

POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Meccanica, Aerospaziale, dell'Autoveicolo e della
Produzione

**Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Meccanica**

Tesi di Laurea Magistrale

Design Automation di Involucri di Protezione per Cilindri di Plastificazione



Relatore

prof. Sandro Moos

Candidato

Matteo Viglierchio

Ottobre 2020

Indice

1	Introduzione	1
1.1	Scopo della Tesi	1
1.2	Descrizione dell'Azienda	1
1.3	Organizzazione della tesi	3
2	Stato dell'Arte	5
2.1	Configuratore di Prodotto	5
2.2	Solidworks API	7
2.3	Involucri di Protezione per Cilindri di Plastificazione - Geometria	10
2.4	Involucri di Protezione per Cilindri di Plastificazione – Processo Produttivo	12
3	Configuratore	16
3.1	Descrizione del Problema	16
3.2	Progettazione del Configuratore	19
3.3	Interfaccia Utente	22
3.4	Codice	24
3.5	Distinta Base	29
	Conclusioni	32
	Riferimenti Bibliografici	33

1 Introduzione

1.1 Scopo della Tesi

Il progetto di tesi nasce dall'esperienza maturata come disegnatore e progettista di componenti meccanici presso l'azienda Z.R.E. di San Gillio, in cui sono attualmente impiegato. Nello specifico l'obiettivo della tesi è quello di sviluppare un configuratore di prodotto che permetta di ridurre i tempi di progettazione, aumentare la qualità e migliorare in generale il processo produttivo degli involucri di protezione per cilindri di plastificazione.

Utilizzando Solidworks Application Programming Interface (API) si vuole sviluppare un software che possa seguire il processo produttivo dalla fase di offerta a quella finale di spedizione, riducendo i compiti ripetitivi, automatizzando la fase di disegno e ottimizzando la gestione del magazzino. Il configuratore, a fronte di input che derivano dalle richieste del cliente e dal lavoro degli impiegati dell'ufficio tecnico, deve fornire una serie di output, quali i modelli 2D e 3D del prodotto e la distinta base, che vengono poi utilizzati nelle varie fasi del processo produttivo.

La necessità di sviluppare questo tipo di applicazione è dovuta a un mercato che vede un costante aumento della competizione, richieste dei clienti sempre più particolari e tempi di consegna sempre più stretti con prezzi competitivi.



Figura 1: Configuratore di Prodotto

1.2 Descrizione dell'Azienda

La Z.R.E., fondata nel 1962 come ditta Zecchi, si è successivamente trasformata con la nuova denominazione sociale in Z.R.E., Zecchi Riscaldatori Elettrici, nel dicembre del 1993. L'azienda si occupa di progettare e produrre riscaldatori elettrici per i più svariati settori industriali. La gamma di prodotti offerti dall'azienda comprende riscaldatori per il settore delle materie plastiche, per il riscaldamento di liquidi o aria, accessori come termocoppie o termoresistenze e centraline di termoregolazione.



Figura 2: Riscaldatori a Fascia con Isolamento in Mica



Figura 3: Involucri di Protezione per Cilindri di Plastificazione

Tra i vari prodotti che l'azienda offre sono presenti gli involucri di protezione per i cilindri di plastificazione, anche detti carter di protezione. La funzione principale di questo tipo di componente è proteggere l'utente dal contatto con le resistenze che scaldano il cilindro di plastificazione.

I carter, a parte qualche tipologia standard a magazzino, sono fabbricati seguendo le specifiche del cliente. Per aziende costruttrici di macchine gli involucri di protezione sono a tutti gli effetti come prodotti di consumo, soprattutto da parte di costruttori di macchine, in quanto i carter sono un piccolo particolare che spesso fa parte di un assieme molto più grande e complesso, come ad esempio una pressa a iniezione per materiali plastici, a un'autoclave per la sterilizzazione usata in ambito ospedaliero, fino ad applicazioni particolari come acceleratori di particelle. I riscaldatori elettrici e le eventuali coperture sono un piccolo elemento della macchina, che varia a seconda dei modelli e deve avere un costo molto contenuto.



Figura 4: Pressa ad Iniezione

Avendo necessità di soddisfare le richieste individuali e specifiche per ogni cliente, mantenendo costi e tempi di produzione simili a quelli di una produzione di massa, un configuratore di prodotto può comportare significativi benefici.

