UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in Ingegneria Meccanica

Analisi di un componente industriale realizzato con tecnica RIM

Analysis of an industrial component produced by RIM technique

Relatore:

Prof. Tiziano Bellezze

Tesi di Laurea di:

Giovanni Giorgi

Correlatori:

Dott.ssa Francesca Luzi

Ing. Gianluca Giunta

A.A. 2021/2022

Indice

	Pag.
Introduzione	**3**
CAPITOLO 1: Caratteristiche e impiego del poliuretano	**4**
1.1 Descrizione del poliuretano	4
1.1.1 Poliuretano espanso	6
1.1.2 Poliuretano come isolante	8
1.2 *Metal replacement* attraverso il poliuretano	9
1.3 Riutilizzo del poliuretano	10
CAPITOLO 2: Materiali e analisi del componente industriale	**13**
2.1 Materiali	13
2.2 Componente industriale oggetto dello studio	16
2.3 Criteri di scelta del materiale	18
CAPITOLO 3: Processo Produttivo	**20**
3.1 Studio preliminare del componente industriale	20
3.2 Ciclo di lavorazione	22
3.2.1 Stampaggio e lavorazioni post-stampaggio	26
3.3 Controllo qualità	29
CAPITOLO 4: Problematiche incontrate durante la lavorazione del prodotto e possibili soluzioni	**31**
4.1 Analisi dei difetti funzionali	31
4.2 Analisi dei difetti estetici	39
4.3 Valutazione e possibili soluzioni relative ai problemi incontrati	41
CAPITOLO 5: Conclusioni	**44**
Referenze	**45**

Introduzione

In questo elaborato di tesi si analizza il processo produttivo di un componente in poliuretano espanso rigido, processato utilizzando la tecnica dello stampaggio ad iniezione assistita da pressa.
Il lavoro di studio ed analisi è stato realizzato durante il periodo di tirocinio svolto nell'azienda Nuova Esterno Mobili S.r.l., impresa di arredamento che da pochi anni produce manufatti in poliuretano a marchio Delta Poliuretani. Gli articoli prodotti dal brand Delta Poliuretani vengono utilizzati sia nell'arredamento che nelle macchine da caffè ed ancora nelle apparecchiature elettromedicali. L'azienda utilizza poliuretani con densità da 600 a 1100 g/l nell'apposito reparto con presse e stampi in alluminio, mentre per il polimero a più bassa densità, circa 400 g/l, si utilizzano stampi in ferro resina, i quali sono posti in un altro reparto [1].
Le motivazioni che riguardano la scelta di tale argomento nascono dall'interesse di approfondire lo studio e le tecniche di processo delle materie polimeriche. Inoltre, durante il periodo di tirocinio, l'attenzione è stata rivolta allo studio tecnico e del processo produttivo di un componente in poliuretano rigido mediante lo stampaggio ad iniezione assistito da pressa.
Durante il periodo della tesi è stato possibile studiare ed analizzare il processo produttivo e i materiali utilizzati per la realizzazione del componente in poliuretano. In azienda è stato possibile seguire tutte fasi necessarie alla realizzazione dell'oggetto: lo studio preliminare del prodotto, produzione mediante tecnica *Reaction Injection Moulding* (RIM) e le successive lavorazioni di post stampaggio; infine sono state analizzate le problematiche riscontrate sul componetene realizzato, con le sue possibili soluzioni.
La tesi è strutturata in cinque capitoli: i) il primo capitolo descrive la matrice polimerica, cercando di dare un'inquadratura generale sul poliuretano indicando tutti i settori applicativi; sempre nel primo capitolo si è cercato di indicare il possibile impiego del poliuretano al posto dei materiali metallici dedicando le attenzioni ai possibili riutilizzi dei materiali polimerici; ii) il secondo capitolo è dedicato alla descrizioni e scelta dei materiali utilizzati durante il periodo di tesi; iii) nel terzo capitolo viene descritto il processo produttivo utilizzato per la realizzazione del prodotto commerciale; iv) nel quarto capitolo sono state analizzate problematiche estetiche e funzionali incontrate durante la realizzazione del componente preso in esame (uno *chassis* di un'apparecchiatura biomedicale), sono state evidenziate anche le possibili soluzioni; v) nel quinto capitolo verranno presentate le conclusioni relative al lavoro svolto in azienda.

CAPITOLO 1: Caratteristiche e impiego del poliuretano

Il poliuretano è un materiale polimerico che si presenta sotto forme diverse, infatti si parla di poliuretano termoplastico, con sigla TPU, il quale è molto flessibile, o di poliuretano termoindurente, con sigla PU, che è molto più rigido. Di seguito si tratterà solo del poliuretano termoindurente.
I campi di applicazione di questo materiale sono fra i più disparati come, ad esempio, l'isolamento termico, i rivestimenti, gli adesivi e pannelli rigidi.
Il poliuretano venne scoperto dal Professore Otto Bayer nel 1937 facendo reagire degli di-isocianati ed ottenendo così un nuovo materiale che verrà successivamente, nel 1941, lanciato sul mercato. Al giorno d'oggi il poliuretano viene utilizzato per realizzare molti prodotti d'uso quotidiano come: parti del rivestimento interno delle automobili, rivestimento esterno delle macchine da caffè o per la produzione dell'imbottitura del materasso. L'utilizzo versatile del poliuretano, nei diversi settori applicativi è dato dal fatto che si presenta sia come termoplastico sia come termoindurente.

1.1 Descrizione del poliuretano

I poliuretani sono prodotti mediante reazioni esotermiche tra due o più gruppi ossidrilici -OH per molecola, chiamate poliolo, diolo o triolo, ed isocianati che possiedono uno o più gruppi isocianato per molecola -NCO. Per questo motivo si parla anche di materiale bicomponente.
Il gruppo formato dalla reazione tra due molecole è noto come legame uretanico (Fig. 1.1) ed è un componente fondamentale della molecola del poliuretano.

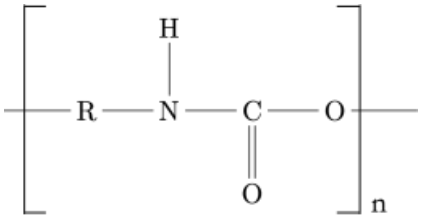

Fig. 1.1: Legame uretanico.

La famiglia dei poliuretani comprende una grande varietà di prodotti con caratteristiche molto diverse tra loro, come ad esempio la densità e la rigidezza, con una conseguente vasta scelta di applicazioni: schiume espanse per materassi, schiume rigide con proprietà isolanti utilizzati anche nel settore automobilistico.
Le proprietà e le caratteristiche del manufatto dipendono sia dai prodotti di base, polioli ed isocianati (Fig. 1.2), sia del tipo di catalizzatori e di additivi impiegati. Quest'ultimi vengono premiscelati con i polioli e contribuiscono, durante la reazione

esotermica con l'isocianato, a controllare quella del poliuretano e a modificare le proprietà del polimero finale.
I poliuretani, generalmente, sono ottenuti nella forma finale del prodotto, quindi la reazione poliolo-isocianato avviene direttamente nella fase di stampaggio.

Fig. 1.2: Dietro il poliolo e davanti l'isocianato.

I polioli utilizzati per la sintesi dei poliuretani sono prodotti poliossidrilici e possono essere di natura polietere o poliestere o addirittura una miscela di entrambi presentando diverse lunghezze di catena e una disposizione atomica lineare o ramificata. Le caratteristiche del poliolo (la flessibilità e ed il peso molecolare) contribuiscono significativamente a determinare le caratteristiche finali del materiale poliuretanico. I polioli sono sostanze con tossicità generalmente bassa; la manipolazione e gli impieghi richiedono la conoscenza delle specifiche di pericolosità del componente utilizzato, quali infiammabilità e rischi di incendio.
In generale, i catalizzatori attivano il gruppo isocianico incrementandone o il carattere elettrofilo o rendendo maggiormente nucleofilo l'ossidrile. Nel primo caso si parla di catalizzatori metallici, nel secondo di basi. I catalizzatori utilizzati richiedono un'attenta cura nella fase di utilizzo; infatti molte di queste sostanze possono essere assorbite attraverso la pelle e causare forti irritazioni.
In aggiunta al poliolo, oltre al catalizzatore, vi possono essere presenti degli additivi che modificano alcune caratteristiche del poliuretano: se si aggiungono composti contenti azoto o fosforo, ovvero polifosfato di ammonio o melammina, si parla di ritardanti di fiamma [2], oppure un altro additivo è il colorante il quale attraverso il pigmento esegue una colorazione in massa del poliuretano, rendendo colorata oltre la superfice anche la parte interna del prodotto.
Vengono utilizzati, per la maggior parte, due grandi famiglie di isocianati: il diisocianato di toluene (TDI) e il difenilmetano diisocianato (MDI). Il primo consiste in una miscela di due isomeri e il materiale di partenza è il metilbenzene (toluene). Esso reagisce con una miscela di acidi, di solito acido nitrico HNO_3 o acido solforico H_2SO_4, e con i due isomeri del nitrometilbenzene. Se la miscela è ulteriormente nitrata, si ottiene una miscela dinitrometilbenzene che poi sarà ridotta nelle corrispondenti ammine. A loro volta le ammine sono scaldate con il fosgene $COCl_2$

per produrre i diisocianati; questo processo può essere condotto sia in fase liquida che in fase gassosa.
Invece, l'MDI offre una maggiore possibilità di scelta riguardo al processo di produzione ed una maggiore versatilità. La miscela di diisocianati è generalmente usata per la produzione di schiume rigide. I composti di partenza sono la anilina C_6H_5NH e la formaldeide H_2CO, che reagiscono per formare una miscela di ammine, a loro volta esse reagiscono con il fosgene per produrre MDI in modo similare alla produzione del TDI.
Se il poliolo ha due gruppi ossidrilici ed è mescolato con TDI o MDI, si produce un polimero lineare. Un poliuretano lineare è prodotto per la reazione con il diisocianato del diolo più semplice mediante la polimerizzazione per condensazione. Invece, se il poliolo ha più di due gruppi ossidrilici, le lunghe catene molecolari adiacenti si possono collegare anche nei punti intermedi. Questi legami incrociati tra catene creano una struttura polimerica più rigida con migliori proprietà meccaniche. Così un diisocianato, MDI o TDI, che reagisce con un poliolo con tre gruppi ossidrilici può essere soggetto a formazione di legami incrociati formando un polimero termoindurente.
Il poliuretano può essere utilizzato anche per produrre vernici, tra i vari tipi si hanno le resine uretaniche, prodotte grazie al diisocianato TDI. Questi prodotti trovano larga applicazione nella verniciatura del legno: l'assenza di terminali isocianici liberi nella struttura, li rende sicuri dal punto di vista tossicologico. Un'altra classe sono le vernici che polimerizzano a contatto con l'aria: sono costituite da prepolimeri contenenti un eccesso di gruppi isocianici che reagiscono con lo sviluppo di CO_2 e polimerizzano fra i componenti. Il tempo di polimerizzazione è influenzato dal grado di umidità. Vengono impiegati come diisocianati MDI e TDI. Si hanno inoltre anche vernici contenenti terminali isocianici bloccati con agenti speciali; questi formano con i terminali –NCO legami dalla limitata resistenza termica: risultano stabili a temperatura ambiente ma vengono scissi a temperature più elevate [2].

1.1.1 Poliuretano espanso

Nella produzione di schiume poliuretaniche, ossia i poliuretani espansi, sono coinvolti due meccanismi. Il primo è la reazione dell'isocianato, presente in eccesso, con i gruppi –OH del poliolo che permette l'allungamento della sua catena e la sua terminazione mediante i gruppi isocianici.
Il secondo riguarda la produzione del gas rigonfiante e dà origine alla struttura dell'espanso; il processo può essere sia di natura chimica che fisica. Nel caso dell'espansione chimica, alla reazione base della sintesi è accoppiata quella del gruppo –NCO con l'acqua e si sprigiona di conseguenza CO_2 dalla reazione con l'acqua.
L'espansione fisica sfrutta, invece, parte del calore della reazione di polimerizzazione per vaporizzare un liquido chimicamente inerte, chiamato agente rigonfiante, e con bassa temperatura di ebollizione. L'agente rigonfiante viene

aggiunto nei polioli e la sua azione si manifesta attraverso la vaporizzazione indotta dalla reazione esotermica, che quindi sviluppa calore. Il gas intrappolato nella struttura cellulare chiusa di alcune schiume può conferire proprietà isolanti, con un coefficiente di conduzione termica estremamente basso.
A seconda dei reagenti utilizzati è possibile realizzare una vasta gamma di prodotti, dato che le caratteristiche vengono impartite da differenze presenti nelle miscele di partenza.
I due isocianati più largamente utilizzati nella produzione di poliuretani espansi sono il TDI e il PMDI: il primo viene impiegato per la sintesi di schiume flessibili, mentre il secondo trova impiego nella produzione di schiume rigide.
Nella produzione delle schiume flessibili la densità delle ramificazioni si può ridurre inserendo nella miscela una maggior quantità di diolo lineari. Sono caratterizzate da deformabilità reversibile, da una struttura cellulare aperta e da permeabilità verso l'aria. Vengono usate per la fabbricazione di imbottiture per cuscini, materassi, schienali per auto ed inoltre per l'isolamento termico sotto forma di fogli o lastre.
Le schiume semirigide hanno un maggior grado di reticolazione rispetto alle schiume flessibili. Questa loro caratteristica permette di resistere alla compressione fino a subire una deformazione del 10% senza il collasso strutturale. Normalmente per questo tipo di schiume si lavora per colata in stampi, precedentemente trattati inserendo un rivestimento formato da un altro polimero, per esempio si usa ABS (Acrilonitrile-Butadiene-Stirene). Le schiume semirigide, grazie alla loro capacità di ammortizzare, sono largamente impiegate per i rivestimenti protettivi per i cruscotti e pannelli per le portiere.
Invece, le schiume rigide hanno migliori caratteristiche di rigidità impiegando PMDI con polioli polieteri ramificati. Varie sono le tecnologie utilizzate per la produzione di schiume rigide, degli esempi sono: stampaggio per compressione, colata delle materie prime all'interno di strati di schiuma già preparati e riempimenti a base di schiuma rigida. I materiali così ottenuti hanno strutture estremamente reticolate che conferiscono loro caratteristiche di durezza e fragilità, con l'aggiunta in piccole quantità di poliestere si migliora la resistenza alla frattura. Le proprietà isolanti derivano dalla struttura a celle chiuse e dal tipo di agente rigonfiante utilizzato che può conferire alla schiuma un coefficiente di conduttività termica basso. Un'altra proprietà importante è la facilità di adesione che queste schiume presentano verso altri materiali. Altresì, esse presentano un ottimo comportamento verso gli agenti chimici, non si decompongono e possono essere impiegate in un intervallo di temperatura compreso tra -20°C e +150°C.
Infine le schiume poliuretaniche strutturali sono materiali caratterizzati da un interno in schiuma, fortemente legato ad un rivestimento di materiale polimerico termoplastico come PVC (Polivinilcloruro) o ABS. Per le loro proprietà meccaniche e termiche, esse vengono utilizzate per applicazioni strutturali: competono con materiali come legno, materiali termoplastici e polimeri rinforzati. Si usano per infissi di finestre, mobili, accessori per servizi igienici e nell'industria automobilistica [2].

