

## **Analisi dello sviluppo e delle prestazioni di attrezzature per stampi ad iniezione, utilizzando sistemi di produzione di tipo additivo**

Robert Zammit/Arif Rochmann  
Department of Industrial and Manufacturing Engineering  
University of Malta

### **Premessa**

Da qualche anno, Coretech (Moldex3D) ha avviato una profonda collaborazione con l'Università di Malta, grazie anche all'iniziativa del dott. Arif Rochman, docente presso l'ateneo.



Nel gennaio 2015, il Dr. Rochman ha gettato le basi per la creazione di un laboratorio applicativo per l'analisi e la simulazione, sia di prodotto sia di processo in ambiente plastica.

L'università di Malta ha quindi a disposizione un congruo numero di licenze dell'ultima versione di Moldex3D, indirizzate allo studio completo dei fenomeni (Flusso, impaccamento, Sistemi di raffreddamento, Deformazioni ecc. ecc.), potendo trattare anche materiali complessi come gli FRP (Fiber Reinforced Plastic), sia per un'analisi standard CAE, sia per un'analisi Machine Mode indirizzata all'ambiente Manufacturing.

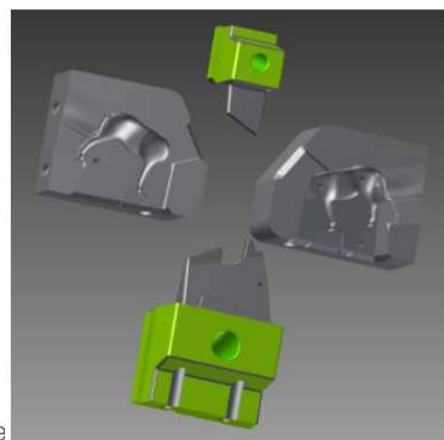
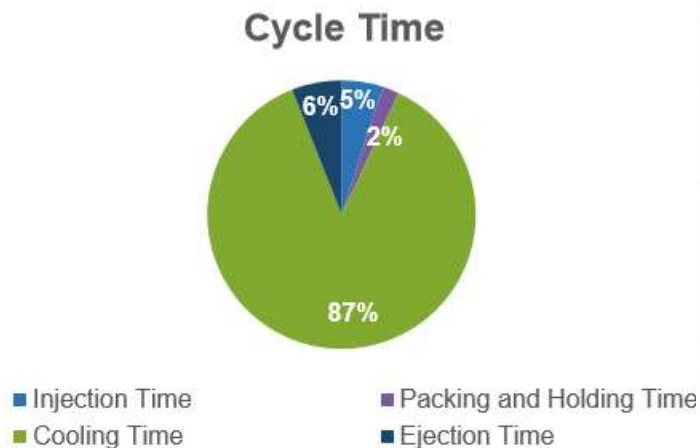
L'ambiente di ricerca dell'Istituto, ha permesso di investigare nuove funzionalità, con particolare attenzione allo sviluppo e analisi degli strumenti utilizzati in un processo di iniezione, che si combina con sistemi di raffreddamento sofisticato, quali i CCS (Conformal Cooling Systems).

### Introduzione al caso

L'obiettivo era di definire un protocollo e delle procedure che permettessero di progettare e realizzare attrezzature e componenti dello stampo in modo adattivo, in un'ottica di alta produttività customizzazione, ripetibilità e riduzione drastica dei tempi e dei costi (total time/total costs).

Le prestazioni globali dello stampo dovevano essere ottimali, da cui l'utilizzo di sistemi di condizionamento ad alte prestazioni (es. CCS Conformal Cooling Systems)

Si è quindi partiti da una situazione "normale" dove il tempo ciclo totale, e particolarmente quello di raffreddamento, erano giudicati troppo elevati.



The Injection Moulding Setup

La prima idea fu quindi quella di utilizzare sistemi di raffreddamento ad alte prestazioni con materiali adeguati.

Si sono definite le priorità, prima tra tutte, come ridurre al minimo il tempo di ciclo richiesto per la produzione del manufatto (in questo caso era il componente di un giocattolo).

