

## **PROGETTO DI RICERCA** **“RAPID TOOLING PER STAMPI DI MATERIE PLASTICHE”**

Il progetto di ricerca e sperimentazione realizzato è la diretta evoluzione tecnologica delle metodologie di Rapid Prototyping: un progetto integrato, mirato al contenimento dei tempi e costi legati alla realizzazione delle preserie.

Se la prototipazione rapida permette di avere velocemente un solo oggetto, con il Rapid Tooling si vuole perseguire la produzione di una serie, seppur limitata, di oggetti a partire dallo stesso prototipo, utilizzato come inserto dello stampo.

Una tale preserie presenta quindi un duplice beneficio: primariamente la possibilità di disporre di un certo numero di prototipi a basso costo da sottoporre al giudizio dei clienti, in secondo luogo questi possono essere impiegati per test funzionali in grado di verificare la bontà di risposta dell'oggetto alle sollecitazioni reali. I costi limitati di questo percorso ed i tempi contenuti permetteranno di apportare modifiche anche sostanziali al progetto iniziale senza ricorrere alla produzione classica (stampi in acciaio) che appare in quest'ottica caratterizzata da una limitata flessibilità e da costi elevati.

Nello specifico, il progetto ha previsto l'utilizzo di una macchina per stereolitografia, il modello SLA 3500 della 3D SYSTEMS, che utilizza una resina con caratteristiche meccaniche e termiche superiori a quelle della resina impiegata sulla precedente macchina stereolitografica da noi utilizzata (SLA 250), al fine di produrre un guscio in resina che costituisce la superficie dello stampo.

Per fornire la necessaria resistenza meccanica ed anche allo scopo di asportare il calore generato dal processo di iniezione il guscio è stato riempito con dei composti a base di resine e di alluminio.

L'aspetto principale di questo studio, ed in particolare della relativa fase sperimentale, è consistito nell'esigenza di definire una metodologia in grado di sfruttare la flessibilità delle tecniche RP superandone contemporaneamente gli elementi critici.

Integrando quindi la produzione di prototipi estetici, si è voluto cercare di mettere a punto un insieme di procedure rapide ed economiche per consentire la realizzazione di più prototipi in serie con elevate caratteristiche meccaniche e funzionali.

### **FASI DI REALIZZAZIONE DEL PROGETTO**

Il progetto di ricerca e sperimentazione di “RAPID TOOLING PER STAMPI DI MATERIE PLASTICHE” si è svolto presso il laboratorio di Tecnologia & Design, con la partecipazione del personale tecnico aziendale.

La durata del progetto è stata di otto mesi (Dicembre 2000 / Luglio 2001).

Le fasi realizzative hanno consentito la ricerca delle migliori modalità operative e la sperimentazione dell'uso delle tecnologie, finalizzate alla verifica delle riduzioni dei tempi e dei costi nei cicli progettuali-prototipali dei nuovi prodotti e nella produzione delle preserie.

Le fasi del progetto sono state le seguenti:

#### **Ricerca e sperimentazione sull'applicazione della metodologia di Rapid Tooling**

In questa fase è stata realizzata la ricerca e l'analisi delle esperienze realizzate in ambito mondiale sulle applicazioni di Rapid Tooling che si intendevano sperimentare.

La scarsità di materiale bibliografico disponibile è stata confermata dalle ricerche effettuate in collaborazione con il DIMEG - Dipartimento di Innovazione Meccanica e Gestionale -

dell'Università di Padova, tuttavia sono state individuate presso la Lowell University –Massachusetts - alcune tesi di laurea inerenti a diversi aspetti della tecnologia utilizzata.

Una approfondita analisi ha permesso di individuare i parametri e le condizioni più critiche da considerare nelle fasi sperimentali, con particolare attenzione alle geometrie ed agli spessori dei particolari, alla tipologia dei riempimenti per gli inserti degli stampi e ad alcuni dei parametri dello stampaggio ad iniezione.

La durata è stata di due mesi (dicembre 2000 / gennaio 2001).

