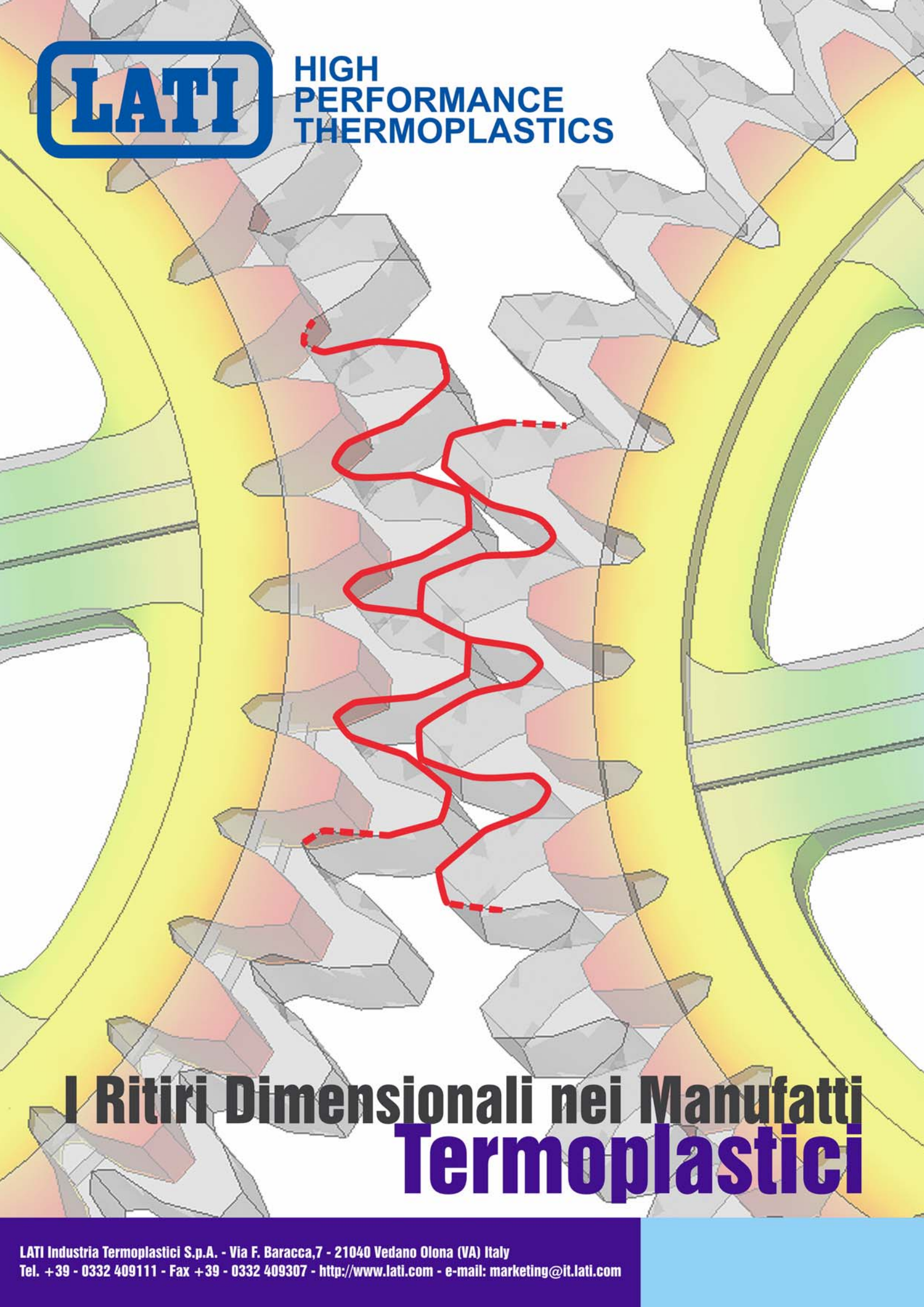




**HIGH
PERFORMANCE
THERMOPLASTICS**



I Ritiri Dimensionali nei Manufatti Termoplastici

INTRODUZIONE

Il ritiro dimensionale di un manufatto in materiale termoplastico è un fenomeno caratteristico della trasformazione per stampaggio ad iniezione, provocato dalla contrazione volumetrica, durante e dopo la lavorazione.

Per tale ragione, affinché il manufatto possieda le misure desiderate, le cavità da cui deve prendere forma dovranno essere dimensionate tenendo in considerazione questo importante fenomeno. Tuttavia, l'entità del ritiro è un dato difficilmente prevedibile, perché legato a molteplici fattori concomitanti come le caratteristiche del materiale, la geometria del manufatto e le condizioni di trasformazione.

Scopo della presente sperimentazione è analizzare l'interazione delle principali variabili di prodotto e di processo con la proprietà del ritiro allo stampaggio.

Dopo un'introduzione relativa a termini ed alle definizioni utilizzate (in forma tabellare), la prima sezione è dedicata alla tipologia del materiale (struttura chimica ed additivazioni); la seconda analizza l'influenza delle geometrie del manufatto, dando rilevanza in special modo agli spessori, mentre la terza riguarda le condizioni di trasformazione. Per quest'ultime, spesso si è rivelato opportuno analizzare alcuni parametri congiuntamente, essendo lo stampaggio ad iniezione una tecnologia basata sulla combinazione di differenti proprietà fisiche quali temperature, velocità, pressioni e tempi.

I test sono stati eseguiti, nella maggioranza dei casi, su resine semicristalline (prevalentemente PA66), poiché, a differenza delle resine amorphe, sono molto sensibili al fenomeno dei ritiri ed a tutti i parametri ad esso correlati.

L'esposizione è integrata, a seconda dei casi, da tabelle, grafici o diagrammi esplicativi. Se non diversamente specificato, le curve sono state ottenute mantenendo costanti i parametri di trasformazione.

Sono stati utilizzati provini di differenti tipologie, specificate di volta in volta; per lo studio dei parametri di trasformazione si è usato prevalentemente la piastra ISO 294-3 TIPO D2, dotata di trasduttore in cavità, che ha consentito studi particolareggiati sul carico di pressione effettivo. Da notare che, utilizzando provini con dimensioni e spessori diversi, i risultati ottenuti in genere evidenziano trend simili, ma possono esprimere valori anche sensibilmente differenti.

[A] Termini e definizioni utilizzati

Dato	Definizione	Calcolo	Significato pratico
Ln	Lunghezza nominale del manufatto parallela al flusso di iniezione		
Tn	Lunghezza nominale del manufatto ortogonale al flusso di iniezione		
Lm	Misura reale del manufatto parallela al flusso di iniezione		
Tm	Misura reale del manufatto ortogonale al flusso di iniezione		
RL	Ritiro del manufatto parallelo al flusso di iniezione	$((Ln-Lm)/Ln)*100$ [%]	Definisce percentualmente l'entità del ritiro parallelo al flusso di iniezione. Si esprimono: RLmin; RLmed; RLmax
RT	Ritiro del manufatto ortogonale al flusso di iniezione	$((Tn-Tm)/Tn)*100$ [%]	Definisce percentualmente l'entità del ritiro ortogonale al flusso di iniezione. Si esprimono: RTmin; RTmed; RTmax
RM	Ritiro medio del manufatto	$(RL+ RT)/2$ [%]	Definisce percentualmente l'entità del ritiro medio. Si esprimono: RMmin; RMmed; RMmax
RD	Ritiro differenziato	$RT-RL$ [%]	Definisce la differenza tra RT e RL; il valore ottenuto è inversamente proporzionale alla planarità del manufatto. Si esprimono: RDmin; RDmed; RDmax
WL	Deformazione del bordo parallela al flusso di iniezione	$((Ln-Lm \text{ min})/Tn)*10$ [10 ⁻² mm/cm]	Definisce l'entità della deformazione del bordo parallelo al flusso, ovvero quanti centesimi di millimetro di incurvamento si hanno per ogni cm di lunghezza della piastra. Il valore ottenuto è inversamente proporzionale alla planarità del bordo
WT	Deformazione del bordo ortogonale al flusso di iniezione	$((Tn-Tm \text{ min})/Ln)*10$ [10 ⁻² mm/cm]	Definisce l'entità della deformazione del bordo ortogonale al flusso, ovvero quanti centesimi di millimetro di incurvamento si hanno per ogni cm. di lunghezza della piastra. Il valore ottenuto è inversamente proporzionale alla planarità del bordo
S	Indice di planarità	Calcolo proporzionale in funzione dei valori RD e W (100 per RD e W = 0,0 per RD=1 e W=4)	Definisce un valore (0÷100) significativo della stabilità dimensionale di un manufatto tenendo conto sia di RD che di WL e WT

[B] Significato pratico del Ritiro Differenziato e Deformazione dei bordi

DATO	VALORE	PLANARITA'	DEFORMAZIONE	STABILITA' DIMENSIONALE
RD, Ritiro Differenziato	-0.20÷0.20	OTTIMA		
	0.20÷0.40	BUONA		
	0.40÷0.60	MEDIOCRE		
	0.60÷0.80	SCARSA		
	>1.00	PESSIMA		
WL, WT, Deformazione dei bordi	0÷1		MOLTO CONTENUTA	
	1÷2		CONTENUTA	
	2÷3		MEDIA	
	3÷4		ELEVATA	
	>4		MOLTO ELEVATA	
S, Stabilità dimensionale	00÷30			PESSIMA
	30÷50			SCARSA
	50÷70			MEDIOCRE
	70÷90			BUONA
	90÷100			OTTIMA

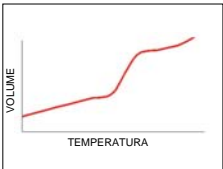
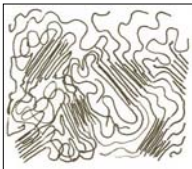
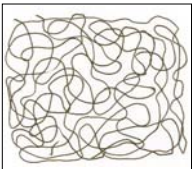
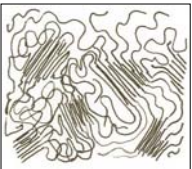
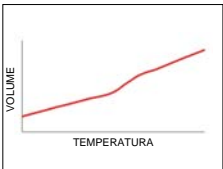

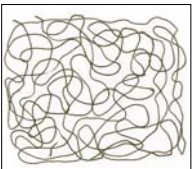
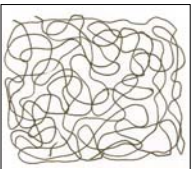
2 - IL FENOMENO DEL RITIRO

A temperatura ambiente i manufatti stampati con le resine termoplastiche possono presentare delle aree in cui le macromolecole tendono a collocarsi parallelamente le une all'altre (ordinate), alternate a regioni nelle quali si dispongono disordinate. La percentuale delle prime (cristalline) rispetto alle seconde (amorfe) determina il grado di cristallinità del polimero. Cosicché, al lato pratico, esistono resine totalmente amorfe (con valori prossimi allo 0%) e semicristalline (fino

delle aree amorfe, cosicché ne deriva una concreta diminuzione del volume specifico, ovvero una **contrazione**. Per tale ragione, **maggiore sarà la densità e l'estensione delle aree cristalline, maggiore sarà il ritiro allo stampaggio**.

