondità di passata ma con avanzamenti e velocità di taglio più elevati.



Figura 2.16 Fresa per spianare a inserti

5. Frese a disco: hanno spessore ridotto e denti distribuiti radialmente lungo il bordo del disco. Vengono solitamente utilizzate per realizzare tagli sottili o per scanalature strette, nel caso della lavorazione degli stampi sono ideali per la creazione di sottosquadri, dove sono necessari. Bisogna tenere in conto che hanno una scarsa resistenza alla flessione laterale e una bassa capacità di rimozione materiale, quindi, è necessario utilizzare avanzamenti bassi. Spesso hanno degli inserti intercambiabili così una volta consumati si possono sostituire senza andare a cambiare tutto il corpo diminuendo i costi.



Figura 2.17 Fresa a disco a inserti

6. Frese a inserti intercambiabili: sono costituite da un corpo utensile che ospita inserti in metallo duro fissati meccanicamente. Possono essere realizzati con diversi tipi di materiale a seconda della durezza, delle prestazioni desiderate e del prezzo, quelli più utilizzati sono: carburo di tungsteno, ceramica, CBN (Cubical Boron Nitride) e diamante policristallino. Esse sono solitamente utilizzate per sgrossature e per produzioni su larga scala siccome sono frequenti i cambi utensile e si vanno a sostituire solo gli inserti anziché l'intera fresa. Un altro vantaggio è la maggior rigidezza e durabilità oltre che ad una ampia gamma di geometrie e gradi dell'inserto montabile sullo stesso corpo; quindi, si ha maggiore libertà di customizzazione. Questa tipologia si può applicare alle frese a spianare o quelle a disco (come visto precedentemente) ma anche sulle altre tipologie di fresa è applicabile questa metodologia.

Di seguito, in tabella 2.1, è riportata una tabella riassuntiva per mettere a confronto le diverse tipologie di fresa discusse precedentemente.

TIPO DI UTENSILE	GEOMETRIA	APPLICAZIONI PRINCIPALI	VANTAGGI	SVANTAGGI
FRESA CILINDRICA	Cilindrica con taglienti laterali e frontali	Profilatura, tasche, contorni 2D/3D	Versatilità, buone finiture, varie opzioni di taglienti	Limitata capacità di penetrazione assiale (se non a taglio centrale)
FRESA A SFERA	Estremità emisferica	Superfici curve, stampi, componenti 3D	Alta qualità superficiale, ottima per finitura 3D	Minore asportazione materiale, usura concentrata sulla punta
FRESA TOROIDALE	Estremità con raggio toroidale	Stampe, transizioni arrotondate, superfici tecniche	Buon compromesso tra sgrossatura e finitura, robustezza	Maggiore complessità nella programmazione CAM
FRESA A SPIANARE	Corpo grande con inserti radiali	Spianatura di grandi superfici, sgrossature rapide	Alta produttività, lunga durata (inserti sostituibili)	Ingombrante, richiede macchine stabili
FRESA A DISCO	Disco sottile con dentatura periferica	Tagli sottili, separazione pezzi, scanalature strette	Precisione, bassa resistenza al taglio	Fragilità laterale, scarsa rimozione trucioli

FRESA CON INSERTI	Corpo utensile con inserti meccanici	Sgrossatura intensiva, grandi volumi	Economia nel lungo termine, geometrie personalizzabili	Costo iniziale più elevato, tarature più complesse
----------------------	--	--	---	---

Tabella 2.1 Tabella riassuntiva relativa ai vari tipi di frese

Tutti gli utensili che sono presenti in azienda sono stati caricati nel carosello del software sia riguardo alle dimensioni che ai parametri di taglio e quando si sceglie un'operazione da eseguire si sceglie anche l'utensile adatto e tutti i parametri di taglio vengono automaticamente caricati tenendo anche in conto del materiale che si va a lavorare. L'unica variabile che deve essere scelta è il tipo di operazione, ovvero se si tratta di una sgrossatura, semi finitura o finitura.

3. RIPROGETTAZIONE DEL COMPONENTE

In questo capitolo viene analizzato sistematicamente il processo di riprogettazione del componente originario, sviluppato inizialmente per colata di resine epossidiche su stampo siliconico, ma riconfigurato per lo stampaggio a iniezione plastica secondo i criteri della norma ISO 20457:2018 sui requisiti dimensionali per componenti plastici.

3.1 Studio della matematica originale

Nella figura 3.1 è riportata la versione CAD iniziale della scatola con all'interno tutti i componenti che deve contenere eccetto i cavi di collegamento delle varie parti.

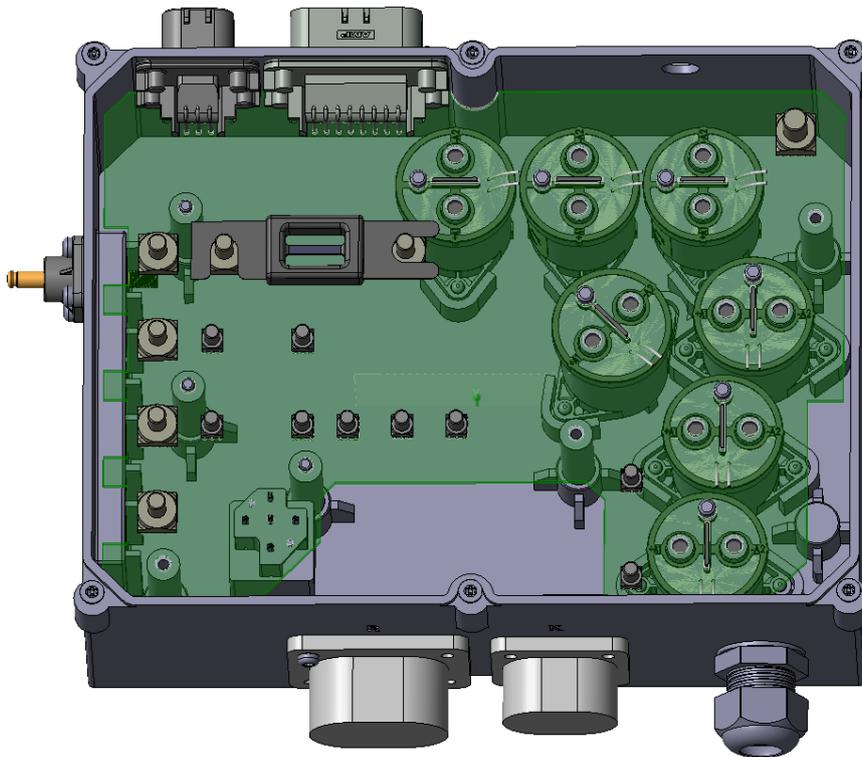


Figura 3.1 Complessivo 3D della scatola SIP iniziale con i componenti interni ed esterni

La funzione principale di questo componente è quello di contenere la scheda di potenza (elemento verde in trasparenza in figura 3.1) e permettere di connetterla all'ingresso e alle varie uscite. L'ingresso è posizionato sul lato inferiore verso destra in figura 3.1 ed esso è collegato direttamente alla batteria principale della macchina e attraverso questo ingresso entra corrente a 48V. La scheda di potenza gestisce il flusso di corrente in ingresso e lo redistribuisce nelle

varie uscite. Il connettore a tre poli, posizionato sul lato inferiore sul centro sinistra in figura 3.1 indicato con la lettera R, è attraversato da corrente a 48V la quale serve per il riscaldamento dell'intero abitacolo della macchina e per riscaldare i vetri. Alla sua destra è posizionata l'uscita alla quale va collegato il connettore a due poli denominato dalla lettera K, sempre a 48V, il quale serve ad alimentare la navicella che in caso di guasti fa scendere il braccio del telescopico diminuendo il pericolo di incidenti. Attraverso le uscite B, posizionate sul lato sinistro in figura 3.1, vengono collegati dei connettori muniti di trasformer DC/DC che convertono la corrente da 48 a 12 volt la quale serve per alimentare l'intera cabina. Infine, sulla parete in alto in figura 3.1, ci sono delle aperture (denominate dalle lettere X, Y) che servono per collegare dei connettori il quali gestiscono i segnali dell'inverter della macchina. Mentre all'interno ci sono vari componenti elettrici, come i relè, che servono per il corretto funzionamento della scheda di potenza.

La scatola è collegata alla macchina tramite un'apposita lastra in acciaio attraverso dei tasselli che vanno ad entrare in appositi fori praticati sul fondo della scatola fissandola di fatto alla macchina.

Nella figura 3.2 è riportato il dettaglio della scatola siccome è il componente che verrà trattato più dettagliatamente in seguito.

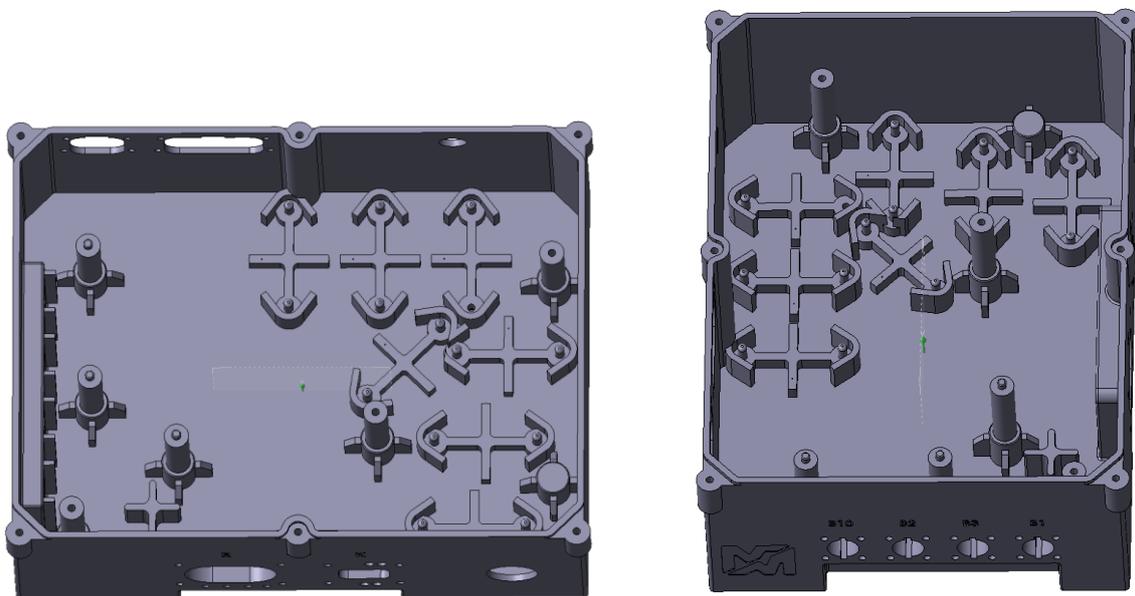


Figura 3.2 Panoramica della scatola SIP iniziale

Come si può osservare nella figura 3.2 ci sono alcuni particolari tecnici, i quali devono rispettare le proprie caratteristiche anche nel prodotto finito siccome rimangono uguali tra le due versioni

della scatola diventando così elementi vincolanti. Innanzitutto, le varie aperture devono mantenere le proprie dimensioni e posizione siccome all'interno di esse vanno posizionati dei connettori, i quali erano visibili in figura 3.1. Gli altri elementi importanti sono i perni di supporto per la scheda elettronica siccome essi devono assolutamente rimanere in questa posizione perché se spostati non andrebbero più ad accoppiarsi correttamente con la scheda impedendone il montaggio. Infine, i supporti dei relè anch'essi devono rimanere nella medesima posizione per assicurare il corretto accoppiamento. Elementi che possono essere modificati sono le sedi delle viti per la chiusura del coperchio, le quali possono essere spostate e/o aumentate o diminuite, e le parti esterne dell'involucro le quali dovranno essere adattate per permettere la produzione del componente tramite iniezione.

3.2 Principali problemi della scatola iniziale

Il maggiore problema dell'intero componente sono gli spessori siccome sono molto disomogenei e questo non permette un corretto stampaggio a iniezione. Infatti, le zone a spessore maggiore saranno le ultime a raffreddarsi, in particolar modo a cuore, il quale rimarrà caldo o addirittura liquido mentre il resto del componente sarà già solidificato. Ciò va a creare delle tensioni maggiori, quindi deformazioni, accanto alla zona a maggior spessore siccome questa parte si ritirerà quando le zone adiacenti saranno già solidificate. Inoltre, saranno zone a maggior porosità, di conseguenza, potranno subire minori tensioni a causa di questo difetto prima della rottura. Per osservare meglio la disomogeneità del pezzo è stata svolta una analisi dello spessore riportata in figura 3.3.

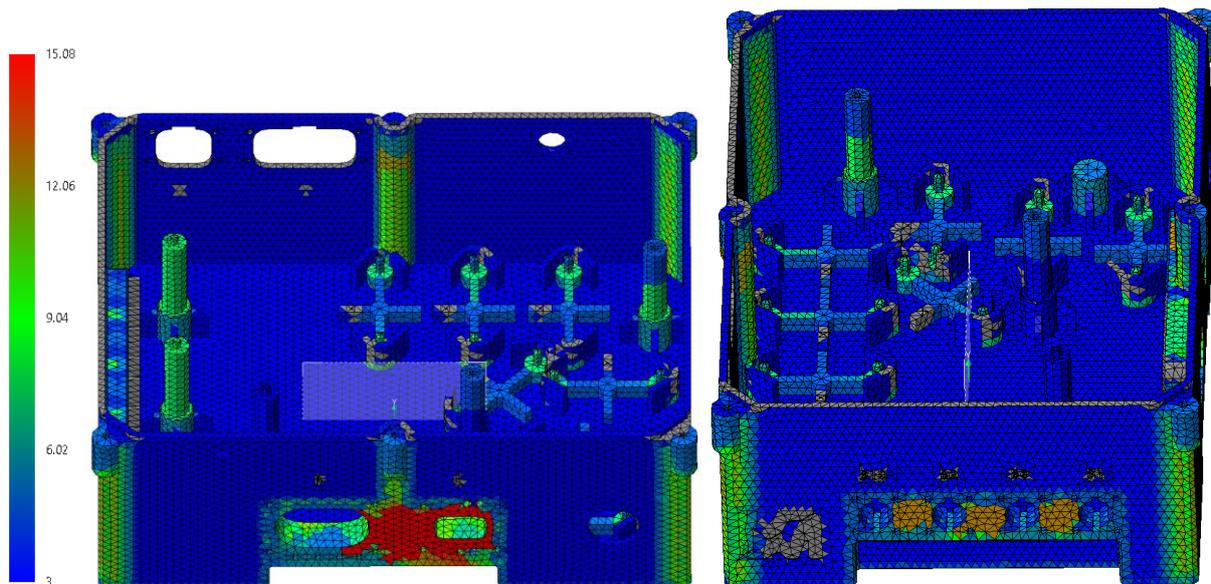


Figura 3.3 Anali sello spessore della scatola iniziale

La scala sulla sinistra riporta lo spessore degli elementi, che in questo caso va da circa 3 mm fino ad un massimo di 15 mm. Come si può osservare la maggior parte del componente ha uno spessore di circa 3 mm ma ci sono alcuni elementi con uno spessore decisamente più elevato. Innanzitutto, le colonne di supporto per le viti hanno uno spessore che va dai 8 ai 10 mm come anche i perni di supporto per la scheda elettronica. I punti più critici si trovano in corrispondenza delle aperture su cui vanno a fare battuta i connettori esterni, le quali hanno uno spessore di circa 13 mm nella figura 3.3 di destra e di circa 15 mm nella figura 3.3 di sinistra. Si precisa infine che gli elementi in grigio assumono questo colore siccome sono fuori scala (per la precisione sotto i 3 mm di spessore) ma questo è solo un errore dovuto al calcolo degli spessori da parte di VISI siccome sono in corrispondenza delle scritte quindi da non tenere in considerazione.

Questa differenza di spessore non può essere accettata quindi saranno le aree a maggior spessore che subiranno un intervento più massiccio di riprogettazione al fine di migliorarle per il processo produttivo desiderato.

3.3 Modifiche progettuali

Con la prima modifica si è mirato a migliorare le zone più critiche individuate precedentemente andando a diminuire gli spessori localmente. Si è subito notato che diminuendo gli spessori nelle zone critiche ci si è trovati di fronte al primo problema, ovvero la zona si indeboliva.

Bisogna infatti considerare che in questi punti vanno fissati dei connettori i quali devono essere saldamente attaccati alla scatola perché attraverso le guarnizioni rendono il componente impermeabile. Infatti, si è andata a rinforzare la zona inserendo numerose nervature, le quali fungono da supporto sia per il foro centrale che per le viti, siccome sarà proprio attorno ad esse che si andranno ad intensificare le tensioni dovute alla forza di serraggio. Questa operazione è stata svolta sia sul lato nel quale vanno ad attaccarsi i connettori da due e tre poli (K, R) come riportato in figura 3.4 sia sul lato in cui vengono attaccati i connettori a un polo (B1, B2, B3, B10) riportato in figura 3.5.

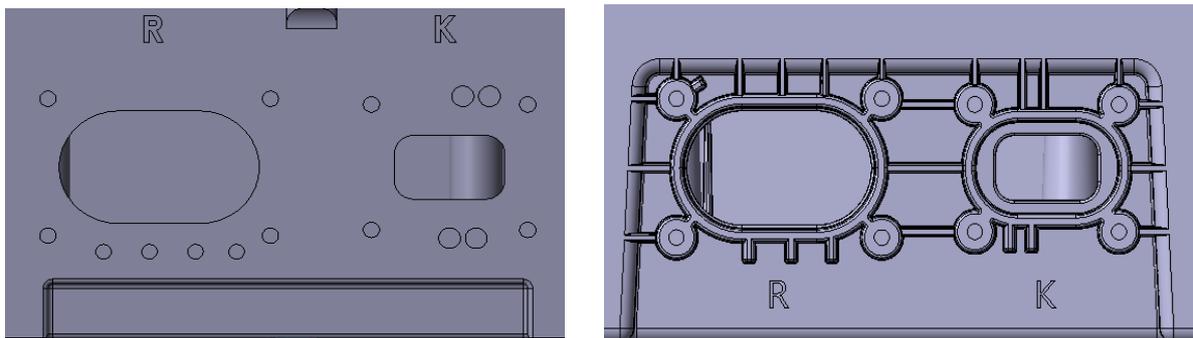


Figura 3.4 Dettaglio dell'accoppiamento con i connettori a 2 e 3 poli prima e dopo le modifiche

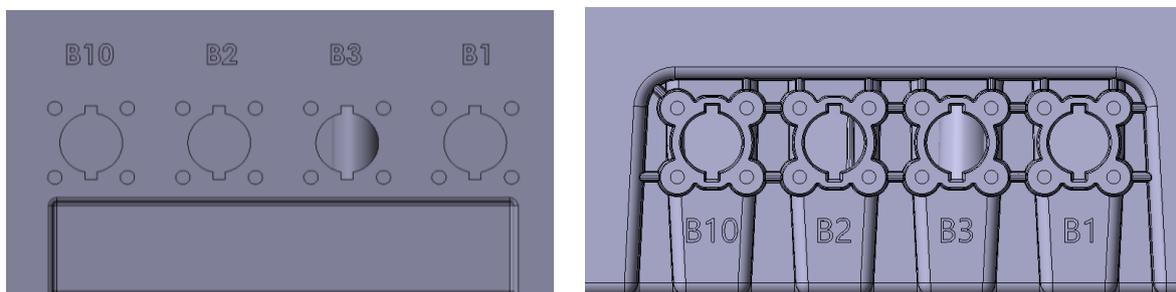


Figura 3.5 Dettaglio dell'accoppiamento con i connettori a un polo prima e dopo le modifiche

Per quanto riguarda il lato interno riportato in figura è anche stato svolto un miglioramento dal punto di vista costruttivo siccome nella scatola originale era presente una importante struttura di rinforzo. Per poter mantenere le caratteristiche tecniche di questa zona ma rendendola comunque adatta allo stampaggio ad iniezione, si è andata a creare una struttura di rinforzo interna utilizzando sempre delle nervature, visibile in figura 3.6.

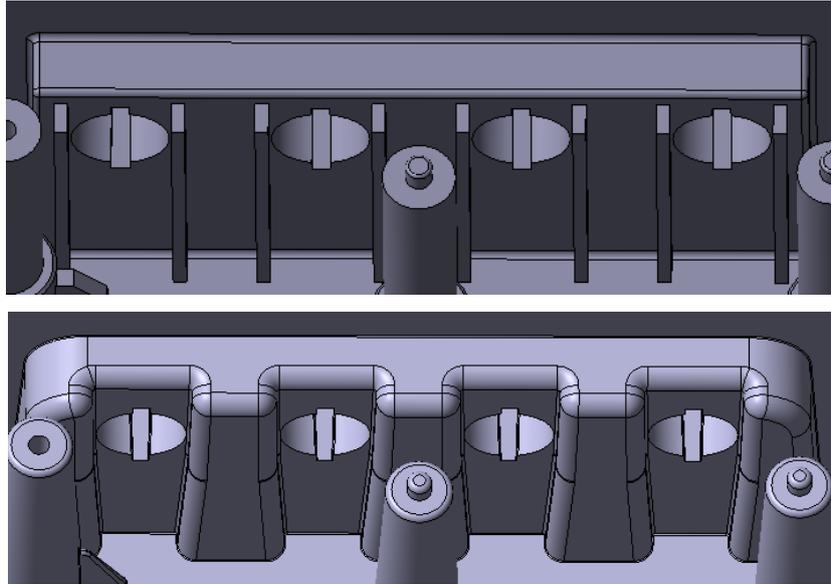


Figura 3.6 Nervature di rinforzo per i connettori a un polo prima e dopo le modifiche

Successivamente ci si è concentrati sul fondo e l'interno del contenitore siccome grandi superfici piane hanno più probabilità di subire deformazioni durante il ritiro rispetto a una superficie rinforzata tramite nervature, perciò, si sono aggiunte sul fondo e sulle pareti laterali. Inoltre, esse sono state fatte in modo funzionale rispetto all'altezza, infatti, per questo parametro si è scelto come riferimento il rialzo che avevano i relè. Il supporto di quest'ultimi non è più stato affidato a delle nervature ma bensì ad un piano andando ad aumentare la superficie d'appoggio, quindi, migliorandone la stabilità, mentre sono stati mantenuti i perni di centraggio. Applicando questi cambiamenti il tassello di estrazione dello stampo che andrà a creare tutta la parte interna della scatola rimarrà planare con il piano d'appoggio dei relè e sarà sufficiente ricavare i perni di centraggio e le "tasche" tra le nervature facilitando le lavorazioni meccaniche. Per non andare ad ispessire troppo la parte di appoggio dei relè si è andato a ridurre lo spessore nella parte inferiore della scatola inserendo anche in questa parte delle nervature di supporto per prevenire le deformazioni. Tutte queste modifiche si possono osservare nelle figure 3.7 e 3.8.

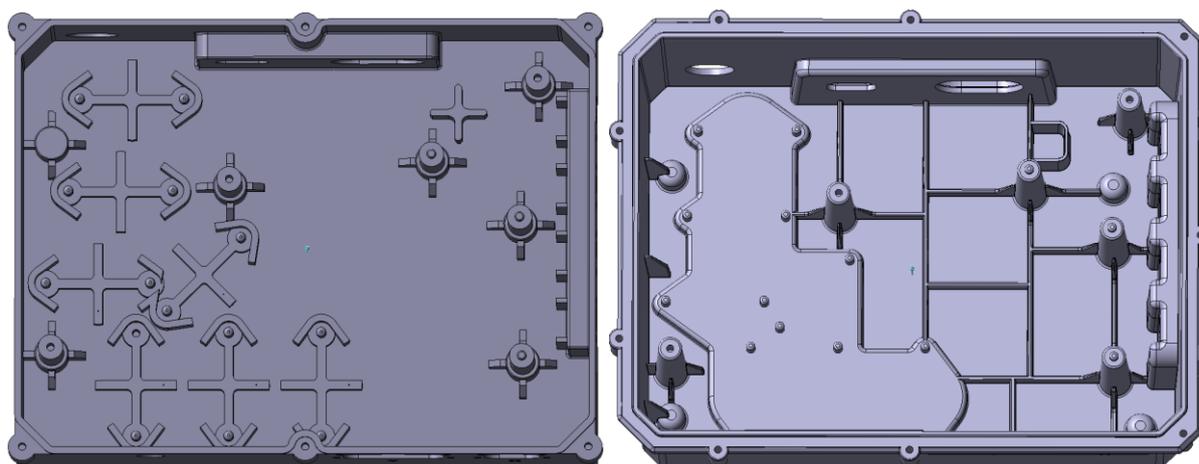


Figura 3.7 Vista dell'interno della scatola prima e dopo le modifiche

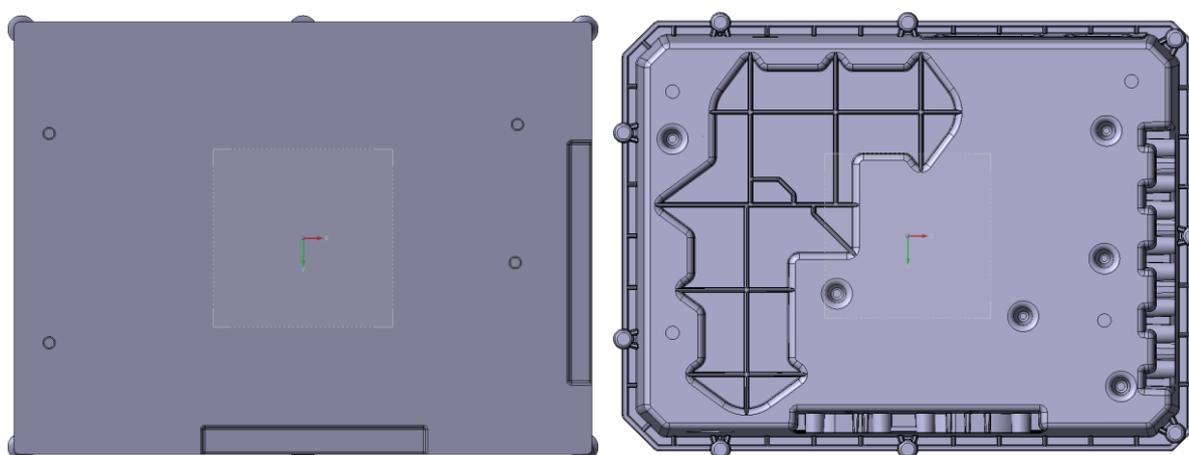


Figura 3.8 Vista del fondo della scatola prima e dopo le modifiche

Altro punto fondamentale è stato la modifica dei perni di supporto della scheda elettronica siccome nella versione originale avevano due diametri, maggiore sul fondo e minore verso la punta, ma ciò costituisce un problema per lo stampaggio ad iniezione. Quindi essi sono stati trasformati da cilindrici a tronco di cono con base maggior sul fondo e minore sulla punta. Così facendo si è potuto “scaricarli” dal fondo della scatola ottenendo così uno spessore costante dal fondo alla punta, questo dettaglio è presente in figura 3.8. Inoltre, facendoli a tronco di cono non sarà necessario aggiungere della spoglia in fase di costruzione dello stampo perché essa sarà intrinseca dell'elemento. Le nervature dei perni sono la normale continuazione di quelle fatte per il fondo andando a stabilizzarli ma senza andare a complicare ulteriormente le lavorazioni del tassello di estrazione, dettaglio visibile in figura 3.7.

In seguito, si è lavorato sulla chiusura della scatola e per rendere il carico dovuto al serraggio delle viti distribuito il più omogeneamente possibile sulla guarnizione per ottimizzare la tenuta si è aumentato il numero di viti da 6 a 11. Come si può notare in figura 3.3 gli angoli e i supporti delle viti costituiscono uno spessore maggiore rispetto alle pareti e ciò non può essere tollerato perché andrebbe a creare distorsioni eccessive impedendo così la chiusura della scatola. Per ovviare a questo le sedi delle viti sono state distanziate rispetto alle pareti e collegati ad esse attraverso delle nervature mantenendo così lo spessore omogeneo. Conseguentemente è stato creato tutto il bordo superiore in modo tale che potesse inglobare le viti e garantire una base d'appoggio più ampia per il coperchio semplificando anche le operazioni di montaggio. Per rendere questa modifica il più resistente possibile sono state aggiunte delle nervature nella parte inferiore, le quali garantiscono che la superficie di appoggio per il coperchio rimanga piana e poco soggetta a deformazioni. Questa modifica oltre ai benefici appena illustrati è anche utile per l'estrazione del pezzo siccome aiuta a trattenere il pezzo nella parte di estrazione, siccome lo stampo sarà costituito da tre piastre.

Gli angoli della scatola non sono più retti ma hanno un raggio di raccordo importante con in mezzo una parte piana. Questo serve per evitare che la guarnizione faccia curvature troppo brusche mentre per la scatola diventa utile siccome un raggio di raccordo unico e di dimensioni più elevate produrrebbe il così detto "effetto scatola". L'effetto appena citato consiste in una deformazione eccessiva delle pareti laterali creando una curvatura verso l'interno indesiderata. Se si verificasse questo difetto il coperchio non sarebbe più in grado di accoppiarsi correttamente con la scatola.

Un altro dettaglio che si è preso in considerazione, iniziando già a pensare su come costruire lo stampo, sono le finestre che si accoppiano con i connettori X e Y, le quali saranno ottenute da un carrello. Esse non possono avere una superficie esterna inclinata, dovuta alla spoglia, perché altrimenti i connettori sarebbero inclinati conseguentemente impedendo così il corretto collegamento con la scheda di potenza. Per evitare questo problema si è generata una superficie piana sulla quale agirà successivamente il carrello. La differenza rispetto al pezzo originale è rappresentata in figura 3.9.

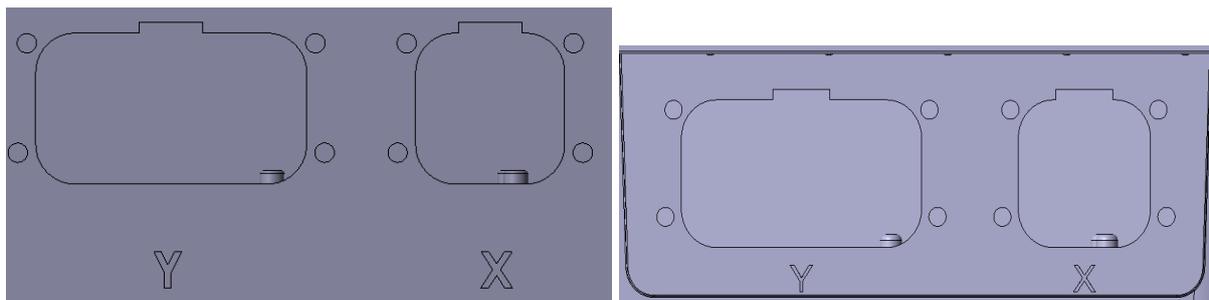


Figura 3.9 Dettaglio dell'accoppiamento con i connettori per l'inverter prima e dopo le modifiche

Infine, tutte le pareti verticali e le nervature sono state inclinate di 2° per permettere la corretta estrazione del pezzo dallo stampo applicando la norma ISO 294-3 la quale prevede che gli angoli di sforno siano superiori a 1° e sono stati applicati tutti i raccordi necessari, dove possibile, per far fluire meglio il materiale all'interno degli stampi.

In figura 3.10 è riportata la scatola con tutte le modifiche fatte in questa fase di progettazione sopra illustrate.

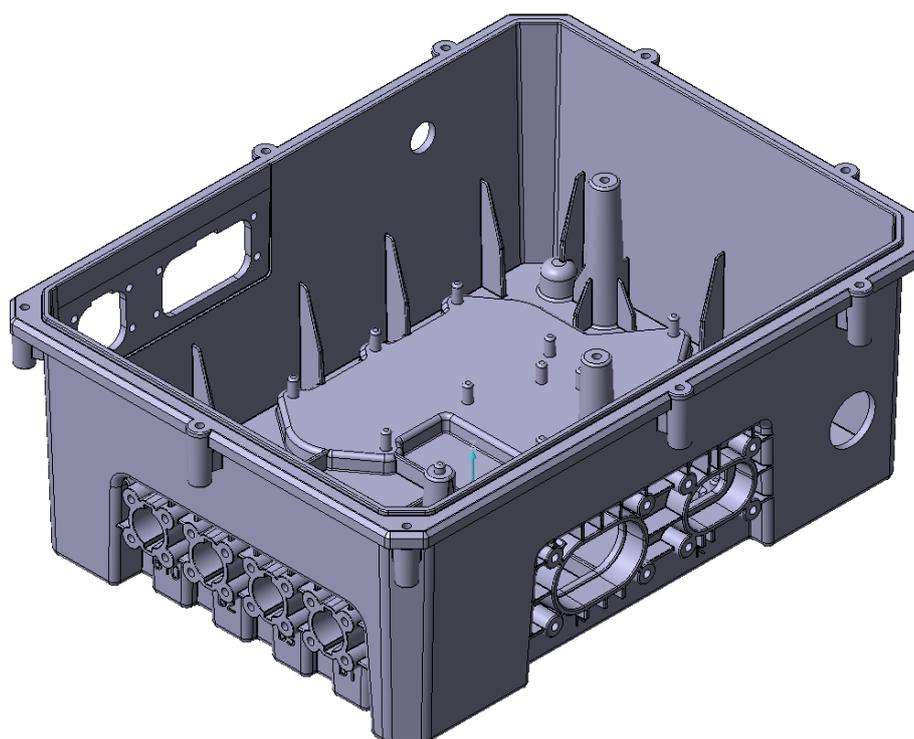


Figura 3.10 Panoramica della scatola dopo le modifiche sopra riportate

Durante un confronto con l'ufficio tecnico è stato riscontrato un altro problema, che la base di supporto per la guarnizione dei connettori a due e tre poli (K, R) non fosse sufficiente e quindi non fosse garantita l'impermeabilità.

Per risolvere questo problema si è optato per creare una superficie unica sulla parte superiore andando di fatto a collegare la parte esteriore del foro dei connettori R e K con la parete esterna della scatola. Per quanto riguarda la parte inferiore le nervature sono state modificate al fine di ampliare il più possibile la base di appoggio della guarnizione mantenendo comunque spessori adeguati. Un altro vincolo di cui si è venuti a conoscenza durante il colloquio con l'ufficio tecnico è la posizione delle nervature. In questa zona del componente sono stati utilizzati dei sistemi poka-yoke (significa "a prova di errore"), che seguono la filosofia della Lean Production del miglioramento continuo, i quali servono ad evitare errori umani durante il montaggio. In particolare, le nervature devono essere posizionate in luoghi strategici siccome per il connettore a tre poli (lettera R) deve essere impedito il montaggio nel verso opposto quindi con la prima versione questo vincolo non era rispettato mentre andando ad unire la parte superiore del foro con la parete questo problema è stato risolto. Anche il connettore a due poli (lettera K) deve poter essere montato solo in un verso ma ci possono essere diversi tipi di connettori per questa uscita, quindi le aperture create permettono il montaggio di qualsiasi connettore utilizzato e contemporaneamente impedisce che possa essere montato nel verso sbagliato. Infine, sono state aggiunte un'ulteriore nervatura centrale per ridurre al minimo le deformazioni in questa zona evitando così di deformare troppo i fori, i quali devono accoppiarsi con i connettori. All'interno del foro per il connettore K sono state aggiunte delle guide che aiutassero l'operatore durante il montaggio facilitando il posizionamento del connettore.

Le modifiche sopra citate si possono osservare nella figura 3.11 che mette a confronto la zona modificata prima e dopo i cambiamenti effettuati.

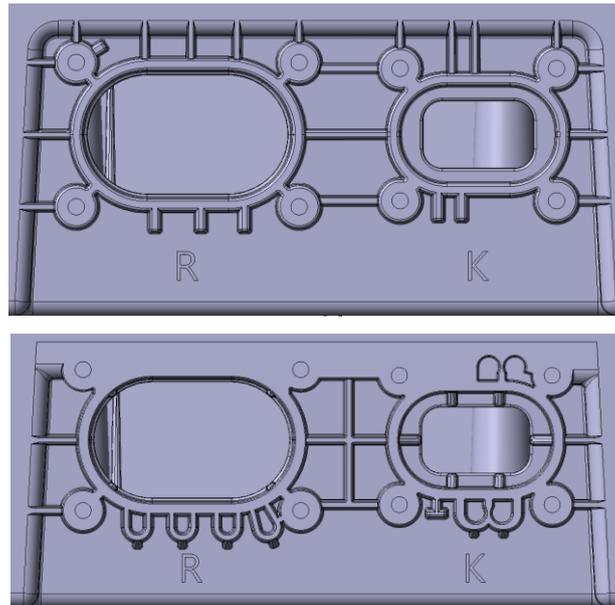


Figura 3.11 Dettaglio delle nervature prima e dopo il confronto con l'ufficio tecnico

3.4 Prototipazione rapida tramite stampa 3D

Una volta ultimate le modifiche progettuali si è deciso di stampare il componente tramite una stampante 3D per verificare che le variazioni effettuate non impedissero il montaggio dei componenti interni e che le posizioni per gli ingressi e uscite di corrente fossero esatte.

La prima osservazione che viene fatta riguarda i connettori B, in particolar modo si è notato che la guarnizione, non avendo più una superficie di contatto piana al di sotto ma essendo sostenuta da nervature presenta delle deformazioni come si può notare in figura 3.12.



Figura 3.12 Dettaglio della deformazione della guarnizione sui connettori a un polo

Detto ciò, non ci sono notevoli problemi perché il grado di protezione IP è mantenuto e la scatola continua a rimanere impermeabile.

Un altro problema è stato riscontrato durante la fase di montaggio dei relè perché non essendoci più una vera e propria sede di appoggio sul fondo ma solo i perni di centraggio, che erano stati diminuiti in altezza da 9 a 5 mm, risultava difficoltoso il loro posizionamento.



Figura 3.13 Dettaglio sul posizionamento dei relè

Per risolvere questo problema sono state adottate le seguenti contromisure. Per prima cosa si è aumentata nuovamente l'altezza dei perni di centraggio a 8 mm migliorando così la stabilità del relè sul fondo. Siccome il problema si verificava durante il montaggio, ovvero far passare i cavi uscenti dalla parte superiore dei relè da sotto a sopra la scheda di potenza, si sono aggiunti dei supporti laterali che aiutassero i relè a rimanere fermi durante le operazioni di assemblaggio.