1.1.2 Poliuretano come isolante

La struttura a cellule chiuse e l'elevata densità di reticolazione conferiscono al materiale caratteristiche come una buona stabilità al calore, una notevole resistenza alla compressione ed eccellenti proprietà isolanti. L'isolamento in poliuretano ha una bassa conduttività termica, che rende il polimero uno degli isolanti più efficaci per una vasta gamma di applicazioni.
Dato che il poliuretano presenta livelli di emissioni estremamente bassi ed è inoltre molto versatile, è anche largamente utilizzato in diverse applicazioni. La matrice polimerica viene utilizzata nella realizzazione di dispositivi elettromedicali e frigoriferi.
L'isolamento termico svolge un ruolo fondamentale nel mantenere il comfort ed azzerare i livelli di fabbisogno energetico. Grazie alle sue prestazioni come isolante e alla sua durata, il poliuretano è il materiale ideale per la coibentazione. Le esigenze di efficienza energetica, prevedono l'utilizzo di spessori sempre più elevati di materiali isolanti e può essere opportuno verificare le emissioni di sostanze dai prodotti isolanti [3]. In ogni caso, l'isolamento in poliuretano è considerato un prodotto a bassissime emissioni. Infatti, quest'ultime sono nettamente inferiori a quelle degli altri prodotti isolanti [4]. Da nessuna prova condotta sulle emissioni del materiale in poliuretano ha rilevato sostanze cancerogene. Pertanto il suo utilizzo per la coibentazione di ambienti chiusi è particolarmente idoneo. La maggior parte dei prodotti isolanti in poliuretano utilizza un ritardante di fiamma che non presenta rischi per la salute umana.
L'isolamento in poliuretano è ottenuto dalla reazione di diisocianati, MDI, con polioli o diisocianati stessi per creare una struttura cellulare solida. Un possibile inconveniente è dato dall'MDI, il quale è potenzialmente cancerogeno. Durante la formazione della schiuma, l'MDI reagisce chimicamente, quindi, non è presente nella schiuma rigida generata dalla reazione [5]. Sono stati condotti numerosi test per stabilire se fossero presenti emissioni di MDI. Tutte le prove hanno confermato l'assenza di tali emissioni provenienti da pannelli isolanti in poliuretano, sia durante la posa del materiale che nell'intera fase di utilizzo.
Per di più l'isolamento in poliuretano non fornisce un terreno per la proliferazione né costituisce alimento per muffe, batteri o insetti. Inoltre, poiché si tratta di un materiale a cellule chiuse non può contenere spore.
Quando si miscelano e si distribuiscono i due componenti chimici della schiuma, l'isocianato può raggiungere concentrazioni nell'aria superiori agli attuali limiti di esposizione ed è necessario adottare speciali misure di sicurezza.
In caso di applicazioni non a spruzzo effettuate a temperatura ambiente o al di sotto di tale temperatura, i livelli di isocianato sono inferiori al limite di esposizione sul luogo di lavoro. A polimerizzazione avvenuta, la schiuma, come nel caso di altre tipologie di prodotti poliuretanici è considerata chimicamente inerte, ovvero non prende parte né modifica il meccanismo della reazione [3].

1.2 *Metal replacement* attraverso il poliuretano

Il *metal replacement* ha concretamente rivoluzionato il processo di produzione utilizzando polimeri in sostituzione ai metalli tradizionali, che offrono prestazioni ad alte performance date le loro caratteristiche strutturali. L'eccellente resistenza chimica, termica e meccanica dei polimeri, la possibilità di realizzare geometrie complesse e la ripetibilità forniscono enormi vantaggi in termini di produzione finale [6].
La possibilità di sviluppare componenti in poliuretano con prestazioni specifiche permette di rispondere in modo ottimale alle esigenze di produzione in numerosi settori industriali quali: l'automotive, il medicale, l'elettrico ed elettronico. Sostituendo al metallo il poliuretano comporta un aumento di leggerezza, il quale richiederà al materiale di resistere anche alle vibrazioni, calore e fluidi aggressivi. Quindi si presenta un'opportunità per la sostituzione del metallo in una vasta gamma di impieghi. Ciò ha portato allo sviluppo di poliuretani idonei per molte applicazioni industriali che un tempo erano monopolio dei metalli. Sono disponibili materiali che presentano caratteristiche di ottima resistenza e rigidità, offrendo prestazioni eccezionali per la sostituzione dei metalli. Posseggono anche eccellenti doti di elasticità e di resistenza allo scorrimento, sono in grado di mantenere buone prestazioni strutturali anche ad alte temperature e contemporaneamente resistere alla corrosione, qualità che il metallo non può sempre avere.
Produrre in sostituzione dei metalli implica cambiamenti nelle tecnologie impiegate e nei processi di industrializzazione, oltretutto, il cambiamento deve avvenire anche nella fase di progettazione. Progettare un prodotto in poliuretano in sostituzione dell'utilizzo del metallo può risultare complicato, in quanto la difficoltà di trovare corrispondenza tra le esigenze di applicazione e le proprietà del materiale scelto per il rimpiazzo possono essere molteplici, tuttavia si riscontrano maggiori libertà in termini di varietà dei prodotti rispetto a quella che si avrebbe coi metalli.
Riveste un ruolo importante anche la conoscenza del materiale scelto, in termini di caratteristiche generali, dei criteri di trasformazione ed infine del comportamento durante il processo di lavorazione e dell'utilizzo del prodotto. Per ottenere prestazioni di produzione efficienti occorre svolgere la fase del progetto tenendo in considerazione quella di stampaggio con tutte le sue complicazioni, ciò permetterà un guadagno in termini di tempo, costi e qualità del prodotto finito.
Vi sono innumerevoli vantaggi nell'eseguire il *metal replacement*, dove risulta naturalmente possibile, tra cui: la riduzione dei costi della materia prima, riduzione dei costi di lavorazione, maggiore libertà di design, minore dispendio di energia con conseguente minore impatto ambientale, riduzione notevole del peso, migliore resistenza alla corrosione ed un incremento delle prestazioni [7].
Le proprietà del poliuretano scelto sono di fondamentale importanza nella progettazione di componenti; si necessita di trovare una corrispondenza fra le proprietà del materiale e le esigenze dell'applicazione, infatti i prodotti finiti probabilmente conterranno elementi che ne riducono la robustezza. Le proprietà

meccaniche di materiali dipendono dal tempo e dalla temperatura di lavorazione in misura più importante rispetto ai metalli e sono anche più sensibili ai fattori ambientali, quali temperatura ambiente e umidità.
Le parti di scarto o le parti che devono essere riciclate possono essere riportate nella forma originale e riutilizzate immediatamente. Ciò vale soltanto per i poliuretani termoplastici dato che essi possono essere rimodellati attraverso un incremento di temperatura, al contrario per i poliuretani termoindurenti, innalzando la temperatura essi inizieranno a degradare e risulteranno inutilizzabili. In ogni caso, il vantaggio principale rispetto al riciclo del metallo, è insito nella velocità del processo e quindi risulterà più economico con addirittura l'abbattimento dell'impatto ambientale. Il consumo per le lavorazioni della materia polimerica è minore, ovvero si necessita di minore energia elettrica e inoltre si avranno minori quantità di materiale di scarto; mentre i processi di produzione e trasformazione portano a minori emissioni di anidride carbonica con un maggior rispetto per l'ecosistema. Il fine vita del prodotto è più ecosostenibile rispetto all'omonimo del metallo poiché risulta più facilmente riciclabile.
La tecnica del *metal replacement* risulta particolarmente diffusa negli oggetti che vengono usati ogni giorno da molte persone. Le maniglie in metallo degli armadi, per esempio, possono essere sostituite con un poliuretano rigido a densità 400 g/l ottenendo design più moderni e con aspetti esteriori migliori. Invece, per alleggerire le già pesanti macchine da caffè professionali, ovvero quelle che si trovano comunemente nei bar, si sostituiscono le vecchie scocche in metallo con poliuretani con densità di 600-1100 g/l. Ciò oltre ad alleggerire notevolmente il peso totale del prodotto migliora anche la sua estetica dato che si possono ottenere profili particolari e curvilinei con molta meno difficoltà e inoltre risulta molto più semplice verniciare il prodotto con qualsiasi tipo di pigmento. Un ultimo esempio di *metal replacement* è quello della carrozzeria delle automobili, infatti in passato esse venivano prodotte in metallo il quale però, in caso di incidente del mezzo, assorbiva l'energia dell'urto che veniva trasmesso alle persone presenti nell'abitacolo; ora avendo sostituito il metallo con il poliuretano rigido in caso di urto le parti soggette ad esso rompendosi liberano energia rendendo meno drastici le conseguenze agli individui al suo interno. Oltre ad implementare la sicurezza, il *metal replacement* fornisce un notevole alleggerimento del veicolo, migliorando così le sue performance e riducendo, in questo modo sia i consumi sia l'inquinamento dei gas di scarico prodotti.

1.3 Riutilizzo del poliuretano

Quando il poliuretano arriva al suo fine vita vi è una maggiore attenzione per evitare che questo materiale venga gettato al posto di essere smaltito o riutilizzato. Occorre tenere presente che questo tipo di polimero si suddivide in termoplastico e termoindurente, quindi la seconda tipologia già non può essere riciclata con metodi che prevedono di fornire calore per ottenere nuovi oggetti. Inoltre, un altro

aspetto importante è dovuto al fatto che questo tipo di materiale è un bicomponente, quindi occorrerà scindere i legami che lo formano.
Introdotte queste nozioni, il procedimento di riciclo si suddivide in due grandi categorie: quello meccanico e quello chimico. Con il primo si ottengono scaglie o granuli che verranno poi riutilizzati come filler o come materiale di partenza per la creazione di un nuovo articolo. Il materiale ottenuto è tanto migliore quanto lo è quello di partenza. Con il secondo, invece, si mira a separare i legami chimici per ottenere le materie prime di partenza, isocianato e poliolo.
Con il riciclo meccanico, la materia plastica diventa un nuovo prodotto, di fatti il materiale di partenza viene ridotto volumetricamente, differenziato per caratteristiche, lavato e ridotto a forma di grani. Ottenere una soluzione sempre più pura è molto importante poiché è possibile assicurarsi un guadagno maggiore in termini di minore utilizzo di materiale vergine. Si parte quindi con un'accurata fase di selezione per tipo di poliuretano con la relativa separazione da altri materiali indesiderati, come per esempio viti e guide metalliche. La qualità ed il successo del riciclo meccanico sono in stretta relazione con il grado di selezione che è possibile ottenere dal polimero da riciclare. Si possono ottenere poliuretani termoplastici macinati, cioè granuli a scaglie adatti alla realizzazione di nuovi manufatti, oppure poliuretani termoindurenti macinati, cioè delle microparti impiegabili, come cariche inerti nelle lavorazioni dei materiali termoplastici e termoindurenti. Il granulato viene poi sottoposto ad un ciclo di lavaggio per rimuovere la terra e frammenti e anche per effettuare un'ulteriore separazione di materie plastiche pesanti e leggere. L'asciugatura del granulato predispone per la sua conversione in pellets che vengono successivamente miscelati in appositi silos. In questo modo i TPU possono essere riciclati meccanicamente con danni minimi per quanto riguarda la qualità del prodotto finale. I vantaggi nell'utilizzare questo tipo di riciclo sono: la riduzione dell'utilizzo di materiale vergine, minore dispendio energetico per la trasformazione del poliuretano rispetto a quello ancora da lavorare [8].
Nel riciclaggio chimico, invece, il polimero di partenza viene decomposto nei suoi componenti originari con l'obiettivo di ricavare combustibili e sostanze chimiche alternative a quelle di origine fossile, contribuendo così a ridurre l'impego di materie prime in via d'esaurimento. I polimeri di policondensazione sono maggiormente adatti a subire il processo di depolimerizzazione. Questo processo varia in base al trattamento necessario per spezzare la catena polimerica. La pirolisi è il trattamento che permette di scomporre le molecole attraverso un riscaldamento sottovuoto che porta alla produzione di una miscela di idrocarburi, mentre l'idrogenazione permette di trasformare i polimeri in idrocarburi liquidi. Attraverso la gassificazione si ottiene una miscela di idrogeno e ossido di carbonio che può essere utilizzata sia come combustibile, che come miscela nella lavorazione di altre materie. La chemiolisi, invece, è in grado di processare le singole materie poliuretaniche dismesse, riportandole al loro stadio originale. Per ultima, la glicolisi permette di riportare il polimero di condensazione, preventivamente separato dalle altre materie, allo stato di precursore intermedio, ossia allo stadio di una molecola utilizzata per la formazione di un'altra.

