



PROGETTO RANDIT - Approfondimenti



Moldex3D eDesign Sottosistema di analisi iniezione plastica RIM Reactive Injection Molding – Materiali Termoindurenti

Dalmine , 11 gennaio 2010

Le problematiche legate all'analisi dell'iniezione plastica, sono relativamente complesse e comunque richiedono molta attenzione, in particolare il problema riguarda la scelta del materiale più appropriato.

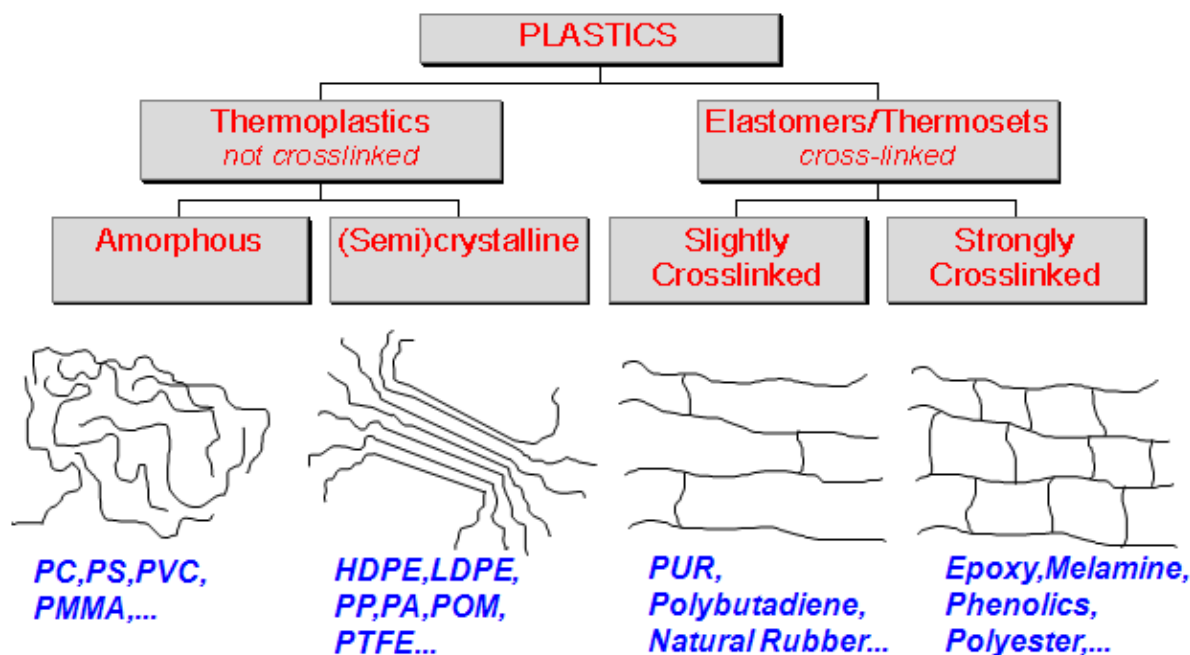
Moldex3D eDesign Rhermoplastic and RIM, fornisce oggi nuove funzionalità in grado di verificare e confrontare le caratteristiche di più materiali, contemporaneamente, oltre a fornire anche la possibilità di classificare un materiale originale o non presente in tabella (Material Table Families).

Tutto questo diviene fondamentale, quando l'analisi di comportamento deve essere effettuata non su materiali termoplastici, ma **TERMOINDURENTI (RIM)**, dove spesso la ricetta di materiale è singolare o specifica dell'azienda che deve stampare.

Classificazione del materiale

Di seguito vediamo in modo molto semplice come può essere classificato in linea generale un materiale "plastico".

In particolare il materiale termoplastico, in fase di fissaggio sia esso amorfoso o semicristallino, ha un comportamento strutturale che non crea connessioni trasversali (**Not crosslinked material**). Al contrario gli **elastomeri**, o materiali plastici termoindurenti, creano delle connessioni trasversali di materiale, più o meno fitte (**crosslinked material**).

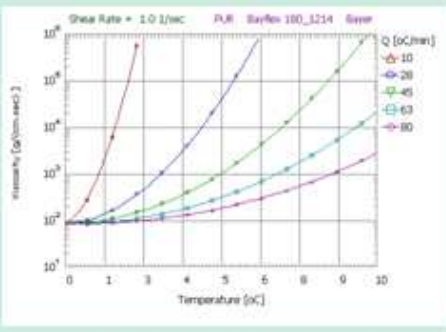


Moldex3D eDesign RIM fornisce, attraverso la classificazione, anche tutta una serie di informazioni visive (**Tabelle e Diagrammi di Comportamento**) fondamentali per capire e prevedere cosa succederà nelle diverse condizioni operative, fornendo indicazioni utili per definire e fissare i parametri ottimali di lavoro

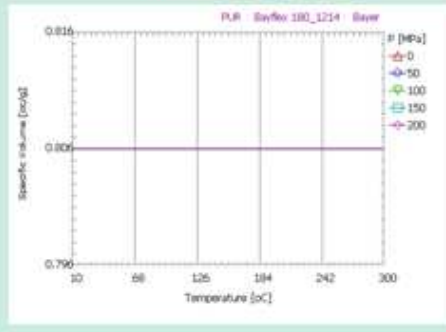
L'operatore ha quindi disponibile una tabella di riferimento con le caratteristiche proprie del materiale, rilevate in laboratorio, e i diagrammi funzionali delle varie grandezze richieste: Viscosità del materiale, Comportamento al calore (Heat Capacity), la velocità di diffusione del materiale, le caratteristiche meccaniche ecc.