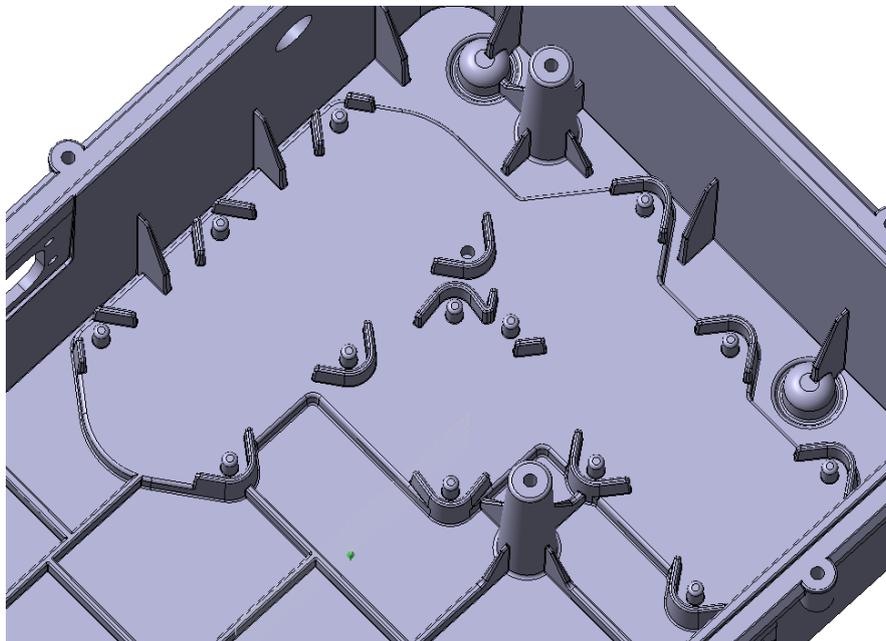


Figura 3.14 Aggiunta dei supporti per tenere in posizione i relè

Altro dettaglio modificato è la posizione del foro del cavo di ingresso che precedentemente si trovava verso la parte inferiore della scatola. Si è venuti a conoscenza del fatto che esso doveva essere collegato alla parte superiore della scheda, quindi, necessariamente veniva piegato notevolmente affinché potesse arrivare alla posizione corretta. Per evitare questo problema si è deciso di spostare la sua posizione nella parte superiore della scatola in modo che il cavo passante al suo interno potesse collegarsi agevolmente alla scheda senza dover compiere percorsi articolati.

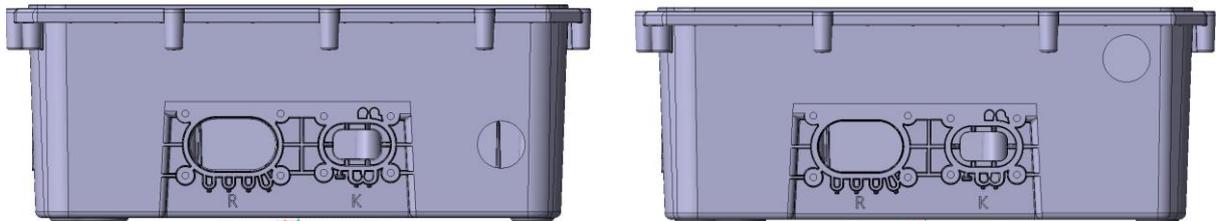


Figura 3.15 Prima e dopo lo spostamento del foro e delle sedi delle viti

Nella figura 3.15 si può notare sia lo spostamento del foro per l'ingresso della corrente, precedentemente discusso, sia lo spostamento delle sedi per le viti di chiusura del coperchio. Questo cambiamento è stato fatto perché si sarebbe verificato un impedimento nel passaggio del cavo se la sede della vite si fosse trovata nella stessa posizione. Quindi il numero delle viti è stato diminuito da 11 totali a 10 perché se si fosse semplicemente spostata la sede della vite più a sinistra la pressione di chiusura della guarnizione non sarebbe più stata omogenea in quanto sulla parte sinistra la chiusura sarebbe stata molto superiore alla destra. Andando a diminuire il numero delle viti non è stata inficiata l'impermeabilità del componente e allo stesso tempo si è diminuito, seppur di poco, il tempo di montaggio totale.

Gli ultimi dettagli che si sono notati andando a montare il contenuto all'interno della scatola sono la lunghezza delle viti che sono più lunghe di quelle originali e a testa cilindrica e non più svasata, come erano precedentemente, e la guarnizione del coperchio è stata cambiata siccome la nuova scatola ha una scanalatura più larga. Queste modifiche non portano a un sostanziale cambiamento della scatola nelle sue funzionalità ma è bene notarle per poter aggiornare la distinta base del componente riguardo la viteria e la guarnizione. In seguito, è riportata l'immagine della scatola prototipale con tutti i suoi componenti interni e i vari connettori collegati (figura 3.16).

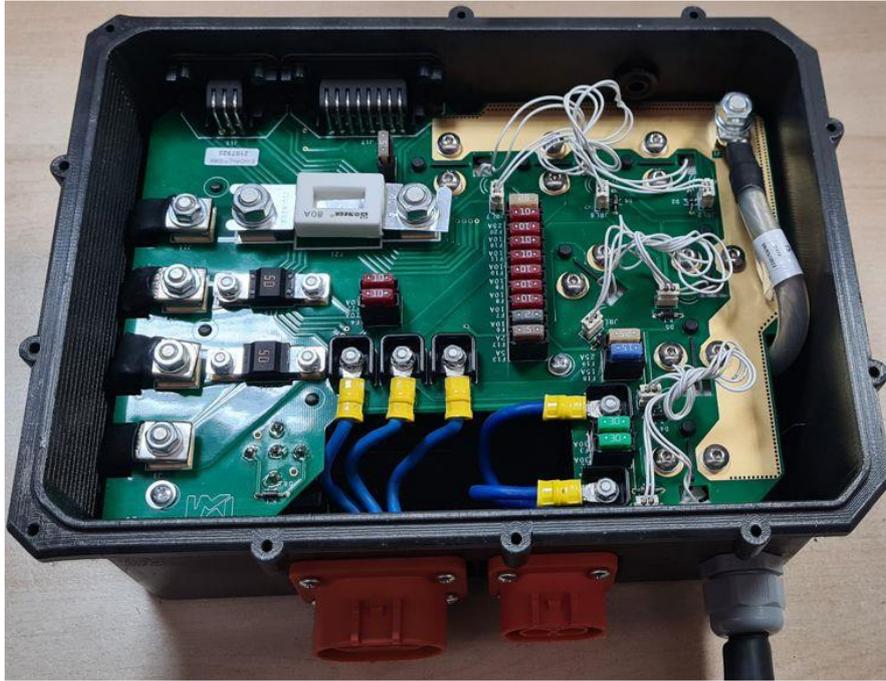


Figura 3.16 Scatola prototipale con tutti i componenti interni ed esterni montati

L'ultima modifica che ha portato il componente alla sua forma finale riguarda le uscite dei connettori X e Y che è stata modificata già pensando alla progettazione dello stampo. Infatti, questa zona sarà ricavata da un tassello su un carrello mobile laterale che servirà per ricavare il foro e conseguentemente i fori per le viti e le lettere di nostro interesse. Per ridurre al minimo la sua dimensione si è optato per spostare le lettere sul fianco dell'apertura andando a diminuire così l'altezza della parte piana e conseguentemente la dimensione del carrello.

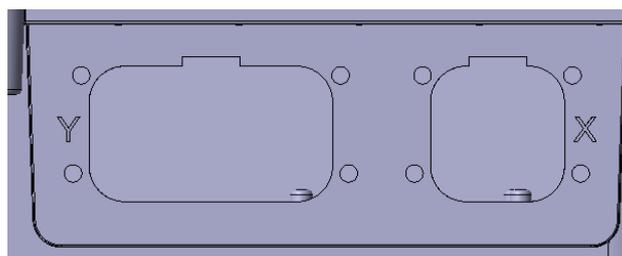


Figura 3.17 Dettaglio per vedere lo spostamento delle lettere X e Y

In figura 3.18 è riportata la scatola definitiva.

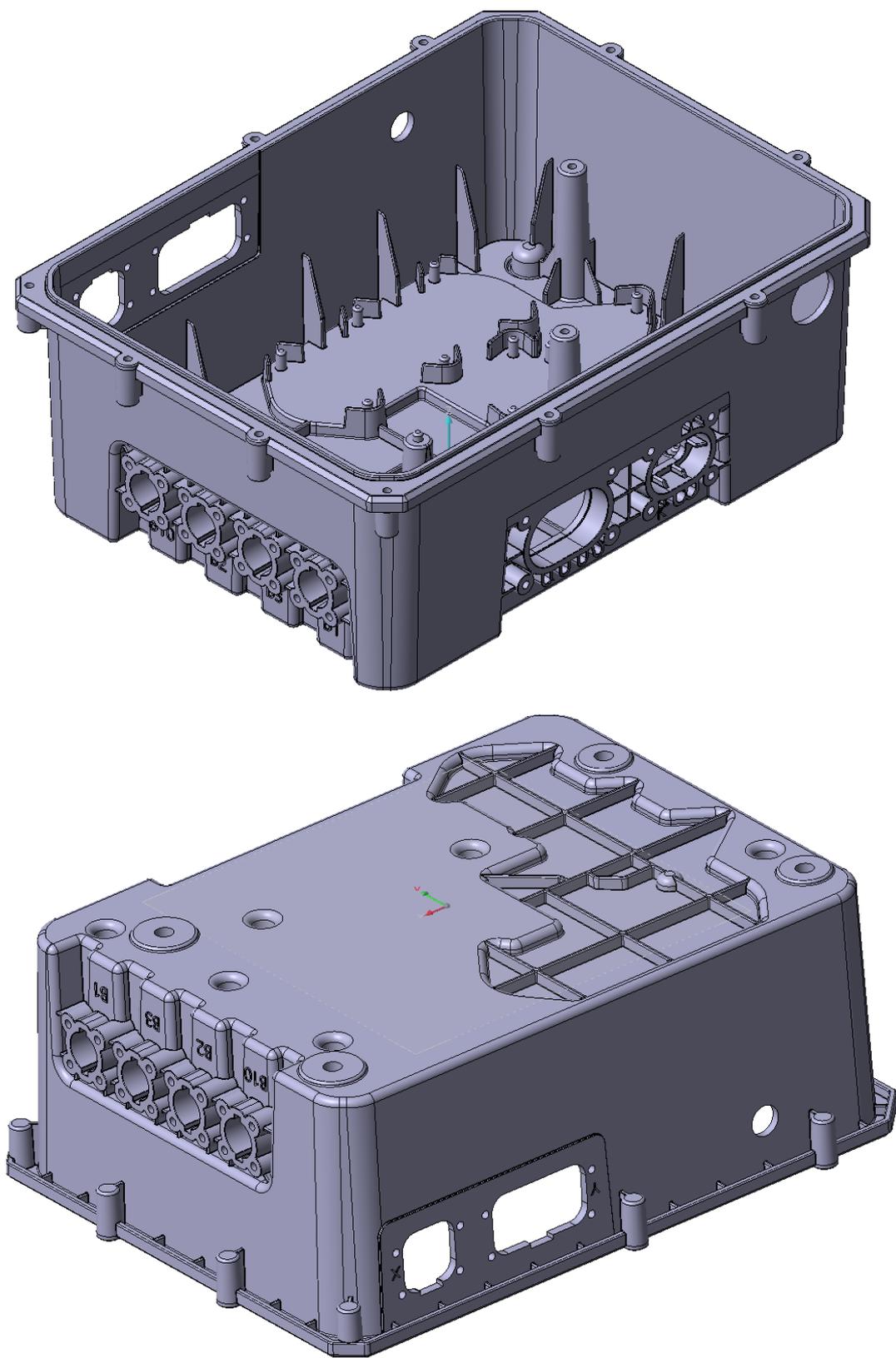


Figura 3.18 Scatola SIP definitiva

4. ANALISI FEM DI FLUSSO E DEFORMAZIONE

Ottenuta la geometria definitiva del componente si può iniziare a svolgere le analisi di flusso e deformazione per decidere i vari parametri da impostare sulla pressa per ottenere la qualità ottimale sul pezzo finito.

4.1 Scelta del materiale e preparazione del modello

Le dimensioni caratteristiche del pezzo sono le seguenti:

Volume: 534354.1771 mm³

Lunghezza massima: 283 mm

Larghezza massima: 217 mm

Altezza massima: 105 mm

Lo spessore delle pareti e della base è all'incirca di 3 mm escluse alcune zone (argomento trattato più dettagliatamente in seguito) quindi il componente ha dimensioni importanti ma con uno spessore ridotto. Il peso del componente, considerando un ABS con il nome di "TERLURAN GP-22" con densità pari a 1.04 g/cm³, è di 555.73 g. In seguito, sono riportati alcuni grafici che riguardano le caratteristiche fisico-meccaniche del materiale scelto.



Grafico 4.1 Variazione viscosità rispetto al gradiente di scorrimento a varie temperature

Come era già stato fatto notare nel capitolo 2.1 riguardo la reologia si può notare la diminuzione della viscosità, anche del materiale scelto, all'aumentare della velocità di scorrimento, inoltre si osserva che anche la temperatura gioca un ruolo decisivo. Infatti, a parità di gradiente di scorrimento più la temperatura è elevata e più la viscosità è bassa.

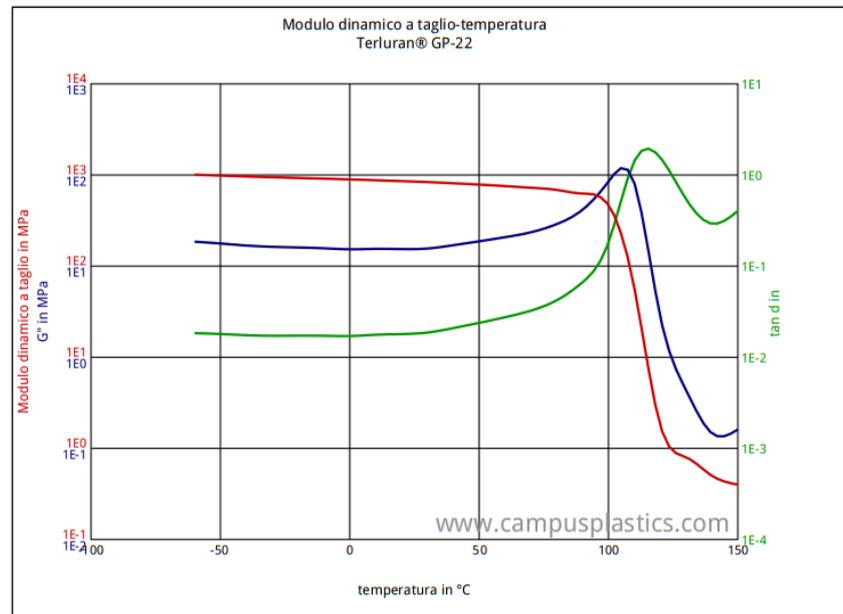


Grafico 4.2 Andamento del modulo di taglio con la temperatura

Nel grafico 4.2 la curva di maggior interesse è quella rossa siccome riferisce il valore del modulo dinamico a taglio in Mpa, unità di misura utilizzata anche durante le analisi di riempimento. Si può notare che in corrispondenza di circa 100°C la resistenza del materiale crolla drasticamente; quindi, il componente non potrà lavorare a temperature maggiori di quest'ultima. Infine, nel grafico 4.3 si osserva come le curve sforzo-deformazione variano in maniera importante con piccoli incrementi di temperatura andando a diminuire sia lo sforzo massimo che la deformazione massima che il materiale può sopportare. In realtà queste ultime curve hanno un interesse limitato per il componente trattato in questo progetto siccome non è un pezzo che svolge funzioni strutturali.

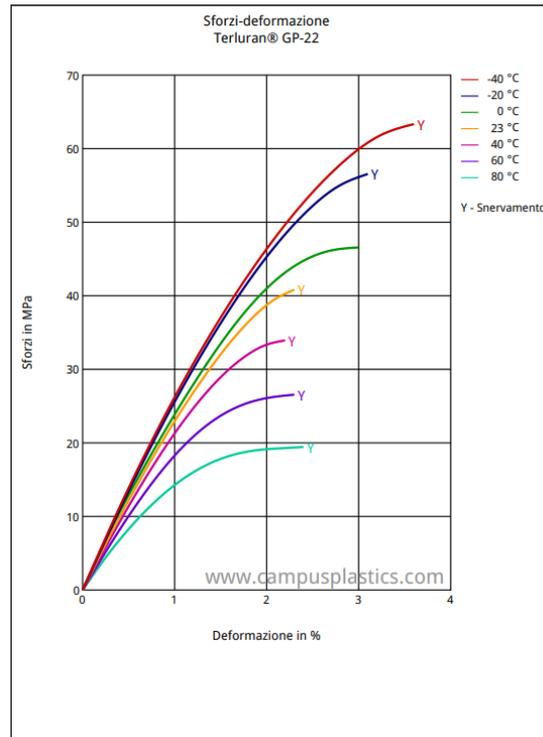


Grafico 4.3 Curva Sforzo-deformazione

Per quanto riguarda la preparazione del modello per le analisi in prima battuta si verifica la geometria CAD per controllare che il componente sia un solido procedendo con il calcolo del ritiro, in questo caso si è fatto riferimento al punto di iniezione per applicare il ritiro. Seguendo questo procedimento il software crea un nuovo design tenendo conto del coefficiente di ritiro dell'ABS (0.55 % sia di ritiro trasversale che longitudinale) e quindi andando a maggiorare tutte le dimensioni per questo valore. Tutte le successive analisi verranno condotte sul componente con volume maggiorato, comprese quelle di deformazione ed esso sarà considerato come componente teorico su cui basare il calcolo degli scostamenti. Si continua con la discretizzazione che consiste essenzialmente nella scelta della dimensione media degli elementi finiti triangolari con i quali verrà creata la mesh del modello. Nello specifico si è utilizzato il valore consigliato dal software per la lunghezza del lato dell'elemento pari circa a 3 mm, buon compromesso tra leggerezza del modello e approssimazione di tutte le superfici del pezzo, non essendo presenti parti a spessore o curvatura eccessivamente ridotti.

4.2 Calcolo degli spessori

L'operazione da eseguire successivamente è il calcolo degli spessori per verificare che non ci siano anomalie nel modello e che durante la fase di progettazione non sono stati compiuti degli errori. Di seguito, in figura 4.1, è riportato il risultato dell'analisi.

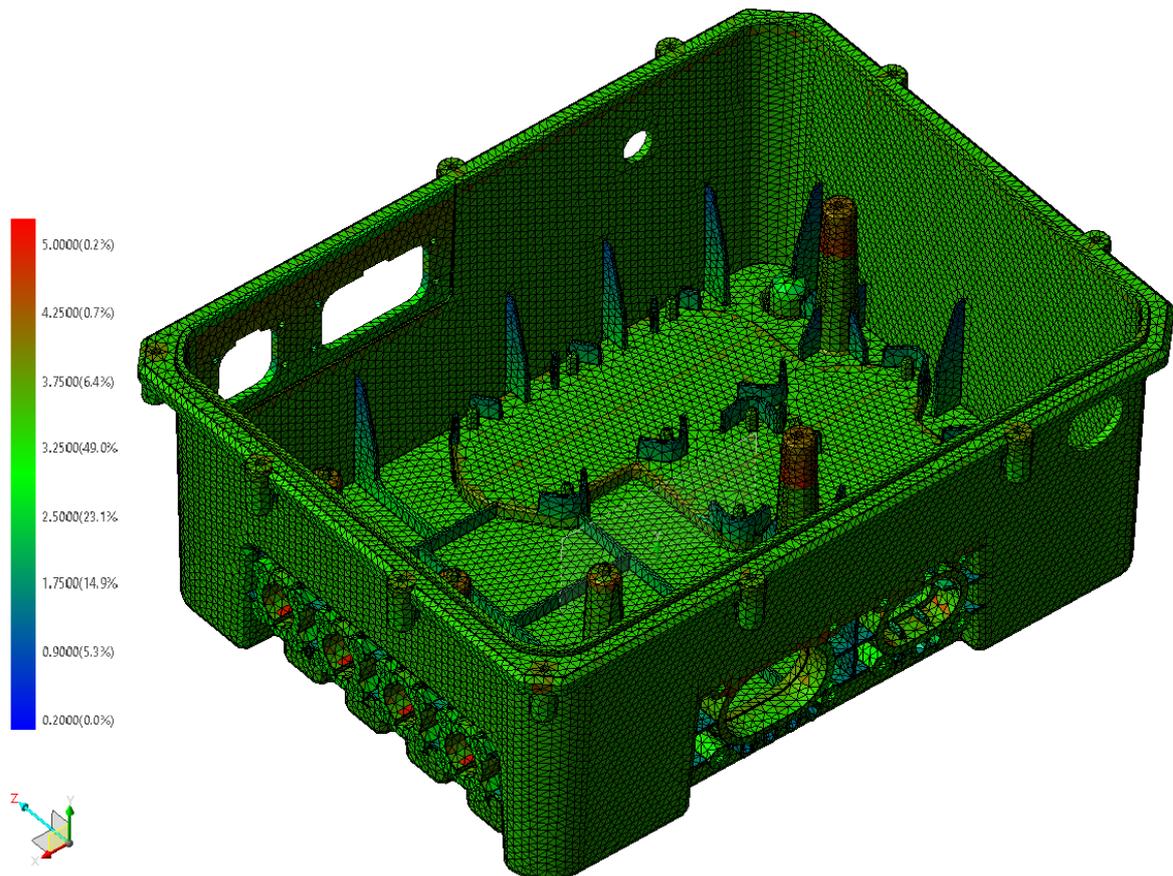


Figura 4.1 Analisi dello spessore

A colpo d'occhio si può intuire che gli spessori sono molto omogenei siccome vanno da un valore di circa 0.2 mm fino a un massimo di 5 mm. I valori estremi non sono da considerare, in particolar modo quelli di 0.2 mm siccome sono solo alcuni triangoli ossia quelli che compongono le scritte, quindi un errore di calcolo del programma. Come è rappresentato nella scala graduata in figura 4.1 (ogni valore di spessore si riferisce ad un valor medio tra due, ad esempio 2.5 mm rappresenta l'intervallo 2-3) la maggior parte del componente ha uno spessore che va da 3 a 3.5 mm, il 49% del componente. Si ha una leggera distribuzione di spessore attorno a questi valori, da 1.5 a 2 mm del 14.9% e da 3.5 a 4 mm del 6.4%, tranne in alcune zone come alcune sedi delle viti di fissaggio della scheda di potenza con uno spessore maggiore o qualche nervatura nella zona dei connettori di spessore minore. Quindi si nota che il

componente, escluse alcune zone trascurabili, rispetta la norma ISO 10724-1 la quale suggerisce un range ottimale per ABS riguardo gli spessori tra 1.5 e 4 mm. Altro dettaglio che deve essere evidenziato è lo spessore delle nervature sulla parete di fondo, le quali hanno uno spessore di circa 2 mm rispetto alla parete che è pari a 3, quindi saranno necessariamente presenti dei leggeri segni di risucchio siccome per fare in modo che non siano visibili dovrebbero essere spesse al massimo la metà dello spessore della parete, ossia 1.5 mm. In realtà questo non è un problema siccome la faccia inferiore della scatola non sarà visibile una volta montata. Al contrario le nervature laterali hanno uno spessore sulla punta pari a 1 mm e verso il fondo arrivano al massimo a 2.4 mm; quindi, in questa parte saranno leggermente visibili dall'esterno dei segni di risucchio ma non è stato possibile fare in altro modo perché necessitano di un angolo di spoglia per essere estratte e non si poteva ridurre ulteriormente lo spessore dell'estremità superiore.

4.3 Parametri scelti per l'analisi di riempimento

Terminate le fasi precedenti si prosegue con la formattazione del modello, grazie alla quale sarà possibile fare le analisi successive ma non si potranno più fare delle modifiche sui parametri precedentemente assegnati, pena la perdita delle analisi già svolte.

In questo caso il punto di iniezione più immediato e più semplice è quello che è stato scelto, ovvero il centro della parete inferiore della scatola. Si è optato per questo punto perché in concomitanza della decisione del punto di iniezione è avvenuta quella del metodo di iniezione, la camera calda; inoltre, questo punto d'iniezione rispetta la norma ISO 16916. Utilizzando questo approccio di riempimento sarà inevitabile avere dei segni sulla parete in cui si inietta e serve una superficie abbastanza ampia quindi si è scelto questo punto siccome una volta che la scatola sarà fissata sul fondo e i vari componenti interni posizionati il difetto non sarà più visibile. Inoltre, questa posizione consente un flusso unidirezionale e bilanciato quasi perfettamente, si vedrà più nel dettaglio nelle analisi successive. Altro vantaggio è che si potrà ricavare tutta la parte inferiore della scatola dalla piastra d'iniezione e la linea di chiusura sul pezzo rimarrà al termine del raccordo tra le pareti laterali e quella di fondo, quindi poco visibile.

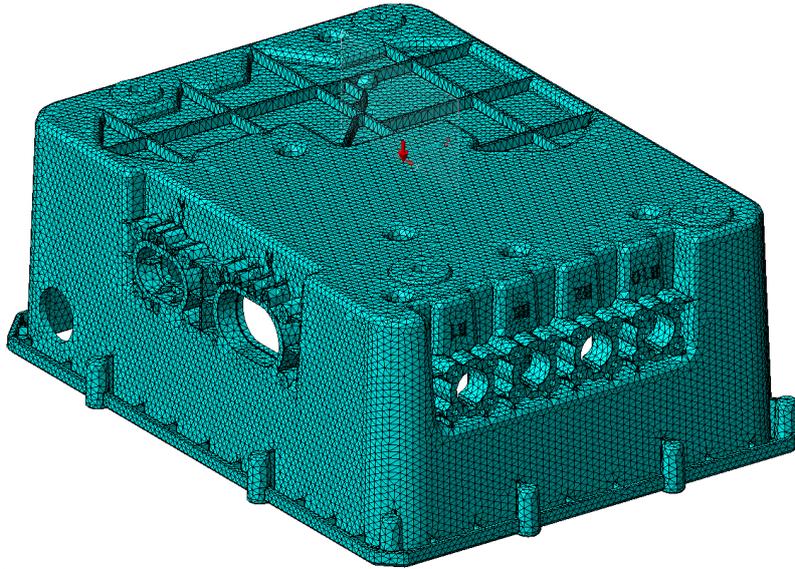


Figura 4.2 Posizione del punto di iniezione

Definito il punto d'iniezione del materiale si procede con la scelta dei principali parametri del processo:

- Tempo d'iniezione; univocamente connesso con la portata d'iniezione è da calibrare opportunamente per evitare pressioni e sforzi di taglio eccessivi
- Temperatura d'iniezione del materiale; positiva per l'azione fluidificante sul materiale ma dannosa per lo stesso se troppo alta andando a degradarlo
- Temperatura dello stampo; ritarda il raffreddamento del materiale in fase di riempimento abbassando pressioni e sforzi di taglio, permettendo caratteristiche del pezzo finito migliori

Nel caso in esame, si è reso necessario ricorrere a valori prossimi a quelli massimi di temperatura raccomandati per l'ABS al fine di evitare l'insorgere di sforzi di taglio eccessivi nell'intorno del punto d'iniezione, garantendo così una buona velocità di iniezione.

In particolare:

- Il tempo d'iniezione ottimale è risultato essere pari a 6 secondi, ma il programma estende leggermente questa grandezza in base alle necessità intrinseche relative alla cavità, buon compromesso tra durate eccessivamente ridotte (a cui sarebbero conseguite sollecitazioni meccaniche intollerabili per il materiale) e durate troppo prolungate che avrebbero provocato un inopportuno raffreddamento del fluido durante il riempimento non ancora ultimato e grande differenza di temperatura tra

la zona vicino all'iniezione e le ultime riempite. Questo avrebbe portato a differenze di densità elevate con conseguenti ritiri e deformazioni elevati e inaccettabili.

- La temperatura d'iniezione del materiale è stata scelta pari a 270 °C, abbastanza alta per garantire al fluido una viscosità sufficientemente bassa ma anche abbastanza bassa per non incorrere in degradazione termica del materiale.
- La temperatura dello stampo è stata scelta pari a 50 °C, in modo da migliorare il comportamento del fluido in fase di riempimento e permetterne un raffreddamento fino alla temperatura di estrazione pari a 93 °C (come verrà approfondito in seguito).

Ulteriore parametro da impostare è la pressione di fine riempimento; raggiunto il 95% del volume di riempimento, la pressa passa da un controllo in portata a un controllo in pressione. Volendo mantenere la pressione costante durante tutta tale fase finale, si imposta questo valore pari alla pressione raggiunta nell'istante di commutazione, nel caso di iniezione diretta e senza canali di alimentazione pari a 22 MPa. Questo parametro è stato determinato dopo alcune simulazioni in cui non era impostato, in modo da stabilire dapprima la pressione al punto di commutazione per poi applicarla effettivamente nella simulazione successiva. Questo risultato è solo parziale, perché durante questa prima fase di analisi non è stato considerato tutto il canale di iniezione ma bensì si è solo scelto il punto andando ad ignorare tutto ciò che c'è prima. Inoltre, non sono tenuti in considerazione i canali di raffreddamento; quindi, si presuppone che ci sia uno scambio di calore perfetto e costante in tutte le direzioni. Infatti, questa analisi preliminare serve per capire se esistono principali problematiche di realizzazione del componente e non per conoscere la reale qualità finale del pezzo, anche se si posizioneranno correttamente i canali di raffreddamento il risultato sarà molto simile.

4.4 Risultati dell'analisi di riempimento

Una volta definiti tutti i parametri sopra citati si è proseguito con simulazioni di riempimento e di seguito verranno riportate e analizzate le principali grandezze che saranno quelle che andranno a definire la qualità del prodotto finito.

1. ISOCRONE

Idealmente si desidera che lo stampo venga riempito da un flusso unico, unidirezionale e che proceda con velocità circa costante in modo da conferire al pezzo una densità quanto più uniforme possibile e con meno deformazioni finali. Come visibile in figura 4.3, la richiesta può considerarsi rispettata, considerando un andamento del flusso regolare e con

solo una leggera accelerazione nella fase iniziale del riempimento, questo lo si nota dalla distanza maggiore tra un'isocrona e l'altra. Un'altra importante considerazione è che il flusso è anche bilanciato siccome le parti finali dello stampo sono riempite contemporaneamente con avanzamento simmetrico del materiale ad eccezione dei bordi superiori delle pareti laterali più corte, i quali si riempiono circa 1 secondo dopo gli altri due.

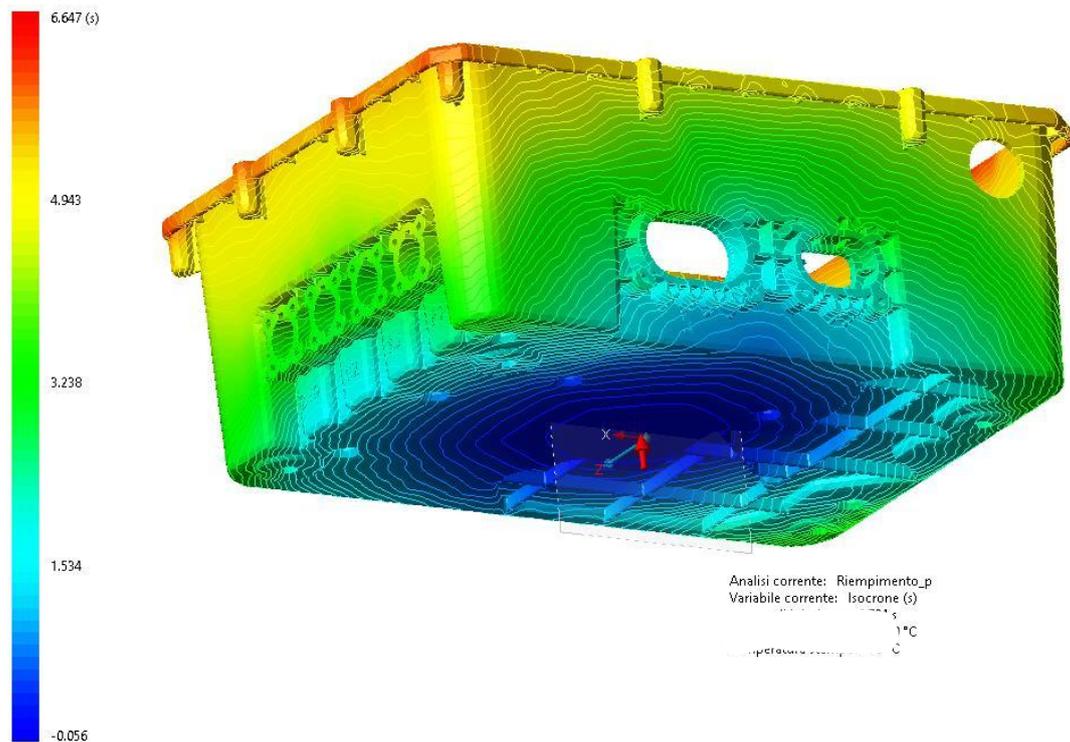


Figura 4.3 Andamento delle isocrone

2. DISTRIBUZIONE DELLE TEMPERATURE

Nella figura 4.4 si può osservare che la differenza di temperatura tra il punto di iniezione e l'ultima parte dello stampo ad essere riempita è di circa 16 °C, valore accettabile a fronte di un limite approssimativo fornito di 20°C, considerando anche le dimensioni importanti del componente. Avere una differenza di temperatura controllata all'interno del pezzo permette di ottenere una densità omogenea senza zone eccessivamente sovra impaccate o caratterizzate da cavità. Inoltre, sono state trascurate appositamente (quindi fuori scala in figura 4.4) delle zone di cui si era già discusso nel capitolo 4.2 a spessore minore come le scritte dei connettori, siccome è un semplice errore di calcolo del software.

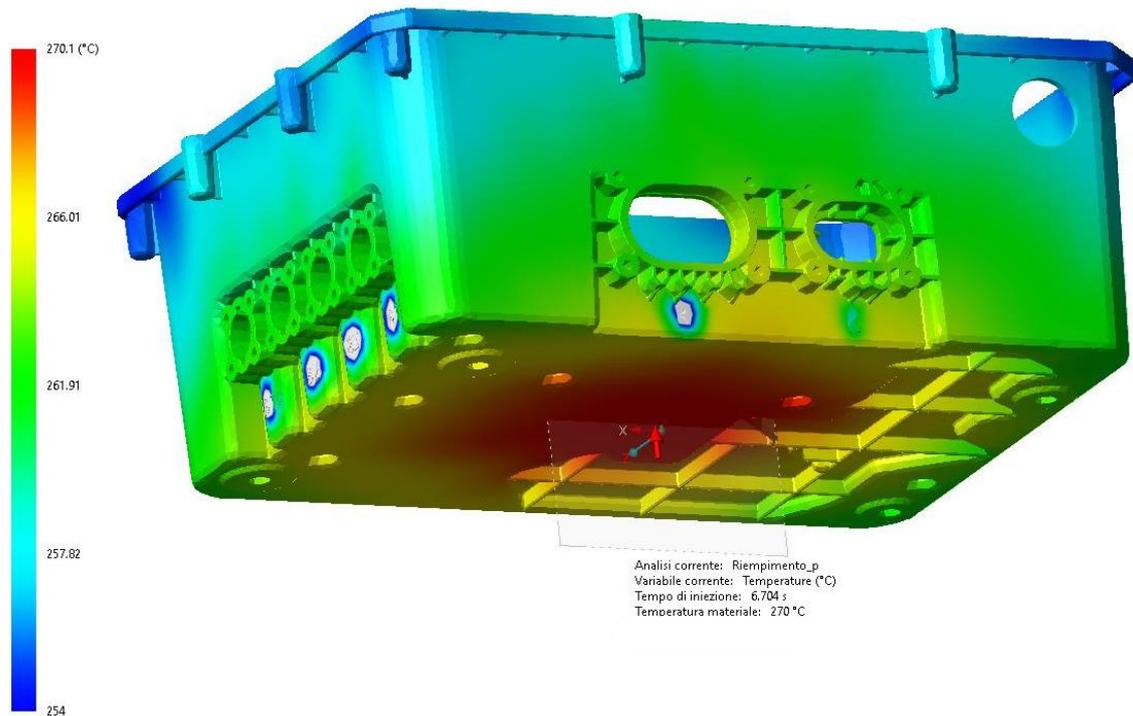


Figura 4.4 Andamento delle temperature a fine iniezione

3. DISTRIBUZIONE DEGLI SFORZI DI TAGLIO

Questo è uno dei parametri più critici dei pezzi prodotti tramite iniezione plastica visto che se lo sforzo di taglio supera il valore di soglia si rischia la formazione di crepe o deformazioni nel componente finito. Come mostrato dalla figura 4.5 lo sforzo di taglio rimane sempre al di sotto del valore di soglia di 0.30 MPa con margini elevati. L'unica parte del componente che si avvicina ad una criticità è una zona localizzata nell'intorno del punto di iniezione, la quale non costituisce un problema siccome quel punto sarà attaccato alla camera calda. Al contrario, il valore di sforzo di taglio relativo alle sedi delle viti e tutti gli elementi di centraggio interni sono molto distanti da quello critico. Per poter migliorare la situazione nell'intorno dell'iniezione si sarebbe potuto allungare il tempo di iniezione ma così facendo il ΔT (differenza di temperature) sarebbe stato superiore a quello limite e ciò avrebbe comportato una densità non omogenea con conseguenze peggiori rispetto a quelle di avere uno sforzo di taglio più elevato in questa zona rispetto al resto del pezzo. Un altro modo per migliorare il risultato sarebbe quello di ispessire localmente il pezzo nella zona di iniezione abbassando così lo sforzo di taglio portandolo ad un valore più basso ma ciò avrebbe comportato maggiori lavorazioni dello stampo oltre che a una non uniformità dello spessore del pezzo che esteticamente non sarebbe stata accettabile.