Quindi si è scelto:

- La tecnica di produzione additiva migliore
- Il materiale più adeguato per lo stampo
- La definizione del modello di circuito CCS appropriato per la figura
- Le tecniche di produzione per le attrezzature
- La modalità di test da utilizzare per la macchina di stampaggio

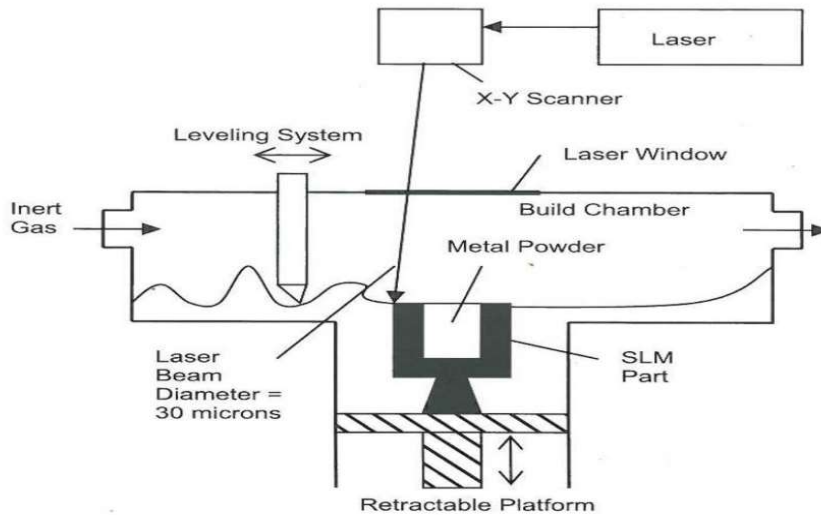
Si è perciò elaborata una tabella di riferimento che vediamo di seguito:

Criteria	Rapid Tooling Processes [1], [2]			
	<u>Selective Laser</u>	<u>Direct Metal</u>	<u>Selective Laser</u>	<u>Electron Beam</u>
	<u>Sintering</u>	<u>Laser Sintering</u>	<u>Melting</u>	<u>Melting</u>
<u>Density of Part</u>	Can vary but generally low	Can be as high as 95%	Approximately 100%	100%
<u>Material Removal from CCC</u>	Quite difficult	Similar to SLS	Easier than in EBM	Difficult due to powder being sintered to the part
<u>Surface Finish</u>	Poor surface finish	Poor surface finish	Good surface finish	Excellent surface finish
<u>Metallic Materials</u>	Very Limited	Limited	Large range	Limited

[1] D. Kazmer, Injection mold design engineering. Munich: Hanser, 2007.

[2] N. Karapatis, J. van Griethuysen and R. Glardon, 'Direct rapid tooling: a review of current research', Rapid Prototyping Journal, vol. 4, no. 2, pp. 77-89, 1998.

Allo stesso tempo si è sviluppato un modello di sistema di prototipazione rapida a sinterizzazione come quello indicato in figura seguente:



Selective Laser Melting Process [1]

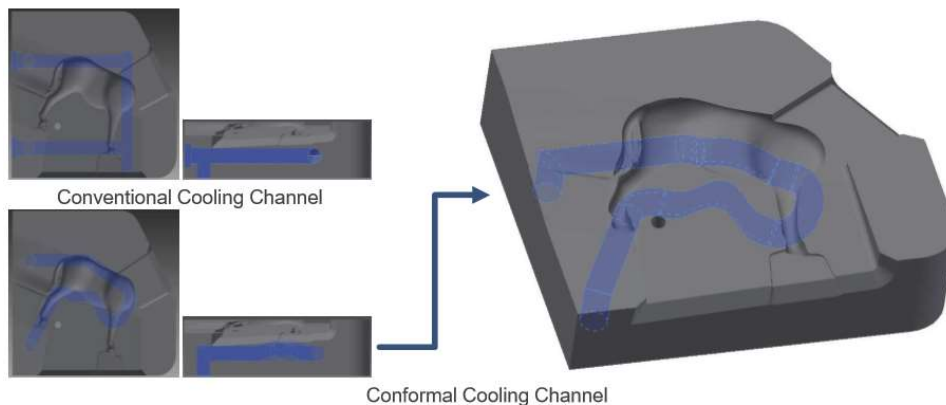
[1] C. Chua, K. Leong and C. Lim, *Rapid prototyping*. Singapore: World Scientific, 2003