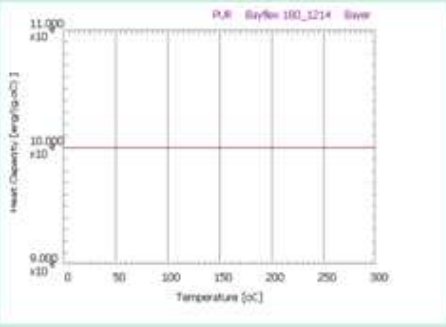
Material Viscosity



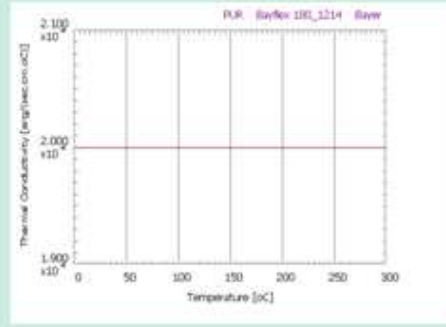
Material PVT



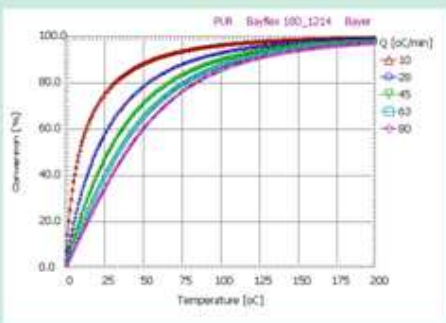
Material Heat Capacity



Material Thermal Conductivity



Material Kinetics



Material Mechanical Properties

Polymer Grade Name Producer	PUR Bayflex 180_1214 Bayer
Mechanical Properties	Fiber (Mod) polymer - Experimental properties
Poisson's ratio v12	0.356 (-)
Poisson's ratio v23	0.294 (-)
Modulus E1 (fiber direction)	4.48e+010 (dyne/cm ²)
Modulus E2 (transverse direction)	2.30e+010 (dyne/cm ²)
Shear Modulus G	8.7e+010 (dyne/cm ²)
CLTE a1(fiber direction of solid)	2.195e-006 (1/K)
CLTE a2(transverse direction of solid)	9.263e-006 (1/K)
Fiber Length/Diameter (L/D)	20 (-)
Intraction coefficient	0.01 (-)
Fiber weight percentage	15 (%)

Scorch Index Property

Polymer Grade Name Producer	PUR Bayflex 180_1214 Bayer
Scorch index property	
tD	6.43e+010 (sec)
TD	14000 (K)

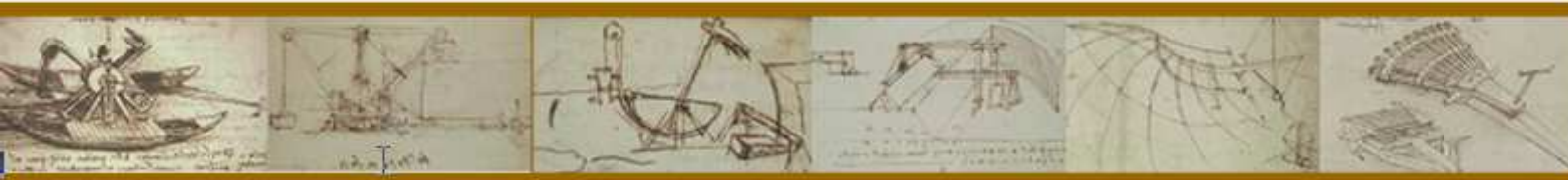
Induction Model

$$S(t) = \int_0^t \frac{dt}{t_0 \cdot e^{(C_p/T(t))}}$$

Material Content

Description	
Polymer	PUR
Grade Name	Bayflex 180_1214
Producer	Bayer
Comment	
Last modified date (yy/mm/dd)	2009/12/14
Process condition	
Melt temperature (minimum)	20 °C
Melt temperature (nominal)	25 °C
Melt temperature (maximum)	30 °C
Mold temperature (minimum)	40 °C
Mold temperature (nominal)	50 °C
Mold temperature (maximum)	60 °C

I materiali termoindurenti (**Reactive**) hanno un comportamento irreversibile al riscaldamento (**Curing Form**). Tale riscaldamento indotto dello stampo può ottenersi sia direttamente, sia indirettamente (**reazioni chimiche di combinazione dei materiali**), o tramite **irraggiamento** (processo di bombardamento elettronico o elettromagnetico). Il tutto, opportunamente modulato, serve ad ottenere un materiale finale, più o meno trasversalmente connesso (high level o low level crosslinked) a seconda dell'obiettivo da raggiungere. Il prodotto ottenuto non può venire rifuso avendo delle caratteristiche finali irreversibili, ed è più resistente di un materiale termoplastico proprio per queste connessioni trasversali.