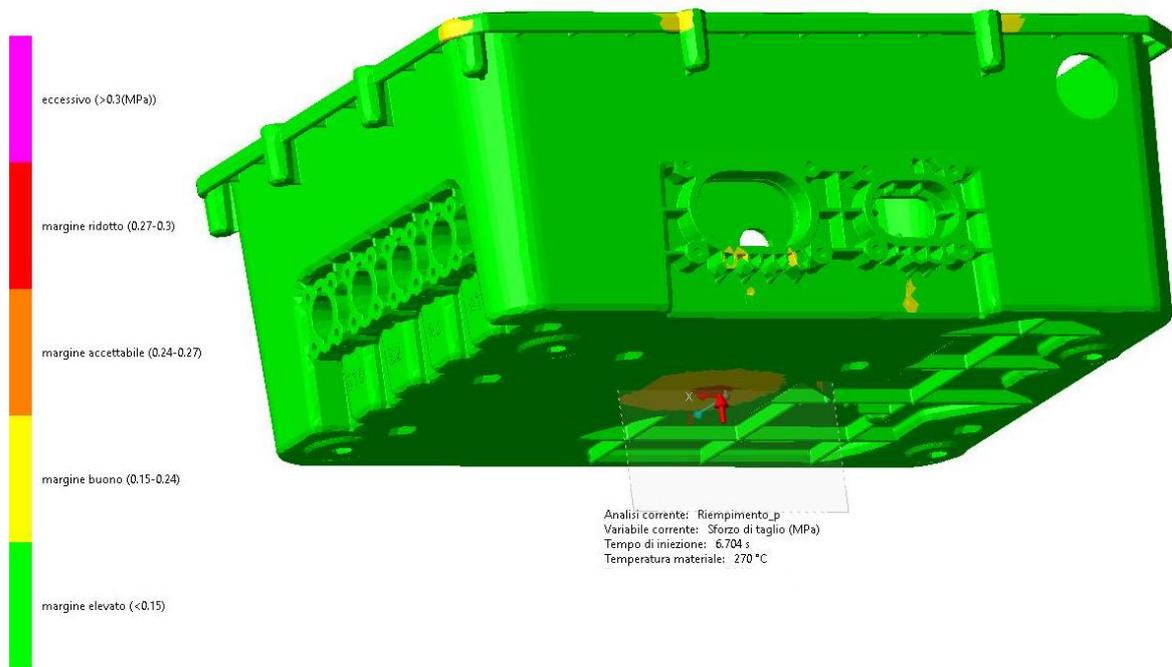


Figura 4.5 Andamento qualitativo degli sforzi di taglio

4. GUAINA SOLIDIFICATA

Di questo parametro l'importante è che tale valore sia accettabilmente basso e nel caso specifico esso raggiunge un massimo pari al 7.1% dello spessore della parete; quindi, non crea problemi siccome deve rimanere sotto al 15% circa per evitare di creare ostruzione al passaggio del flusso di plastica fusa. Inoltre, la percentuale è molto omogenea siccome rimane nell'intorno di una differenza del 1% il che creerà uno strato ad alto orientamento molecolare costante su tutto il pezzo non andando a incidere sulle deformazioni finali.

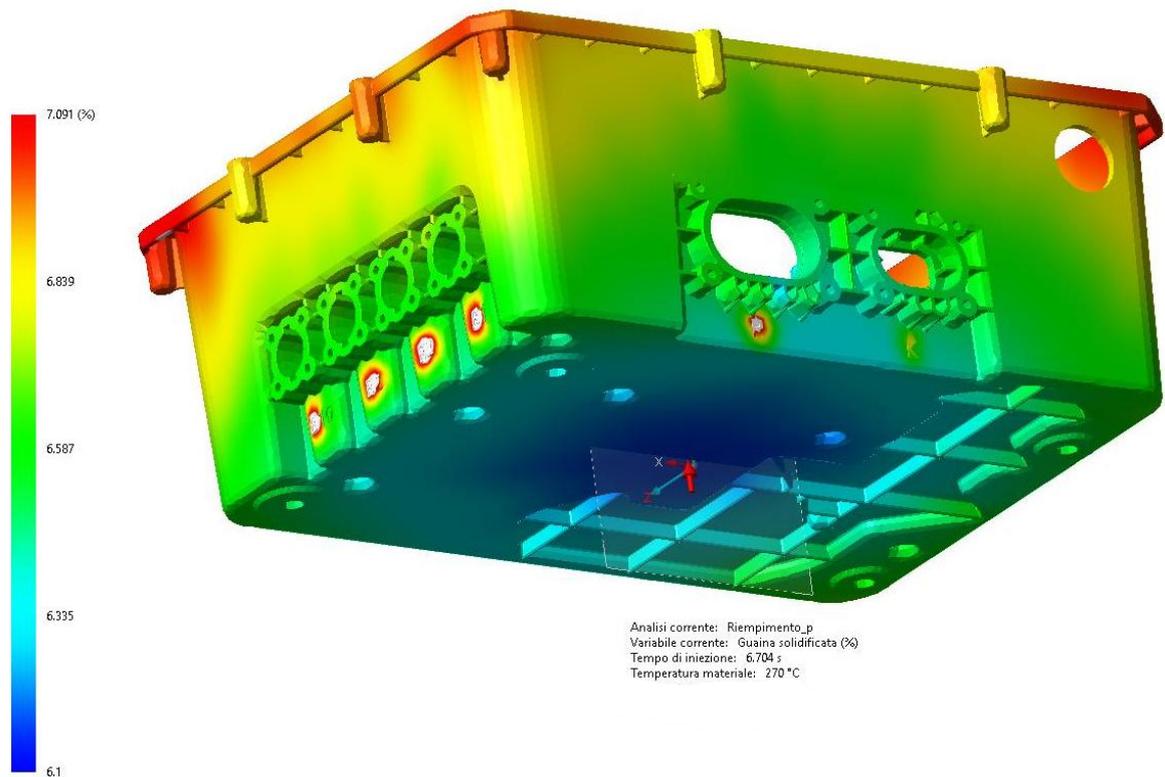


Figura 4.6 Percentuale di guaina solidificata

4.5 Risultati dell'analisi di mantenimento e raffreddamento

Terminata la fase di riempimento si procede con la definizione dei parametri di mantenimento e raffreddamento; la prima ha la funzione di iniettare ulteriore materiale all'interno del volume dello stampo per aumentare la densità media e quindi il peso complessivo del pezzo, garantendo migliori caratteristiche meccaniche e minori deformazioni in seguito a solidificazione e raffreddamento, la seconda deve far raggiungere al pezzo stampato la temperatura idonea alla sua espulsione dallo stampo (per il materiale scelto è raccomandata una temperatura di espulsione non superiore a 93°C). La pressione di mantenimento viene impostata pari a quella di fine riempimento, cioè 22 MPa, mentre le durate delle fasi di mantenimento e raffreddamento sono rispettivamente 15 s e 50 s (dove la durata della fase di raffreddamento comprende quella di mantenimento).

Per determinare correttamente il tempo di mantenimento si è deciso di fare molteplici simulazioni mantenendo sempre gli stessi valori e andando a variare ogni volta la durata di questa fase e per ogni analisi si è andati a determinare la massa entrante.

tempo di mantenimento [s]	massa entrante [g]
3	26,99
6	26,68
9	32,35
12	37,44
15	41,68
18	45,37
21	48,43
24	50,47
27	51,79

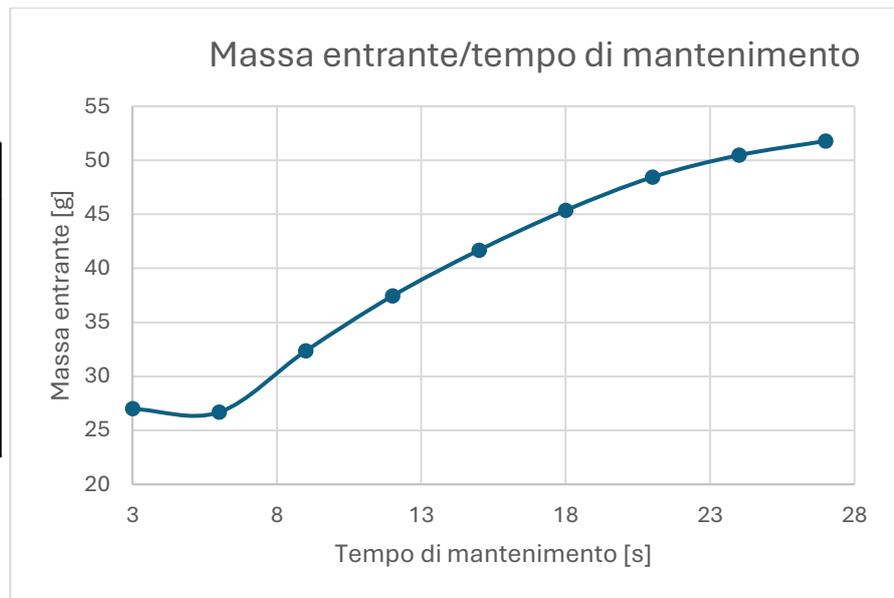


Grafico 4.4 Massa entrante in funzione del tempo di mantenimento

Come si può osservare nel grafico 4.4, la massa entrante si stabilizza all'incirca a 30 secondi dove ha un valore pari a 51.79 g. In realtà con un tempo di mantenimento leggermente superiore qualche ulteriore grammo fluisce all'interno del pezzo ma non abbastanza da giustificare mantenimenti di durata maggiore. Si è però scelto un mantenimento di 15 secondi che rientra nell'intervallo di durata compreso tra il tempo tecnico di mantenimento (tempo minimo a cui deve sottostare la zona interessata dalla pressione di mantenimento per ottenere un corretto impaccamento), pari a 10 s in quasi tutto il componente e arriva a un massimo di 18.5 s nelle parti più spesse le quali sono molto limitate, e il tempo di non flusso (tempo massimo a disposizione per effettuare il mantenimento), pari a 32 s nella zona dell'iniezione. C'è anche da considerare che rispetto a durate maggiori entrano solamente 10 g di massa in meno che su un pezzo dal peso di 555.73 g sono trascurabili e probabilmente essi sarebbero stati aggiunti nell'intorno dell'iniezione andando a sovra impaccare la zona. Per definire la durata della fase di raffreddamento ottimale è stata seguita la stessa logica della fase di mantenimento; dopo aver eseguito varie simulazioni con durata via via crescente è stata scelta l'opzione in modo tale che la quasi totalità del componente fosse al di sotto della temperatura di estrazione pari a 93°C, eccetto alcune zone che saranno soggette a controlli maggiori.

Una volta definiti i due tempi si possono leggere i risultati dell'analisi di mantenimento e raffreddamento. In seguito, verranno analizzati i principali parametri che devono essere tenuti sotto controllo per ottimizzare la qualità del componente.

1. TEMPERATURA MATERIALE A FINE RAFFREDDAMENTO

Come si può osservare in figura 4.7 non tutti i punti del pezzo sono al di sotto della temperatura di estrazione (in questo caso pari a 93°C) alla fine del raffreddamento. Si potrebbe fare un raffreddamento più lungo per fare in modo che anche queste zone arrivino a temperatura inferiore di 93 °C ma considerando che la maggior parte del pezzo è ben al di sotto della temperatura di estrazione si andrebbero ad allungare eccessivamente i tempi per produrre un pezzo. Bisognerà fare un controllo più approfondito di queste zone con un'analisi di flusso completa di canali di raffreddamento e verificare che, con un opportuno sistema di canali, si riesce a migliorare questa parte del componente. Inoltre, sarà necessario verificare che le deformazioni che si verranno a creare saranno contenute per fare in modo che si possa montare la scheda di potenza senza problemi. Se si verificasse questo problema le viti non entrerebbero più nelle loro sedi andando ad inficiare le caratteristiche della scatola, la quale dovrebbe essere scartata in fase di assemblaggio. Infatti, osservando la sezione del componente in figura 4.8 si vede che solo il cuore di queste sedi è ancora a circa 140 °C ma solo quella piccola parte di volume, in teoria, non va a intaccare la qualità finale dell'elemento.

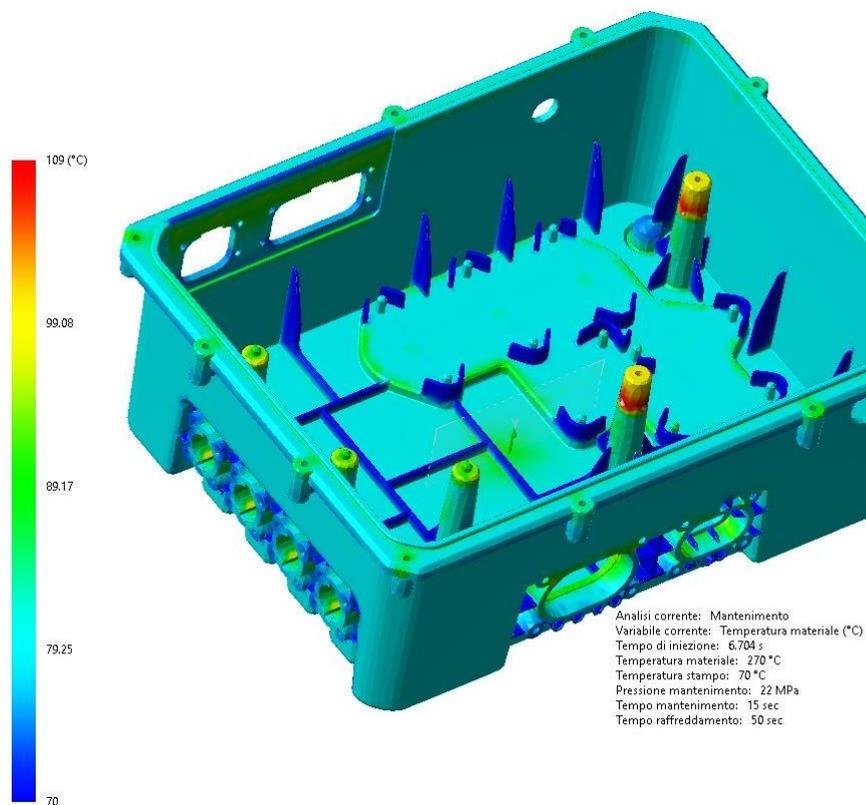


Figura 4.7 Temperatura del pezzo alla fine del raffreddamento

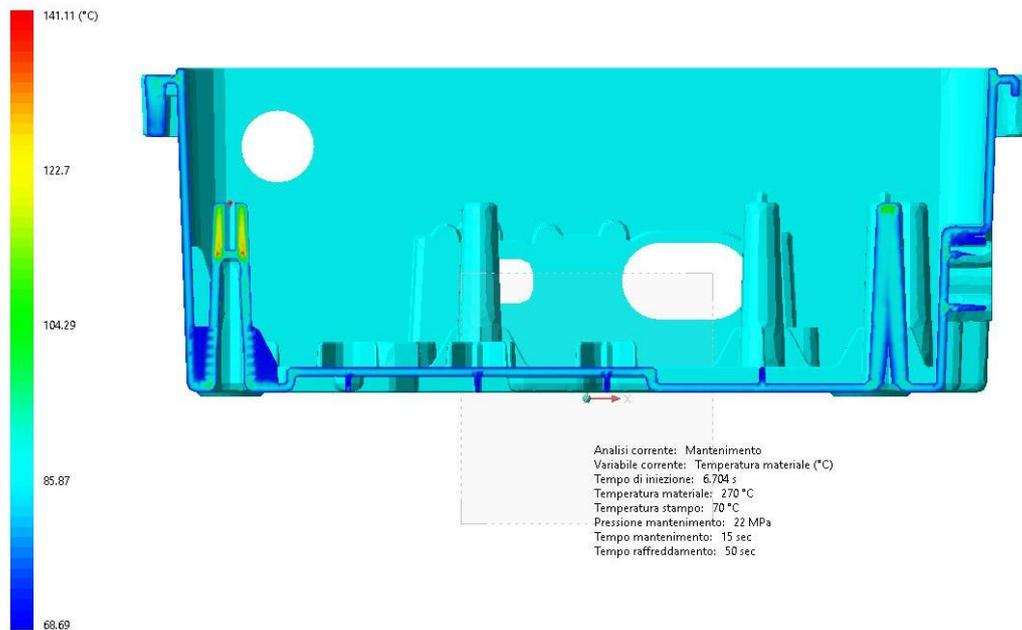


Figura 4.8 Sezione del componente per evidenziare le zone a più alta temperatura

2. DENSITÀ

Questa caratteristica è di fondamentale importanza a stampaggio finito siccome deve essere il più uniforme possibile per evitare deformazioni non tollerabili a fine stampaggio e più vicina possibile al valore nominale ($1,04 \text{ g/cm}^3$) in modo da garantire caratteristiche meccaniche affidabili. I risultati ottenuti sono più che accettabili siccome la variazione di densità sta in un intorno di 0.02 g/cm^3 , con una densità sicuramente omogenea escludendo le regioni a spessore maggiore caratterizzate da una densità leggermente minore e viceversa. Bisogna però evidenziare il fatto che comunque in generale la densità è leggermente minore del valore teorico, seppur di poco, ma al contempo non ci sono zone sovra impaccate siccome in nessun punto si raggiunge un valore al di sopra di quello teorico.

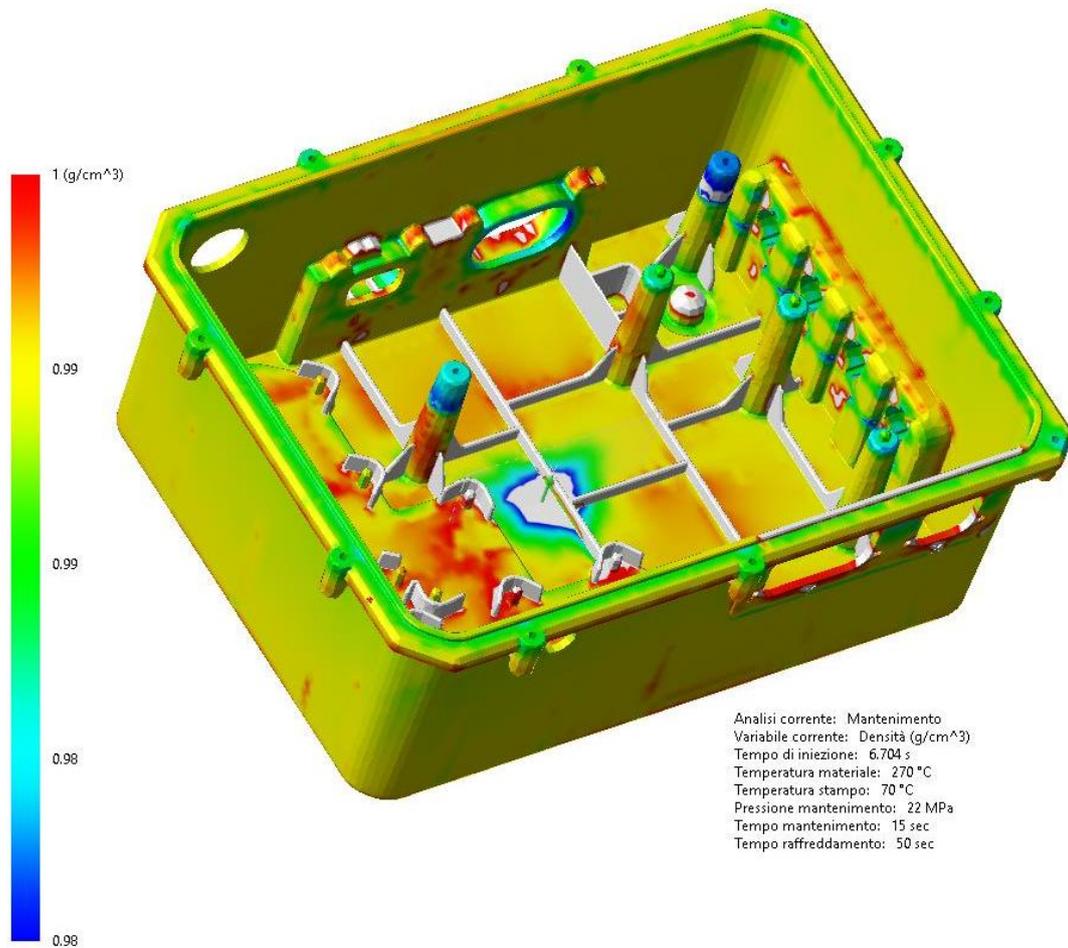


Figura 4.9 Distribuzione di densità nel componente

3. RITIRO VOLUMETRICO

Raffreddandosi, il materiale andrà incontro a contrazione volumetrica in maniera circa inversamente proporzionale alla densità; le zone a densità maggiore si contrarranno meno mentre quelle a densità minore si ritireranno di più. Essendo la densità molto ben distribuita nel volume del pezzo, i ritiri non potranno che essere a loro volta omogenei. Come si può inoltre osservare nella figura 4.10 la maggior parte del pezzo subisce un ritiro omogeneo pari a circa il 2%, valore accettabile siccome costante nella maggior parte del pezzo. Le zone che subiscono percentuali di ritiro maggiori, essendo più spesse, quindi meno impaccate e meno dense, o nell'intorno dell'iniezione, comunque hanno valori accettabili, circa il 3% mentre quelle a minor ritiro sono le più sottili come le nervature siccome sono zone più dense, infatti in figura 4.9 erano fuori scala perché hanno un valore maggiore di 1 g/cm³.

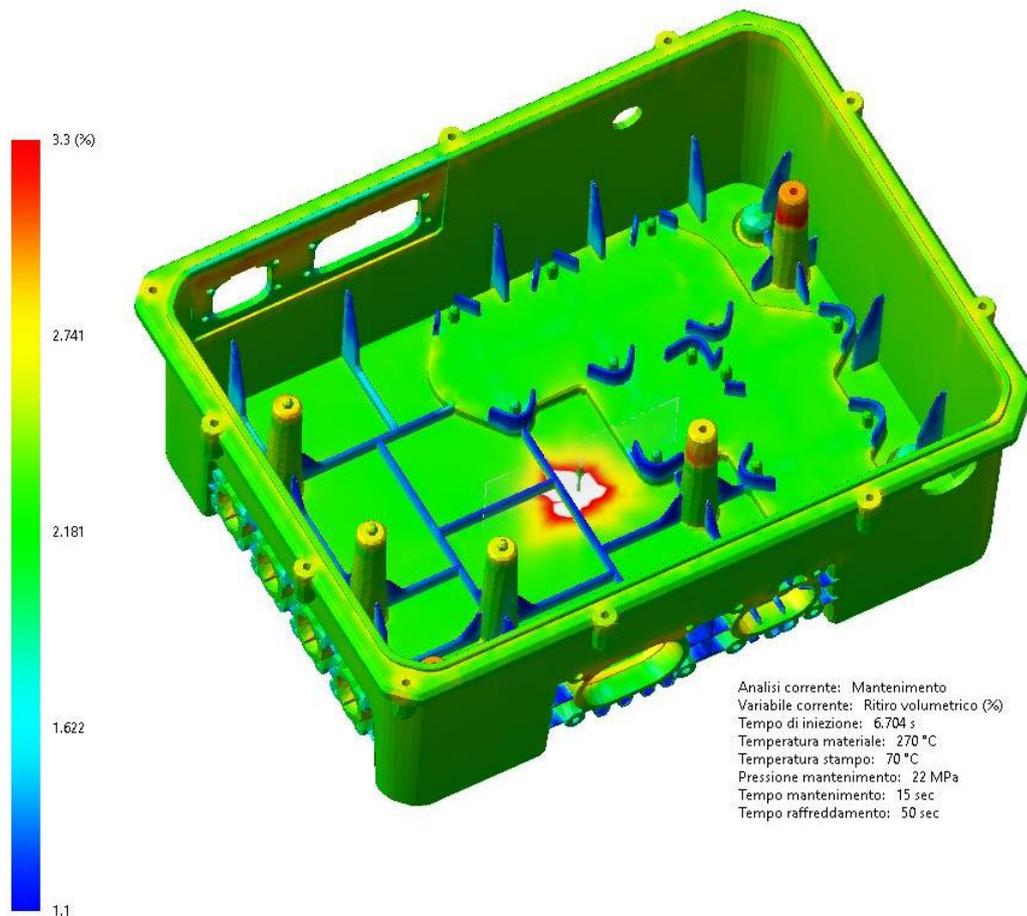


Figura 4.10 Ritiro volumetrico

4. RISUCCHI E POROSITÀ

Come si può osservare nella figura sottostante i risucchi e le porosità hanno valori omogenei e limitati raggiungendo valori del 4%. È stata scelta una scala che esclude alcune zone, in particolare le nervature, per mettere in evidenza i fenomeni di interesse e si possono trarre le stesse conclusioni nelle zone critiche fatte in precedenza. In più è stata riportata una vista della parte inferiore della scatola per evidenziare il fatto che le nervature interne sono leggermente visibili sul fondo, in particolar modo nella zona centrale. Al contrario, da questa analisi, sono poco visibili i segni che dovrebbero lasciare le nervature sulle pareti laterali verso il fondo.

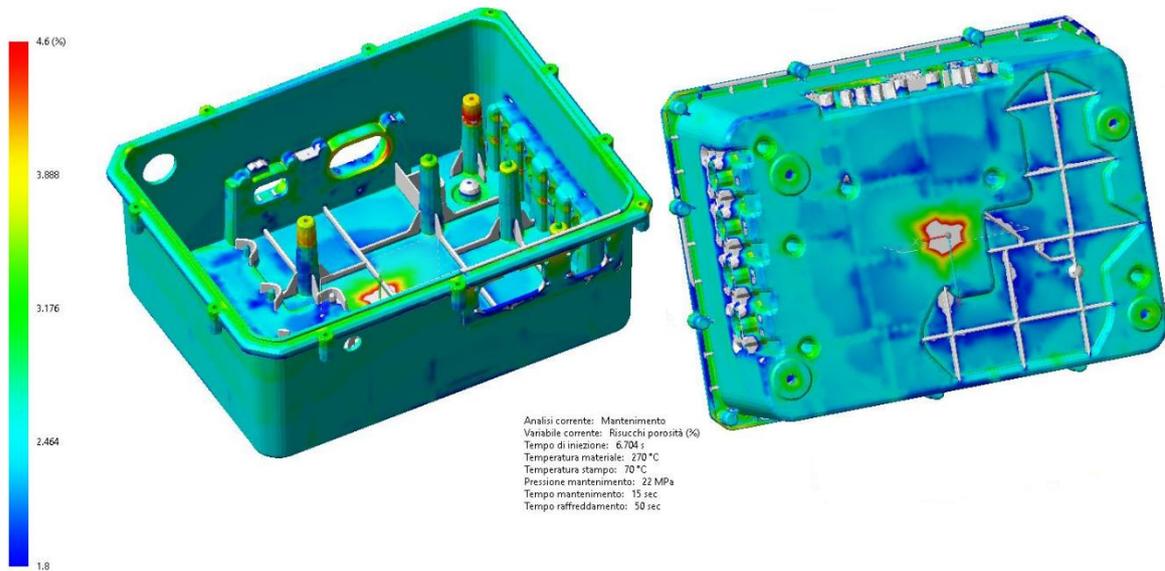


Figura 4.11 Distribuzione percentuale dei risucchi e porosità

4.6 Analisi qualitativa delle deformazioni

In questa fase di progettazione sarebbe insensato andare già a fare le varie misurazioni di nostro interesse per vedere se i punti più critici rientrano o meno all'interno delle tolleranze desiderate; esse verranno condotte sul modello con tanto di canale d'iniezione e di raffreddamento. Al contrario è utile vedere se le deformazioni generali sono eccessive oppure accettabili e di fondamentale importanza è osservare se il pezzo ha un ritiro omogeneo e che non ci siano degli svergolamenti di alcune sezioni del componente durante questo processo.

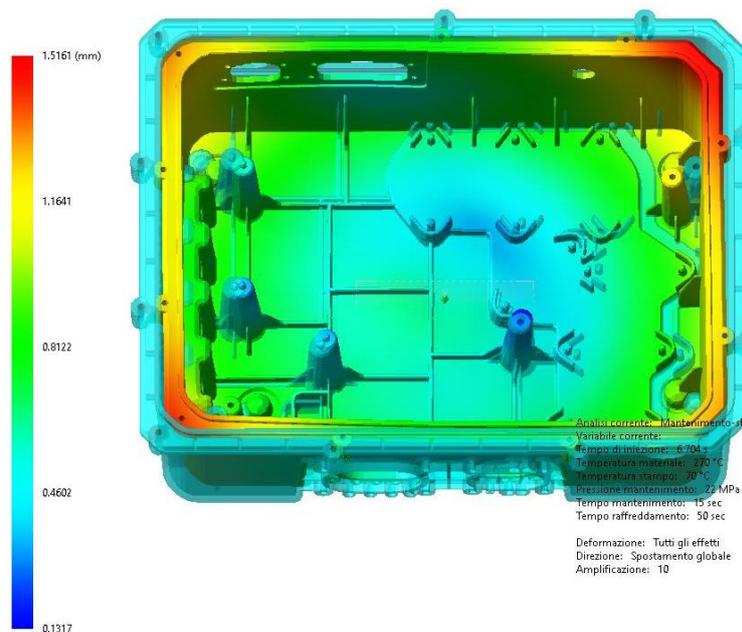


Figura 4.12 Deformazione considerando tutti gli effetti con amplificazione 10

In figura 4.12 è riportato il componente che ha subito tutti gli effetti del processo di iniezione, ovvero le deformazioni, il ritiro e l'orientamento del materiale, e in trasparenza in azzurro il componente aumentato del ritiro. Inoltre, esse sono state amplificate di dieci volte per fare in modo che fossero più evidenti per facilitare la valutazione qualitativa. La scala cromatica sulla sinistra riporta i valori reali, non quelli amplificati, e restituisce un ordine di grandezza di quanto il pezzo deformato si discosti da quello teorico. Innanzitutto, si nota come non ci siano zone con particolari svergolamenti anche se c'è una maggiore deformazione su due angoli ma di poco superiore rispetto agli altri, infatti il componente si ritira come era atteso verso l'interno. Inoltre, il piano di fondo della scatola è quello che si discosta meno dalle dimensioni teoriche siccome è il lato sul quale si inietta e quindi sarà l'ultima a raffreddarsi subendo per più tempo la pressione di mantenimento; questo lo si poteva già notare dalla figura 4.9 in cui si vedeva una densità leggermente minore in questa area. Al contrario le zone più lontane saranno quelle più soggette a deformazione, come i bordi superiori e in particolar modo gli angoli, ma comunque lo scostamento dal componente teorico è al massimo di 1.5 mm (da verificare nelle simulazioni con il modello più completo).

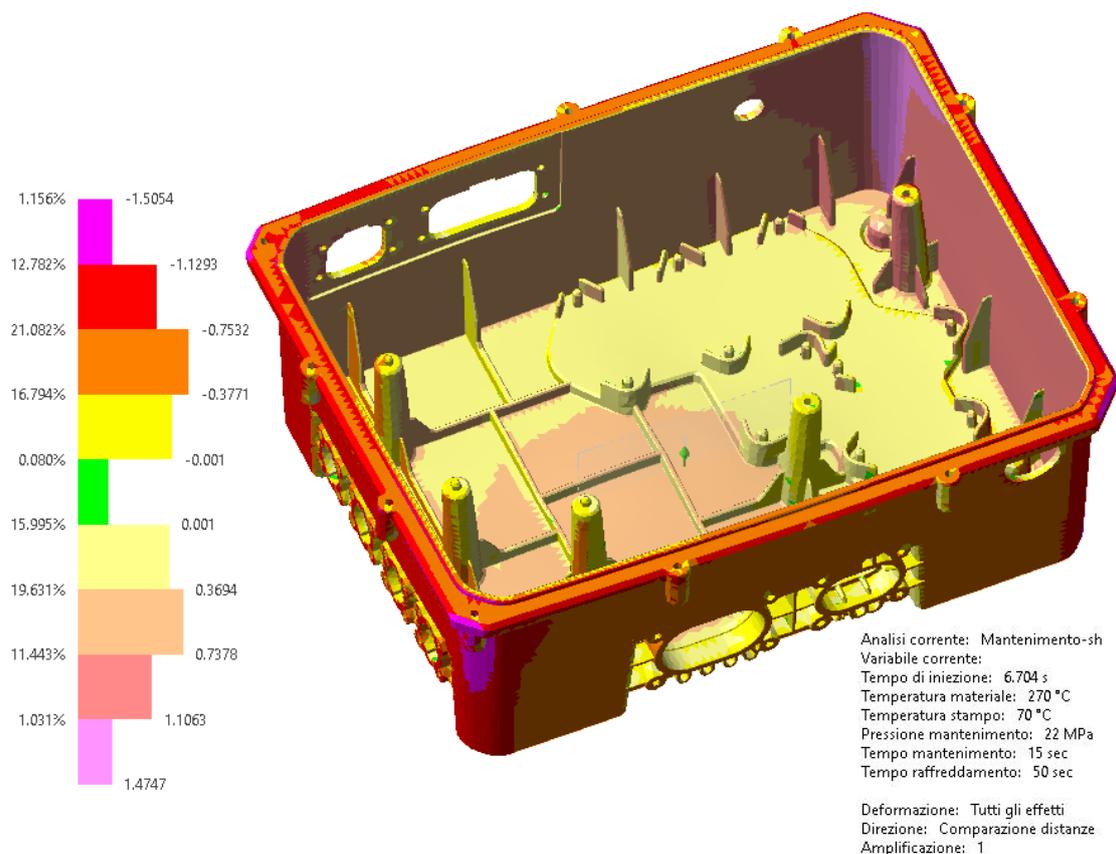


Figura 4.13 Mappa quantitativa degli scostamenti di ogni faccia rispetto a quella teorica

In figura 4.13 è riportato più nel dettaglio lo scostamento di ogni faccia rispetto a quella della scatola ideale aumentata del ritiro; i valori indicati nella scala a sinistra si riferiscono alla normale di ogni faccia. Infatti, se essa si sarà spostata nella direzione della normale avrà uno spostamento con segno positivo e viceversa. Da questa figura si vede immediatamente che in realtà il 97% del pezzo sta in una tolleranza di ± 1.1 mm e non 1.4 come visto precedentemente e che i sostegni della scheda di potenza e i centraggi dei relè entro 0.3 mm il che è accettabile viste le dimensioni importanti del pezzo. Quando si andranno a fare le valutazioni delle analisi svolte sul componente definitivo si potrà impostare un range in base alle esigenze per vedere quali zone saranno fuori tolleranza e quali no, mentre al momento il range ottimale è impostato di default dal software pari a ± 0.001 mm il che è irrealistico per un componente simile. Questo tipo di analisi è perlopiù qualitativo siccome gli scostamenti sono riferiti al pezzo ingrandito del ritiro e non a quello originale, quindi, serve soprattutto a vedere se ci sono zone con comportamenti anomali.

5. PROTOTIPAZIONE STAMPO

Ultimata la progettazione del componente e fatte le varie analisi di flusso e deformazione qualitative si procede con la progettazione dello stampo. Durante questa fase di progettazione si deve scegliere come funzionerà lo stampo ed è necessario capire i vari movimenti che dovrà compiere in fase di apertura e chiusura in funzione delle caratteristiche del pezzo che si vorrà produrre.

La fase iniziale prevede la creazione dello stampo andando a scegliere le varie piastre standard che lo andranno a comporre, in funzione delle dimensioni del componente. Gli stampi classici si suddividono principalmente in due parti: iniezione ed estrazione. La prima parte è composta da tutti i componenti che rimarranno fissi sulla pressa durante i movimenti di apertura e chiusura siccome è da dove viene iniettato il materiale. La seconda, al contrario, è composta da tutti gli elementi che si muoveranno con la parte mobile della pressa e tramite alcuni componenti, chiamati estrattori, avverrà l'estrazione e l'espulsione del pezzo dallo stampo.

Osservando la scatola SIP si è capito che tutti i fori laterali si sarebbero dovuti ottenere tramite dei carrelli che durante la corsa di apertura, tramite dei movimenti laterali, si sarebbero spostati verso l'esterno andando a svincolare il pezzo. Il movimento di quest'ultimi si può ottenere con due metodi: tramite dei pistoni idraulici oppure tramite delle guide inclinate. La prima ipotesi è stata immediatamente scartata siccome più costosa e meno affidabile. Infatti, questa sarebbe stata sicuramente la più semplice dal punto di vista progettuale ma la variabile che è andata ad incidere maggiormente è l'affidabilità di questi componenti. Inoltre, sarebbe stato necessario inserire dei sensori che rilevassero la corsa andando a programmarli correttamente e aggiungendo più componenti che operano uno legato all'altro, oltre ad aumentare la complessità dello stampo, va ad inficiarne l'affidabilità andando conseguentemente ad aggiungere maggiori controlli e manutenzione. Quindi si è deciso di usare delle guide inclinate le quali permettessero, durante la corsa di apertura, di muovere i carrelli lateralmente andando a svincolare il pezzo. Il problema riscontrato riguarda i carrelli laterali, i quali devono essere ricavati dal lato iniezione siccome si è deciso di iniettare sul fondo della scatola. Tutta la parte interna sarà ricavata sul lato dell'estrazione andando ad utilizzare un tassello unito a questa piastra, mentre tutte le superfici esterne devono essere ricavate dalla piastra di iniezione. Quindi i carrelli devono essere sul lato dell'iniezione ma al contempo devono muoversi lateralmente con l'apertura e chiusura dello stampo. Per riuscire a soddisfare entrambi i vincoli si è deciso di utilizzare usa

seconda piastra di iniezione. La prima sarà quella contenente il canale di alimentazione con camera calda e permetterà di ottenere il fondo della scatola. La seconda andrà a creare le facce laterali esterne del componente e su di essa si otterranno le guide sulle quali scorreranno i carrelli. Essa dovrà rimanere unita e muoversi con l'estrazione per una determinata corsa dando così il tempo ai carrelli di spostarsi verso l'esterno svincolandosi dal pezzo; però terminata questa fase essa dovrà bloccarsi mentre l'estrazione continuerà la sua corsa andando a creare uno spazio tra i due tale che il pezzo possa essere estratto ed espulso.

5.1 Piastre standard

Per decidere di che dimensione saranno le piastre che andranno a comporre lo stampo e quindi le dimensioni dello stesso, bisogna considerare quelle del pezzo che si vuole produrre. In prima battuta bisogna scegliere le misure delle piastre di iniezione ed estrazione (denominate rispettivamente cavità e punzone), le quali saranno le stesse, e in questo caso si è deciso pari a 546 x 596 mm considerando che su di esse dovranno essere allocati i carrelli e i canali di raffreddamento, oltre a considerare il fatto che in questo spazio sono comprese le colonne con le rispettive boccole di guida

Si inizia a scegliere le piastre standard che fanno parte dell'iniezione e la prima che viene scelta è quella di isolamento, la quale serve per evitare di trasmettere il calore generato dalla vite punzonante allo stampo. Successivamente si passa alla piastra superiore la quale principalmente serve per staffare lo stampo alla pressa e in questo caso serve anche a tenere in posizione il canale caldo. Quindi bisogna assegnare il giusto spessore siccome dovrà sorreggere l'intera parte di iniezione, in questo caso scelto pari a 46 mm. Proseguendo si incontra la piastra di iniezione o cavità, la quale genererà la parete inferiore della scatola ed è l'ultima piastra a rimanere sempre fissa; le dimensioni di larghezza e lunghezza sono quelle scritte in precedenza ma bisogna anche assegnare uno spessore, pari a 116 mm, che permetta il passaggio dei canali di raffreddamento. A questo punto è stata aggiunta un'ulteriore piastra nella parte di iniezione, che solitamente non è presente, la quale compirà una corsa limitata permettendo ai carrelli di muoversi e dopodiché si bloccherà rimanendo ferma per il resto della corsa di apertura. Le sue dimensioni sono pari alla piastra cavità ma con uno spessore di 95 mm il quale permette di allocare al suo interno i carrelli e ricavare tutte le superfici esterne della scatola.

