

Studio numerico dello stampaggio di una vasca in plastica per lavabiancheria con presenza di inserti metallici

Giuseppe Capriotti¹, Sergio Papalini¹, Gianluca Cauteruccio¹

¹*Dipartimento di Meccanica, Università Politecnica delle Marche*

E-mail: g.capriotti@univpm.it, s.papalini@univpm.it,

g.cauteruccio@univpm.it

Keywords: stampaggio a iniezione, residual stress, inserto metallico, analisi numerica.

1 INTRODUZIONE

Lo stampaggio ad iniezione è ritenuto uno dei processi più economici di trasformazione delle materie plastiche. I materiali polimerici risultano infatti essere estremamente adatti per questo tipo di lavorazione in quanto danno luogo a componenti molto accurati con un'eccellente finitura superficiale, producibili a bassi costi e a velocità molto elevate, e colorabili semplicemente tramite l'aggiunta di coloranti direttamente nel materiale ancora da iniettare. I pezzi così ottenuti hanno tutti i vantaggi propri delle materie plastiche quali l'isolamento acustico, termico, elettrico, meccanico (vibrazioni), la resistenza alla corrosione e l'inerzia chimica, nonché l'idrorepellenza e l'inattaccabilità da parte di muffe, funghi e batteri.

Questa tecnologia è la più diffusa nella formatura di materie plastiche perché è possibile realizzare, a costi contenuti, manufatti rigidi e di foggia stabile finiti e colorati in un unico stadio.

Tale metodo è particolarmente adatto alla produzione di massa, dal momento che le materie prime possono essere convertite velocemente nella forma desiderata attraverso un unico processo di stampaggio e consente una rapida produzione di prodotti di alta qualità senza ulteriori post-lavorazioni.

I problemi tipici che si possono incontrare in questa lavorazione ricordano quelli della pressofusione e sono: formazione di cavità di ritiro, porosità da gas, distorsioni, problemi di ritiro dimensionale e tensioni residue interne. Occorre perciò utilizzare tutti gli accorgimenti che minimizzano tali effetti, dipendenti non solo dal materiale ma anche, ed in modo considerevole, dalle condizioni di processo. È necessaria quindi un'accurata regolazione di tutti i parametri in fase di progettazione sia dello stampo che del processo.

La tendenza della produzione industriale negli ultimi anni è quella di ottenere dai processi pezzi finiti con ottime caratteristiche in termini di qualità, unitamente ad una riduzione degli scarti per rottura, difettosità superficiale o per il superamento dei limiti imposti dalle tolleranze geometriche. E' per questo motivo che è essenziale attuare una strategia di progettazione mirata al conseguimento di un prodotto privo di difettosità che tenga conto del processo produttivo.

E'infatti con una buona progettazione del processo di stampaggio che si possono tenere sotto controllo le cause primarie di difettosità attraverso il bilanciamento dei flussi, la scelta dei tempi di raffreddamento e delle pressioni di mantenimento (*packing*).

In particolare il *residual stress* può causare deformazioni visco-elastiche del prodotto quando esso viene sollecitato ciclicamente o quando viene esposto a temperature relativamente elevate per un certo periodo di tempo.

I *residual stress* sono tensioni interne della parte stampata in assenza di forze esterne. Essi sono causati principalmente da un non-uniforme profilo di temperatura nella cavità durante il riempimento, durante la fase di *packing*, e nelle fasi di raffreddamento.

Le tensioni che si generano nella parte possono causare deformazioni permanenti e rotture in fase di esercizio: è per questo motivo che il processo deve essere studiato e ottimizzato per ridurre al minimo tali rischi.

Queste problematiche sono inoltre amplificate nel caso in cui il componente in esame preveda l'inserimento di inserti metallici sovrastampati, sia perché in prossimità dell'inserto metallico si innescheranno inevitabilmente dei ponti termici che porteranno ad un raffreddamento locale non omogeneo, sia per la differenza di dilatazione termica tra polimero e metallo.

A tal fine è bene avvalersi di strumenti di calcolo numerico in grado di prevedere l'intero sviluppo di *stress* durante e dopo lo stampaggio.