Nelle resine amorfe, invece, il raffreddamento ha il solo effetto di congelare la struttura senza alcuna riorganizzazione molecolare. Il **basso ritiro che ne deriva** è praticamente

[C] Quadro riassuntivo

Polimero volume specifico in funzione della temperatura	Prima della trasformazione (granulato, in tramoggia)	Effetto del riscaldamento (massa fusa, nel cilindro di plastificazione)	Effetto del raffreddamento (nella cavità dello stampo)	Ritiro allo stampaggio (fattori determinanti)
Semicristallino 	Struttura semicristallina 	Struttura amorfa aumento del volume 	Struttura semicristallina 	Contrazione volumetrica dovuta al raffreddamento + Ordinamento molecolare Alto ritiro
Amorfo 	Struttura amorfa 	Struttura amorfa aumento del volume 	Struttura amorfa 	Contrazione volumetrica dovuta solo al raffreddamento Basso ritiro

al 70%).

Questa condizione è di fondamentale importanza per il fenomeno del ritiro. Difatti, nelle resine semicristalline, al di sopra della temperatura di transizione vetrosa, le macromolecole disposte nelle zone ordinate iniziano a slegarsi dalla loro struttura conseguendo una mobilità via via maggiore. Al raggiungimento della temperatura di fusione le stesse sono del tutto libere e l'intera massa acquisisce una struttura completamente amorfa. A questo fenomeno si associa un importante incremento del volume specifico [C].

Ed è questa la condizione in cui si trova qualsiasi polimero prima di essere iniettato nella cavità dello stampo. Raffreddandosi, le macromolecole tendono a riordinarsi secondo la propria natura, ovvero a recuperare quella percentuale di cristallinità originaria. Nelle zone nuovamente ordinate lo spazio libero tra le molecole è decisamente inferiore a quello

imputabile solo alla diminuzione del volume specifico dovuto all'abbassamento della temperatura.

Il grado di cristallinità acquisito dal manufatto è altresì influenzato da ulteriori fattori contingenti, legati alle additivazioni (per esempio le nucleazioni), alla geometria del manufatto (in particolar modo gli spessori) e alle condizioni di trasformazione (temperature e pressioni).

Volendo riassumere, in relazione ai termoplastici tecnici, è necessario prendere in considerazione perlomeno le seguenti variabili:

- > Derivanti dal materiale:
 - natura della resina;
 - ⇒ semicristallina;
 - ⇒ amorfa.
 - composizione:
 - ⇒ rinforzi;
 - ⇒ cariche minerali;

2.1 IL MATERIALE

2.1.1 - NATURA CHIMICA DELLA RESINA

⇒ additivazioni.

- › Derivanti dal manufatto:
 - geometria dello stampo.
- › Derivanti dal processo
 - parametri di trasformazione.
- **Resine semicristalline**

Le resine semicristalline per natura si contraggono molto durante il raffreddamento, evidenziando elevati ritiri (1.2÷2.5% sui prodotti tal quali); possiedono inoltre una spiccata tendenza ad orientarsi lungo il flusso di iniezione, facilitando il crearsi di fenomeni di **ritiro differenziato RD** e/o **deformazioni WL-WT**, in special modo se rinforzati con additivi anisotropi, come le fibre di vetro e di carbonio.

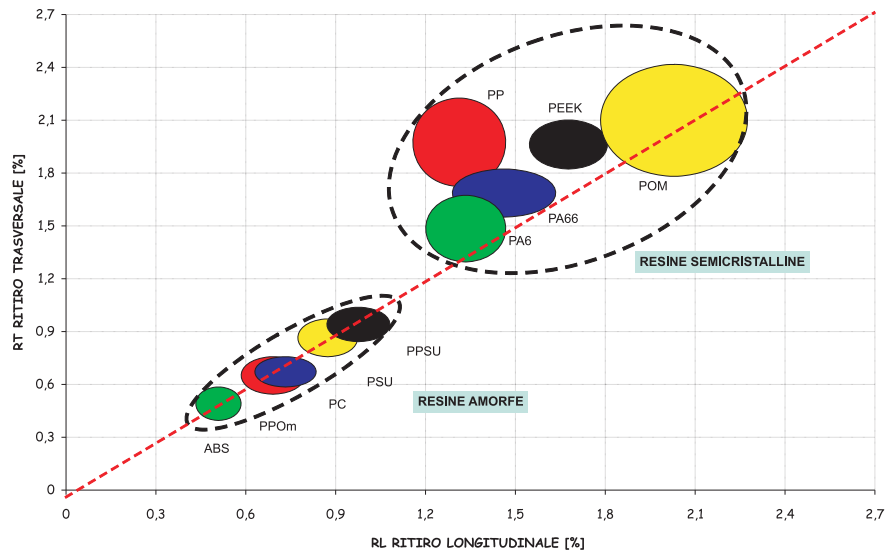
• Resine amorfe

Per contro le resine amorfe, non possedendo regolarità molecolari che devono essere ripristinate durante il raffreddamento, subiscono contrazioni minori, hanno ritiri sensibilmente più bassi (0.4÷1.0%) e sono molto più stabili dimensionalmente.

Nella tabella D è presentato un

riassunto dei valori indicativi di ritiro allo stampaggio, alle loro condizioni normali di trasformazione, delle principali resine tal quali. Il diagramma 1, rappresentante la correlazione **RL-RT**, consente di individuare le nette differenze tra le due nature chimiche. In tale diagramma si noti la linea diagonale

[1] Dispersione dati RL RT dei principali polimeri tal quali



[D]- Ritiro dei principali polimeri tal quali - Piastra 120 x 80 x 3.5 mm.

PRODOTTO	RESINA	RL [%]	RT [%]	RD [%]
Resine semicristalline				
LATENE	PP	1.50÷2.00	1.80÷2.30	0.20÷0.30
LATAMID 6	PA6	1.25÷1.50	1.35÷1.75	0.10÷0.40
LATAMID 66	PA66	1.35÷1.70	1.65÷2.20	0.10÷0.60
LATER	PBT	2.00÷2.40	2.20÷2.40	0.05÷0.25
LATAN	POM	1.85÷2.35	1.85÷2.50	-0.05÷0.25
LARPEEK	PEEK	1.60÷1.85	1.90÷2.15	0.15÷0.40
Resine amorfe				
LASTILAC	ABS	0,45÷0.60	0,45÷0.60	0.00÷0.10
LARIL	PPOm	0,60÷0.80	0,60÷0.80	0.00÷0.10
LATILON	PC	0,65÷0.80	0,65÷0.80	0.00÷0.10
LASULF	PSU	0.80÷1.00	0.80÷1.00	0.00÷0.10
LAPEX R	PPSU	0.90÷1.10	0.90÷1.10	0.00÷0.10

2.1.2 - ADDITIVAZIONI, RINFORZI, CARICHE

tratteggiata, che corrisponde a $RD=0$ (ovvero nessuna deformazione correlabile al ritiro differenziato). Il posizionamento lungo questa direttrice è sinonimo di planarità e stabilità dimensionale.

• Tipo di carica/rinforzo

fibra di vetro, fibra di carbonio, mica:

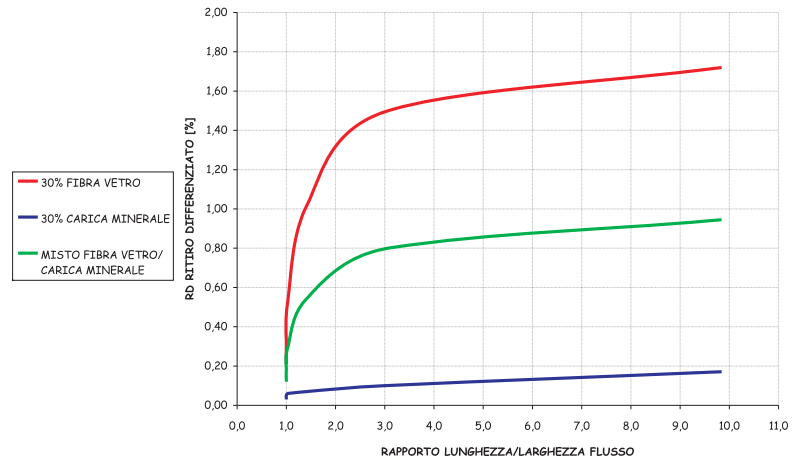
accentuano notevolmente il fenomeno del **ritiro differenziato RD** nelle resine **semicristalline** in cui le fibre, a causa della loro forma (lunghezza molto maggiore del diametro), tendono a posizionarsi parallelamente al flusso di iniezione. Ciò genera una contrazione nel senso longitudinale al flusso ampiamente inferiore a quella nel suo senso trasversale.

L'orientamento delle fibre è altresì correlato al fattore di forma (L_n/T_n) tra i due sensi. Lo dimostra l'entità del ritiro differenziato **RD** [2], che funge da importante indicatore per questo fenomeno. Per contro le resine amorphe risentono, grazie alla loro struttura chimica, solamente in modo molto limitato delle differenze del ritiro, mantenendo livelli di planarità ottimali [7].