Terminate le piastre sul lato dell'iniezione si procede con la scelta delle piastre presenti sul lato dell'estrazione. Continuando il percorso logico si sceglie la piastra definita "punzone" sulla

quale sarà fissato il tassello che genererà tutta la parte interna della scatola e proprio come la piastra cavità bisogna solo scegliere l'altezza che in questo caso sarà pari a 136 mm. Successivamente si scelgono i distanziali (o lardoni) che dovranno avere un'altezza sufficiente da permettere agli espulsori di far fuoriuscire completamente il pezzo dallo stampo considerando anche il tavolino d'estrazione quindi in questo caso maggiore di 106 mm; infatti, è stata scelta pari a 176 mm la quale permette una corsa del tavolino di 109 mm. Le due piastre definite di estrazione che insieme formano il tavolino d'estrazione, le quali servono per l'estrazione del pezzo dallo stampo siccome fungono da incastri per la base degli espulsori, sono state scelte con un'altezza di 27 mm quella superiore e 36 mm quella inferiore. Infine, si scelgono la piastra inferiore, che serve per staffare il blocco di estrazione alla pressa, scelta con uno spessore di 46 mm come quella definita all'inizio e la piastra di isolamento inferiore.

Finita questa parte si passa successivamente alla scelta di tutti gli elementi standard che devono essere aggiunti allo stampo per il suo corretto funzionamento. Tutta la viteria, le spine di fermo e le bussole sono aggiunte di default dal software mentre bisogna scegliere l'anello di centraggio sul lato dell'iniezione in base alla pressa su cui sarà montato. In questa fase gli estrattori non sono ancora inseriti perché essi dovranno essere calibrati in funzione della zona del pezzo su cui andranno ad agire. Bisogna porre particolare attenzione alla scelta delle colonne, in particolar modo dell'altezza guidata, perché esse devono fare l'accoppiamento con la piastra dell'iniezione prima che il tassello sull'estrazione entri nella sua cavità evitando così che vada a toccare danneggiandosi; quindi, per evitare questi tipi di problemi si è scelta un'altezza guidata pari a 155 mm. Infine, si scelgono le colonne di guida del tavolino in modo tale che entrino nella piastra dell'estrazione per fare in modo che sia guidato lungo tutta la sua corsa e i return pins che servono per fare tornare gli estrattori sempre a contatto con la chiusura riportando il tavolino d'estrazione in posizione corretta. In figura 5.1 è riportato lo stampo in trasparenza per poter vedere le parti interne con i soli elementi standard sopra descritti.

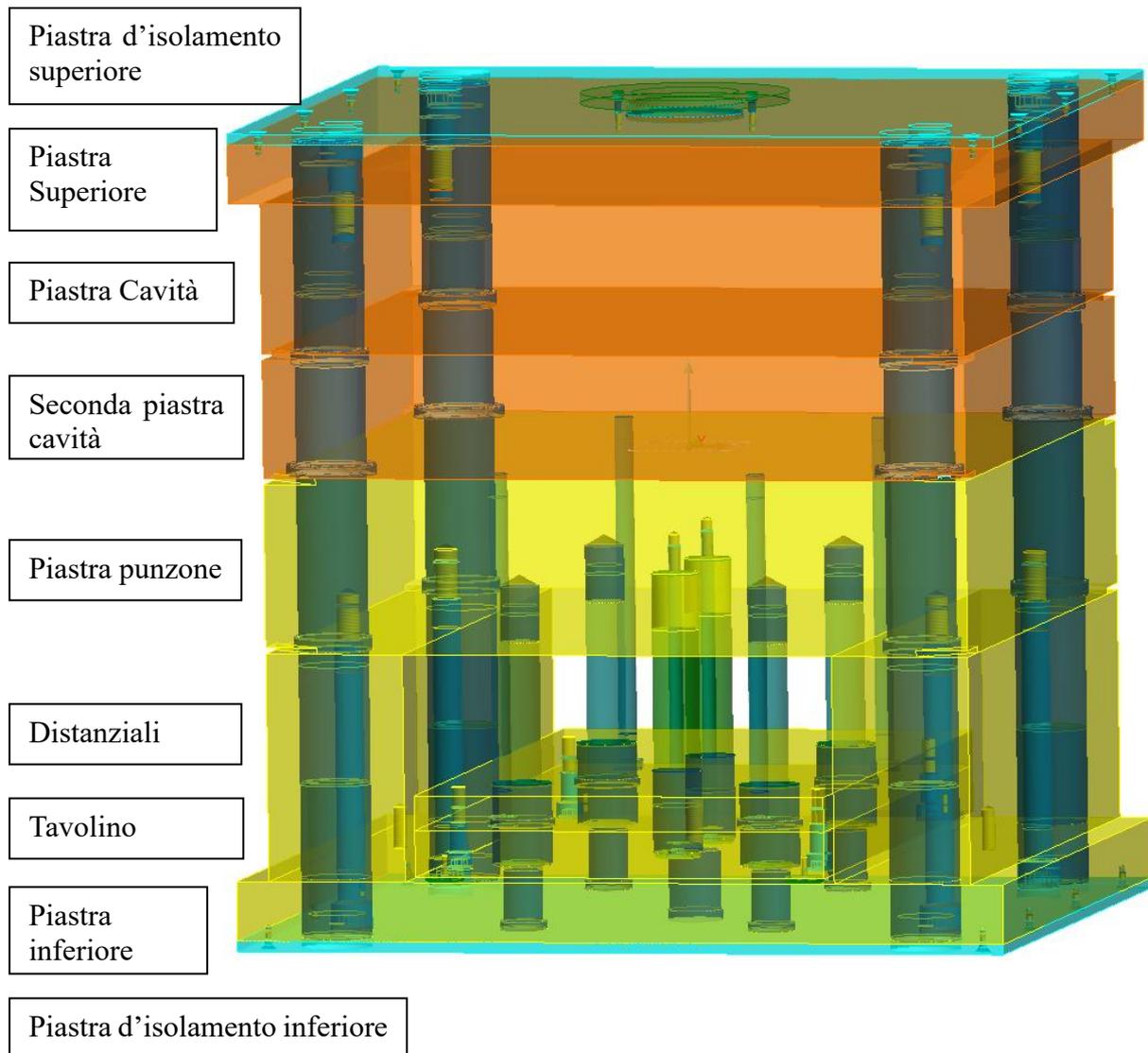


Figura 5.1 Stampo con solo elementi standard

5.2 Corsa di apertura

Come detto precedentemente, la corsa di apertura dello stampo sarà composta da due fasi:

1. Durante la prima fase la seconda piastra cavità rimane attaccata alla piastra punzone e tutto il gruppo di estrazione si muove all'indietro trascinando con sé il pezzo nel mentre i carrelli laterali grazie alle guide inclinate compiono la corsa di apertura perpendicolare alla corsa delle piastre.
2. La seconda piastra cavità arresta la sua corsa grazie a delle apposite staffe laterali che uniscono questa piastra con la piastra cavità mentre il resto dell'estrazione continua la sua corsa portando con sé il pezzo e generando lo spazio per l'estrazione.

Siccome da catalogo le colonne di guida per i carrelli sono inclinate rispetto alla verticale di 18° bisogna fare compiere alla piastra una corsa sufficiente al fine di svincolare i carrelli dalla figura. Considerando ciò si è ritenuta opportuna e sufficiente (per i carrelli che devono compiere maggiore corsa) una corsa di 90 mm, per la seconda piastra cavità, la quale produce uno spostamento laterale dei carrelli di circa 28 mm il che è sufficiente a raggiungere l'obiettivo prefissato. Siccome lo stampo deve compiere una notevole corsa prima che sia completamente aperto e pronto per l'estrazione del pezzo, le colonne inserite come elementi standard non sono sufficienti. Siccome la lunghezza massima di tali elementi non è soddisfacente in questo caso si sono aggiunte altre quattro colonne che sono vincolate alla piastra cavità e fungono da guida per tutta la corsa sia della seconda piastra cavità che punzone. Inoltre, nella seconda piastra cavità è necessario inserire delle boccole perché la piastra deve scorrere lungo la colonna e senza questi elementi si gripperebbe lo stampo. In figura 5.2 è riportata la piastra punzone e la piastra cavità (non visualizzata la seconda piastra cavità) in trasparenza ma non le colonne e le boccole per avere una migliore visualizzazione.

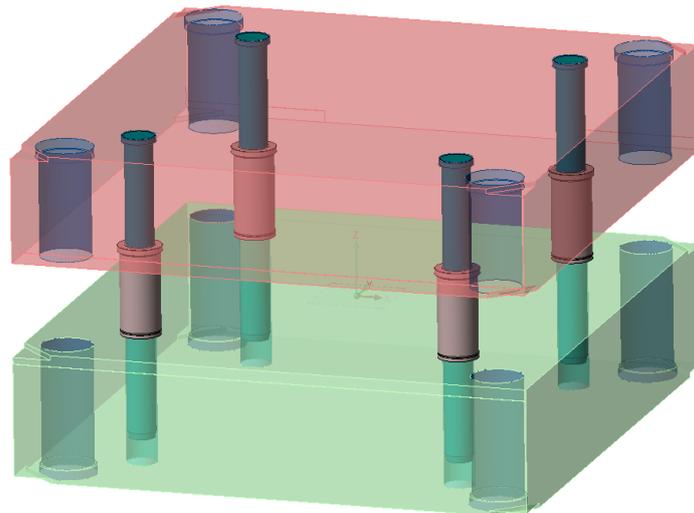


Figura 5.2 Dettaglio delle colonne e boccole aggiuntive

Nella figura 5.3 è riportata un'immagine schematica delle due piastre cavità, della piastra punzone e il sistema di guide utilizzate per ottenere il movimento desiderato. Durante la prima parte della corsa di apertura le due piastre di sinistra (figura 5.3) rimangono unite tra loro scorrendo sulla guida che è avvitata alla piastra cavità; il perno, che è collegato tramite delle spine e viti alla piastra punzone trascina grazie alle scanalature sulla sua parte finale un apposito tassello (riportato in dettaglio in figura 5.4) che è avvitato nella seconda piastra cavità. Infatti, finché il perno non fuoriesce dalla guida trascina con sé il tassello e conseguentemente tutta la

seconda piastra cavità. Continuando il movimento del gruppo di estrazione la piastra punzone continua ad arretrare e così facendo il perno si libera dal tassello in figura 5.4 il quale, bloccandosi siccome arriva a fine corsa, ferma il movimento della seconda piastra cavità. Questo è possibile perché degli appositi elementi dotati di molle, che si attivano a causa dell'assenza del perno, si allargano nella scanalatura che si trova alla fine della guida. Infine, continuando la corsa di estrazione, la piastra cavità si deve allontanare per una distanza tale da permettere l'estrazione del pezzo, ovvero maggiore di 105 mm. Tutto il sistema di guide è ripetuto quattro volte in totale per assicurare una stabilità sufficiente alla seconda piastra cavità durante l'estrazione.

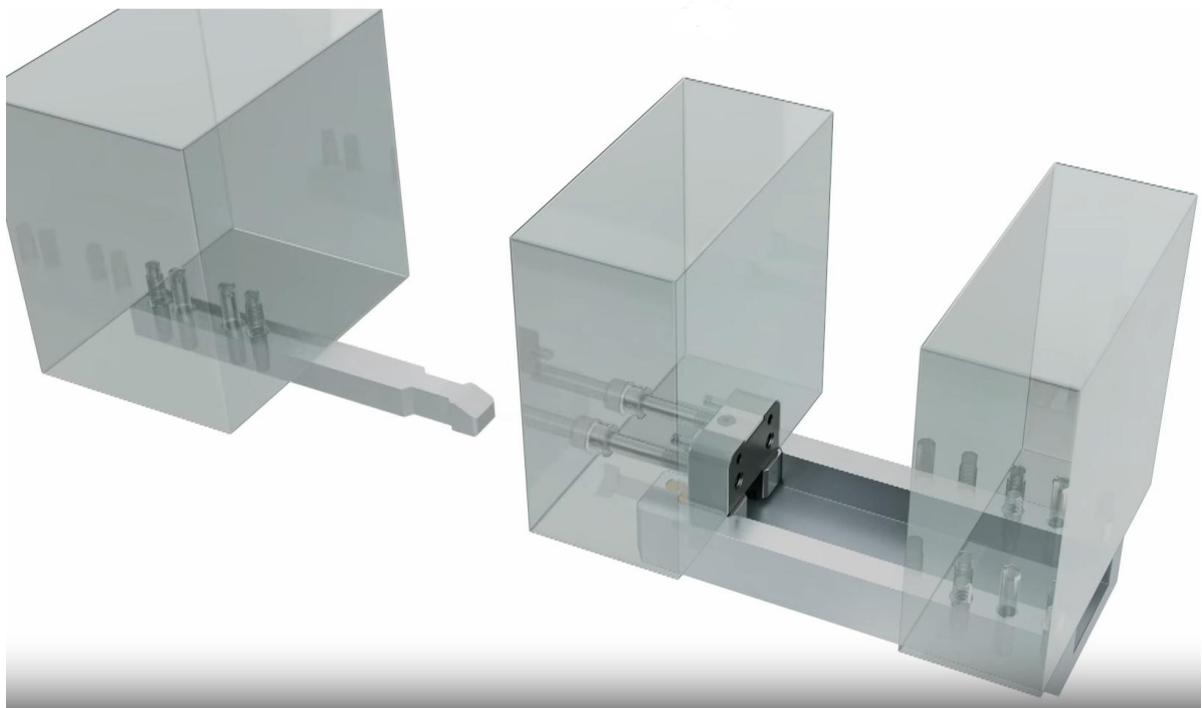


Figura 5.3 Schema di apertura dello stampo (da sinistra a destra: punzone, seconda cavità e cavità)



Figura 5.4 Dettaglio del tassello che si trova nella seconda piastra cavità

5.3 Estrazione del componente

Definita la corsa di apertura dello stampo e i macro-movimenti delle piastre si prosegue con la progettazione dell'estrazione del componente. Con la fase precedente si è visto che la piastra punzone alla fine della corsa deve essere distante almeno 105 mm dalla seconda piastra cavità, altrimenti il pezzo non fuoriesce dal tassello. Infatti, sulla piastra punzone verrà fissato un tassello, il quale è il negativo della parte interna del pezzo e ha il compito di ricavare tutta questa parte, quindi, deve contenere tutti i dettagli del prodotto finito. Grazie alle scelte compiute durante la fase di scelta delle piastre standard, in particolar modo l'altezza dei distanziali, il tavolino d'estrazione può compiere una corsa massima di 109 mm permettendo così l'estrazione del pezzo.

La fase di espulsione avviene ultimato il movimento del blocco di estrazione che raggiungendo il fine corsa si blocca. A questo punto la pressa spinge il tavolino, e tutti gli elementi collegati ad esso, verso la piastra punzone facendo avanzare gli estrattori. Quest'ultimi da una parte sono bloccati nel tavolino d'estrazione, mentre dall'altra arrivano a combaciare al piano della figura. Infatti, devono essere distribuiti il più omogeneamente possibile perché durante la spinta per espellere il pezzo dallo stampo se non agiscono in modo adeguato possono provocare distorsioni del prodotto finito o difetti superficiali troppo visibili. Bisogna tenere in considerazione che essi creeranno sempre dei difetti estetici superficiali sul pezzo quindi

bisogna, dove possibile, metterli in zone non particolarmente visibili. In questo caso sono stati scelti degli estrattori di diametro 10 e 12 mm in base alla zona su cui agiscono.

Un tipo particolare di estrattori sono quelli denominati a “cannocchiale” in cui c’è un perno centrale fisso, che solitamente serve anche a ricavare dei fori nel componente, e un tubolare esterno che funge da estrattore. Il perno interno è vincolato nella piastra inferiore e bloccato tramite un grano, rimanendo così fermo durante il movimento di espulsione del pezzo, mentre il cilindro esterno è vincolato al tavolino, contribuendo così all’ estrazione. Solitamente questo tipo di estrattori è utilizzato in corrispondenza di fori, in questo caso su tutte le sedi delle viti del coperchio e della scheda di potenza, poiché una volta avvitate le viti il segno che rimane sul pezzo viene coperto e non rimane visibile con il componente montato. In figura 5.5 è riportato un dettaglio per visualizzare dove sono vincolati i vari estrattori. Le varie piastre sono in trasparenza per permettere di vedere al loro interno mentre gli estrattori e i cannocchiali no. Si può così osservare che tutti gli estrattori sono vincolati tra le due piastre del tavolino come anche il cilindro esterno dei cannocchiali, al contrario i perni centrali di questi elementi sono bloccati nella piastra inferiore tramite i grani.

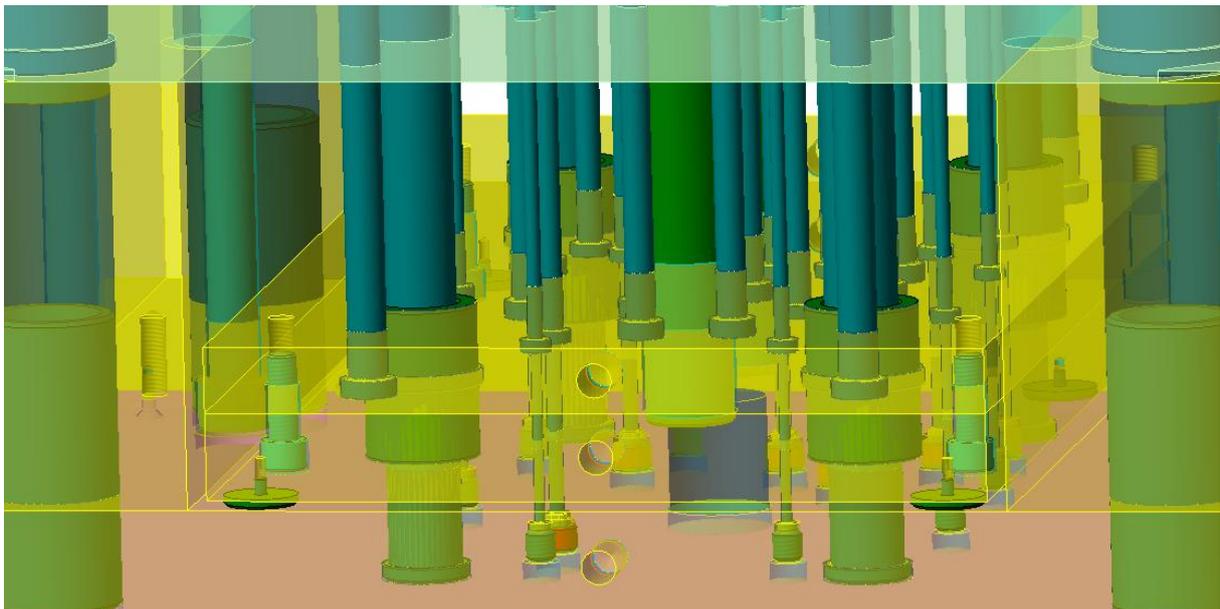


Figura 5.5 Dettaglio dei vincoli degli estrattori e cannocchiali

In figura 5.6 è rappresentata tutta la zona di chiusura dello stampo lato estrazione; infatti, si possono notare le colonne di guida alle estremità, i fori per le colonne aggiuntive, i perni del sistema di movimentazione visti nel capitolo 5.2 e i return pins che si trovano sul piano superiore della piastra punzone. Inoltre, si possono notare tutti i perni fissi dei cannocchiali

utilizzati per le sedi delle viti del coperchio siccome sono sporgenti rispetto al piano di chiusura mentre non sono visibili quelli per i supporti della scheda perché all'interno del tassello.

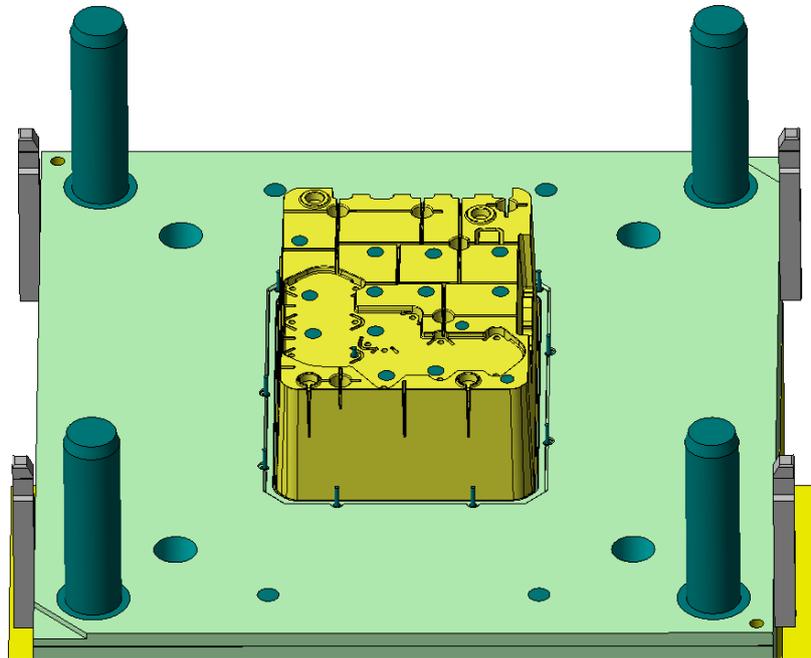


Figura 5.6 Dettaglio zona di chiusura lato estrazione

5.4 Progettazione dei carrelli

Come già detto in precedenza, per realizzare tutti i fori sulle pareti laterali sarà necessario usare dei carrelli di complessità più o meno elevata; quindi, nel caso della scatola SIP bisognerà utilizzare cinque diversi carrelli. Il procedimento da seguire per la progettazione è circa lo stesso per tutti ma alcuni avranno ulteriori accorgimenti riguardo gli sfiati dell'aria e i finecorsa utilizzati.

Innanzitutto, bisogna sapere di quanto devono spostarsi per svincolarsi dal pezzo, ovvero la corsa minima che devono compiere, determinando così la lunghezza della colonna di guida. Solitamente sono composti da parti standard come le guide, le staffe e i finecorsa mentre non lo sono i carrelli in sé, ovvero ciò che va a creare la figura siccome sono sagomati in funzione della geometria del pezzo che andranno a realizzare e i distanziali che servono per tenerli in posizione. Una volta determinati gli elementi standard si passa al disegno del carrello, il quale deve contenere l'alloggiamento della colonna di guida, le superfici che saranno a contatto con i "pattini" posteriori e inferiori, la forma che deve realizzare nel pezzo e degli eventuali tasselli che definiscono la figura del componente per poter creare posteriormente degli sfoghi dell'aria. Da notare il fatto che le colonne sono inclinate di 18° e secondo questa direzione di muovono i

carrelli, mentre i pattini posteriori hanno una superficie inclinata di 20° per evitare il tallonamento e il conseguente grippaggio durante il movimento del carrello. L'altro compito fondamentale dei pattini posteriori è quella di tenere il carrello in posizione (siccome fissati tramite viti alla piastra cavità) quando lo stampo è chiuso e viene iniettata la plastica; quindi, hanno una lastra che è a contatto del carrello di materiale più duro il quale è stato rettificato per rientrare nelle tolleranze richieste.

Il primo carrello che si va ad analizzare è quello che serve per creare il foro sulla parte in alto della scatola (visibile in figura 3.18 in alto a destra). In questo caso il carrello utilizzato è completamente standard e preso dal catalogo della Meusburger, fornitore della Merlo riguardo lo stampaggio ad iniezione, e come si può osservare in figura 5.7 il cilindro di sinistra è quello che genera il foro mentre si può notare in trasparenza la guida che serve a far traslare il carrello verso destra, ovvero verso l'esterno dello stampo. Al di sopra del carrello, in trasparenza, è rappresentato il distanziale, il quale è avvitato alla piastra cavità e ad esso viene avvitata la parte fissa del carrello, ossia quella gialla.

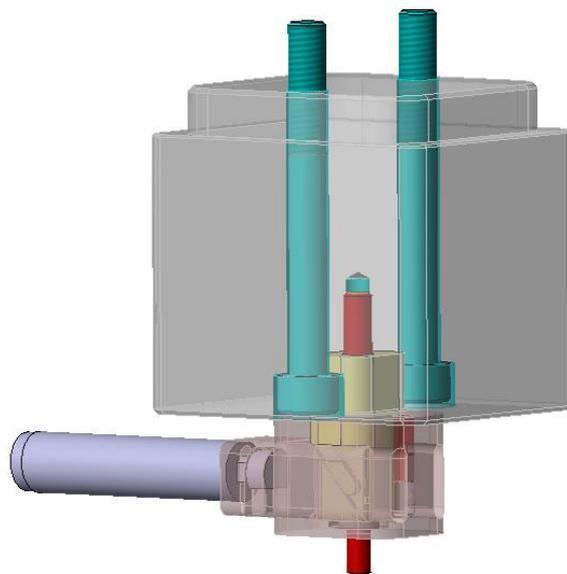


Figura 5.7 Carrello per realizzare il foro superiore

Il secondo carrello che si analizza è quello sullo stesso lato del precedente, il quale serve ad ottenere le aperture X e Y che servono a far passare i connettori che alimentano l'inverter. In trasparenza si possono vedere il distanziale e la parte che serve per bloccare la colonna di guida, ed entrambi essendo avvitati alla piastra cavità rimarranno fermi per tutto il movimento di apertura. Tutti gli elementi che non son in trasparenza in figura 5.8 sono quelli che si muovono

con la seconda piastra cavità e durante la corsa di apertura, grazie alla colonna inclinata, il carrello scorre verso l'esterno sulle guide in grigio più scuro le quali sono avvitate alla seconda piastra cavità. Il tutto è supportato dalla piastra in grigio più chiaro che serve anche come alloggiamento per i tubi del raffreddamento; infatti, sulla fine sono avvitate delle piastrine che servono a tenerli in posizione. La parte finale del carrello, quella che va a creare le aperture nel pezzo, è vincolata alla parte mobile (parte rosacea) attraverso una spina interna di collegamento e su tutti i lati è stata "spogliata" per fare in modo che appena inizia il movimento di traslazione esso si svincola immediatamente dalla seconda piastra cavità evitando così il grippaggio.

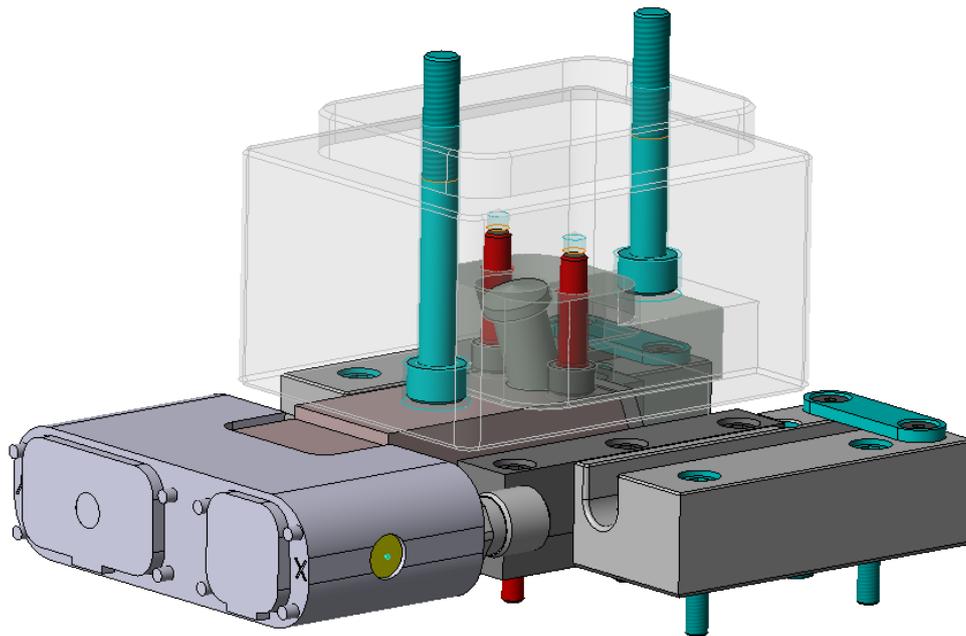


Figura 5.8 Carrello per realizzare le aperture X e Y

Il carrello riportato in figura 5.9 viene utilizzato per la realizzazione delle uscite dei connettori B. Anche in questo caso si evidenzia la colonna inclinata la quale è stata dimensionata per una lunghezza tale da permettere al tassello di uscire dal pezzo prima dell'estrazione. I due pattini dietro servono per tenere il carrello in posizione durante l'iniezione del materiale e rimangono uniti alla piastra cavità tramite delle viti e per mezzo della piastra inclinata permettono lo scivolamento del carrello. Siccome il carrello ha una lunghezza elevata sono state aggiunte due piastrine sulla parte superiore che sono avvitate alla seconda piastra cavità e servono a fargli seguire la giusta traiettoria durante l'apertura anche grazie all'aiuto della guida inferiore. Sono stati aggiunti i tasselli per creare i fori nel pezzo e non sono stati ricavati direttamente dal carrello perché dietro ognuno di essi si è creato un foro che si collega al canale di diametro minore visibile in figura 5.9 sotto a quelli del raffreddamento per avere degli sfoghi dell'aria in

questa zona, prevenendo così delle bruciature sul pezzo in questa area. In figura 5.10 è riportato il dettaglio del finecorsa che si trova sotto il carrello per evidenziarne il funzionamento, quando il carrello arriva alla massima apertura la protuberanza del finecorsa si incastra nella tasca realizzata sul fondo del carrello andando a bloccarlo. L'accorgimento che è stato fatto riguarda proprio la posizione di questo carrello rispetto allo stampo una volta montato sulla pressa; durante lo stampaggio esso si troverà sulla parte superiore, quindi, tenderà a scendere verso il basso per la forza di gravità e se il carrello non rimane completamente aperto quando si chiuderà lo stampo esso andrà a sbattere contro la piastra cavità provocando notevoli danni. Per evitare questo problema è stato scelto questo finecorsa che ha una tenuta notevolmente maggiore rispetto a quelli installati per gli altri carrelli che sono standard.

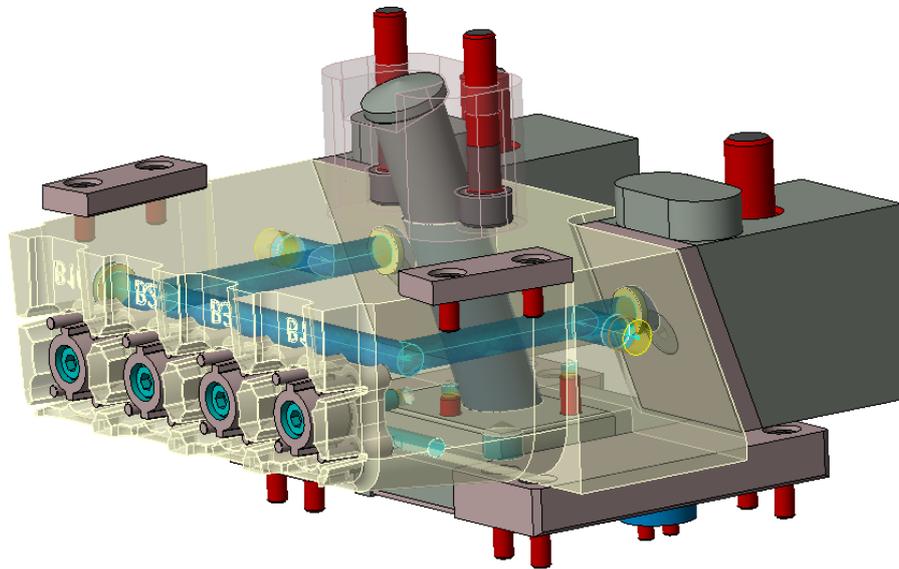


Figura 5.9 Carrello per creare le aperture dei connettori B

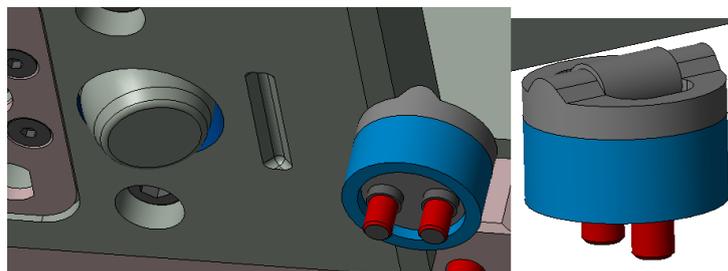


Figura 5.10 Dettaglio del finecorsa del carrello

Infine, per realizzare le uscite dei connettori K, R e il foro all'interno del quale passa il cavo di potenza si sono uniti i due carrelli in uno unico, riportato in figura 5.11. Come per il carrello precedente anche in questo si è utilizzata una colonna inclinata come guida e dei pattini

posteriori che, oltre a guidare il movimento in fase di aperture, aiutano a mantenere fermo in posizione il carrello durante la fase di iniezione. La parte principale del carrello è quella atta a realizzare le uscite K e R del pezzo mentre quella per realizzare il foro è una aggiunta che è comandata dalla parte principale, siccome rigidamente collegata. Anche in questo caso si sono utilizzati dei tasselli (di colore beige in figura 5.11) realizzando degli sfoghi dell'aria posteriori; l'aria passa attraverso le fessure realizzate sulle facce anteriori dei tasselli e passando tra le viti raggiungono le scanalature sulla parete inferiore dei tasselli arrivando così sul fondo dei tasselli (dettaglio riportato in figura 5.12 a sinistra). In figura 5.12 a destra è riportato il dettaglio del sistema di fine corsa posizionato sulla parte inferiore del carrello; muovendosi, i perni uscenti dal fondo del pattino, vanno ad incastrarsi negli elementi di destra che sono avvitati alla seconda piastra cavità.

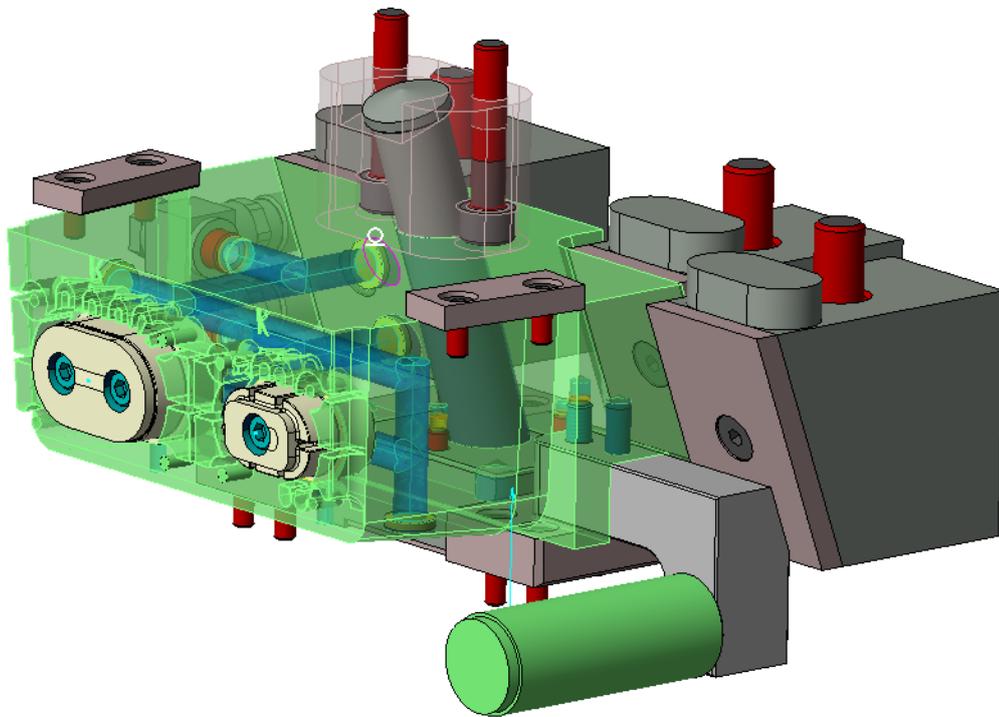


Figura 5.11 Carrello per realizzare le aperture K e R e il foro per l'ingresso di potenza

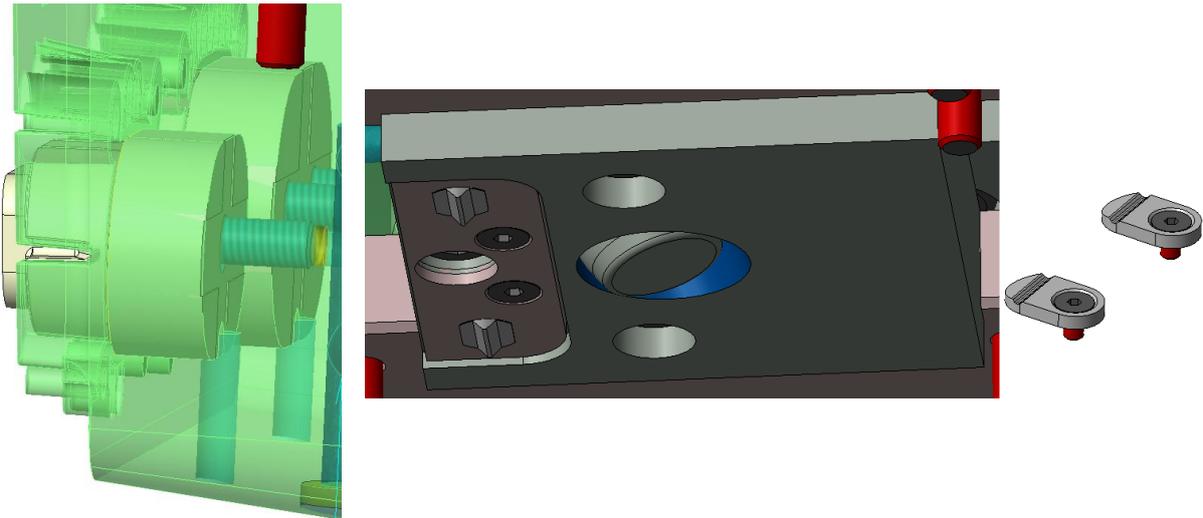


Figura 5.12 Dettaglio degli sfoghi dell'aria (sinistra) e del sistema di fine corsa (destra)

Come si può notare nelle figure precedenti rappresentanti i vari carrelli, sono tutti raffreddati (tranne i due che realizzano i fori perché di piccole dimensioni) internamente per evitare che le zone del pezzo limitrofe si riscaldino troppo andando a creare deformazioni troppo elevate e inaccettabili siccome sono zone di collegamento con elementi esterni.

5.5 Canali di raffreddamento

Il sistema di raffreddamento è suddiviso principalmente in due parti: un primo circuito che raffredda entrambe le piastre cavità e tutti i carrelli di dimensione più elevata per i quali è necessario mantenere la temperatura sotto controllo e un secondo circuito che serve per raffreddare la piastra punzone e il tassello. Il liquido di raffreddamento utilizzato è dell'acqua a una temperatura prestabilita in modo tale da mantenere lo stampo a 70°C con all'interno un agente anticorrosivo, il quale salvaguarda i canali e i vari elementi collegati dalla ruggine. Per realizzare le curvature dei canali all'interno delle piastre è necessario forare a partire dai lati andando a creare così dei fori che si intersecano tra loro; tutti i fori sono stati eseguiti tramite foratura o alla fresa o con il trapano radiale e il diametro dei canali è pari a 8 mm. Per indirizzare l'acqua attraverso il percorso voluto sono necessari dei tappi in ottone con guarnizione O-ring che sono messi all'interno dei canali e avvitandoli vanno a premere l'O-ring contro il canale assicurando la tenuta. Essi servono a deviare il flusso d'acqua all'interno mentre sul fondo del "canale cieco" sono inseriti ulteriori tappi in rame di diametro maggiore montati per interferenza per assicurarsi che non ci siano perdite durante lo stampaggio.

