



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI TECNICA E GESTIONE DEI SISTEMI INDUSTRIALI
Sede di Vicenza

CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN INGEGNERIA MECCANICA E
MECCATRONICA
Curriculum Meccanico

TESI DI LAUREA:

ANALISI DI DATI E DESCRIZIONE DEI DIFETTI CHE
CARATTERIZZANO IL PROCESSO DI STAMPAGGIO AD
INIEZIONE DI MATERIALI TERMOPLASTICI

Relatore: *Ch.mo Prof. Franco Bonollo*

Laureando: *Marco Rossi*

ANNO ACCADEMICO 2014/2015

INDICE

SOMMARIO	5
CAPITOLO PRIMO: IL PROGETTO MUSIC	7
Introduzione	7
1. La struttura del questionario	8
2. Promozione del questionario	9
CAPITOLO SECONDO: ELABORAZIONE DEI DATI DEL PROGETTO MUSIC	11
1. Le aziende	11
2. La produzione annua [Ton/Year]	11
3. Il materiale plastico	13
4. I settori di applicazione	14
4.1 Categoria primaria e secondaria dei prodotti stampati ad iniezione	15
5. Le normative	17
5.1. Necessità di avere nuove normative riguardanti la classificazione dei difetti	
5.2. Necessità di avere nuove normative riguardanti la classificazione dei materiali plastici usati nello stampaggio ad iniezione, le proprietà meccaniche dei componenti stampati e il design dei componenti stampati	
6. L'analisi dei difetti	21
6.1. Vuoti (Voids)	21
6.2. Ritiri o contrazioni volumetriche (Shrinkage/Sink marks)	22
6.3. Cricche (Cracks)	23
6.4. Bruciature (Burns)	24
6.5. Distorsioni o deformazioni (Warping)	25
6.6. Difetti di riempimento (Filling defects)	26
6.7. Interazioni tra stampo e componente (Plastic/die interaction)	27
6.8. Considerazioni conclusive	28
7. Il ruolo della simulazione numerica	30

CAPITOLO TERZO: STUDIO DEI DIFETTI NELLO STAMPAGGIO AD INIEZIONE DI MATERIE PLASTICHE	32
Introduzione	32
1. Descrizione dei difetti e catalogazione	33
1.1. Vuoti (Voids)	34
1.2. Ritiri o contrazioni volumetriche (Shrinkage/Sink marks)	35
1.3. Cricche (Craks)	36
1.4. Bruciature (Burns)	36
1.5. Distorsioni o deformazioni (Warping)	37
1.6. Difetti di riempimento (Filling related defects)	38
1.7. Segni dovuti all'estrazione (Ejection marks)	41
1.8. Il manufatto rimane incollato allo stampo	42
2. La scelta del materiale e accettazione dei difetti nel componente	42
3. Classificazione dei difetti ammessi in base al campo di applicazione	45
4. Il processo di stampaggio ad iniezione di materie plastiche	48
5. Le variabili che regolano il processo di Plastic Injection Moulding	51
CONCLUSIONI	54
ALLEGATO 1	55

SOMMARIO

Lo stampaggio ad iniezione è uno dei processi di produzione industriale con materiali termoplastici più diffusi e permette di avere elevate produttività mantenendo i costi di esercizio bassi, purché la quantità prodotta riesca a giustificare l'investimento iniziale. La maggiore particolarità di questo processo di produzione è che permette di ottenere prodotti finiti, che non necessitano di nessun'altra lavorazione con geometrie anche molto complesse.

Nel panorama industriale Europeo, lo stampaggio ad iniezione di materie plastiche è uno dei processi produttivi in continuo sviluppo ed espansione perché, a differenza dei materiali metallici lavorati dall'uomo da migliaia di anni, le materie plastiche sono state brevettate solo a metà dell' '800. La giovane età dei polimeri implica che non ci sia una ricca letteratura su cui le aziende possano basarsi per lavorarli, infatti chi riesce a lavorare con successo questi materiali è perché si basa sulla propria esperienza nel settore.

Le variabili di processo che caratterizzano lo stampaggio ad iniezione di materie plastiche sono innumerevoli e di solito si presentano combinate tra di loro, questo porta ad uno scarso controllo del processo e causa la nascita di difetti e lo spreco di energia da parte dell'azienda.

La prima parte di questa tesi di laurea si basa sulla descrizione dei dati raccolti per il progetto MUSIC.

Lo scopo del progetto è quello di creare un sistema di controllo delle linee di produzione di prodotti stampati più efficiente rispetto a quelli in uso in questo momento, per ottenere una minore produzione di rifiuti, una maggiore efficienza ed un minimo consumo di energia. Per fare ciò è necessaria una raccolta dati.

Il mio compito è stato quello di sottoporre un questionario ad aziende che stampano ad iniezione materiali termoplastici in modo da capire come le aziende stesse sono abituate a lavorare, che strumenti usano e come affrontano le difettologie sui prodotti e di elaborare i dati che sono stati acquisiti.

Nella seconda parte della tesi si è cercato di catalogare i difetti in base alla morfologia e alla locazione nel prodotto stampato; segue poi una descrizione dei più comuni difetti, si spiegano le cause che li generano e si elencano alcuni metodi per cercare di evitarli.

Il primo fattore che bisogna tener conto per evitare difetti quando si devono lavorare i materiali plastici è la scelta del materiale; si è cercato quindi di illustrare il comportamento dei più utilizzati materiali termoplastici quando vengono formati.

Successivamente si sono classificati i difetti in base all'applicazione che il componente deve ricoprire e si è descritto il processo di stampaggio ad iniezione di materie plastiche elencando le principali variabili che lo regolano.

CAPITOLO PRIMO

Il Progetto MUSIC

Introduzione

La pressocolata di leghe leggere (**HPDC - High Pressure Die Casting**) e lo stampaggio ad iniezione di materie plastiche (**PIM - Plastic Injection Moulding**) sono due tra le più importanti e strategiche linee di produzione di larga scala nel panorama industriale europeo, che è dominato dalle piccole e medie aziende.

HPDC e PIM sono caratterizzati da un elevato numero di variabili di processo e da una scarsa sincronizzazione delle unità di controllo di processo, per questi motivi sono le realtà produttive in cui si verificano il maggior numero di difetti e il maggior consumo di energia nell'industria europea, inoltre mostrano una bassa flessibilità ad ogni evoluzione di prodotto e di processo.

Per questi motivi è nato il progetto MUSIC, **MU**lti-layerscontrol&cognitive**S**ystem to drive metal and plastic production line for **I**njected**C**omponents, cioè un sistema di controllo cognitivo per pilotare linee di produzione di componenti metallici e plastici fabbricati per iniezione.

MUSIC quindi è rivolto alle aziende europee che si occupano di pressocolata di leghe leggere e stampaggio ad iniezione di materie plastiche per ottenere una produzione più efficiente ed ecologica, maggiore robustezza ed un minimo consumo di energia. Lo sviluppo e l'integrazione di una piattaforma ICT che consente il trattamento e lo scambio di informazioni, basata su un innovativo sistema cognitivo di controllo collegato al monitoraggio in tempo reale, consente un controllo attivo della qualità agendo direttamente sulla ottimizzazione delle variabili di processo, evitando la presenza di difetti e over-costs.

La sfida del progetto di ricerca MUSIC è quella di riuscire a sfruttare l'enorme potenzialità di questi due processi produttivi cercando di integrare la piattaforma ICT e le moderne tecniche di modellazione, partendo da un'acquisizione di dati a livello europeo.

Il sistema di controllo che nascerà con MUSIC porterà ad una ottimizzazione del design e della produzione dei componenti realizzati attraverso HPDC e PIM, e le conseguenze di questo lavoro saranno molteplici: dalla riduzione del peso dei prodotti stampati all'utilizzo intelligente delle risorse a disposizione, nonché allo sviluppo di nuovi materiali per svariati campi di applicazione cercando di ridurre al minimo i difetti.

La seguente trattazione si riferisce all'acquisizione dei dati relativi allo stampaggio ad iniezione di materie plastiche.

1. La struttura del questionario

L'acquisizione dei dati è stata svolta sottoponendo un Questionario (ALLEGATO 1) ad aziende che stampano ad iniezione materie plastiche, con lo scopo di capire come le aziende europee del settore si approcciano alla pratica in questione, e come sono abituate a risolvere le maggiori problematiche.

Il questionario, ideato per essere sottoposto sia alle piccole e medie imprese che a grandi industrie, è composto quasi interamente da domande a risposta multipla ed è suddiviso in cinque macro-sezioni.

La prima parte richiede le informazioni generali dell'azienda:

- nome dell'azienda;
- nominativo, indirizzo e-mail e contatto telefonico di un responsabile;
- paese in cui l'azienda opera;
- il tipo di azienda (SME [<250 employees; turnover <50 millionEuros/year] o IND [>250 employees; turnover >50 millionEuros/year]);
- il tonnellaggio medio dei macchinari facenti parte del parco macchine.

Poi si passa ad una sezione in cui vengono richiesti i dati riguardanti la produzione dell'azienda:

- a quanto ammonta la produzione annua in tonnellate di materiale stampato;
- che tipi di materiali plastici vengono utilizzati, specificando per ogni tipo se lo si usa rinforzato o no;
- i settori di applicazione;
- la categoria primaria dei prodotti stampati dall'azienda;
- la categoria secondaria dei prodotti stampati dall'azienda;
- se vengono svolte delle lavorazioni secondarie sul pezzo stampato.

La terza parte indaga sulla conoscenza e l'utilizzo da parte dell'azienda di una serie di normative europee esistenti e chiede di esprimere il proprio interesse ad avere delle nuove normative nell'ambito dello stampaggio ad iniezione riguardanti:

- la classificazione dei difetti;
- la classificazione dei materiali plastici per l'injectionmoulding;
- le proprietà meccaniche dei componenti stampati;
- il design dei componenti stampati.

Si procede poi con la compilazione della quarta sezione in cui sono elencati i principali difetti che si possono incontrare nello stampaggio ad iniezione (vuoti, ritiri, rotture/cricche, bruciature, distorsioni/deformazioni, difetti di riempimento ed interazioni tra stampo e componente), e si chiede di indicare il metodo di controllo che viene usato nel componente stampato per individuare ciascun tipo di difetto. I metodi di controllo che vengono citati nel questionario sono:

- controllo visivo;
- ispezione ai raggi x;
- controllo della permeabilità;
- controllo della densità;
- test con liquidi penetranti;
- test con ultrasuoni;
- prove distruttive del pezzo.

L'ultima parte del questionario riguarda l'utilizzo di software di simulazione numerica all'interno dell'azienda. In questa sezione si chiede:

- se l'azienda utilizza strumenti di simulazione virtuale;
- qual è la principale applicazione in cui viene usata la simulazione;
- se si riesce ad avere una buona previsione ed analisi dei difetti attraverso la simulazione;
- se lo strumento usato è affidabile;
- se la previsione dei difetti viene classificata secondo le normative esistenti.

2. Promozione del questionario

Il questionario relativo allo stampaggio di materie plastiche lo si poteva trovare nel sito internet del progetto MUSIC, dove lo si compilava on-line seguendo una procedura guidata. (<http://music.eucoord.com/home/body.pe>)

Inoltre, per pubblicizzare il progetto in maniera più diretta ed efficace e per incrementare il numero di questionari compilati, si è deciso di contattare delle aziende situate nel Nord Italia che si occupano di stampaggio ad iniezione di materie plastiche. La selezione delle aziende è avvenuta via web, attraverso motori di ricerca in cui sono elencate tutte le aziende divise per settore di applicazione, e si è scelto di contattarle inizialmente via e-mail. Nella e-mail inviata veniva presentato il progetto, si illustravano gli scopi dello stesso e si cercava di sollecitare alla compilazione del questionario, che era stato spedito come allegato, da parte di un responsabile.

Viste le scarse risposte ottenute si è optato di sollecitare telefonicamente le aziende precedentemente contattate alla compilazione del questionario. Dopo aver contattato una settantina di aziende italiane, le risposte ottenute sono state undici che vanno sommate ad altri dieci questionari provenienti da aziende tedesche e spagnole.

Nella Tabella 1 sono riportate le aziende che hanno risposto al questionario:

Name:	Country:
Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung	Germany
RDS Moulding Technology S.p.A.	Italy
ASCAMM Technology Centre	Spain
PLACISA	Spain
Maier S.Coop.	Spain
Proinyec	Spain
Gondioplasts.I	Spain
DIKER s.l.	Spain
PLASTICOS URTETA	Spain
Pladomin S.A.	Spain
MONDIALSAMPI	Italy
VIMAR s.p.a	Italy
T.P.S s.r.l.	Italy
CM STAMPI	Italy
CREA s.r.l.	Italy
PLASTIMEDIA s.r.l.	Italy
ROSA' PLAST s.r.l.	Italy
Meccanostampi s.r.l.	Italy
BEMAR PLAST s.a.s.	Italy
O.C.S.A s.p.a.	Italy
INTERNOVA PACK s.a.s.	Italy

Tabella 1: Lista di aziende che hanno risposto al Questionario.
(List of company which answered the Questionnaire)

CAPITOLO SECONDO

Elaborazione dei dati del Progetto MUSIC

1. Le aziende

Si può notare dal Grafico 1 che la maggior parte delle aziende che hanno risposto al questionario sono piccole e medie imprese, SME, (85,7%) che hanno meno di 250 collaboratori e un giro d'affari inferiore ai 50 milioni di euro l'anno. Il rimanente 14,3% rappresenta le grandi industrie, IND.

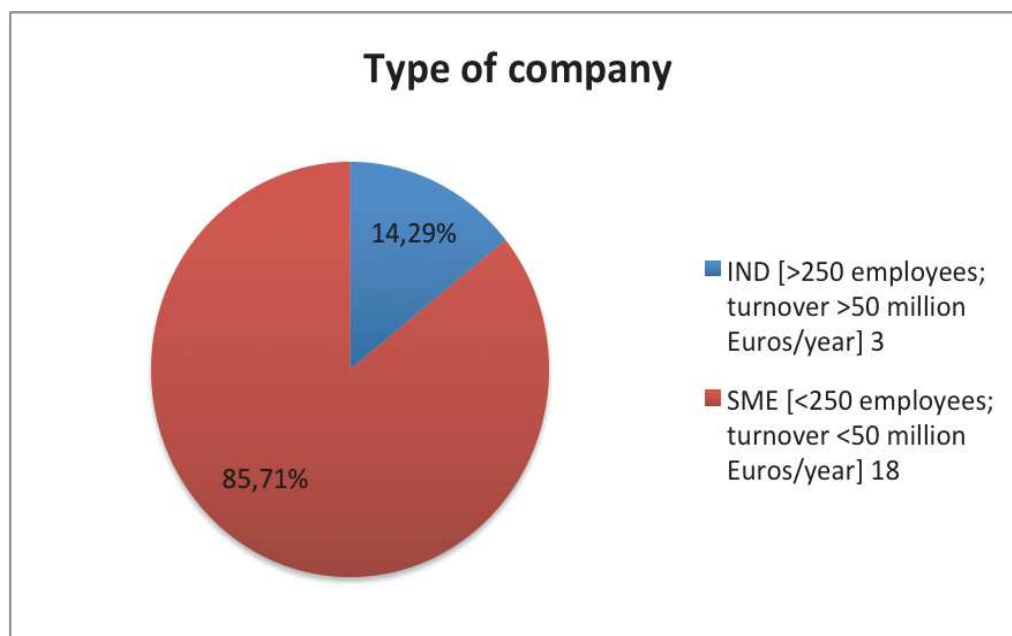


Grafico 1: Divisione tra SME ed IND delle aziende che hanno risposto al Questionario (Division between SME and IND which answered the MUSIC Questionnaire)

2. La produzione annua [Ton/Year]

Si è chiesto alle aziende di quantificare la propria produzione annua in termini di tonnellate di materiale stampato.

Ogni azienda aveva la possibilità di scegliere una tra le quattro fasce di appartenenza:

- da 250 a 500 [ton/anno];
- da 500 a 1000 [ton/anno];
- da 1000 a 2000 [ton/anno];
- >2000 [ton/anno].

Ciò che si può notare dal Grafico 2 è che più del 66% dei rispondenti hanno posizionato la propria azienda nei primi due intervalli, cioè non superano le 1000 tonnellate all'anno di materiale stampato; si giustifica questo risultato supponendo che le aziende che potenzialmente possono sostenere una produzione annua superiore sono solo una piccola parte di quelle che hanno risposto.

Nel rimanente 34% di aziende che sostengono di avere una produzione annua superiore di 1000 tonnellate si trovano sia grandi imprese (2 su 3) ma anche una rilevante percentuale di piccole e medie imprese (28%, cioè 5 su 18), questo dato ci da una panoramica di massima sulle SME intervistate facendo presumere che questo 28% rappresenti aziende di media grandezza. Tuttavia questa rimane solo una considerazione in quanto ci possono essere altre variabili che possono influenzare questo dato, per esempio le dimensioni e la complessità dei pezzi prodotti.