### **Sperimentazione e realizzazione di inserti per stampi stereolitografici**

Dopo aver individuato i parametri e le condizioni più critiche è cominciata la fase di sperimentazione e realizzazione di inserti. Durante questa fase sono state analizzate le problematiche relative alle modalità di progettazione e costruzione degli inserti stereolitografici ed alla loro realizzazione in resina, oltre che allo studio dei materiali utilizzabili per il riempimento degli inserti stessi.

La prima attività è stata finalizzata all'individuazione del prodotto da utilizzare per lo sviluppo del progetto, considerando le caratteristiche innovative e l'appartenenza al settore merceologico più significativo del distretto di Montebelluna, il prodotto scelto è un COPRILEVA DELLO SKI STOPPER di un attacco SCARPONE DA SCI della società BENETTON GROUP S.p.A.

Ottenuti i dati matematici, è seguita la costruzione del modello tramite il sistema di stereolitografia in resina epossidica

L'attività seguente ha riguardato la progettazione con realizzazione dei modelli 3D degli inserti della matrice e del punzone del COPRILEVA DELLO SKI STOPPER e la costruzione di circa venti particolari STEREOLOGRAFICI in resina epossidica degli stessi, che sono serviti ad individuare le condizioni ottimali di processo.

Il ciclo composto dalla progettazione del prodotto e dalla progettazione degli inserti è stato ripetuto più volte, ottenendo successivamente dalla fase di realizzazione delle preserie le indicazioni cercate sulle variabili verificate.

La durata di questa fase è stata di sei mesi (gennaio 2001 / giugno 2001).

### **Sperimentazione e realizzazione delle preserie dei nuovi prodotti**

In questa fase è stata effettuata la produzione delle preserie dei nuovi prodotti, utilizzando il processo di stampaggio ad iniezione con stampi sui quali sono stati montati gli inserti stereolitografici ottenuti dalla SLA3500.

La durata è stata di quattro mesi (aprile 2001 / luglio 2001).

### **Processo operativo**

La sperimentazione è stata finalizzata ad ottenere risposte da più punti di vista:

#### 1. Ambito di applicabilità del sistema

In relazione a ciò sono stati valutate le seguenti variabili di sistema:

- materiali iniettabili
- quantità producibili in relazione al materiale
- tempi medi di risposta in condizioni ottimali
- campo di applicazione del sistema in termini geometrici e dimensionali del prodotto

#### 2. Accorgimenti tecnici atti a migliorare le prestazioni del singolo inserto e del sistema

- comportamento della resina stereolitografica SL 7510
- sistemi di protezione della superficie (per aumentare la durata dell'inserto)
- procedura di stampaggio (primi cicli a basse pressioni)
- sistema di cambio rapido degli inserti
- angolo di sformo

#### 3. Accorgimenti tecnici per migliorare la qualità del prodotto stampato

- sistemi di protezione della superficie (per migliorare la finitura superficiale del prodotto stampato)
- sistema di alimentazione della figura

Il metodo applicato alla sperimentazione è stato quello di:

- individuare le variabili di sistema ritenute critiche;
- isolare l'influenza delle stesse sul sistema;
- trovare delle possibili soluzioni allo specifico problema;
- sperimentarle al fine di ottenere un confronto sul campo degli effettivi risultati.