1.3 Organizzazione della tesi

Come descritto nell'articolo *Definition and evaluation of product configurator development strategies* (Haug et al., 2012) per aziende engineering-oriented, l'utilizzo di un configuratore di prodotto può comportare una serie di benefici: riduzione dei tempi di consegna, miglioramento della qualità, preservazione del know-how, utilizzo di minori risorse per il prodotto, ottimizzazione della produzione, minor lavoro ripetitivo e minor tempo per la formazione del personale.

I benefici di un configuratore sono ancora più evidenti se analizziamo nello specifico il prodotto che consiste in un assieme di lamiera piegate e saldate. I configuratori di prodotto, quando sono rivolti a progetti molto complessi e pensati per più utilizzatori, richiedono tempi di progettazione molto lunghi e un grande investimento dal punto di vista economico. Spesso gli stessi progetti, a causa dei costi troppo elevati o magari a seguito della realizzazione di un prototipo che non fornisce i risultati sperati, vengono abbandonati prima del completamento del configuratore.

Come descritto da Haug et al. le sfide base da superare per avere successo nella realizzazione di un configuratore sono essenzialmente due. La prima, il progetto deve sopravvivere fino a quando il configuratore è sviluppato al punto da poter essere utilizzato. La seconda, una volta completato il configuratore deve essere accettato e utilizzato dagli operatori addetti, in questo caso gli impiegati dell'ufficio tecnico.

I cilindri di plastificazione fanno parte dei prodotti standard realizzati della Z.R.E. e le statistiche confermano un regolare aumento delle vendite, anno dopo anno: possiamo quindi affermare che la prima sfida posta da Haug. et al. è superata. Se consideriamo gli impiegati dell'ufficio tecnico, un configuratore ridurrebbe drasticamente i tempi di progettazione del componente, in quanto la modellazione di tutti i particolari e la relativa messa in tavola verrebbe realizzata in automatico dal software. Diminuendo i lavori ripetitivi e automatici che gli impiegati eseguono per la creazione della commessa l'utilizzo di un configuratore non dovrebbe essere un problema da parte degli operatori, sempre tenendo conto di un'interfaccia che semplifichi e guidi l'utente attraverso i vari passaggi della modellazione.

Le possibili variabili nella realizzazione di un involucro sono molteplici e le loro combinazioni sono teoricamente infinite poiché i carter possono variare per forma, dimensione, tipologia di materiale, lavorazioni e accessori. Essendo l'involucro esterno del cilindro di plastificazione una delle parti più in vista della macchina, il carter diventa anche tratto distintivo della stessa. Questo accentua la differenza tra involucri di aziende concorrenti che necessitano di una geometria personalizzata e riconoscibile da parte del cliente. Le forme più comuni di carter sono circolari, quadrate o ottagonali e ciascuna di queste realizzazioni prevede lavorazioni e macchinari diversi. Vi sono inoltre grandi differenze tra carter dovute alle applicazioni, in quanto un involucro può servire semplicemente come protezione o abbellimento, oppure può avere delle funzioni di isolamento termico (carter coibentati), o di raffreddamento (carter con predisposizione per ventilatori). Il processo di modellazione è influenzato da questo grande numero di variabili. In particolare carter di forme diverse prevedono semilavorati e lavorazioni diverse. In questo progetto di tesi analizzerò un modello di configuratore pilota che ridurrà il campo a una specifica tipologia di involucri di protezione.

Prima di descrivere i dettagli del configuratore è necessario introdurre le caratteristiche del prodotto, le fasi del processo produttivo, gli strumenti utilizzati e in generale il contesto in cui il software è stato sviluppato.

Nel capitolo 2 vengono introdotti gli aspetti generali di un configuratore di prodotto, ne vengono analizzati i benefici in termini di riduzione dei tempi di progettazione e incremento della qualità del prodotto. Viene poi introdotto lo strumento con cui si è realizzato il software, nello specifico viene descritto l'ambiente di sviluppo di Solidworks Application Programming Interface e i vari strumenti che il programma offre al progettista. Infine viene analizzato il prodotto nella sua totalità, dalla geometria al processo produttivo.