2 IL COMPONENTE

Il lavoro di ricerca in oggetto prevede di andare ad approfondire le conoscenze nell'ambito dello stampaggio di materie plastiche, dedicando particolare attenzione all'ottimizzazione degli stampi e dei processi, al bilanciamento dei flussi, nonché alla valutazione e al monitoraggio di quei parametri post stampaggio che conferiscono al prodotto particolari caratteristiche strutturali estetiche o difettosità.

L'attività di ricerca nasce da una collaborazione fra l'Università Politecnica delle Marche e l'azienda "Indesit Company" ed è legata a problematiche industriali riscontrate nell'accoppiamento tra la vasca di una lavabiancheria e il mozzo metallico sovrastampato.

La vasca infatti viene calettata su di un mozzo zigrinato. Internamente al mozzo ruota, grazie all'interposizione di due cuscinetti volventi, l'albero ricevente il moto da un motore elettrico tramite trasmissione a cinghia e collegato all'altra estremità al cestello della lavatrice. Tale accoppiamento viene ottenuto inserendo il mozzo metallico nello stampo e iniettando successivamente il materiale plastico nella forma.

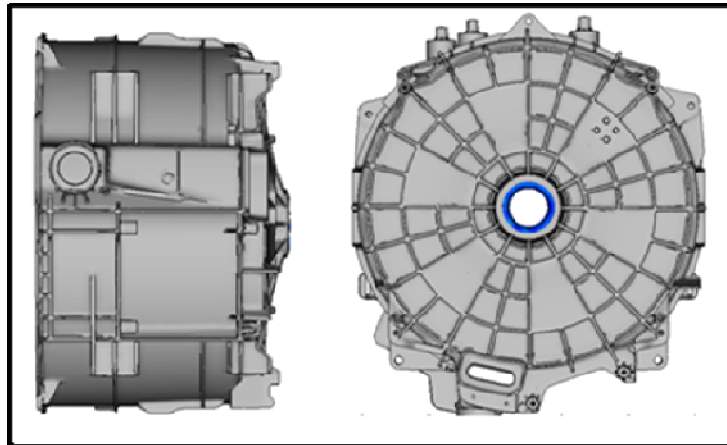


Figura 1: Geometria della vasca stampata

In particolare si tende a valutare tale assemblaggio sia dal punto di vista di una tenuta di forma, garantita dalla geometria del mozzo all'interfaccia con il materiale plastico e da un completo riempimento dello stampo, sia dal punto di vista delle tensioni residue che si generano all'interfaccia in seguito al raffreddamento e ritiro del materiale plastico attorno all'inserto.

Il progresso tecnologico e le nuove esigenze di mercato hanno portato ad una sempre maggiore richiesta di prestazioni dell'elettrodomestico. L'orientamento al cliente ha evidenziato la necessità di un prodotto capace di ridurre i tempi dei cicli di lavaggio. Ci si è pertanto spinti a velocità di rotazione del cestello sempre maggiori, tanto che oggi le moderne lavatrici toccano in centrifuga i 1400 giri/minuto. Conseguenza di questa tendenza è stato un consistente aumento delle vibrazioni, che, unitamente alle alte temperature che si generano all'interfaccia, hanno comportato un incremento della percentuale di pezzi in cui l'accoppiamento mozzo-vasca non resta perfettamente integro per l'intero ciclo di vita. Ciò provoca rotture della vasca a causa dello sviluppo di cricche, o comunque distacchi tra le due parti tali da causare perdite d'acqua.

In tale lavoro viene eseguita un'analisi completa del componente in esame che parte dallo studio numerico del processo e utilizza i risultati che ne conseguono per creare un modello che simuli le sollecitazioni termiche e meccaniche del pezzo nella fase di esercizio.

La vasca in questione viene attualmente realizzata in due differenti materiali:

- Polipropilene omopolimerico rinforzato con fibre di vetro e aggraffato chimicamente ad alta rigidità e elevata resistenza ai detersivi (ISOGLASS H30 FVL C NAT)
- Polipropilene omopolimerico caricato con carbonato di calcio stabilizzato al calore e ai detersivi (ISOFIL H40 C2F NAT)

Il mozzo metallico sovrastampato può invece essere di ghisa o alluminio.