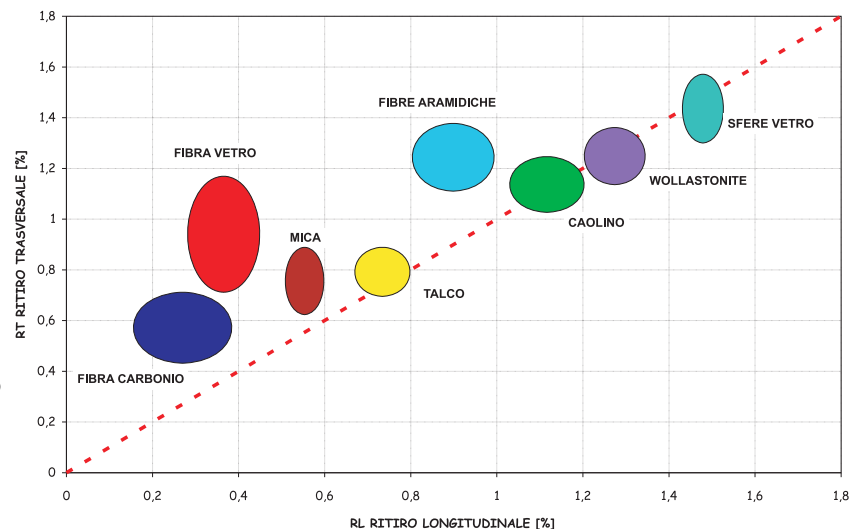
cariche minerali, sfere vetro:

presentando una certa isotropia nella forma, si dispongono in modo omogeneo nella massa fusa, senza seguire flussi preferenziali,

[2] Ritiro differenziato RD in funzione del rapporto lunghezza/larghezza del flusso, su piastre rettangolari



[3] Dispersione dati RL RT dei principali tipi di rinforzo (30%) - PA66; Piastra 120 x 80 x 3.5 mm.



[E]- Valori di ritiro con diverse tipologie di carica/ rinforzo (30%) - PA66; Piastra 120 x 80 x 3.5 mm.

RINFORZO	RL [%]	RT [%]	RM [%]	RD [%]	WL [10 ⁻² mm/cm]	WT [10 ⁻² mm/cm]
FIBRA CARBONIO	0.15÷0.40	0.65÷0.95	0.40÷0.75	0.50÷0.65	4.90÷5.30	2.10÷2.50
FIBRA VETRO	0.30÷0.45	0.70÷1.25	0.70÷0.90	0.65÷1.00	1.20÷1.60	1.45÷2.70
MISTO F.VETRO/C.MINERALE	0.35÷0.40	0.70÷1.05	0.70÷0.85	0.15÷0.40	1.00÷1.20	1.25÷2.10
TALCO	0.65÷0.75	0.80÷0.90	0.70÷0.80	0.00÷0.25	0.55÷0.75	0.70÷0.90
FIBRE ARAMIDICHE	0.80÷1.00	1.10÷1.40	0.90÷1.20	0.30÷0.50	2.60÷3.10	3.00÷3.50
SFERE VETRO	1.40÷1.55	1.45÷1.75	1.40÷1.60	0.00÷0.30	1.00÷1.20	2.30÷2.50

garantendo quindi **bassi ritiri differenziati RD** [2] e **basse deformazioni WL** e **WT**. Il loro utilizzo è indicato dunque in quelle applicazioni che necessitano buona od ottima planarità e stabilità dimensionale (praticamente solo per le resine semicristalline).

misti cariche minerali/fibre vetro, fibre di vetro macinate:

presentano essenzialmente un comportamento intermedio tra le due situazioni sopra esposte, in funzione dei rapporti percentuali tra i vari componenti [2].

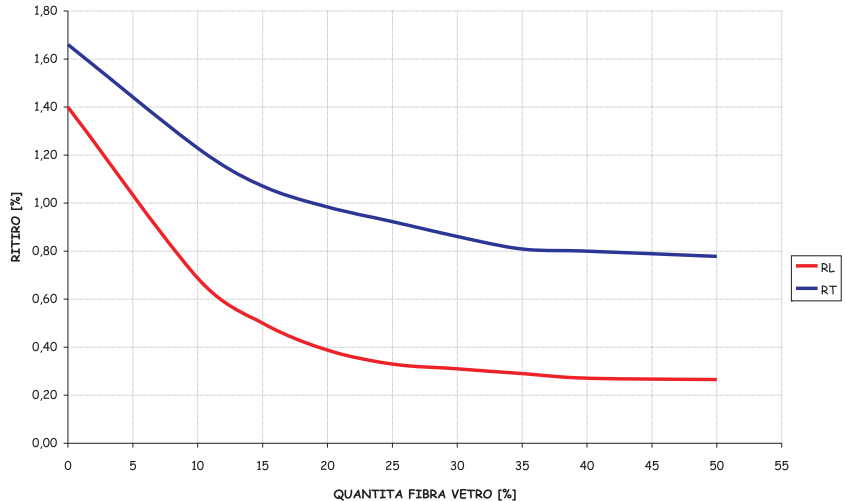
Nella tabella E è presentato un riassunto dei valori indicativi di ritiro allo stampaggio dei prodotti additivati con i principali tipi di cariche e rinforzi utilizzati nei termoplastici. Il diagramma 3, rappresentante la correlazione **RL-**

RT delle stesse, evidenzia la dispersione dei dati, e consente di individuare le differenze tra varie tipologie. Anche in questo caso la linea diagonale tratteggiata, che corrisponde a **RD=0** (nessuna deformazione correlabile al ritiro differenziato) funge da riferimento per la situazione ottimale di planarità.

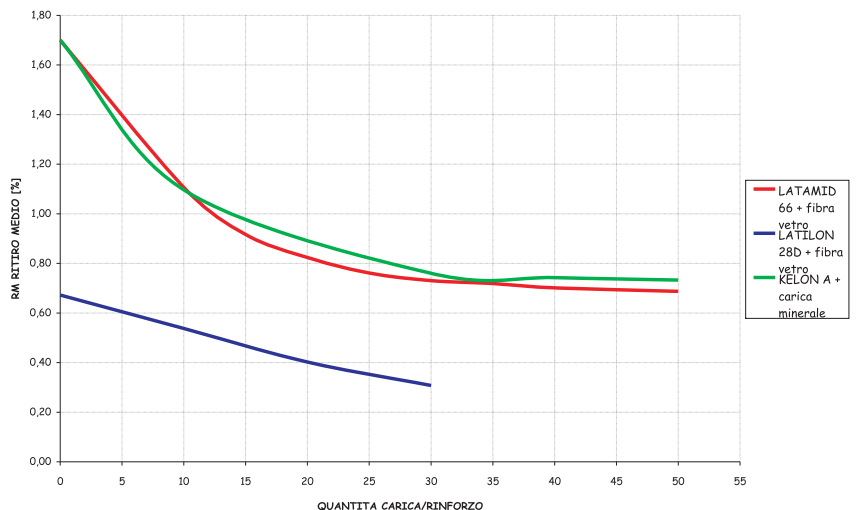
• **Quantità di rinforzo/carica**

La percentuale di rinforzo influisce, in funzione della

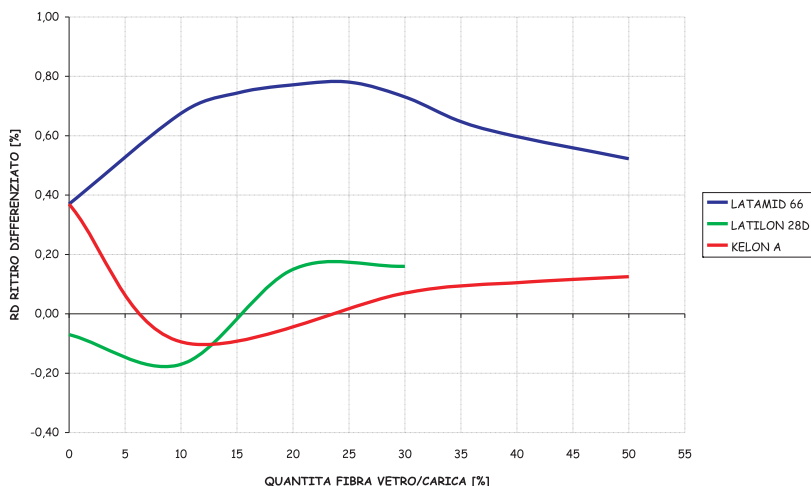
[4] Ritiro longitudinale RL e trasversale RT in funzione della % di fibra PA66; Piastra 120 x 80 x 3.5 mm.



[5] Ritiro medio RM in funzione della % di carica - PA66 con fibra vetro (LATAMID 66), carica minerale (KELON A) e PC (LATILON); Piastra 120 x 80 x 3.5 mm.



[6] Ritiro differenziato RD in funzione della % di carica - PA66 con fibra di vetro (LATAMID 66), carica minerale (KELON A) e PC (LATILON); Piastra 120 x 80 3,5 mm.



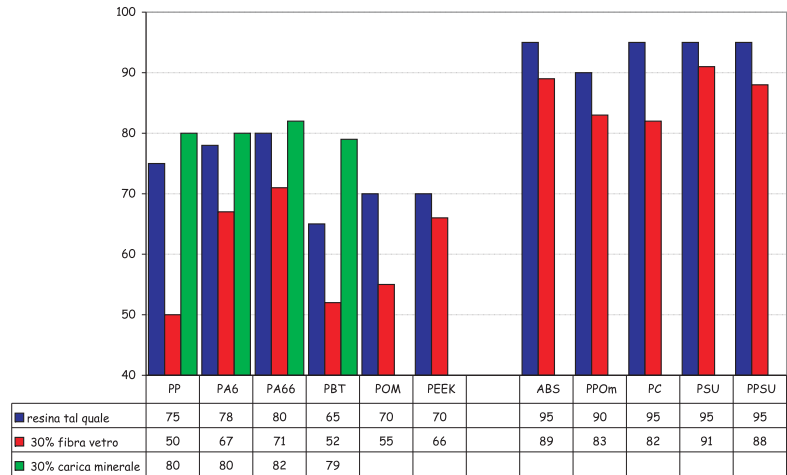
tipologia di resina, sul ritiro longitudinale **RL**, trasversale **RT**, medio **RM**, e differenziato **RD**.