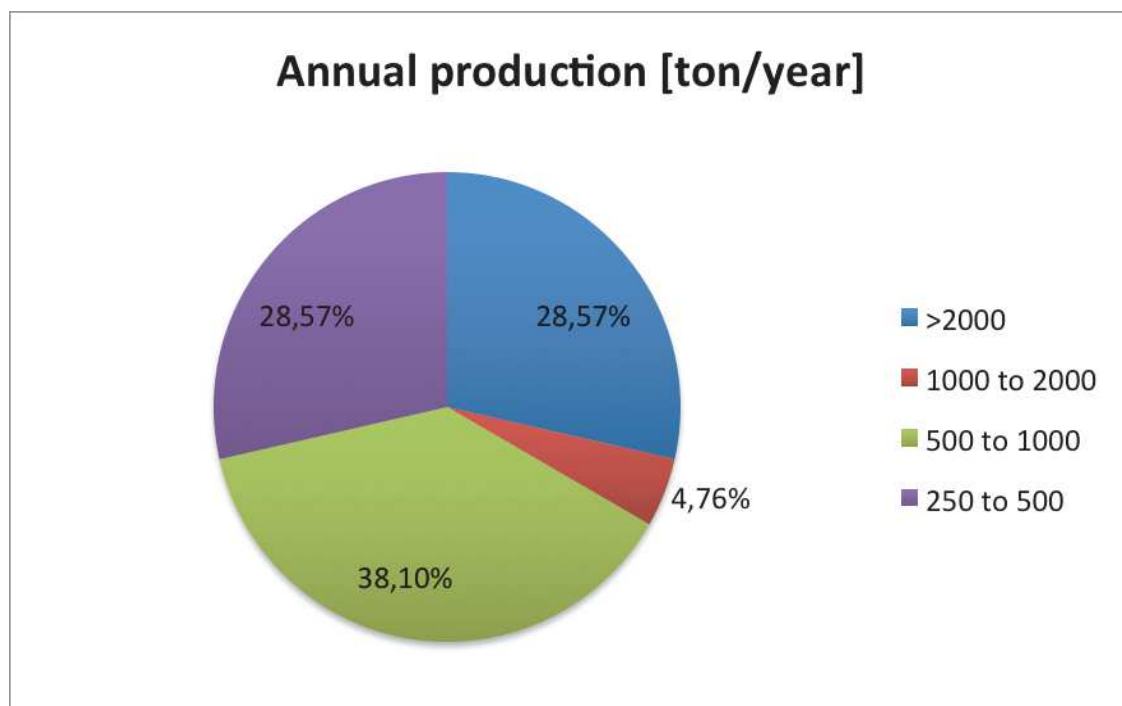


Grafico 2: Produzione annua, in tonnellate all'anno, delle aziende che hanno risposto al Questionario MUSIC
(Production data (ton/year) for the Company which answered the MUSIC Questionnaire)

3. Il materiale plastico

In commercio ci sono molti tipi di materiale plastico con diverse caratteristiche, in modo da essere adattati al meglio ad ogni applicazione. Nel questionario, per ogni tipo di materiale citato si doveva segnare se il materiale plastico veniva usato rinforzato o meno. La lista dei materiali elencata nel questionario è la seguente: LDPE/LLDPE, HDPE, PP, PS/PSE/GPPS/HIPS, PVC, PET, PUR, PMMA, ABS, SAN, PA6/PA66/PA12, PC, PVC/UPVC, e POM.

Secondo uno studio condotto nel 2011 da Plastics Europe MarketResearch Group (PEMRG) sulla domanda di materiale plastico in Europa, c'era un gruppo di sei materiali che ne coprivano circa l'80%:

- polyethylene, includendo sia il lowdensity che il high density (LDPE/HDPE);
- polypropylene (PP);
- polyvinylchloride (PVC);
- polystyrene (PS);
- polyethyleneterephthalate (PET);
- polyurethane (PUR).

Di cui, i tre materiali più richiesti in assoluto erano il polyethylene, il polypropylene e il polyvinylchloride.

Osservando i dati raccolti si può notare che il polypropylene è ancora uno dei materiali più richiesti assieme anche al polyethylene, tenendo conto sia di quello a bassa densità che di quello ad alta.

Volendo fare un confronto con i dati relativi al 2011 ci si accorge che gli altri quattro materiali che rientrano tra i sei più richiesti in Europa sono:

- acrylonitrile butadiene styrene (ABS);
- polyPolyamide (PA6/PA66/PA12);
- poliPolycarbonate (PC);
- acetal (POM).

Le considerazioni fatte precedentemente si riferiscono all'utilizzo dei materiali, sia rinforzati che non rinforzati, da parte delle aziende.

Il materiale rinforzato più usato risulta il polyPolyamide con il 22,6% seguito dal polypropylene con il 21%.

Il materiale non rinforzato più usato, invece, risulta essere l'acrylonitrile butadiene styrene con l'11,7% ed il secondo non rinforzato più usato è il polymethylmethacrylate (PMMA) con il 9,4%, con la stessa percentuale del polyPolycarbonate e dell'acetal.

Nel Grafico 3 si possono vedere le percentuali di utilizzo per ogni materiale, sia rinforzato che non, da parte delle aziende che hanno risposto al Questionario.

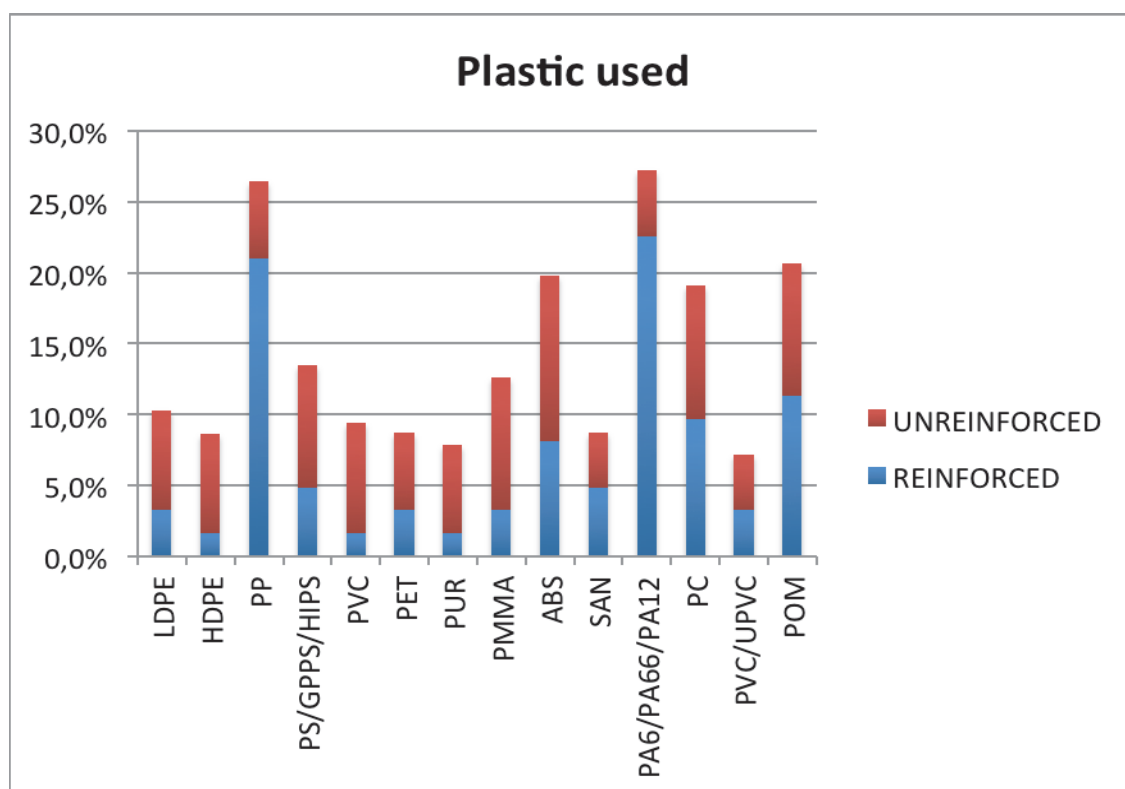


Grafico 3: Percentuali dei materiali plastici rinforzati e non rinforzati usati dalle aziende che hanno risposto al Questionario

(Plastics material used by the Company which answered the MUSIC Questionnaire, showing the percentage of reinforced and unreinforced materials)

4. I settori di applicazione

Per capire in quali settori di applicazione le aziende concentrano la propria produzione, il Questionario MUSIC chiedeva di segnare massimo due tra le seguenti voci:

- automotive;
- packaging;
- electrical&electronics;
- architecture& design;
- building&costruction.

Per ogni voce scelta, inoltre si chiedeva di segnare una percentuale tra 25%, 50%, 75% e 100%, che indica il peso che il settore di applicazione scelto ha nella produzione dell'azienda.

Dal Grafico 4, si può notare che il settore di applicazione che ha ricevuto più risposte in assoluto è l'automotive, seguito da l'elettrical&elettronics, building &costruction, architecture& design e dal packaging.

I prodotti dedicati ai due campi di applicazione primari devono rispondere a degli specifici requisiti tecnici e devono avere delle proprietà meccaniche definite per essere adatti all'utilizzo che devono svolgere, quindi, per questi prodotti si devono scegliere materiali plastici rinforzati.

Come di può vedere dal Grafico 3, le aziende che hanno risposto al Questionario MUSIC utilizzano di più materiali rinforzati rispetto a quelli non rinforzati, quindi la considerazione fatta precedentemente risulta fondata.

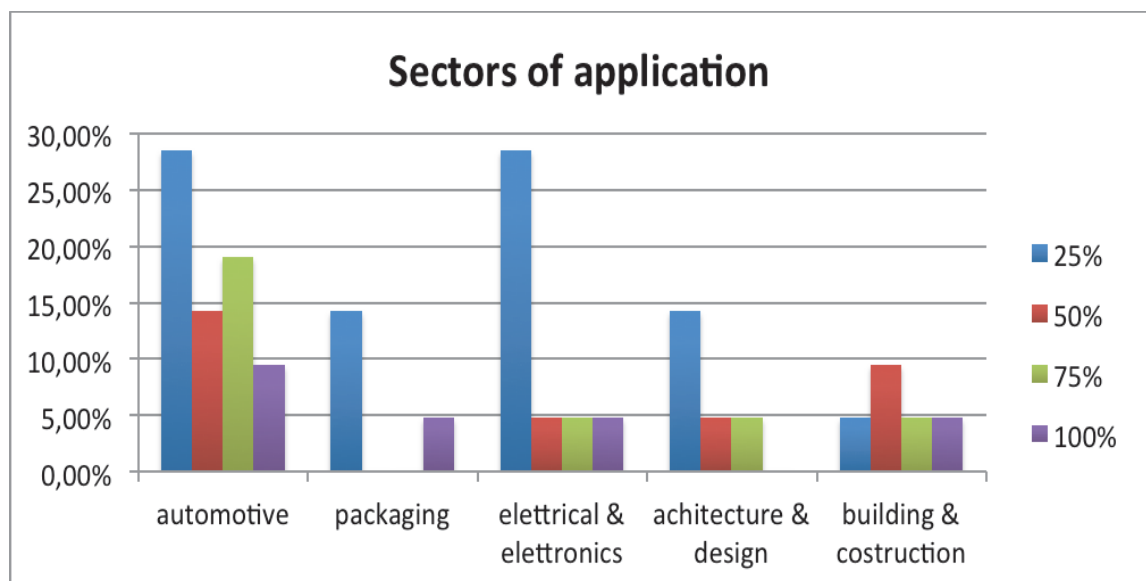


Grafico 4: Settori di applicazione in cui le aziende che hanno risposto al Questionario concentrano la produzione (Sectors of application of the Company which answered the MUSIC Questionnaire)

4.1. Categoria primaria e secondaria dei prodotti stampati ad iniezione

Dopo aver chiesto alle aziende in che settori di applicazione concentrano la loro produzione, si è chiesto che tipi di prodotti vengono stampati ad iniezione definendo una categoria primaria e una secondaria, le opzioni di risposta sono:

- componenti meccanici;
- componenti per la sicurezza;
- oggetti per la casa e l'arredamento;
- cover e parti estetiche;
- altro.

Si può notare dal Grafico 5 che la categoria principale di prodotti stampati ad iniezione, dalle aziende che hanno risposto al questionario, sono i componenti meccanici (42,86%), seguiti da cover e parti estetiche (28,57%), oggetti per la casa e l'arredo (9,52%) ed infine componenti per la sicurezza (4,76%). Una buona percentuale (14,29%) è occupata da delle altre categorie che non venivano citate nel questionario: calzature per lo sport, parti strutturali e packaging.

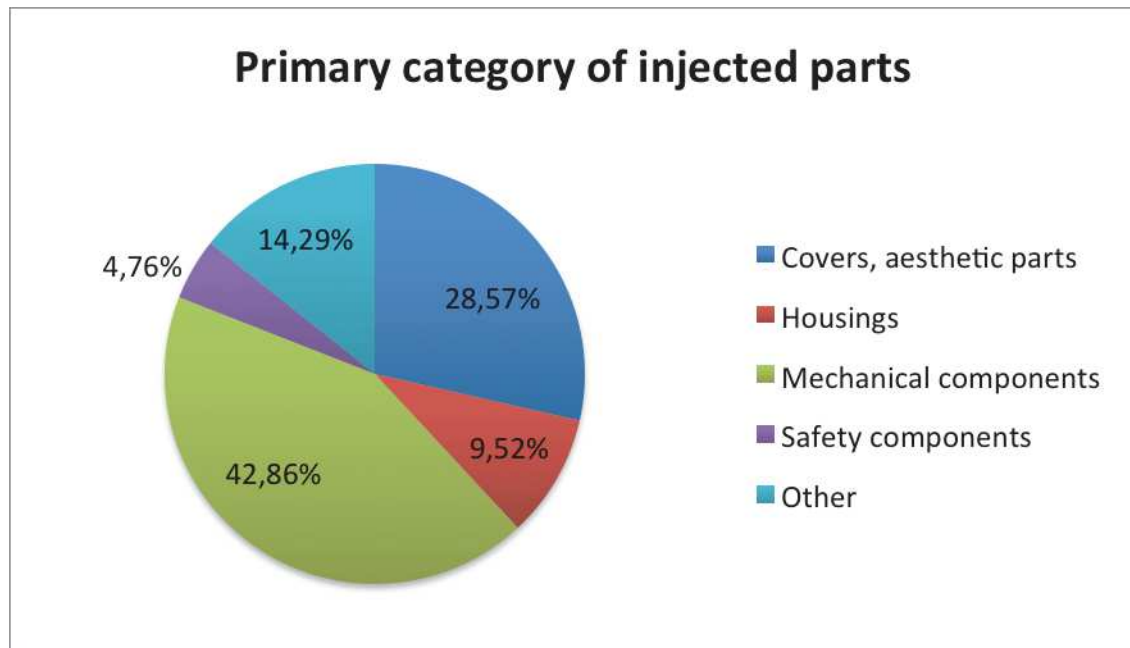


Grafico 5: Categoria principale di prodotti delle aziende che hanno risposto al Questionario (Primarycategory of injectedpartsmanufactured by the Company whichanswered the MUSIC Questionnaire)

Nel Grafico 6 vengono individuate le categorie di prodotti secondari su cui le aziende rispondenti concentrano la propria produzione: cover e parti estetiche (33,33%), oggetti per la casa e l'arredamento (19,05%) e, con la stessa percentuale, componenti meccanici e cover e packaging (9,52). Anche qui una percentuale del 14,29% rappresenta categorie non presenti tra quelle proposte, ovvero oggetti per l'illuminazione, oggetti per la fotografia, oggetti ad uso medicale e componenti per pompe chimiche.