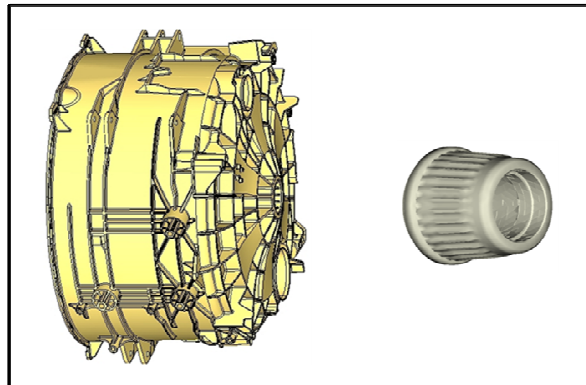


Figura 2: Vasca in Polipropilene caricato calcio e mozzo in ghisa

3 STUDIO DEL PROCESSO

L'accoppiamento vasca-mozzo è stato studiato numericamente attraverso un software adatto alla simulazione di stampaggio ad iniezione di materiali polimerici, in grado di restituire i valori delle tensioni residue e di esportare i risultati ottenuti in ambiente Ansys per le simulazioni termo-meccaniche in fase di esercizio del componente in esame.

3.1 Generazione della mesh

Per una corretta trattazione del problema non è necessario modellare lo stampo come un blocco di acciaio comprensivo dei canali di colata, di raffreddamento, degli estrattori o delle spine di centraggio, ma risulta sufficiente rappresentarlo solo attraverso le superfici che effettivamente durante il processo di iniezione vengono a contatto con il materiale plastico. In pratica la mesh che si andrà ad implementare, più che l'oggetto fisico "stampo", va a riprodurre la cavità dove il materiale viene iniettato.

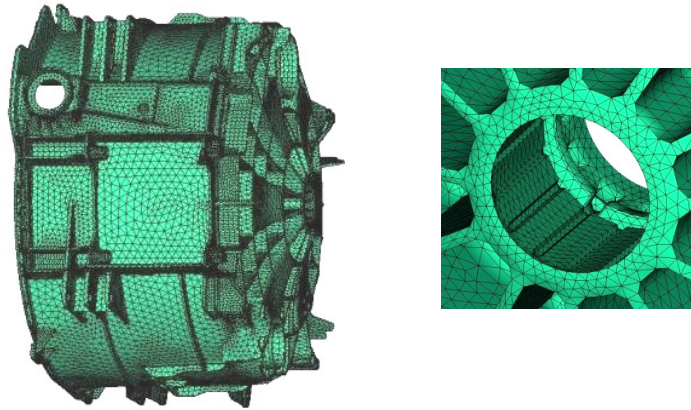


Figura 3: Fusion mesh

Il modello geometrico dello stampo, o più precisamente della cavità ricavata sullo stampo, è stato fornito direttamente dall'azienda Indesit Company in formato ".IGES".

La meshatura del modello geometrico è stata eseguita tramite l'utilizzo di software-meshatori avanzati.

Il software per la trattazione virtuale del processo di stampaggio permette l'utilizzo di 3 tipologie di mesh: Midplane, Fusion e 3D.

La Midplane è costituita da elementi bidimensionali che riproducono la superficie media del pezzo; la Fusion è ancora una mesh di superficie che segue l'andamento delle superfici del componente, mentre la 3D è composta da tetraedri che discretizzano il componente nella sua interezza. Naturalmente la mesh più accurata è la 3D che tuttavia risulta di gran lunga più pesante per il calcolo rispetto alle altre due.

La mesh scelta per lo studio del processo relativo allo stampaggio della vasca è stata la Fusion: tale tipologia di mesh è indicata quando vi è una corrispondenza tra elementi che giacciono su due superfici opposte del modello; il parametro che indica tale corrispondenza è il *match percentage*, che deve avere un valore uguale o maggiore dell' 80%.

Le semplificazioni geometriche del modello Cad e la scelta delle dimensioni degli elementi usati sono state eseguite con particolare attenzione nel rispettare il parametro "*match percentage*".