Nel grafico 4 è presentato l'andamento del valore dei ritiri longitudinale **RL** e trasversale **RT**, in funzione della % di fibra di vetro, di una PA66. Si può notare che oltre il 30% le variazioni sul senso longitudinale risultano piuttosto contenute.

Il grafico 5 presenta a confronto i ritiri medi **RM**, in funzione della % di carica, di una PA66 (con fibra vetro e carica minerale) e un PC (fibra vetro). Grazie alla sua struttura amorfa, il PC presenta

[7] Stabilità dimensionale S dei principali polimeri con 30% fibra vetro e 30% carica minerale
Piastra 120 x 80 x 3.5 mm.

valori sensibilmente bassi mentre nel caso della PA66, a parità di %, anche cambiando la tipologia di carica, la **contrazione volumetrica rimane praticamente costante**. Ad essa si associa però un ritiro differenziato **RD** diverso [6], massimo nel range 20÷30%. Nella tabella F sono riportati i valori medi di **stabilità dimensionale S** (vedi definizioni) delle principali resine tal quali, con 30% di fibra vetro o carica



[F]- Stabilità dimensionale S dei principali polimeri con 30% fibra vetro e 30% carica minerale - Piastra 120 x 80 x 3.5 mm

PRODOTTO	RESINA	T. QUALE	30% F.V.	30% C.M.
Resine semicristalline				
LATENE	PP	60÷75	40÷50	71÷80
LATAMID 6	PA6	68÷78	52÷67	69÷80
LATAMID 66	PA66	72÷80	57÷71	72÷82
LATER	PBT	55÷65	38÷52	68÷79
LATAN	POM	60÷70	45÷55	-
LARPEEK	PEEK	60÷70	51÷66	-
Resine amorfe				
LASTILAC	ABS	85÷95	78÷89	-
LARIL	PPOm	80÷90	75÷83	-
LATILON	PC	85÷95	80÷82	-
LASULF	PSU	85÷95	80÷91	-
LAPEX R	PPSU	85÷95	80÷88	-

minerale, a confronto. Anche in questo caso entra in gioco la struttura chimica del materiale; difatti, anche quando rinforzate, le resine amorfe mantengono ottimi o buoni valori di stabilità dimensionale. Lo stesso livello si può raggiungere, per le semicristalline, solamente con l'additivazione di cariche minerali. La rappresentazione grafica di questo fenomeno è visibile

nell'istogramma 7.

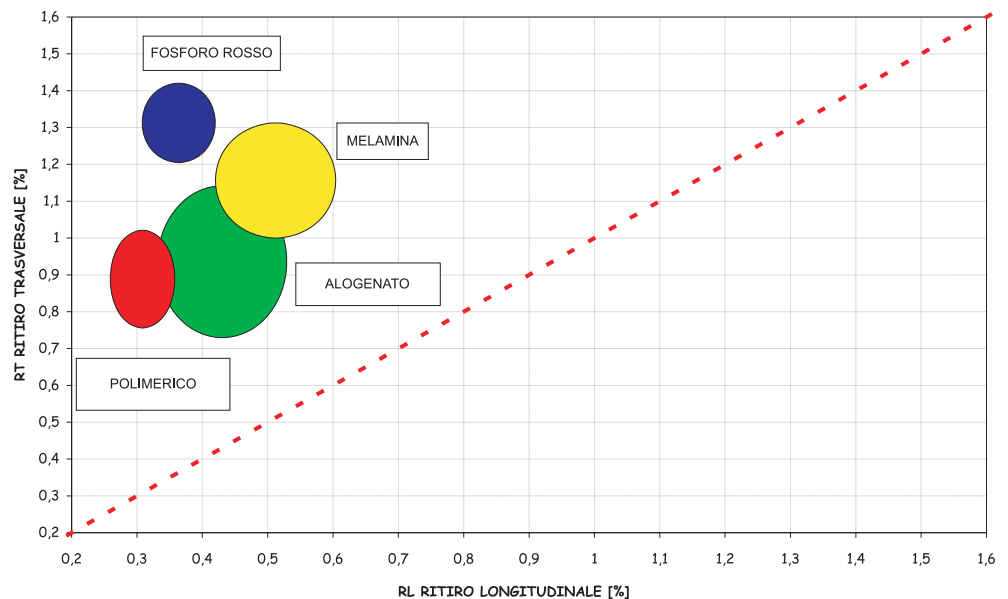
• Additivi

I materiali termoplastici contengono additivi specifici per assicurare o migliorare determinate caratteristiche quali autoestinguenza, lubrificazione,

[G]- influenza del tipo di autoestinguente – PA66 25% fibra vetro; Piastra 120 x 80 x 3.5 mm.

ADDITIVO	RL [%]	RT [%]	RM [%]	RD [%]	WL [10 ⁻² mm/cm]	WT [10 ⁻² mm/cm]
Ritardante di fiamma polimerico	0.25÷0.40	0.75÷1.00	0.50÷0.70	0.40÷0.65	0.60÷1.50	1.30÷2.50
Ritardante di fiamma alogenato	0.35÷0.55	0.75÷1.15	0.55÷0.85	0.20÷0.70	1.80÷2.50	3.00÷4.00
Ritardante di fiamma a base di sali di melamina	0.45÷0.65	1.00÷1.30	0.70÷0.95	0.40÷0.90	2.30÷3.00	1.50÷2.50
Ritardante di fiamma a base di fosforo rosso	0.35÷0.45	1.20÷1.40	0.80÷1.00	0.70÷1.00	0.80÷2.00	1.25÷2.50

[8] Dispersione dati RL RT dei principali tipi di ritardanti di fiamma PA66 25% fibra vetro; Piastra 120 x 80 x 3.5 mm.



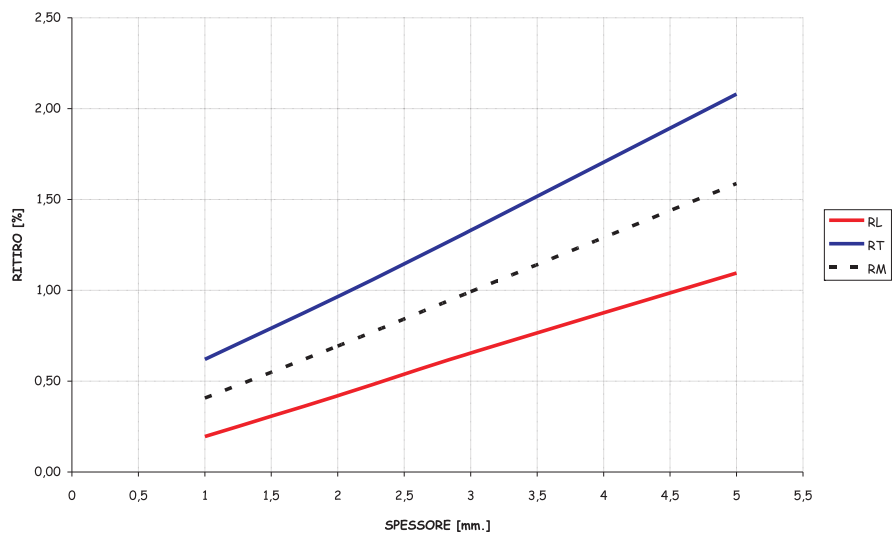
stabilizzazione, colorazione. La loro presenza impatta, a volte anche notevolmente, sul comportamento del ritiro. A titolo di esempio, nella tabella G è presentato un riassunto dei valori di ritiro ottenuti con i principali tipi

di autoestinguente. Il diagramma 8 rappresenta la correlazione **RL-RT** degli stessi, ne evidenzia la dispersione dei dati e consente di individuare le differenze tra le varie tipologie. Anche in questo caso è possibile confrontare i valori con la linea tratteggiata (**RD=0**), come nei casi precedenti.

2.2 LA GEOMETRIA DEL MANUFATTO

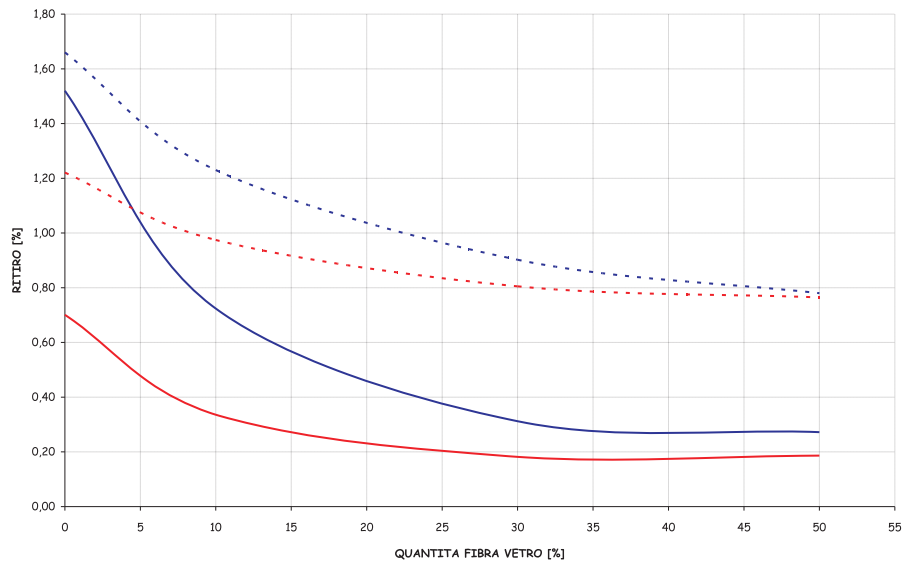
I manufatti stampati ad

[9] Ritiro longitudinale RL, trasversale RT e medio RM in funzione dello spessore del manufatto -PA 66 30% fibra vetro; Piastra ISO 294-3 60 x 60; Pressione in cavità 400 bar.