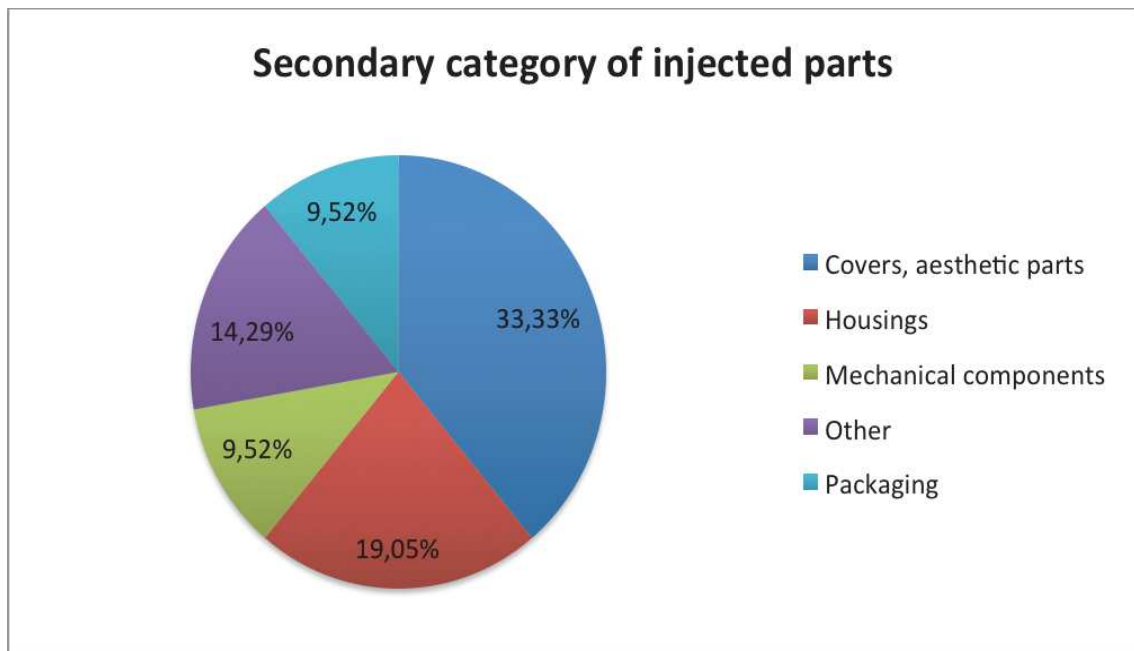


Grafico 6: Categoria secondaria di prodotti delle aziende che hanno risposto al questionario (Secondary category of injected parts manufactured by the Company which answered the MUSIC Questionnaire)

5. Le normative

L'utilizzo delle più importanti normative riguardanti lo stampaggio ad iniezione di materie plastiche è risultato non molto soddisfacente tra le aziende che hanno risposto al Questionario.

La normativa più conosciuta e utilizzata è la DIN 16901 che consiglia le tolleranze e le dimensioni da adottare nello stampaggio ad iniezione.

Circa un quinto delle aziende intervistate risultano essere certificate con la norma ISO 9001; questa norma definisce i requisiti di un sistema di gestione della qualità per una organizzazione. I requisiti espressi sono di "carattere generale" e possono essere implementati da ogni tipologia di organizzazione.

Dal Questionario MUSIC emerge che le norme proposte non sono conosciute o utilizzate; questo perché circa la metà delle aziende intervistate sono piccole o medie imprese, che svolgono il loro lavoro conto terzi.

Quindi, queste aziende, non hanno la necessità di seguire delle regolamentazioni o delle linee guida per produrre il prodotto in quanto, quando esso viene commissionato, deve essere realizzato secondo le specifiche imposte dall'azienda committente.

È stato chiesto, inoltre, di esprimere l'interesse ad avere delle nuove normative per il processo dello stampaggio ad iniezione di materie plastiche.

Gli argomenti proposti sono quelli di maggior rilevanza per il processo:

- nuove normative sulla classificazione dei difetti;
- nuove normative sulla classificazione dei materiali plastici legati all'injectionmoulding;
- nuove normative sulle proprietà meccaniche dei componenti stampati ad iniezione;
- nuove normative sul design dei componenti stampati.

La scelta era tra queste cinque risposte: molto alta, alta, media, bassa e molto bassa.

5.1. Necessità di avere nuove normative riguardanti la classificazione dei difetti

Dal Grafico 7 si può notare che circa il 50% delle risposte occupa le posizioni di minor interesse, cioè per la metà delle aziende, la necessità ad avere nuove normative per la classificazione dei difetti è bassa o molto bassa. Questi dati si trovano in accordo con quanto scritto precedentemente: se circa la metà delle aziende intervistate lavora conto terzi, di conseguenza non sente la necessità né di adottare delle normative né di volerne delle nuove.

Il 19% ha risposto che sente una necessità media e molto alta; mentre il 14,3% sente una necessità alta.

L'interesse molto alto allo sviluppo di nuove normative sulla classificazione dei difetti occupa quasi un quinto delle risposte, valore che coincide con il numero delle aziende che sono certificate ISO 9001. Questa considerazione porta a pensare che le aziende certificate, che devono sottostare a dei precisi requisiti per la realizzazione di un sistema di gestione della qualità, sentono una necessità molto alta ad avere delle nuove normative, e considerano quelle esistenti non sono abbastanza soddisfacenti.

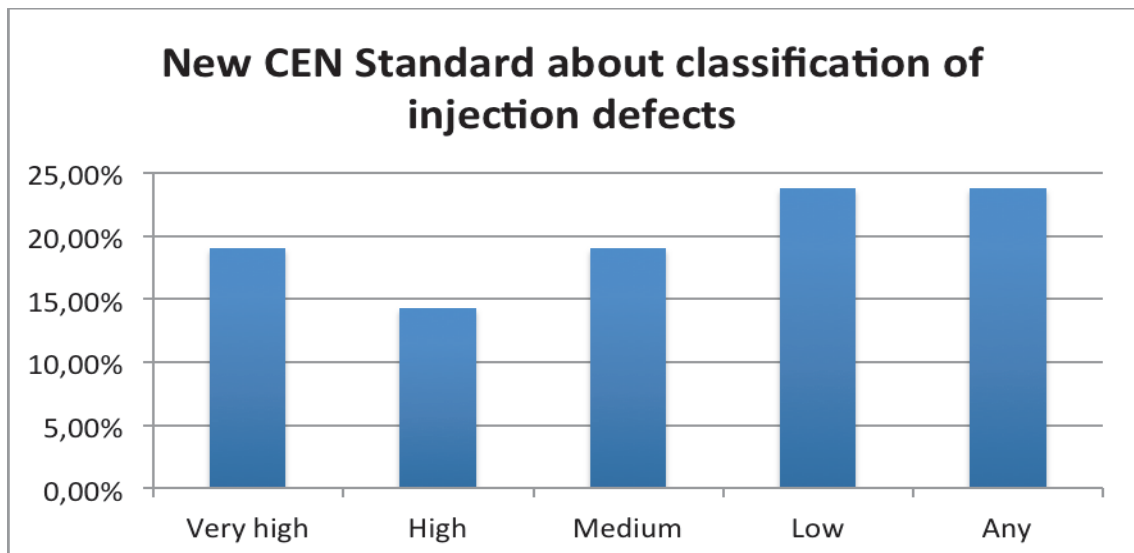


Grafico 7: Necessità di nuove normative CEN sulla classificazione dei difetti

(Need for new CEN Standard about Classification of injection defects)

5.2. Necessità di avere nuove normative riguardanti la classificazione dei materiali plastici usati nello stampaggio ad iniezione, le proprietà meccaniche dei componenti stampati e il design dei componenti stampati

Dai Grafici 8, 9 e 10 si può notare che si ripresenta la stessa situazione descritta dal Grafico 7. Infatti, si nota che circa il 50% delle risposte sono concentrate in una bassa o molto bassa necessità di avere delle nuove normative; l'altro 50% delle risposte si distribuisce in maniera abbastanza omogenea nell'esprimere un interesse maggiore.

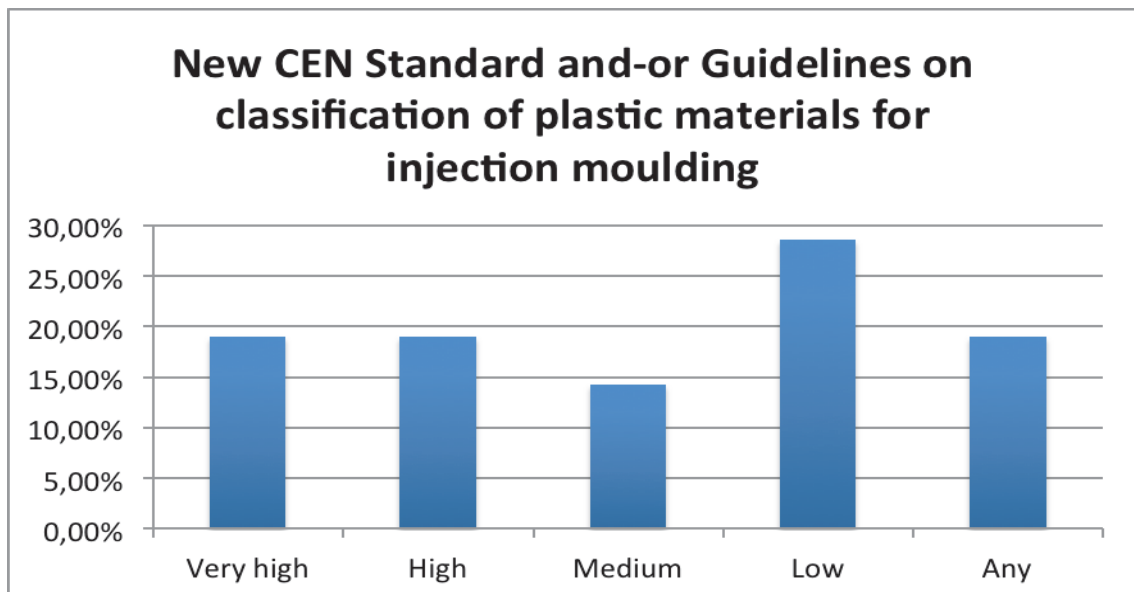


Grafico 8: Necessità di nuove normative sulla classificazione dei materiali plastici

(Need for new CEN Standard and-or Guidelines on classification of plastic materials for injection moulding)

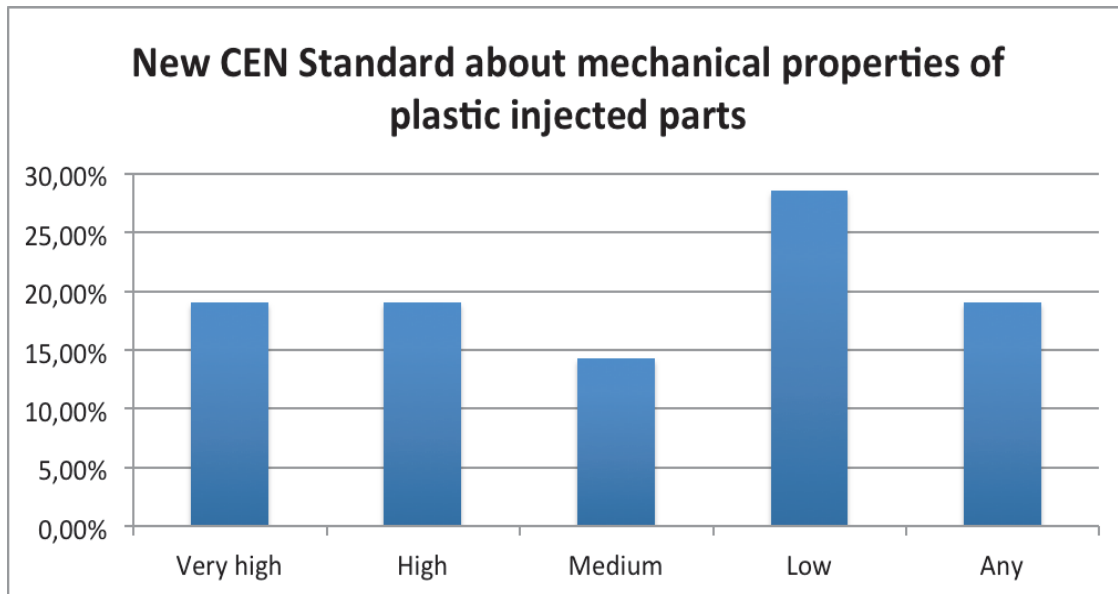


Grafico 9: Necessità di nuove normative sulle proprietà meccaniche dei componenti stampati (Need for new CEN Standard about mechanical properties of plastic injected parts)

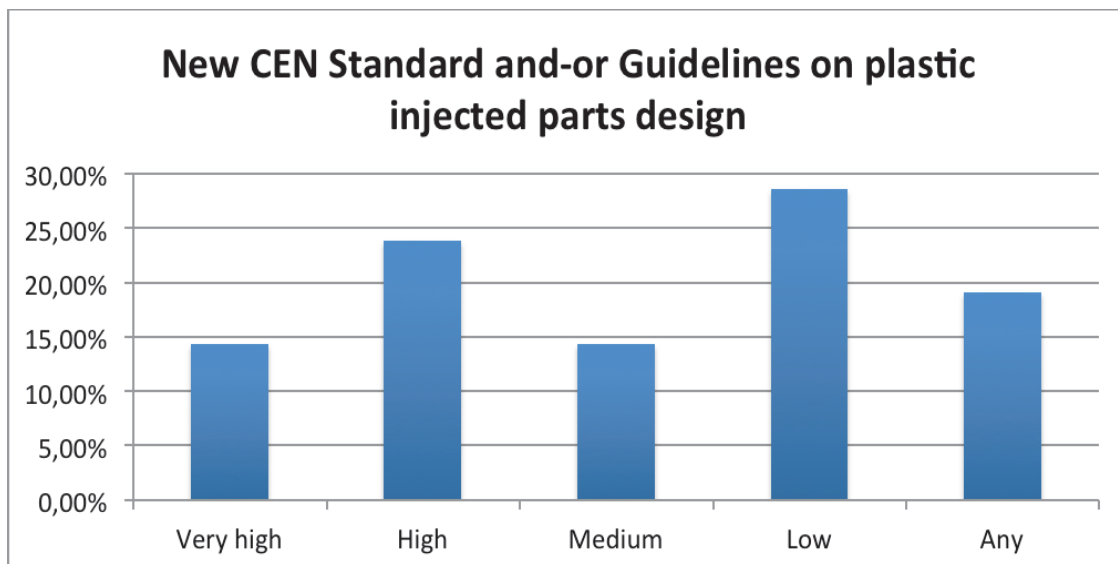


Grafico 10: Necessità di nuove normative sul design dei componenti stampati ad iniezione. (Need for new CEN Standard and-or Guidelines on plastic injected parts design)

6. L'analisi dei difetti

In questa sezione si passeranno in rassegna i più frequenti difetti che compaiono nei pezzi stampati ad iniezione e si cercherà di capire quali sono i metodi più usati dalle aziende per individuarli.

Con la seguente indagine si vuole capire inoltre in che modo, e con quale intensità, le aziende praticano il controllo della qualità nella loro produzione. Infatti, si è chiesto di specificare per ciascun metodo di controllo, se esso viene usato: nel 100% della produzione, su base statistica, se non è usato o non è applicabile.

6.1. Vuoti (Voids)

I vuoti sono delle piccole bolle o cavità all'interno del componente stampato o sulla sua superficie dovuti alla presenza di aria o gas che rimangono intrappolati all'interno della cavità dello stampo. I vuoti incidono sulle proprietà meccaniche e sulla resistenza del componente stampato.

Come si può osservare dal Grafico 11, il metodo più utilizzato, dalle aziende intervistate per controllare questo difetto, è il controllo visivo. Il 33% delle aziende pratica questo controllo nel 100% della produzione e il 42% solo su base statistica, osservando un numero prestabilito di campioni stampati.

Il secondo metodo più usato per controllare il difetto consiste nell'effettuare delle prove distruttive sul pezzo, andando a tagliare il componente nelle sue parti dove i gas potrebbero rimanere intrappolati, e osservando se sono presenti le cavità. Il 43% delle aziende intervistate applicano test distruttivi sul componente stampato, su base statistica.

Mentre, il 28,5% delle aziende ricorrono a controlli della densità (attraverso il metodo di Archimede, oppure andando direttamente a pesare il componente) su base statistica. Il 5% effettua prove di tenuta stagna del componente sul 100% della produzione, e il 14,2% su base statistica.

Il metodo di controllo che non risulta essere usato è il test con gli ultrasuoni.

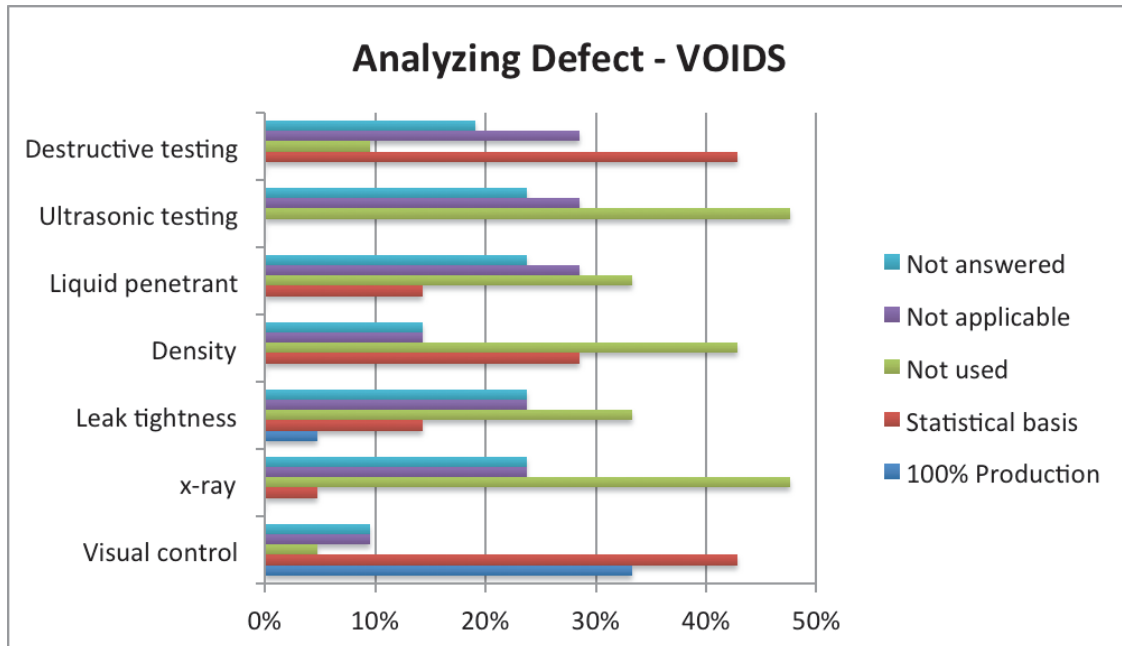


Grafico 11: Metodi per controllare la presenza di vuoti, usati dalle aziende che hanno risposto al Questionario
 (Methods to control voids defects used by Companies which answered the MUSIC Questionnaire)

6.2. Ritiri o Contrazioni volumetriche (Shrinkage/Sinkmarks)

Quando il materiale plastico passa dalle temperature di processo a quella ambiente si verifica un ritiro volumetrico del componente, che può dar luogo a dei difetti estetici non voluti. L'esempio più comune di questo fenomeno è quando compaiono delle depressioni sulla superficie del pezzo sul lato opposto di una nervatura.