Si inizia analizzando il circuito appartenente alla prima piastra cavità, il quale si sviluppa su un solo piano siccome serve principalmente a raffreddare la zona nel dintorno della camera calda e tutta la parte inferiore di tale piastra, perché andrà a contatto con la seconda piastra cavità. In figura 5.13 è rappresentata la vista dall'alto della prima piastra cavità che è stata messa in trasparenza per poter vedere al meglio il circuito di raffreddamento al suo interno. L'acqua entra dall'attacco rapido indicato dalla freccia rossa e viene deviata sull'altro lato con un tubo flessibile all'esterno della piastra. L'acqua continua il suo percorso intorno alla sede della camera calda grazie a tre deviazioni per poi uscire e rientrare verso la parte più esterna. Come si può osservare in figura 5.13 l'acqua lascia la piastra tramite il tubo in alto a destra, il quale indirizza il flusso verso un carrello posizionato nella seconda piastra cavità e deve essere abbastanza lungo da permettere la corsa di apertura della seconda piastra cavità rispetto alla prima.

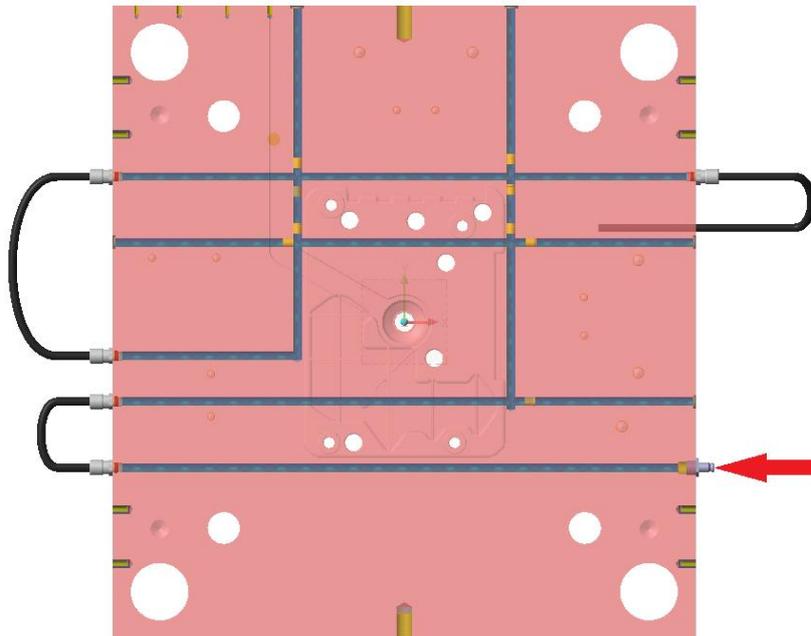


Figura 5.13 Vista dall'alto del circuito di raffreddamento della prima piastra cavità

Come detto precedentemente, il flusso continua nella seconda piastra cavità, più dettagliatamente nel carrello in figura 5.11, ed è stato indicato il flusso di ingresso con la freccia blu in alto in figura 5.14. Il fluido passa attraverso il carrello sopra citato e uscendo prosegue nell'altro carrello, rappresentato in figura 5.9, per passare infine nel carrello in figura 5.8. Terminati i vari passaggi nei diversi carrelli il flusso procede entrando nella seconda piastra cavità. In questo caso per ottenere un raffreddamento il più omogeneo possibile esso è stato

sviluppato su tre diversi piani, dove l'acqua entra in quello inferiore per uscire da quello superiore. Il punto di ingresso si trova in basso a sinistra in figura 5.14 (indicato dal cerchio rosso) e segue un percorso a "L" fino alla freccia rossa a destra, la quale è stata inserita per evidenziare il fatto che il liquido sale a un "piano superiore". Successivamente esso continua per un breve tratto a destra per svolgere un altro percorso a "L" fino alla freccia rossa di sinistra dove sale sul "piano superiore". Infine, tramite un ulteriore percorso a "L" esso arriva fino alla freccia blu di destra che indica l'uscita dalla piastra. Come si può notare i flussi all'interno delle piastre seguono sempre percorsi rettilinei con cambi di direzione di 90° per fare in modo di raggiungere uniformemente tutta la piastra. Andando a unire i percorsi per raffreddare le due piastre cavità si ha un solo ingresso e una sola uscita andando a semplificare per gli operatori il processo di montaggio dello stampo in pressa. Inoltre, si specifica che il percorso dell'acqua in una direzione o in quella opposta è indifferente e gli ingressi e uscite sono state posizionate sul lato opposto all'operatore, una volta che lo stampo è posizionato sulla pressa, per evitare che se si verificassero dei problemi per un non ottimale montaggio l'operatore non entri in contatto con acqua calda evitando infortuni.

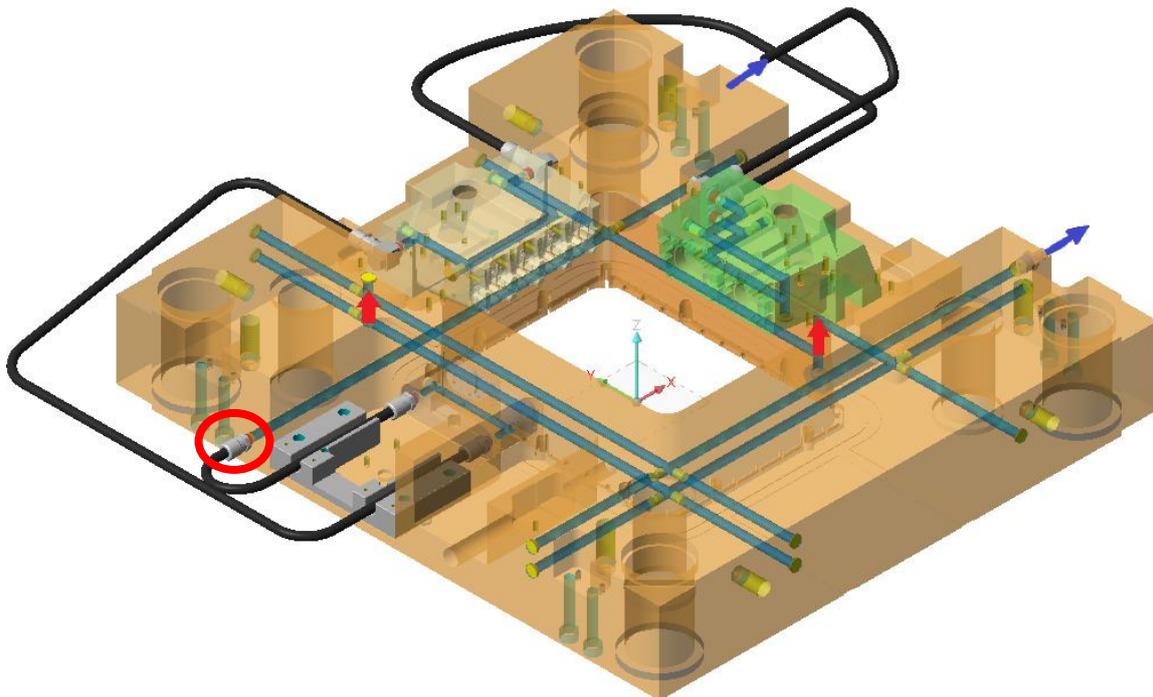


Figura 5.14 Dettaglio del percorso di raffreddamento nella seconda piastra cavità e carrelli

Infine, si analizza il circuito di raffreddamento che interessa la piastra punzone riportato in figura 5.15, il quale è indipendente da quello delle due piastre cavità. Le frecce rosse indicano

l'ingresso e l'uscita dell'acqua nella piastra tramite degli attacchi rapidi e proprio come per il circuito precedente anche in questo la direzione del flusso è indifferente. Il fluido in questo caso segue un percorso a serpentina sul piano ed esce e rientra sul lato superiore tramite un raccordo rigido esterno. La particolarità di questo percorso è la presenza delle diverse fontane (o lame deviatoriche o baffi), lamelle in grigio in figura 5.15, le quali vengono fissate sul fondo alla piastra punzone. Esse sono collocate in appositi fori del tassello, qui non riportato per facilitare la visualizzazione delle fontane (visibile però in figura 5.6), che verrà posizionato su questa piastra per ricavare tutta la parte interna della scatola. L'acqua che circola nel canale incontra questa lamella ed è costretta a risalire verso l'alto fino a quando arriva sulla punta della lamella e prosegue il suo percorso scendendo sull'altra faccia. Così facendo si riesce a far circolare l'acqua anche all'interno del tassello e si riesce a raffreddare tutta la parte interna del pezzo finito. Questo dettaglio è di fondamentale importanza siccome gli elementi interni alla scatola SIP non devono subire troppe deformazioni altrimenti il pezzo finito non sarebbe adeguato al montaggio, perciò, si deve mantenere la temperatura il più omogenea possibile. In questo caso sono state disposte sei fontane di lunghezza maggiore pari a 120 mm per avvicinarsi il più possibile al fondo della scatola e sei fontane di lunghezza minore pari a 100 mm siccome in questa zona il tassello presenta degli intagli che servono a realizzare i centraggi dei relè interni.

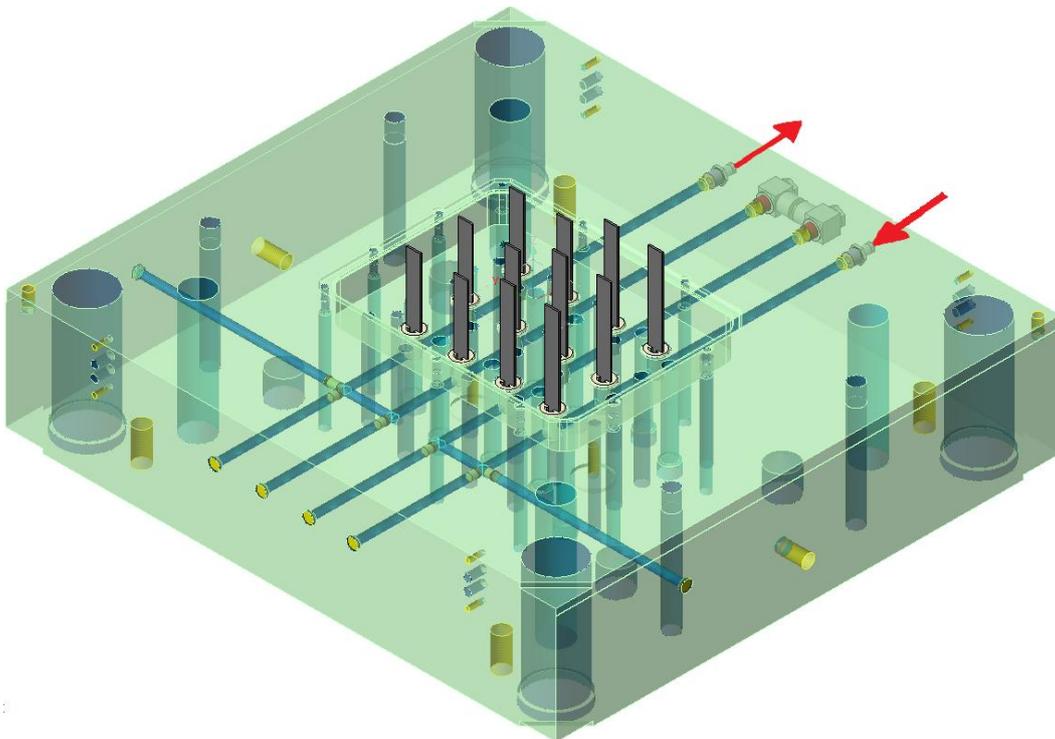


Figura 5.15 Dettaglio canali di raffreddamento piastra punzone

Infine, viene presentato lo stampo completo di tutti gli elementi sopra descritti in modalità trasparente per poter osservare gli elementi interni.

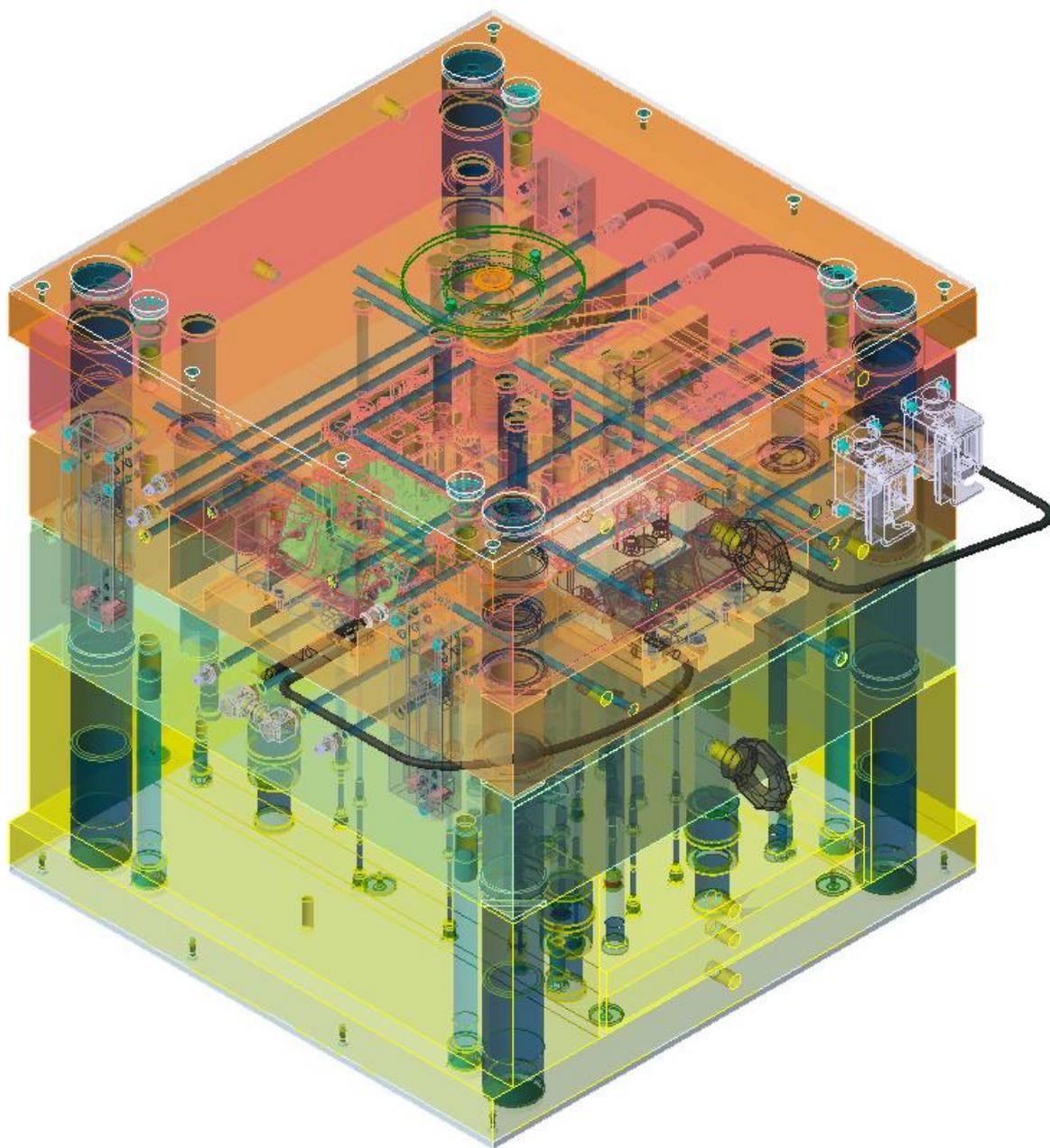


Figura 5.16 Stampo completo di tutti gli elementi

6. LAVORAZIONI CAM

In questo capitolo vengono presentate le varie lavorazioni che si possono simulare tramite il software VISI e infine verrà trattato un componente particolare andando a realizzare il programma di lavorazione che dovrà subire alle macchine utensili.

6.1 Operazioni utilizzate in fresatura

Tramite l'ambiente CAM di VISI si possono svolgere tutte le operazioni di fresatura, foratura e lavorazioni tramite elettroerosione a filo. Quelle di interesse in questo caso sono relative alla fresatura denominate 2.5 e 3 assi, poiché le forature sono svolte dagli operatori tramite trapano radiale, oppure se di lunghezza contenuta anche alla fresa, mentre le operazioni a 5 assi non vengono utilizzate siccome non sono presenti macchine a controllo numerico a 5 assi e lo stesso vale per l'elettroerosione. Gli assi di una macchina indicano i movimenti e le rotazioni che si possono effettuare e la denominazione degli assi macchina è stabilita dalle norme EIARS-267-A conformi alla UNI ISO 841.

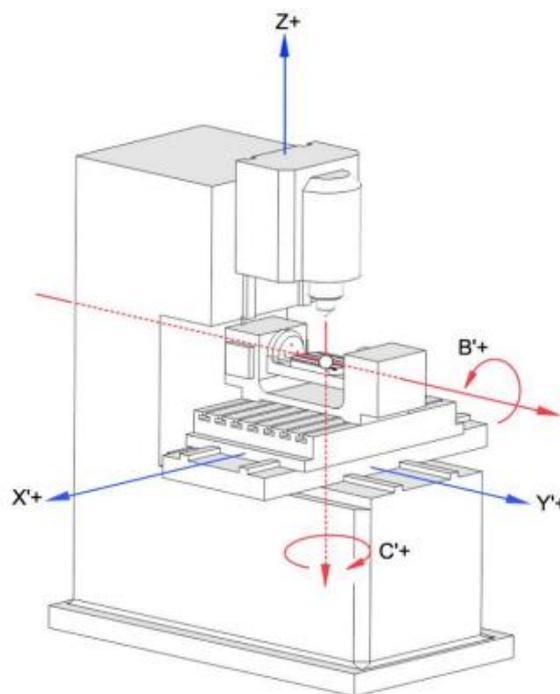


Figura 6.1 Schema degli assi secondo normativa

Le macchine dette a due assi possono compiere movimenti solo lungo gli assi X e Y mentre l'asse Z non è controllato dinamicamente. Le macchine a 2.5 assi oltre ai movimenti in X e Y compie anche movimenti lungo Z ma non simultaneamente con gli altri due quindi non si possono svolgere movimenti curvi in 3D. Invece le macchine a 3 assi possono svolgere movimenti simultanei e continui lungo gli assi X, Y e Z permettendo di lavorare superfici tridimensionali complesse. Esistono anche le macchine a 4 o 5 assi le quali permettono anche rispettivamente una o due rotazioni della tavola porta pezzo per svolgere operazioni più complesse e diminuire il numero di posizionamenti del pezzo, ma esse non sono presenti in azienda. Successivamente vengono spiegate dettagliatamente le operazioni che verranno utilizzate in questo progetto di tesi mentre le altre operazioni presenti in VISI ma non utilizzate saranno solo riportate in figura 6.2 per completezza di trattazione senza appesantire la trattazione.

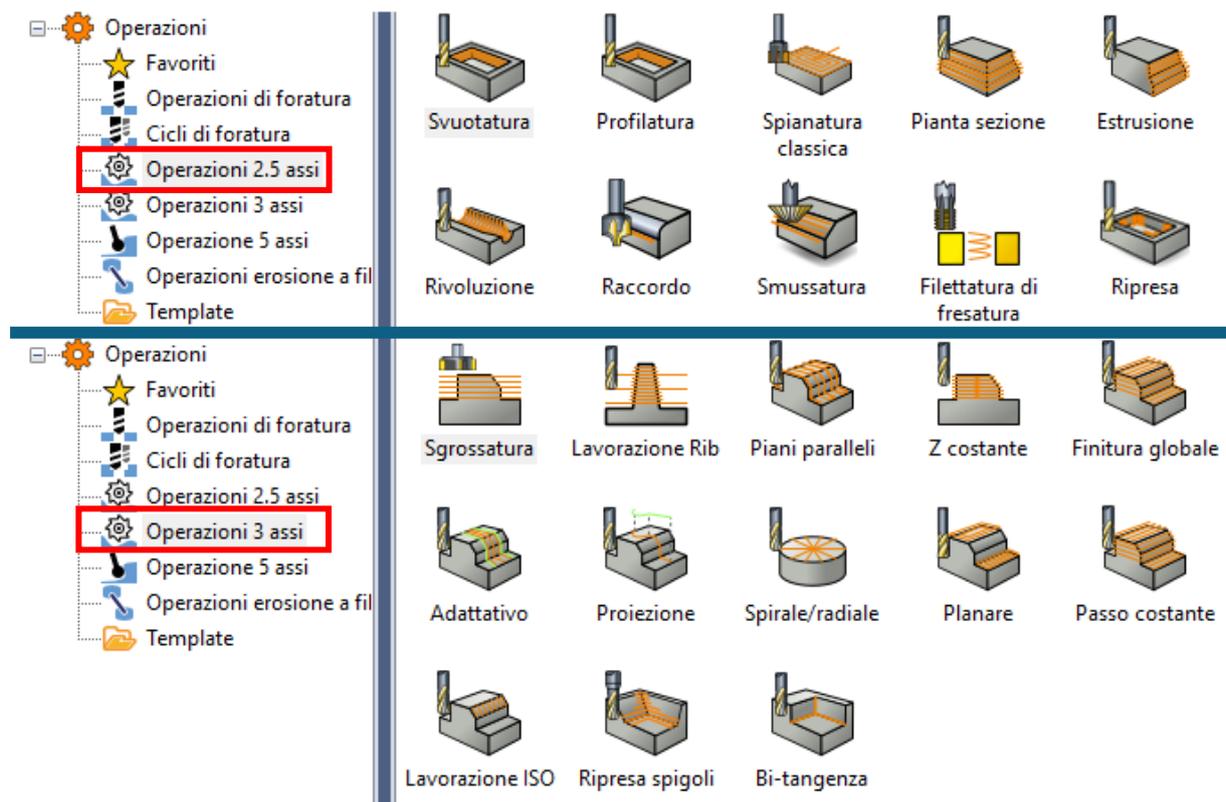


Figura 6.2 Programmi di fresatura 2.5 assi (sopra) e 3 assi (sotto)

Le macchine utensili utilizzate sono a 3 assi ma vengono comunque utilizzate delle operazioni a 2.5 assi per quanto riguarda la realizzazione di semplici tasche o la profilatura dei contorni nei quali si richiede una maggiore precisione. Come si può osservare in figura 6.2 le operazioni a 2.5 assi utilizzate sono:

- Svuotatura: calcola il numero di passate parallele per rimuovere materiale all'interno di profili chiusi o aperti. Vengono svolte passate in Z multiple per raggiungere la profondità desiderata andando a creare diverse isole alle varie altezze. Questa operazione si "appoggia" sul grezzo per calcolare quante passate deve fare per ogni incremento di Z.
- Profilatura: calcola un percorso utensile che segue la forma di un profilo aperto o chiuso e definisce un'operazione di contornatura da eseguire completamente o parzialmente, rispettando allo stesso tempo la superficie della feature e il lato del materiale. Bisogna porre particolare attenzione alla lunghezza utile della fresa per evitare grippaggi indesiderati. Al contrario della precedente questa operazione si "appoggia" sul pezzo finito quindi se si svolge l'operazione con un sovrametallo eccessivo si rischia la rottura dell'utensile; quindi, sta al programmatore utilizzarla solo come ultima passata di finitura, oppure prevedere un adeguato sovrametallo rimanente.
- Raccordo: calcola il percorso utensile che forma un raggio convesso su un profilo utilizzando uno strumento specifico, ad esempio una fresa a testa sferica, una fresa a becco di civetta o una fresa per arrotondamento angoli.
- Smussatura: calcola un percorso utensile come smusso su un profilo utilizzando un utensile specifico come una fresa conica, una fresa conica sferica, una fresa conica toroidale, una fresa per smussatura, una fresa a testa sferica o una fresa toroidale. Il motore non consente di creare un'operazione di smusso quando l'angolo della punta dell'utensile è diverso dall'angolo di lavorazione.

Le lavorazioni a tre assi sono sicuramente le più utilizzate siccome partendo dal grezzo e applicando le giuste operazioni si ricava il pezzo finito senza aggiungere particolari feature o percorsi utensile siccome essi sono calcolati direttamente dal software che cerca di ottimizzarli.

Come si può osservare in figura 6.2 le operazioni a 3 assi sono:

- Sgrossatura: questa operazione è progettata per la rimozione di grandi quantità di materiale in tempi molto rapidi grazie alla possibilità di definire un passo relativamente ampio (fino al 95% del diametro della fresa) e una elevata profondità di passata (anche il 100% della lunghezza utile dell'utensile). Solitamente viene lasciato un minimo di sovrametallo sul modello, che viene poi generalmente rimosso tramite un'operazione di finitura secondaria. Questa è l'unica operazione che partendo dal grezzo iniziale e conoscendo il pezzo finito, tenendo in conto del sovrametallo impostato, calcola il numero di passate che deve compiere e il percorso migliore da seguire. Tutte le altre

operazioni sono di finitura e considerando il pezzo finito, eventualmente anche il sovrametallo impostato, compiendo una sola passata per arrivare al risultato finale.

- Piani paralleli: questa strategia è progettata per lavorare in passate parallele seguendo il profilo superficiale del pezzo ed è in grado di gestire la collisione del controllo del portautensile e l'utensile a forma libera.
- Z costante: questa strategia è progettata per generare passate di lavorazione da una serie di profili superficiali che descrivono la forma delle superfici a diverse altezze Z, come sezioni orizzontali attraverso la geometria. Questa strategia è particolarmente adatta per superfici con angoli compresi tra 30 e 90 gradi, questo perché la distanza tra le passate viene misurata lungo l'asse dell'utensile (come per la fase di stepdown). Dove le superfici sono meno profonde, il materiale non verrà rimosso in modo altrettanto efficiente, quindi, bisogna garantire grazie alle lavorazioni precedenti un sovrametallo il più costante e omogeneo possibile.
- Planare: selezionando questa strategia, VISI individuerà tutte le aree piane della geometria e inserirà le passate a livello Z di ciascuna area. Viene spesso utilizzata per la finitura dove il materiale in eccesso è già stato rimosso ed equivale all'ultimo "anello" di una serie di passate di sgrossatura. Le passate planari agiscono solo sulle aree completamente piane mentre se una superficie presenta anche solo una piccola pendenza, questa non verrà rilevata.
- Ripresa spigoli: calcola le aree del pezzo in cui rimane del materiale dopo l'esecuzione dei percorsi utensile precedenti e crea le passate per lavorarle. Solitamente questo passaggio viene svolto alla fine delle lavorazioni e soprattutto negli spigoli nei quali rimane del sovrametallo dovuto a un diametro più grande dell'utensile utilizzato per le precedenti lavorazioni.

Scelto il tipo di operazione si passa alla definizione dei parametri di lavoro. Per ogni operazione sono presenti cinque schede e ognuna delle quali contiene al suo interno diversi parametri che possono essere scelti. Esse sono le medesime per qualunque tipo di operazione sia a 2.5 che a 3 assi ma i parametri che si possono impostare dipendono dal tipo di operazione; infatti, certe operazioni hanno la possibilità di alcune funzionalità in più di altre. Nel complesso le schede sono le seguenti:

- Tipo di geometria: si possono impostare il grezzo di partenza e le superfici che si vogliono lavorare oppure no e sono presenti le dimensioni massime dell'area di lavoro per l'operazione che si sta compiendo. Le operazioni a 2.5 assi dispongono di alcune

funzionalità aggiuntive per quanto riguarda il profilo che delimita la zona di lavoro ma non possono essere selezionate le superfici poiché l'algoritmo di calcolo non si basa su di esse ma bensì sui profili.

- Percorso utensile: in questa scheda si sceglie il sovrametallo che si vuole lasciare, gli incrementi in X, Y e Z, la tipologia di passate e altri parametri che sono specifici per ogni tipo di operazione, i quali servono per scegliere delle funzionalità aggiuntive che vanno a migliorare la lavorazione.
- Collegamenti: in questa finestra si sceglie come deve muoversi l'utensile mentre non sta asportando materiale. Infatti, si impostano le distanze di sicurezza, come devono essere gestite le transizioni tra un tratto e l'altro e i metodi di ingresso e uscita dell'utensile dalla zona di lavoro.
- Rilevamento collisioni: si impostano gli ostacoli, come le morse di serraggio e trattenuta del pezzo, la distanza alla quale bisogna stare da essi e la distanza minima che deve esserci tra il mandrino e il pezzo per evitare collisioni.
- Post-processor: in quest'ultima scheda si scelgono i parametri di taglio come: avanzamento per dente, velocità di taglio, velocità di rotazione e il tipo di refrigerante che viene utilizzato. In realtà tutti questi parametri vengono inseriti automaticamente dal software siccome sono impostati per ogni singolo utensile, anche a seconda del materiale che si va a lavorare e al tipo di operazione che si compie (sgrossatura, semi-finitura e finitura).

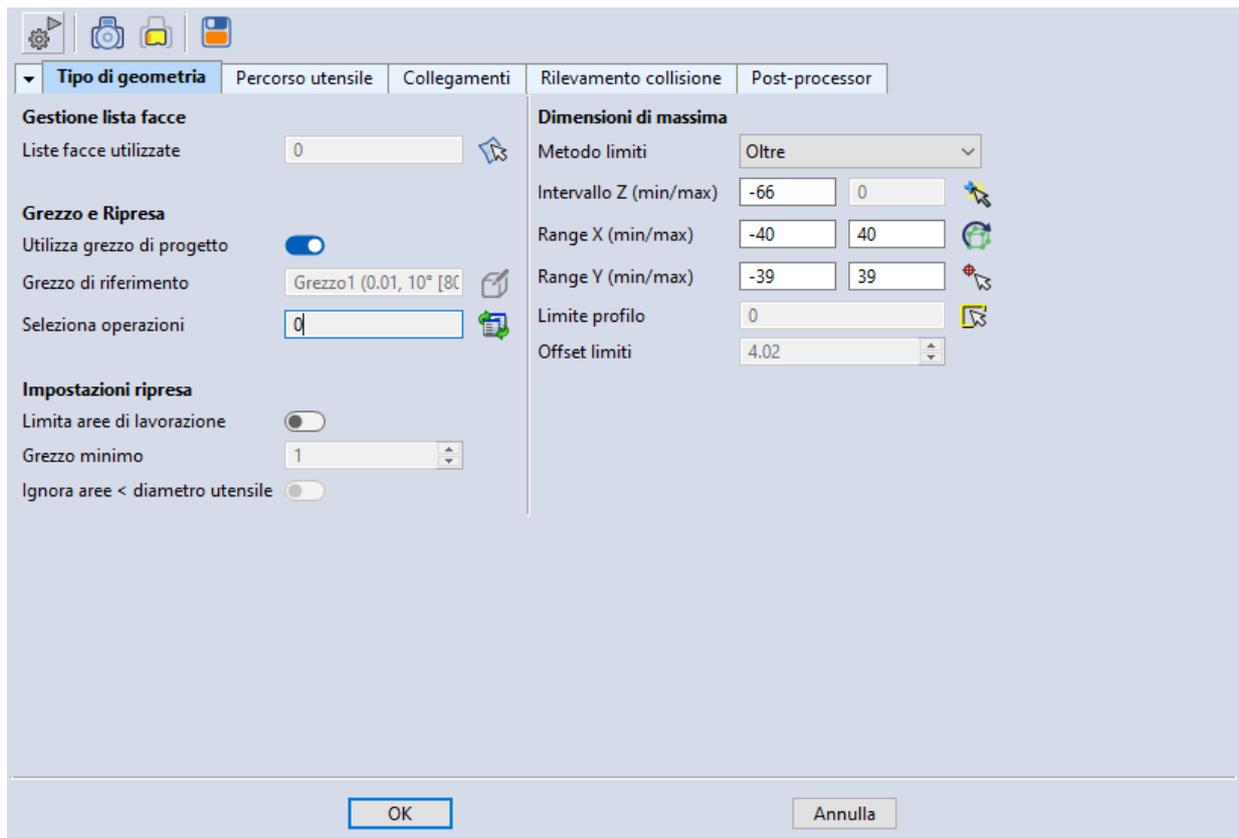


Figura 6.3 Esempio di una finestra di un'operazione (sgrossatura)

6.3 Programma CAM per la realizzazione del tassello

Il pezzo che si è deciso riportare nel progetto di tesi riguarda il tassello che si trova unito con la piastra di estrazione, il quale serve a creare tutta la parte interna della scatola. È stato scelto questo elemento siccome presenta una grande varietà e numero di operazioni utilizzate.

Il grezzo di partenza è un blocco di acciaio per utensili legato e bonificato DIN 40CrMnMoS86 con una resistenza a rottura di circa 1080 N/mm², scelto in particolar modo per la resistenza elevata, di dimensioni 296 x 245 x 136 mm. Come detto precedentemente, le lavorazioni più semplici vengono affidate agli operatori alle macchine utensili, ai quali viene fornita una tavola con le quote riguardante gli elementi da realizzare. La prima operazione eseguita è stata portare il pezzo all'altezza esatta; infatti, è stata fornita all'operatore la tavola in figura 6.4 che contiene sia il grezzo che il pezzo finito per dare un'idea all'operatore di come è posizionato il pezzo nel grezzo.

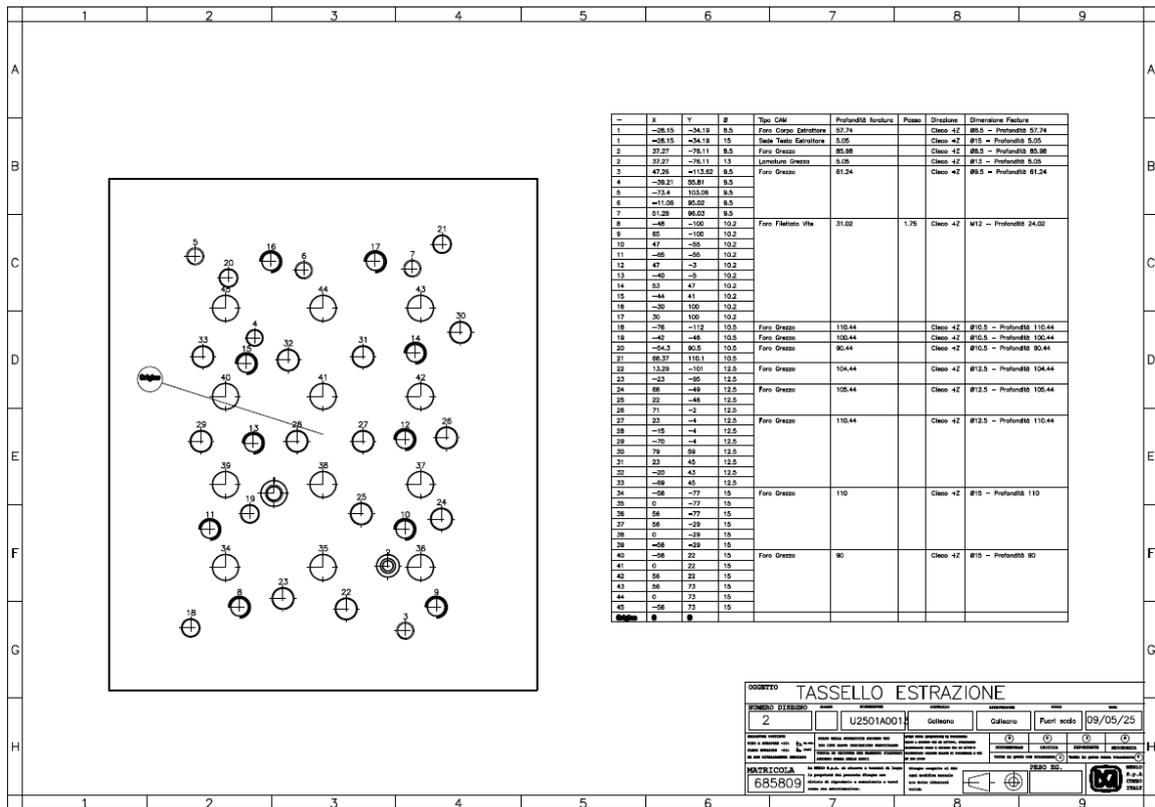


Figura 6.5 Tavola con vista dall'alto

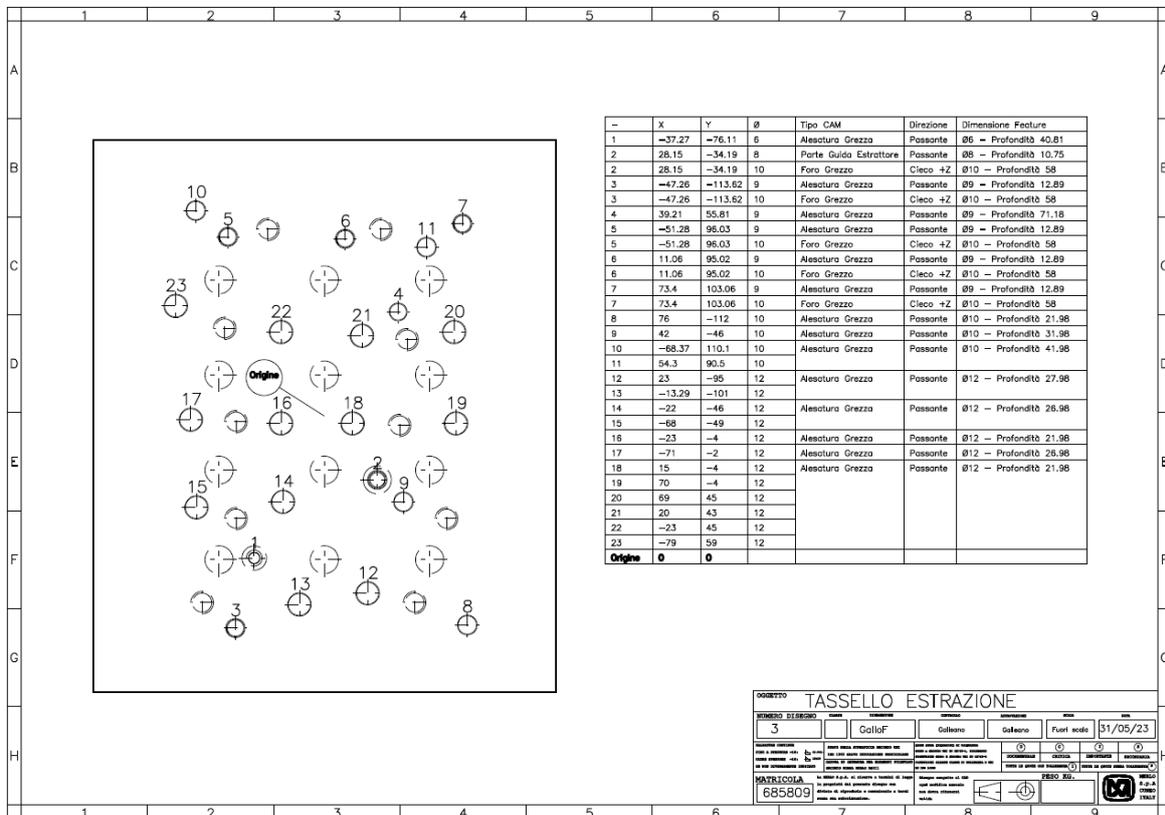


Figura 6.6 Tavola con vista dal basso

Il grezzo di partenza da utilizzare per creare i programmi CAM sarà quello che ha già subito tutte le operazioni sopra riportate. Il CAM navigator è suddiviso in due diverse zone, la prima nella quale vengono riportati il grezzo di partenza e il pezzo finito e tutti i grezzi e pezzi intermedi che servono per la programmazione delle operazioni, la seconda racchiude tutte le operazioni che si andranno a svolgere alle macchine utensili le quali sono legate ad un grezzo nel caso delle sgrossature oppure al pezzo finito nel caso delle operazioni di finitura.