Anche sul tipo di materiale più appropriato per lo stampo, si è fatta un'accurata ricerca, che tenesse conto sia delle prestazioni, ma anche del costo, e la decisione si è ristretta ai materiali in tabella, che combinano la struttura base con degli additivi al cromo, in percentuale diversa:

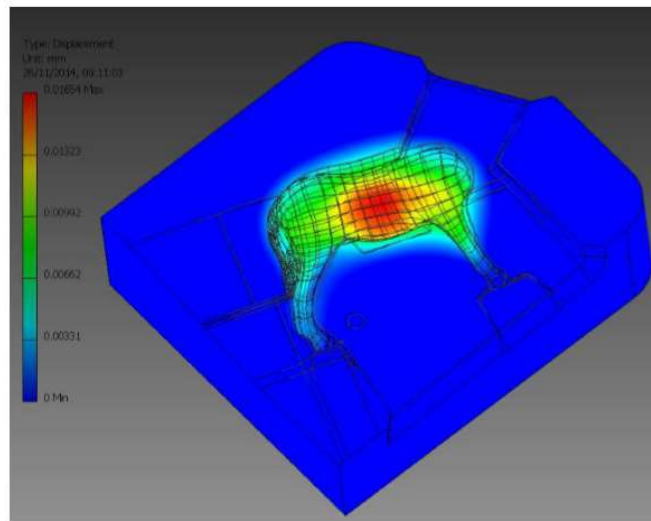
Material [1], [2]	Thermal Conductivity (W/m.K) [1], [3]	Chromium Content (%) [1], [3]
Steel - DIN 1.2311	33.00	1.80-2.10
Steel - DIN 1.2738	33.00	1.80-2.00
Steel - DIN 1.2312	33.00	1.80-2.10
Steel - DIN 1.4404	<b>16.30</b>	<b>16.00-18.00</b>
Steel - DIN 1.2316	15.00	15.50-17.50

Anche le modalità e le specifiche di come fare il progetto sono state standardizzate; ad es. Il sistema doveva permettere di poter cambiare il sottosistema di raffreddamento senza dover stravolgere lo stampo nella sua complessità (quindi una certa modularità e scalabilità), così come sono state definite le distanze minime tra il circuito e la figura, in modo che si potessero anche rispettare certe uniformità nelle distanze tra circuito e figura. Non ultimo la riduzione delle attività di post-processamento dei risultati e la loro applicazione.

Il primo passaggio è stato appunto quello di rivedere il progetto sostituendo il circuito "tradizionale", con un circuito conformato che potesse offrire migliori prestazioni. (parte dell'iniezione).



Si è analizzata, simulata e valutata la deflessione dello stampo nella zona della figura dalla parte dell'iniezione