Un ulteriore modo di riutilizzo di tale materia polimerica è quello di generare energia attraverso il termovalorizzatore. Ciò è permesso grazie all'elevato potere calorifico residuo presente nel poliuretano, che si presta perfettamente ad essere utilizzato in tali impianti. Si genera così energia evitando l'impiego di altre risorse. Il termovalorizzatore è un inceneritore che converte il calore generato dalla combustione dei rifiuti in energia tramite l'impiego di turbine a vapore. Sono presenti impatti atmosferici negativi tra cui: le emissioni gassose in atmosfera, efflussi liquidi scaricati in acqua, odori, rumori e vibrazioni. A contrapporsi a questi aspetti vi sono dei benefici come: la produzione di energia elettrica e termica, la diminuzione del pericolo chimico e biologico associato ai rifiuti. Il processo in questione è esotermico, il quale viene fornito dai rifiuti stessi che fungono quindi da combustibile. Questi impianti necessitano di un sistema di filtraggio e di depurazione, in quanto i fumi prodotti durante la combustione del poliuretano sono nocivi per l'uomo e l'ambiente.
Con il livello tecnologico a cui si è pervenuti, un impianto di termovalorizzazione emette quantità relativamente modeste di agenti inquinanti contribuendo in minor parte alle concentrazioni di contaminazione nell'ambiente.

Capitolo 2: Materiali e analisi dell'oggetto

Il poliuretano espanso rigido usato per la realizzazione dello chassis è il Baydur®110 FR-6, il quale ha un'elevata densità che comporta elevate caratteristiche meccaniche. Il materiale è sempre un bicomponente, formato da poliolo e isocianato, senza l'aggiunta di pigmenti che servono per la colorazione in massa del poliuretano. Inoltre nel poliolo di questo materiale viene aggiunto un ritardante di fiamma, come suggerisce il nome serve per aumentare il tempo di combustione. Questa proprietà è fondamentale quando si deve realizzare un prodotto elettromedicale, di fatti l'oggetto che si andrà ad analizzare in questo capitolo rientra in questo settore tecnologico. Il prodotto di questa trattazione verrà anche denominato chassis, in quanto è uno dei cinque pezzi che forma un dispositivo elettromedicale. Questo prodotto è simile a un cassetto che è disposto nella parte sottostante dell'apparecchiatura alla quale andranno montate uno sportello e il cassetto superiore. Al suo interno vi andranno dispostivi elettronici che determinano il funzionamento di questa macchina, ma questo campo non verrà analizzato dato che lo studio è incentrato solo sul poliuretano e sullo chassis. Infine, questo prodotto ha varie peculiarità e problematiche che verranno trattate in seguito.

2.1 Materiali

Il materiale in esame è il Baydur®110-FR6, il quale viene ottenuto mediante la miscelazione in determinate quantità di poliolo, isocianato e polifosfato d'ammonio. Per ottenerlo occorre seguire la ricetta indicata nella sua scheda tecnica. Si parla di ricetta in quanto le concentrazioni dei vari componenti sono da rispettare, altrimenti si ottiene un materiale con caratteristiche differenti da quelle desiderate. Il poliolo utilizzato è il Baydur®VP.PU 1498 al quale viene miscelato il polifosfato d'ammonio che rende il polimero un ottimo ritardante di fiamma, infine a questo composto ottenuto si miscela l'isocianato Desmodur®VP.PU 26IK01. Le concentrazioni vengono misurate in percentuale in peso (abbreviato con p.p.), ciò serve per facilitare il controllo delle quantità dei componenti da caricare nei macchinari [9]. Per ottenere le quantità in grammi di un solo componente che serve per la realizzazione di un singolo oggetto, si applica la Formula 2.1:

$$\text{COMPONENTE [g]} = \frac{\text{COMPONENTE [p.p.]} \times \text{PESO TOTALE DEL PEZZO [g]}}{\text{PEZZO [p.p.]}} \quad (2.1)$$

Eseguire una stima iniziale delle quantità da utilizzare è fondamentale per avere un'idea generale di quello che si necessita per portare a termine la produzione del lotto.

Il poliolo Baydur®VP.PU 1498 può essere lavorato con vari tipi di isocianato, tra cui naturalmente il Desmodur®VP.PU 26IK01 mediante tecnologia RIM per realizzare articoli nell'intervallo di densità da 1050 a 1150 kg/m^3. I prodotti così ottenuti dalla reazione, schiumati nello stampo, sono in Baydur®110, e se additivati con agenti antifiamma idonei diventano materiali con caratteristiche da ritardante di fiamma, in questo caso il poliuretano prende il nome di Baydur®110-FR6. Un aspetto fondamentale riguarda l'omogeneizzazione del prodotto prima di prelevarlo, se ciò non accade vi penetra al suo interno l'umidità con conseguente peggioramento delle caratteristiche del materiale. Per svuotare il materiale dal suo recipiente, occorre eseguire tale operazione senza esercitare pressione, usando per esempio una pompa o versando il contenuto. Di conseguenza, è vietato effettuare le lavorazioni direttamente dal contenitore sotto pressione. Questo materiale deve essere conservato in un luogo in cui la temperatura sia compresa nel range tra: 20-35°C, se per caso la temperatura scende sotto i 18°C, allora il poliolo si può riscaldare ad almeno 20°C prima della lavorazione e poi omogeneizzato con cura mescolandolo. Vi sono inoltre altre due caratteristiche molto importanti riguardanti il poliolo, quali il tempo di crema e di gel. Rispettivamente sono di 7 e 9 secondi [9]. Il primo indica il tempo che ci impiega il poliolo a diventare da liquido ad un crema per l'appunto. Questo è fondamentale per calcolare la portata da iniettare, poiché superato questo periodo il materiale non riuscirà più a riempire interamente lo stampo. Il tempo di gel invece indica il momento in cui il composto inizia a ispessirsi, quindi il tutto inizia ad essere più fibroso e simile ad un gel.
L'isocianato Desmodur®VP.PU 26IK01 si presenta con una colorazione marrone scuro. È formato da difenilmetano-4,4'-diisocianato (MDI) e con vari isomeri e costituenti polimerici. Questo prodotto va tenuto in ambienti la cui temperatura sia compresa tra 10° e 30°C Dopo ogni uso il suo contenitore va chiuso ermeticamente poiché esso risulta igroscopico, è capace di assorbire acqua nell'ambiente circostante; l'umidità che viene assorbita può influenzare il suo comportamento di reazione. Inoltre, se il materiale scende a temperature inferiori a 0°C può cristallizzare parzialmente. Riscaldando con cautela il prodotto per un tempo di breve durata ad una temperatura massima di 70°C, è possibile riportarlo allo stato fluido, tuttavia, durante l'operazione può verificarsi un aumento del contenuto in solido. In particolare il contatto con l'acqua va assolutamente evitato, poiché l'isocianato reagirebbe con essa per formare poliuree con la separazione di anidride carbonica. In seguito a questo sviluppo di CO_2, si potrebbe verificare un aumento di pressione nei contenitori e nei casi peggiori ciò potrebbe portare ad un'esplosione. Invece, a causa della formazione di poliuree, potrebbe verificarsi la formazione di sostanze solide, con un conseguente intasamento e malfunzionamento dei filtri, delle pompe e delle tubazioni dell'impianto di schiumatura [10].
Il nome commerciale del polifosfato di ammonio utilizzato è Exolit®AP422 (Fig 2.1) che si presenta sotto forma di polvere con colorazione bianca; il prodotto è in gran parte insolubile in acqua e lo è completamente in solventi organici, inoltre non è igroscopico. È un ritardante di fiamma non alogenato con profilo ambientale e sanitario favorevole. Ha anche una bassa viscosità in sospensione acquosa.

L'applicazione sul poliuretano consente a questo materiale di essere classificato nella classe da costruzione B (secondo la norma DIN EN 13501-1).

Fig. 2.1: Polifosfato di ammonio in polvere.

Inoltre, ha un impatto minimo sui profili di reazione e sulle proprietà del materiale [11]. Si riportano le principali caratteristiche (Tab. 2.1).

Tab. 2.1: Scheda tecnica polifosfato di ammonio Exolit®AP422 [11].

Proprietà	Valore	Unità di misura
Fosforo	31-32	%
Acqua/Umidità	Max. 0,25	%
Azoto	14-15	%
Densità a 25°C	1900	g/l
Viscosità a 25°C	Max. 100	mPa*s
pH	5,5-7,5	
Temperatura di decomposizione	>275	°C

Il poliuretano così ottenuto presenta un'ottima proprietà di resistenza alla fiamma. L'andamento della combustione è determinato dall'apporto di energia, dalla disponibilità di ossigeno e dal carico di combustione. Il fenomeno è accompagnato da sviluppo di fumo ed emissione di gas tossici e corrosivi. Raramente i risultati dei test di infiammabilità o di autoestinguenza effettuati su provini di piccole dimensioni

sono correlabili agli articoli finiti. Occorrerebbe effettuare tali prove su provini con le dimensioni adeguate dell'articolo da realizzare. L'andamento della combustione segue una curva riportata nel suo grafico (Fig. 2.2).

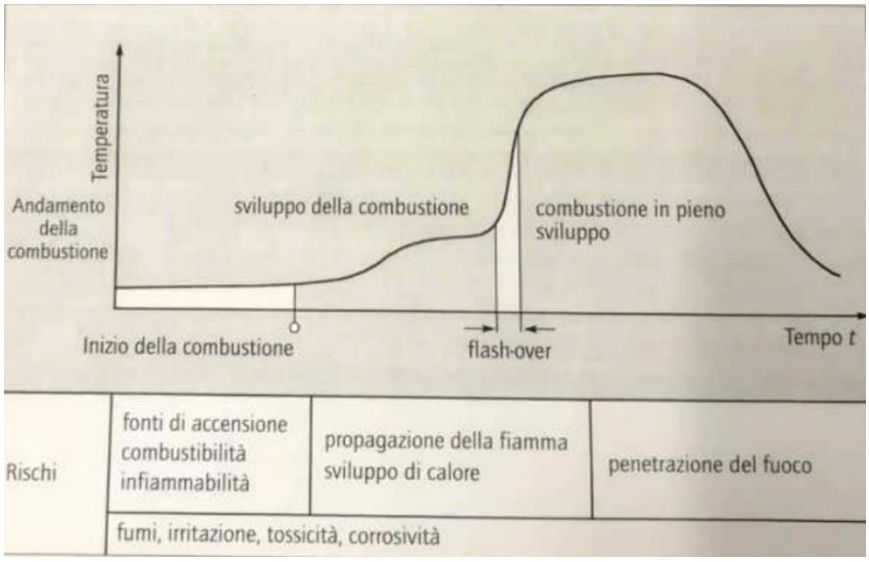

Fig. 2.2: Grafico della combustione.

Sotto il profilo della tossicità relativa i sistemi in poliuretano non costituiscono un pericolo maggiore rispetto alle tradizionali sostanze naturali. Per adempire ai requisiti di prevenzione antincendio richiesti per l'impiego di poliuretano, si utilizzano ritardanti di fiamma che impediscono la propagazione del fuoco e in parte lo sviluppo dell'incendio. Naturalmente ciò non significa che essi non possono incendiarsi se esposti per un lungo periodo alle fiamme. Tutti i sistemi poliuretanici rigidi che contengono questa sostanza rispondono ai requisiti della norma di autoestinguenza UL-94, con classificazione V0. Questa denominazione fa sì che la combustione sul pezzo deve arrestarsi entro 10 secondi senza che vi siano presenti gocciolamenti di materiale [12]. La suddetta classificazione di *flame rating* del materiale si trova negli elenchi Underwriters Laboratories Inc. al file numero E 83364. Queste prove per definire la classe vengono eseguite su un campione di Baydur®110 FR-6 con spessore da 3,1 mm.

2.2 Componente industriale oggetto dello studio

Il componente industriale in esame è la parte sottostante, lo chassis, di un dispositivo elettromedicale costituito in totale da 5 pezzi che andranno accoppiati fra loro. Il dispositivo è il Gene-Up® (Fig. 2.3) dell'azienda BioMérieux. È un sistema diagnostico molecolare basato sulla PCR (*polymerase chain reaction* o reazione a catena della polimerasi, che come funzione duplica e analizza specifiche sequenze di DNA) per la rilevazione di microrganismi come batteri e virus. Consente il controllo microbiologico degli alimenti, delle materie prime e dell'ambiente di produzione per i clienti del settore agroalimentare. Questa soluzione semplifica

notevolmente il flusso di lavoro del laboratorio, migliorando la produttività e limitando il rischio di contaminazione inter-campione. Gene-Up® è semplice da usare, è dotato di un sistema flessibile che fornisce l'accesso remoto ai risultati di laboratorio, accelerando così il processo decisionale per il rilascio di lotti in attesa di essere spediti.

Fig 2.3: Dispositivo elettromedicale Gene-Up®.

Consente inoltre di rilevare gli agenti patogeni più comunemente testati nella catena alimentare, come la Salmonella, l'Escherichia coli O157:H7 e la Listeria. I metodi utilizzati per rilevare la Salmonella e l'Escherichia coli O157:H7 hanno già ricevuto la certificazione AOAC-RI (n. 061504 e 061505). Inoltre, essendo una piattaforma aperta, è ideale per l'utilizzo di test nella gamma di prodotti CEERAM (una società specializzata in biologia molecolare). I test CEERAM rilevano virus, tra cui i norovirus e l'epatite A nella catena di produzione agroalimentare [13].
Lo chassis, innanzitutto, deve isolare alla perfezione la sua parte interna dall'ambiente esterno. Questo serve, perché al suo interno andranno collocate le provette dei campioni da analizzare. Se l'ambiente non fosse isolato, i risultati ottenuti potrebbero essere falsati. Un'altra importante specifica riguarda, al contrario, la sua conducibilità elettrica. Essendo in poliuretano rigido, materiale noto per non condurre corrente, occorre spruzzare al suo interno una vernice al nichel (Ni) la quale a sua volta viene coperta da un'altra verniciatura, questa volta isolante, lasciando però scoperti alcuni punti strategici. Essi saranno conduttori e verranno accoppiati successivamente, da parti metalliche che serviranno per il funzionamento della macchina. Questo pezzo deve avere un compromesso fra robustezza e leggerezza, visto che deve sia sostenere il peso di tutto il dispositivo con anche le provette, e sia risultare maneggevole. La scelta di questo tipo di materiale ad alta densità, soddisfa ottimamente queste due richieste. Questo componente, dovrà essere successivamente collegato ad altri due articoli, ciò implica che vi sono dimensioni sensibili, ovvero quelle che servono per

l'accoppiamento come: le poppette e l'apertura passante per l'incastro con la maniglia davanti. Infatti, devono essere tenute sotto stretto controllo e se risultano deformate o dimensionalmente errate, il componente non potrà essere utilizzato. Vi devono essere presenti inoltre due sedi per le guide. Queste sedi sono ricavate direttamente sul pezzo senza lavorazioni per asportazione di truciolo, ma mediante rientranze nello stampo. Devono essere abbastanza profonde per contenere la guida e la colla per effettuare il collegamento con il coperchio situato sopra allo chassis, per far ciò la guida deve trasbordare dalla sede. Naturalmente, il componente industriale deve rispecchiare anche le esigenze di autoestinguenza dovute alla sicurezza. Ciò è dovuto all'ambiente in cui si trova a lavorare, infatti nei laboratori è fondamentale per la prevenzione degli incendi avere meno propagatori di fiamma possibili.