Essendo un difetto principalmente estetico che, nella maggior parte dei casi, non compromette le caratteristiche strutturali e funzionali del componente, il metodo di controllo più usato è quello visivo con il 33,3% delle aziende che lo applicano sul 100% della produzione e il 61,9% su base statistica, come si può vedere dal Grafico 12.

Altri metodi che vengono utilizzati sono il controllo della densità per il 4,7% relativo al 100% della produzione e per il 19% su base statistica; e i test distruttivi per il 19% delle aziende che li applicano su base statistica.

I test con ultrasuoni, liquidi penetranti e ai raggi X non sono usati o non sono applicabili.

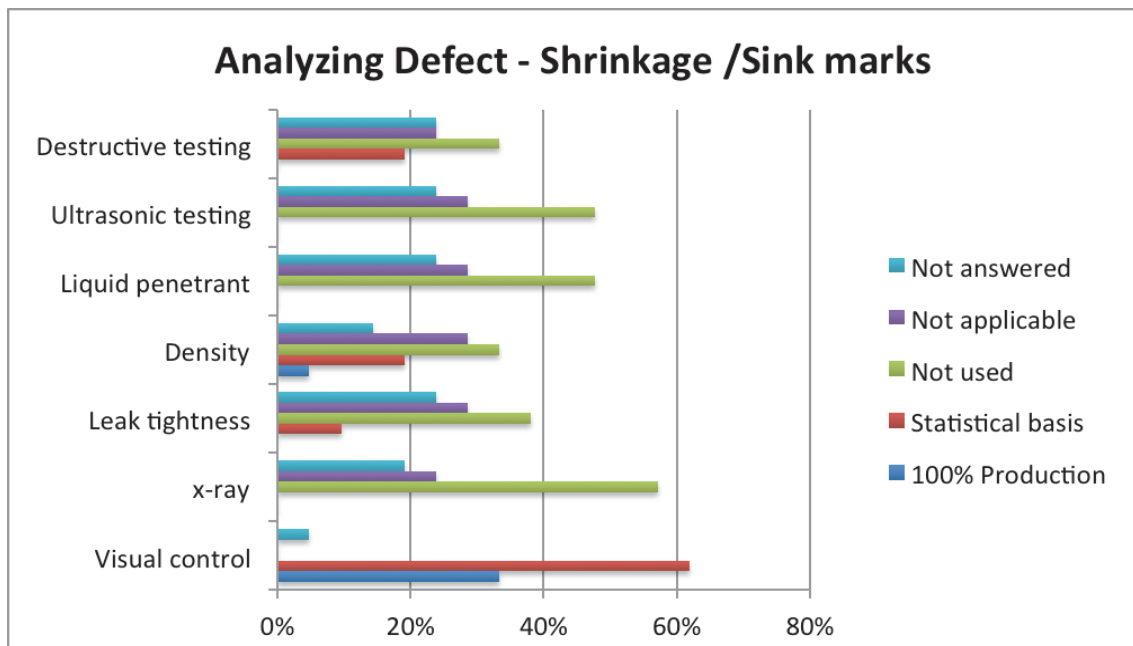


Grafico 12:Metodi per controllare la presenza di ritiri, usati dalle aziende che hanno risposto al Questionario

(Methods to control Shrinkage/Sinkmarksdefectsused by Companies whichanswered the MUSIC Questionnaire)

6.3. Cricche (Cracks)

Le cricche sono delle crepe che, in genere, appaiono nel componente stampato dopo un lungo tempo di utilizzo, oppure possono presentarsi già in fase di estrazione; in quest'ultimo caso sono dovute a basse temperature dentro lo stampo durante il processo di iniezione e solidificazione.

Ancora una volta, il metodo di controllo più usato dalle aziende è il controllo visivo con una percentuale di 38,1% sul 100% della produzione e di 42,8% su base statistica, dati prevedibili in quanto questo tipo di difetto si vede chiaramente ad occhio nudo nella maggior parte delle situazioni.

Dal Grafico 13, si può notare che vengono usati anche test distruttivi del pezzo con una percentuale del 38,1% su base statistica e, per i casi più particolari in cui non è facile distinguere le cricche ad occhio nudo, test con liquidi penetranti per il 19% su base statistica. Il test con ultrasuoni non risulta utilizzato.

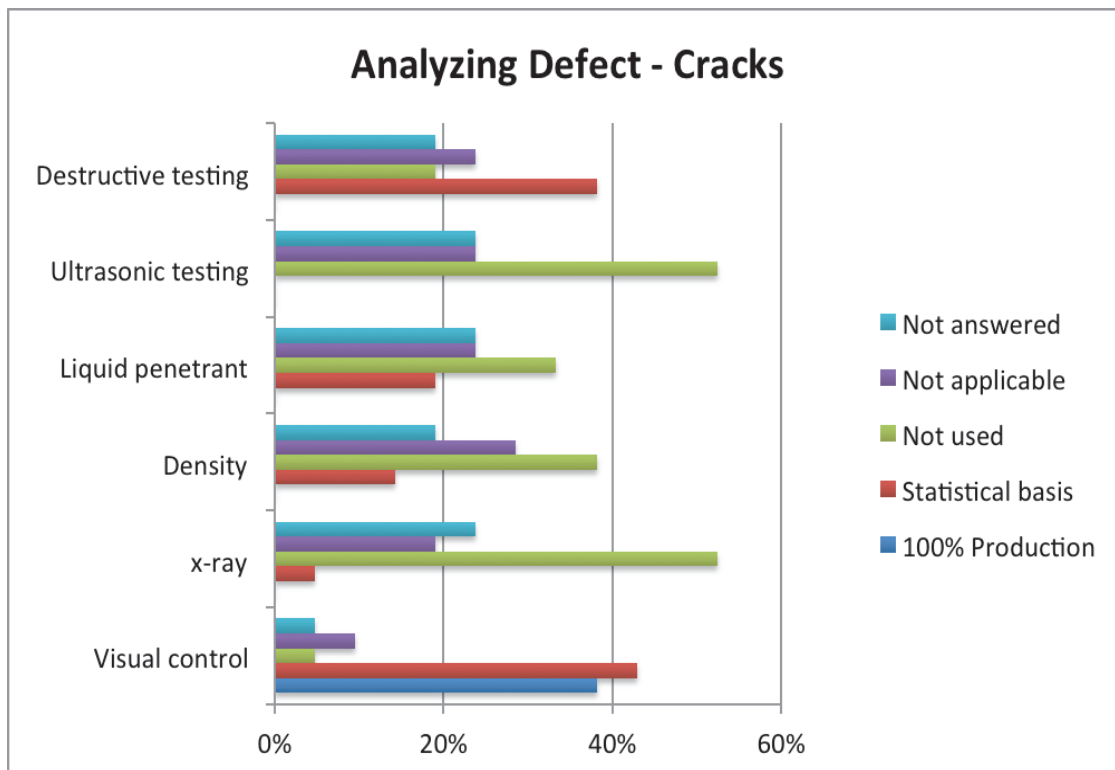


Grafico 13:Metodi per controllare la presenza di cricche, usati dalle aziende che hanno risposto al Questionario

(Methods to control cracks defects used by Companies which answered the MUSIC Questionnaire)

6.4. Bruciature (Burns)

Le bruciature sono dei difetti che appaiono sulla superficie del componente quando dei gas inclusi nello stampo, durante il processo di iniezione, non riescono a venire sfiatati all'esterno. Le alte temperature e l'aumento di pressione inducono un principio di combustione dei gas intrappolati, lasciando segni di colore scuro o degradando la superficie del pezzo.

Come si nota dal Grafico 14, anche in questo caso, il modo più efficace per individuare questo tipo di difetti è il controllo visivo. Gli altri metodi sono poco o per niente utilizzati.

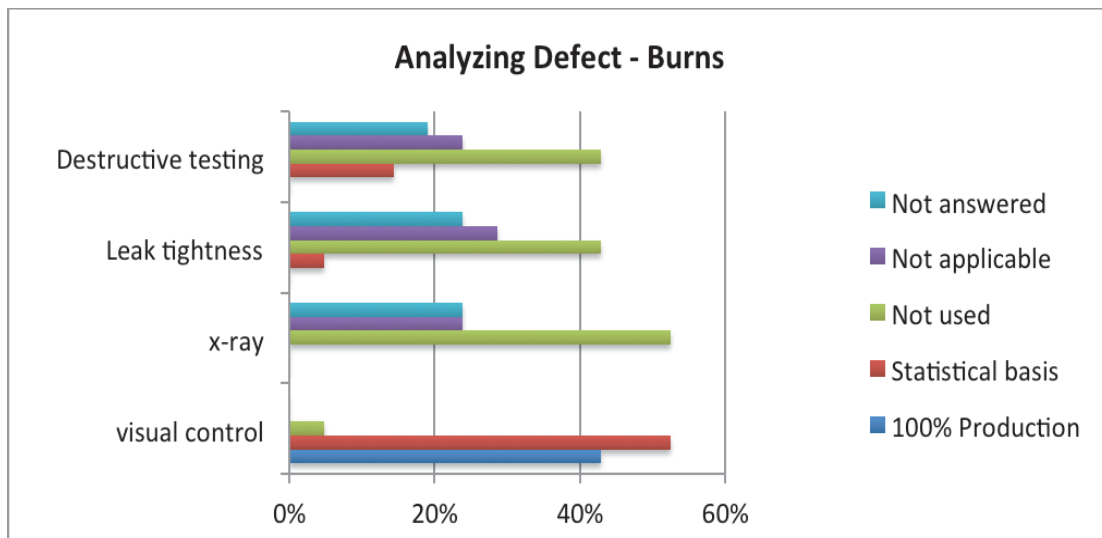


Grafico 14:Metodi per controllare la presenza di bruciature, usati dalle aziende che hanno risposto al Questionario

(Methods to control burns defects used by Companies which answered the MUSIC Questionnaire)

6.5. Distorsioni o deformazioni (Warping)

Il componente stampato soggetto a distorsioni assume una forma diversa da quella di progetto. Questo fenomeno si verifica quando c'è una differenza di ritiro volumetrico tra diverse zone del pezzo, e la causa principale è una velocità di raffreddamento non omogenea del componente stesso in fase di solidificazione dentro lo stampo.

Il metodo più usato per monitorare questo difetto è il controllo dimensionale per il 76,1% su base statistica, e viene effettuato nella maggior parte dei casi servendosi di dime o maschere. Anche il controllo visivo copre una buona percentuale di risposte perché spesso la distorsione del pezzo può essere facilmente percepita ad occhio nudo.

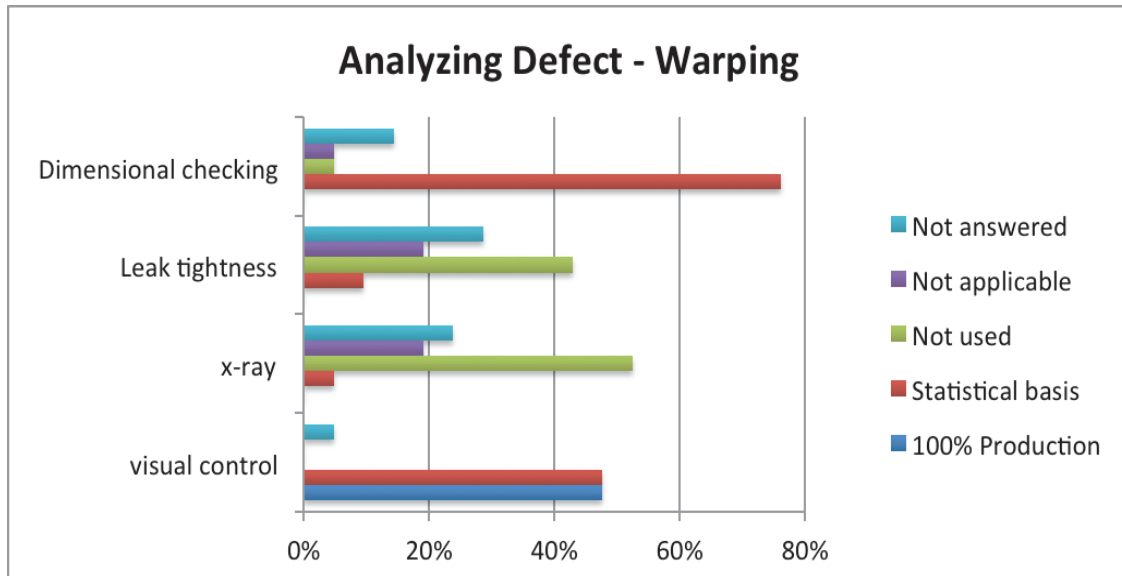


Grafico 15:Metodi per controllare la presenza di distorsioni, usati dalle aziende che hanno risposto al Questionario

(Methods to control warping defects used by Companies which answered the MUSIC Questionnaire)

6.6. Difetti di riempimento (Filling defects)

La categoria dei difetti di riempimento comprende tutte quelle anomalie che sono dovute ad un non ottimale scorrimento del materiale plastico fuso all'interno della cavità.

I più comuni sono: jetting, short shot e weldlines.

I jetting di solito si trovano in corrispondenza del punto di iniezione e si presentano sulla superficie del pezzo con delle linee a forma di "cordone ondulato", sono dovuti a brusche variazioni di spessore che cambiano il regime del fuso da laminare a turbolento.

Gli short shot sono un riempimento non completo della cavità, possono essere dovuti a delle particolari geometrie del pezzo oppure al raffreddamento precoce del fuso in fase di iniezione.

Quando due fronti di flusso di materiale fuso si incontrano, si uniscono in maniera opportuna se le temperature sono adeguate, se ciò non accade si creano le weldlines cioè delle linee, appunto, dove i due fronti di flusso non si sono uniti correttamente. Oltre ad essere un difetto estetico sono anche un difetto strutturale perché interrompono la continuità del materiale.

Come mostra il Grafico 16, il metodo di controllo più usato è quello visivo per il 47,6% di risposte sia sul 100% della produzione che su base statistica.

Il 28,5% delle aziende effettua prove distruttive sul pezzo su base statistica, e il 14,3% pratica prove di tenuta stagna e controlli della densità su base statistica. Infine, una piccola percentuale, 4,7%, effettua test con liquidi penetranti e test ai raggi X per monitorare i difetti di riempimento.