Il capitolo 3 inizia con la descrizione delle problematiche che hanno reso necessario la realizzazione del configuratore, dal processo di raccolta e classificazione dei dati essenziali al funzionamento del software. Si passa poi ad analizzare il programma nel suo complesso, descrivendo l'interfaccia utente, il codice che la comanda e gli output che il configuratore produce.

Il capitolo 4 contiene le conclusioni del progetto, un'analisi degli obiettivi raggiunti e delle implementazioni necessarie per poter rendere il progetto pilota funzionale agli obiettivi aziendali.

2 Stato dell'Arte

2.1 Configuratore di Prodotto

Un configuratore di prodotto è un insieme di applicazioni che ha l'obiettivo di guidare l'azienda nella gestione e personalizzazione di una grande varietà di prodotti (Haug et al. 2012). Il processo prevede una serie di attività che hanno il fine di tradurre le specifiche richieste di ogni cliente in una lista di informazioni il più possibile completa e chiara in modo da poter garantire l'acquisizione dell'ordine e la soddisfazione dell'acquirente.

Queste attività comprendono l'analisi delle variabili del prodotto che meglio soddisfano le esigenze del cliente, il prezzo, la distinta dei materiali e molto altro. L'obiettivo dell'azienda deve essere quello di soddisfare ogni particolare richiesta e bisogno del cliente senza risentirne dal punto di vista dei costi di produzione, della data di consegna e della qualità.

Aziende caratterizzate da una grande varietà di prodotti e un alto grado di personalizzazione devono processare un grande numero di informazioni durante la fase di acquisizione della commessa. Sempre più dati devono essere scambiati durante la fase di acquisizione, tutte le variabili che l'azienda può offrire devono essere rapportate alle molteplici richieste del cliente al fine di trovare la migliore soluzione. Dagli anni '80 per fare fronte a questo crescente problema ci si è affidati all'informatica, nello specifico ad applicazioni come i configuratori di prodotto (Trentin A. et al., 2011). Nella prima fase di vendita, il modello di un configuratore dovrebbe comprendere una serie di domande, possibilmente supportate da immagini, che guidano gli impiegati dell'ufficio commerciale o direttamente il cliente, attraverso la progressiva definizione di tutte le caratteristiche del prodotto. Parallelamente, il modello di configuratore tecnico deve essere in grado di legare le caratteristiche del prodotto codificate durante la prima fase a tutti i documenti necessari per la produzione, come la distinta base e il ciclo produttivo.

Come introdotto in precedenza, una delle ragioni che spinge ad affidarsi a un configuratore di prodotto sono i benefici che porta in termini di qualità del prodotto finito. La definizione di qualità può essere molteplice, in generale può essere identificata attraverso otto elementi: **prestazioni** (intese come le caratteristiche operative primarie del prodotto), **funzionalità** (la seconda caratteristica che integra le funzioni base del prodotto), **affidabilità** (probabilità che si verifichi un malfunzionamento nel giro di un determinato periodo di tempo), **conformità** (il grado in cui le caratteristiche del prodotto corrispondono agli standard previsti), **durabilità** (la quantità di cicli di cui il cliente può beneficiare prima di raggiungere il punto in cui la sostituzione sia preferibile alla continua riparazione), **manutenzione** (intesa come velocità, cortesia e competenza nelle eventuali riparazioni), **estetica** (come il prodotto si presenta ai nostri cinque sensi) ed infine **la qualità percepita** (come il cliente percepisce la qualità del prodotto attraverso segnali indiretti, come l'immagine e il nome del brand o la pubblicità) (Trentin A. et al., 2012).

Il primo beneficio in termini di qualità connesso all'utilizzo di un configuratore è evitare che in fase di offerta non vengano analizzati dei particolari del prodotto e, come conseguenza diretta, il cliente riceva un prodotto non corrispondente alle proprie aspettative. Molto spesso gli impiegati dell'ufficio commerciale non analizzano particolari chiave del prodotto offerto o per dimenticanza oppure per semplificare le relazioni con il consumatore. Le prestazioni e la funzionalità, elementi chiave della qualità, sono strettamente legati alle richieste specifiche del cliente, che spesso possono essere ignorate dall'azienda al fine deviare la scelta verso un prodotto standard. Utilizzando un configuratore, che consenta di gestire in modo più fluido le molteplici richieste del cliente migliora anche l'aspetto estetico, in quanto il risultato sarà più

vicino alla sensibilità del compratore. Per le stesse ragioni, se il prodotto è più vicino a quello richiesto dal cliente, avrà una durabilità e conformità maggiore poiché si adatta meglio alle condizioni di utilizzo. Più il configuratore è ricco di variabili, più si riducono la probabilità di errori legata alla mancanza di dati, quindi la conformità del prodotto aumenta. Allo stesso modo, errori umani legati alla redazione della distinta base vengono eliminati in quanto i passaggi sono fatti in automatico.