2.3 Criteri di scelta del materiale

Progettazione e configurazione sono inseparabilmente legate alla scelta delle materie prime. La decisione a favore di una determinata materia poliuretanica è corretta, quando costituisce un compromesso ottimale fra funzionalità ed economicità senza trascurare i fattori come: l'aspetto estetico, praticità di forma e lavorazione. La scelta corretta del poliuretano presuppone una conoscenza sul suo comportamento e delle sue caratteristiche. Anche se il prezzo del materiale ha un certo peso nel criterio di scelta, non deve essere tuttavia sopravvalutato in quanto si potrebbe cadere in un materiale difettoso, una progettazione non consona alle esigenze del materiale, una lavorazione non corretta ed un'applicazione sbagliata che danneggiano la realizzazione del componente. Per sfruttare in misura ottimale caratteristiche e vantaggi, è essenziale che il materiale ritenuto idoneo venga discusso, già nella primissima fase di sviluppo dell'articolo, ottenendo così un prodotto funzionale e configurato in modo ottimale. Per la giusta scelta del poliuretano occorre chiarire alcuni punti riguardanti il suo impiego, infatti bisogna distinguere in primo luogo se si tratta un componente portante o meno, quindi più o meno soggetto a carichi e di conseguenza quali sono le sollecitazioni di cui tener conto. Si passa dunque a cercare di capire il giusto compromesso fra le caratteristiche richieste e quelle che si possono soddisfare attraverso l'impiego del materiale in esame. Altro aspetto importante assume l'entità della sollecitazione termica e la sua durata, con i margini di tolleranza per la dilatazione termica subita e se è richiesto una particolare resistenza alla fiamma. Quindi si cerca di capire quale materiale è meglio impiegare nell'ambiente in cui andrà a lavorare il componente, differente sarà la scelta se il campo è quello medico o il settore agroalimentare per esempio. Infine se si vuole eseguire una colorazione in massa oppure una verniciatura del prodotto post-stampaggio.
Tuttavia, le condizioni di produzione e le sollecitazioni a cui è sottoposto il prodotto nell'impiego pratico, possono differire notevolmente da quelle scelte per la

determinazione dei valori caratteristici. Questi dati vengono utilizzati per la scelta preliminare e il confronto fra i vari poliuretani (Tab. 2.2).

Tab. 2.2: Confronto fra Baydur®110 e Baydur®60 [14].

Descrizione	Unità di misura	Baydur®110	Baydur®60
Densità	g/l	110	600
Spessore	mm	3-12	4-20
Sforno minimo	°	1	1
Ritiro plastico	%	0,5-0,8	0,4-0,7
Durezza superficiale	Shore D	75-77	69
Resistenza tensionale	MPa	50	18
Resistenza a flessione	MPa	58	32
Allungamento a rottura	%	14	8
Resistenza all'urto	kJ/m^2	57	16
Resistenza alla termodeformazione	°C	105	101
Coefficiente dilatazione termica	1/K	$100x10^{-6}$	$73x10^{-6}$
Estinguenza UL 94		V0 class	V0 class

Per determinare la temperatura di deformazione al calore, un campione viene sottoposto ad un carico meccanico definito e riscaldato in continuo con una data velocità di riscaldamento, rilevando quindi la temperatura alla quale si verifica una determinata deformazione. Anche conoscendo l'entità delle sollecitazioni ammesse è possibile prevedere limitatamente il comportamento dell'articolo: infatti lo si deve accertare su prototipi mediante prove che riproducono le condizioni pratiche. Anche i poliuretani hanno la proprietà di dilatarsi per azione del calore. Questa caratteristica viene espressa dal coefficiente di dilatazione termica. Dilatandosi, si hanno sul materiale tensioni termiche; la loro entità può essere stimata solo approssimativamente (formula 2.2), perché sia il coefficiente di dilatazione termica che il modulo dipendono dalla temperatura. Le tensioni si rilassano in modo particolare alle alte temperature, contrastandone così l'insorgenza. Le tensioni di origine termica si sovrappongono alle sollecitazioni dovute a carichi esterni e possono portare al cedimento precoce del componente se trascurate.

$$\sigma T = E \times \alpha \times \Delta T \qquad (2.2)$$

Dove:
σT: $Tensione\ \ termica$;
α: $coefficiente\ di\ dilatazione\ termica$
ΔT: $differenza\ di\ temperatura$
E: $modulo\ elastrico$

CAPITOLO 3: Processo Produttivo

Il processo di produzione del componente industriale comprende le lavorazioni dirette sul materiale tutti i processi che avvengono prima. Per poter ottimizzare al meglio i tempi ed avere un maggiore controllo sulla buona riuscita della produzione vi sono studi sul materiale e sull'oggetto in questione. Infatti, prima di partire con la vera e propria lavorazione occorre eseguire delle stime di tempo, costi ed impiego delle risorse disponibili. Naturalmente queste sono soltanto stime e, durante la fase di lavorazione, questi dati teorici non corrisponderanno in modo preciso ai valori reali. Infatti, come si vedrà i parametri di processo teorici potranno differire da quelli usati per la produzione. Dopo di ciò, i dati raccolti andranno immessi nella scheda di produzione di stampaggio con la quale gli operatori andranno a settare i macchinari. In questo capitolo si descriveranno brevemente i macchinari e le attrezzature impiegate per la realizzazione dello chassis. Il prodotto uscito dallo stampo è un semilavorato, ciò implica che vi saranno lavorazioni successive prima di poterlo considerare un pezzo finito. Infine prima di poterlo immettere sul mercato verrà eseguito un controllo di qualità, per verificare che si siano rispettate le specifiche richieste e non siano presenti difetti, che ne possano compromettere l'estetica o la sua funzionalità.

3.1 Studio preliminare del componente industriale

I valori caratteristici determinati su una matrice poliuretanica, in particolare quelli meccanici, non si riferiscono soltanto al materiale, ma anche al particolare da stampare. Essi dipendono dai parametri di processo impostati per la lavorazione e dalla geometria del componente industriale da produrre. Infine le caratteristiche del materiale sono influenzate dalla temperatura e dalla durata della sollecitazione in misura maggiore, rispetto ai materiali metallici. Per valutare i limiti superiori di temperatura ammessi per breve tempo sotto carichi meccanici, si utilizzano spesso i risultati ottenuti con l'impiego di sistemi standard di prova per la determinazione della stabilità di forma al calore inseriti nelle schede tecniche del materiale. I limiti superiori della temperatura d'impiego vengono fortemente influenzati da vari fattori, quali: durata ed entità della sollecitazione esterna, flusso del calore, forma e funzione dell'articolo. Anche senza l'interferenza di sollecitazioni esterne, i limiti superiori di temperatura non dipendono esclusivamente dalla temperatura di rammollimento del materiale, tensioni ed orientamenti interni possono condurre a deformazioni inammissibili già a più basse temperature.
Un parametro importante riguarda la rigidità che deve avere il componente, la quale dipende sia dal modulo elastico caratteristico del poliuretano sia dalla forma e geometria del pezzo da stampare. Le deformazioni che si verificano vanno attribuite generalmente a sollecitazioni di flessione. Ne esistono però di vario tipo, come quelle d'urto, le quali originano picchi di tensione molto superiori a quelle che si

manifestano sotto lo stesso carico statico. Per evitare questi picchi, nella progettazione preliminare è necessario evitare brusche variazioni di sezione ed intagli acuminati.
Vi sono presenti pure tensioni interne al componente, le cause della loro insorgenza vanno attribuite da un lato al comportamento di ritiro dell'intero articolo durante il raffreddamento e, dall'altro, al comportamento dei singoli componenti quali nucleo, zona periferica ed eventuale inserto. Durante il raffreddamento, il componente aderisce alle pareti dello stampo. Hanno così origine tensioni di trazione, poiché l'adesione ostacola il ritiro del materiale. Durante la sformatura esse si compensano, il che si manifesta con il ritiro. Uscito dallo stampo, con l'esposizione all'aria, il prodotto continua a contrarsi, libero da azioni esterne. Per la distribuzione delle tensioni in questa fase sono essenziali: la temperatura, il coefficiente di dilatazione e il modulo elastico. Tutti e tre dipendono dalla densità del materiale. Nella zona marginale sono presenti tensioni dovute a compressione, nel nucleo di trazione. Un aumento della temperatura dello stampo, come un tempo di permanenza prolungato nello stesso, porta alla diminuzione della tensione [15].
Dalle schede tecniche dei materiali si apprende quale è il tempo di crema del materiale, quindi in quanto tempo bisogna schiumarlo per poter riempire perfettamente la forma. Sapendo che il peso totale del componente è 2050±140 g con un volume da 1,95 dm^3, si assume che in teoria serviranno 2100 g di materiale da iniettare nella cavità. I restanti 50 g formeranno la materozza e le bave. Dalla scheda tecnica si ha che il tempo di crema è di 7 secondi, quindi è il tempo massimo per poter inserire all'interno dello stampo 2100 grammi di poliuretano. A questo punto si deve verificare che la schiumatrice sia in grado di poter soddisfare tale portata. Nel caso dello chassis il tempo di colata è di 3,5 secondi alla portata di 600 g/s.
Per poter riempire al meglio la cavità da un attento studio si ricavano l'inclinazione che deve avere la pressa durante il tempo di polimerizzazione del materiale in reazione e l'angolo di rotazione dello stampo. Sempre dalle schede tecniche si assume la temperatura alla quale si deve trovare lo stampo durante tutta la fase di stampaggio. Queste informazioni ed altre, comunque riguardanti il componente industriale da realizzare, sono contenute nella sua scheda di produzione di stampaggio che viene affidata all'operatore che dovrà eseguire la produzione. In questa scheda oltre ai parametri di lavorazione è presente la ricetta del poliuretano con le temperature alle quali si devono trovare poliolo ed isocianato. Inoltre, sono riportate le lavorazioni successive allo stampaggio da effettuare e tutti i componenti che devono essere inseriti come: guide, viti e inserti. Dato che vi sono molto elementi da inserire manualmente, per facilitare la lettura vengono pure riportate le loro quantità e la posizione nel prodotto. Questa scheda riveste un ruolo molto importante poiché permette di controllare il semilavorato appena uscito dallo stampo. Infatti se si dovesse dimenticare di inserire un inserto o se il peso è troppo superiore da quello indicato, il manufatto risulterebbe inutilizzabile e dovrà essere scartato a priori. Infine, un'altra indicazione presente nella scheda è la posizione di estrazione del pezzo, infatti può rimanere sia sul punzone (maschio) o nella matrice (femmina). L'analisi preliminare comprende anche lo studio dei sottosquadri. Infatti

se sono presenti nel componente da stampare occorre trovare il modo di risolverli. Ciò può essere eseguito sia mediante l'ausilio di tasselli, sia modificando la posizione della cavità. Quest'ultimo caso occorre eseguirlo durante la progettazione dello stampo. I tasselli invece vanno ad occupare lo spazio che non deve essere riempito dal fluido. Questo è il metodo più usato quando il sottosquadro non può essere eliminato modificando la cavità [16]. Per mantenere le specifiche di robustezza e piccoli spessori del componente, vi si aggiungono al suo interno elementi di rinforzo dove necessario evitando al contempo un eccessivo aumento di materiale che ne comprometterebbe la leggerezza. Inoltre, dato che il componente deve essere collegato ad altri, particolare importanza ha lo studio dei mezzi di accoppiamento. In questa circostanza vengono utilizzati come elementi gli inserti ricavati nelle poppette e le guide. Andranno quindi distribuiti in punti strategici per permettere un efficace e saldo collegamento, senza eccedere con le parti da collegare aumentando così il tempo di produzione. Alla fine di questa analisi si otterrà il tempo di produzione di un singolo prodotto. Questo serve per capire in che modo distribuire al meglio l'intera realizzazione del lotto nelle macchine ed in quanto tempo si riuscirà a finire l'ordine.

3.2 Ciclo di lavorazione

L'operazione da eseguire prima di iniziare il processo di stampaggio è l'inserimento dello stampo nella pressa selezionata. Essendo in gioco alte pressioni, lo stampo non può essere in ferro-resina ma in metallo. L'alluminio è il materiale indicato per questo tipo di lavorazione, poiché, anche se vi sono pressioni elevate in gioco, vi deve essere un'ottima termoregolazione dello stesso. Essendo questo materiale un ottimo conduttore di calore, il mantenimento della temperatura durante la fase di iniezione e di reazione del componente risulta più semplice ed efficace. Lo stampo andrà fissato direttamente sulla pressa (Fig. 3.2) sia dalla parte della matrice che dal punzone. Per poter eseguire questa operazione occorre avere delle ganasce e la bullonatura più adatta.

Fig. 3.2: Fissaggio stampo alla pressa.

Come riportato nella scheda di produzione di stampaggio, lo stampo dovrà essere ruotato di un certo angolo per poter permettere al fluido iniettato di bagnare completamente la cavità. Questa operazione è molto delicata perché un angolo di rotazione diverso comporterà risultati differenti da quelli desiderati. Come già anticipato, lo stampo è realizzato in alluminio, il quale è diviso in più parti: la matrice che contiene il negativo del pezzo, la piastra d'estrazione che svolge la funzione di facilitare l'espulsione del componente una volta solidificato e il punzone che è quella parte che si chiude sulla matrice. A questi stampi si inseriscono dei tubi collegati con l'impianto di termoregolazione (Fig. 3.3) per mantenere controllata la temperatura ad un determinato valore. Il fluido regolatore caldo passa prima nei tubi per aumentare e mantenere la condizione termica desiderata; successivamente durante la reazione del poliuretano si sprigiona calore, quindi occorrerà raffreddare lo stampo facendo scorrere il fluido refrigerato nelle tubazioni.