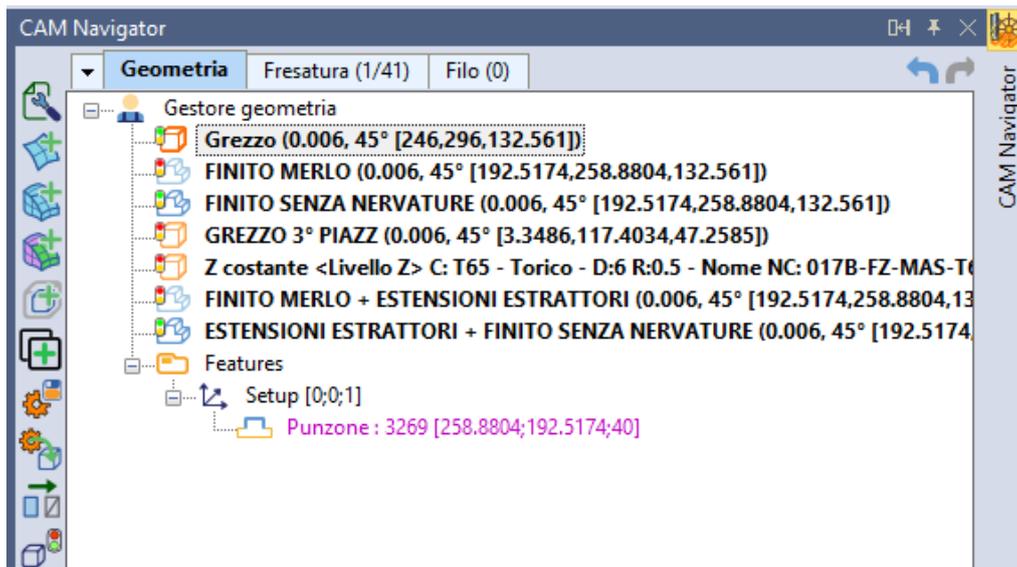


Figura 6.7 Finestra del CAM navigator con pezzi e grezzi utilizzati

I primi due elementi riportati rappresentano il grezzo iniziale (cubo arancione) e il tassello finito (parallelepipedo blu) mentre successivamente si trovano due ulteriori grezzi che rappresentano degli stati intermedi delle lavorazioni. Invece, i pezzi successivi rappresentano delle modifiche al tassello iniziale al fine di generare correttamente le operazioni in modo tale che lavorino solo alcune zone di nostro interesse. Infine, c'è una cartella denominata "features" contenente dei profili che servono per le operazioni con strategia di lavoro a 2.5 assi.

Per realizzare il pezzo nella sua interezza sono stati necessari cinque diversi posizionamenti per riuscire a lavorare in modo ottimale tutte le facce di nostro interesse e a ognuno di essi il software genera un CAM set-up sul quale si basano le operazioni. Esso deve essere posizionato in modo che sia funzionale alle operazioni che si vogliono compiere siccome le direzioni degli assi sono le stesse che si avranno sulla macchina utensile. In figura 6.8 è riportata la lista di tutte le lavorazioni eseguite con la descrizione e l'utensile utilizzato, divise in base al posizionamento del pezzo, e in totale sono 41.



Figura 6.8 Lista operazioni eseguite sul tassello

Il primo posizionamento serve per lavorare il retro del tassello e per ottenere il risultato desiderato si è dapprima applicata una sgrossatura lasciando un sovrametallo di 0.2 mm. Successivamente per ottenere il profilo esatto si è utilizzata una funzione a 2.5 assi, ovvero la profilatura, che con due passate riesce a ricavare la superficie finita, infine si è fatta una smussatura 1 x 45°. In figura 6.9 si osserva l'ambiente di simulazione cinematica all'interno

del quale vengono eseguite le simulazioni dei percorsi degli utensili. In blu è rappresentato il grezzo di partenza, in giallo ciò che si ottiene con l'operazione di sgrossatura, in verde il risultato della profilatura e infine è anche riportato lo smusso effettuato. Si nota anche che viene rappresentato l'utensile utilizzato con il proprio mandrino, e non tutta la macchina utensile siccome non è utile ai fini della visualizzazione del percorso utensile oltre al fatto che andrebbe ad appesantire di molto l'algoritmo di calcolo aumentando notevolmente il tempo di calcolo.

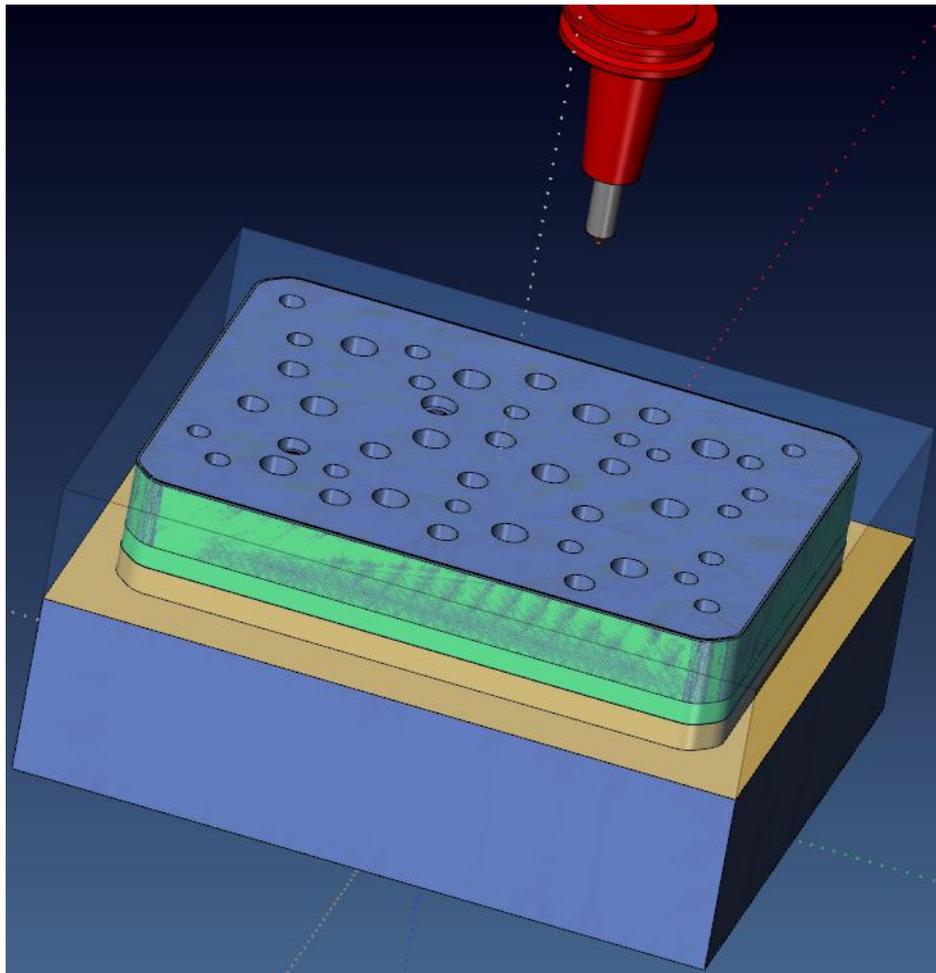


Figura 6.9 Simulazione di sgrossatura, profilatura e smussatura sul retro del tassello

Inoltre, in questo stesso ambiente è possibile andare a verificare quanto sovrametallo è rimasto rispetto al pezzo finito. Come si può osservare, a seguito delle operazioni sopra descritte, nella zona lavorata non è presente del sovrametallo siccome le superfici sono in un intervallo tra ± 0.01 mm, come si nota in figura 6.10, che è accettabile anche rispetto alla precisione della macchina utensile. Il tempo totale stimato che serve per terminare le tre operazioni è di 1h:22m.

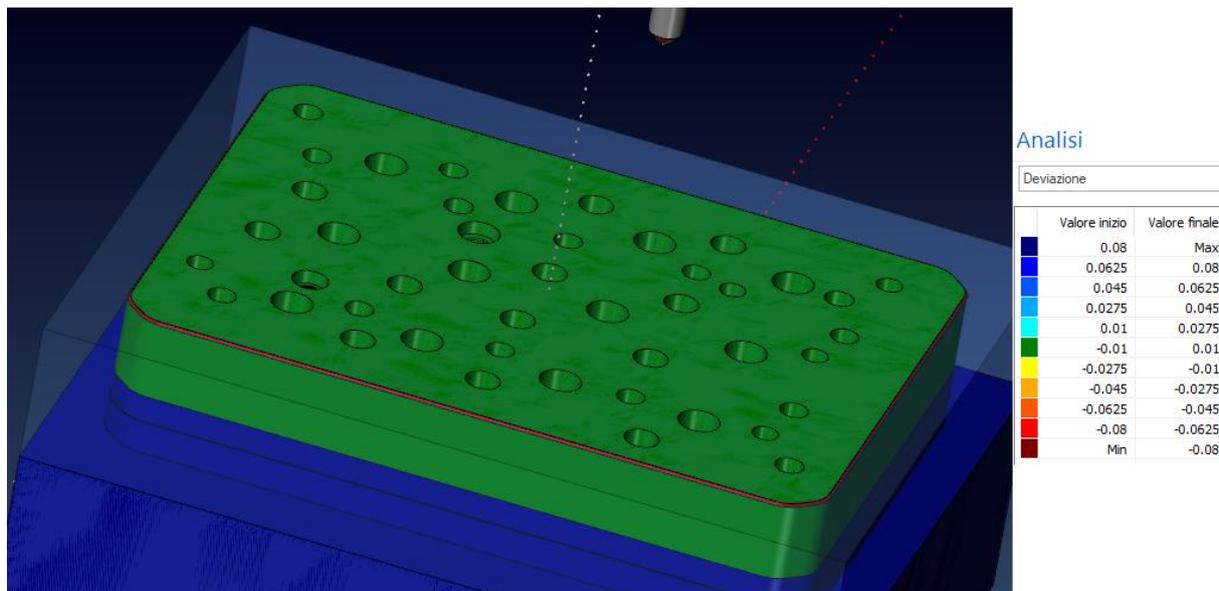


Figura 6.10 Analisi sovrametallo alla fine delle operazioni del primo piazzamento

Il secondo posizionamento prevede di lavorare tutta la parte superiore del tassello. Si è iniziato svolgendo delle sgrossature laterali con due diverse frese lasciando 0.2 mm di sovrametallo, prima con una fresa più corta e, solo per raggiungere profondità più elevate una più lunga, siccome è sempre meglio utilizzare le frese il più corte possibile per evitare vibrazioni indesiderate. Per terminare la sgrossatura laterale nella parte inferiore del tassello si è utilizzata un'altra operazione, la Z costante, la quale svolge una sola passata per ogni incremento di Z il che è sufficiente per asportare il materiale rimanente in questa zona. terminate le passate di sgrossatura si procede con la finitura e anch'essa è eseguita utilizzando l'operazione Z costante siccome con una unica passata si ottiene la superficie finita. Come per la sgrossatura si utilizzano tre diverse frese, via via con il gambo più lungo, per evitare vibrazioni e ottenere una rugosità adeguata sulla superficie.

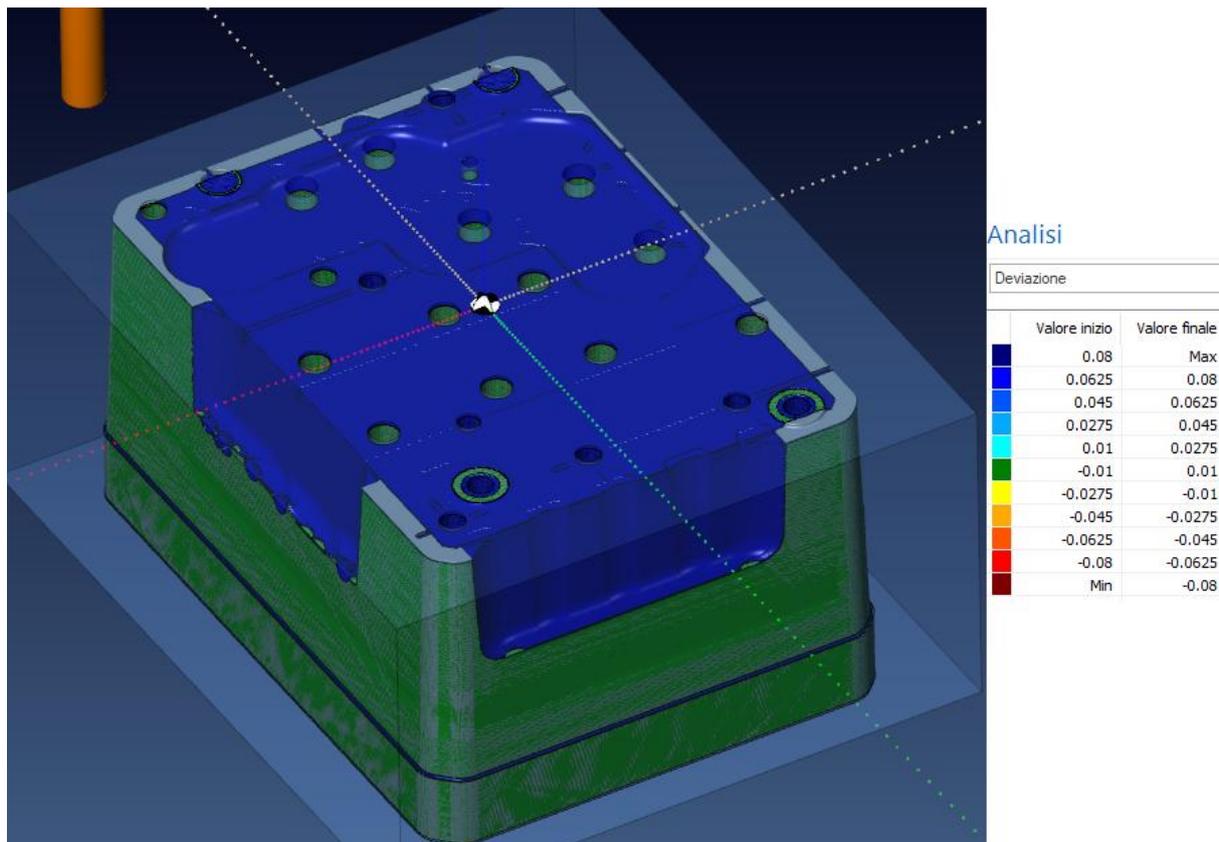


Figura 6.11 Analisi dopo le operazioni per finire la superficie laterale del tassello

Come si nota in figura 6.11 tutte le superfici laterali esterne rientrano nella tolleranza di ± 0.01 mm mentre la superficie superiore del tassello e le tasche laterali presentano ancora del materiale da lavorare. Questo è dovuto al fatto che le frese utilizzate hanno diametro maggiore di quello che servirebbe per lavorare le superfici in questione siccome si cerca di utilizzare sempre la fresa con il diametro maggiore possibile in base alla lavorazione che si vuole compiere per evitare flessioni dell'utensile, rischiando di non rispettare così le tolleranze richieste.

Si è proseguito con la lavorazione del piano superiore e, al fine di evitare di lavorare i fori già eseguiti, si è creato un pezzo finito "fittizio" il quale non presenta i fori precedentemente realizzati, così il software "non li vede" e non va ad intaccare queste zone. Come di consueto si sono prima svolte operazioni di sgrossatura del piano superiore e delle tasche laterali con frese di diametro via via minore per ottenere un sovrametallo residuo costante in tutti i punti per ottenere un migliore risultato in fase di finitura. Si è continuato con l'operazione "planare" per realizzare e finire il piano superiore del tassello, proseguendo con una sequenza di operazioni "Z costante" con frese sempre più piccole per realizzare tutte le cavità superiori del tassello e diminuire il sovrametallo nelle tasche laterali. Un accorgimento preso è stato quello

di eseguire le nervature con più operazioni disgiunte tra loro per fare in modo che ognuna di esse non durasse troppo in modo tale che dopo ogni singola lavorazione l'operatore a bordo macchina sostituisce la fresa. Se non si fosse utilizzata questa strategia ma un'operazione unica l'operatore non avrebbe saputo quando cambiare le frese e quindi ci sarebbe stato il rischio di romperle oppure lavorare con una fresa eccessivamente usurata non svolgendo così un buon lavoro. Il tempo stimato per eseguire tutte le operazioni con questo posizionamento è di 42h:26m.

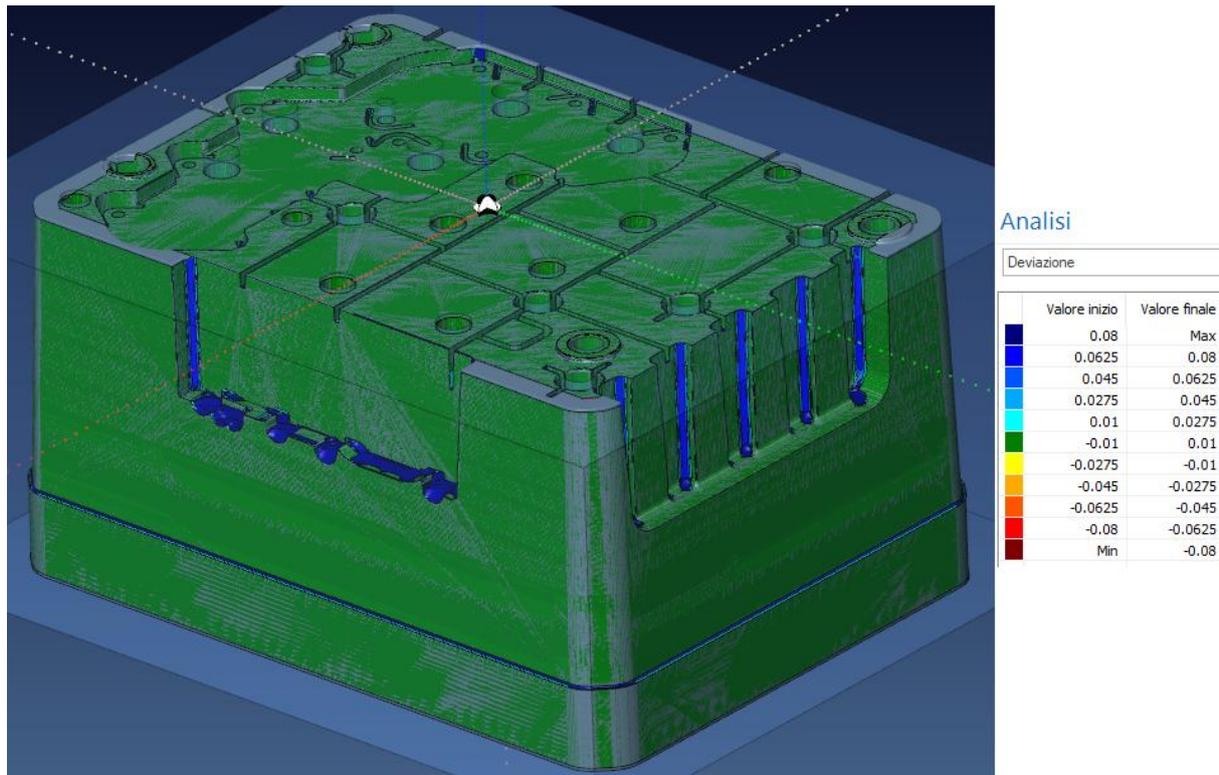


Figura 6.12 Analisi sovrametallo dopo i primi due piazzamenti

Come riportato in figura 6.12 bisogna ancora lavorare le tasche laterali ma per farlo è necessario ruotare il pezzo perché con questo posizionamento non si riescono a raggiungere in modo ottimale queste zone. Infatti, dapprima si ruota il tassello in modo tale da lavorare la tasca di sinistra in figura 6.11. Per ottenere le superfici desiderate si è scelto di fare alcune passate di grossatura con una fresa di diametro minore e più corta per ottenere lo stesso sovrametallo in tutti i punti della tasca. Successivamente tramite due operazioni di finitura con due frese, la seconda di diametro minore della prima, si è ottenuta la geometria finale. Successivamente si è lavorata la faccia posteriore del tassello siccome presentava ancora delle superfici con sovrametallo, visibili in figura 6.13. Per rimuovere il materiale in eccesso è stato necessario

ruotare il pezzo di 180° per lavorare perpendicolarmente queste zone e tramite una sgrossatura prima e una finitura poi si è raggiunto il risultato desiderato.

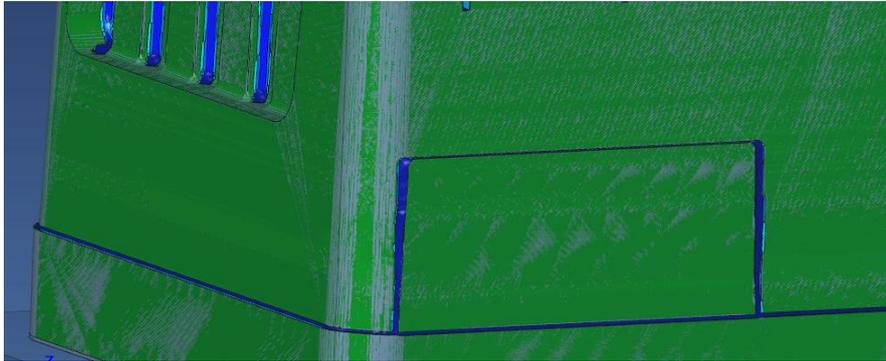


Figura 6.13 Dettaglio delle zone ancora da lavorare sulla faccia posteriore del tassello

Infine, si è ruotato una ultima volta il tassello nell'ultimo posizionamento per lavorare perpendicolarmente la tasca di destra visibile in figura 6.12. Come per le tasche precedenti anche per questa si è utilizzata la stessa strategia di lavoro, prima una sgrossatura e poi una finitura con “Z costante”. A differenza delle precedenti per ottenere un risultato ottimale nelle scanalature verticali si è utilizzata l'operazione “piani paralleli” che a differenza di “Z costante”, la quale fa una passata per ogni incremento di Z, genera delle passate parallele ad un asse, in questo caso l'asse Y. Su superfici curve è fondamentale utilizzare questa strategia al fine di ottenere una buona e omogenea finitura superficiale, siccome essa andrà a generare una parte del pezzo finito e quindi ogni imperfezione del tassello sarà traslata su di esso. Il tempo totale stimato per lavorare tutte e tre le tasche laterali è di circa 4h:55m.

In figura 6.14 è riportata l'analisi del sovrametallo del tassello che ha subito tutte le lavorazioni necessarie. Come si può osservare tutte le superfici rientrano in una tolleranza di ± 0.01 mm che è quella desiderata; quindi, le operazioni che sono state eseguite sono corrette siccome permettono di ottenere il pezzo desiderato. Bisogna tenere in considerazione che questo risultato è quello che restituisce il software, il quale non tiene conto di eventuali rifiuti di materiale, oppure non perfetti azzeramenti dovuti alle imprecisioni della macchina utensile. Eventuali correzioni sulle operazioni sono svolte dagli operatori a bordo macchina che tramite delle misurazioni identificano le zone che non rientrano in tolleranza e per mezzo di correzioni ottengono il risultato desiderato. Il tempo totale stimato per eseguire tutte le lavorazioni è di 48h:43m ma esso non tiene conto del tempo di cambio utensile, delle misurazioni, di possibili correzioni e riprese, del cambio di posizionamento ed eventuali imprevisti che possono verificarsi.

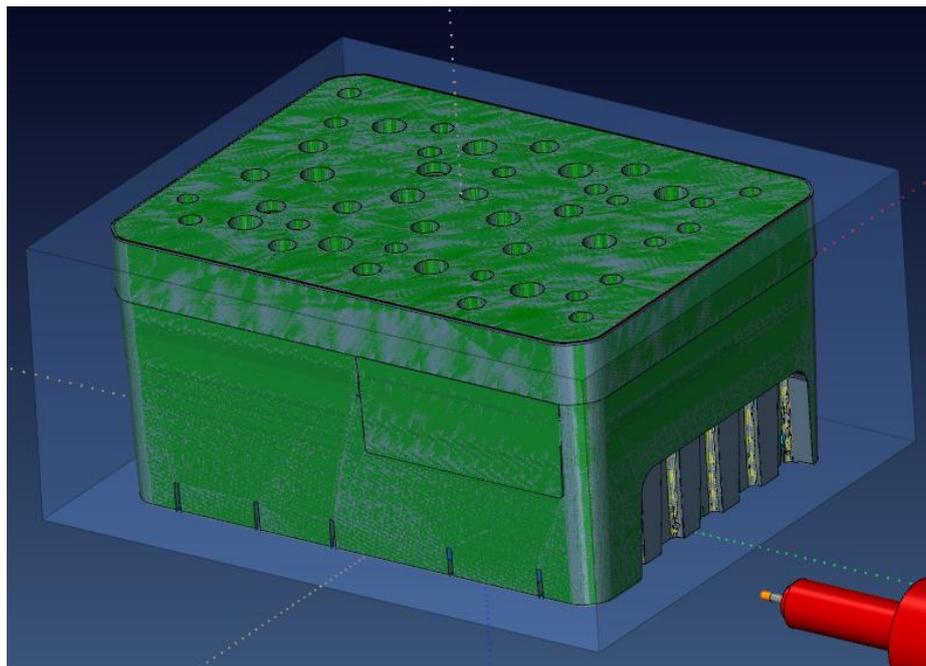
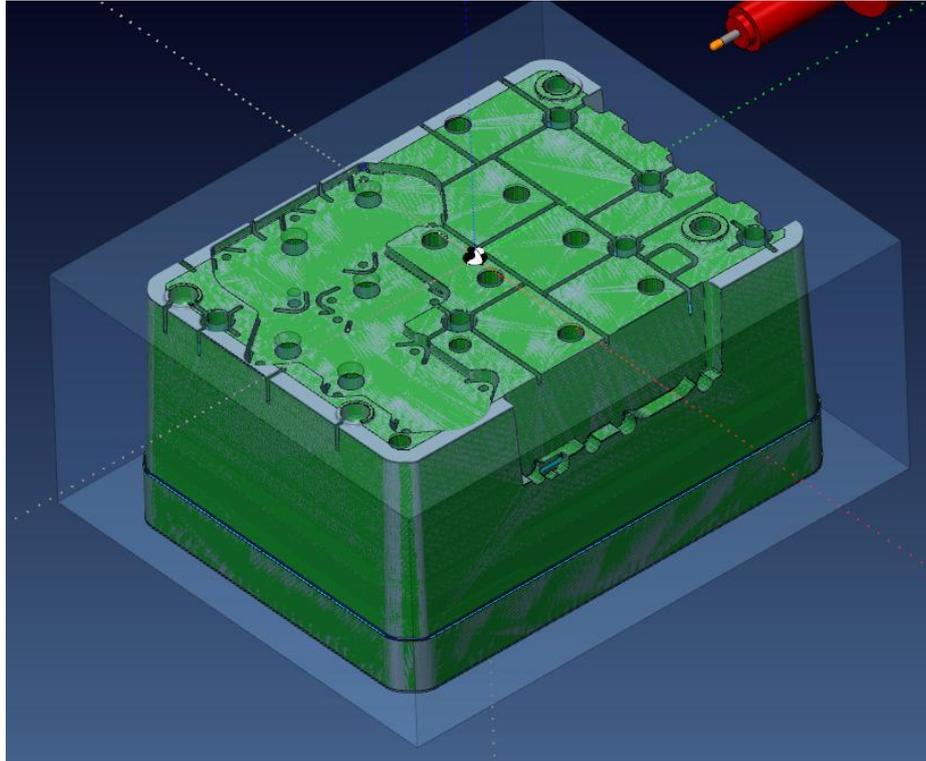


Figura 6.14 Analisi del sovrametallo del tassello completo

Il tassello che si è ottenuto tramite le lavorazioni alle macchine utensili non è ancora quello definitivo poiché le nervature sulla parte superiore sono troppo profonde e strette per essere ricavate tramite fresatura. Infatti, le frese di diametro 1 mm non possono lavorare a profondità così elevate perché altrimenti si romperebbero. Per riuscire a realizzare la parte finale di questi

elementi il componente ottenuto tramite fresatura è stato consegnato ad una ditta esterna, la quale, per mezzo dell'elettroerosione a tuffo può realizzare le nervature.

7. MISURE E COLLAUDO

Inizialmente vengono presentate le normative ISO da rispettare riguardo le tolleranze dimensionali in base al pezzo che si produce e alle esigenze costruttive da rispettare. Ultimata la progettazione del componente e dell'attrezzatura che serve per realizzarlo si possono sviluppare delle simulazioni di flow e deformazione del componente considerando anche i canali di raffreddamento, per ottenere dei risultati il più vicino possibile alla realtà e fare un confronto con quelli senza canali. Grazie a questo confronto si può indagare se è effettivamente utile fare analisi più approfondite, utilizzando più tempo, oppure se sono sufficienti le analisi con condizioni semplificate.

7.1 Tolleranze dimensionali da normativa ISO

La normativa a cui ci si riferisce per la progettazione di componenti in materiale polimerico è la DIN ISO 20457:2018 siccome specifica le possibili tolleranze di fabbricazione per le parti stampate in plastica ma non tratta le imperfezioni superficiali delle parti stampate come segni di ritiro, strutture di flusso indesiderate e rugosità, così come le linee di giunzione. La norma fa una distinzione tra le tolleranze generali e quelle dirette. In questo capitolo ci si occupa soprattutto di individuare in quale range di tolleranza generale collocare il pezzo, siccome quelle dirette sono assegnate sulla tavola di disegno dell'ufficio tecnico. Inoltre, la norma specifica che le tolleranze generali devono essere applicate solamente alle quote esplicitamente indicate a disegno.

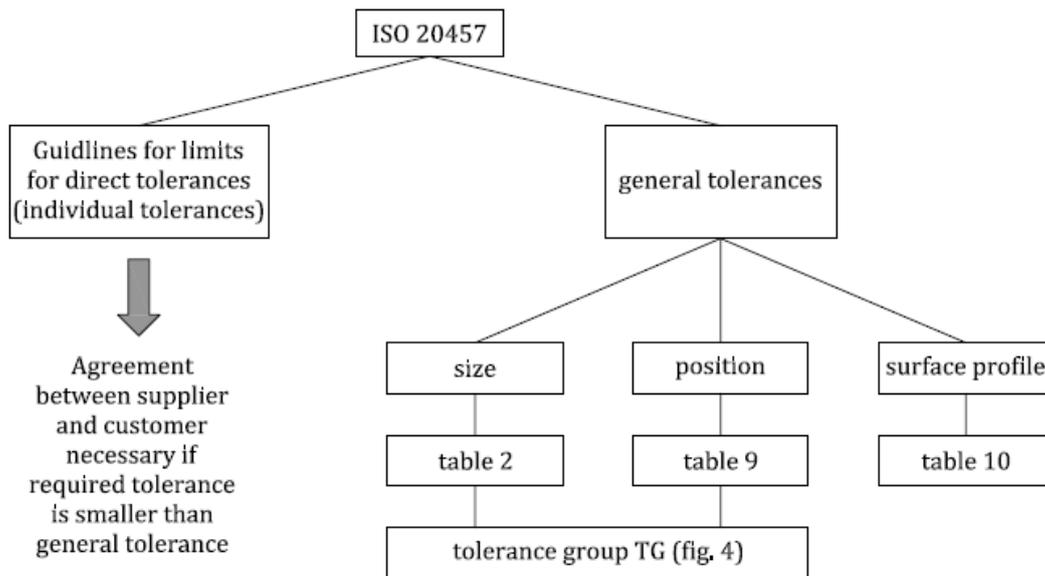


Figure 1 — Determination of tolerances for plastic moulded parts

Figura 7.1 Distinzione tipologia di tolleranze secondo DIN ISO 20457:2018

In figura 7.1 è riportato lo schema presente nella normativa DIN ISO 20457:2018 la quale specifica per le tolleranze generali le diverse tipologie di tolleranze, dimensionali, di posizione e delle superfici. Le uniche di nostro interesse sono quelle dimensionali siccome le altre due si riferiscono a tolleranze geometriche, non richieste per questo particolare. Per quanto riguarda le tolleranze dimensionali generali è necessario stabilire il grado TG in cui si trova il componente. Al fine di adattare approssimativamente la distribuzione delle tolleranze di produzione, nonché la loro specifica relazione dimensionale nominale per i pezzi stampati in plastica rispetto al sistema ISO per le dimensioni limite e gli accoppiamenti secondo le norme ISO 286-1 e ISO 286-2, sono stati assegnati nove gradi di tolleranza (da TG1 a TG9) in tre intervalli di dimensioni nominali rispetto ai gradi di tolleranza di base ISO (IT) (tabella 7.1).

Table 1 — Tolerance grades (TG) with associated ISO standard tolerance grades (IT) according to ISO 286-1

Nominal dimension mm	ISO standard tolerance grades (IT) for tool-specific dimensions								
	TG1	TG2	TG3	TG4	TG5	TG6	TG7	TG8	TG9
1 to 6	8	9	10	11	12	13	14	15	16
>6 to 120	9	10	11	12	13	14	15	16	17
>120 to 1 000	—	11	12	13	14	15	16	17	18

The tolerances are subject to mandatory agreement as a rule for nominal dimensions below 1 mm and above 1 000 mm.

Tabella 7.1 Relazione tra gradi TG e classe IT secondo DIN ISO 20457:2018

Quindi diventa di fondamentale importanza individuare il corretto grado TG nel quale si trova la scatola SIP. Per fare ciò si utilizza una apposita formula, la quale somma cinque valori che dipendono da diversi fattori.

$$P_g = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 \quad (1)$$

Dove

P_g è il numero totale di punti

P_i è il punto che dipende da diversi fattori

Determinati i valori di P_i e quindi di P_g , si utilizza la tabella 7.2 per determinare il valore di TG.

Table 3 — Point assignment of the tolerance grades

TG	TG1	TG2	TG3	TG4	TG5	TG6	TG7	TG8	TG9
P_g	1	2	3	4	5	6	7	8	≥ 9

Tabella 7.2 Determinazione grado TG in funzione del valore di P_g

Per determinare i diversi valori di P_i si utilizza lo schema seguente riportato nella normativa.

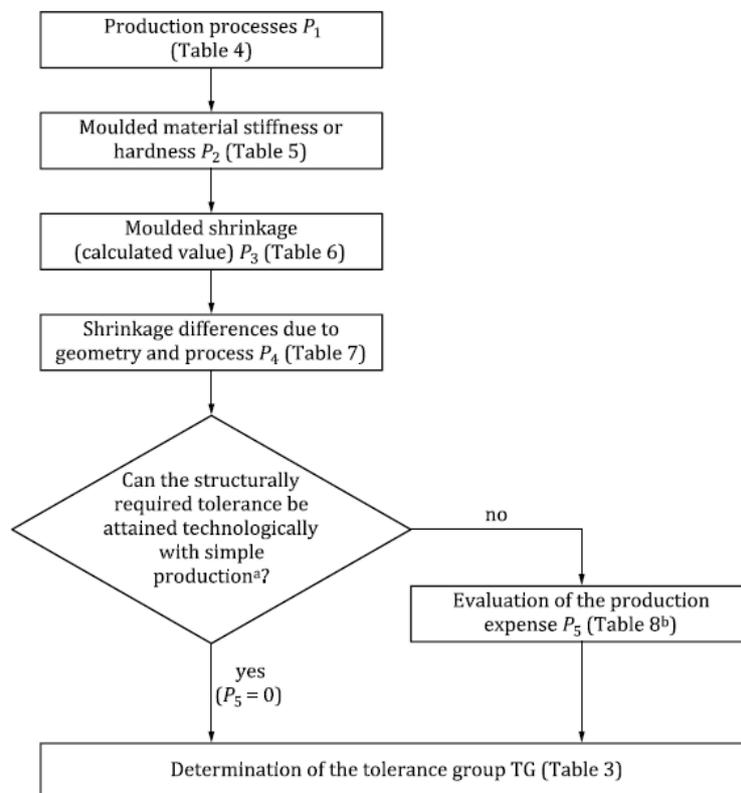


Figura 7.2 Schema per determinare il valore di TG

Per valutare i valori dei diversi P_1 ci si basa sulle proprietà del composto e di stampaggio e l'assegnazione dei punteggi viene effettuata usando le seguenti tabelle.

Dalla tabella 7.3 si ricava un valore pari a $P_1 = 1$ siccome il processo di produzione utilizzato è lo stampaggio a iniezione.

Table 4 — Evaluation matrices 1

Production process	P_1
Injection moulding, injection compression moulding, transfer moulding	1
Compression moulding, impact extrusion	2

Tabella 7.3 Determinazione dal valore di P_1

Dalla tabella 7.4 si ricava un valore pari a $P_2 = 1$ siccome il modulo elastico del ABS Terluran GP-22 è pari a $E = 2300$ Mpa a 20°C ma rimane comunque superiore a 1200 Mpa fino a circa 100°C .

Table 5 — Evaluation matrices 2

Moulded material stiffness or hardness ^a			P_2
Modulus of elasticity N/mm ²	Shore D	Shore A; IRHD	
above 1 200	above 75	—	1
above 30 to 1 200	above 35 to 75	—	2
3 to 30	—	50 to 90	3
below 3	—	below 50	4

^a Modulus of elasticity: dry as moulded.

Tabella 7.4 Determinazione dal valore di P_2

Per quanto riguarda il valore di P_3 si è scelto 1 siccome il ritiro del materiale scelto è pari a 0.55% , valore fornito da VISI.

Table 6 — Evaluation matrices 3

Moulding shrinkage (calculated value)	P_3
below 0,5 %	0
0,5 % to 1 %	1
above 1 % to 2 %	2
above 2 %	3

The maximum shrinkage characteristic value is definitive for the assignment in the case of shrinkage anisotropy.