L'automazione di molte azioni durante la fase di vendita e di progettazione libera il personale da una serie di attività ripetitive. Gli impiegati, non dovendo più utilizzare il proprio tempo per produrre i dati per l'acquisizione dell'ordine o per la preparazione della commessa, possono focalizzarsi su come implementare soluzioni innovative e miglioramenti ai processi e al prodotto stesso. Essendo più liberi, gli impiegati si possono dedicare ad azioni con un alto grado di valore aggiunto che possono portare sostanziali benefici all'azienda. Per gli impiegati dell'ufficio tecnico, in particolare, possiamo ipotizzare un ulteriore guadagno in termini di tempo, in quanto non devono più supportare i commerciali nella fase di offerta. Per tutti i motivi descritti, un configuratore di prodotto, in grado di raccogliere in modo efficace e completo le richieste del cliente, porta sensibili benefici in termini di qualità del prodotto, e più in generale al processo produttivo.

Per raggiungere questi risultati il configuratore deve essere in grado di raccogliere e processare i dati sopra descritti, dunque deve essere pensato e diretto ai bisogni dell'acquirente, più in generale alle specifiche esigenze di un particolare mercato (Tiihonen J. e Soininen T., 1997).

Il software sarà quindi in grado di fornire un supporto solo parziale nella fase di contrattazione e in generale durante la produzione, in fase di vendita i commerciali dovranno interporre al programma per completare l'offerta con le proprie conoscenze sul prodotto e sull'azienda e allo stesso modo i tecnici dovranno manualmente perfezionare gli output del configuratore.

Per essere in grado di sviluppare uno strumento che funzioni e che sia utile all'azienda è fondamentale conoscere il mercato di riferimento, avere ben presente quali sono i bisogni dei clienti, in modo da implementare un configuratore di prodotto che possa effettivamente apportare i benefici descritti.

Oltre ai benefici in termini di qualità del prodotto, un configuratore può portare notevoli miglioramenti nei tempi di produzione, aiutando a fronteggiare un mercato che sempre più riconosce nella reattività una delle caratteristiche fondamentali per la sopravvivenza dell'azienda. Parlando di tempi di produzione possiamo evidenziare una differenza tra i tempi interni ed esterni, in base alla percezione del cliente. I tempi interni sono quelli non direttamente percepiti dall'acquirente, come ad esempio i tempi di esecuzioni delle operazioni produttive, i tempi di settaggio delle macchine, i tempi di movimentazione e i tempi d'attesa. I tempi esterni sono invece quelli in cui il cliente è direttamente coinvolto e, naturalmente, comprendono la consegna e l'affidabilità. La consegna è intesa come il lasso di tempo tra il momento in cui il cliente richiede un determinato prodotto e il momento in cui lo stesso viene consegnato. L'affidabilità è invece la capacità di consegnare il prodotto rispettando le scadenze pattuite. Nei tempi esterni possiamo anche inserire il time-to-market, che indica il tempo che intercorre tra l'ideazione di un prodotto e la sua effettiva commercializzazione. Il TTM comprende le fasi di analisi del mercato, ingegnerizzazione, creazione del prototipo, produzione e messa sul mercato. Per aziende che mirano a sviluppare prodotti innovativi diminuire il TTM è fondamentale al fine di potersi imporre sui concorrenti e rispondere rapidamente alle richieste dei clienti (Trentin A. et al., 2011).