Le successive analisi termo meccaniche in ambiente Ansys sono state invece studiate con mesh 3D

3.2 Parametri di processo

Sono poi stati impostati tutti i parametri di processo: materiale da iniettare e temperatura di iniezione, materiale e temperatura dello stampo, pressione di iniezione, tempo di iniezione o velocità di iniezione, pressione di mantenimento (*packing*), tempo di raffreddamento, nonché le caratteristiche della pressa e la posizione degli iniettori.

Per la scelta di tali parametri sono state tenute in considerazione le caratteristiche delle macchine in dotazione alla Indesit Company, mentre per i materiali sono state scelte le combinazioni “vasca caricata calcio – mozzo in ghisa” e “vasca caricata vetro – mozzo in alluminio”.

In tabella i parametri per i due processi di stampaggio.

Materiali	ISOFIL H40 C2F NAT	ISOGLOSS H30 FVL C NAT
Carica	CaCO ₃	Glass fiber
% Carica in peso	40	30
Mold surface temperature [°C]	40	40
Melt temperature [°C]	228	228
Injection time [s]	6,1	6,6
Injection pressure [MPa]	74	66
Packing pressure [MPa]	0,3 s	75 MPa
	0,2 s	63 MPa
	0,2 s	58 MPa
	0,2 s	56 MPa
	13,5 s	45 MPa
Cooling time [s]	30	32

Tabella 1: Parametri di processo

Il mozzo è stato poi inserito nel modello della vasca come inserto metallico modificando la sua Property Card stabilita durante la generazione della mesh da “Part_surface_Fusion” a “Part_insert_surface_Fusion”, definendo come materiale dell’inserto l’alluminio o la ghisa.

Per completezza occorre precisare che i canali di raffreddamento e quelli di colata sono stati trascurati definendo la posizione degli iniettori direttamente sulla superficie della vasca come mostrato in figura.

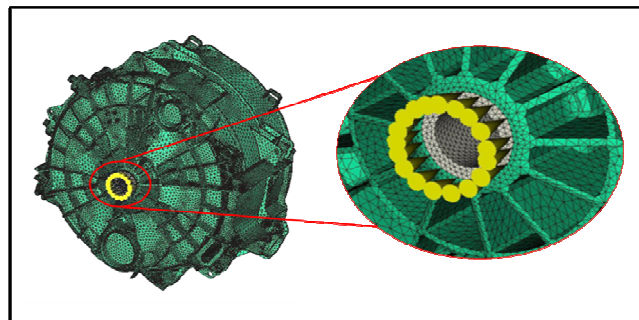


Figura 4: Posizione degli iniettori

3.3 Risultati

L'obiettivo del lavoro è quello di valutare l'assemblaggio vasca-mozzo sia dal punto di vista di una tenuta di forma, garantita dalla geometria del mozzo all'interfaccia con il materiale plastico e da un completo riempimento dello stampo, sia dal punto di vista delle tensioni residue che si generano all'interfaccia in seguito al raffreddamento e ritiro del materiale plastico attorno all'insero. Tale accoppiamento è stato poi studiato sottoponendo il componente alle sollecitazioni termo-meccaniche che si sviluppano in fase di esercizio e mantenendo inoltre tutte le informazioni derivanti dalla simulazione del processo di stampaggio.

In prima analisi si è verificato il corretto riempimento della cavità con particolare attenzione al bilanciamento dei flussi e facendo in modo di non ottenere zone di "unfill" o "weld-lines" (linee di giunzione tra i flussi polimerici) in prossimità dell'insero metallico, zona in cui il componente è maggiormente sollecitato. La verifica, anche visiva, del processo di iniezione ha mostrato con chiarezza le fasi del perfetto riempimento dello stampo. Tali risultati sono stati confermati e validati da test sperimentali svolti presso Indesit, sottoponendo il prodotto alla pressione di liquidi altamente penetranti al fine di evidenziare la perfetta adesione del materiale polimerico all'insero metallico.