Fig 3.3: Impianto di termoregolazione.

Oltre ad avere il collegamento con questo impianto, lo stampo viene collegato anche a quello oleodinamico, dato che sono presenti parti mobili mosse da pistoni per poter eseguire aperture passanti nel prodotto. Se questi pistoni sono ancora nella posizione interna allo stampo e si dovesse aprire quest'ultimo si rischierebbe di romperlo, con conseguente fermo della produzione. Il materiale viene iniettato nella cavità da un ugello posto nella testa di miscelazione collegata ad una schiumatrice (Fig. 3.4). Il collegamento stampo-testa di miscelazione avviene con apposita bullonatura. La schiumatrice è utilizzata per la miscelazione e il dosaggio in alta pressione di sistemi poliuretanici liquidi bicomponenti. Se il poliolo e l'isocianato permangono per molto tempo nei serbatoi possono provocare ingenti danni, come corrosione dovuta all'azione ossidante dei gas contenuti nel poliolo e la cristallizzazione delle superfici esposte all'isocianato, dovuta all'umidità contenuta nell'aria che potrebbe entrare in contatto. I due componenti nei serbatoi sono messi in movimento dagli agitatori presenti negli stessi [17].
A questo punto si passa al primo controllo da effettuare prima di iniziare a stampare. Questo consiste nel ricircolo del materiale nelle tubazioni fino alla testa di miscelazione. Si esegue prima il ricircolo del poliolo e poi quello dell'isocianato in modo tale da non far entrare in contatto i due materiali. La peculiarità di questo passaggio è dovuta al fatto che una volta arrivato il componente nella testa di miscelazione esso non verrà fatto fuoriuscire dall'ugello, ma entra nel tubo di ricircolo posto sotto la testa di miscelazione che lo rimette nell'apposito serbatoio. Questa operazione ha la duplice funzione di controllo generale del movimento dei

componenti nelle tubazioni e del controllo delle pressioni, infatti potrebbero risultare di qualche valore superiore o inferiore alla pressione scelta per lo stampaggio. In questo modo si verifica se è presente una discordanza con i valori di produzione oppure se è presente un'otturazione nei tubi.

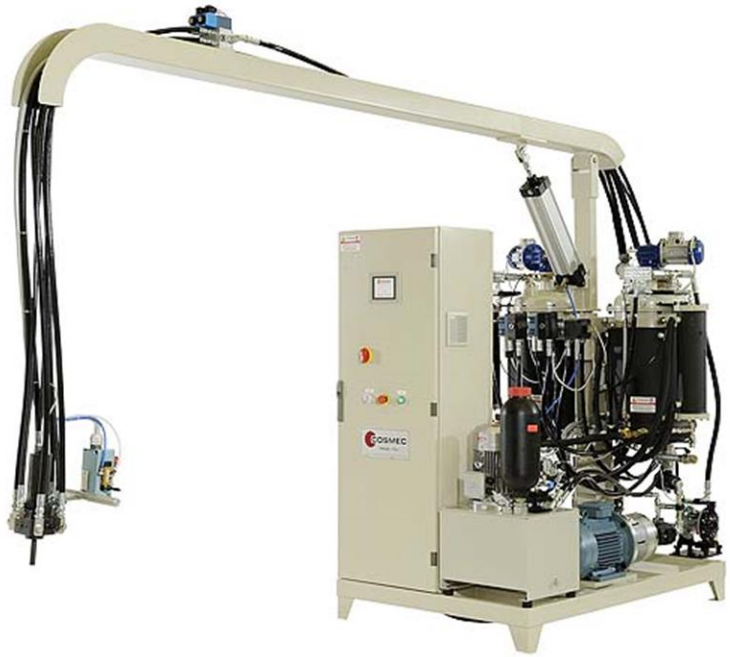

Fig 3.4: Schiumatrice COSMEC CMC HP 120/2TJ.

Prima di iniziare la produzione del lotto occorre eseguire l'ultimo controllo dei macchinari che consiste nell'eseguire una prima stampa di prova. Questa procedura simula la produzione del componente che una volta estratto dallo stampo dovrà essere innanzitutto pesato su una bilancia assieme alla materozza e alle bave, successivamente si pesa soltanto il componente e si verifica la corrispondenza con la scheda di produzione di stampaggio. Si passa quindi ad un accurato controllo visivo per determinare se sono presenti difetti estetici e se ne riporta l'eventuale presenza. Infine viene eseguito un controllo dimensionale delle misure d'ingombro e di quelle più sensibili, ovvero quelle dell'accoppiamento con altri pezzi. Se il prodotto supera i vari controlli ed i macchinari utilizzati rispondono a dovere ai parametri inseriti si inizia con l'intera produzione del lotto, altrimenti occorrerà riportare le problematiche riscontrate e cambiare i dati per la lavorazione con un successivo controllo della qualità del semilavorato. Questa operazione verrà effettuata fino a che non si avrà il componente con le specifiche richieste ed oltretutto dovrà essere eseguita ogni volta che si accendono i macchinari. Infatti, come si vedrà nel quarto capitolo, occorrerà a volte cambiare i parametri di lavoro anche da un giorno all'altro.

3.2.1 Stampaggio e lavorazioni post-stampaggio

Eseguiti tutti i controlli preliminari si passa allo stampaggio del componente. L'isocianato dal suo serbatoio passa, mediante apposti tubi, nella testa di miscelazione della schiumatrice (Fig. 3.5), mentre il poliolo già miscelato con il polifosfato d'ammonio prima di arrivare nella medesima testa deve passare attraverso l'emulsionatore (Fig. 3.6), il quale controlla in modo continuo l'apporto di aria nel poliolo ottenendo così un'emulsione aria-poliolo, dato che sono due fluidi immiscibili fra loro. Questo comporta che la miscela è solo temporaneamente stabile, infatti successivamente l'aria fuoriuscirà dal poliuretano durante la solidificazione. L'emulsione viene utilizzata anche per favorire l'espansione del materiale durante il tempo di polimerizzazione.

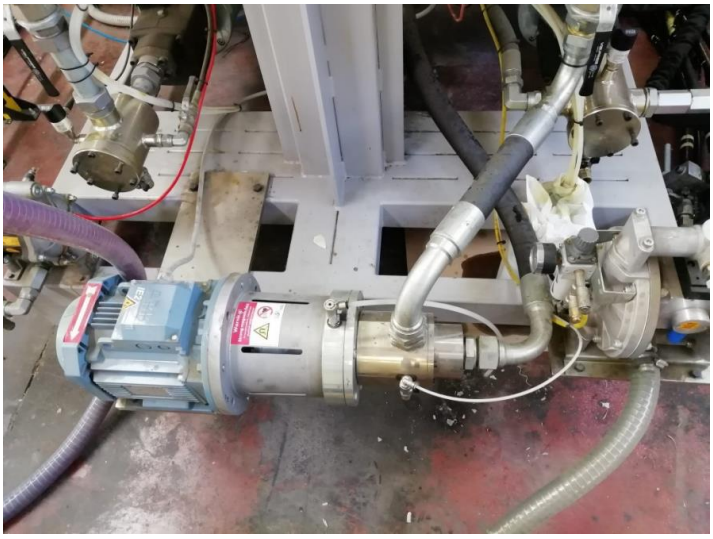

Fig. 3.5: Emulsionatore.

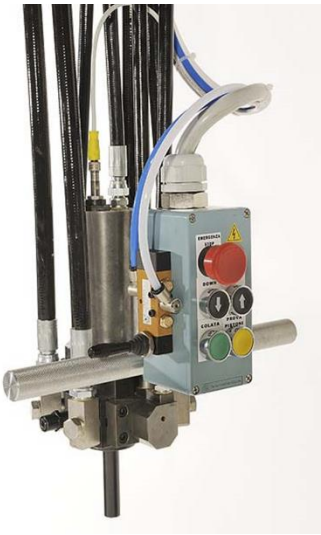

Fig. 3.6: Testa di miscelazione.

I componenti raggiungono alla temperatura di reazione la camera di miscelazione della testa, qui si uniscono per formare il poliuretano ancora liquido. Per entrare nella cavità dello stampo devono prima attraversare l'ugello, il quale li immette nella materozza e canale di colata alla portata stabilita. La conformazione del canale di colata è a forma di "S", ciò è dovuto al fatto che il moto del composto potrebbe essere turbolento. Questo tipo di moto è assolutamente da evitare poiché comporterebbe un intrappolamento di aria non voluto che causerebbe una formazione di bolle sul semilavorato solidificato, oltre a ciò si avrebbe un riempimento non omogeneo dello stampo. Questa conformazione del canale riesce ottimamente a smorzare la velocità d'ingresso del poliuretano rendendo così laminare il moto del fluido. Diminuendo la velocità, diminuisce di conseguenza il numero di Reynolds (Formula 3.1) che serve per determinare se il moto è laminare ($Re<2300$) o turbolento ($Re>4000$).

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho \times v \times d}{\mu} \quad (3.1)$$

Re: $numero\ di\ Reynolds$
ρ: $densit$à
v: $velocit$à
d: $diametro$
μ: $viscosit$à

Prima di avviare la schiumatrice, con lo stampo aperto occorre inserire tutti gli inserti (Fig. 3.7) a battuta negli appositi colonnini, i quali sono collegati alla matrice mediante la piastra d'estrazione posta nella sua parte sottostante. Una volta posizionati tutti gli inserti occorre chiudere lo stampo per permettere ai colonnini di rientrare nella matrice. Il passaggio successivo è riaprire lo stampo per poter inserire i 6 tasselli e risolvere così i sottosquadri presenti. Si hanno un totale di sei tasselli, quattro dei quali sono in alluminio, hanno dei piccoli magneti per permettere l'accoppiamento con la loro sede nella quale ve ne sono altrettanti. Si utilizzano i magneti per riuscire ad avere il tassello sempre nella stessa posizione, per resistere alle forze di espansione del poliuretano, che potrebbe spostarlo dalla sua sede, e per far sì che la forza che lo tiene saldamente in posizione è minore di quella di apertura della pressa, così quando si apre lo stampo il tassello rimane dentro il semilavorato senza rompere il componente. Gli altri due inserti sono invece in acciaio e collegato allo stampo grazie a magneti posti soltanto nella loro sede.

Fig. 3.7: Inserti IS.M03x09E06OT.

Due tasselli magnetici servono per risolvere il sottosquadro all'interno dei due lati lunghi dello chassis, un altro serve per realizzare l'apertura passante per assemblare il dispositivo Gene-Up® mediante l'uso di una maniglia, mentre l'ultima è usata per creare un bassofondo con sei fori passanti. I due tasselli in acciaio creano invece i due fori posti sotto il lato opposto al tassello per la maniglia che serviranno per l'inserimento delle viti imperdibili. Una volta inseriti tutti e sei i

tasselli occorre soffiare con aria compressa l'intera cavità per eliminare la sporcizia o i residui di poliuretano presenti in essa. Successivamente si spruzza il distaccante sulla matrice, sul punzone e su tutti i tasselli. Questa è una sostanza in grado di prevenire l'adesione del poliuretano sulle superfici di alluminio. È quindi la barriera da interporre tra stampo e materiale, al fine di evitare l'incollaggio delle due parti, facilitando così l'estrazione del componente stampato. Finite queste operazioni si chiude lo stampo e si inizia con la stampa vera e propria. Come già anticipato, il materiale passa attraverso l'ugello per riempire la cavità ed inizia la sua espansione e successiva solidificazione. Trascorso il tempo necessario per iniettare tutto il poliuretano, la pressa (Fig. 3.8) inizia ad inclinarsi della quantità prestabilita ed esercita sullo stampo la pressione indicata, rimanendo in questa posizione per tutto il tempo di polimerizzazione del poliuretano.

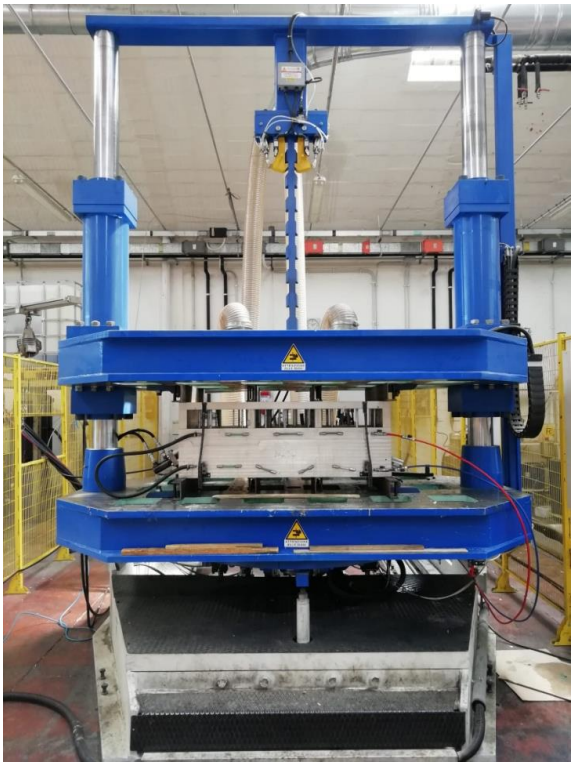

Fig. 3.8: Pressa idraulica con stampo.

La pressa in questione è di tipo idraulico, garantisce una pressione uniforme per tutta la durata necessaria, l'olio in pressione aziona la piastra pressante alla quale è fissato il punzone che andrà a battuta con la matrice dello stampo fino a raggiungere la pressione impostata. Finito il ciclo, la pressa ritorna nella sua posizione di riposo ed invertendo il senso di circolazione dell'olio apre lo stampo, la piastra d'estrazione va a battuta con la matrice consentendo così al prodotto di essere espulso dalla cavità.
Ottenuto il semilavorato si passa alle fasi successive allo stampaggio. Occorre rimuovere manualmente tutti e sei i tasselli, la materozza, il canale di colata (Fig.3.9) ed infine sbavare il pezzo. Le superfici ruvide vanno carteggiate e se vi

sono delle bolle sulla superfice del pezzo occorrerà stuccarla per riempire le piccole cavità create. Mediante un trapano a mano e l'ausilio di una dima, cioè una piastra metallica forata, si rendono passanti i sei fori creati dal tassello magnetico, dovendo essere pure filettati occorrerà eseguire un'operazione di maschiatura. Si ripassa sempre col trapano a mano i due fori creati dai due tasselli in acciaio per le viti imperdibili.