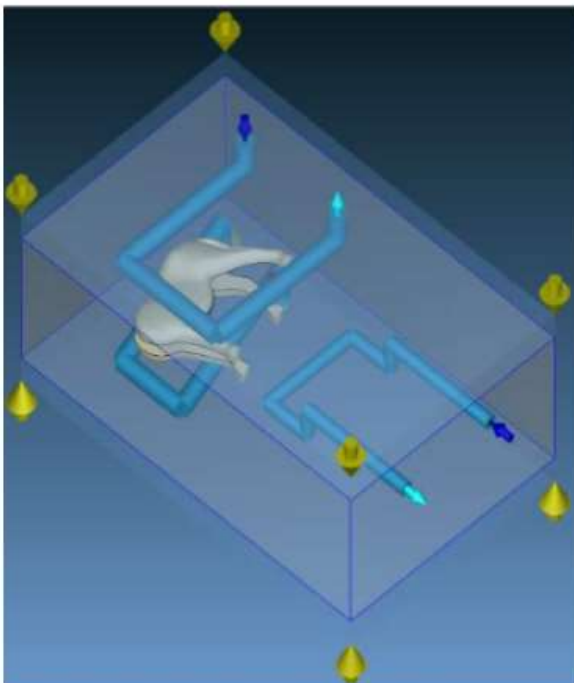
Deflection from Injection Pressure

## L'analisi e la simulazione del processo di stampaggio con Molde3D

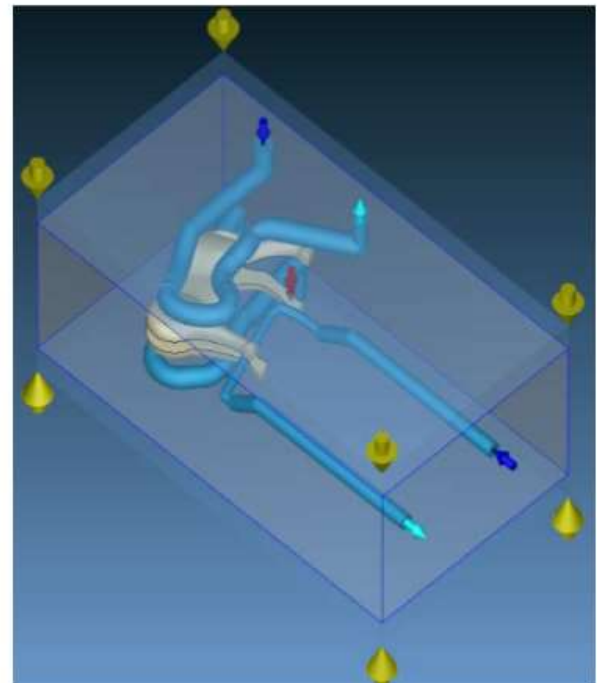
L'attività ha visto tre fasi:

1. La fase di pre-processamento con la definizione completa del modello d'assieme dello stampo, la definizione del materiale ed il settaggio dei parametri di processo
2. La fase di calcolo e simulazione vera e propria
3. La fase di post-processamento con i vari risultati (F/P/C/W ecc.), la valutazione dei risultati delle temperature e la loro distribuzione, l'ottimizzazione del tempo ciclo totale

Fase 1



Simulation Model of Conventional Mould



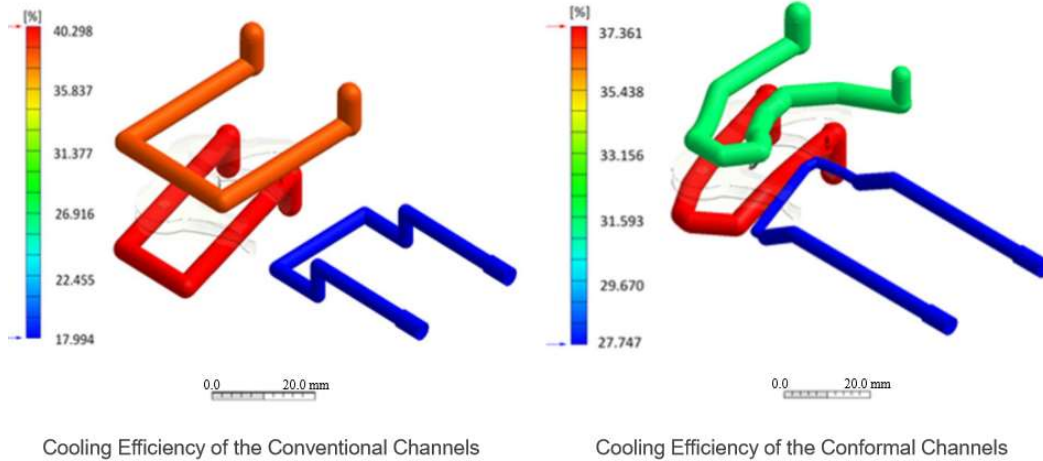
Simulation Model of Conformal Mould

Al modello completo è seguita la scelta dei materiali ed i parametri di processo, e quindi

Fase 2 → lancio del calcolo in forma completa considerando anche i transitori termici di andata a regime (Ct F P Ct W)