Viene usato in particolari condizioni meccaniche, ed in quest'ultimo periodo di mercato, tende a sostituire prodotti ottenuti in pressofusione da alluminio, zama o leghe varie.

Sono più leggeri e praticamente forniscono le stesse caratteristiche meccaniche, e si indirizzano all'industria automobilistica in particolare, ma anche al consumer in genere.

Ovvero dove sono richiesti:

- Isolamento termico consistente;
- Forza e resistenza all'uso;
- Robustezza e Durezza;
- Irreversibilità di forma.

Vengono quindi definire all'inizio delle **specifiche di progetto** (parametri di riempimento, volume da trattare, temperatura del fronte e dello stampo , pressione ecc.)

Filling setting

Filling time : sec

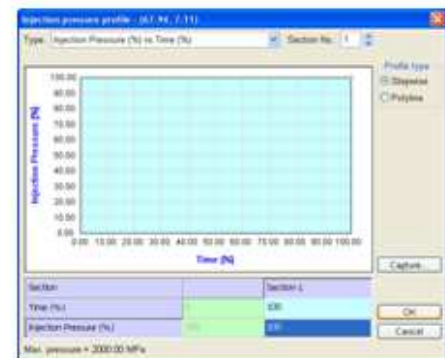
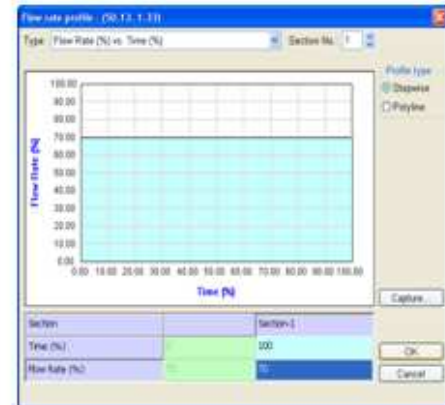
VP switch-over

By volume(%) filled as %

Packing setting

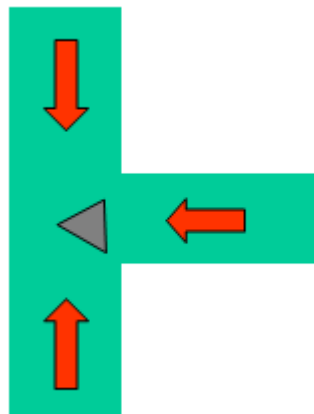
Packing time : sec

Melt Temperature	25	°C
Mold Temperature	50	°C
Initial conversion	0	%



Il controllo e la previsione dell'avanzamento del **fronte di fusione (Melt front)** è un indicatore di posizione fondamentale che si lega alle caratteristiche fissate come il tempo di durata del processo di riempimento.

L'analisi 3D accurata della simulazione dell'avanzamento del fronte di fusione permette, tra l'altro, di esaminare il riempimento, di identificare le linee di potenziale giunzione del materiale, di controllare il livello di contribuzione dei vari gates di iniezione del materiale e di bilanciare i runners, di prevedere possibili difficoltà di riempimento, identificare i possibili punti in cui si possono generare delle trappole di gas, ed anche di fissare al meglio i punti di iniezione e dimensionarne le grandezze e la forma.





Le **trappole d'aria** si creano quando il flusso del materiale fuso converge verso un punto ben definito con gradienti e direzioni diverse. Queste possono creare un punto di discontinuità, che a sua volta crea una potenziale difficoltà di riempimento e di consolidamento del materiale.

Il fenomeno può creare anche le condizioni di **bruciatura del materiale** esterne (visibili e quindi antiestetiche) o interne (fragilità del prodotto dovuto a discontinuità).

Per evitare tutto ciò eDesign RIM fornisce uno strumento per bilanciare il flusso di materiale all'interno dello stampo, seguirne l'evoluzione, evitare punti di rallentamento, o cadute di pressione, che creano gradienti diversi nel procedere del materiale fuso, e di bilanciare i runners di alimentazione ed il sistema di riscaldamento dello stampo.

Il problema legato alle bruciature del materiale è forse il più sentito per chi opera nel settore dello stampaggio con materiali reattivi termoindurenti.

I segni di bruciature, oltre ad essere antiestetici, modificano le caratteristiche fisiche del materiale in quel punto, aumentandone la fragilità.

L'**ambiente adiabatico** che viene a crearsi, non permette lo scambio termico necessario, portando il materiale a temperature elevatissime dovute all'aumento della pressione in quel punto ed alla impossibilità di avere uno scambio termico adeguato.

Cercare di eliminare il più possibile le possibili aree di trappola potenziale di gas è quindi una condizione molto importante per evitare che le caratteristiche del materiale degradino. Oltre a questo, si rende necessario il corretto dimensionamento e posizionamento del sistema dei **runners**, una possibile modifica del sistema di iniezione, la corretta selezione della macchina di stampaggio e delle sue caratteristiche (**fissaggio corretto dei parametri di macchina**), la definizione corretta della temperatura del materiale e della temperatura simulata del fronte di fusione, l'ottimizzazione della pressione di ritorno (**Back Pressure**), la velocità di rotazione della vite e la velocità di iniezione del materiale.