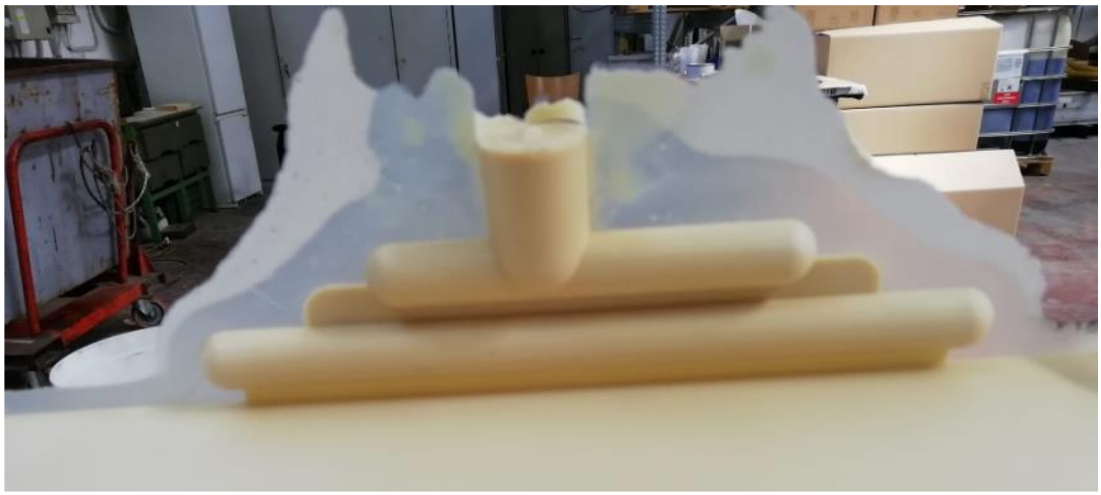

Fig. 3.9: Materozza, canale di colata ad "S" e bave.

A questo punto si arriva alla fase di verniciatura, si passa una vernice speciale al nichel per rendere la parte interna conduttiva e poi la si ricopre con una vernice che funge da guaina lasciando scoperti i punti dove si trovano gli inserti. Ciò serve per far passare corrente elettrica e rendere funzionante il dispositivo. Poi si colorano le superfici esterne con una vernice bianca. Dopodiché si incollano le guide metalliche nelle loro sedi, che sono state ricavate nella fase di stampaggio direttamente sul pezzo. Il prodotto finito una volta superati i controlli qualità potrà essere imballato e immesso sul mercato.

3.3 Controllo qualità

Un aspetto importante è il controllo qualità del componente stampato. Il prodotto deve rispettare le specifiche richieste in fase di progettazione. Una prima verifica avviene appena il semilavorato viene estratto dallo stampo: è necessario controllare e verificare che non vi siano presenti fenomeni di formazione di bolle, la geometria sia quella corretta e che non vi siano parti mancanti dovute ad un errato riempimento dello stampo. Nel primo caso con un semplice riempimento delle microcavità si ovvia al problema, se invece la geometria non è la stessa di quella indicata e ciò è dovuto a deformazioni avvenute a caldo sul componente lo si scarta come nel caso di parti mancanti. Questo primo controllo serve per scartare immediatamente i pezzi prima di eseguire lavorazioni successive allo stampaggio, evitando di impiegare risorse per prodotti mal riusciti o per organizzare al meglio

l'ordine di successione delle lavorazioni. Ad esempio sarebbe inutile eseguire una verniciatura su un prodotto con bolle superficiali, occorrerà eseguire prima la stuccatura e poi la colorazione delle superfici interessate. Il controllo finale avviene a lavorazioni ultimate; è importante visionare che le misure sensibili riportate in fase di progetto siano rispettate. Inoltre l'aspetto della superfice esterna non deve risultare ruvida o con grumi di vernice, i quali rovinerebbero il design finale del prodotto. Un'altra specifica da visionare è quella della conduttività elettrica: necessariamente la verniciatura al nichel deve consentire il passaggio di corrente, altrimenti il dispositivo medicale risulterà inutilizzabile. Infine occorre controllare che tutti gli inserti non siano coperti da uno strato di poliuretano, ciò impedirebbe l'accoppiamento con altre parti. Infatti, se il foro dell'inserto non è libero o addirittura si trova del materiale al suo interno, bisogna eliminarlo. Per poter adempiere a questa operazione bastano due lavorazioni manuali: la foratura utilizzando un trapano a mano con la punta dello stesso diametro dell'inserto e la sua successiva maschiatura interna dato che con il trapano si potrebbe rovinare la filettatura. Oltre a questo è necessario verificare che le posizioni per gli accoppiamenti siano state rispettate, altrimenti si rischia che il componente non possa essere utilizzato. Tutte le posizioni dei tipi di inserti differenti sono riportate nella scheda di produzione di stampaggio. Alla fine di tutti i controlli se il prodotto risulta conforme allora potrà essere immesso sul mercato ed iniziare il proprio ciclo vitale. In queste fasi, se un prodotto risulta non conforme dovrà essere scartato, apportare modifiche risulterebbe antieconomico o comunque impossibile da realizzare.
Se durante questa fase finale di controllo molti dei componenti analizzati presentano delle caratteristiche non conformi allo standard richiesto, occorre analizzare il problema riscontrato e risolverlo. Ciò significa che vi è un errore nel processo produttivo, il quale dovrà essere modificato e aggiornato per i lotti successivi. Rispettare le specifiche richieste ed avere determinati standard di qualità consente di raggiungere elevate prestazioni di impiego del materiale, con conseguente aumento della vita utile del componente. Il poliuretano ha un tempo di utilizzo di 20-30 anni e, pertanto, aumentandone la qualità si riducono gli interventi e le sostituzioni da effettuare in quest'arco temporale o addirittura si possono riscontrare prestazioni così elevate da allungare il suo tempo di utilizzo, con conseguenti benefici sia dal punto di vista economico che di ecosostenibilità. La qualità dei prodotti è determinata dalla capacità di soddisfare i requisiti, essa comprende sia le funzioni e prestazioni previste sia il loro valore percepito dal cliente [18].

CAPITOLO 4: Problematiche incontrate durante la lavorazione del prodotto e possibili soluzioni

Durante la produzione del componente sono comparse problematiche, che sono state risolte per poter completare la produzione. Come si vedrà più dettagliatamente in questo capitolo, esse nascono da cause differenti ed anche in momenti differenti del processo. Più tempestivamente si risponde a questi difetti, più l'intervento sarà efficace e gli eventuali danni saranno meno gravi. Vi sono momenti diversi in cui agire, per alcuni basta intervenire durante la progettazione, per altri durante la fase di stampaggio e per altri ancora si opera nella fase successiva.
Queste anomalie possono essere suddivise in due famiglie: quelle dei difetti estetici e dei difetti funzionali. I primi coinvolgono solo il design finale del componente senza stravolgere il funzionamento del prodotto finale, al contrario i secondi compromettono la funzionalità del componente con anche gravi conseguenze come l'inutilizzabilità dello stesso. Anche se il difetto non compromette la funzionalità non è da sottovalutare, potrebbe ugualmente rovinare il prodotto finito a tal punto da dover essere scartato, oppure sempre se trascurato ci si potrebbe imbattere nel rischio di impiegare risorse superflue per la realizzazione del prodotto.

4.1 Analisi dei difetti funzionali

I difetti funzionali comprometto la funzionalità del componente. L'intervento deve essere immediato per evitare che essi possano compromettere in modo irreparabile il prodotto, portando alla rottura prematura del componente e in alcuni casi non permettono di poter iniziare a svolgere la sua attività; basti pensare ad un errato posizionamento di un inserto o un collegamento non conforme, il pezzo risulterà inutilizzabile ancor prima di iniziare la propria vita utile.

Espansione del volume: occorre per prima cosa distinguere tra espansione primaria ed espansione secondaria del volume. La prima è di quanto aumenta il volume prima della fine della fase di polimerizzazione. L'espansione secondaria è l'aumento di volume della schiuma finita la polimerizzazione. Si cercano di usare materiali con minore espansione secondaria poiché questo processo è di difficile previsione e può comportare gravi ripercussioni, come la deformazione delle parti finite del prodotto.
Il poliuretano, come già discusso, entra nello stampo in forma liquida (Fig. 4.1) per poi a fine ciclo diventare solido. Sapendo che il materiale durante la solidificazione ha una reazione esotermica con annesso aumento di volume, per questo motivo occorre prestare particolare attenzione alla sua percentuale di espansione del volume che è di circa del 65-75%.

Fig. 4.1: Poliuretano iniettato nello stampo.

Questo è dovuto al fatto che il polimero deve espandersi, ma al contempo per rimanere rigido ha bisogno di una forte pressione che si deve contrapporre a questa espansione. Per raggiungere determinate caratteristiche di resistenza meccanica occorre iniettare il giusto quantitativo di materiale, inoltre l'aumento di volume ha una grande rilevanza sulla densità finale del componente. Sul piano economico risulta inappropriato immettere un quantitativo troppo maggiore di poliuretano, di fatti dopo l'espansione il poliuretano in eccesso andrà a formare le bave che saranno successivamente eliminate, producendo così un aumento dei costi di produzione. Naturalmente questo non implica il fatto che le bave devono essere evitate, infatti sono una parte fondamentale del processo produttivo, migliorando le prestazioni delle lavorazioni dato che al loro interno vengono intrappolati vari difetti. D'altro canto inserendo meno materiale, la geometria finale del semilavorato stampato potrebbe risultare compromessa data la sua mancanza di particolari. In seguito all'espansione e alla successiva solidificazione avviene il ritiro del materiale. Queste fasi sono molto delicate, se le pressioni in gioco non sono tali da mantenere l'ambiente interno con il materiale in reazione stabile; si può riscontrare la geometria finale del componente deformata irreparabilmente.

Nervature: le nervature (Fig. 4.2) sono un valido elemento di configurazione del manufatto, quando si tratta di aumentare la rigidità e la capacità portante del componente alla sollecitazione di flessione. Questa accortezza permette di limitare lo spessore di parete con conseguente risparmio di materiale. Oltre alla diminuzione dello spessore, l'aumento di rigidità e della sollecitazione sopportata, viene ridotto anche il tempo di permanenza nello stampo con conseguente vantaggio economico. Impiegando le nervature come elemento di rinforzo, occorre tenere presente che il loro effetto di irrigidimento si manifesta in misura sensibile, solo se la loro altezza corrisponde ad un valore di molte volte superiore dello spessore della parete da rinforzare.

Fig. 4.2: Nervature.

Il dimensionamento delle nervature è funzionale alla struttura da rinforzare. Esse devono garantire il sostegno della struttura durante l'applicazione del momento flettente. Esse vanno posizionate di preferenza sul lato che si trova sotto carico di trazione. Per evitare effetti di intaglio e picchi di tensione, è necessario raccordare con curvature le nervature nella zona di attacco alla superfice. Le curvature non hanno alcun influsso sul distacco dei particolari e sulla possibilità di degasaggio. Per evitare effetti di intaglio occorre prevedere un raggio minimo di curvatura, circa di 2 mm. Il loro dimensionamento è determinato in funzione del fronte di scorrimento del poliuretano. Contorni rivolti contro tale direzione conducono ad inglobamenti d'aria. Nei casi in cui non occorre seguire queste specifiche, è buona regola scegliere le curvature più ampie possibili. Occorre osservare una conicità di sformo di almeno 1°, al fine di mantenere basse le forze di espulsione necessarie per l'estrazione dallo stampo del componente. Per la sua influenza sul degasaggio dello stampo, la scelta della posizione delle nervature riveste un'importanza essenziale. Per evitare la formazione di cavità, l'andamento delle nervature dovrebbe corrispondere alla direzione di riempimento, inoltre si dovrebbero collegare al piano di distacco del particolare. Se il collegamento della base della nervatura alla superfice da rinforzare non è correttamente dimensionata, si verifica un accumulo di materiale che favorisce la formazione di risucchi sulla superfice. È possibile evitare questo inconveniente conferendo alla nervatura uno spessore inferiore a quello della parete da irrigidire. Un'alternativa può essere la conformazione a gradino della superfice in vista, che dissimula otticamente il punto difettoso, oppure si ricorre aumentando il numero delle nervature [19].

Conicità di sformatura: l'inclinazione delle conicità di sformatura (Fig. 4.3) va fissata su dei valori che dipendono dalla profondità dell'articolo: generalmente si utilizza 1° fino a 200 mm, se si supera tale profondità si può arrivare fino a 1,5° di inclinazione. Si utilizzano per facilitare l'estrazione del componente solidificato dallo stampo e per non rovinare la superfice a contatto con la matrice o punzone, oltre a queste viene usato un distaccante per facilitarne ulteriormente l'espulsione dalla cavità.

Fig. 4.3: Conicità di sformatura date dalle frecce rosse.

Nel caso di stampati di forma scatolare è sufficiente conferire la conicità al maschio, perché a causa del ritiro, il componente si stacca più facilmente dal mantello esterno. L'estrazione del maschio viene influenzata dal tempo di permanenza del poliuretano nello stampo: la sformatura va effettuata quando il particolare presenta una sufficiente stabilità, inoltre deve compiersi rapidamente per tutte la profondità del semilavorato. Se le superfici esterne presentano una configurazione rettangolare, è necessario usare stampi con lati mobili. Oltre all'aumento del costo dello stampo, occorre prevedere anche il maggiore lavoro successivo allo stampaggio, perché in questo caso sulle superfici di chiusura si verifica una formazione di bave. Oltre a questo è presente un sovraspessore in poliuretano, il quale è dovuto in modo diretto all'inclinazione delle superfici, di fatti se si necessita di pareti parallele fra loro oppure ortogonali al piano di divisione dello stampo, occorrerà eseguire un'ulteriore lavorazione asportando del materiale. Il vantaggio di questi stampi è costituito dalle ulteriori possibilità di degasaggio dato che con le conicità di sformatura l'aria intrappolata nello stampo è più agevolata alla sua fuoriuscita.