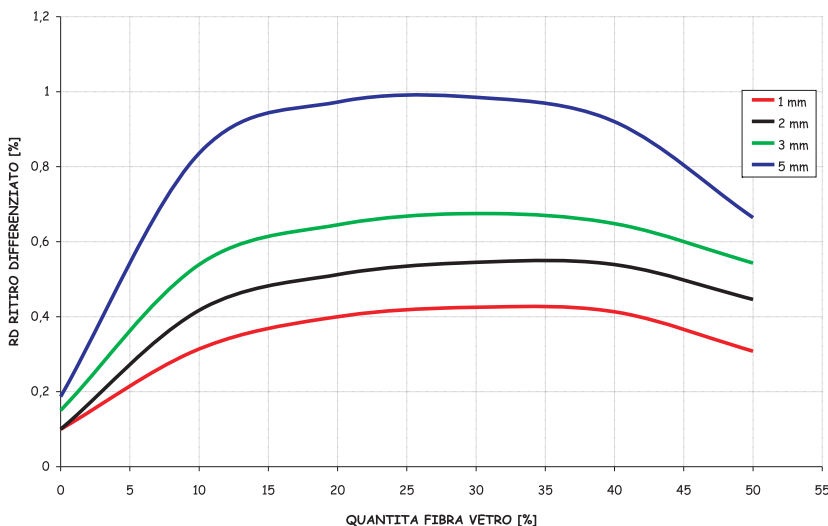


iniezione rappresentano un panorama assai eterogeneo di situazioni, assimilabili ad insiemi di elementi geometrici variabili fra loro per forma, complessità, dimensioni e superfici. Spessori, lunghezza del flusso, dimensione dei canali e geometria del punto di iniezione giocano un ruolo rilevante poiché influenzano direttamente l'entità della pressione che si genera durante la fase di impaccamento, ed **il ritiro che ne deriva è conseguenza della perdita di carico più o meno accentuata** che si verifica

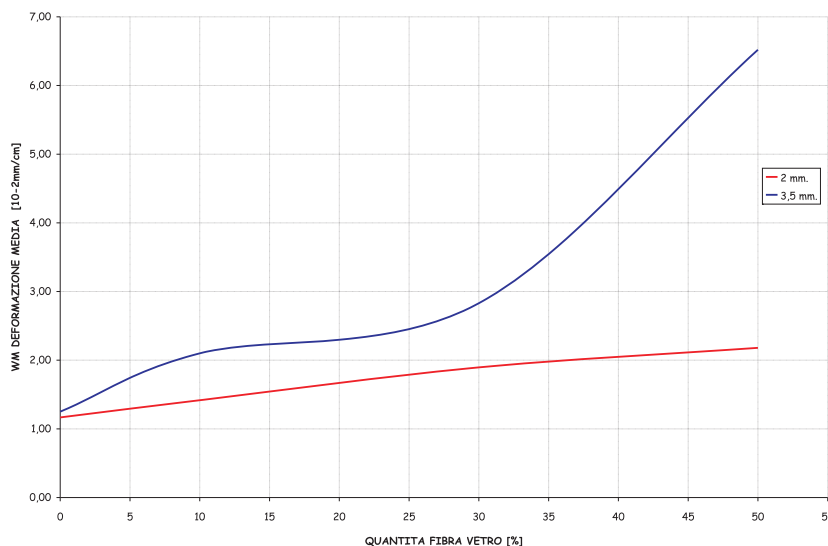
[10] Ritiro longitudinale RL e trasversale RT in funzione dello spessore del manufatto e della % di fibra vetro - PA66; Piastra 120 x 80 x 3.5 mm.



[11] Ritiro differenziato RD in funzione dello spessore del manufatto e della % di fibra vetro - PA 66; Piastra ISO 294-3 60 x 60; Pressione in cavità 600 bar.



[12] Deformazione WM in funzione dello spessore del manufatto e della % di fibra vetro - PA66; Piastra 120 x 80 x 3.5 mm.



durante il processo.

2.2.1- SPESSORI

I risultati espressi nel grafico 9 mettono in evidenza come il ritiro allo stampaggio (a parità di condizioni) **è strettamente correlato allo spessore del manufatto**.

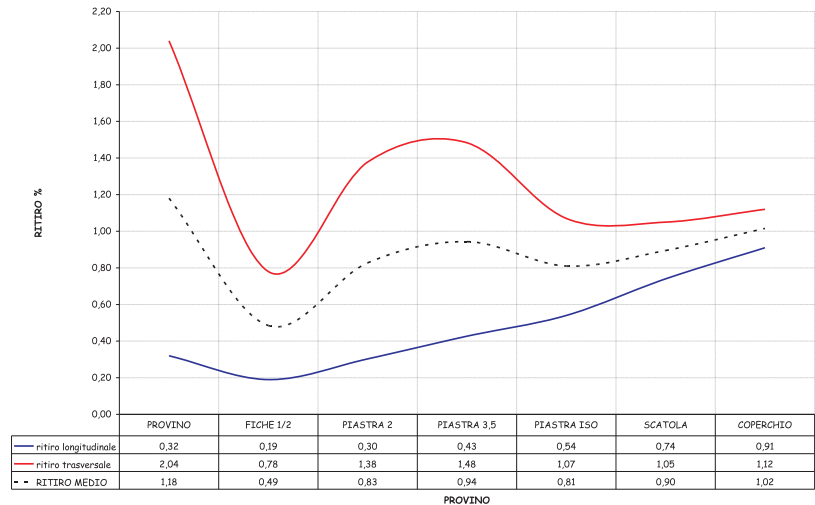
L'andamento è direttamente proporzionale con incrementi significativi (all'incirca raddoppia con il raddoppiare dello spessore). Il fenomeno diventa però meno sensibile allungando il percorso del flusso od alzando il tenore di rinforzo. Infatti, nell'esempio riportato [10] si nota che, aumentando la % di fibra, la variazione tra il ritiro misurato sullo spessore maggiore e quello minore

tende progressivamente a decrescere fino quasi ad annullarsi nel caso del senso trasversale **RT**.

Anche il ritiro differenziato **RD** [11] presenta un trend proporzionale allo spessore e raggiunge i massimi valori attorno al 20÷30%, conformemente a quanto già evidenziato nel grafico 6.

Per quanto riguarda l'andamento delle deformazioni dei bordi **WM** [12], a fronte di un leggero incremento per lo spessore più basso, si ottengono valori sempre più elevati per lo spessore maggiore.

[13] Ritiro longitudinale RL, trasversale RT e medio RM calcolato su differenti tipi di provino - PA 66 30% fibra vetro.



2.2.2- LUNGHEZZA DEL FLUSSO, GEOMETRIA DEL MANUFATTO, SEZIONE

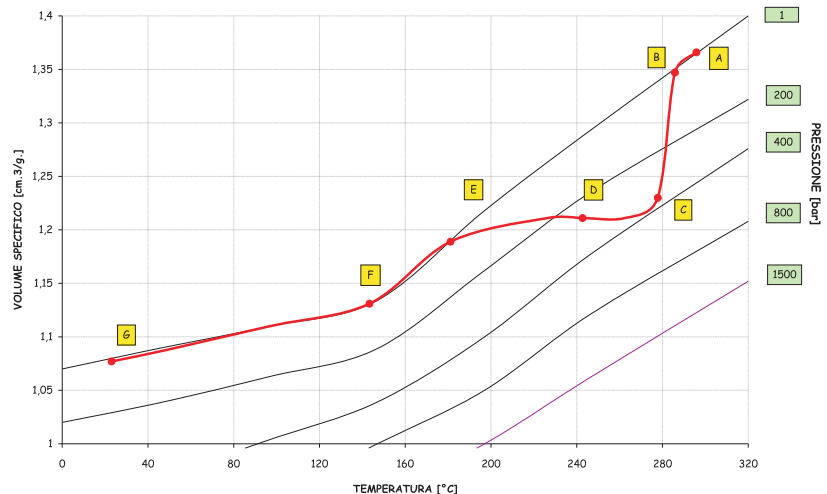
[H] - provini utilizzati per la misurazione e risultati ottenuti; PA66 30% fibra vetro

PROVINO	FORMA	DIMENSIONI			INIEZIONE [mm]	VOLUME [cc]	AREA GATE [cm ²]	RL [%]	RT [%]	RM [%]	RD [%]
Provino	Rettangolare	125	12.7	3.2	Laterale 3.0 x 10	5.1	0.30	0.32	2.04	1.18	1,72
Piastra	Rettangolare	120	80	3.5	Laminare 1 x 80	33.6	0.8	0.43	1.48	0.94	1,05
Piastra	Rettangolare	120	80	2.0	Laminare 1 x 80	19.2	0.8	0.30	1.38	0.83	1,08
Piastra	Rettangolare	110	55	1÷2	Laterale 2 x 12	9.1	0.24	0.19	0.78	0.49	0,59
Piastra ISO 294 tipo D2	Rettangolare	60	60	2.0	Laminare 0,75 x 60	7.2	0.45	0.54	1.07	0.81	0,53
Scatola	Base	80	80	0.5÷6	Capillare sottomarina	24.4	0.03	0.74	1.05	0.90	0,31
Scatola	Coperchio	80	80	2.5÷	Capillare sottomarina	30.6	0.03	0.91	1.12	1.02	0,21

DI INIEZIONE

L'analisi è stata eseguita su 7 diversi tipi di manufatti, aventi differenti spessori, percorsi di flusso e sezioni di iniezione. Come si può notare [H,13] esiste una forte escursione nei dati tanto nel senso longitudinale **RL** (0.19÷0.91%) quanto in quello trasversale **RT** (0.78÷1.48%). La grande dispersione dei risultati (non è stato possibile individuare alcuna correlazione pratica tra le variabili indipendenti ed i risultati ottenuti) porta alla

[I] Diagramma PVT applicato al ciclo di stampaggio ad iniezione di una PA66



PUNTO	FASE DEL CICLO DI STAMPAGGIO	TEMPERATURA	PRESSIONE	VOLUME
A	Inizio riempimento	Temperatura del fuso prevista per lo stampaggio	Pressione atmosferica	Il volume corrisponde al massimo dell'espansione
B	Fine riempimento – inizio post pressione	Costante (lieve decremento)	Costante o lieve aumento, fino al completo riempimento	Lieve decremento
C	massima compressione raggiunta – inizio della solidificazione del manufatto	Costante (lieve decremento)	Aumenta rapidamente	Decresce rapidamente
D	Termine della post pressione – inizio della pausa di raffreddamento	Decresce	Decresce rapidamente	Lieve decremento
E	Pausa di raffreddamento – raggiungimento della pressione atmosferica	Decresce	Viene raggiunta la pressione atmosferica	Decresce
F	Estrazione	Decresce	Pressione atmosferica	Decresce
G	Stato finale	Temperatura ambiente	Pressione atmosferica	Volume finale

conclusione che **ogni oggetto**, avente proprie definite geometrie, **possiede propri comportamenti di ritiro allo stampaggio**, difficilmente riproducibili su provini con forme differenti se non tramite accurate analisi di simulazione dei flussi.