Nello stampaggio di materiale termoindurente bisogna prestare particolare attenzione a due entità tra loro simili, ma fondamentalmente diverse:

- **Weld line**, ovvero la linea di saldatura del materiale
- **Meld line**, ovvero la linea che si svolge trasversalmente al fronte ed alla direzione del flusso del materiale.

La prima, **Weld Line**, compare quando due diversi fronti di flusso del materiale fuso vanno a congiungersi durante il processo di riempimento, Questo fenomeno avviene spesso in corrispondenza ad aree di discontinuità di forma del corpo da stampare (fori, inserti, nervature, pipette ecc.), piuttosto che in situazioni dove lo spessore da riempire varia in modo cospicuo.

In queste situazioni, il flusso di materiale si rallenta, e crea dei gradienti di temperatura che generano aree di stress del materiale.

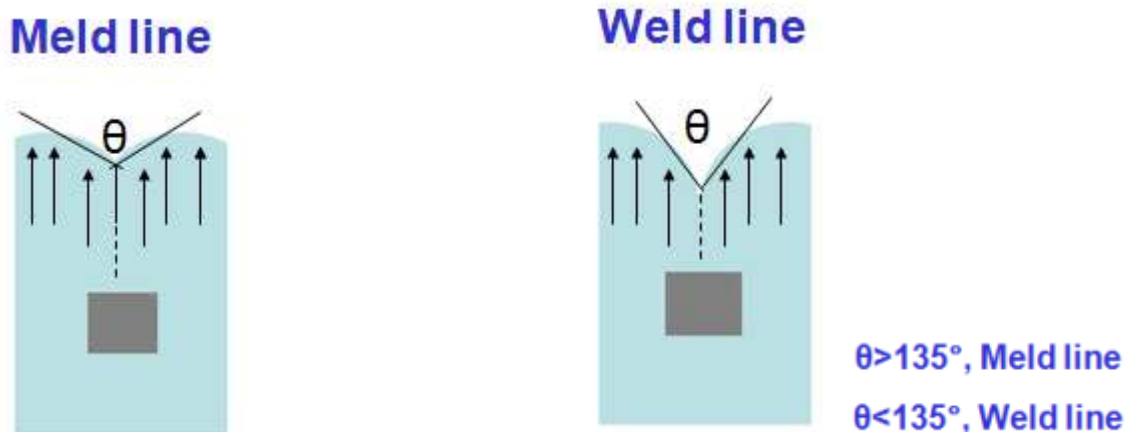
Talvolta la temperatura si abbassa a limiti non voluti ed il materiale, oltre che rallentare, assume caratteristiche diverse.

La linea di giunzione diviene quindi una zona particolarmente critica e fragile, dove si rendono possibili diversi punti di rottura potenziale. Non è solo una questione estetica, ma diviene una questione meccanica.

La **Meld Line**, o linea di giunzione del fronte del materiale, è la linea ideale che corre lungo il flusso del materiale e quindi trasversale al fronte fuso. Anch'essa crea una zona che può potenzialmente creare problemi sia estetici sia di fragilità.

E' come se due fronti di materiale progredissero e si congiungono, saldandosi secondo un angolo obliquo.

In questo caso l'orientamento delle molecole del materiale è più uniforme che nel caso della linea di saldatura (Weld Line), ma costituisce comunque un elemento di discontinuità da valutare attentamente



Matematicamente il passaggio da una situazione all'altra viene definito dal valore di un parametro:

L'angolo "θ" creato dai due fronti del materiale al suo progredire o al congiungersi.