Fase 3

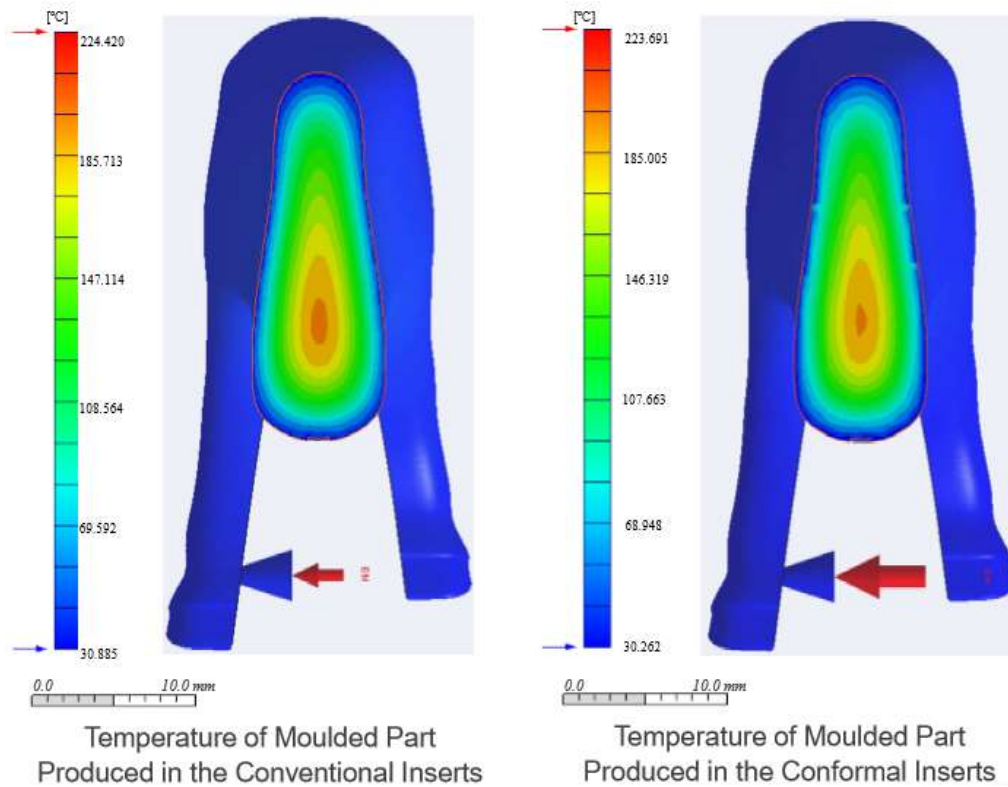
Si è andati immediatamente a vedere i vantaggi e le performace del circuito di raffreddamento conformato (CCS) rispetto a quello tradizionale



L'analisi ha permesso di evidenziare e di correggere al meglio i parametri fondamentali di efficienza del circuito (Numero di Reynold, Temperature di entrata ed uscita, pressioni e portate dei circuiti).

Data		Conventional Cooling Channels			Conformal Cooling Channels		
		Injection	Ejection	Slider	Injection	Ejection	Slider
Reynolds number	Max	33,191	33,200	44,135	37,541	33,126	66,264
	Min	33,097	33,097	44,135	33,097	33,097	44,207
Temperature (°C)	Max	30.034	30.027	30.011	30.074	30.044	30.120
	Min	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000
Pressure (kPa)	Max	21.470	39.380	53.690	20.160	14.790	55.910
	Min	3.580	3.580	3.580	1.340	1.340	1.340