2.3 I PARAMETRI DI TRASFORMAZIONE

La vera contrazione del materiale inizia durante l'applicazione della pressione di mantenimento e prosegue successivamente, attraverso la fase di raffreddamento, fino alla completa solidificazione del pezzo a temperatura ambiente. Sono proprio queste le fasi fondamentali; la pressione esercitata sul pezzo contrasta la contrazione dello stesso, condizionandone l'entità.

Per approfondire quest'aspetto, lo strumento migliore d'analisi è il **diagramma PVT** [I, L], che studia la correlazione tra temperatura, volume specifico e pressione, e può fornire importanti indicazioni sul comportamento del materiale quando riscaldato/raffreddato sotto l'effetto di un carico di pressione.

La differenza di volume rilevata tra i punti A e G corrisponde, al lato pratico, al reale valore di ritiro allo stampaggio.

Alcune delle singole fasi sopra elencate verranno ora analizzate in

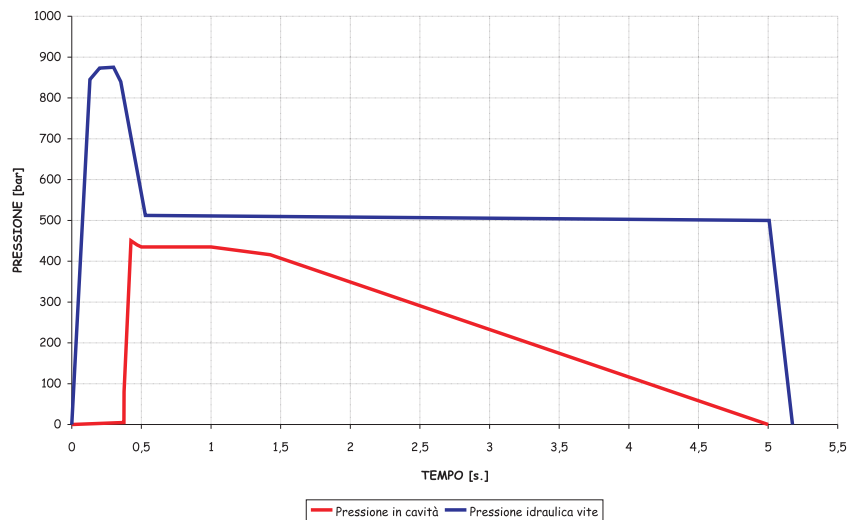
dettaglio.

2.3.1- FASE DI INIEZIONE E MANTENIMENTO

• iniezione

In questa fase il materiale viene trasferito, attraverso l'ugello, dal cilindro allo stampo. La vite funge da pistone e quindi esercita sul polimero una pressione che aumenta, con pendenze

[14] Pressione idraulica e in cavità durante le fasi di iniezione e mantenimento PA66; Piastra ISO 294-3 60 x 60 x 2.0 mm.



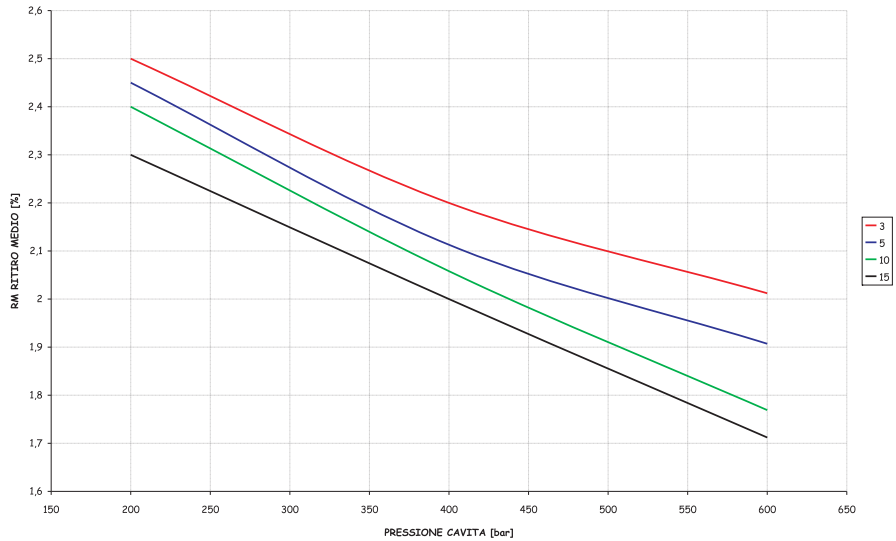
proporzionali alla viscosità del materiale e alla velocità della vite, fino al raggiungimento del punto di **commutazione** [14], dando inizio alla fase di mantenimento. Qualsiasi impostazione scorretta di **tale parametro** (anticipata – ritardata rispetto al punto di effettivo riempimento dell'impronta), oltre a creare problemi di varia natura, **influisce sul carico di pressione** in cavità e di riflesso, **condiziona l'entità del ritiro**.

• **mantenimento**

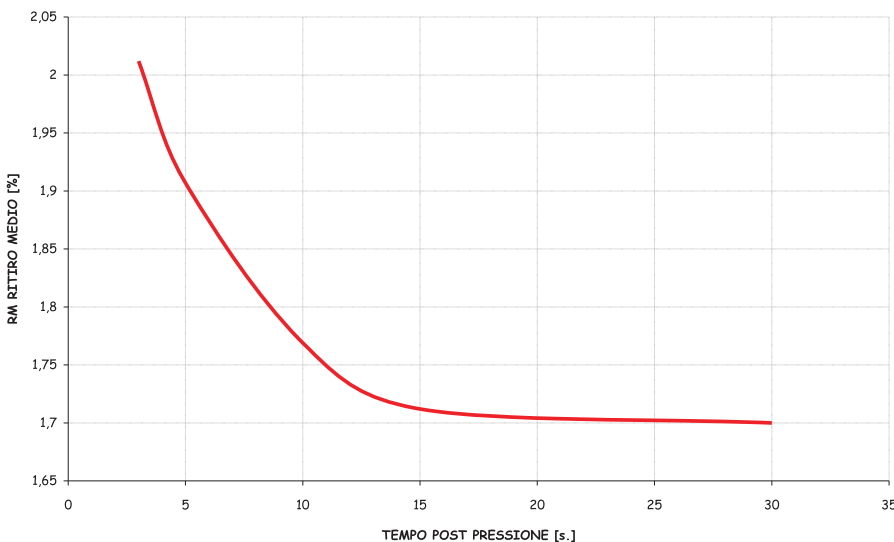
Durante la fase di mantenimento si verifica una differenza tra la pressione applicata dalla vite (costante) e la pressione reale nella cavità [14], che decresce linearmente con l'applicazione della post pressione. Ciò è causato dalla progressiva solidificazione del punto di iniezione e delle masse che, essendo via via più viscosi, consentono una trasmissione sempre minore della pressione idraulica applicata dalla vite (**perdita di carico**).

A completa solidificazione del gate (il tempo è variabile in

[15] Ritiro medio RM in funzione della pressione in cavità con differenti tempi di post pressione - PA 66 tal quale; Piastra ISO 294-3 60 x 60 x 2.0 mm.



[16] Ritiro medio RM in funzione del tempo di mantenimento - PA 66 tal quale; Piastra ISO 294-3 60 x 60 x 2.0 mm; Pressione in cavità 600 bar.



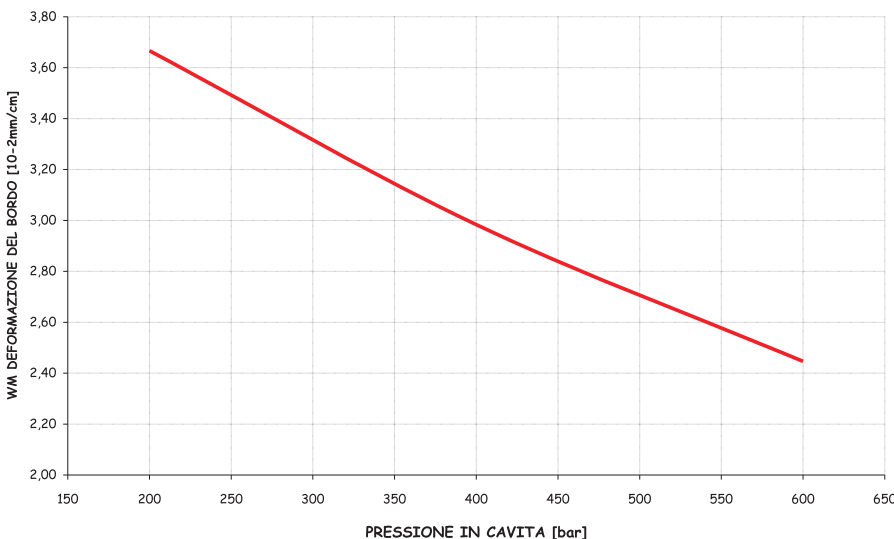
funzione della sua sezione) la pressione in cavità è praticamente nulla ed ogni ulteriore applicazione di post-pressione risulta ininfluente.