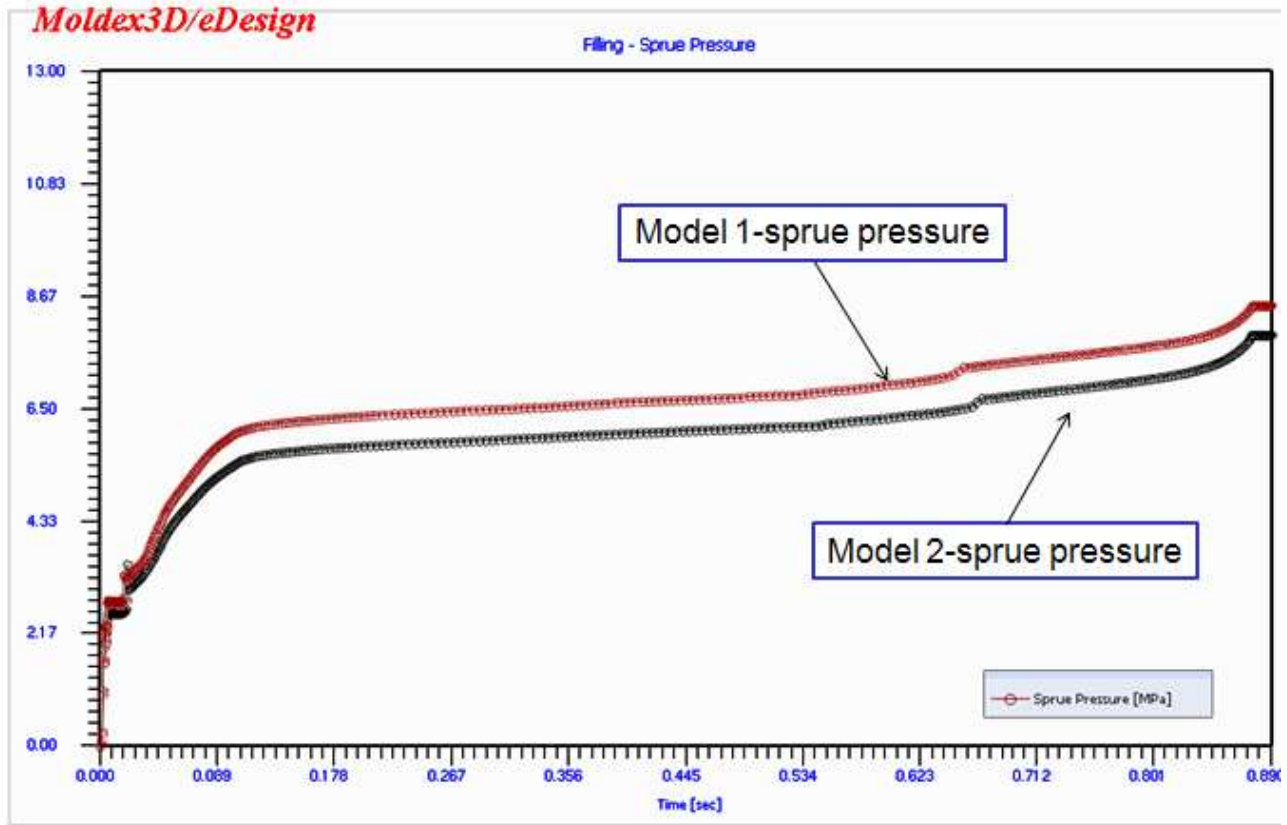
Altro parametro estremamente importante è la **pressione esercitata in fase di riempimento**.

La distribuzione della pressione all'interno della cavità condiziona i tempi, ma anche la temperatura risultante.

Il sistema MOLDEX3D eDesign RIM è in grado di simulare la caduta di pressione in ogni punto, e quindi l'operatore può modificare i parametri assegnati per verificare il miglior comportamento, sia del corpo sia dello stampo.



Possiamo ottenere e controllare la distribuzione della pressione durante il trasferimento del materiale all'interno dello stampo, bilanciare al meglio il progetto in termini di flusso, esaminare in modo dettagliato i tempi ed i modi sia dell'operazione di riscaldamento sia di mantenimento della temperatura (fase **Curing**), calcolare e valutare la caduta di pressione dei dispositivi di servizio (runners), evitando fenomeni non voluti di sovrariscaldamento o reazione indesiderata del materiale dovuta a discontinuità di temperatura/pressione



Riferendoci al comportamento del materiale termoindurente, MOLDEX3D eDesign RIM fornisce anche uno strumento utile a gestire il livello di congiunzioni trasversali nel materiale alla fine del processo (**Cross-linking**), definite come **valore di conversione**. Con eDesignRIM l'operatore può simulare il livello di crosslinking della microstruttura del materiale stampato con un elevato valore di approssimazione. Un materiale a ripresa veloce ha, solitamente, un più alto livello di crosslinking., ovvero un più elevato livello di conversione nel riempimento.

Altro discorso fondamentale riguarda l'**orientamento delle fibre**.

Il vettore di distribuzione che governa l'orientamento delle fibre all'interno del material è un parametro che l'operatore definisce come punto d'arrivo, il valore **EOF/EOC** uguale o minore di 1/3 definisce un basso livello di orientamento, un valore EOF/EOC=1 definisce un orientamento delle fibre al 100%. Più alto è questo valore, più l'orientamento è raggiunto in quella particolare zona dello stampo.