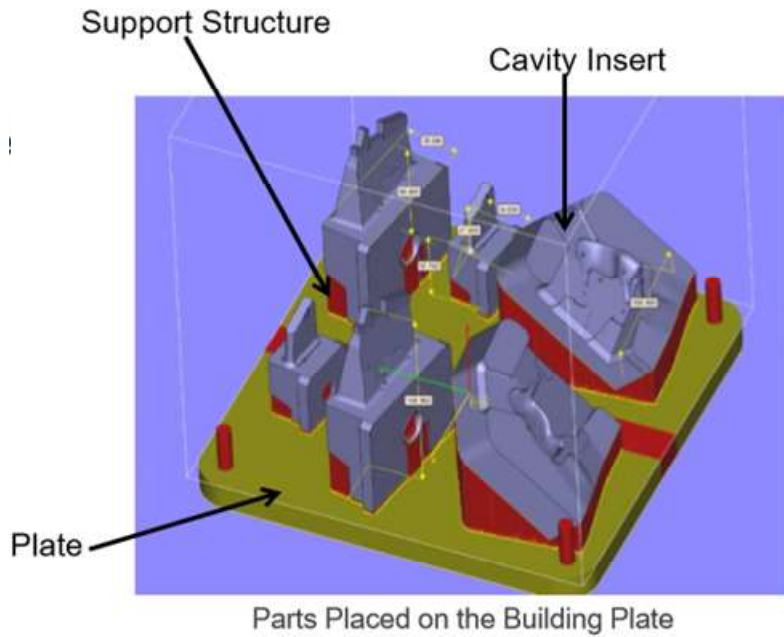
Si sono subito visti i vantaggi prodotti dal circuito CCS in termini di capacità di riduzione del calcole nelle zone critiche (accumulo di spessore).



Moldex3D permette, oltre all'eventuale utilizzo di un sistema di ottimizzazione DOE (Design-Of-Experiment) anche di settare degli automatismi che possano dare, in prima istanza, un valore comunque accettabile di tempo di raffreddamento.

Questo ha offerto un modo semplice e veloce di fare le opportune valutazioni, già in fase iniziale, che, nel nostro caso particolare, ha permesso di ridurre, di primo acchito, di circa 2,3 sec, il tempo di raffreddamento.

L'utilizzo di Moldex3D ha permesso quindi di passare velocemente alla preparazione fisica dei componenti dello stampo e delle attrezzature.



Ogni parte prodotta è stata ispezionata, misurata, verificata in termini di qualità attesa, (a d es. si è valutata la rispondenza del valore di rugosità per ogni superficie accoppiata e rivolta alla figura, così pure le aspettative di ritiro in ogni direzione. Per le attività CNC sono state utilizzate macchine di sgrossatura, intermedie e di finitura a 3 e 5 assi CNC e sistemi EDM di elettroerosione.