**Cronologia della fase sperimentale:**

1. Realizzazione del modello matematico del prodotto (CAD 3D);

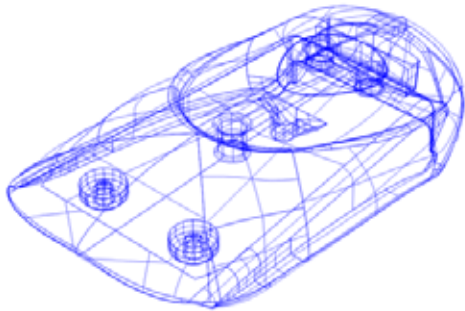


immagine wireframe



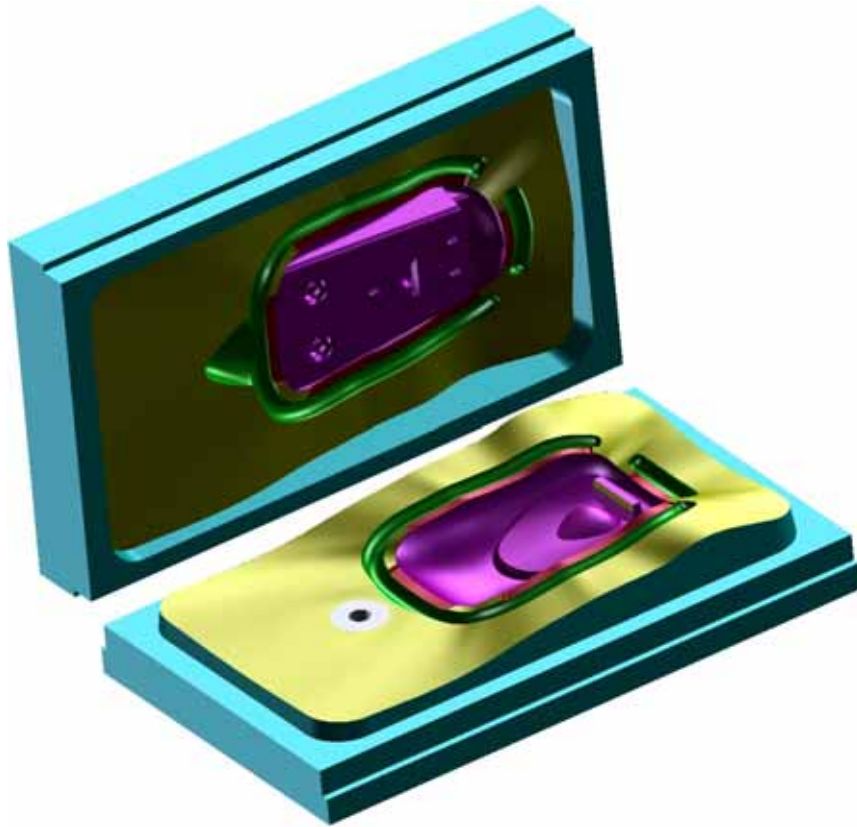
immagine rendering

2. Realizzazione del modello stereolitografico del prodotto, al fine di verificarne la qualità e la forma;



foto pezzo stereolitografico

3. Realizzazione modello matematico degli inserti da montare nel portastampo (CAD 3D).
4. Sono stati disegnati, prototipati e sperimentati 2 inserti stampo, uno con iniezione in figura e uno con iniezione fuori figura, per poter confrontare i risultati dei due sistemi nella fase sperimentale.



Inserti per l'iniezione fuori figura



Inserti per l'iniezione in figura

5. Progettazione del portastampo metallico e realizzazione.

Il portastampo è stato progettato in modo da assolvere le seguenti funzioni:

- contenere i due tipi di inserti, con iniezione sia in figura che fuori;
- permettere le movimentazioni tipiche di uno stampo ad iniezione;
- assorbire quasi totalmente le sollecitazioni meccaniche;  
assorbire quasi totalmente le distorsioni presenti nell'inserto, tramite delle zone cuscinetto;
- facilitare il cambio rapido degli inserti permettendo, senza togliere lo stampo dalla pressa, la sostituzione degli stessi.

Il portastampo è stato realizzato secondo nostro progetto presso un'officina esterna.



6. Realizzazione dei modelli stereolitografici degli inserti e successivi riempimenti.

Successivamente alla realizzazione del guscio stereolitografico degli inserti si è proceduto alla pennellatura delle superfici interne con resina epossidica (BIRESIN G49) e successivamente al loro riempimento con una miscela della stessa resina e polvere di alluminio, in rapporto 1:1.



Pennellatura inserto



Inserto riempito

## 7. Prima prova di stampaggio.

Nella prima prova il materiale stampato è stato il PP Stamylan P83 MF10 DSM.

Ogni prova si è svolta variando alcuni parametri e tenendone fissi altri al fine di isolare l'influenza degli stessi.