Rheology & Fluid Mechanics

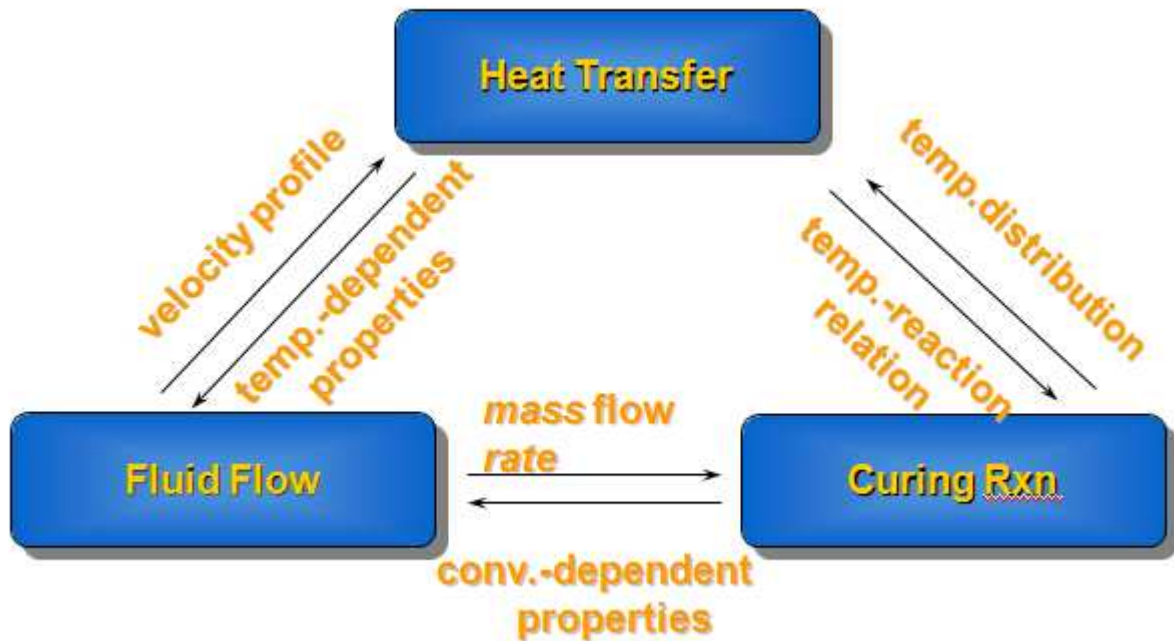


Heat Transferring

Chemical Kinetics

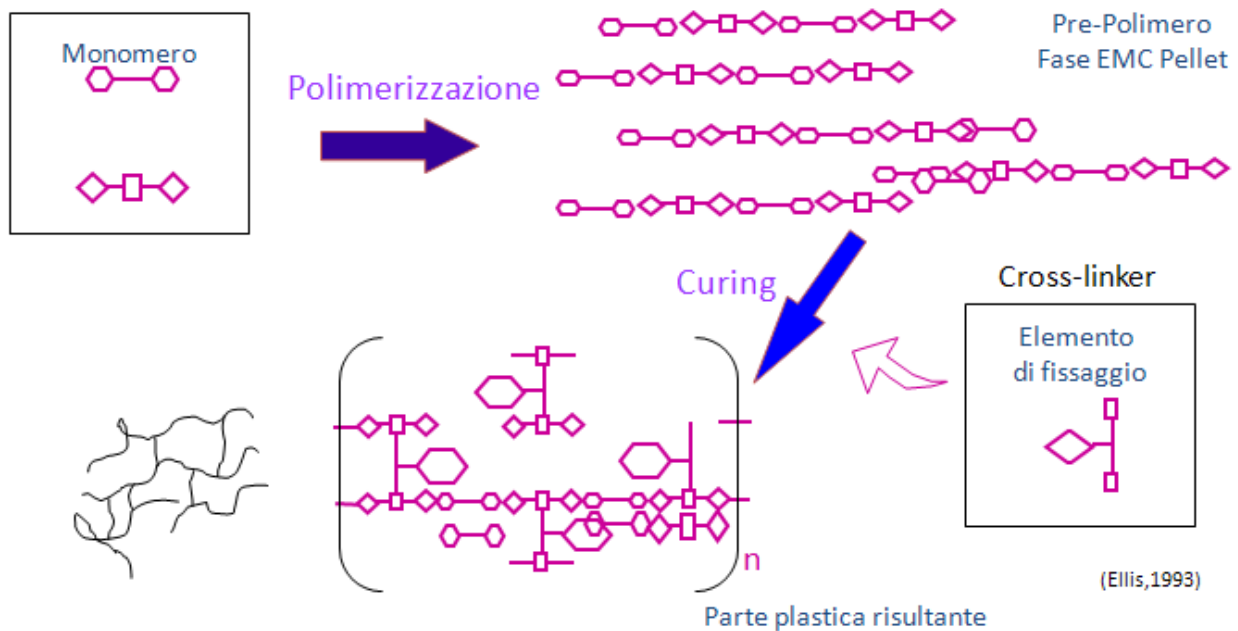


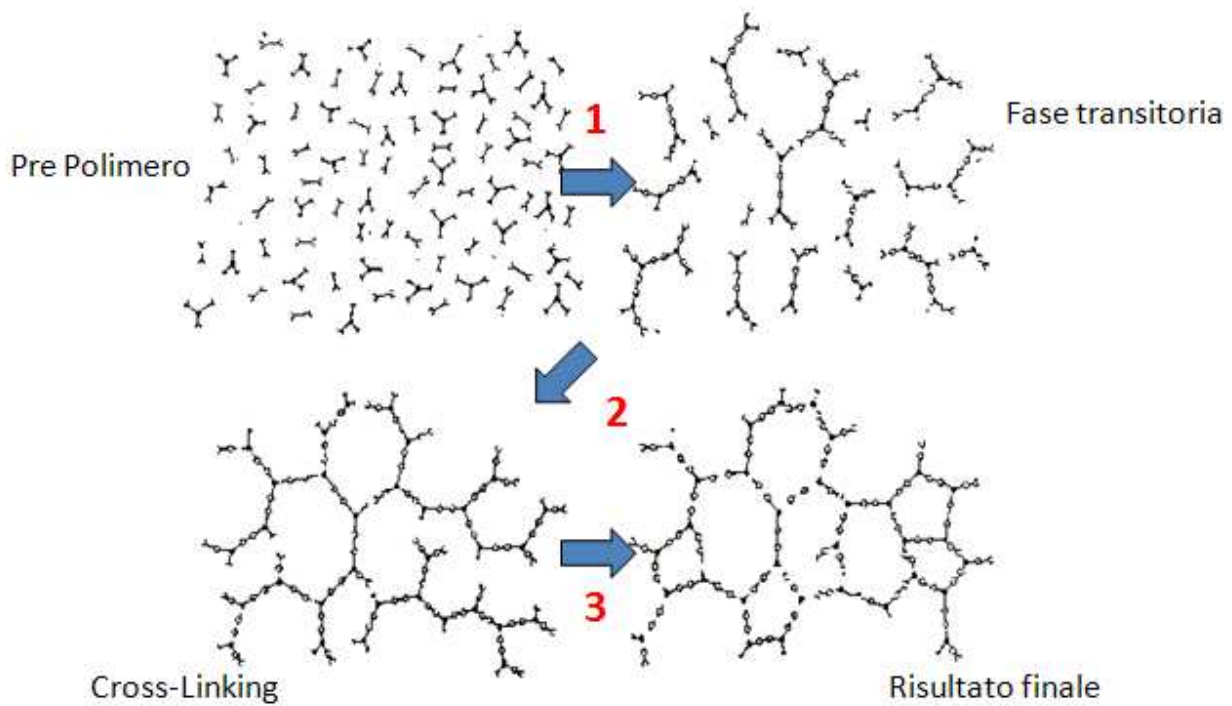
Le variabili in gioco sono parecchie e operando proprio su queste variabili si può ottenere il risultato atteso. Da un lato bisogna agire sulle **caratteristiche meccaniche** legate al fluido ed ai **fenomeni reologici**, da un altro bisogna