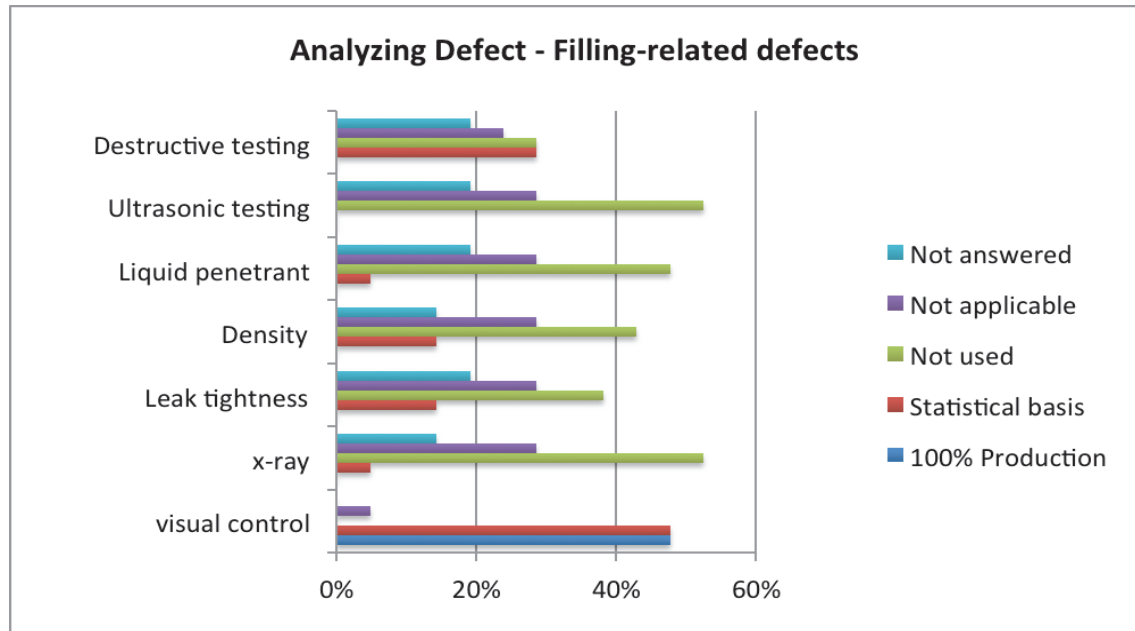


Grafico 16: Metodi per controllare la presenza di difetti di riempimento, usati dalle aziende che hanno risposto al Questionario
(Methods to control filling-related defects used by Companies which answered the MUSIC Questionnaire)

6.7. Interazioni tra stampo e componente (Plastic/die interaction)

Questi difetti comprendono tutte le problematiche che possono nascere in fase di estrazione del componente stampato.

Il difetto più comune di questa tipologia, gli ejection marks, sono dei difetti che si presentano in superficie e si verificano quando il pezzo fatica a staccarsi completamente dallo stampo, a causa di una forza di estrazione troppo elevata o per un tempo di raffreddamento troppo breve.

Dal Grafico 17, si può notare che le aziende intervistate usano quasi unicamente il controllo visivo per monitorare questa famiglia di difetti (28,5% sul 100% della produzione e 61,9% su base statistica), ad eccezione di una percentuale del 9,5% su base statistica relativa a test distruttivi e 4,7% su base statistica per le prove a tenuta stagna.

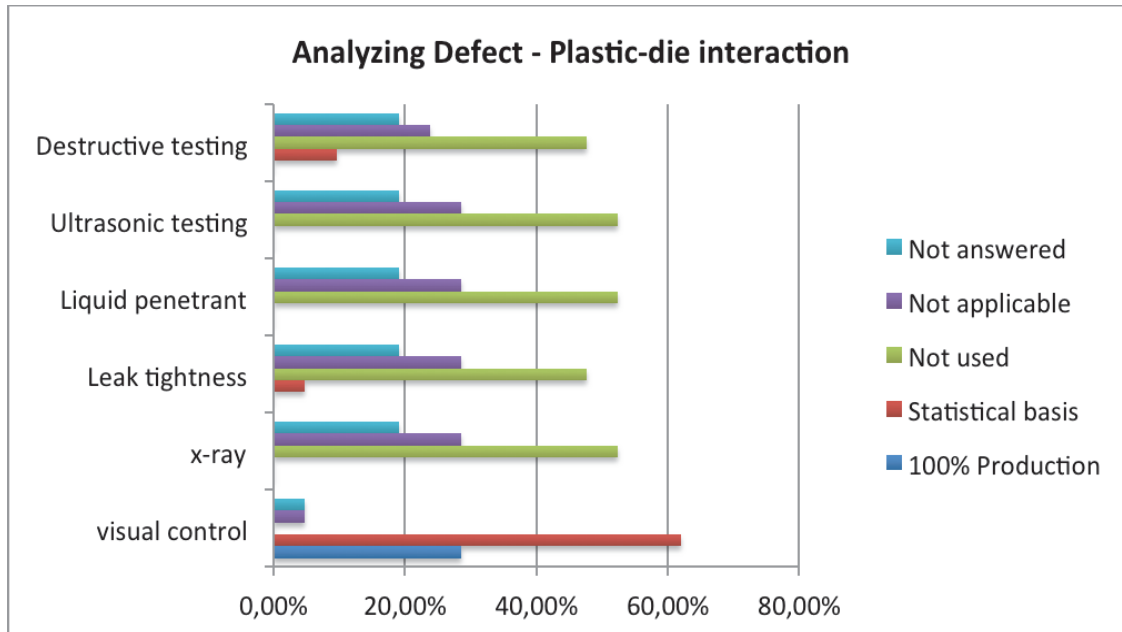


Grafico 17:Metodi per controllare la presenza di interazioni tra stampo e componente, usati dalle aziende che hanno risposto al Questionario (Methodsto control plastic-die interactionused by Companies whichanswered the MUSIC Questionnaire)

6.8. Considerazioni conclusive

Come si può notare dai grafici soprastanti, i metodi di controllo dei difetti maggiormente usati dalle aziende che hanno compilato il Questionario MUSIC sono: il controllo visivo, i test distruttivi del componente e il controllo della densità.

Com'è stato detto nell'introduzione, lo stampaggio ad iniezione di materie plastiche è caratterizzato da un elevato numero di variabili di processo che causano svariate tipologie di difetti. Inoltre, essendoci una scarsa sincronizzazione delle unità di controllo di processo, le aziende del settore sono costrette a progettare e produrre ogni nuovo componente a sé, in quanto le problematiche che si presentano sono spesso diverse fra loro.

Le aziende sono portate quindi, ad utilizzare i metodi di controllo più semplici ed economici che, allo stesso tempo, sono in grado di individuare più tipologie di difetti diverse; mentre ricorrono ai metodi più tecnologici solo in particolari situazioni, dove il difetto può essere previsto, oppure quando l'applicazione del componente impone che non debba esserci.

Nel Grafico 18, si può notare con che frequenza i difetti citati sono presenti nella produzione delle aziende intervistate.

Si è chiesto di quantificare la presenza dello specifico difetto rispetto alla produzione totale, stabilendo che, se il difetto non è mai o quasi mai presente significa che la sua

presenza può essere quantificata con l'intervallo 0-10% rispetto a tutta la produzione; se il difetto si presenta occasionalmente, il relativo intervallo è 10-20% di tutta la produzione e se si presenta frequentemente è 20-30%.

I difetti che si presentano maggiormente sono i ritiri: per il 23,8% delle aziende questo difetto è presente in un intervallo dal 20% al 30% della propria produzione. Le cricche sono il difetto con frequenza minore, tenendo conto che il 47,6% delle aziende sostiene che non si presentano mai o molto raramente nella loro produzione e il 52,4% delle aziende ritengono che il difetto in questione si presenta occasionalmente.

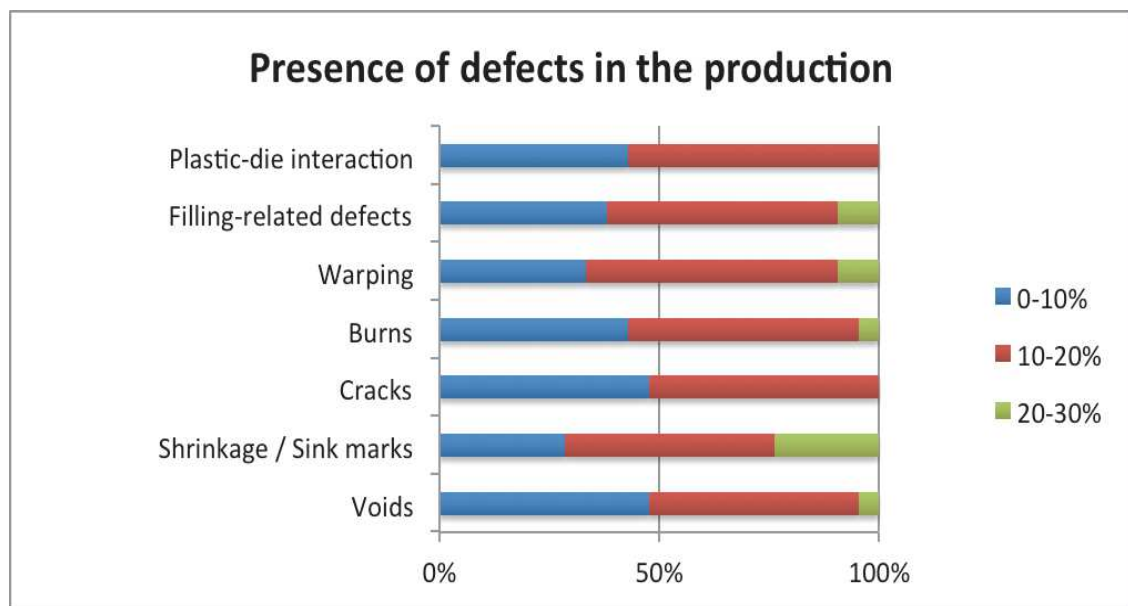


Grafico 18: Presenza di difetti nella produzione delle aziende che hanno risposto al Questionario
(Presence of defects in the production of the Companies which answered the MUSIC Questionnaire)

7. Il ruolo della simulazione numerica

I software di simulazione numerica sono degli strumenti molto diffusi e ben consolidati che consentono alle aziende di convalidare e ottimizzare i progetti di parti in plastica e stampi a iniezione, prevedendo con accuratezza il loro processo di stampaggio a iniezione; nonostante ciò, spesso le aziende che li usano non sono consapevoli di quanto questi strumenti siano in grado di collegare le variabili di processo con la qualità degli articoli prodotti.

In questa sezione del Questionario si vuole capire quante aziende utilizzano strumenti di simulazione numerica e come questi strumenti vengono utilizzati nelle fasi di progettazione.

Il Grafico 19, illustra le percentuali di utilizzo o meno della simulazione numerica da parte delle aziende intervistate.

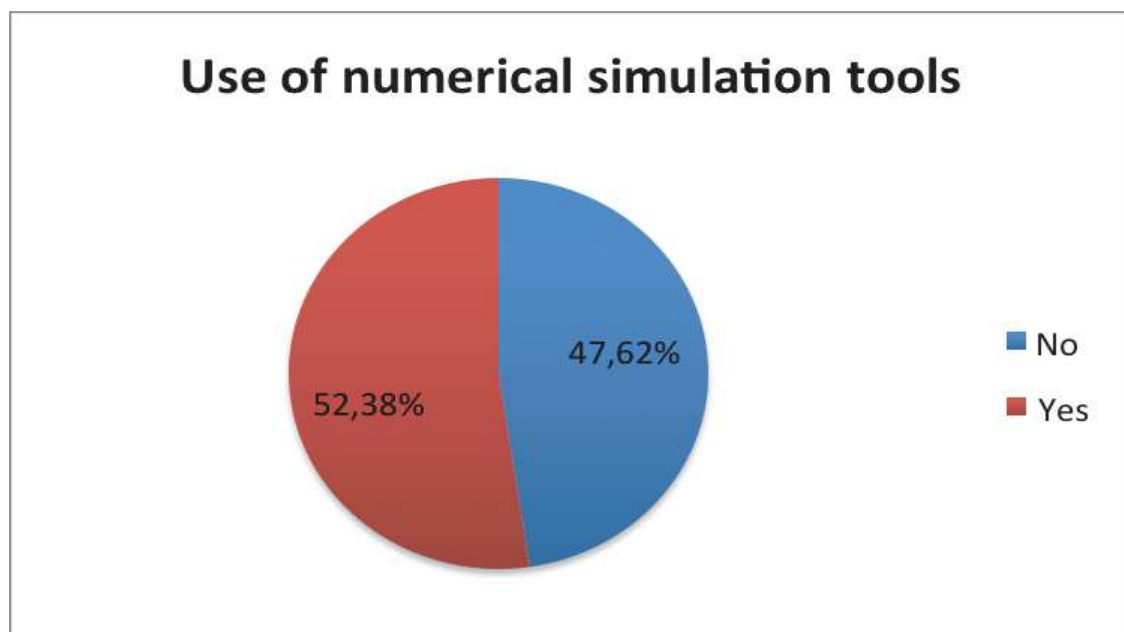


Grafico 19: Uso della simulazione numerica da parte delle aziende che hanno risposto al Questionario
(Use of numerical simulation tools by the Companies which answered the MUSIC Questionnaire)

Nel Questionario MUSIC si chiedeva alle aziende qual era la principale applicazione a cui gli strumenti di simulazione sono rivolti, le opzioni di scelta erano:

- sviluppo ed ottimizzazione del prodotto;
- sviluppo ed ottimizzazione del processo;
- controllo qualità.

Tutte le aziende che utilizzano strumenti di simulazione, hanno risposto che la principale applicazione a cui questi sono dedicati è lo sviluppo e l'ottimizzazione del prodotto.

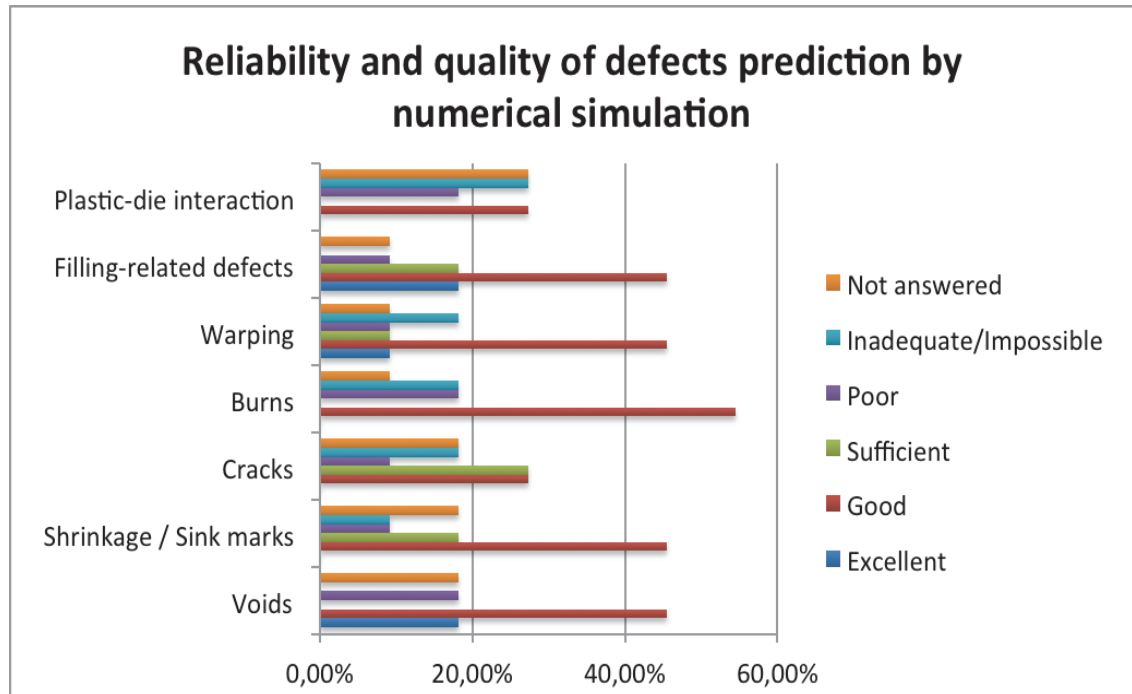


Grafico 20: Valutazione degli strumenti di simulazione numerica da parte delle aziende che hanno risposto al Questionario (Evaluation of the numericalsimulationtools by the Companies whichanswered the MUSIC Questionnaire)

Il Grafico 20, illustra il giudizio delle aziende che hanno risposto al Questionario MUSIC riguardo l'affidabilità e la qualità degli strumenti di simulazione numerica sulla previsione dei difetti.

Si può subito notare che tutti i difetti possono essere previsti in maniera soddisfacente, infatti, almeno il 30% delle aziende hanno attribuito un giudizio buono di previsione per ciascun tipo di difetto.

Il 18,2% delle aziende ritengono di ottenere risultati eccellenti nella previsione dei vuoti e dei difetti dovuti al riempimento delle cavità servendosi della simulazione numerica. Quelli dovuti all'interazione tra componente stampato e stampo risultano essere quelli più critici da prevedere: il 18,2% delle aziende considerano bassa la qualità di previsione di questo tipo di difetti e il 27,3% delle aziende la considerano addirittura insufficiente ed inadeguata.

Il difetto più facilmente prevedibile, attraverso software di simulazione numerica, è quello di riempimento per il 18,2% delle aziende con una previsione eccellente e sufficiente, mentre, il 45,5% che la ritengono buona.

CAPITOLO TERZO

Studio dei difetti nello stampaggio ad iniezione di materie plastiche

Introduzione

Questa trattazione è volta a descrivere in modo dettagliato i principali difetti che compaiono nel processo di stampaggio ad iniezione di materie plastiche. Un prodotto, in funzione dell'applicazione che dovrà ricoprire, deve garantire dei precisi requisiti per essere efficiente e funzionale.

Esaminando le proprietà che devono essere assicurate, perché il prodotto sia accettabile, si può definire in modo preciso un range di difetti che non devono essere presenti nel manufatto e, di conseguenza, anche quelli che possono essere accettati.

Ad esempio, se un componente deve resistere a degli stress meccanici in esercizio non sono ammessi vuoti o cricche al suo interno, in quanto potrebbero penalizzare la resistenza meccanica e la vita a fatica del componente stesso.