Si è scelta la soluzione con un sistema di raffreddamento manuale ad aria, direttamente in figura a stampo aperto, per velocizzare la realizzazione degli inserti.

INFLUENZA DELLE VARIABILI E OSSERVAZIONI.

Si è verificato:

- che il materiale stampato (notoriamente non particolarmente impegnativo nello stampaggio) non presenta problemi di adesione all'inserto;
- che nelle zone a spessore elevato il PP ha tempi di raffreddamento non compatibili con la necessità di mantenere tempi ciclo ridotti, al fine di non permettere un trasferimento di calore dal pezzo all'inserto;
- che il sistema di cambio rapido degli inserti funziona ottimamente, permettendo il cambio inserto in alcuni minuti;
- che la resina SL 7510 è in linea con le attese;
- che i pezzi stampati con l'iniezione in figura non differiscono in modo significativo da quelli prodotti dagli inserti con iniezione fuori figura. La finitura dei pezzi, che risulta più semplice per quelli prodotti con il secondo tipo di inserti e la possibilità di applicazione di questo sistema ad una tipologia di particolari più vasta, ci ha spinto ad utilizzare nel proseguimento della sperimentazione il sistema di alimentazione fuori figura.



Particolare ottenuto con iniezione fuori figura: le striature bianche situate sul lato opposto alla materozza sono delle soffiature causate dal distaccante silconico



Particolare ottenuto con iniezione in figura

## 8. Modifica del modello matematico del prodotto (CAD 3D).

Verificato che spessori di questo tipo non sono compatibili con un inserto che per semplicità costruttiva e velocità di realizzazione viene raffreddato ad aria, abbiamo deciso di ridurre lo spessore a 2,5 mm mantenendo invariata la complessità del particolare.

## 9. Realizzazione dei nuovi inserti per il particolare modificato.

Si è proceduto in modo analogo a quanto realizzato precedentemente.

Da quanto è risultato nella prima prova di stampaggio si è eliminata la variabile "sistema di iniezione", adottando esclusivamente l'iniezione fuori figura.

Questa serie di inserti (uguali tra loro) è stata utilizzata per verificare l'incidenza della finitura superficiale nella figura sulla durata dell'inserto.

Questa attenzione è dovuta al problema, emerso dalle esperienze verificate nelle ricerche bibliografiche, di incollaggio tra pezzo e inserto con la conseguente rottura dell'inserto.

Sono stati preparati quindi 4 inserti con lo stesso grado di rugosità superficiale sui quali provare trattamenti superficiali diversi:

- inserto verniciato con un prodotto resistente ad alta temperatura; “superterm 500°C” della Dupli-Color;
- inserto ricoperto con teflon spray;
- inserto da utilizzare con silicone spray;
- inserto da utilizzare senza trattamento superficiale.

#### 10. Seconda prova di stampaggio.

Nella seconda prova sono stati utilizzati due dei quattro inserti realizzati iniettando lo stesso tipo di materiale della prima prova.

Gli inserti sono stati testati nel seguente ordine:

- I inserto verniciato;
- II inserto senza trattamento superficiale;
- III inserto teflonato (risultava in modo evidente l’inutilità della prova visto il risultato della II);
- IV inserto abbinato all’uso del silicone (risultava in modo evidente l’inutilità della prova visto il risultato della II).