Tale fenomeno è importante perché il ritiro allo stampaggio che ne deriva è, come accennato, **direttamente correlato alla effettiva pressione ottenuta in cavità.**

In aggiunta, alcune caratteristiche del materiale (fluidità) ed alcuni parametri di trasformazione (temperatura del fuso e/o dello stampo) consentono maggiori o minori perdite di carico a parità di pressione applicata.

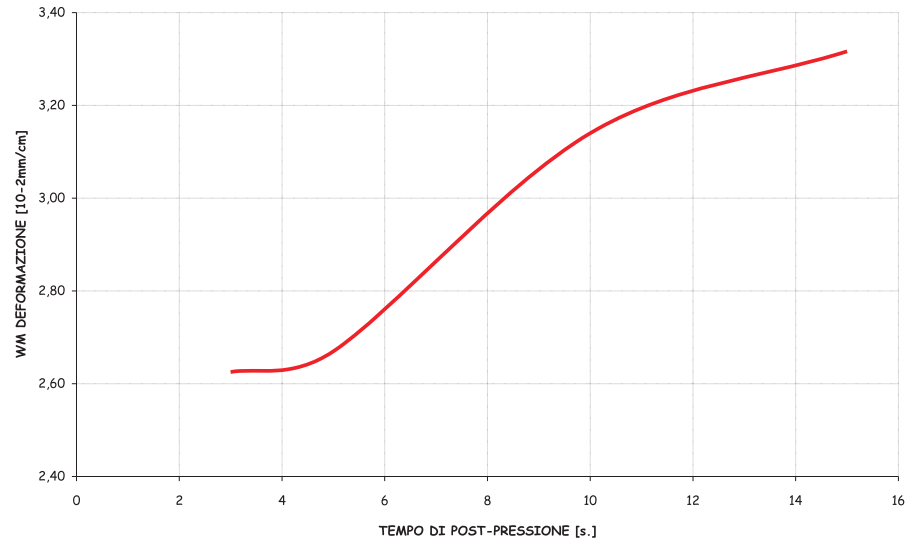
Nei grafici 15 e 16 vengono presentati l'andamento del ritiro medio **RM** di una PA66 in funzione della pressione di cavità (esercitata con tempi differenti) e del tempo di applicazione. Come si può notare il ritiro decresce linearmente all'aumentare della pressione mentre evidenzia una curva caratteristica temporale, dalla quale si evince che oltre un certo punto non esistono più effetti reali.

[17] Deformazione dei bordi WM in funzione della pressione in cavità - PA 66 tal quale; Piastra ISO 294-3 60 x 60 x 2.0 mm.

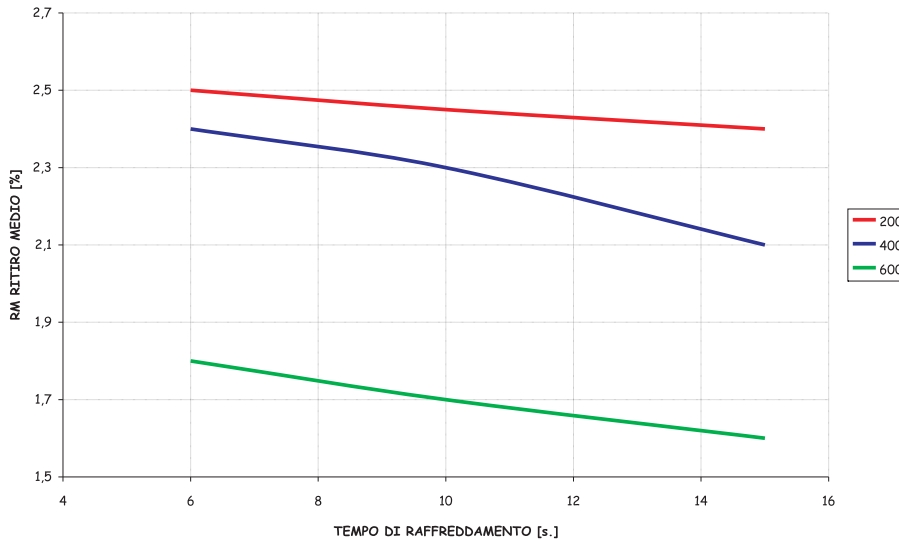


Tale tempo generalmente corrisponde alla completa solidificazione della sezione di iniezione, oltre il quale qualsiasi pressione esercitata dalla vite non ha più alcun effetto pratico su quella reale nell'impronta. La deformazione dei bordi **WM** presenta invece un andamento inversamente proporzionale alla pressione applicata. [17], ma direttamente proporzionale alla sua durata [18].

[18] Deformazione dei bordi WM in funzione del tempo di post pressione - PA 66 tal quale; Piastra ISO 294-3 60 x 60 x 2.0 mm; Pressione in cavità 600 bar.



[19] Ritiro medio RM in funzione del tempo di raffreddamento con differenti valori di pressione in cavità - PA 66 tal quale; Piastra ISO 294-3 60 x 60 x 2.0 mm..

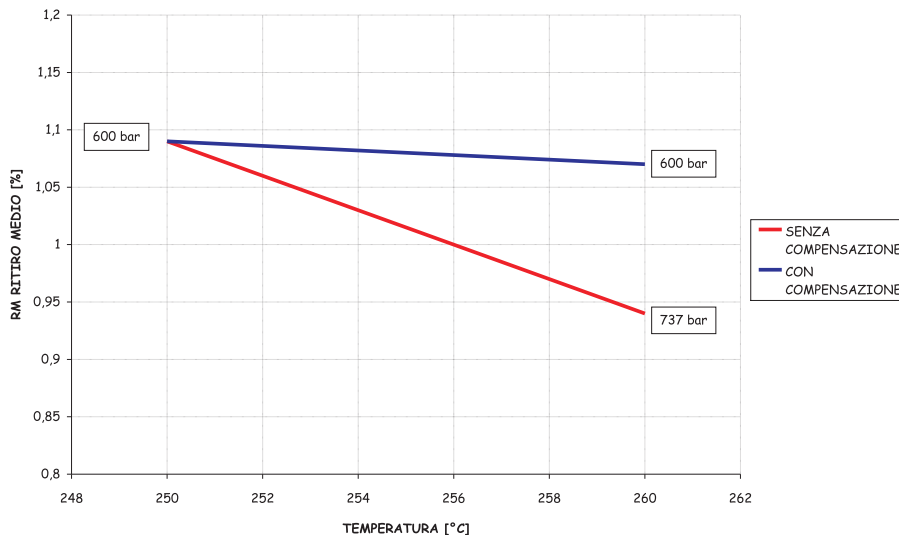


2.3.2- RAFFREDDAMENTO

Nelle resine

semicristalline, se la temperatura dello stampo ed il tempo di post-pressione sono stati impostati correttamente, il manufatto ha raggiunto la massima cristallinità possibile e la pausa di raffreddamento ha il solo compito di consentire la completa solidificazione dello stesso. In questo

[20] Ritiro medio RM in funzione della temperatura del fuso - PA 6/66 autoestinguente halogen free; Piastra ISO 294-3 60 x 60 x 2.0 mm; Con e senza compensazione della pressione in cavità a 600 bar.



caso, il ritiro allo stampaggio sarà inversamente proporzionale sia al tempo di raffreddamento che alla pressione applicata [19].

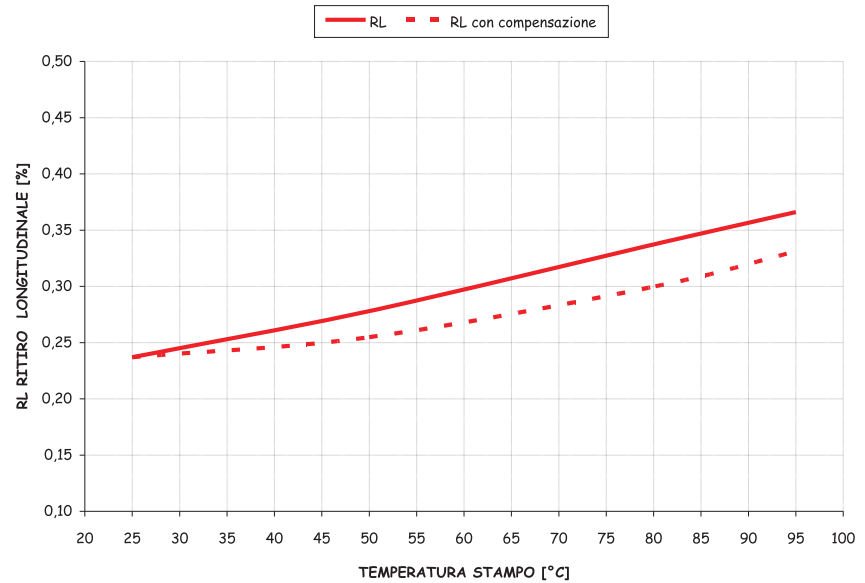
2.3.2- TEMPERATURE

• Fusso

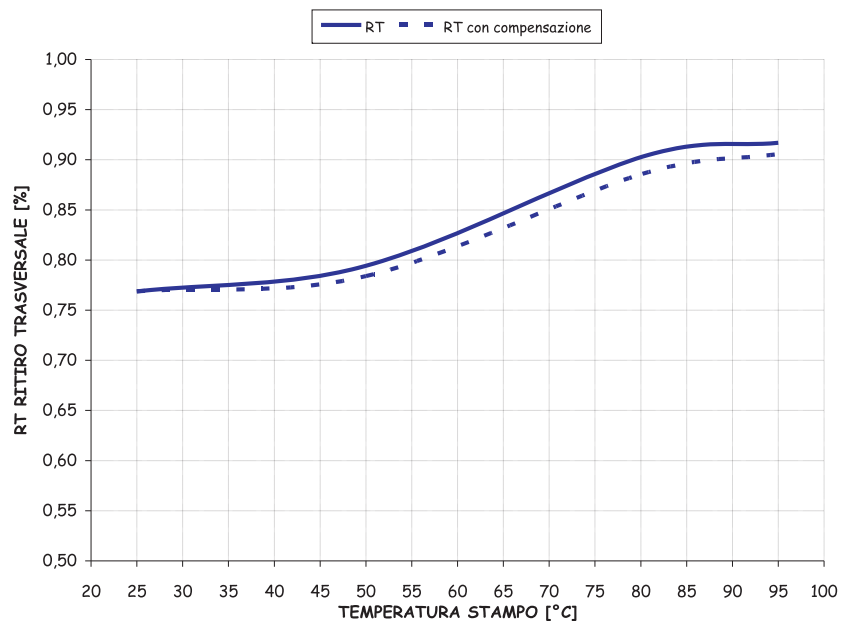
La temperatura del fusso ha effetto diretto sulla trasmissione della pressione dalla vite all'impronta (maggiore sarà la temperatura, maggiore sarà la fluidità del materiale, di conseguenza maggiore sarà la pressione trasmessa). Se non si effettuano opportune compensazioni sul valore di