Le principali proprietà che sono richieste sono: proprietà meccaniche, il peso, la forma e le dimensioni e l'aspetto superficiale.

Il vasto numero di variabili, che caratterizzano i processi di formatura dei materiali termoplastici, è la causa delle anomalie che si presentano nei prodotti stampati, le quali hanno un impatto diretto sulla qualità del prodotto finale; inoltre, esso implica una scarsa sincronizzazione delle unità di controllo di processo.

Questi sono i motivi che spiegano sia l'ingente quantità di difetti che si presentano nelle operazioni di stampaggio, ma anche lo spreco di energia che le aziende del settore sono costrette ad affrontare.

Per comprendere in che modo un difetto possa influenzare le proprietà del componente stampato, nella seguente trattazione, si cercherà di elencare i principali requisiti che il progettista considererà prima di progettare il componente e la scelta del tipo di materiale.

Si passerà poi ad elencare le principali variabili che caratterizzano il processo di stampaggio ad iniezione, per comprendere la natura del difetto e come si può evitare.

Infine, si andranno a catalogare i principali tipi di difetti in base alla loro morfologia e localizzazione nel componente stampato, accompagnati da una descrizione specifica sulla

natura, come evitarli, e a che variabile/i sono legati.

1. Descrizione difetti e catalogazione

In seguito viene proposta una catalogazione dei difetti riguardanti i componenti plastici stampati ad iniezione. La classificazione viene fatta suddividendoli in tre macro aree, in base alla loro posizione nel pezzo stampato e morfologia: difetti interni (A), difetti superficiali (B) e difetti legati alla geometria del pezzo (C).

Per ogni tipo vengono definiti tre livelli: il primo indica l'area che si sta considerando (A, B o C), il secondo racchiude le famiglie di difetti appartenenti all'area, il terzo indica lo specifico difetto appartenente ad una determinata famiglia e ad una specifica area. Aumentando il livello si aumenta il grado di precisione nell'individuazione di un determinato difetto.

Le Tabelle 1, 2 e 3 illustrano la catalogazione descritta, si può notare che nel secondo livello sono elencate le famiglie di difetti, le quali racchiudono tutti i difetti che sono generati dal mancato controllo di una precisa variabile di processo.

1 st Level	2 nd Level		3 rd Level	
A Internal defects	A1	Shrinkage defects	A1.1	Shrinkage
	A2	Gas-related defects	A2.1	Air entrapment porosity
			A2.2	Humidity porosity
	A3	Filling-related defects	A3.1	Weld-lines
			A3.2	Flow lines
			A3.3	Jetting
	A4	Thermal contraction defects	A4.1	Cracks

Tabella 1: Classificazione dei difetti interni (A)

1 st Level	2 nd Level		3 rd Level	
B Surface defects	B1	Shrinkage defects	B1.1	Sink
	B2	Gas-related defects	B2.1	Blister
			B2.2	Gas burn / Flames
	B3	Filling-related defects	B3.1	Weld-lines
			B3.2	Flow lines
			B3.3	Jetting
	B4	Aesthetic defects	B4.1	Delamination
			B4.2	Glossiness
	B5	Undesired phases	B5.1	Embedded contaminants
	B6	Thermal contraction defects	B6.1	Cracks
B7	Plastic-die interaction defects	B7.1	Erosion	
		B7.2	Thermal fatigue	
		B7.3	Ejection mark	
		B7.4	Corrosion of the die	

Tabella 2: Classificazione dei difetti superficiali (B)

1 st Level	2 nd Level		3 rd Level	
C Geometrical defects	C1	Lack of material	C1.1	Incomplete filling
	C2	Excess of material	C2.1	Flash
	C3	Out of tolerance	C3.1	Warping

Tabella 3: Classificazione dei difetti legati alla geometria del componente (C)

1.1. Vuoti (Voids)

I vuoti sono delle bolle d'aria o gas che rimangono intrappolate all'interno del componente stampato o nella superficie, possono essere dovuti da una temperatura di iniezione troppo alta, alla velocità di iniezione troppo alta, alla pressione di mantenimento in fase di impaccamento troppo bassa, alla presenza di aria intrappolata nello stampo che non può defluire attraverso il piano di separazione o gli estrattori, alla presenza di eccessiva umidità residua nel granulato o un raffreddamento non uniforme dello stampo.

Per evitare questi fenomeni è consigliato:

- aumentare il tempo di iniezione;
- aumentare la post-pressione entro valori ammissibili;
- migliorare il sistema di sfiati dello stampo in particolare in corrispondenza della congiunzione dei flussi;

- correggere l'andamento del fronte di scorrimento, in presenza di incavi (tappi, scritte).



Fig. 1: esempio di vuoto d'aria inglobato nel componente stampato

1.2. Ritiri o contrazioni volumetriche (Shrinkage/Sink marks)

Sono delle depressioni che si formano sulla superficie del pezzo, possono assumere diverse forme e sono dovute al ritiro del materiale in fase di solidificazione.

La causa principale di questo fenomeno è una compensazione inadeguata della contrazione volumetrica del materiale in fase di raffreddamento. Ad esempio, è molto facile trovare delle depressioni sul lato opposto di una nervatura.

Spesso i ritiri si verificano nelle zone del componente che hanno spessore minore perché, una volta riempite queste, iniziano a raffreddarsi e quindi a contrarsi volumetricamente prima rispetto alle zone con spessore maggiore; quando il manufatto si sarà solidificato, avrà subito una contrazione disomogenea.

I metodi per evitare i ritiri sul componente sono:

- prolungare e o aumentare il tempo della pressione di mantenimento;
- abbassare la temperatura del fuso;
- variare la temperatura dello stampo.

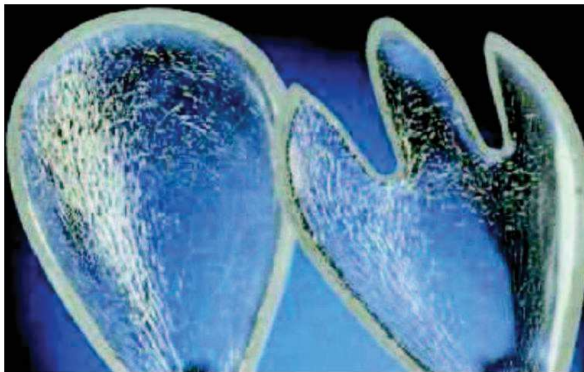


Rechupes (hundimientos, sink marks).

Fig. 2: esempi di ritiri su componenti stampati

1.3. Cricche (Cracks)

Sono dei difetti che si presentano sotto forma di crepe ramificate, possono essere dovute allo stress a cui il manufatto viene sottoposto in esercizio oppure nascere in fase di formatura del materiale plastico a causa di temperature dello stampo troppo basse.



Grietas.

Fig. 3: esempio di cricche su componenti stampati

1.4 Bruciature (Burns)

Si presentano come macchie nere sulla superficie del componente, sono dovute alla presenza di gas all'interno dello stampo che non vengono sfiatati correttamente. Assumono un colorito nero perché, a causa delle alte pressioni e temperature, i gas intrappolati subiscono un principio di combustione che va a degradare il materiale

plastico in fase di plasticizzazione.

Le variabili di processo che causano questo difetto sono: temperatura del fuso troppo alta, tempo di permanenza del fuso troppo lungo, velocità di iniezione troppo elevata, sfavorevole andamento del fuso all'interno della cavità e possono essere dovute anche all'eccessiva umidità presente nel granulato.

Per evitare le bruciature si consiglia di:

- controllare la temperatura del fuso e diminuirla;
- abbreviare il tempo del ciclo;
- allungare il tempo di iniezione;
- modificare lo stampo in modo da migliorare il sistema di evacuazione dei gas;
- controllare la fase di essiccazione del granulato.



Fig. 4: esempio di bruciatura in un componente stampato

1.5. Distorsioni o deformazioni (Warping)

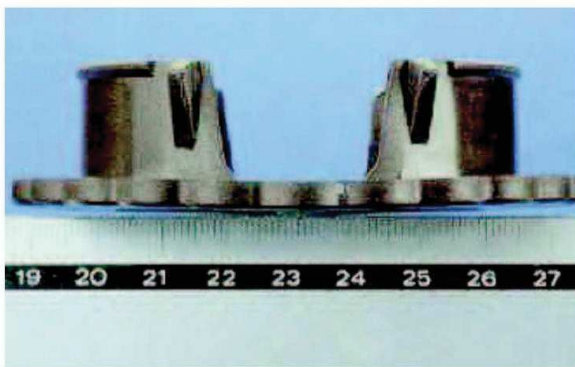
Quando il manufatto non assume la forma di progetto significa che ha subito delle distorsioni. Nella maggior parte dei casi questo difetto compare quando alcune parti del componente si raffreddano più velocemente di altre, ad esempio perché hanno uno spessore minore, e quindi si hanno ritiri volumetrici diversi nello stesso pezzo.

In particolare, le cause che portano alla formazione di parti distorte sono: differenza di spessore e di ritiro troppo elevata, temperatura dello stampo non conforme e punto di commutazione dalla pressione di iniezione a quella di mantenimento non conforme. Se il componente è caricato con fibre di vetro, un orientamento trasversale e longitudinale non consono può essere una possibile causa.

Per evitare distorsioni è consigliato:

- progettare il manufatto tenendo presenti le proprietà fisiche della materia plastica che si va a formare;
- modificare ed ottimizzare il circuito di raffreddamento dello stampo;
- spostare il punto di commutazione dalla pressione di iniezione a quella di mantenimento.

Nel caso di materiali caricati con fibre di vetro, per evitare distorsioni, si cerca di posizionare il punto di iniezione in modo che l'orientamento delle fibre sia equilibrato su tutto il manufatto.



Pandeamiento.

Fig. 5: esempio di componente distorto

1.6. Difetti di riempimento (Filling related defects)

Questa famiglia di difetti comprende tutte quelle anomalie che sono dovute allo scorrimento del fuso all'interno della cavità dello stampo. In particolare verranno trattati: i jetting, le weldlines, il riempimento incompleto, le bave e le flow lines.

I jetting si presentano come delle pieghe o cordoni sulla superficie del pezzo, non coperte dal flusso che segue. Sono causate da brusche variazioni di spessore nel manufatto che comportano cambiamenti di regime, da laminare a turbolento, del fuso; possono essere causate anche da un non ottimale rapporto tra temperatura di iniezione e velocità di iniezione.

Per evitare questo tipo di difetto si consiglia di:

- compensare gli spessori;
- aumentare la temperatura del fuso e dello stampo in modo da facilitare lo scorrimento del materiale;
- abbreviare il tempo di iniezione e migliorare gli sfiati.



Gusanillo (jetting).

Fig. 6: esempio di jetting in un componente stampato

Le weldlines si creano quando due o più fronti di flusso si incontrano e si uniscono in modo non completo. E' sia un difetto estetico, che funzionale in quanto interrompono la continuità del materiale e non dovrebbero essere presenti in zone del pezzo sollecitate dall'esercizio. La variazione di variabili di processo come la temperatura del fuso, la temperatura dello stampo e la velocità di iniezione possono evitare questo fenomeno. Le aziende del settore utilizzano software di simulazione per prevedere le eventuali weldlines.

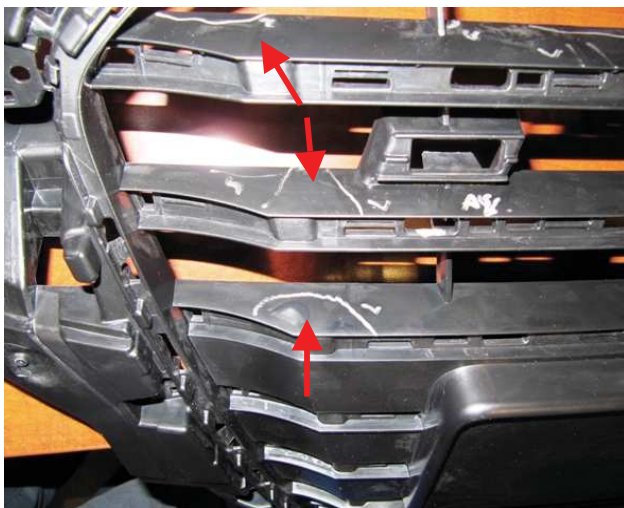


Fig. 7: esempio di weldlines in un componente stampato.

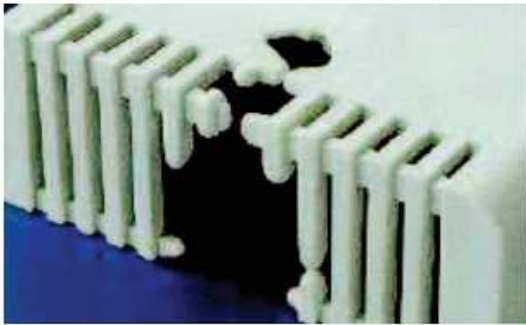
Il riempimento incompleto, chiamato short shot, è un difetto che consiste nella stampata di un componente non completamente formato. Il riempimento solitamente rimane incompleto in corrispondenza dell'estremità del percorso di scorrimento oppure nei punti con pareti sottili.

E' dovuto alle caratteristiche di scorrimento del materiale plastico non sufficienti, alla

velocità di iniezione troppo bassa, a spessori del manufatto troppo piccoli o un insufficiente sfiato dello stampo.

Per evitare questo difetto può aiutare:

- aumentare la temperatura del fuso e dello stampo, si evita che il fuso si solidifichi prima che la cavità sia stata riempita;
- diminuire il tempo di iniezione e/o aumentare la pressione di iniezione;
- aumentare gli spessori del manufatto;
- ottimizzare gli sfiati dello stampo.



Falta de llenado.

Fig. 8: esempio di shortshot in un componente stampato

Le bave sono delle sottili pellicole di materiale solidificato che tendono a formarsi in corrispondenza di fessure dello stampo, per esempio sul piano di separazione.

Le possibili cause di questo difetto sono: pressione interna dello stampo troppo elevata, superficie di separazione dello stampo danneggiata, forza di chiusura dello stampo non sufficiente e temperatura del fuso troppo bassa.

Si consiglia di:

- prolungare un po' il tempo di iniezione e ridurre la pressione di mantenimento;
- ritoccare lo stampo in corrispondenza delle superfici di separazione o i contorni;
- aumentare la forza di chiusura;
- aumentare la temperatura del fuso.



Fig. 9: esempio di bava in un componente stampato

Le linee di flusso: dette anche flow lines, sono delle striature che rimangono sulla superficie del componente stampato e che hanno la stessa direzione del flusso del fuso.

Sono causate dalla presenza di una percentuale troppo elevata di umidità nel fuso e quindi dalla troppa umidità residua nel granulato. Per evitare questo fenomeno bisogna controllare l'essiccatore e il processo di essiccamento, ed eventualmente installare un deumidificatore.



Fig. 10: esempio di flow lines in un componente stampato

1.7. Segni dovuti all'estrazione (Ejection marks)

Quando il manufatto non si stacca facilmente dallo stampo o viene deformato, rimangono sulla superficie dei segni dovuti all'azione dei perni degli estrattori, che possono addirittura penetrare il manufatto. Le cause che generano questo fenomeno sono l'estrazione troppo anticipata, oppure lo stampo è troppo sovraccaricato, i sotto-squadri sono troppo pronunciati o la lucidatura dello stampo è insufficiente.

Per risolvere il problema si suggerisce di:

- prolungare il tempo di ciclo;
- allungare il tempo di iniezione e ridurre la pressione di mantenimento;
- eliminare i sotto-squadri;
- rettificare le superfici dello stampo e lucidare in direzione longitudinale.

1.8. Il manufatto rimane incollato allo stampo

Quando il componente rimane incollato allo stampo, si presentano in superficie macchie opache, in genere vicino al punto di colata.

Le cause che portano alla formazione di questo difetto sono: temperature delle pareti dello stampo troppo elevate, estrazione prematura oppure perchè al momento dell'estrazione si forma una depressione tra manufatto e stampo.

Per evitare questo difetto si consiglia di:

- ridurre la temperatura dello stampo;
- allungare il tempo del ciclo;
- migliorare gli sfiati dello stampo.

2. La scelta del materiale e accettazione dei difetti nel componente stampato

Una delle prime e più importanti decisioni che il progettista deve prendere nella fase di studio e sviluppo di un manufatto riguarda la scelta del materiale, essa è essenziale per il buono e corretto funzionamento del manufatto in esercizio.

Due sono le principali motivazioni alla base della scelta del materiale: la selezione del materiale, e il relativo processo di trasformazione, per un nuovo prodotto; la selezione di un materiale alternativo, ed eventualmente anche il nuovo processo di trasformazione, per un prodotto già esistente.

In ogni caso tutte le procedure di selezione del materiale sono basate sul comune principio di "definizione dei requisiti del manufatto".