Tabella 7.5 Determinazione dal valore di P_3

Infine, il valore di P_4 è stato scelto pari a 2 siccome esso dipende da quanto è accurata la stima del valore del ritiro durante lo stampaggio e tiene anche in conto dell'anisotropia che può esserci. Al netto di tutto si è deciso di utilizzare un valore intermedio che potesse ben rappresentare l'effettivo comportamento del pezzo basandomi anche sull'esperienza del mio tutor aziendale.

Table 7 — Evaluation matrices 4

Consideration of the shrinkage differences due to geometry and process	P_4
Precisely possible: Calculated values of the VS are known. (For example from experience, systematic measurements, computer simulations.) Shrinkage anisotropy is meaningless or can be considered sufficiently accurately in the relevant dimensional orientation. Possible deviations from the calculated value are max. $\pm 10\%$.	1
Precisely possible with limitations: Calculated values of the VS are known in ranges max. to $\pm 20\%$.	2
Only imprecisely possible: Calculated values of the VS are only known as rough guide values ranges. Shrinkage anisotropy cannot be considered or can only be considered inadequately. Practical experience for estimating relevant calculated values is not available. Possible deviations from the calculated value are above $\pm 20\%$.	3
In general, it is assumed that the shrinkage fluctuations due to variations in the processing conditions and differences in the moulding compound properties can be approximately $\pm 30\%$ of the calculated value of the VS . The selection $P_4 = 3$ is to be made if no other information is available.	

Tabella 7.6 Determinazione dal valore di P_4

Per quanto riguarda l'ultimo parametro da identificare, seguendo lo schema riportato in figura 7.2, si è deciso di scegliere un valore pari a 0 siccome, non essendo specificate a disegno le tolleranze su determinate quote, si è assunto che esse non fossero di vitale importanza per il corretto funzionamento del componente. Quindi, per non avere tolleranze generali troppo strette che avrebbero alzato notevolmente il costo della scatola senza apportare beneficio alla stessa non si è andato ad abbassare il valore totale di P_g rientrando in un grado TG più elevato. Inoltre, andando ad analizzare la tabella 7.7 si nota come la serie 1 è quella in cui si ricade con il componente prodotto, conseguentemente il valore di P_5 scelto risulta corretto.

Table 8 — Evaluation of the production expense

Tolerance series	P_5
Series 1 (simple production) Production realized with general tolerances. Dimensional stability requirements that do not form any special quality focus.	0
Series 2 (accurate production) Production and quality assurance are oriented to higher dimensional stability requirements.	-1
Series 3 (precision production) Full alignment of production and quality assurance to the very high dimensional stability requirements.	-2
Series 4 (precision special production) As series 3, but with more intensive process monitoring.	-3
The tolerance Series 3 (precision production) and Series 4 (precision special production) are always subject to mandatory agreement.	

Tabella 7.7 Determinazione dal valore di P_5

Con quanto visto precedentemente si può calcolare il valore di P_g utilizzando la formula (1) il quale risulta $P_g = 5$. Utilizzando la tabella 7.2 si ottiene un grado $TG = 5$ e andando a inserirlo nella tabella 7.1 si ricava che i gradi IT che devono essere applicati al pezzo sono i seguenti.

Dimensioni nominali tra 1 e 6 mm: IT 12

Dimensioni tra 6 e 120 mm: IT 13

Dimensioni tra 120 e 1000 mm: IT14

Per le parti in plastica la norma DIN ISO 20457:2018 riporta una tabella riassuntiva, la quale si basa sui gradi di tolleranza normalizzati IT, che specifica due diversi livelli di tolleranza per ogni grado TG. Questo è stato fatto per fare una distinzione tra le parti che devono accoppiarsi con altre (riga W) rispetto a quelle che non hanno vincoli e quindi possono essere permesse tolleranze più ampie (riga NW), il tutto riportato in tabella 7.8 con l'evidenziazione dei valori di interesse per la scatola SIP.

Table 2 — Plastic moulded part tolerances as symmetrical limit dimensions for features of sizes

Dimensions in millimetres

Tolerance grade		Limit dimensions (GA) for nominal size ranges															
		1 to 3	>3 to 6	>6 to 10	>10 to 18	>18 to 30	>30 to 50	>50 to 80	>80 to 120	>120 to 180	>180 to 250	>250 to 315	>315 to 400	>400 to 500	>500 to 630	>630 to 800	>800 to 1 000
TG1	W	±0,007	±0,012	±0,018	±0,022	±0,026	±0,031	±0,037	±0,044	—	—	—	—	—	—	—	—
	NW	±0,012	±0,018	±0,022	±0,026	±0,031	±0,037	±0,044	±0,055	—	—	—	—	—	—	—	—
TG2	W	±0,013	±0,019	±0,029	±0,035	±0,042	±0,050	±0,060	±0,090	±0,13	±0,15	±0,16	±0,18	±0,20	—	—	—
	NW	±0,019	±0,029	±0,035	±0,042	±0,050	±0,060	±0,090	±0,13	±0,15	±0,16	±0,18	±0,20	±0,22	—	—	—
TG3	W	±0,020	±0,030	±0,05	±0,06	±0,07	±0,08	±0,10	±0,15	±0,20	±0,23	±0,26	±0,29	±0,32	±0,35	±0,40	±0,45
	NW	±0,030	±0,050	±0,06	±0,07	±0,08	±0,10	±0,15	±0,20	±0,23	±0,26	±0,29	±0,32	±0,35	±0,40	±0,45	±0,53
TG4	W	±0,03	±0,05	±0,08	±0,09	±0,11	±0,13	±0,15	±0,23	±0,32	±0,35	±0,41	±0,45	±0,49	±0,55	±0,63	±0,70
	NW	±0,05	±0,08	±0,09	±0,11	±0,13	±0,15	±0,23	±0,32	±0,35	±0,41	±0,45	±0,49	±0,55	±0,63	±0,70	±0,83
TG5	W	±0,05	±0,08	±0,11	±0,14	±0,17	±0,20	±0,23	±0,36	±0,50	±0,58	±0,65	±0,70	±0,78	±0,88	±1,00	±1,15
	NW	±0,08	±0,11	±0,14	±0,17	±0,20	±0,23	±0,36	±0,50	±0,58	±0,65	±0,70	±0,78	±0,88	±1,00	±1,15	±1,30
TG6	W	±0,07	±0,12	±0,18	±0,22	±0,26	±0,31	±0,37	±0,57	±0,80	±0,93	±1,05	±1,15	±1,25	±1,40	±1,60	±1,80
	NW	±0,12	±0,18	±0,22	±0,26	±0,31	±0,37	±0,57	±0,80	±0,93	±1,05	±1,15	±1,25	±1,40	±1,60	±1,80	±2,10
TG7	W	±0,13	±0,20	±0,29	±0,35	±0,42	±0,50	±0,60	±0,90	±1,25	±1,45	±1,60	±1,80	±2,00	±2,20	±2,50	±2,80
	NW	±0,20	±0,29	±0,35	±0,42	±0,50	±0,60	±0,90	±1,25	±1,45	±1,60	±1,80	±2,00	±2,20	±2,50	±2,80	±3,30
TG8	W	±0,20	±0,30	±0,45	±0,55	±0,65	±0,80	±0,95	±1,40	±2,00	±2,30	±2,60	±2,85	±3,15	±3,50	±4,00	±4,50
	NW	±0,30	±0,45	±0,55	±0,65	±0,80	±0,95	±1,40	±2,00	±2,30	±2,60	±2,85	±3,15	±3,50	±4,00	±4,50	±5,30
TG9		±0,48	±0,75	±0,90	±1,05	±1,25	±1,50	±2,25	±3,15	±3,60	±4,05	±4,45	±4,90	±5,40	±6,20	±7,10	±8,50

NOTE 1 W: Tool-specific dimensions; NW: Non-tool-specific dimensions.
 NOTE 2 The differentiation of tool-specific and non-tool-specific dimension is not necessary for TG9.
 NOTE 3 Tolerance mean dimensions apply as nominal sizes for moulded part drawings ($M_F = C_F$). For tolerancing of the distance between parallel surfaces that do not face each other directly but are arranged shifted to one another, the D_p dimension according to 7.2 of this document is used as nominal size.
 NOTE 4 Dimensions under 1 mm and above 1 000 mm are subject to mandatory agreement.
 NOTE 5 Only the limit values for non-tool-specific dimensions are used for general tolerances.
 NOTE 6 Tolerances for material thicknesses are subject to mandatory agreement.
 NOTE 7 General tolerances are indicated in the design documentation as follows. Example: ISO 20457:JJJJ-MM - TG6.
 NOTE 8 For validation of machine and process capability, see Annex D.

Tabella 7.8 Tolleranze dimensionali rispetto alla dimensione nominale e al grado TG

7.2 Risultati analisi modello con canali

I canali di raffreddamento sono stati ricavati dallo stampo ed essi hanno un diametro di 8 mm eccetto le fontane che vanno a raffreddare la parte interna che hanno diametro di 15 mm con una lamina interna di spessore 1.8 mm. In queste analisi è stato implementato il canale caldo, il quale presenta un primo tratto di diametro 5 mm per poi andare a restringersi sul finale (vicino all'iniezione) ad un diametro di 1.3 mm. Esso è stato ricavato dalla geometria della camera calda utilizzata e si può notare che rispetta la regola teorica, la quale indica che il valore del diametro del tratto finale del canale deve essere inferiore ai 2/3 dello spessore su cui si inietta. In questo caso la parete è di 3 mm quindi la regola è stata rispettata. Infine, è stato inserito un ultimo tratto di lunghezza 0.5 mm di iniezione cilindrica, con lo stesso diametro finale della camera calda, che serve per controllare a che punto congelerà per verificare il corretto tempo di mantenimento. Mantenendo gli stessi parametri utilizzati precedentemente si svolgono nuovamente le analisi di riempimento, mantenimento e deformazione.

In questo capitolo vengono riportati solo i risultati che differiscono dall'analisi senza i canali di raffreddamento e canale caldo.

1. TEMPERATURE

Rispetto all'analisi precedente le temperature sono mediamente più alte, il che è un aspetto positivo siccome sono più vicine a quella di iniezione. Inoltre, la differenza di temperatura rimane in un intervallo di circa 16 °C, quindi anche questo aspetto non è peggiorato.

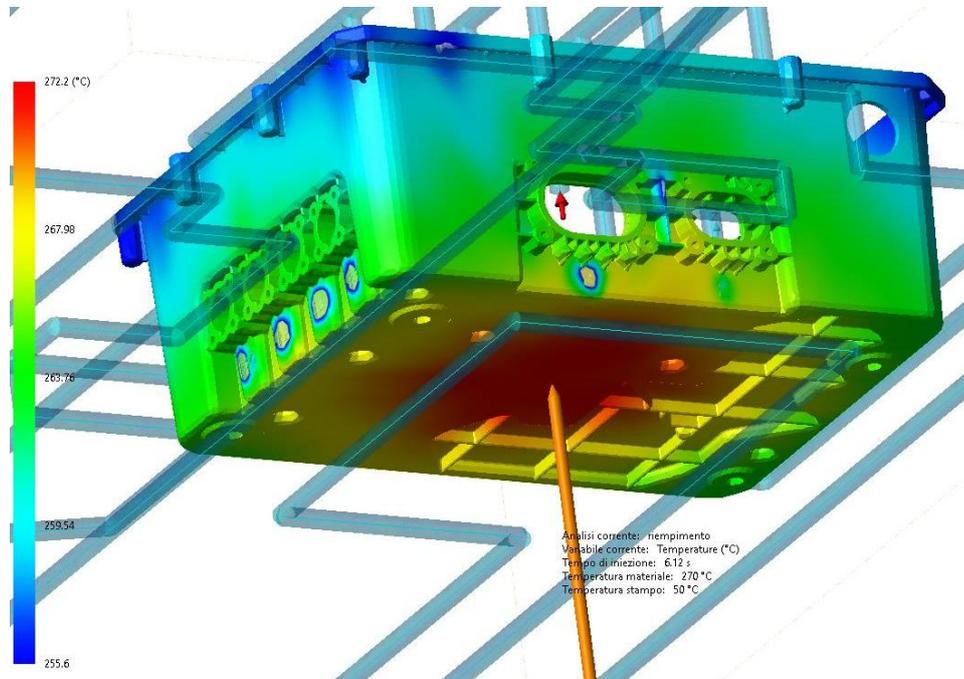


Figura 7.3 Andamento temperature analisi con canali

Si riporta che le altre variabili da controllare per quanto riguarda l'analisi di riempimento non variano in modo significativo rispetto all'analisi precedente. L'unico appunto che si riporta è un miglioramento degli sforzi di taglio soprattutto nella zona di iniezione, probabilmente dovuto al fatto che le temperature sono leggermente più alte.

Per quanto riguarda l'analisi di mantenimento si è notato che la pressione di fine riempimento è notevolmente più alta siccome si è passati da 22 a 58 Mpa, dovuto al fatto che è presente il canale caldo che genera una perdita di pressione. I tempi di mantenimento e raffreddamento sono stati mantenuti i medesimi dei precedenti. Una verifica che non era stata effettuata nell'analisi precedente, siccome era solo preliminare, è il corretto congelamento del punto di iniezione. Il tempo lungo il quale viene mantenuta la pressione di mantenimento era stata ipotizzata pari a 15 secondi ma non si era potuto verificare che l'effettivo tempo di congelamento del canale fosse effettivamente pari a questo valore. Con un diametro finale del canale caldo pari a 1.3 mm si osserva che il tratto finale presenta un tempo di non flusso pari a 13.16 secondi, ovvero oltre a questo tempo non c'è più passaggio di informazioni tra il canale

e il pezzo e ciò significa che il tratto si è congelato e non c'è più flusso di materiale. Questo valore è in linea con quello stabilito inizialmente infatti mantenere la pressione per qualche ulteriore secondo rispetto ai 13 è buona norma, anche per essere sicuri che si congeli effettivamente, evitando così il ritorno del materiale nel canale poiché genererebbe del risucchio soprattutto nel punto di iniezione. Si osserva che il canale è di colore bianco perché fuori scala, siccome si è scelto il canale caldo, esso manterrà il materiale sempre liquido alla temperatura impostata quindi non congelerà mai.

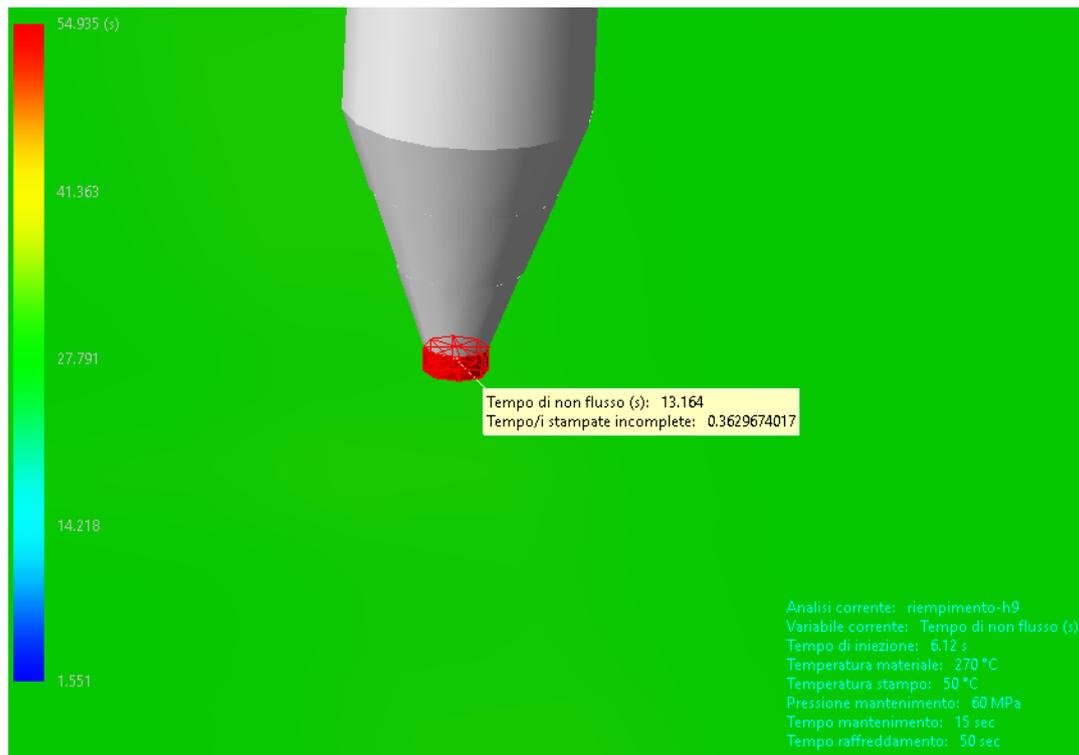


Figura 7.4 Tempo di non flusso al termine del canale caldo

Un'altra variabile per controllare che effettivamente si abbia il congelamento del canale al tempo impostato è l'andamento della pressione nel componente. In figura 7.5 è riportato il grafico rappresentante l'andamento della pressione e della forza di chiusura dove si può osservare che dopo 21 s, ovvero 15 s di mantenimento perché per 6 secondi si ha il riempimento, la pressione raggiunge un valore nullo. Ciò è dovuto al fatto che siccome il canale è congelato, non si ha più apporto di materiale fuso all'interno del pezzo quindi esso congela e conseguentemente la pressione si abbassa fino a zero.

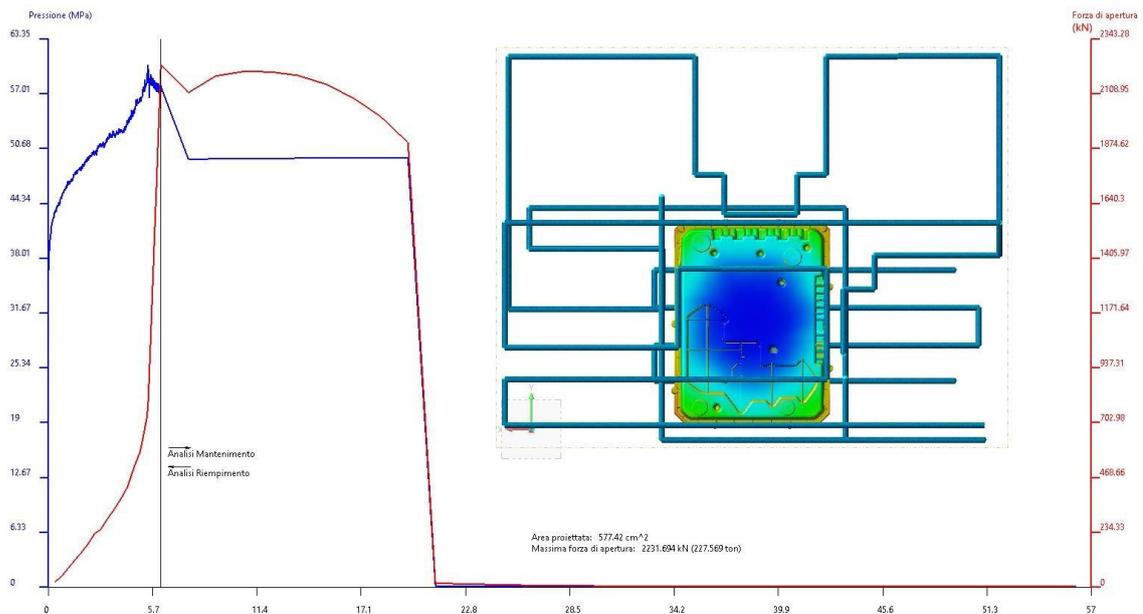


Figura 7.5 Andamento della pressione e della forza di apertura

Osservando il grafico in figura 7.5 si può vedere dapprima l'andamento della pressione in blu che parte da circa 35 Mpa e quindi si suppone che sia questa la perdita di pressione dovuta alla camera calda. Inoltre, terminata la fase di riempimento essa è stata impostata per rimanere costante per circa 1.5 s e pari a 58 Mpa, che è quella raggiunta alla fine del riempimento. Successivamente essa è stata ridotta di circa il 14 % portandola a un valore di circa 50 Mpa il quale rimane costante fino al termine del mantenimento. È stata fatta questa scelta siccome si è visto che la forza di chiusura richiesta, in caso di pressione costante pari a 58 Mpa, sarebbe stata superiore a quella che garantisce la macchina. Per non portare subito la pressione ad un valore minore di quello che si ottiene alla fine del riempimento si è optato per mantenerlo per un breve tempo. Questa scelta è anche dettata dal fatto che durante il mantenimento il materiale solidifica quindi la pressione necessaria è minore di quella massima raggiunta, come si può notare dalla forza di chiusura decrescente. Infatti, grazie a questa scelta tecnica la forza di chiusura raggiunge un massimo alla fine del riempimento pari a 227.6 ton che è inferiore a 250 ton che rappresenta la massima forza di chiusura che la pressa può garantire. Con questo profilo di pressione la massa entrante durante il mantenimento è di 41.8 g che è addirittura superiore a 41.6 g che era quella entrante con una pressione costante pari a 60 Mpa. Ciò significa che il profilo scelto non va a peggiorare la qualità finale del componente rispetto a uno costante che non avrebbe garantito alla pressa di mantenere chiusi gli stampi durante la produzione del componente.

2. TEMPERATURA MATERIALE A FINE RAFFREDDAMENTO

Questo parametro è variato notevolmente andando di fatto a migliorare i risultati precedenti siccome si è passati da una temperatura minima di 70 °C a una di 50 °C ma la nota più importante è la temperatura massima. Con questa analisi si evidenzia il fatto che il raffreddamento utilizzato è andato a risolvere il problema precedentemente evidenziato, ovvero che la temperatura dei supporti per le viti della scheda di potenza era a 104 °C alla fine del raffreddamento. Infatti, ora la temperatura assunta da questi elementi è intorno a 93 °C che rappresenta la temperatura di estrazione indicata sulla scheda tecnica del materiale.

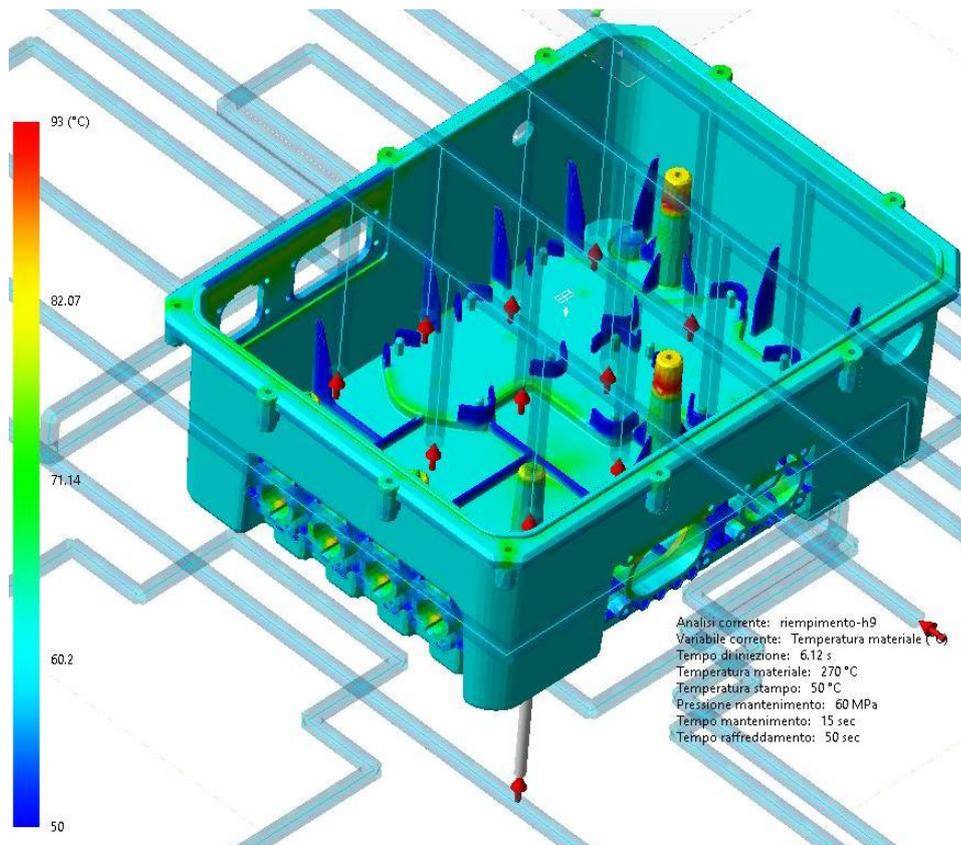


Figura 7.6 Andamento temperature a fine raffreddamento analisi con canali

3. DENSITÀ

Anche questo parametro ha subito un miglioramento siccome, oltre a rimanere omogenea in quasi tutto il pezzo (escluse le nervature di spessore inferiore), è aumentata, sia come valore minimo che è passato da 0.98 a 0.99 g/cm³, sia come valore massimo che è passato da 1 a 1.03 g/cm³. Questo significa che il componente si è avvicinato alla densità teorica di 1.04 g/cm³ quindi si suppone che le deformazioni saranno minori rispetto all'analisi precedente.

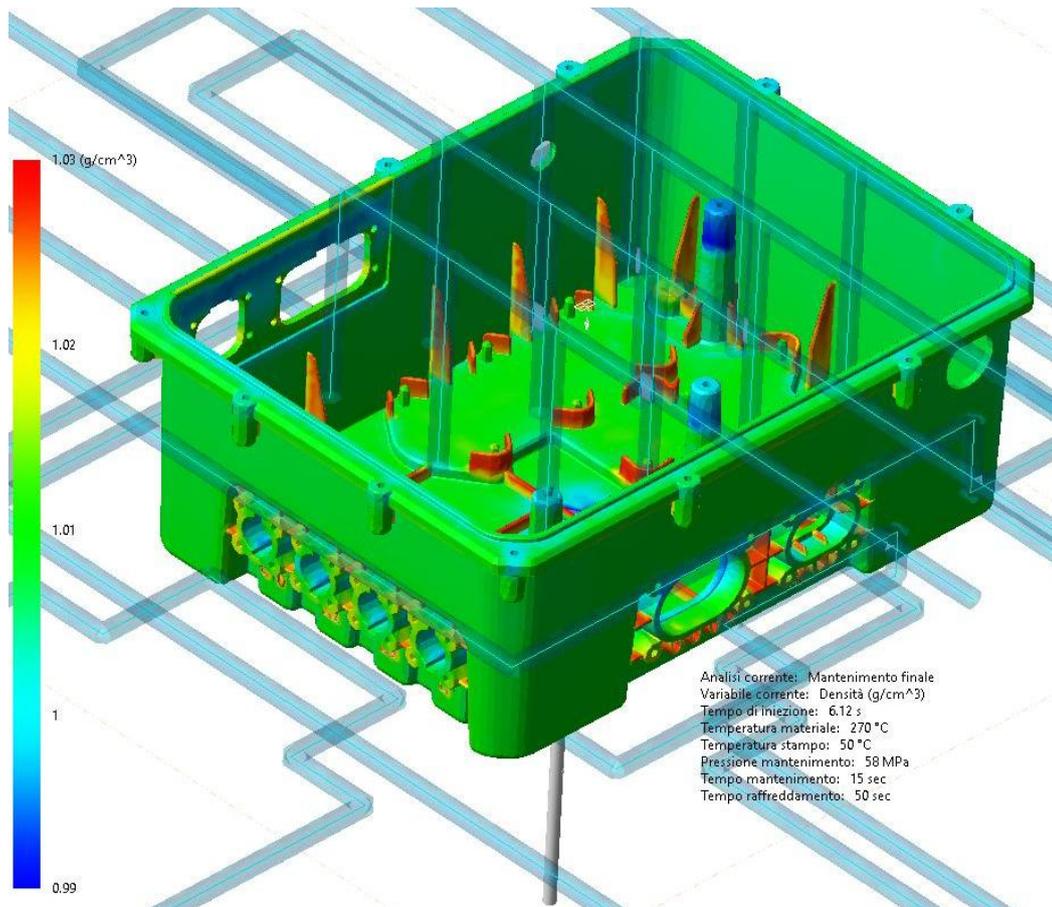


Figura 7.7 Densità analisi con canali

4. RITIRO VOLUMETRICO / RISUCCHI E POROSITÀ

Anche questi parametri hanno subito un buon miglioramento siccome il ritiro volumetrico è diminuito dell'1% su tutto il componente come anche i risucchi e le porosità sono diminuite dell'1% andando ad annullarsi sulle superfici più sottili come le nervature interne. Questi benefici sono determinati da una densità omogeneamente più elevata e grazie a un buon sistema di canali di raffreddamento, il quale riesce a raffreddare meglio le zone a spessore maggiore. Inoltre, non è tanto importante il valore assoluto massimo ma il fatto che questi valori sono omogenei su tutto il pezzo non avendo così zone critiche che potrebbero generare dei problemi in fase di montaggio.

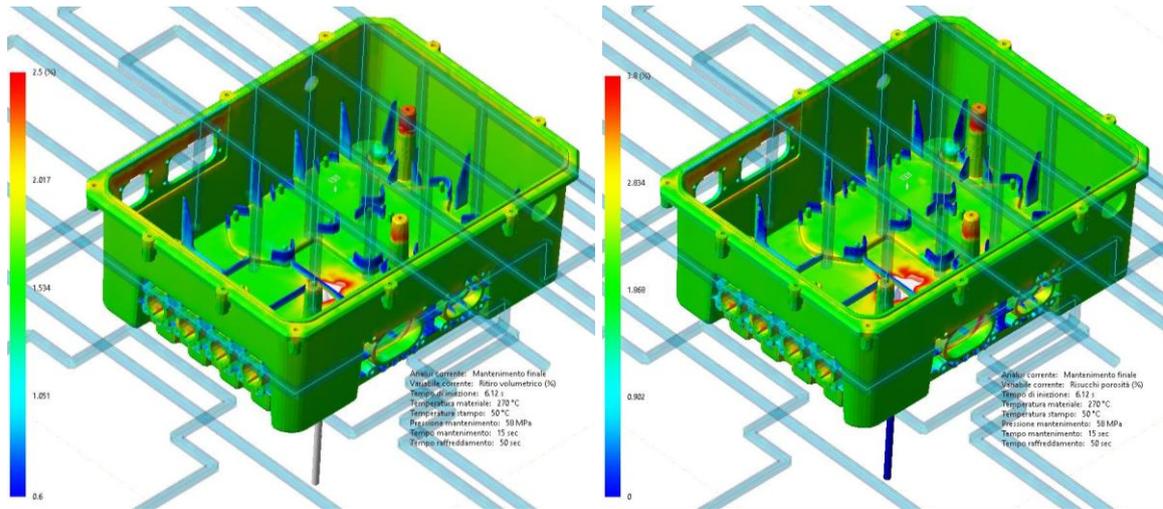


Figura 7.8 Ritiro volumetrico (a sinistra) e risucchi e porosità (a destra) analisi con canali

terminate tutte le analisi di flusso e mantenimento si può procedere con la simulazione delle deformazioni. Anche in questo caso si riporta il pezzo considerando tutti gli effetti che provocano deformazioni amplificate di dieci volte per evidenziare maggiormente gli effetti. Le deformazioni sono le stesse che si erano viste nell'analisi senza canali; infatti, l'andamento qualitativo è il medesimo della figura 4.12, ma la grande differenza sono i valori. Infatti, in figura 4.12 il valore massimo era pari a 1.5 mm invece ora il valore massimo è pari a circa 1.3 mm. Questo significa che il raffreddamento utilizzato è andato a ridurre, anche se di poco, le deformazioni sul componente.

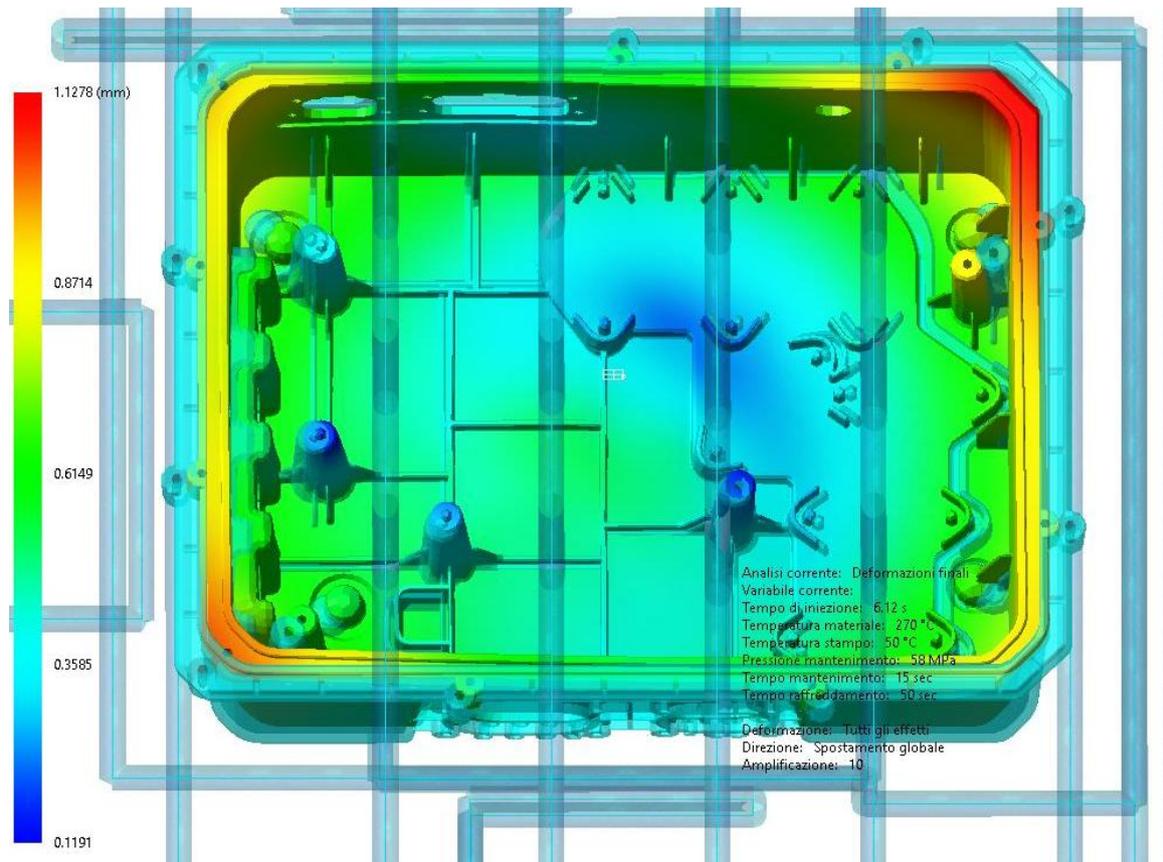


Figura 7.9 Deformazione considerando tutti gli effetti con amplificazione 10 analisi con canali

In figura 7.10 è riportato l'andamento qualitativo degli scostamenti, e come era già stato osservato in figura 7.9, qualitativamente è lo stesso delle analisi precedenti. Però grazie a questa rappresentazione si osserva che circa il 98% del componente rimane in un range di scostamento di circa ± 0.83 mm. Questo risultato è notevole visto che le dimensioni del pezzo sono importanti e le zone che si discostano maggiormente sono le pareti laterali, in particolar modo negli angoli. Anche in questo caso la parte interna della scatola ha scostamenti contenuti nell'ordine di 0.27 mm il che è ottimo siccome questa è la parte di maggior interesse del componente. Seppur questa analisi ha restituito risultati ottimi bisogna considerare che il software riferisce gli scostamenti al modello che era stato scalato del ritiro in fase di preparazione del modello. Quindi questi valori devono essere visti solo come qualitativi e da essi non si può dedurre se le quote con tolleranze sono rispettate.