governare il **trasferimento del calore** all'interno dello stampo, e dall'altro le **caratteristiche cinetiche** che legano anche la **chimica dei materiali (crosslinking)**



CURING PROCESS

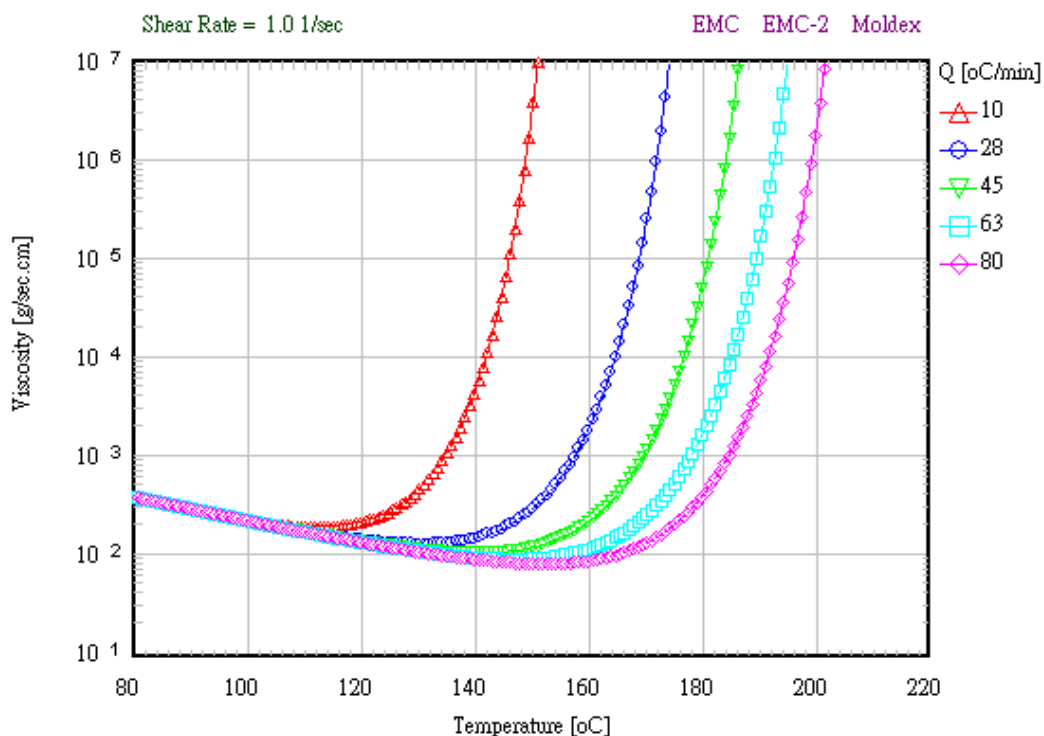
Un accenno al fenomeno legato all'attività di riscaldamento e mantenimento del calore dello stampo (**Curing process**), per una resa corretta in termini di caratteristiche del prodotto che si otterrà.