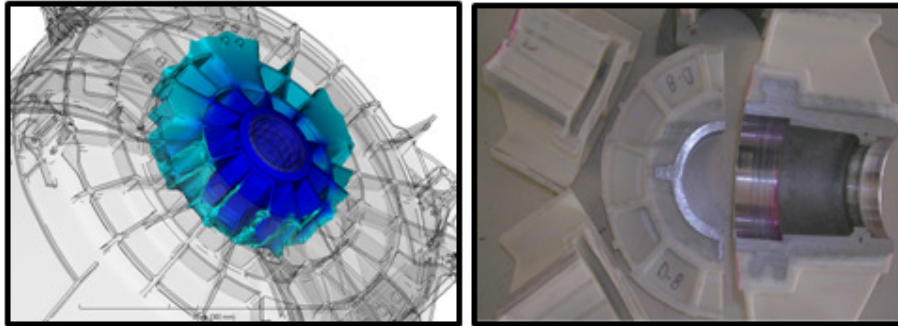


Figura 5: Riempimento della cavità e verifica sperimentale

L'altro parametro determinante per valutare la buona riuscita del pezzo è la valutazione della tensione residua. Il software ha restituito i valori numerici di tensione residua nelle due direzioni principali:

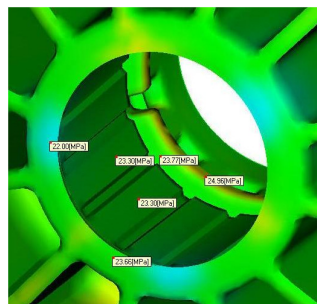


Figura 6: Residual stress all'interfaccia vasca-mozzo

Per entrambe le due diverse simulazioni le tensioni residue circonferenziali che si generano all'interfaccia polimero-metallo si aggirano intorno ai 25 MPa.

Tale risultato derivante dalla simulazione di processo è stato poi esportato in ambiente Ansys per le successive simulazioni termo-meccaniche.

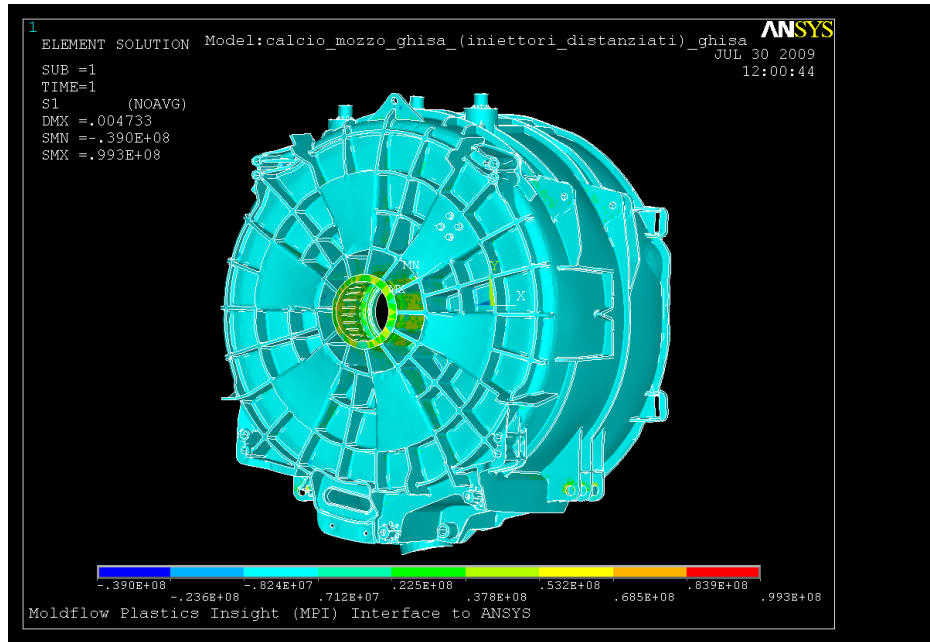


Figura 7: Tensioni residue nel componente

Da notare come le tensioni residue sono pressoché nulle nella totalità del pezzo e si accumulano nella zona del mozzo.

Tale risultato dimostra la bontà del processo di stampaggio e dei parametri scelti: la zona tensionata, che risulta essere solo ed esclusivamente quella in prossimità del mozzo, non è frutto di un'errata scelta del processo o di un non omogeneo raffreddamento del pezzo, ma conseguenza del ritiro del materiale polimerico durante e dopo la solidificazione che porta lo stesso ad aggrapparsi all'inserto metallico.