post pressione per mantenere costante la pressione in cavità, è lecito attendersi un rapporto inversamente proporzionale tra temperatura e ritiro. Nell'esempio [20] è riportato, per una PA6/66 autoestinguente Halogen Free, l'andamento del ritiro medio **RM** in funzione della temperatura del fusso senza e dopo compensazione, a 600 bar in cavità. E' possibile notare che, nel secondo caso, non si verificano variazioni degne di nota e, per tale ragione, si può affermare che **la temperatura del fusso non è direttamente correlata al ritiro se non come concausa associata alla pressione in cavità.**

[21] Ritiro longitudinale medio RL in funzione della temperatura dello stampo - PA 66 30% fibra vetro; Piastra ISO 294-3 60 x 60 x 2.0 mm; Con e senza compensazione della pressione in cavità a 400 bar.



[22] Ritiro trasversale medio RT in funzione della temperatura dello stampo - PA 66 30% fibra vetro; Piastra ISO 294-3 60 x 60 x 2.0 mm; Con e senza compensazione della pressione in cavità a 400 bar.



3 - RIEPILOGO

	Ritiro	Deformazioni	Riferimenti (N. grafico)
Caratteristiche resina			
Parte semicristallina	↑	↑	1,7
Parte amorfa	↓	↓	1,7
Rinforzo fibra vetro	↓	↗↘	3,4,6,7,10,11,12
Carica minerale	↓	→	3,5,6
Ritardante di fiamma	↓	↓	8
Geometria dello stampo			
Spessore	↑	↑	9,10,11,12
Lunghezza del percorso del flusso	↑	↑→	2
Parametri di trasformazione			
Pressione di cavità	↓	↓	15,17,19,20,21,22
Tempo di post pressione	↓→	↑	15,16,18
Tempo di raffreddamento	↓	↓	19
Temperatura del fuso	↑	→	20
Temperatura dello stampo	↑	↑	21,22

Legenda

- ↑ = direttamente proporzionale
- ↑→ = direttamente proporzionale poi stabile
- ↗↘ = direttamente, poi inversamente proporzionale
- = stabile
- ↓ = inversamente proporzionale
- ↓→ = inversamente proporzionale, poi stabile

4 - RIFERIMENTI E FONTI BIBLIOGRAFICHE

ISO 294-1 Plastic - Injection moulding of test specimens of thermoplastic materials; General principles, and moulding of multipurpose and bar test specimens

ISO 294-3 Plastics – Injection moulding of test specimens of thermoplastic materials; Small plates

ISO 294-4 Plastics – Injection moulding of test specimens of thermoplastic materials; Determination of moulding shrinkage

McCrum N.G., C.P. Buckley, C.B. Bucknall – Principles of Polymer Engineering

Pavan A, Relazioni PVT nella trasformazione dei polimeri – Atti del XVI Convegno scuola dell'AIM Associazione Italiana di Scienza e Tecnologia delle macromolecole

I valori riportati sono basati su prove eseguite su campioni di laboratorio stampati a iniezione, condizionati secondo norma, e rappresentano dati che rientrano all'interno degli intervalli caratteristici delle proprietà dei materiali non colorati. Poiché essi sono suscettibili di variazioni, questi valori non rappresentano una base sufficiente per progettare qualsiasi tipologia di manufatti e non sono da utilizzarsi per stabilire qualsivoglia valore di specifica. Le proprietà dei manufatti stampati possono essere influenzate da un grande numero di fattori come ad esempio, ma non limitatamente a, presenza di coloranti, tipo di progetto, condizioni di trasformazione, post-trattamento e condizioni ambientali. Queste informazioni e l'assistenza tecnica sono fornite al solo scopo informativo e sono soggette a cambiamento senza preavviso. Il cliente deve sempre assicurarsi di disporre della versione più aggiornata. Lati S.p.A. non offre alcuna garanzia, inclusa l'idoneità all'immissione sul mercato, né fornisce alcuna assicurazione riguardo alla accuratezza, idoneità, affidabilità, completezza ed adeguatezza delle informazioni date e non si assume alcuna responsabilità riguardo alle conseguenze del loro uso o di errori di stampa. E' esclusiva responsabilità del cliente verificare e testare i nostri prodotti al fine di determinare oltre ogni ragionevole dubbio se sono adatti agli usi e applicazioni che intende farne, eventualmente anche in combinazione con materiali di parti terze. Questa analisi in funzione delle applicazioni deve perlomeno includere prove preliminari atte a determinare l'idoneità per la particolare applicazione del cliente da un punto di vista tecnico nonché della salute, della sicurezza e ambientale. Ne consegue che tali verifiche potrebbero non essere state necessariamente condotte da noi in quanto le modalità e gli scopi di utilizzo sono al di fuori del nostro controllo. Lati S.p.A. non accetta e declina ogni responsabilità derivante da qualsiasi danno comunque cagionato dall'uso delle informazioni fornite o dall'aver fatto affidamento alle stesse. Nessuno è autorizzato a rilasciare qualsivoglia garanzia, indennità o assumere qualsiasi responsabilità a nome di Lati S.p.A. tranne che per mezzo di un documento scritto firmato per esteso da un legale rappresentante appositamente autorizzato. Salvo diversi accordi scritti, il massimo risarcimento per qualsiasi reclamo è la sostituzione del quantitativo di prodotto non conforme o la restituzione del prezzo d'acquisto a discrezione di Lati S.p.A. ma in nessun caso Lati S.p.A. potrà essere ritenuta responsabile di danni o penali a qualsiasi titolo richiesti. Nessuna informazione qui contenuta può essere considerata come un suggerimento all'uso di qualsiasi prodotto in conflitto con diritti di proprietà intellettuale. Lati S.p.A. declina ogni responsabilità derivante da infrazioni brevettuali o presunte tali. Salvo specificatamente dichiarato per iscritto, i prodotti citati in questo documento non sono idonei al contatto con alimenti o al trasporto di acqua potabile né tanto meno idonei in applicazioni nei settori farmaceutico, medicale o dentale. Per qualsiasi altro aspetto si applicano le Condizioni di Vendita di Lati S.p.A. Copyright © LATI S.p.A. 2008

ITALIA

**LATI Industria
Termoplastici S.p.A.**

Via F. Baracca, 7
I - 21040 VEDANO OLONA (Va)
tel. +39 - 0332 409111
fax +39 - 0332 409307
<http://www.lati.com> - e-mail: info@lati.com

FRANCE

LATI FRANCE S.A.S.

Z.I. des Ebizoires, 4 Rue des Frères Lumière
F - 78370 PLAISIR
tel. +33 (0)1 - 30791819
fax +33 (0)1 - 30791818
<http://www.lati.com> - e-mail: info@fr.lati.com

GERMANY

**LATI Industria
Termoplastici
Deutschland GmbH**

Otto-Von-Guericke-Ring, 7
D - 65205 WIESBADEN - Nordenstadt
tel. +49 (0)6122 - 90820
fax +49 (0)6122 - 908222
<http://www.lati.com> - e-mail: info@de.lati.com

SPAIN

**LATI Ibérica, S.L.
Unipersonal**

C/ Muntaner, 270 - Sobreático A
E - 08021 BARCELONA
tel. +34 93 - 2097377
fax +34 93 - 2011519
<http://www.lati.com> - e-mail: info@es.lati.com

UNITED KINGDOM

LATI UK LTD.

Crewe Hall - Weston Road - The Quadrangle
UK - Crewe - Cheshire - CW1 6UA
tel. +44 (0)1270 - 501713
fax +44 (0)1270 - 509713
<http://www.lati.com> - e-mail: info@uk.lati.com

SWEDEN

**SCANDILATI
TERMOPLASTICI AB**

Gullbergs Strangata 36 A-C
S - 411 04 GÖTEBORG
tel. +46 (0)31 - 7740236
fax +46 (0)31 - 7740736
<http://www.lati.com> - e-mail: info@se.lati.com

USA

**LATI Industria
Termoplastici S.p.A.**

Via F. Baracca, 7
I - 21040 VEDANO OLONA (Va)
tel. +39 - 0332 409111
fax +39 - 0332 409235
<http://www.lati.com> - e-mail: sales@it.lati.com

BRASIL

**LATI TERMOPLÁSTICOS
DO BRASIL LTDA**

AV. Prof. Gioia Martins, 206
CEP: 05632-020 - SÃO PAULO - SP
tel. +55 (0)11 - 35024700
fax +55 (0)11 - 35024700
<http://www.lati.com> - e-mail: info@br.lati.com

ASIA

**LATI Industria
Termoplastici S.p.A.**

Via F. Baracca, 7
I - 21040 VEDANO OLONA (Va)
tel. +39 - 0332 409111
fax +39 - 0332 409235
<http://www.lati.com> - e-mail: sales@it.lati.com