Le considerazioni primarie da porsi riguardano:

- le prestazioni richieste dal manufatto;
- le proprietà che il materiale deve possedere per quella specifica applicazione;
- il costo finale;

un'attenta e precisa definizione di questi concetti fondamentali, che in genere viene svolta coinvolgendo anche il cliente finale, aiuta il progettista ad individuare un ristretto insieme di materiali che possono rispondere alle esigenze ricercate.

Si possono sintetizzare i vari fattori di selezione come segue:

- *informazioni generali*: funzione della parte, condizioni di esercizio, metodo di produzione previsto, durata...;
- *esigenze specifiche*: specifiche da rispettare, approvazione da parte di enti ufficiali,

normative alimentari...;

- *ambiente di utilizzo*: temperature di esercizio, presenza di agenti chimici e di umidità, utilizzo interno/esterno...;
- *esigenze strutturali*: tipi ed ampiezza delle sollecitazioni, carichi applicati, fatica, rigidità, resistenza agli urti...;
- *esigenze estetiche*: colore, aspetto superficiale, verniciatura, forma e dimensioni...;
- *metodi di fabbricazione*: tecnica di produzione ed assemblaggio, incollaggio, operazioni secondarie di finitura...;
- *aspetti economici*: costo del manufatto, costo del materiale, possibilità di recuperi di sfridi, possibilità di riciclo...;

Una volta definiti questi fattori, il progettista è in grado di elencare un insieme ristretto di materiali che possono essere adatti all'applicazione che si sta studiando.

La scelta definitiva è basata su un'analisi approfondita delle esigenze specifiche che l'applicazione e il materiale devono avere.

Le proprietà considerate prima di scegliere il materiale definitivamente sono:

- *proprietà fisiche*: densità, impermeabilità, stabilità dimensionale, temperatura di transizione vetrosa e di fusione, infiammabilità, proprietà elettriche (resistenza elettrica, isolamento) e proprietà ottiche (lucidità, trasparenza, opacità).
- *proprietà meccaniche*: resistenza ultima a trazione, resistenza all'impatto (metodo di Charpy), resistenza a flessione, duttilità, durezza.
- *considerazioni di carattere pratico*: resistenza agli agenti atmosferici, resistenza all'usura, resistenza al fuoco, costi, facilità o meno di essere lavorato, biodegradabilità, se è riciclabile, se è adatto ad essere messo in contatto con i cibi o farmaci.

Per facilitare la scelta esistono degli strumenti grafici, le "carte di selezione dei materiali", in esse vengono riportate in ascissa e in ordinata le proprietà in esame e nel piano, il range di valori per ogni proprietà del materiale considerato. I valori limite delle proprietà necessarie limitano il campo, quindi i materiali con valori sono al di fuori dei limiti, non sono da prendere in considerazione.

Un altro aspetto importante è tener presente come si comportano i vari materiali durante laformatura e quali a quali difetti possono andare incontro.

Le profonde differenze che si presentano tra due tipi di componenti che soddisfano categorie diverse, in termini di materiali plastici e difetti ammissibili, sono la causa della scarsa documentazione che descrive l'aspetto sopra citato, che porta le aziende del settore a prendere le decisioni in base alla propria esperienza.

Di seguito sono elencati alcuni tipi di materiali plastici, per i quali si descrive il loro comportamento quando si vanno a formare:

- *PMMA*: questo materiale produce abrasioni nello stampo, determinando difetti estetici. Può provocare anche difetti di riempimento come linee di flusso e linee di giunzione (flow lines e weldlines). Per assurdo, questo materiale è molto spesso usato per componenti estetici.
- *PC*: è molto simile al PMMA come comportamento in fase di formatura.
- *PA*: poliammide tende a consumare le figure dello stampo durante l'iniezione per la sua natura corrosiva; questo porta alla formazione di difetti estetici come linee di flusso e abrasioni.
- *ABS*: i difetti che si presentano usando questo materiale sono molteplici: difetti di lucidatura, abrasioni, distorsioni della forma...
- *PP*: è un materiale che si presta molto bene a riprodurre la superficie dello stampo, per questo motivo non si presta per componenti estetici; inoltre risulta essere incline alla formazione di bave e distorsioni del componente

La realtà industriale attuale impone un alto rapporto prestazioni/costi affinché il prodotto possa essere competitivo sul mercato, questo porta le aziende a trovare dei compromessi. In particolare, nello stampaggio ad iniezione di materie plastiche, le aziende riescono ad abbattere il costo del componente da produrre in due modi: decidendo di scegliere non il materiale più alto-prestazionale, che potrebbe comportare un aumento dei costi legati alla sua maggiore qualità, ma quello che più concilia il binomio prestazioni-prezzo; e preventivando, sin nella fase di progettazione, la possibilità che il pezzo possa avere dei difetti, a patto che questi non penalizzino le funzionalità e le proprietà che il manufatto stesso deve avere per essere competitivo.

La definizione delle proprietà che il componente deve avere sin dalla fase di ideazione e studio dello stesso, permette di capire quali difetti non devono assolutamente essere presenti nel manufatto e quali invece possono essere accettati.

Questa necessità porta a una classificazione in cui vengono definiti quali sono i difetti accettabili in base all'applicazione di destinazione.

3. Classificazione dei difetti ammessi in base al campo di applicazione

I più importanti campi di applicazione su cui le aziende, che si occupano di stampaggio ad iniezione di materie plastiche, concentrano la propria produzione sono:

- componenti meccanici;
- componenti per la sicurezza;
- cover e parti estetiche;
- packaging;
- componenti per la casa e l'arredamento.

Come è stato detto precedentemente, ogni campo di applicazione richiede differenti specifiche legate alla qualità del prodotto; prendendo come esempio un componente lucidato, avente una funzione prettamente estetica, si individuano i difetti accettati o meno e i range di tolleranza ammessi.

Nella pratica comune il componente viene suddiviso in più superfici, e per ciascuna si esprimono i requisiti estetici da rispettare.

In particolare, la suddivisione viene effettuata come segue:

- superficie "A": la parte più esterna, cioè la parte del componente più visibile;
- superficie "B": i bordi anteriori e laterali del componente, non in vista come la superficie "A" ma comunque facilmente visibili dall'osservatore;
- superficie "C": la parte posteriore e la superficie inferiore del componente;
- superficie "D": le superfici interne, non vengono considerate per un componente estetico.

Nella tabella 1 si possono notare quali sono i requisiti richiesti in un componente con funzione estetica dopo un controllo visivo.

Questa procedura viene eseguita in modo analogo anche per i componenti appartenenti agli altri campi di applicazione citati, classificando i difetti in base alla caratteristica principale che il campo richiede. Ad esempio, la classificazione dei difetti relativi ad un componente meccanico, non sarà più basata sulle superfici più o meno in vista ma su delle aree sovrappostedello stesso.

DEFECTS	SURFACE		
	A	B	C
<i>Weldlines</i>	Limits are established in agreement with customer and held based upon limit samples		
<i>Sinkmarks</i>	None allowed	≤ 0.08 mm	≤ 0.25 mm
<i>Voids</i>	≤ 0.5 mm ²	≤ 0.5 mm ²	≤ 0.75 mm ²
<i>Scratches</i>	≤ 0.25 mm	≤ 0.5 mm	≤ 1 mm
<i>Burns / Gas Marks</i>	None allowed	None allowed	None allowed
<i>Cracks</i>	None allowed	None allowed	None allowed
<i>Delamination</i>	None allowed	None allowed	None allowed
<i>Glossiness</i>	None allowed	None allowed	None allowed

Tabella 1: tolleranze da rispettare per un componente con funzione estetica

Per avere una visione più panoramica ed efficiente sulla catalogazione dei difetti ammessi nei componenti, per ciascun campo di applicazione è stata elaborata una schematizzazione che riunisce tutte le combinazioni che possono esserci tra i vari difetti, dove sono stati localizzati (superfici, aree o assi), il metodo usato per rilevarli e le tolleranze ammesse per ciascuno.

Le tabella 2 e 3 vengono proposte come esempio per comprendere il metodo di sintetizzazione descritto precedentemente; la prima tabella (Tabella 2) è riferita ad un componente meccanico destinato al settore automotive, mentre la seconda (Tabella 3) ad un componente estetico.

Category	Part name	Defect type	Defect name	Area	Measurement Method	Value	Threshold [unit]	
Auto-motive Component	Cover	Surface	Flames/gas burning	Any part of the piece	Visual inspection	Yes/No	Zero Defects	
		Surface	Jetting	A surface	Visual inspection	Yes/No	Zero Defects	
		Surface	Flow marks	A surface	Visual inspection	Yes/No	Zero Defects	
		Surface	Ejector marks	A surface	Visual inspection	Yes/No	Zero Defects	
		Surface	Weld/Meld lines	A surface	Visual inspection	Yes/No	Zero Defects	
		Surface	Sink Mark	A surface	Visual Inspection	Yes/No	Zero Defects	
		Surface	Flash	A surface	Visual Inspection	Yes/No	Zero Defects	
		Geometry	Incomplete filling	Part	Visual inspection	Yes/No	Zero Defects	
		Geometry	Dimensional	Part	Mould vs CAD dimensions assembled in a control device (Length, weight)	Customer requirement	+1 5%	mm gr
		Geometry	Planar deformation	Part	Height of deformation, assembled in a control device		+1	mm

Tabella 2: sintetizzazione delle proprietà che un componente meccanico deve avere.

Category	Part name	Defect type	Defect name	Area	Measurement method	Value	Threshold [unit]
Plastic Glass (Aesthetic parts)	Quattrogradi Glass	Aesthetic	Sink mark	Glass foot	Void dimension		0 mm
		Aesthetic	Scratch	All the surfaces	Presence		0 mm
		Aesthetic	Cracks	Upper edge	Presence		0 mm
		Aesthetic	Material flow	All the surfaces	Presence		Not allowed
		Aesthetic	Parting line	Mold parting surfaces	Dimension		0.1 mm
		Aesthetic	Clamping deformation	Upper edge	Visual		To be defined
		Aesthetic	Blowing deformation	Upper edge	Visual		To be defined
		Aesthetic	Deformation	Upper plane	Dimension		To be defined
		Aesthetic	Degradation	All the surfaces	Quantity and dimension		Not allowed
		Aesthetic	Micropiles and powder	All the surfaces	Quantity and dimension		To be defined

Tabella 3: sintetizzazione delle proprietà che un componente estetico deve avere

4. Il processo di stampaggio ad iniezione di materie plastiche

Il processo di stampaggio ad iniezione è la tecnologia più importante tra quelle utilizzate per formare i materiali plastici. Possono essere stampati manufatti da 1 mg sino a più di 10 kg di peso, con tempi-ciclo che variano da pochi secondi fino a qualche minuto.

Il processo inizia inserendo il materiale plastico, sotto forma di pallet (granuli) o più raramente di polveri, attraverso una tramoggia, in un cilindro riscaldato in cui è contenuta la vite di alimentazione. Ponendo in rotazione la vite, i granuli vengono forzati a muoversi dal punto di alimentazione fino al punto di iniezione. Durante tale percorso, il materiale viene riscaldato fino alla temperatura di fusione per mezzo di resistenze elettriche e viene impastato per mezzo della rotazione della vite.

Quando il materiale fuso si trova in corrispondenza del punto di iniezione, la vite viene fatta retrocedere in modo da immagazzinare il giusto quantitativo di fuso per poi essere spinta in avanti idraulicamente come un pistone, iniettando all'interno della cavità dello stampo il materiale fuso. Le pressioni massime che si raggiungono al termine della fase di iniezione sono solitamente comprese tra 70 e 200 MPa.

La pressione che si genera viene mantenuta finché non si è solidificato il punto di iniezione, quindi si provvede all'apertura degli stampi e all'estrazione del pezzo che cadrà in un apposito stampo o verrà raccolto da un manipolatore. Le due metà dello stampo vengono successivamente richiuse e il processo viene ripetuto automaticamente.

Iniettando il materiale fuso, si possono ottenere delle forme complesse aventi anche cavità in sotto-squadro e con una buona accuratezza dimensionale. Nella maggior parte dei casi i pezzi che vengono prodotti non necessitano di lavorazioni aggiuntive.

La figura 11 illustra le parti principali di una pressa per lo stampaggio ad iniezione.

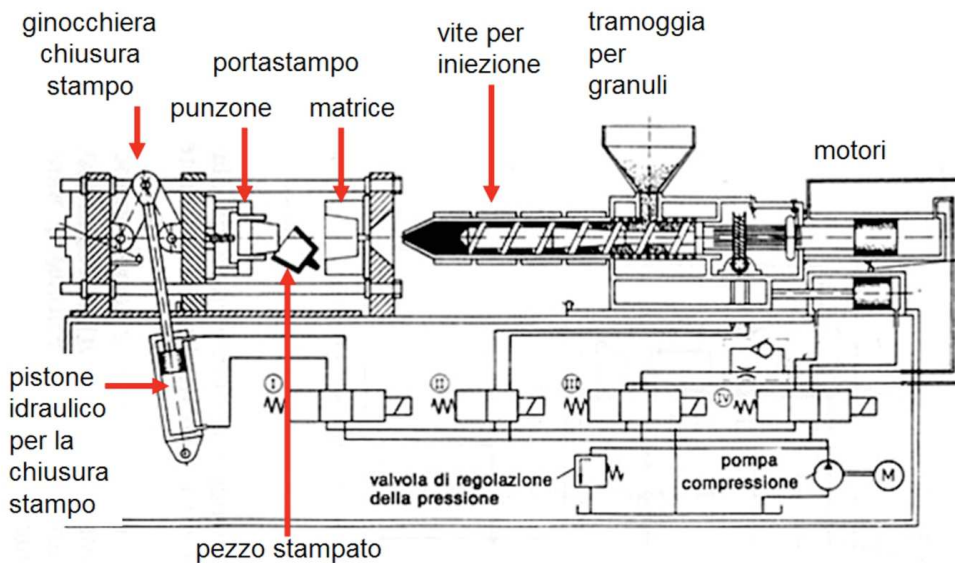


Fig. 11: elementi principali di una pressa per lo stampaggio ad iniezione di materie plastiche

Il ciclo macchina tipico è composto dalle seguenti fasi:

- *caricamento e fusione:* la vite gira prelevando il materiale che, avanzando verso la testa del cilindro, fonde per effetto del riscaldamento del cilindro e dell'attrito; l'accumulo del materiale nella parte anteriore del cilindro fa arretrare la vite, determinando la quantità di materiale che verrà iniettata;
- *chiusura e bloccaggio dello stampo:* i due semistampi vengono avvicinati e vengono bloccati in posizione di massima forza di chiusura;
- *iniezione:* la vite spostandosi rapidamente in avanti, come un pistone, forza il materiale fuso, attraverso l'ugello, nella cavità dello stampo;
- *mantenimento in pressione:* la vite continua ad essere spinta in avanti mantenendo la pressione sul materiale finché questo non è solidificato, facendo ciò si riesce a compensare il ritiro in fase liquida del materiale plastico;
- *rilascio della pressione della vite;*
- *rotazione della vite per preparazione al nuovo ciclo;*
- *apertura dello stampo ed estrazione / espulsione del pezzo.*

Le moderne presse ad iniezione sono attrezzate con diversi sensori che permettono di controllare la temperatura della tramoggia, del cilindro di iniezione e dello stampo, la corsa della vite durante l'iniezione, la velocità di avanzamento della vite, di iniezione e post-iniezione. Si possono mantenere in questo modo costanti i parametri di stampaggio ad iniezione considerati ottimali, in modo che possa essere garantita una costante qualità del manufatto.



Fig 12: pressa per lo stampaggio ad iniezione di materie plastiche

La seguente tabella riporta i principali indici di lavorazione per alcune materie plastiche di comune utilizzo:

Materia plastica	Temperatura di lavorazione °C	Pre-essiccamento °C/h	Temperatura stampo °C	Ritiro di lavorazione %
PE-LD	Da 160 a 270	-	Da 20 a 60	Da 1,5 a 5,0
PE-HD	Da 200 a 300	-	Da 10 a 60	Da 1,5 a 3,0
PP	Da 220 a 300	-	Da 20 a 90	Da 1,3 a 2,5
PS	Da 170 a 280	-	Da 10 a 60	Da 0,4 a 0,7
SAN	Da 200 a 260	Da 85/2 a 4	Da 50 a 80	Da 0,4 a 0,7
ABS	Da 200 a 275	Da 70 a 80/2	Da 50 a 90	Da 0,4 a 0,7
PVC-U	Da 170 a 210	-	Da 20 a 60	Da 0,4 a 0,8
PVC-P	Da 160 a 190	-	Da 20 a 60	Da 0,7 a 3,0
PMMA	Da 190 a 290	Da 70 a 100/2 a 6	Da 40 a 90	Da 0,3 a 0,8
POM	Da 180 a 230	110/2	Da 60 a 120	Da 1,5 a 2,5
PA 6/PA 66	Da 240 a 300	Da 80/2 a 15	Da 40 a 120	Da 0,8 a 2,5
PA 12	Da 190 a 270	100/4	Da 20 a 100	Da 1,0 a 2,0
PC	Da 270 a 320	Da 110 a 120/4	Da 80 a 120	Da 0,6 a 0,8
PET	Da 260 a 300	120/4	Da 130 a 150	Da 1,5 a 2,0

Tabella 4: valori delle più importanti variabili di processo per le materie plastiche di più comuni

5. Le variabili che regolano il processo di Plastic Injection Moulding

I parametri principali, sui quali è basato il processo di stampaggio ad iniezione di materie plastiche, sono due: la temperatura alla quale il materiale viene riscaldato subito prima di essere iniettato all'interno della cavità dello stampo, e la pressione con cui viene effettuato il processo.