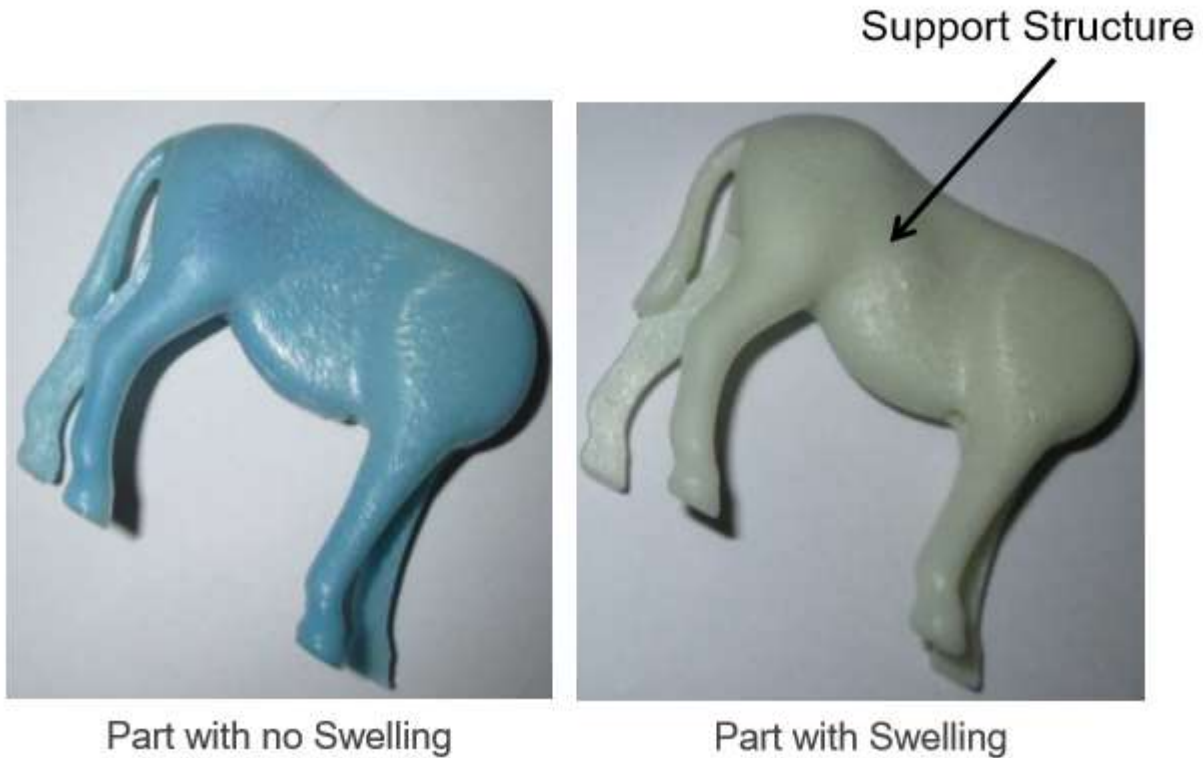
### Lo stampo prototipo

Si è realizzato uno stampo prototipo a due impronte, inserito sulla macchina di stampaggio settata propriamente con i dati risultato della simulazione.

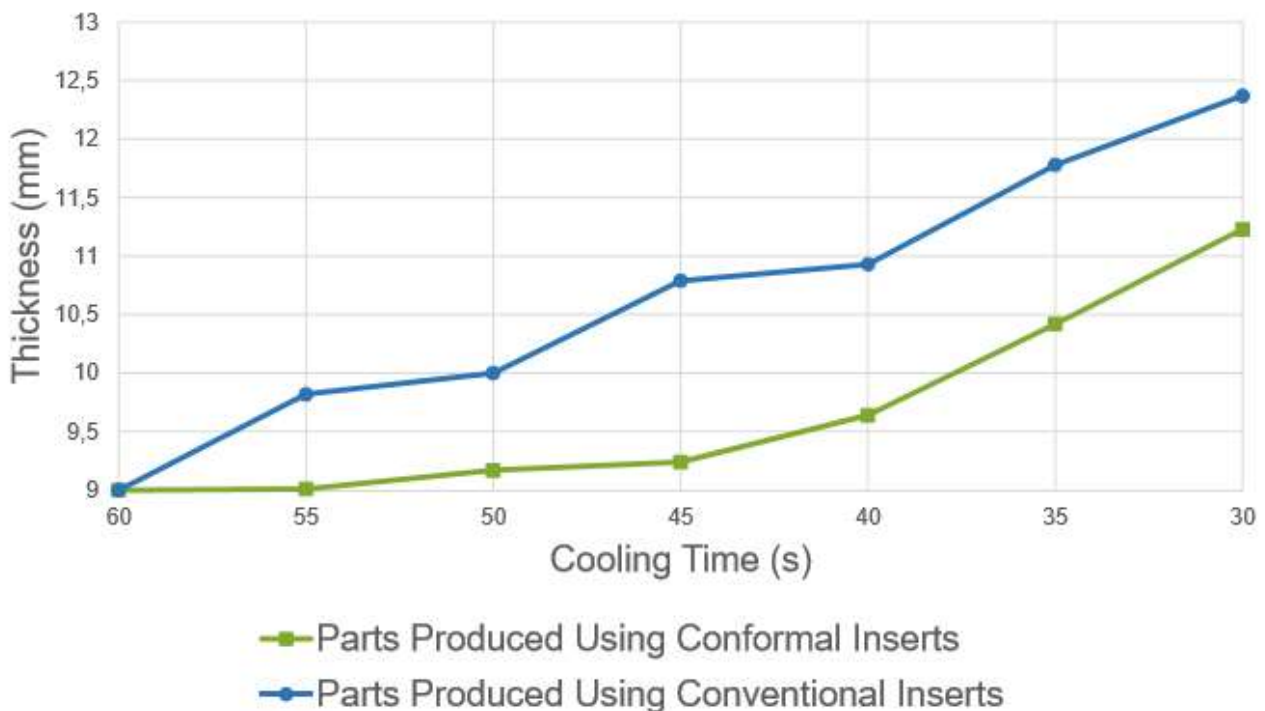


Una prima ispezione del pezzo prodotto ha mostrato un "gonfiore" nella zona indicata con un tempo di raffreddamento di 40s, che richiedeva quindi un allungamento.