Il primo beneficio in termini di tempi, legato all'utilizzo di un configuratore, è la riduzione delle soluzioni particolari per soddisfare le richieste del cliente. L'utilizzo di un supporto che permette di associare univocamente una serie di richieste del consumatore a uno specifico prodotto permette di evitare il proliferarsi di soluzioni diverse a fronte di domande simili. In assenza di un configuratore possono essere create soluzioni particolari, quando esistono già prodotti che rispondono adeguatamente alle domande dell'acquirente. Senza uno strumento adeguato spesso è troppo laborioso andare a cercare nel passato soluzioni simili. Avendo in tempo reale dati sui prezzi e tempi di consegna, si può indirizzare il cliente verso soluzioni standard rispetto a quelle richieste. Indirizzando le specifiche del cliente verso soluzioni già predefinite si riducono anche i tempi di ingegnerizzazione da parte dell'ufficio tecnico, che può utilizzare componenti e sotto assiemi già esistenti senza dover sviluppare nuove risorse.

Per concludere possiamo quindi affermare che utilizzando un configuratore di prodotto si hanno molteplici benefici. Vengono ridotti gli errori in fase di offerta: questo implica un notevole risparmio di tempo, da parte dell'ufficio commerciale e nella produzione del prodotto, in quanto gli errori possono comprendere l'offerta di prodotti che non si è in grado di produrre, oppure offrire soluzioni che sono notevolmente più costose di quanto descritto nel preventivo, o ancora per cui i tempi di consegna sono molto più lunghi di quanto ipotizzato. L'utilizzo di un configuratore diminuisce i tempi di progettazione e disegnatione degli impiegati dell'ufficio tecnico: questo porta vantaggi a livello di qualità ma soprattutto migliora le tempistiche di produzione. Se pensiamo ai tempi di consegna standard per il prodotto descritto, si prevede un incremento dei tempi a disposizione della produzione tra i due e i tre giorni lavorativi, che corrispondono a un aumento di circa il 20%.

2.2 Solidworks API

Solidworks API (Application Programming Interface) permette di accedere a tutti i comandi e le funzioni per creare programmi customizzati che si interfacciano direttamente con il software (Abhishek C. e A.S.Rao, 2014).

I linguaggi di programmazione sono molteplici: Visual Basic for Applications (VBA), VB.NET, Visual C#, Visual C++ 6.0, e Visual C++/CLI. Solidworks oltre a fornire la libreria completa di tutti i comandi, permette di registrare le operazioni che si eseguono durante la modellazione e una volta terminata la sessione esporta il codice di tutte le operazioni che sono state effettuate. Questi pezzi di codice sono chiamati macro e possono essere successivamente editati. Il primo passaggio è stato quello di apprendere le basi di programmazione in VBA e conoscere lo spazio di lavoro. L'editor di VBA è diviso in tre sezioni.