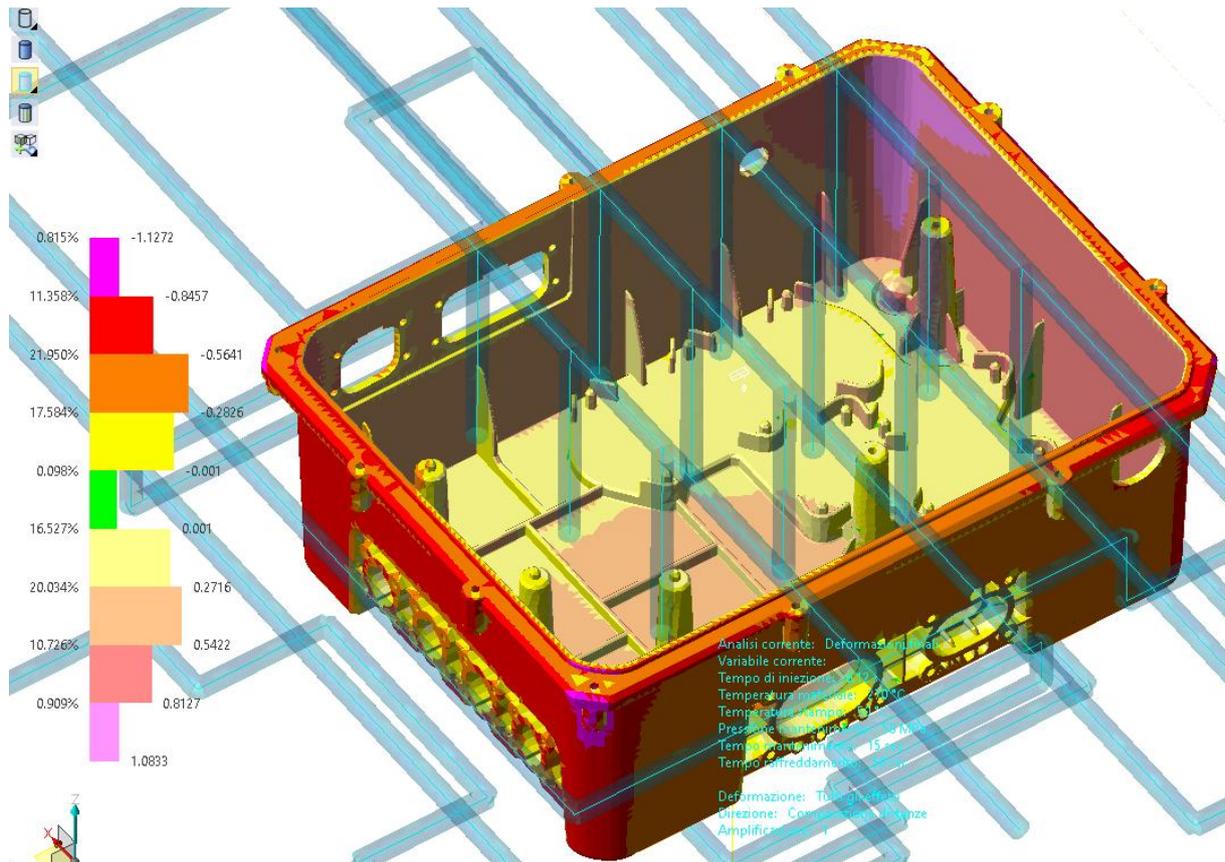


Figura 7.10 Mappa quantitativa degli scostamenti di ogni faccia rispetto a quella teorica analisi con canali

Per identificare se le quote rispettano le tolleranze si è salvato il componente deformato e su di esso vengono applicate le quote, solo quelle che hanno una tolleranza associata, per vedere se rientrano nel range stabilito da progetto. In figura 7.11 è riportata la tavola completa di tutte le viste e dettagli del componente e per ogni vista contenute quote con tolleranza verranno presentati dei dettagli di confronto con il modello deformato

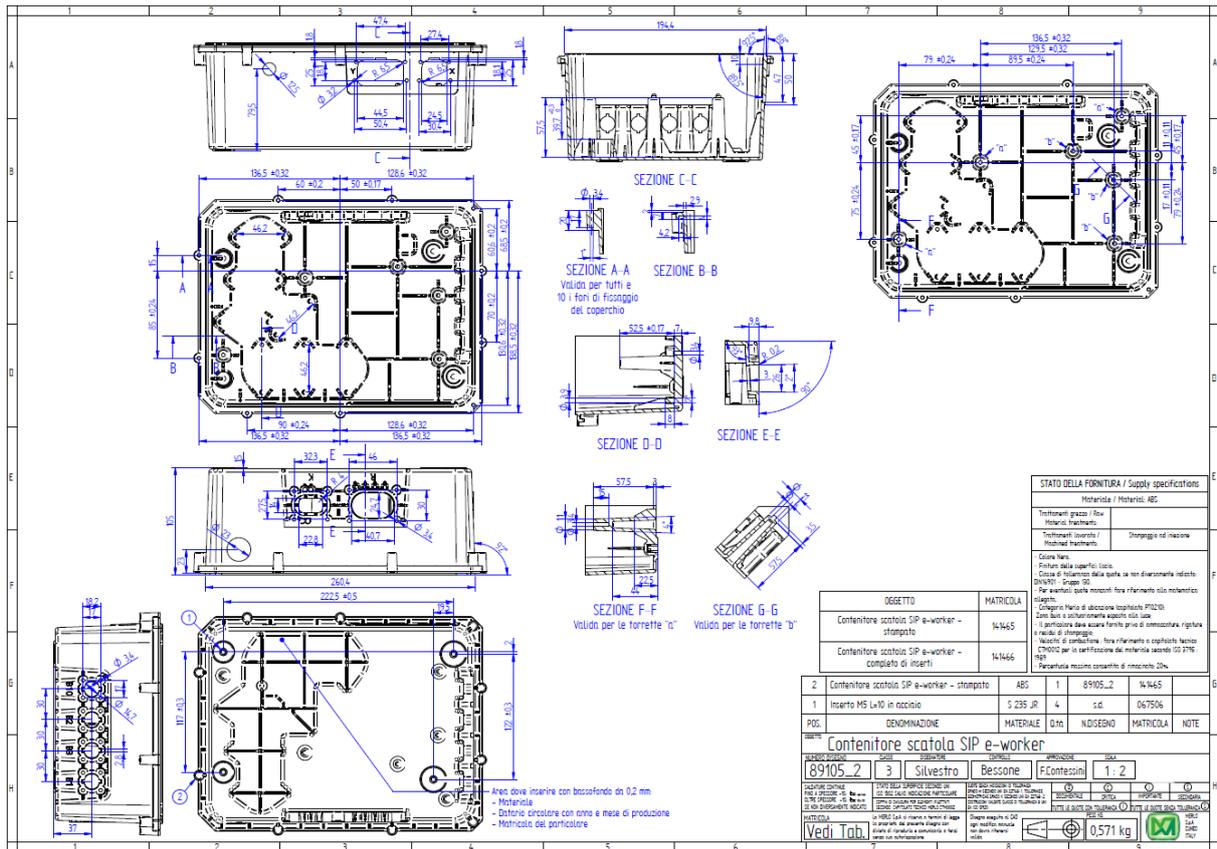


Figura 7.11 Tavola di disegno quotata scatola SIP

La prima vista che si riporta è quella dall'alto che riporta tutte le quote relative ai supporti della scheda di potenza.

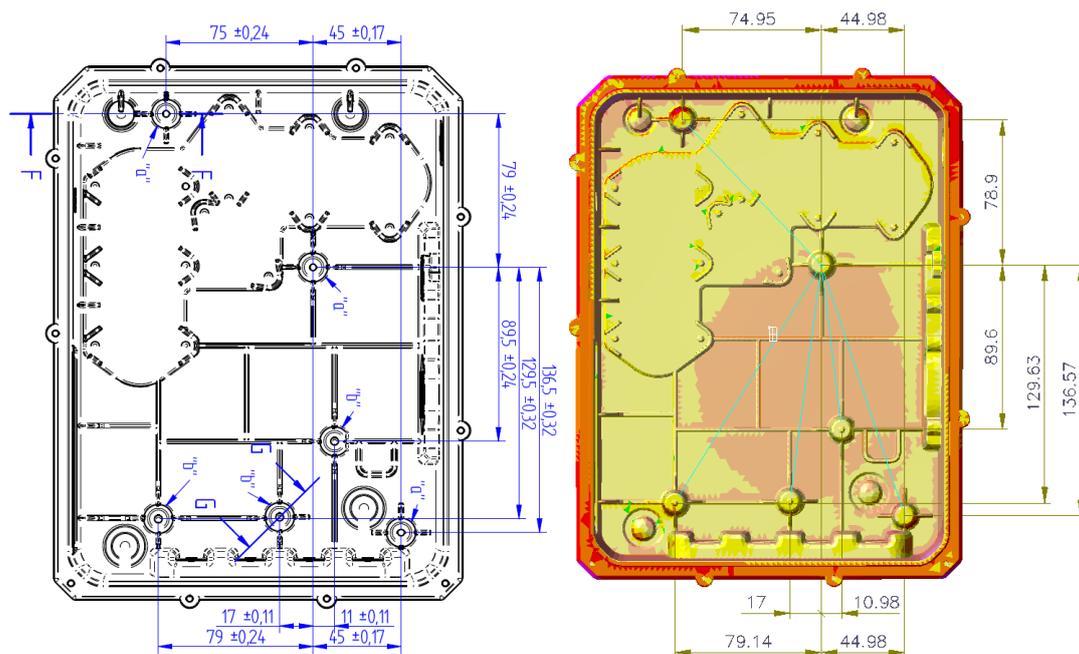


Figura 7.12 Vista dall'alto con quote in tolleranza per i supporti interni

Come si può osservare in figura 7.12 tutte le quote rientrano all'interno delle tolleranze indicate a disegno. Questa è sicuramente la vista di maggiore importanza siccome i supporti rappresentano il fulcro del componente e il fatto che dalle simulazioni risultano all'interno delle tolleranze fa presagire che il componente svolgerà correttamente il suo compito. Successivamente si riporta nuovamente la vista dall'alto ma con l'indicazione delle quote riguardante i fori di fissaggio del coperchio.

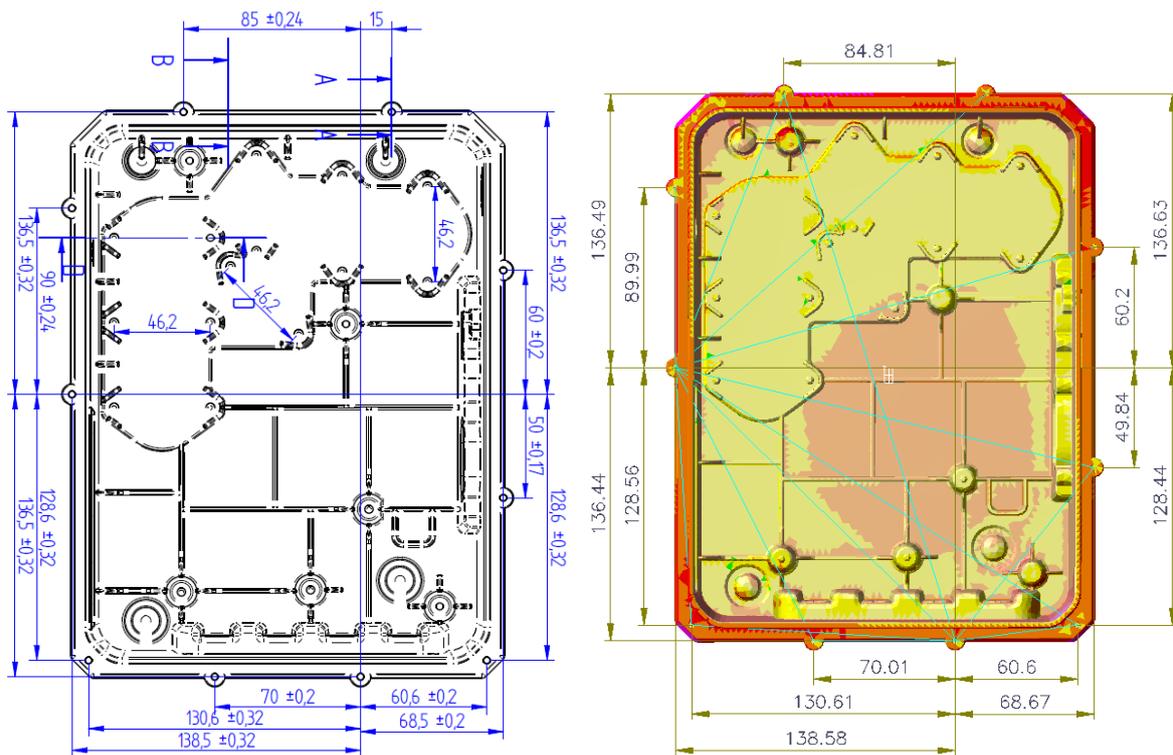


Figura 7.13 Vista dall'alto con quote in tolleranza per i supporti per le viti di fissaggio del coperchio

In questo caso tutte le quote rientrano all'interno delle tolleranze e l'unica su cui si può porre maggiore attenzione è la quota di valore nominale 60 mm sulla destra, la quale presenta una tolleranza di ± 0.2 mm. Infatti, se si osserva il valore ottenuto dopo le analisi di deformazione esso è pari a 60.2 mm che equivale all'estremo limite superiore, ma comunque rimane all'interno della tolleranza assegnata. Si può concludere che non si avranno problemi di fissaggio del coperchio, perlomeno da quanto risulta dall'analisi di deformazione effettuata.

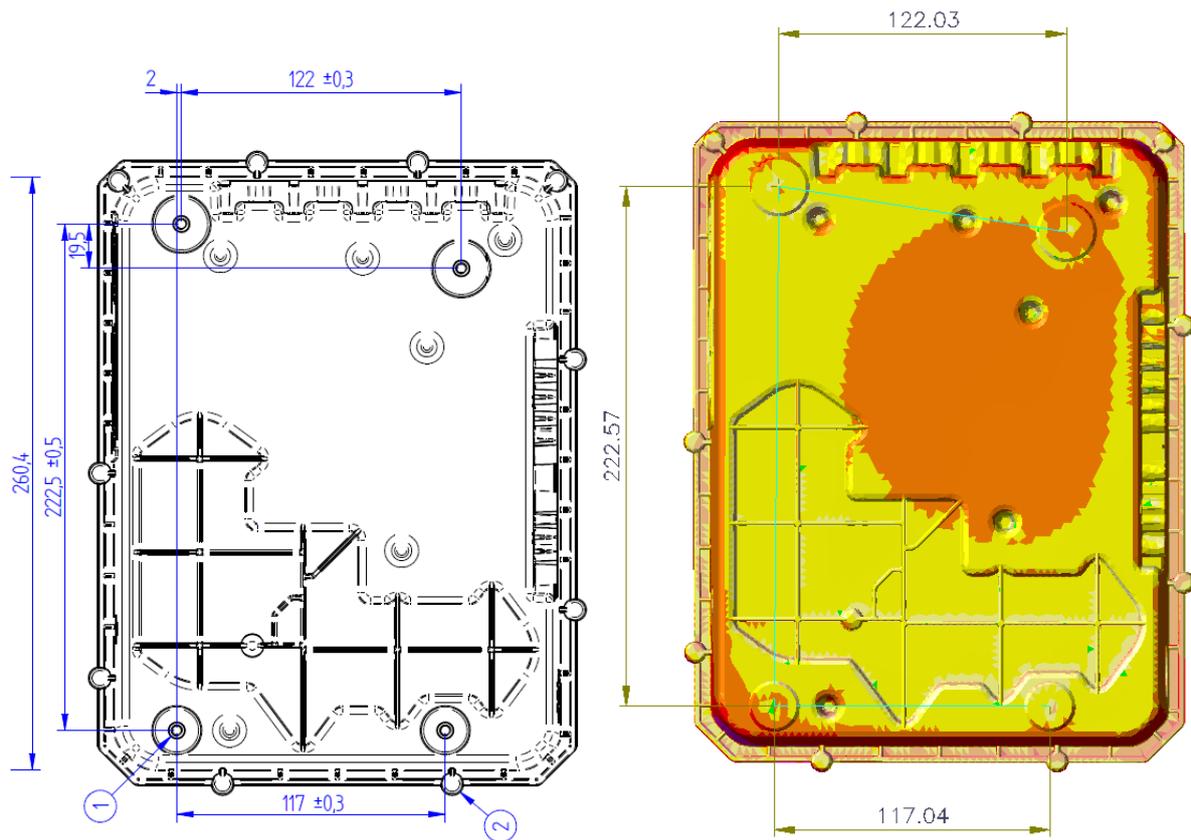


Figura 7.14 Vista dal basso con quote in tolleranza per fori di fissaggio

In figura 7.14 è riportata la vista dal basso della scatola siccome sono presenti i supporti che servono per il fissaggio della scatola sul telescopico tramite delle viti. Esse rientrano tutte in tolleranza indicando che non ci saranno particolari problemi durante il montaggio sulla macchina. Questo era prevedibile siccome il punto di iniezione si trova su questa faccia e quindi ci sono migliori parametri di ritiro e densità.

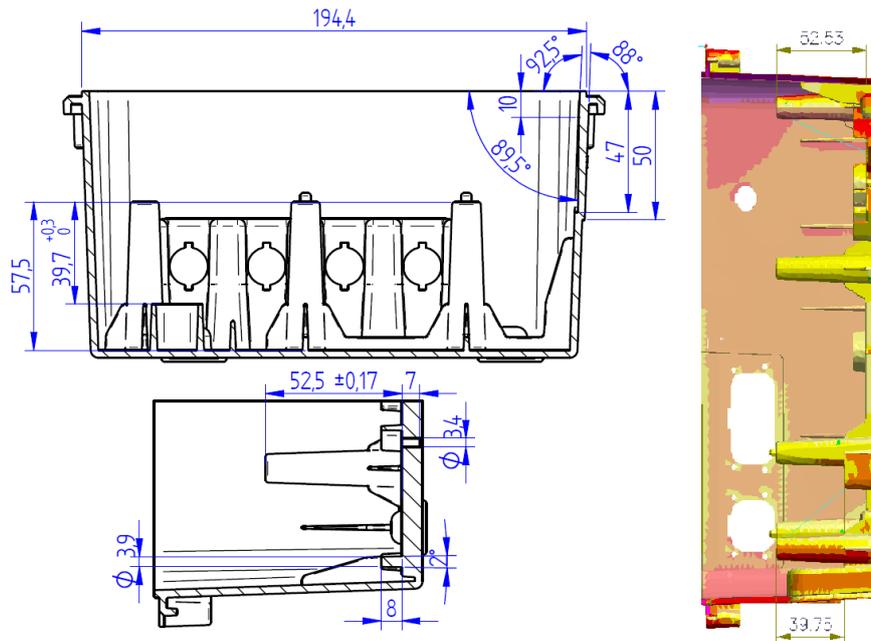


Figura 7.15 Dettagli per evidenziare le quote con tolleranza verticali

Infine, in figura 7.15 sono state riportate due sezioni indicanti delle quote verticali con tolleranza. In particolare, si sono quotate le altezze dei due supporti della scheda di potenza ai due estremi opposti e rispetto a due piani di riferimento differenti. Questo è stato fatto per verificare che la scheda appoggi su tutti i supporti senza indicare la tolleranza per ognuno, siccome entrambe le quote risultano in tolleranza si può assumere che il supporto della scheda elettronica è assicurato.

Terminate le verifiche delle quote con tolleranza si prosegue a verificare che le restanti quote rispettino le tolleranze generali. In questo caso non si passano in rassegna tutte le quote perché si andrebbe ad appesantire troppo la trattazione oltre al fatto che sarebbe un lavoro inutile. Infatti, si è deciso di verificare soltanto le quote funzionali, ovvero quelle che riguardano le sedi delle viti per collegare i vari connettori alla scatola, oltre che alle dimensioni delle aperture all'interno delle quali devono alloggiare gli stessi.

Si inizia con l'analizzare le quote che si riferiscono alle uscite X e Y della scatola SIP. Osservando la figura 7.16 si nota che le quote vanno in un range da circa 18 mm fino a 50 mm e andando a verificare sulla tabella 7.8 delle tolleranze generali si trova che il range di tolleranza per queste quote va da ± 0.17 mm a ± 0.23 mm. Andando a verificare ogni quota si vede che tutte rispettano il range di tolleranza fissato dalla norma; quindi, si ipotizza che non si verificheranno problemi in fase di montaggio.

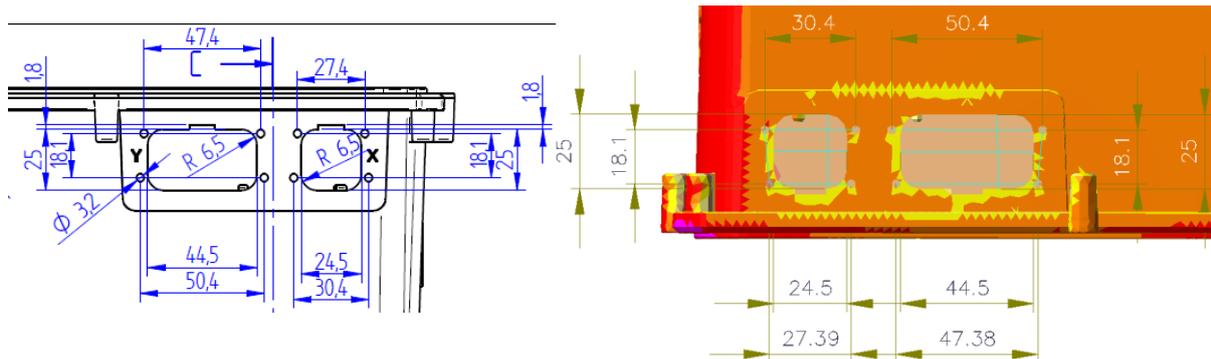


Figura 7.16 Dettaglio per tolleranze generali per connettori X e Y

Continuando ad analizzare le uscite dei connettori di vanno a verificare le tolleranze per le uscite R e K. In questo caso le quote vanno da una dimensione nominale di 14 mm fino a 40.7 mm quindi le tolleranze massime e minime saranno rispettivamente di ± 0.20 e ± 0.14 mm. In figura 7.17 si può controllare che ogni quota rispetta la tolleranza assegnata in base al suo valore nominale.

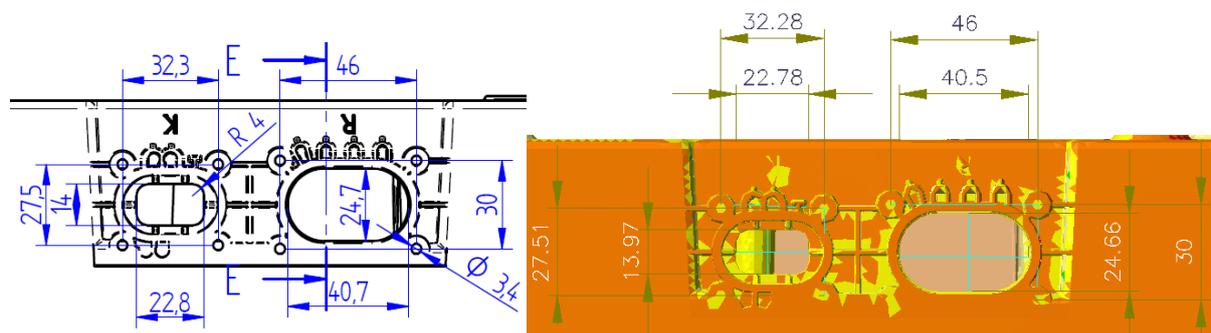


Figura 7.17 Dettaglio per tolleranze generali per connettori R e K

Infine, si eseguono le verifiche sulle aperture riguardanti i connettori B dove: le quote di valore 17 e 14.7 mm rientrano nella tolleranza di ± 0.14 mm mentre le quote di valore nominale 30 mm rientrano nella tolleranza di ± 0.17 mm, come osservabile in figura 7.18.

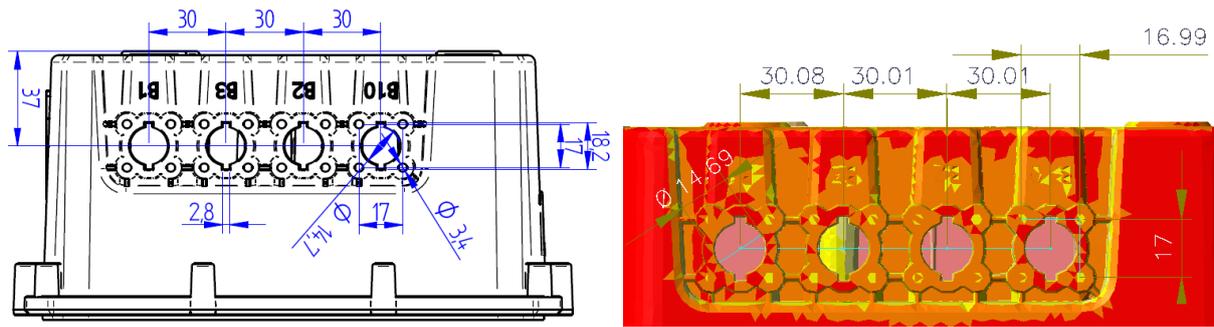


Figura 7.18 Dettaglio per tolleranze generali per connettori B

Si può quindi considerare che secondo le simulazioni eseguite tutte le quote rientrano nelle tolleranze stabilite anche se nelle analisi precedenti sembrava ci potessero essere delle criticità.

8. CONCLUSIONI

Questo lavoro di tesi ha riguardato la progettazione a 360° di un componente in materiale polimerico, dalla progettazione del pezzo, alla progettazione del processo terminando con la progettazione dello stampo e le conseguenti lavorazioni meccaniche che deve subire. L'integrazione degli strumenti informatici, software di modellazione solida e di analisi agli elementi finiti, è stato un supporto fondamentale per la progettazione e la produzione del manufatto. Grazie ad essi è stato possibile analizzare e valutare le varie problematiche dell'oggetto da realizzare in maniera immediata, riducendo notevolmente tempi e costi. I principali vantaggi nello studio svolto sono stati due; in primo luogo, le diverse modifiche della geometria del componente per renderlo realizzabile con questa tecnica di produzione e la progettazione e realizzazione delle parti dello stampo in base ai requisiti richiesti e in secondo luogo l'ottimizzazione dei parametri di processo per ottenere il miglior risultato finale. Quindi la progettazione CAD/CAM/CAE ha svolto un ruolo fondamentale in tutta la fase di progettazione semplificando notevolmente tutto il processo rendendo possibili tutte le modifiche e migliorie che potevano essere effettuate.

Il primo passo svolto è stato la riprogettazione del componente già esistente per renderlo producibile tramite stampaggio ad iniezione andando ad uniformare gli spessori ed eliminare tutti i sottosquadri presenti. Inoltre, sono state apportate delle migliorie per rendere la scatola SIP più resistente e meno soggetta a deformazioni, rispettando i vincoli imposti dai componenti interni e i collegamenti esterni. Successivamente si è creato un prototipo in stampa 3D per eseguire delle prove di montaggio e in questa fase sono sorte alcune criticità, le quali complicavano l'inserimento e il fissaggio dei componenti interni rispetto alla versione precedente del prodotto. Quindi, sono state apportate ulteriori modifiche andando a risolvere questi problemi. Ottenuta la geometria finale del componente si sono realizzate delle simulazioni di riempimento, mantenimento e deformazione per verificare l'effettiva realizzabilità del pezzo e durante questa fase sono sorti alcuni problemi relativi ad una deformazione eccessiva. Grazie alla calibrazione dei parametri di riempimento si è ottenuto un risultato soddisfacente considerando che queste analisi sono ancora preliminari perché non contengono tutti gli elementi che si dovrebbero considerare quali canali di alimentazione e raffreddamento. Controllata l'effettiva realizzabilità del componente si è passati alla progettazione dello stampo andando dapprima a scegliere tutti gli elementi standard proseguendo con la progettazione del movimento di apertura. Questa fase ha generato notevoli

difficoltà, le quali riguardavano la realizzabilità dei fori laterali della scatola ed esse sono state superate utilizzando una seconda piastra cavità andando a generare una corsa di apertura in due fasi, una per lo svincolo del pezzo dai carrelli laterali e una per l'estrazione e l'espulsione. Successivamente si è progettato il percorso di raffreddamento che serve per mantenere la temperatura sotto controllo durante lo stampaggio ed esso è stato ottimizzato in particolar modo per la parte interna della scatola cercando di ottenere delle deformazioni finali il più contenute possibili. Definiti tutti gli elementi facenti parte dello stampo sono stati generati i programmi CAM per la loro realizzazione ed è stato riportato il componente più importante, ovvero il tassello sul lato dell'estrazione. In questa fase si è cercato di ottimizzare i percorsi utensili per ottenere il risultato finito desiderato andando a scegliere sempre l'operazione ottimale per il tipo di lavorazione richiesto. Infine, seguendo la norma DIN ISO 20457:2018, sono state definite le tolleranze generali del pezzo per verificare che fossero rispettate. Per definire le corrette deformazioni subite dalla scatola in fase di stampaggio sono state svolte ulteriori analisi FEM aggiungendo al modello la camera calda e i canali di raffreddamento. A questo punto è stata riscontrata una criticità riguardante una forza di apertura eccessiva con un profilo di mantenimento a pressione costante. Quindi è stato necessario sviluppare un profilo di pressione adeguato andando di fatto a ridurre la forza di apertura richiesta permettendo alla pressa di mantenere chiusi gli stampi. Inoltre si è potuto constatare che utilizzare un modello più completo, con tutti gli elementi che effettivamente incideranno sul processo di stampaggio, ha portato a risultati più accurati sui quali si può fare maggiore affidamento.

Terminando tutto il processo di progettazione della scatola SIP si sono verificate le tolleranze richieste da disegno e le tolleranze generali nelle zone di accoppiamento con elementi esterni utilizzando il modello che ha subito tutte le deformazioni del processo di iniezione ed esse sono state ampiamente rispettate, garantendo di fatto un corretto montaggio degli elementi interni.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV, “Manuale dello stampista”, Ed. Tecniche nuove,
- AA.VV,. “Manuale degli utensili”, Ed. Tecniche nuove;
- Hans Gastrow, “Stampi per iniezione”, Ed. Tecniche nuove.
- Appunti del corso “Progettazione di processo con metodi numerici” dell’Ing.Salmi, AA 2024/2025)
- Potsch/Michaeli, “Injection Molding, an Introduction”, Hanser Editore
- Guida in linea del Software Visi 20
- Hansjürgen Saechtling, “Manuale delle materie plastiche”, Ed. Tecniche nuove
- Cangioli Filippo, “Proprietà e lavorazione delle materie plastiche. Guida pratica per i tecnici dell'industria”, EuroPass Editore

INDICE DELLE FIGURE

Figura 2.1 Esempio di poliaddizione a sinistra e policondensazione a destra	7
Figura 2.2 Schema polimero lineare, ramificato e reticolato (da sinistra a destra).....	7
Figura 2.3 Schematizzazione della parte amorfa e cristallina di un polimero	8
Figura 2.4 Andamento della viscosità con la struttura e la velocità di scorrimento.....	10
Figura 2.5 Principali parti di una pressa.....	12
Figura 2.6 Silos e deumidificatore presenti in Merlo.....	15
Figura 2.7 Schema di una vite punzonante per iniezione plastica	16
Figura 2.8 Schema del ciclo di stampaggio ad iniezione	17
Figura 2.9 Differenti tipologie di canali di iniezione	19
Figura 2.10 Disposizione canali freddi per stampi multi-impronta	20
Figura 2.11 1-Convenzionale 2-Rettangolare 3-Anello 4-Film 5-Sottomarina 6-Capillare	20
Figura 2.12 Schema di iniezione tramite canale caldo.....	22
Figura 2.13 Schema di una fresa cilindrica con evidenziazione di un tagliente	24
Figura 2.14 Fresa sferica	25
Figura 2.15 Confronto fresa cilindrica e torica	25
Figura 2.16 Fresa per spianare a inserti.....	26
Figura 2.17 Fresa a disco a inserti.....	26
Figura 3.1 Complessivo 3D della scatola SIP iniziale con i componenti interni ed esterni.....	29
Figura 3.2 Panoramica della scatola SIP iniziale	30
Figura 3.3 Anali sello spessore della scatola iniziale	32
Figura 3.4 Dettaglio dell'accoppiamento con in connettori a 2 e 3 poli prima e dopo le modifiche	33
Figura 3.5 Dettaglio dell'accoppiamento con i connettori a un polo prima e dopo le modifiche	33
Figura 3.6 Nervature di rinforzo per i connettori a un polo prima e dopo le modifiche.....	34
Figura 3.7 Vista dell'interno della scatola prima e dopo le modifiche.....	35
Figura 3.8 Vista del fondo della scatola prima e dopo le modifiche	35
Figura 3.9 Dettaglio dell'accoppiamento con i connettori per l'inverter prima e dopo le modifiche.....	37
Figura 3.10 Panoramica della scatola dopo le modifiche sopra riportate	37

Figura 3.11 Dettaglio delle nervature prima e dopo il confronto con l'ufficio tecnico.....	39
Figura 3.12 Dettaglio della deformazione della guarnizione sui connettori a un polo	39
Figura 3.13 Dettaglio sul posizionamento dei relè.....	40
Figura 3.14 Aggiunta dei supporti per tenere in posizione i relè	40
Figura 3.15 Prima e dopo lo spostamento del foro e delle sedi delle viti	41
Figura 3.16 Scatola prototipale con tutti i componenti interni ed esterni montati	42
Figura 3.17 Dettaglio per vedere lo spostamento delle lettere X e Y.....	42
Figura 3.18 Scatola SIP definitiva.....	43
Figura 4.1 Analisi dello spessore.....	47
Figura 4.2 Posizione del punto di iniezione	49
Figura 4.3 Andamento delle isocrone.....	51
Figura 4.4 Andamento delle temperature a fine iniezione	52
Figura 4.5 Andamento qualitativo degli sforzi di taglio.....	53
Figura 4.6 Percentuale di guaina solidificata	54
Figura 4.7 Temperatura del pezzo alla fine del raffreddamento.....	56
Figura 4.8 Sezione del componente per evidenziare le zone a più alta temperatura.....	57
Figura 4.9 Distribuzione di densità nel componente.....	58
Figura 4.10 Ritiro volumetrico.....	59
Figura 4.11 Distribuzione percentuale dei risucchi e porosità	60
Figura 4.12 Deformazione considerando tutti gli effetti con amplificazione 10.....	60
Figura 4.13 Mappa quantitativa degli scostamenti di ogni faccia rispetto a quella teorica	61
Figura 5.1 Stampo con solo elementi standard	66
Figura 5.2 Dettaglio delle colonne e boccole aggiuntive	67
Figura 5.3 Schema di apertura dello stampo (da sinistra a destra: punzone, seconda cavità e cavità).....	68
Figura 5.4 Dettaglio del tassello che si trova nella seconda piastra cavità	69
Figura 5.5 Dettaglio dei vincoli degli estrattori e cannocchiali	70
Figura 5.6 Dettaglio zona di chiusura lato estrazione	71
Figura 5.7 Carrello per realizzare il foro superiore.....	72
Figura 5.8 Carrello per realizzare le aperture X e Y	73
Figura 5.9 Carrello per creare le aperture dei connettori B.....	74
Figura 5.10 Dettaglio del finecorsa del carrello	74
Figura 5.11 Carrello per realizzare le aperture K e R e il foro per l'ingresso di potenza	75
Figura 5.12 Dettaglio degli sfoghi dell'aria (sinistra) e del sistema di fine corsa (destra)	76

Figura 5.13 Vista dall'alto del circuito di raffreddamento della prima piastra cavità.....	77
Figura 5.14 Dettaglio del percorso di raffreddamento nella seconda piastra cavità e carrelli .	78
Figura 5.15 Dettaglio canali di raffreddamento piastra punzone	79
Figura 5.16 Stampo completo di tutti gli elementi.....	80
Figura 6.1 Schema degli assi secondo normativa	81
Figura 6.2 Programmi di fresatura 2.5 assi (sopra) e 3 assi (sotto).....	82
Figura 6.3 Esempio di una finestra di un'operazione (sgrossatura).....	86
Figura 6.4 Tavola per ottenere l'altezza desiderata	87
Figura 6.5 Tavola con vista dall'alto	88
Figura 6.6 Tavola con vista dal basso.....	88
Figura 6.7 Finestra del CAM navigator con pezzi e grezzi utilizzati.....	89
Figura 6.8 Lista operazioni eseguite sul tassello.....	90
Figura 6.9 Simulazione di sgrossatura, profilatura e smussatura sul retro del tassello.....	91
Figura 6.10 Analisi sovrametallo alla fine delle operazioni del primo piazzamento	92
Figura 6.11 Analisi dopo le operazioni per finire la superficie laterale del tassello	93
Figura 6.12 Analisi sovrametallo dopo i primi due piazzamenti.....	94
Figura 6.13 Dettaglio delle zone ancora da lavorare sulla faccia posteriore del tassello.....	95
Figura 6.14 Analisi del sovrametallo del tassello completo.....	96
Figura 7.1 Distinzione tipologia di tolleranze secondo DIN ISO 20457:2018	99
Figura 7.2 Schema per determinare il valore di TG	100
Figura 7.3 Andamento temperature analisi con canali	105
Figura 7.4 Tempo di non flusso al termine del canale caldo	106
Figura 7.5 Andamento della pressione e della forza di apertura	107
Figura 7.6 Andamento temperature a fine raffreddamento analisi con canali.....	108
Figura 7.7 Densità analisi con canali	109
Figura 7.8 Ritiro volumetrico (a sinistra) e risucchi e porosità (a destra) analisi con canali .	110
Figura 7.9 Deformazione considerando tutti gli effetti con amplificazione 10 analisi con canali	111
Figura 7.10 Mappa quantitativa degli scostamenti di ogni faccia rispetto a quella teorica analisi con canali.....	112
Figura 7.11 Tavola di disegno quotata scatola SIP.....	113
Figura 7.12 Vista dall'alto con quote in tolleranza per i supporti interni.....	113
Figura 7.13 Vista dall'alto con quote in tolleranza per i supporti per le viti di fissaggio del coperchio	114

Figura 7.14 Vista dal basso con quote in tolleranza per fori di fissaggio.....	115
Figura 7.15 Dettagli per evidenziare le quote con tolleranza verticali.....	116
Figura 7.16 Dettaglio per tolleranze generali per connettori X e Y	117
Figura 7.17 Dettaglio per tolleranze generali per connettori R e K.....	117
Figura 7.18 Dettaglio per tolleranze generali per connettori B.....	118

INDICE DEI GRAFICI

Grafico 2.1 Schema logico del processo produttivo di componenti polimerici	6
Grafico 2.2 Andamento della viscosità in funzione della velocità di scorrimento e del materiale	9
Grafico 2.3 Andamento viscosità in funzione della velocità di scorrimento e della temperatura	10
Grafico 4.1 Variazione viscosità rispetto al gradiente di scorrimento a varie temperature	44
Grafico 4.2 Andamento del modulo di taglio con la temperatura	45
Grafico 4.3 Curva Sforzo-deformazione	46
Grafico 4.4 Massa entrante in funzione del tempo di mantenimento.....	55

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 2.1 Tabella riassuntiva relativa ai vari tipi di frese	28
Tabella 7.1 Relazione tra gradi TG e classe IT secondo DIN ISO 20457:2018.....	99
Tabella 7.2 Determinazione grado TG in funzione del valore di P_g	100
Tabella 7.3 Determinazione dal valore di P_1	101
Tabella 7.4 Determinazione dal valore di P_2	101
Tabella 7.5 Determinazione dal valore di P_3	101
Tabella 7.6 Determinazione dal valore di P_4	102
Tabella 7.7 Determinazione dal valore di P_5	103
Tabella 7.8 Tolleranze dimensionali rispetto alla dimensione nominale e al grado TG.....	104

RINGRAZIAMENTI

In questa ultima sezione della tesi vorrei ringraziare tutti coloro che mi hanno accompagnato durante questo percorso universitario. Un doveroso ringraziamento va all'azienda che mi ha permesso di svolgere sia il tirocinio che la tesi, ovvero la MERLO S.p.A., e a tutte le persone al suo interno che mi hanno seguito durante la permanenza in azienda e insegnato nuove nozioni. Tengo a ringraziare particolarmente il responsabile del reparto Tecnopolimeri, nonché il mio tutor aziendale, l'ingegner Augusto Galeazzi, il quale mi ha insegnato molto sul mondo dei polimeri, Matteo Morano che mi ha trasmesso una parte della sua grande esperienza nel campo della programmazione CNC e tutti i fresatori che mi hanno fatto vedere la parte pratica della progettazione. Tengo a ringraziare anche il mio tutor accademico, il professor Alessandro Salmi, che durante le lezioni mi ha fatto scoprire il mondo dei polimeri e successivamente mi ha seguito personalmente durante le attività di tirocinio e tesi guidandomi in questo percorso.

Un ringraziamento speciale è rivolto ai miei genitori Elena e Osvaldo, che durante questi cinque anni mi hanno sostenuto non solo economicamente, permettendomi di concentrare tutte le mie forze nello studio, ma soprattutto a livello umano aiutandomi nei momenti più difficili, rendendo questo percorso universitario un po' meno impegnativo. Anche i miei fratelli Denise e Daniel sicuramente meritano un grazie speciale nonostante a volte fossi stato di poche parole hanno sempre saputo tirarmi su di morale. Inoltre, è doveroso ringraziare la mia fidanzata Benedetta che mi ha sempre supportato e sopportato durante questi anni accademici assecondando le mie decisioni, gioendo con me per i traguardi raggiunti.

Infine, ringrazio tutti i miei amici, quelli che mi stanno accanto da sempre, ma anche quelli che ho incontrato e conosciuto durante questi anni al Politecnico, i quali hanno reso più spensierato e leggero questo percorso aiutandomi a evadere dai miei pensieri portando allegria alle giornate di studio.