Sottosquadri: alcuni particolari del componente possono trovarsi in sottosquadro (Fig. 4.4), ovvero sono in una determinata posizione che ne impedisce l'estrazione dallo stampo una volta che il prodotto è solidificato. Ciò è dovuto al fatto che la parte in sottosquadro ostruisce la direzione di estrazione del prodotto.

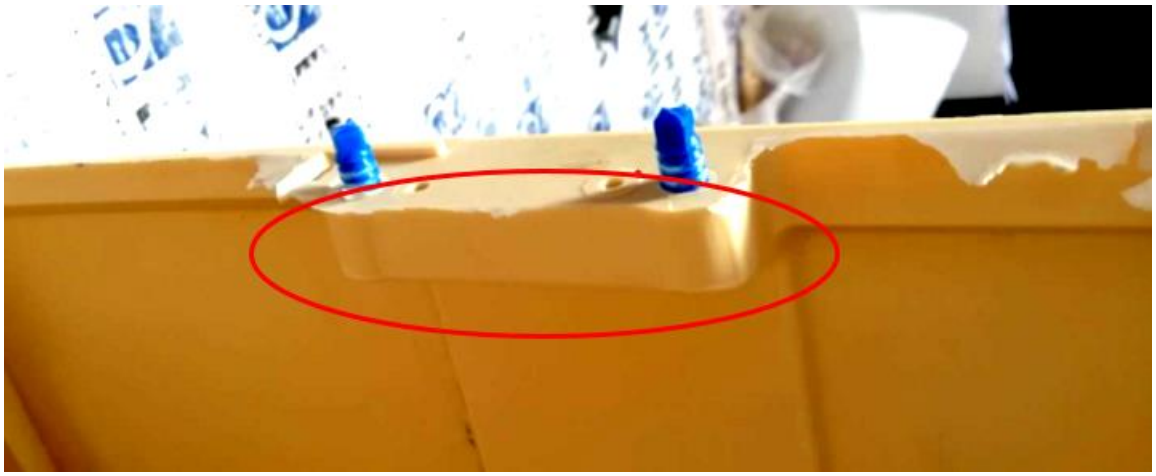

Fig. 4.4: Particolare in sottosquadro dovuto alla rientranza della parete interna.

Se per motivi dovuti alla tecnica di costruzione non è possibile evitare i sottosquadri, è necessario ricorrere ad uno stampo formato di espulsori o introdurre nel particolare tasselli con i quali possa essere estratto. L'impiego di tasselli mobili riduce i costi dello stampo ma comporta, di conseguenza, un aumento del ciclo di fabbricazione. Gli stampi con espulsori vanno utilizzati quando si predilige effettuare la produzione con il massimo grado di automazione, dato che i tasselli devono essere inseriti manualmente dagli operatori. Si deve inoltre, tenere presente che gli stampi formati da più parti e forniti di espulsori laterali, di tasselli mobili o punzoni e matrici con espulsori incorporati, si logorano più rapidamente, sono più costosi da realizzare e sono maggiormente soggetti a complicazioni e riparazioni. Infine, gli espulsori laterali e i punzoni o matrici con espulsori incorporati devono soddisfare requisiti più elevati per quel che concerne l'accoppiamento e la tenuta, a causa della penetrazione e dell'indurimento della miscela reagente in strette fenditure. Una problematica risulta anche la pulitura di tali espulsori a causa dell'elevata adesione e durezza dei residui di poliuretano. Al contrario, i tasselli mobili, sono molto più semplici da pulire, basta raschiare e soffiare i residui del polimero rimasti attaccati ad esso. La problematica riscontrata riguarda il posizionamento di tale tassello nella sua sede, infatti viene effettuato dall'operatore e ciò potrebbe comportare una diversa posizione per ogni componente stampato.

Poppette: le poppette (Fig.4.5) sono dei particolari sporgenti in poliuretano realizzate direttamente sullo stampato che hanno la funzione di facilitare l'assemblaggio meccanico dei componenti se sono cave al loro interno, oppure vengono utilizzate come supporto di base o distanziale se risultano piene, per cui la loro configurazione dipende dal compito che esercitano. Nel dimensionamento si deve evitare l'accumulo di materiale intorno ad esse, infatti crea problemi di stampaggio poiché allunga i tempi di permanenza del particolare all'interno dello stampo ed è inoltre un inutile spreco di materiale. Per evitare inconvenienti come risucchi, sulla superficie esterna, si deve tener presente che lo spessore dei colonnini dovrebbe essere inferiore al 60% del valore della parete di attacco. Vi è

anche la problematica della formazione dei cuscinetti d'aria, per impedirla occorre congiungere le poppette, se possibile, con le superfici esterne del componente.

Fig. 4.5: Poppetta.

Se la loro posizione non consente il collegamento con le superfici del prodotto, occorre conferire alle poppette una forte obliquità. Se è richiesta una riproduzione fedele della superficie d'appoggio, è spesso necessario conferire a loro le dimensioni maggiori di quelle richieste, per riportarle successivamente alle specifiche scelte mediante lavorazione di asportazione.

Ritiro e deformazione: ritiro è la variazione percentuale di una dimensione, riferita alla corrispondente quota dello stampo freddo. Con ciò si presuppone che la dimensione misurata sul componente stampato dopo raffreddamento sia rettilinea: in presenza di curvature, al ritiro si sovrappone una deformazione. Il ritiro diminuisce prolungando il tempo di permanenza del particolare nello stampo e cresce con l'aumento dello spessore della parete, della densità e della temperatura. Dopo il raffreddamento del prodotto in poliuretano a temperatura ambiente subentra il cosiddetto post-ritiro, che va attribuito sostanzialmente a successive reazioni chimiche ed al rilassamento di tensioni. Le successive reazioni si spiegano con il fatto che nella zona periferica la miscela reagente deve indurire a temperature molto più basse (temperature dello stampo) di quelle che si producono nella zona del nucleo per effetto esotermico, fino a circa 200°C. Per queste ragioni, su tutta la sezione possono verificarsi diverse reazioni e quindi, una variazione della tensione, con conseguenti cambiamenti dimensionali. La durata di questo processo dipende dalla temperatura e può essere abbreviata mediante adeguato condizionamento a temperatura elevata. I rilassamenti di tensione si verificano quando hanno luogo riordinamenti molecolari. Questi riordinamenti si manifestano, ad esempio attraverso una diminuzione del modulo nel tempo. Mediante la formula 4.1 si ottiene il ritiro percentuale del componente:

$$Vs = \frac{Lw-L}{L} \times 100 \qquad (4.1)$$

Dove:
Vs: $ritiro\ percentuale\ del\ volume\ del\ componente$
Lw: $quota\ dello\ stampo$
L: $misura\ del\ componente\ stampato$

Per deformazione (Fig.4.6) si intende lo scostamento di forma del particolare della configurazione scelta, quando le superfici si incurvano, si distorcono o quando le misure degli angoli cambiano.

Fig. 4.6: Deformazione di un particolare del componente industriale.

Nella maggior parte dei casi la deformazione che si verifica durante la fase di lavorazione, può essere attribuita a fattori geometrici (come a porzioni asimmetriche del prodotto o anche ad un'insufficiente rigidità), a specifiche caratteristiche del materiale, come la dilatazione termica, ed a fattori termici quali la differente conduzione del calore dovuta alle temperature nello stampo o un raffreddamento non omogeneo. Se risulta impossibile evitare differenze di ritiro, l'entità della deformazione dipende anche dalla stabilità di forma del prodotto, che migliora prolungando la permanenza nello stampo durante la solidificazione e successivo raffreddamento. L'impedimento del ritiro che ne deriva provoca, tuttavia, una tensione che può portare alla deformazione. Per questo motivo gli articoli sono particolarmente soggetti a questo pericolo ed occorre maneggiarli e immagazzinarli con particolare cura.

Accoppiamenti: per poter ottenere il dispositivo Gene-Up® occorre eseguire vari tipi di accoppiamento fra vari parti del componente con ulteriori prodotti stampati. Non è presente un solo tipo di collegamento ma ve ne sono di tre tipi: mediante l'uso di inserti affogati, con l'utilizzo di viti imperdibili a pressione e mediante l'incollaggio.
Vengono usati gli inserti metallici affogati nel poliuretano (Fig. 4.7) per effettuare un fissaggio fra due parti di componenti diversi. Se sono presenti sollecitazioni elevate o forze concentrate in un punto è necessario utilizzare elementi di rinforzo come le poppette. Per evitare deformazioni gli inserti vanno posizionati

simmetricamente sulla sezione dedicata al fissaggio: idealmente, il baricentro del particolare deve combaciare con quello dell'inserto.

Fig. 4.7: Inserti affogati.

Prima del riempimento gli inserti devono aver raggiunto la temperatura dello stampo, in modo da rendere possibile il flusso uniforme della miscela di reazione. In generale, è da evitare il fissaggio meccanico dell'inserto metallico mediante perforazione. Se si trova troppo vicino alla superfice esterna, possono verificarsi inclusioni di aria, che in casi sfavorevoli raggiungono la superfice con conseguente formazione di bolle. Lo spessore della superfice fra parete ed inserto dipende: dalle condizioni di flusso del materiale iniettato, dalla viscosità riscontrata e dalla razione del poliuretano. Il fissaggio degli inserti va eseguito in modo tale da non ostacolare lo scorrimento della miscela in reazione. Infine, oltre ad esercitare un effetto di rinforzo, gli inserti hanno il compito di ridurre l'accumulo di materiale e di alloggiare al loro interno elementi di fissaggio.
Vengono poi utilizzate le viti imperdibili a pressione, che sono viti tali da garantire estrema sicurezza poiché, come suggerisce il nome una volta serrate, non possono sfilarsi in quanto inserite con l'ausilio della pressione. Hanno la peculiarità di potersi adattare allo spessore ed alla durezza del materiale in cui vengono utilizzate. Sono realizzate con dei materiali resistenti alla corrosione, per questo la loro struttura risulta particolarmente robusta. Le viti imperdibili a pressione sono fatte in acciaio o per particolari applicazioni in acciaio inox. Comunque sia questo tipo di collegamento può essere rimosso, a patto che gli elementi di collegamento rimarranno solidali alla superfice, evitando in questo modo la loro perdita [20].
L'ultimo tipo di fissaggio che si analizzerà è l'incollaggio delle guide metalliche. È un collegamento molto semplice da eseguire, di fatti l'unica problematica è di realizzare la sede della guida in modo tale che dopo aver inserito la colla e successivamente la guida stessa, una porzione di essa deve risultare più alta della superfice in poliuretano, in modo tale da permettere l'accoppiamento con la parte superiore del dispositivo elettromedicale, nel quale sarà ricavata un ulteriore sede. Questo serve per avere un fissaggio veloce, preciso e abbastanza saldo fino a che non si desideri disaccoppiare i due componenti.

4.2 Analisi dei difetti estetici

I difetti estetici, come suggerisce il nome, compromettono solo il design finale del componente senza intaccare la sua funzionalità. Comunque, essi non devono essere trascurati dato che anche l'estetica è parte fondamentale del componente. Oltretutto, possono comunque portare a perdite economiche se non si interviene per tempo e se non vengono notati. Infatti risulterà inutile eseguire una verniciatura su una superfice non omogenea, di conseguenza occorrerà stabilire il coretto ordine del processo produttivo. In alcuni casi, se trascurati possono compromettere la funzionalità del dispositivo, anche per questo motivo risulta opportuno eliminarli appena li si riscontrano.

Aperture passanti: di regola è possibile eseguire delle aperture passanti (Fig. 4.8) o fessure nelle pareti senza l'impego di tasselli, solamente se si ha una sufficiente inclinazione dell'angolo di sformatura ed un basso spessore della parete in cui si deve realizzare.

Fig. 4.8: Apertura passante.

Nel caso di aperture situate l'una accanto all'altra, come nel caso di fessure di sfiato, le ampiezze e la distanza fra di loro non devono scendere sotto al valore minimo concesso. Poiché il rapporto fra la sezione di taglio ed il volume di materiale è molto elevato, è necessario conferire alle fessure una forma allungata. Inoltre, l'orientamento delle aperture dovrebbe corrispondere alla stessa direzione di schiumatura del poliuretano, deve avere la stessa direzione di entrata nello stampo del materiale, affinché si possano evitare la formazione di inclusioni di aria, di giunture di confluenza e di conseguenza si possa verificare il totale e corretto riempimento della cavità da parte del poliuretano. Altrimenti si potrebbe incorrere ad un indebolimento della resistenza alle sollecitazioni meccaniche. Mediante la corretta scelta del punto di schiumatura, le fessure orientate in tale direzione vanno posizionate al di sotto del livello del liquido iniettato.

Spessore: la scelta dello spessore riveste un ruolo fondamentale per la rigidità dell'articolo, infatti sono ammesse differenze di spessore. Gli spessori minimi e

massimi dipendono dal tipo di poliuretano utilizzato, l'andamento della densità e la reazione esotermica determinano tali limiti. Si deve tenere presente che con spessori elevati si prolunga il tempo di permanenza nello stampo e naturalmente si aumenta il peso finale del componente. Con il poliuretano utilizzato in questo caso di studio si possono raggiungere spessori minimi di circa 3 mm. Una regola fondamentale nella progettazione è quella di evitare forti sbalzi di spessore a causa dell'insorgenza della deformazione nel prodotto. Si potrebbero inoltre verificare problemi durante il riempimento dello stampo con conseguente formazione di difetti superficiali come grumi o rugosità indesiderate. Come appena citato il tempo di permanenza nella cavità dipende fortemente dallo spessore scelto, di conseguenza occorre evitare accumuli di materiale, dato che potrebbe condurre ad una conformazione asimmetrica indesiderata con una maggiore probabilità di deformazione finale sull'articolo dato dal diverso andamento della temperatura e dalle differenze del ritiro. Nel caso di elementi piani, le differenze di spessore non dovrebbero assumere valori troppo elevati, altrimenti si potrebbe verificare un avanzamento troppo veloce del poliuretano, pregiudicando così la possibilità di degasaggio con formazione superficiale di microcavità dovute all'aria rimasta intrappolata in esso.