4 ESPORTAZIONE DEL MODELLO

L'esportazione del modello tensionato in ambiente di lavoro Ansys, è possibile esclusivamente per meshature di tipo 3D, in cui gli elementi tridimensionali vanno a discretizzare, a differenza della Fusion, anche lo spessore del pezzo.

Per questo motivo la simulazione del processo per l'esportazione dei dati è stata ricalcolata utilizzando un modello con mesh 3D con oltre 750000 elementi.

Le simulazioni per questo tipo di mesh sono state fatte per la vasca in Polipropilene caricato calcio con mozzo in ghisa, di cui sono stati calcolati gli effetti derivanti dal carico termico e dalle sollecitazioni meccaniche in fase di esercizio.

Alla mesh del modello geometrico sono poi state aggiunte le informazioni relative al *residual stress* della simulazione di stampaggio.

A questo punto il modello così ottenuto mantiene la storia del processo di formatura ed è pronto per le sollecitazioni termo-meccaniche della fase di esercizio.

Durante il funzionamento della lavabiancheria, in conseguenza dell'alto numero di giri al minuto in fase di centrifuga e della potenza termica che si genera per attrito nei cuscinetti e quindi nel mozzo, è stato misurato sperimentalmente nei laboratori della Indesit Company un innalzamento della temperatura nella zona critica di interfaccia grazie a termocoppie opportunamente inserite su un prototipo del modello in questione.

In particolare la temperatura all'interfaccia aumenta linearmente fino a stabilizzarsi dopo circa 40 minuti di funzionamento a 1400 giri/minuto e con uno sbilanciamento del carico di 1,5 kg a circa 78°C.

Il carico meccanico è invece dovuto sia allo sbilanciamento del carico di lavaggio che si ripercuote con sollecitazioni sull'albero e quindi sui cuscinetti, sia al tiro della cinghia che muove l'albero.

Gli effetti termici e meccanici sono stati dapprima valutati singolarmente e poi nel complesso per testare l'effettiva resistenza del componente e dell'assemblaggio.

4.1 Analisi dei risultati

L'innalzamento della temperatura nella zona di interfaccia del componente, a causa delle dilatazioni termiche differenziali polimero-metallo, ha l'effetto di aumentare le sollecitazioni che si generano in prossimità del mozzo, portandole ad un valore medio circonferenziale di circa 30 MPa.

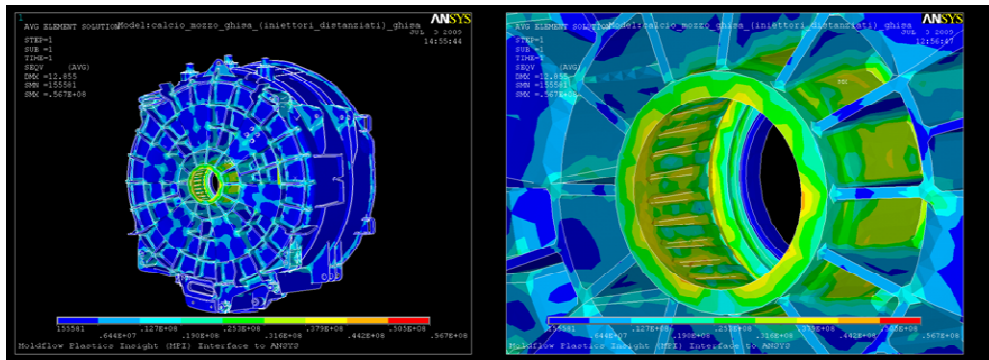


Figura 8: Effetto della temperatura sul componente

Il carico meccanico applicato al mozzo provoca invece un innalzamento trascurabile in termini di innalzamento della tensione circonferenziale in prossimità dell'accoppiamento; le piccole forze in gioco e la labilità dei vincoli costituiti da molle agganciate alla parte superiore della vasca e smorzatori nella zona inferiore fanno sì che l'effetto si aggiri intorno a 1,5 MPa.