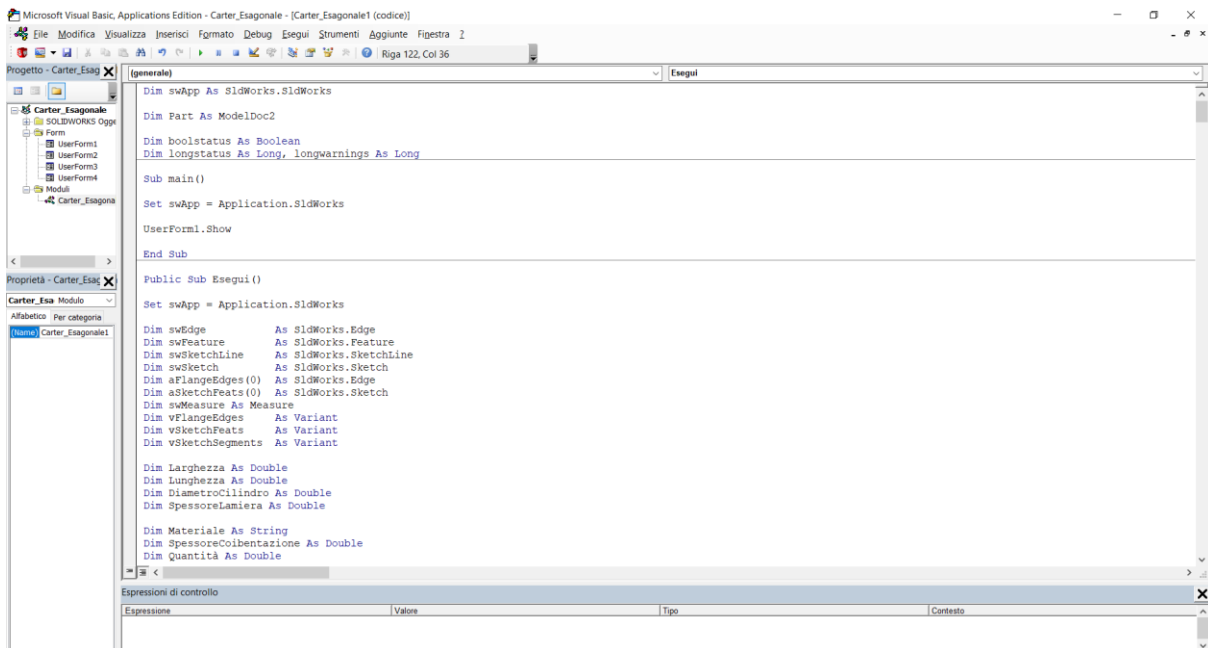


Figura 5: Solidworks API

La finestra del codice è lo spazio dove viene scritto il codice VBA. L'area dei progetti è dove si possono visualizzare i vari progetti aperti e tutte gli elementi di ogni progetto. Infine abbiamo la finestra delle proprietà dove si visualizzano le proprietà dei singoli elementi. VBA è un linguaggio a eventi: non succede nulla se non a seguito di un evento. Ad ogni evento è associato un oggetto, OOP programmazione orientata agli oggetti.

Il grande vantaggio di VBA è la presenza di tutta una serie di oggetti per creare delle interfacce grafiche chiamati Form. In questo modo si possono facilmente creare delle finestre per permettere all'utente di interfacciarsi con il programma. Ad ogni Form è associato un foglio di codice che contiene i comandi di VBA necessari per il funzionamento dello stesso, il codice base si può quindi implementare in base ai bisogni del programmatore. Tra i vari controlli per creare un'interfaccia utente si possono trovare caselle di testo (dove l'utente scrive del testo), etichette (dove lo sviluppatore può scrivere del testo), caselle di controllo (caselle rettangolari che l'utente può decidere di selezionare), pulsanti di comando (premendoli si avvia l'azione). Questi sono solo alcuni esempi di oggetti che possiamo inserire all'interno di un Form per creare l'interfaccia voluta.

Una volta presa familiarità con quelli che sono le logiche e le regole di VBA è stato necessario imparare i comandi base di Solidworks, il codice per aprire un file, selezionare piani o linee, aprire uno schizzo, salvare un file, estrarre e tutti quei comandi che vediamo nella barra degli strumenti del programma. Questo prevede la registrazione di macro mentre manualmente si utilizzano i comandi e poi lo studio dei vari pezzi di codice che li compongono. Tutte le funzioni di Solidworks sono illustrate nel Solidworks API Help, in cui troviamo la descrizione della funzione, la sintassi nei vari linguaggi, parametri ed esempi di applicazioni. Un esempio è la funzione per creare un poligono all'interno di uno schizzo. Se entriamo in Solidworks API Help e cerchiamo il metodo per la creazione di un poligono che si chiama CreatePolygon, troviamo la seguente finestra.



Figura 6: Solidworks API Help

CreatePolygon è un metodo dell'interfaccia ISketchManager, che garantisce l'accesso a tutte le routine per la creazione di schizzi. L'oggetto al livello più alto della gerarchia di Solidworks API è ISldWorks, tutti gli altri oggetti si trovano sotto e vi si può accedere in modo diretto o indiretto. Se si può accedere ad un oggetto solo in maniera indiretta, bisogna fare riferimento ad un oggetto gerarchicamente più in alto. CreatePolygon può essere solo richiamato indirettamente, non esiste in modo indipendente. Bisogna fare riferimento ad un oggetto più in alto nella gerarchia, ISketchManager, perché CreatePolygon esiste solo all'interno di tale oggetto. Una volta compresa la gerarchia del metodo che si vuole utilizzare possiamo all'analisi dei parametri. I dati che vengono utilizzati dal programma sono salvati all'interno di variabili, che devono essere univocamente identificate, attraverso un nome, all'interno dell'area di validità. In questo caso i dati (parametri) sono inseriti dall'utente. Si