Formazione di bolle: per produrre il componente senza la formazione di bolle superficiali (Fig. 4.9) è necessario iniettare i componenti perfettamente omogeneizzati fra di loro nella cavità dello stampo evitando la formazione di turbolenze nel fluido. Generalmente, la superfice in vista deve essere rivolta verso il fondo della matrice, in questo modo l'aria verrà espulsa dalla parte superiore dello stampo con possibile formazioni di microcavità nelle superfici nascoste del componente in lavorazione. Si deve inoltre tenere conto dell'esigenza di degasaggio dello stampo, nella zona di sfiato occorre evitare parti arrotondate, nel caso che l'aria inglobata non possa fuoriuscire lungo il piano di chiusura.
Un altro parametro importante da tenere sotto controllo è la temperatura dello stampo, dato che sia la formazione dello strato superficiale che il comportamento dello scorrimento del poliuretano, dipendono direttamente e fortemente da questo parametro di lavorazione. Dato che aria e poliolo sono due fluidi immiscibili, occorre visionare attentamente il loro rapporto attraverso l'emulsionatore. Se vi è presente troppa percentuale di aria nel poliolo, comporta un pessimo degasaggio del composto con conseguente formazione del difetto che può compromettere le sue specifiche estetiche richieste, oppure se vi sono bolle di entità importante si può addirittura compromettere la sua funzionalità con conseguente scarto del componente appena prodotto.

Fig. 4.9: Formazione di bolle sulla superfice del componente industriale.

Un errato rapporto aria-poliolo induce a difetti nel semilavorato da una semplice formazione di bolle a problemi maggiori come un mancato riempimento di alcuni elementi compromettendo la geometria finale. Infine due altri parametri che interessano la comparsa di tale difetto sono la temperatura e l'umidità dell'ambiente in cui si opera. Si è riscontrato che in due giornate totalmente diverse, sulla superfice del prodotto vi è comparsa tale anomalia avendo gli stessi parametri di produzione del giorno precedente. Per poter ottenere il componente esente da tali difetti si sono variati alcuni parametri di produzione per migliorare il degasaggio dello stampo, in questo modo l'aria è potuta uscire dalla cavità evitando la formazione superficiale di microcavità.

4.3 Valutazione e possibili soluzioni relative ai problemi riscontrati

I problemi riscontrati possono essere tutti risolti se si interviene tempestivamente, occorre riconoscerli e distinguerli per poi capire in che modo agire per poterli arginare o contenere in un intervallo di tolleranza adatto.
Per l'espansione del volume di poliuretano in reazione si agisce prima dell'inizio della lavorazione. Il dato percentuale dell'espansione deve essere noto in fase di progettazione del componente e deve essere accuratamente calcolato. Inoltre, sarebbe ancora più opportuno tenerne conto durante la progettazione dello stampo, aumentando le dimensioni della cavità interna rispetto alle dimensioni nominali del

prodotto da stampare. In questo modo si può operare a monte del processo di stampaggio aumentando la produttività dato che lo stampo viene realizzato con un sovradimensionamento dovuto alla reazione che avverrà al suo interno. Le stesse valutazioni valgono per le nervature, le conicità di sformatura e le poppette. Tutti questi difetti si possono eliminare o limitare agendo durante la fase di progettazione.
Per quanto concerne il ritiro e la deformazione, oltre che operare sempre nella fase di progetto, occorrerà farlo anche nelle fasi di stampaggio. Infatti, questa problematica può nascere anche durante il processo di produzione. Il ritiro è influenzato direttamente dal tempo di permanenza nello stampo, un tempo maggiore o minore può compromettere le dimensioni del componente. Per questo motivo si richiede molta attenzione al minutaggio del tempo di polimerizzazione. Un altro fattore che può influenzare direttamente la riuscita del semilavorato è l'ambiente esterno, di fatti la temperatura dell'ambiente è un parametro fondamentale durante la fase di raffreddamento fuori dallo stampo. La deformazione può essere causata anche da un'errata manipolazione del prodotto una volta uscito dalla cavità, ciò è dovuto principalmente al fatto che risulta ancora caldo e malleabile, quindi dovrà subire un ulteriore raffreddamento, che avverrà a temperatura ambiente. In questo periodo di tempo si potrebbe modificare irreparabilmente la geometria finale dello stampato con il suo conseguente scarto.
Il controllo dell'ambiente esterno è parte fondamentale anche per la formazione di bolle, difatti come già detto nel paragrafo precedente, temperatura e umidità influenzano direttamente la superfice finale del prodotto. L'aria che non viene espulsa, rimane intrappolata nel poliuretano formando così microcavità in superfice, inserendo nella schiumatrice l'emulsionatore si riesce a controllare il rapporto aria-poliolo limitando tale difetto. Se sulla superficie vi sono presenti bolle occorre riempire i vuoti eseguendo la lavorazione di stuccatura. Dato che la superfice stuccata non risulterà omogenea è necessario livellarla mediante carteggiatura, ottenendo così una parete liscia ed omogenea.
I sottosquadri possono essere risolti in due modi differenti: il primo è quello di studiare il più appropriato posizionamento del componente nello stampo, in alcuni casi con una semplice rotazione della sua posizione lo si risolve; il secondo è l'utilizzo di tasselli, si utilizza questa configurazione solo se modificando il posizionamento del pezzo la problematica rimane invariata. Vengono utilizzati tasselli magnetici (Fig. 4.10) i quali non permetteranno il riempimento con il poliuretano del sottosquadro in questione. Una volta finito il ciclo di lavorazione il tassello andrà tolto manualmente dal semilavorato. Bisogna comunque prestare attenzione che la temperatura del tassello coincida con quella dello stampo, in modo tale da evitare differenze di temperature durante la solidificazione del materiale ed incorrere in ulteriori difetti. Per questo motivo vengono realizzati principalmente in alluminio e si accoppiano con la sede ricavata direttamente nella cavità mediante l'utilizzo di magneti.

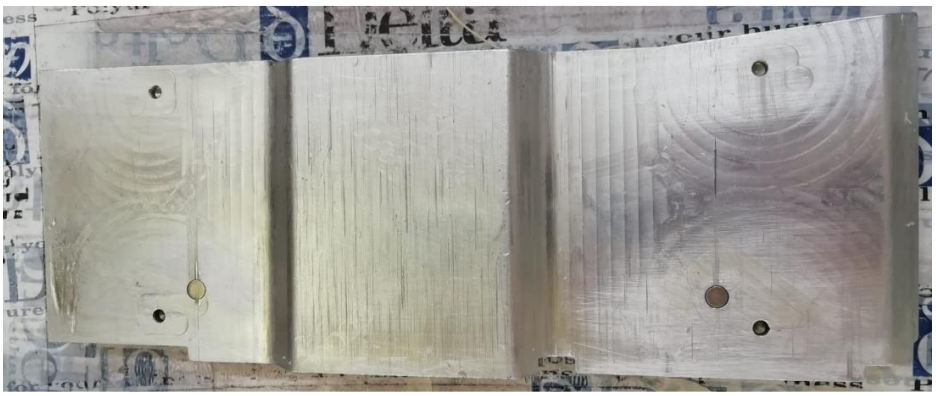

Fig. 4.10: Tassello magnetico.

I collegamenti filettati devono resistere all'estrazione della vite scelta. Ciò dipende dalla resistenza al taglio del particolare e dal volume di materiale contenuto fra i passi della filettatura ed anche dalla sua geometria. Non è possibile usufruire dell'elevata e costante forza di pretensionamento generata riserrando la vite una volta che viene tolta dal foro. Un modo per rimediare allo scorrimento del materiale generato ed alle differenze di dilatazione termica dovuta ai diversi materiali di vite e componente industriale è quello di inserire una rondella metallica per assorbire il pretensionamento creato. Un altro aspetto fondamentale è la distanza fra la punta della vite e la parete in cui viene serrata, ovvero se è troppo piccola si rischia di avere un certo grado di deformazione. Questo aspetto deve essere curato nelle fasi preliminari dello studio del componente.
Nelle aperture passanti create sul semilavorato si trovano le bave. Per facilitare la sbavatura i maschi che le creano, devono rientrare in esse. In questo modo si ottengono bave sporgenti che possono essere asportate mediante rettifica. Al contrario, si creano le bave rientranti, richiedendo così l'asportazione manuale. Se queste fessure sono poste nella direzione di sformatura, la formazione di bave deve avvenire sempre nel lato non in vista.
Infine si può aumentare la rigidità, oltre con le nervature o l'aumento di spessore, mediante una specifica conformazione dei bordi. Se si sceglie una soluzione con un rigonfiamento lo spessore della parete non deve superare di circa il doppio di quella da rinforzare, evitando così distorsioni. In ogni caso, bisogna evitare la conformazione di bordi con sottosquadri, dato che richiede uno studio più accurato dello stampo. Si possono creare deformazioni anche con elevati sbalzi di spessore, oltre a ciò potrebbero insorgere problemi di riempimento della cavità. Restringimenti di sezione non provocano scorrimento se il punto di schiumatura viene posto al di sotto la zona del livello del liquido. Questo non toglie il verificarsi di inglobamenti di aria indesiderati. Nel caso di un rigonfiamento a causa delle differenti resistenze di attrito, si può verificare un avanzamento troppo veloce del poliuretano, pregiudicando il degasaggio del prodotto.

CAPITOLO 5: Conclusioni

In questo lavoro di tesi è stata descritta ed analizzata la fase di processo utilizzata per la produzione di un componente a matrice polimerica. Il processo produttivo analizzato è lo stampaggio mediante pressa, inoltre sono descritte anche tutte le lavorazioni eseguite a posteriori alle quali è stato sottoposto l'oggetto. Nell'elaborato sono descritti i vari difetti riscontrati sul prodotto.
Nelle prime fasi del tirocinio in azienda è stato possibile studiare le schede tecniche da utilizzare in fase di stampaggio, inoltre è stato possibile selezionare la matrice polimerica al fine di soddisfare le caratteristiche funzionali ed ingegneristiche del componente finale. Si deduce che il poliuretano è il materiale che meglio si presta per la realizzazione di tale elemento, date le sue prestazioni meccaniche e l'elevata durata insita nel materiale. Il poliuretano è il Baydur®110 FR-6, il quale oltre ad avere un ottima robustezza e prestazioni meccaniche elevate per una materia polimerica, possiede una buona resistenza alla fiamma. Questa proprietà è obbligatoria quando si opera in ambienti controllati come laboratori di analisi. Infine, questo materiale è un eccellente isolante senza avere problemi di tossicità, queste due specifiche sono estremamente importanti dato che i campioni di alimenti devono essere isolati dall'ambiente esterno e naturalmente non possono subire una contaminazione, se ciò avvenisse i risultati degli esami risulterebbero falsati. Il materiale in questione è quello che sposa meglio la realizzazione del componente industriale in esame.
Il tempo stimato per la produzione di un singolo prodotto si aggira intorno ai 20 minuti. Il poliuretano ha bisogno soltanto del 15% di questo tempo per poter solidificare ed essere estratto dallo stampo. Questo implica che il restante 85% del tempo viene utilizzato per la preparazione dello stampo, ciò è dovuto principalmente alla complessità del prodotto. Vi sono infatti una molteplicità di inserti (da inserire nello stampo) diversi fra di loro sia di diametro che di lunghezza, oltretutto occorre risolvere la bellezza di 6 sottosquadri con altrettanti tasselli. Per ridurre queste tempistiche occorrerebbe automatizzare questi due processi affiancando gli operatori con macchine le quali sono sicuramente più rapide e precise, infine durante il tempo di polimerizzazione, ovvero il 15% del totale, l'operatore può preparare i vari inserti che dovrà inserire nella macchina. Un ulteriore modo per rendere il processo più efficiente ed evitare che la pressa rimanga ferma è quello di utilizzare 12 tasselli al posto di 6. In questo modo mentre i primi 6 sono all'interno dello stampo, gli altri durante il tempo di polimerizzazione, possono essere preparati per il ciclo successivo. Per quanto concerne invece le problematiche, come raccomandato dalla norma ISO 9001:2015 [21] tutti i difetti, le problematiche e le loro soluzioni devono essere catalogate ed archiviate, in modo tale da intervenire nel modo più tempestivo ed efficace possibile nell'eventualità della loro comparsa sul componente.

Referenze

[1] Informazioni generali sul marchio Delta Poliuretani all'indirizzo: deltapoliuretani.it/azienda, pag. 3
[2] I diisocianati nella sintesi dei poliuretani, Capitolo 2, Poliuretani: informazioni generali, pag. 5-6-7
[3] Salute e sicurezza, Isolamento in poliuretano e qualità dell'aria, Luglio 2013, pag. 8
[4] Cfr. sezioni 9 (Nachweise) delle dichiarazioni ambientali del prodotto (EPD), pag. 8
[5] Descrittori di utilizzo REACH, pag. 8
[6] *Metal replacement and high performance polymers for extreme applications: all the advantages,* pag. 9
[7] *Metal replacement:* dove, quando e perché, all'indirizzo: www.ilprogettistaindustriale.it, pag. 9
[8] Plastica, che tipo di riciclo? 25 Gennaio 2021, all'indirizzo: www.recyclind.it, pag. 11
[9] Scheda tecnica Baydur®VP.PU 1498, pag. 13-14
[10] Scheda tecnica Plixxonat®N126, pag. 14
[11] Scheda tecnica Exolit®AP 422, all'indirizzo: www.clariant.com/en/Solutions/Products/2014/03/18/16/31/Exolit-AP-422, pag. 15
[12] *Professional plastic, Overview of UL 94 flame classification*, pag. 16
[13] BioMérieux gene up launch, pag. 17
[14] Schede tecniche Baydur®110 e Baydur®60, agli indirizzi: deltapoliuretani.it/poliuretano/baydur-110/, deltapoliuretani.it/poliuretano/baydur-60/, pag. 19
[15] Progettare con Baydur®, Determinazione dei valori caratteristici, pag. 21
[16] Analisi e tecnologia delle lavorazioni meccaniche, Risoluzione dei sottosquadri, pag. 22
[17] Manuale schiumatrice COSMEC CMC HP 120/2TJ, pag. 24
[18] ISO 9001:2015, definizione di qualità, pag. 30
[19] Progettare con Baydur®, Nervature, pag. 33
[20] Viti imperdibili, Caratteristiche delle viti imperdibili, pag. 38
[21] *ISO 9001:2015 Quality management systems — Requirements*, pag. 44