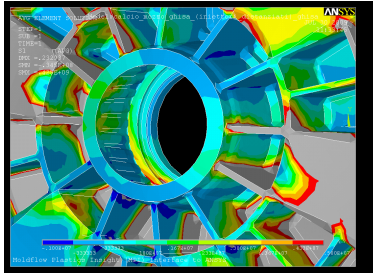


Figura 9: Effetto del carico meccanico

Applicando al modello tensionato sia il carico termico che quello meccanico arriviamo ad una tensione media circonferenziale nella zona dell'accoppiamento di 33 MPa, comunque al di sotto della tensione di snervamento del polipropilene caricato calcio (35 MPa).

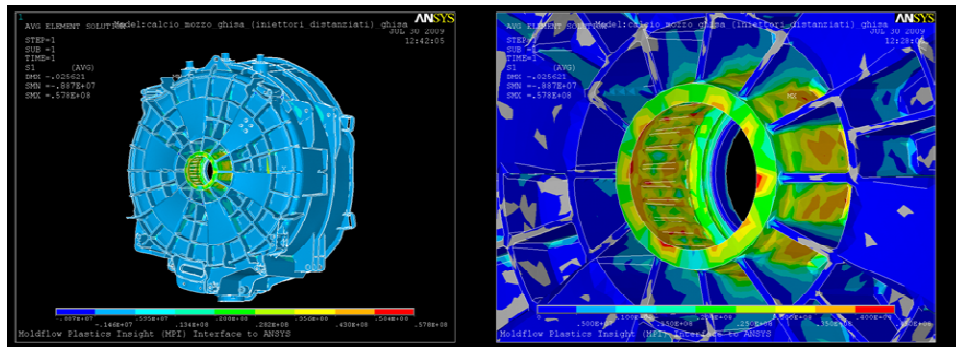


Figura 10: Tensioni in fase di esercizio

5 CONCLUSIONI

Il lavoro descritto in questo articolo ha come obiettivo quello di porre le basi su come affrontare una problematica industriale legata al processo di stampaggio ad iniezione in presenza di inserti metallici.

Lo studio numerico del componente in questione ha reso possibile una progettazione che tenesse conto sia delle sollecitazioni esterne, termiche e meccaniche, a cui doveva resistere il componente in fase di esercizio, sia soprattutto delle informazioni derivanti dal processo di formatura.

Si è potuto constatare infatti come la quota maggiore in termini di tensione accumulata nella zona di interfaccia e assemblaggio derivasse non tanto dalle sollecitazioni meccaniche prodotte dalle vibrazioni dell'albero, ma fosse maggiormente legata allo stato tensionale residuo che si creava in seguito al processo eseguito.

Una buona progettazione nell'ambito dello stampaggio di materie plastiche deve quindi necessariamente partire da una meticolosa ricerca dei parametri ottimali di processo che tenda ad eliminare, nel limite del possibile, tutte quelle problematiche legate alla produzione quali tensioni residue, bolle d'aria, linee di giunzione dei flussi polimerici che, oltre ad una riduzione dell'estetica

del componente, porta anche ad una inevitabile riduzione delle sue prestazioni strutturali e meccaniche.

E' evidente come si renda indispensabile per questo tipo di trattazione l'utilizzo di strumenti di calcolo numerico che permettano di variare i parametri di processo alla ricerca della condizione ottimale, con notevole risparmio dei costi di progettazione e prototipazione.

Per la stesura di questo lavoro si vuole ringraziare la Indesit Company nelle persone dell'Ing. Faraldi e dell'Ing. Biancospino, per la loro disponibilità e professionalità.

Bibliografia

- [1] Babur Ozcelik, Ibrahim Sonat, "Warping and structural analysis of thin shell plastic in the plastic injection molding" *Materials and Design* 30 (2009) 367–375
- [2] Filippo Gabrielli., "Tecnologia meccanica", Pitagora Editrice, Bologna (2006)
- [3] Can Weng, W.B. Lee ,S.To, Bing-yan Jiang, "Numerical simulation of residual stress and birefringence in the precision injection molding of plastic microlens arrays" *International Communications in Heat and Mass Transfer* 36 (2009) 213–219
- [4] Chae Hwan Kim, Jae Ryoun Youn, "Determination of residual stresses in injection-moulded flat plate: Simulation and experiments" *Polymer Testing* 26 (2007) 862–868
- [5] H. Saechtling, "Manuale delle materie plastiche", Tecniche nuove, Milano (1993)