può vedere come SOLIDWORKS API Help descrive la struttura di vari linguaggi di programmazione, nello specifico Visual Basic, C# e C++/CLI. Analizziamo la sintassi Visual Basic (Usage) del primo parametro: Dim è il comando che dice al compilatore di dimensionare la variabile, XC è il nome della variabile e As System.Double è la tipologia della variabile. Le variabili di tipo Double sono memorizzate come numeri IEEE a 64 bit compresi nell'intervallo fra $-1.79769313486231E308$ e $-4,94065645841247E-324$ per i valori negativi, e fra $4,94065645841247E-324$ e $1,79769313486232E308$ per quelli positivi. Per creare un 'pocpoligono abbiamo bisogno di 8 variabili diverse. La descrizione dei vari parametri si trova sotto la sintassi del metodo. I primi tre parametri (Xc, Yc, Zc) sono le coordinate del centro del poligono, il quarto (Xp), quinto (Yp) e sesto parametro (Zp) sono le coordinate di un vertice, il settimo (Sides) indica il numero di lati del poligono e l'ultimo (Inscribed) è un indicatore booleano che viene settato su True se si vuole mostrare una circonferenza di costruzione inscritta nel poligono, oppure settato su False se la circonferenza è circoscritta. Successivamente viene indicato qual' è il valore di ritorno. Infine abbiamo vari link ad altre pagine in cui possiamo trovare esempi di macro nei diversi linguaggi o collegamenti per approfondire alcune specifiche.

2.3 Involucri di Protezione per Cilindri di Plastificazione - Geometria

Nello specifico noi andremo ad analizzare il ciclo produttivo di involucri di forma ottagonale, di varie dimensioni, geometrie e materiali.