Oltre a questi bisogna tener presente anche degli altri parametri, qui di seguito analizzati, i quali possono incidere negativamente sulla qualità del prodotto finale, essendo la causa della formazione di specifici difetti.

Prendendo in considerazione i seguenti parametri: riscaldamento del materiale durante la fase di trasporto nel cilindro, pressione di iniezione, forza di chiusura dello stampo, deumidificazione del materiale sotto forma di granuli, pressione di mantenimento, fase di plasticizzazione e forza di estrazione del pezzo; in seguito verranno descritti e verrà spiegato come ciascuno può influenzare la qualità del prodotto finale.

- *Riscaldamento del materiale durante il trasporto all'interno del cilindro della pressa:* in questa fase, la vite, mediante un movimento rotativo, fa avanzare il materiale plastico solido attraverso il cilindro di iniezione; delle resistenze riscaldano il materiale in modo graduale finché non raggiunge la temperatura ottimale per essere formato, che varia da materiale a materiale. Il corretto controllo di questa fase è necessario per raggiungere la temperatura ottimale di iniezione del materiale: se la temperatura risulta essere troppo alta si possono verificare bruciature, bolle o vuoti e segni sul componente dovuti all'estrazione; mentre se la temperatura è troppo bassa si possono verificare dei difetti dovuti ad un riempimento non ottimale (jetting e flow marks) o dei risucchi sul componente. Un altro fattore che incide sulla temperatura di iniezione del materiale plastico è la velocità di rotazione della vite; essa deve essere impostata in modo che il materiale riesca a fondersi e a reimpastarsi completamente. Controllare in modo adeguato questo parametro permette di evitare la presenza dei difetti dovuti ad una temperatura di iniezione non ottimale, sia di accumulare la giusta quantità di fuso prima dell'iniezione.
- *Pressione di iniezione:* è un fattore che nasce quando la vite, agendo come un pistone, spinge il materiale ad entrare nella cavità dello stampo passando per una valvola di non ritorno e per un iniettore. Come già detto, la pressione di iniezione è uno dei due parametri del processo di stampaggio ad iniezione che causa il maggior numero di difetti, assieme alla temperatura. Quindi, il controllo ottimale

della pressione può far evitare la presenza nel manufatto di difetti di riempimento (flow marks e flash) e ritiri eccessivi; inoltre, una corretta velocità di riempimento della cavità fa evitare intrappolamenti d'aria che sono causa di vuoti e segni di bruciature della superficie. La pressione di iniezione e la velocità di riempimento della cavità, variabili del processo strettamente collegate tra di loro, sono tra i primi fattori che a lungo andare, se non controllati in modo adeguato, portano all'usura dello stampo.

- *Forza di chiusura dello stampo*: il processo inizia con la chiusura dei due semi-stampi, per fare ciò viene applicata una forza di bloccaggio in modo tale che lo stampo rimanga sigillato. Se la forza non è sufficiente, le due piastre che formano i semi-stampi non si accoppieranno in modo ottimale e quindi si formeranno delle bave nel componente in corrispondenza della superficie di chiusura dello stampo.
- *Deumidificazione del materiale sotto forma di granuli (o polveri)*: l'umidità che le materie plastiche sotto forma di granuli assorbono deve essere rilasciata; per questo motivo, si va a preriscaldare i granuli prima di inserirli nella tramoggia e formarli. Un eccessivo tasso di umidità nel fuso comporta la formazione di bolle o vuoti nel componente stampato.
- *Pressione di mantenimento*: dopo l'iniezione del materiale segue una fase di mantenimento, nello stampo, di una pressione che è leggermente inferiore a quella di iniezione; la vite è in posizione avanzata finché tutto il pezzo non si è completamente solidificato. Questo processo permette di compattare il materiale fuso all'interno della cavità compensando i fenomeni di ritiro in fase liquida del materiale plastico, e può portare a difetti dimensionali e distorsioni o eccessivi ritiri del componente stampato.
- *Fase di plasticizzazione*: in questa fase il materiale solidificato dentro allo stampo perde calore, che viene dissipato per mezzo del un sistema di refrigerazione dello stampo; contemporaneamente, la vite provvede a preparare la nuova quantità di materiale necessaria nel ciclo successivo. Il processo di raffreddamento, se non effettuato in modo adeguato, può determinare diversi tipi di difetti: l'obiettivo è quello di stabilire la più appropriata curva temperatura-tempo, se ciò non accade si possono verificare bolle, vuoti, segni sul componente dovuti all'estrazione, bruciature e ritiri eccessivi. Se il raffreddamento non avviene in modo omogeneo su tutto il componente stampato il pezzo, una volta estratto, presenterà delle distorsioni.
- *Fase di estrazione del pezzo*: una volta che il componente si è solidificato totalmente e raffreddato, gli stampi vengono aperti e, per mezzo di estrattori o

piastre di estrazione, il pezzo viene fisicamente staccato dalla figura dello stampo, alla quale rimane adagiato a causa di forze adesive o tensioni interne. La forza e la velocità con la quale far avanzare gli estrattori, devono essere calibrate con attenzione: se si procede con l'estrazione quando la temperatura del pezzo è ancora troppo alta si rischia di danneggiare il pezzo, perché non si è totalmente staccato dallo stampo; se invece la forza impressa dagli estrattori è troppo alta, nella superficie del manufatto rimangono dei segni dovuti all'estrazione.

La Tabella 5 è una sintetizzazione delle relazioni che legano i difetti e le principali variabili di processo.

	Defects to generate	How to measure	Process parameters
Key Injection Short Term Defects	Flames/gas burning	Visual inspection	Speed (rate) Position sensor
	Jetting	Visual inspection	Temperature control (low)
	Flow marks	Visual inspection	Pressure control
	Ejector marks	Visual inspection	Temperature (short cooling time or High Ta) and pressure control (high)
	Weld/Meldlines	Visual inspection	Pressure control
			Position sensor
			Temperature Control
	Sink Mark	Visual inspection	Pressure and Temperature control
	Flash	Visual inspection	Pressure control
			Position sensor
			Temperature Control
	Incomplete filling	Visual inspection	Speed (rate) Pressure control
Dimensional	Mould vs CAD dimensions Control device for critical dimensions measurement (eg. Length, weight)	Pressure control	
		Position sensor	
		Temperature Control	
Planar deformation	Height of deformation	Pressure control	
		Temperature Control	

Tabella 5: relazione tra i difetti e le variabili che regolano il processo di stampaggio ad iniezione

CONCLUSIONI

Nell'analisi dei dati si è cercato di evidenziare, per ogni sezione del questionario sottoposto alle aziende, le informazioni più rilevanti. In particolare si è notato che vengono usati molto di più materiali plastici rinforzati rispetto a quelli non rinforzati, questo dato è giustificato dal fatto che le aziende che sono state intervistate lavorano in settori in cui il componente deve essere funzionale, deve rispettare dei precisi requisiti tecnici e devono avere delle precise proprietà meccaniche per essere accettabili.

Dai dati relativi ai difetti si può notare quali sono i principali metodi di controllo ed ispezione dei prodotti per individuare i difetti; i più usati sono il controllo visivo, i test distruttivi e il controllo della densità, cioè test semplici ed economici che sono in grado di individuare anche più tipi di difetti diversi.

Nella seconda parte della tesi si è cercato di catalogare i vari difetti e di cercare di descriverli elencando le cause che li generano e proponendo alcune soluzioni.

Si è andato a capire quali sono le scelte che un progettista di componenti plastici stampati ad iniezione deve sostenere per minimizzare il numero di anomalie nel componente finito, ed in fine, studiando le variabili del processo di produzione, si è cercato di capire quale sia la natura di ciascun difetto per cercare di evitarlo.

ALLEGATO 1

QUESTIONARIO SULLO STAMPAGGIO AD INIEZIONE DI MATERIE PLASTICHE

1. AZIENDA:

2. NOME RESPONSABILE:

3. PAESE:

4. E-MAIL:

5. NUM. TELEFONO:

6. TIPO DI AZIENDA:

SME (<250 dipendenti; <50 milioni di euro/anno)

IND (>250 dipendenti; >50 milioni di euro/anno)

7. TONNELLAGGIO MEDIO:

(Si indichi il tonnellaggio medio considerando il tonnellaggio totale e il numero di presse)

DATI GENERALI DI PRODUZIONE DELL'AZIENDA

8. Produzione annua (ton/anno):

da 250 a 500

da 500 a 1000

da 1000 a 2000

> 2000

9. Tipi di materiale plastico usato:

(si segni solo un riquadro per riga)

	rinforzato	non rinforzato
LDPE/LLDPE		
HDPE		
PP		
PS/GPPS/HIPS		
PVC		
PET		
PUR		
PMMA		
ABS		
SAN		
PA6/PA66/PA12		
PC		
POM		

10. Altri tipi di plastica: _____

11. Settori di applicazione:

(si segnino massimo due opzioni)

	25%	50%	75%	100%
automotive				
elettrical&electronics				
architecture& design				
building&construction				
altri				

12. -Settore primario:

(si segni solo un'opzione)

componenti meccanici	<input type="checkbox"/>
packaging	<input type="checkbox"/>
componenti per la sicurezza	<input type="checkbox"/>
oggetti per la casa	<input type="checkbox"/>
cover, parti estetiche	<input type="checkbox"/>

altri settori: _____

13. -Settore secondario:
(si segni solo un'opzione)

componenti meccanici	<input type="checkbox"/>
packaging	<input type="checkbox"/>
componenti per la sicurezza	<input type="checkbox"/>
oggetti per la casa	<input type="checkbox"/>
cover, parti estetiche	<input type="checkbox"/>

altri settori: _____

14. Vengono svolte delle lavorazioni sul pezzo dopo lo stampaggio?
(si segni solo un'opzione)

	25%	50%	75%	100%
verniciatura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
lavorazioni meccaniche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
altro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

NORMATIVE CEN

5. Si segnino le normative adottate ed utilizzate in azienda:

DIN 16901	<input type="checkbox"/>
EN ISO 294-1:1998	<input type="checkbox"/>
EN ISO 294-2:1998	<input type="checkbox"/>
EN ISO 294-3:2003	<input type="checkbox"/>
EN ISO 294-4:2003	<input type="checkbox"/>
EN ISO 294-1:1998/A1:2002	<input type="checkbox"/>
EN ISO 294-2:1998/A2:2005	<input type="checkbox"/>
EN ISO 294-5:2013	<input type="checkbox"/>
EN ISO 293:2005	<input type="checkbox"/>
EN 13677-1:2003	<input type="checkbox"/>
EN 13677-3:2003	<input type="checkbox"/>
EN 13677-2:2003	<input type="checkbox"/>
EN 12877-2:1999	<input type="checkbox"/>

altre _____

Si esprima nel seguito il proprio interesse ad avere delle normative nell'ambito dello stampaggio ad iniezione di materie plastiche, in particolare:

16. Necessità di nuove normative sulla classificazione dei difetti:

molto alta	<input type="checkbox"/>
alta	<input type="checkbox"/>
media	<input type="checkbox"/>
bassa	<input type="checkbox"/>
molto bassa	<input type="checkbox"/>

17. Necessità di nuove normative o delle linee guida sulla classificazione dei materiali plastici per l'injectionmoulding:

molto alta	<input type="checkbox"/>
alta	<input type="checkbox"/>
media	<input type="checkbox"/>
bassa	<input type="checkbox"/>
molto bassa	<input type="checkbox"/>

18. Necessità di nuove normative sulle proprietà meccaniche dei componenti stampati ad iniezione:

molto alta	<input type="checkbox"/>
alta	<input type="checkbox"/>
media	<input type="checkbox"/>
bassa	<input type="checkbox"/>
molto bassa	<input type="checkbox"/>

19. Necessità di nuove normative o linee guida sul design dei componenti stampati ad iniezione:

molto alta	<input type="checkbox"/>
alta	<input type="checkbox"/>
media	<input type="checkbox"/>
bassa	<input type="checkbox"/>
molto bassa	<input type="checkbox"/>

ANALISI DEI DIFETTI

Per ogni tipo di difetto che verrà citato in seguito indicare il metodo usato nel componente stampato per controllarlo, specificando se esso viene usato nel 100% della produzione, su base statistica, se il metodo non è usato o non è applicabile:

20. VUOTI:

(si segni solo un'opzione per riga)

	100% produzione	su base statistica	non usato	non applicato
controllo visivo				
ispezione ai raggi X				
controllo della tenuta stagna				
controllo della densità				
test con liquidi penetranti				
test con ultrasuoni				
prove distruttive del pezzo				

21. Questo tipo di difetto è stato misurato e/o quantificato?

si
no

22. RITIRI:

(si segni solo un'opzione per riga)

	100% produzione	su base statistica	non usato	non applicato
controllo visivo				
ispezione ai raggi X				
controllo della tenuta stagna				
controllo della densità				
test con liquidi penetranti				
test con ultrasuoni				
prove distruttive del pezzo				

23. Questo tipo di difetto è stato misurato e/o quantificato?

si
no

24. ROTTURE/CRICCHE:

(si segni solo un'opzione per riga)

	100% produzione	su base statistica	non usato	non applicato
controllo visivo				
ispezione ai raggi X				
controllo della tenuta stagna				
controllo della densità				
test con liquidi penetranti				
test con ultrasuoni				
prove distruttive del pezzo				

25. Questo tipo di difetto è stato misurato e/o quantificato?

si

no

26. BRUCIATURE:

(si segni solo un'opzione per riga)

	100% produzione	su base statistica	non usato	non applicato
controllo visivo				
ispezione ai raggi X				
controllo della tenuta stagna				
prove distruttive del pezzo				

27. Questo tipo di difetto è stato misurato e/o quantificato?

si

no

28. DISTORSIONI/DEFORMAZIONI:

(si segni solo un'opzione per riga)

	100% produzione	su base statistica	non usato	non applicato
controllo visivo				
ispezione ai raggi X				
controllo della tenuta stagna				
controllo dimensionale				

29. Questo tipo di difetto è stato misurato e/o quantificato?

si
no

30. DIFETTI DI RIEMPIMENTO (jetting, short shot, weldlines):

(si segni solo un'opzione per riga)

	100% produzione	su base statistica	non usato	non applicato
controllo visivo				
ispezione ai raggi X				
controllo della tenuta stagna				
controllo della densità				
test con liquidi penetranti				
test con ultrasuoni				
prove distruttive del pezzo				

31. Questo tipo di difetto è stato misurato e/o quantificato?

si
no

32. INTERAZIONI TRA STAMPO E COMPONENTE (ejectionmark...):

(si segni solo un'opzione per riga)

	100% produzione	su base statistica	non usato	non applicato
controllo visivo				
ispezione ai raggi X				
controllo della tenuta stagna				
test con liquidi penetranti				
test con ultrasuoni				
prove distruttive del pezzo				

33. Questo tipo di difetto è stato misurato e/o quantificato?

si
no

34. Si indichi ora quanto spesso questi difetti sono presenti nella vostra produzione:
(si segni solo un'opzione per riga)

	mai	occasionalmente	frequentemente	molto frequentemente
vuoti				
ritiri				
cricche/rotture				
bruciateure				
distorsioni				
difetti di riempimento				
interaz. stampo-componente				

LA SIMULAZIONE NUMERICA

35. L'azienda utilizza uno strumento di simulazione virtuale?
(se sì, si proceda con le altre domande)

sì
 no

36. Qual è la principale applicazione in cui viene usata la simulazione nella vostra azienda?
(si segni una sola opzione)

sviluppo e ottimizzazione del prodotto
 sviluppo e ottimizzazione del processo
 controllo qualità

37. Si riesce ad avere una buona previsione ed analisi dei difetti attraverso la simulazione?
(si prega di indicare anche se si utilizza qualche sistema interno, per esempio un database, per memorizzare ed organizzare questi dati)

38. Si indichi l'affidabilità e la qualità della previsione dei difetti con la simulazione numerica:

(si segni solo un'opzione per riga)

	eccellente	buona	sufficiente	bassa	inadeguata
vuoti					
ritiri					
cricche/rotture					
bruciature					
distorsioni					
difetti di riempimento					
interaz. stampo-componente					

39. La previsione dei difetti viene classificata secondo le normative esistenti?

(si segni solo un'opzione per riga)

	si	no	non ci sono normative
vuoti			
ritiri			
cricche/rotture			
bruciature			
distorsioni			
difetti di riempimento			
interaz. Stampo-componente			