La maggiore efficienza del sistema CCS ha permesso di portare una riduzione del tempo di raffreddamento da 60s (richiesti dalla prima analisi) a 45 secondi

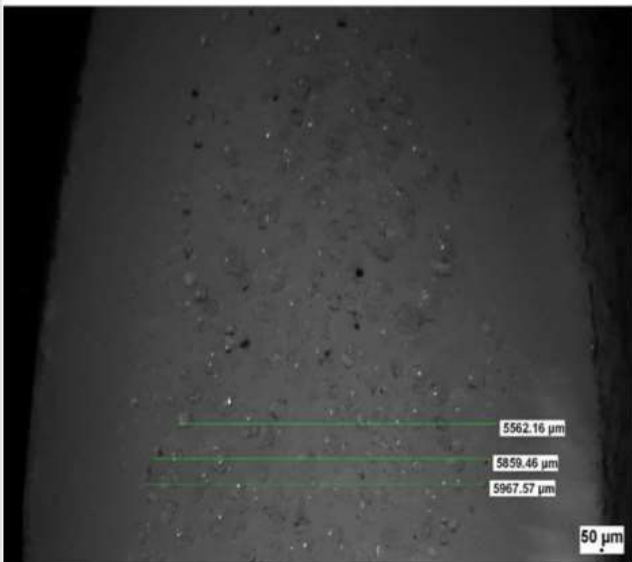


Nella regione della "pancia", dove c'era un particolare accumulo di spessore e quindi di maggior calore da dover asportare, sono state portate quindi modifiche al modello, e, con il sistema CCS, ha permesso di aumentare di 0,24 mm lo spessore in quella zona, migliorando l'estetica del pezzo.

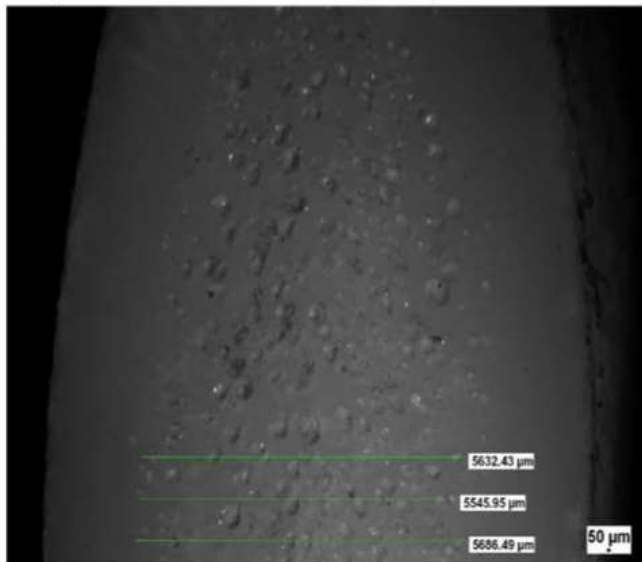


Si è effettuata anche un'analisi spettrografica della sezione





Micrograph of the Cross-Section of the Part Produced in the Conventional Mould



Micrograph of the Cross-Section of the Part Produced in the Conformal Mould

In conclusione:

L'utilizzo combinato di un sistema completo di analisi e simulazione come Moldex3D, in combinazione a nuove tecniche di fabbricazione additiva (sistemi di prototipazione rapida a sinterizzazione laser), ha permesso in modo semplice e veloce di raggiungere i diversi obiettivi aziendali:

- a) Riduzione del tempo di ciclo totale ed ottimizzazione del sistema di raffreddamento
- b) Distribuzione omogenea delle temperature e riduzione del differenziale di gradiente di temperatura tra il sopra ed il sotto dello stampo
- c) Contenimento dei ritiri e delle deformazioni nelle specifiche di progetto
- d) Riduzione dei costi e dei tempi di approntamento del prototipo
- e) Miglioramento del fattore estetico del pezzo

In collaborazione con:

**University of Malta**  
**Playmobil Malta Ltd**  
**SLM Solutions GmbH**

Per ulteriori informazioni [info@moldex3d.it](mailto:info@moldex3d.it)  
(GN – Giugno 2017 , prt. 20170049)