#### INFLUENZA DELLE VARIABILI E OSSERVAZIONI.

- Primo inserto:  
Con questo inserto sono state prodotti oltre i 140 particolari. Dopo questa produzione lo stampo non presentava segni particolari di cedimento.  
In fase di avvio (5/6 stampate) si è spruzzato del silicone e si sono mantenuti dei parametri di stampaggio estremamente blandi, in modo da realizzare una sorta di tempra progressiva. Successivamente si sono utilizzati dei parametri di stampaggio (temperatura, pressioni) più basse del normale, vista la specificità dello stampo.  
L’uso del silicone ha conferito al prodotto stampato delle striature bianche (“sbiancamenti”) normalmente non accettate in produzione.
- Secondo inserto:  
Visto l’ottimo risultato ottenuto con il primo inserto si è voluto verificare quanto aveva inciso la verniciatura sul comportamento dell’inserto. Perciò si è proceduto a stampare utilizzando l’inserto preparato con la sola finitura standard.  
Anche in questo caso, in fase di avvio (5/6 stampate), si è spruzzato del silicone e si sono mantenuti dei parametri di stampaggio estremamente blandi, in modo da realizzare una sorta di tempra progressiva. Successivamente si sono utilizzati dei parametri di stampaggio (temperatura, pressioni) più bassi del normale.  
Con questo inserto sono state prodotti oltre 140 particolari e come nel caso precedente lo stampo, al termine della prova, si presentava in buone condizioni.  
Questa verifica ha reso inutili le prove sui trattamenti superficiali previsti nella terza e nella quarta serie di inserti.  
A questo punto si è considerata conclusa positivamente la seconda prova di stampaggio; la qualità dei prodotti ottenuti è risultata buona. Inoltre non sono stati adottati particolari accorgimenti tecnici nel sistema inserto-portastampo, atti ad aumentare lo smaltimento di calore dall’inserto.



Pezzi realizzati con il secondo inserto

#### 11. Terza prova di stampaggio.

Nella terza prova si è voluto verificare l'ottenimento di risultati altrettanto positivi cambiando il materiale stampato. Per rispondere alle esigenze del settore industriale di provenienza del particolare studiato si è scelto di testare il sistema con una resina acetlica prodotta dalla Du Pont, il Delrin 500T.

Con questo inserto sono stati stampati 50 particolari con parametri di stampaggio ridotti in termini di temperatura e pressione. Successivamente si è voluto verificare se l'inserto poteva resistere alle pressioni convenzionali. Il risultato è stata la rottura di una linguetta a sbalzo dell'inserto.

Anche questa prova ha in ogni caso confermato la bontà del sistema (questa numerosità di particolari in resina acetlica ne è testimone), mettendo in luce ancora una volta che, per ottenere un buon risultato, va ripensata e riadattata tutta la metodologia tradizionale della progettazione stampo e di stampaggio.



Particolare ottenuto con il terzo inserto

## 2.5 Considerazioni relative al Processo operativo

In questo paragrafo si vogliono fornire alcune linee guida per la messa a punto del sistema.

### ✓ Materiali iniettabili

I parametri che condizionano i materiali iniettabili sono: temperatura di iniezione e adesività del materiale allo stato fuso/pastoso. Più la temperatura di iniezione abitualmente utilizzata è bassa e più facilmente i risultati saranno positivi. Va in ogni caso considerato che il sistema richiede temperature di iniezioni più basse del normale, ma considerate le caratteristiche isolanti dell'inserto tale limitazione non risulta particolarmente penalizzante.

Inoltre la limitata numerosità di una preserie (max. 100 pezzi) fa sì che sia relativamente poco incidente l'onere di una finitura manuale dei particolari. Ciò permette canali di colata e punti di iniezione con sezioni molto rilevanti.

### ✓ Quantità producibili

I materiali testati non hanno dato particolari problemi di quantità (da notare che anche 100 pezzi già soddisfano la maggior parte delle necessità di preserie).

In relazione a ciò va fatta la considerazione che dotandosi di un sistema simile a quello da noi realizzato, nel caso si ottenessero produzioni più limitate per singolo inserto a causa di materiali da stampaggio più aggressivi, si può facilmente sostituire l'inserto rispondendo in ogni caso alla necessità di tempi ridotti, visto che la produzione di un inserto o più inserti stereolitografici di queste dimensioni ha quasi lo stesso tempo di realizzazione.

### ✓ Tempi di risposta medi

Il tempo di interesse industriale è il tempo che intercorre dalla consegna del modello matematico del prodotto alla consegna del pezzo stampato.

In questa valutazione non si considera il tempo necessario alla realizzazione del porta stampo in quanto lo si considera attrezzatura standard, già in uso in azienda.