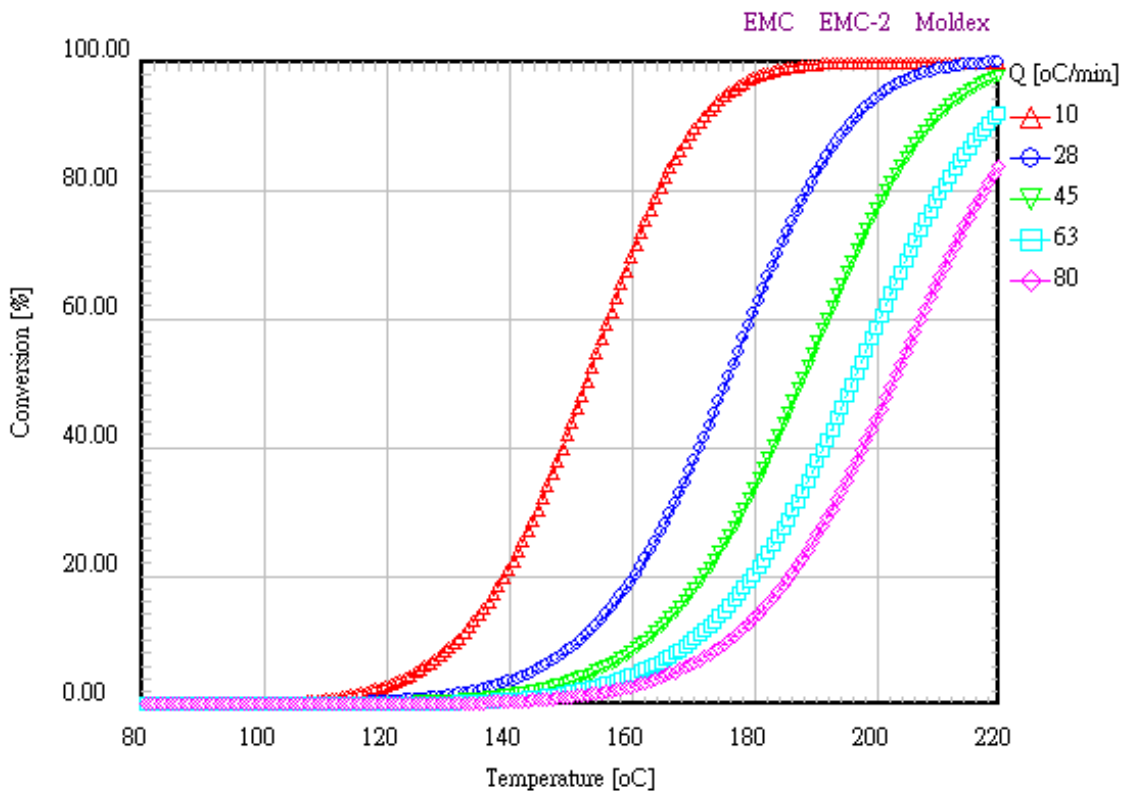




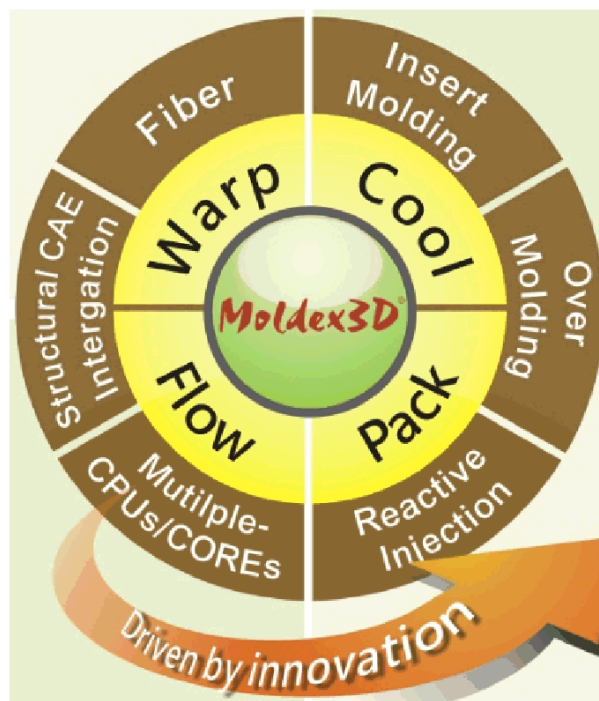
Di seguito, a titolo di esempio due aspetti importanti (Cinetica e Reologia) delle operazioni di simulazione del comportamento per un materiale reattivo termindurente (es. Resina Epossilica)

- **Cinetica (diagramma 1)**
 - Studio della Cinetica di fissaggio (Curing)
 - Modello cinetico (Curing)
- **Reologia (Diagramma 2)**
 - Caratterizzazione
 - Modello Reologico





Altra caratteristica e funzionalità fondamentale offerta da eDesign RIM riguarda la possibilità di investigare, in modo dinamico, sul modello tridimensionale i valori della temperatura nelle varie fasi di fissaggio (curing). Lo stesso vale per l'analisi dei fronti di saldatura del materiale (Weld Line) e del fronte di flusso del materiale (Melt Line). Assolutamente originale la possibilità di verificare dinamicamente sul modello il livello di crosslinking durante ed alla fine della fase di fissaggio (curing). Infine, il modulo **Warpage**, permette di analizzare dinamicamente le deformate lungo le varie direzioni direttamente sul modello 3D attraverso un'animazione. Tutto questo dimostra l'estrema capacità innovativa di Moldex3D e la velocità nell'apportare nuove funzionalità richieste dai clienti.



Nava Giorgio RANDIT