Questo tempo è indicativamente composto da:

- 2/8 ore per lo sviluppo CAD degli inserti;
- 12/24 h per la realizzazione degli inserti stereolitografici;
- 24 h per il riempimento e indurimento della resina epossidica miscelata con alluminio in polvere;
- 1 h per le spinature degli inserti;
- 3 h per stampare circa 100 particolari;

Tempo totale: circa 3 giorni.

### ✓ Limiti geometri dei pezzi realizzabili

La prima considerazione da fare è che prodotti con spessori normali (da 1 a 3 mm) e con dimensioni ridotte come quelle del pezzo sviluppato non presentano particolari problemi, difficoltà significative possono essere generate da spessori elevati.

La complessità geometrica, a causa delle modalità costruttive, non risulta particolarmente incidente. A livello di ipotesi (non suffragata da dati sperimentali) si presume che si possa arrivare abbastanza agevolmente anche a ingombri ed a volumi di iniettato più elevati, ottimizzando le esperienze ed i risultati conseguiti.

Va comunque preso in considerazione un sistema di raffreddamento idraulico da realizzare con dei tubicini in rame conformati manualmente secondo la figura e immersi nella colata.

Questa metodologia, da noi non sperimentata, allunga leggermente i tempi e complica le attrezzature in gioco, ma rende possibile l'utilizzo di spessori superiori a quelli da noi utilizzati.

Qualora si fosse in presenza di volumi iniettati interessanti si presume che il punto critico sia la zona sotto la boccia di iniezione; questa problematica si risolve facilmente prevedendo un inserto metallico, riutilizzabile per vari prodotti, da inserire nell'inserto stereolitografico.

✓ Comportamento della resina SL 7510

In base alle prove realizzate riteniamo che questa resina sia tra le migliori tra quelle disponibili sul mercato, in quanto presenta un giusto mix tra resistenza termica e meccanica.

Sembra inoltre, a vederne il comportamento ed i risultati, possedere caratteristiche di autodistacco nei confronti dei materiali stampati.

A riguardo è importante ricordare che, quando si utilizzano materiali da stampaggio particolarmente aggressivi, l'adesione tra plastica iniettata e inserto stereolitografico è uno dei problemi principali.

✓ Protezioni superficiali dell'inserto

Le ottime caratteristiche della resina (relativamente "all'autodistaccabilità" della SL 7510) hanno reso superflue le soluzioni sperimentate, riducendo ulteriormente i tempi complessivi e risolvendo anche il problema di "sbiancamenti" legati all'uso intenso del silicone.

✓ Procedura di stampaggio

L'utilizzo del silicone, unito all'uso di parametri di stampaggio molto più modesti della norma (pressioni, temperature) nelle prime stampate, permette di mettere a regime l'inserto con gradualità oltre che la realizzazione di una tempra della resina stereolitografica.

✓ Cambio rapido degli inserti

Particolarmente interessante risulta questa tecnica, in quanto permette di ottenere produzioni consone alle necessità in tempi estremamente ridotti.

Ci si dovesse infatti trovare in difficoltà per ottenere le quantità richieste, a causa dell'usura accelerata dell'inserto dovuta ad un particolare materiale da stampaggio, con costi e tempi contenuti si possono ottenere più copie di inserti, senza allungare i tempi di esecuzione totali.

Qualora ci fosse la necessità di ottenere determinate precisioni di fabbricazione dei particolari stampati si possono produrre contemporaneamente più inserti con ritiri diversi, ancora una volta senza allungare i tempi di esecuzione totali.

✓ Angoli di sformo

Si consiglia di non scendere sotto i 5°. Particolarmente elevato deve essere lo sformo nei casi di particolari con cavità rilevanti.

✓ Alimentazione della figura

Sono utilizzabili l'iniezione in figura e fuori figura. Qualora si utilizzi l'iniezione fuori figura vanno realizzati più punti di iniezione, con sezioni di area molto rilevante rispetto alle condizioni normalmente realizzate su stampo metallico.

Bisogna inoltre porre molta attenzione nella definizione della forma e dimensione dei canali di alimentazione.