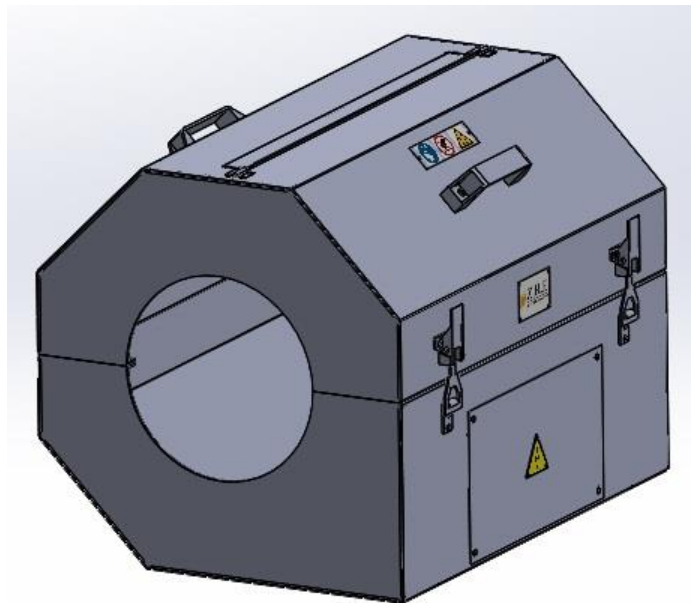


Figura 7: Assieme Carter

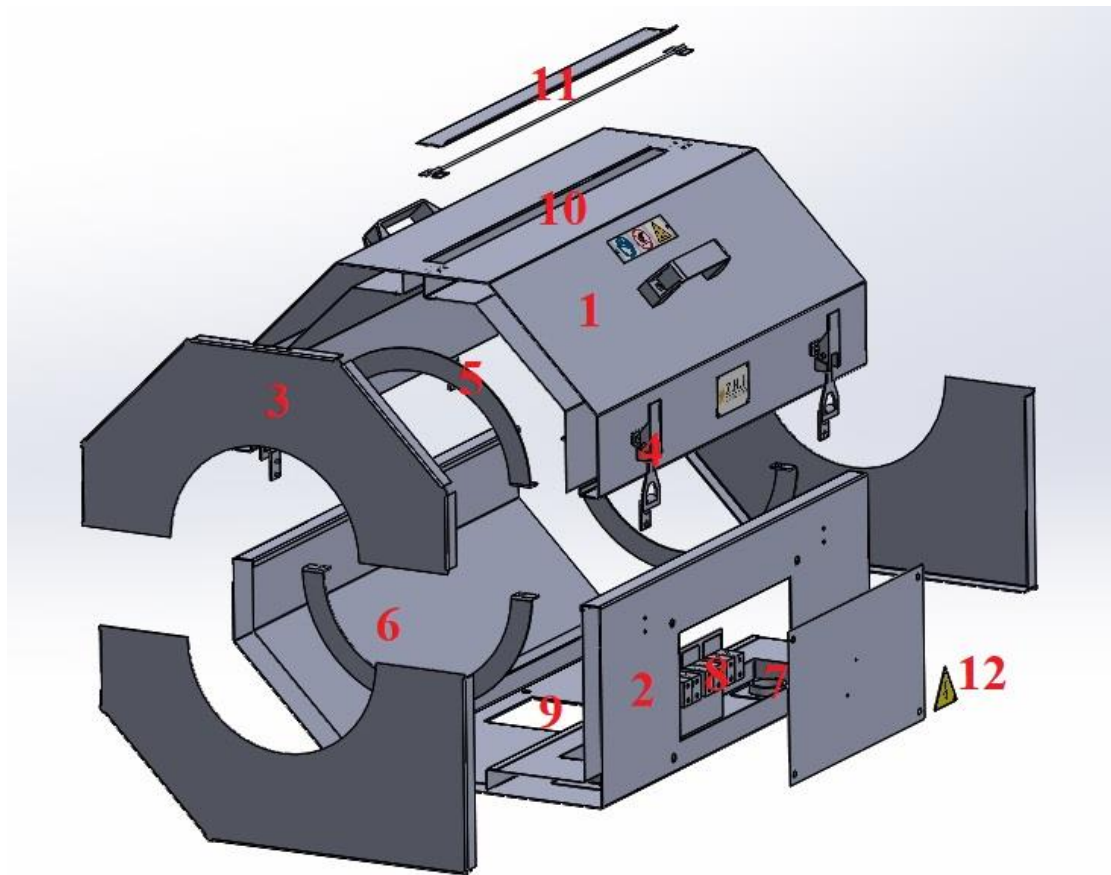


Figura 8: Assieme Carter Esploso

Un carter ottagonale è formato da due semilavorati separati (Figura 8 – 1 e 2), piegati e puntati elettricamente alle pareti laterali (Figura 8 – 3). I due semigusci sono poi uniti attraverso dei tiranti filettati o ganci con sistemi di sicurezza incorporati (Figura 8 – 4). Le chiusure, filettate o a gancio, hanno la funzione di mantenere coesi i due componenti, ma il fissaggio del carter sul cilindro avviene attraverso due diverse tecniche. Si può avere un semianello (Figura 8 – 5) oppure un tirante filettato che aderisce al cilindro e viene poi tirato con delle vite o dei dadi sul semi carter, garantendo un perfetto fissaggio tra semiguscio e cilindro. L'altra metà del carter viene poi assemblata sulla prima attraverso i fissaggi esterni presenti sull'involucro. La tipologia di fissaggio può essere scelta seguendo le indicazioni del cliente o in base alle dimensioni e al peso del carter, in quanto la soluzione con il tirante filettato garantisce una resistenza alla torsione più alta rispetto alla soluzione con i semianelli.

Il semiguscio, nella versione basilare, è composto da una lamiera che può essere di materiale e spessore diverso in base alle specifiche del cliente o alle caratteristiche strutturali dell'assieme. La lamiera esterna viene piegata e successivamente puntata elettricamente alla parete laterale. Nel caso il carter debba isolare termicamente il cilindro viene aggiunto un piego alla lamiera esterna per poter inserire una lamiera interna in AISI 430. La lamiera interna (Figura 8 - 6) ha la funzione di contenere il coibente in fibra ceramica, che può essere di vari spessori in base all'abbattimento termico che bisogna raggiungere (in media si hanno più di 200°C di differenza tra cilindro e esterno del carter coibentato). L'effetto coibente è accentuato dalla scelta di utilizzare un materiale come l'AISI 430 che essendo lucido riflette il calore e ne diminuisce la dispersione. All'interno dell'involucro sono generalmente presenti riscaldatori elettrici che scaldano il cilindro quindi bisogna prevedere delle uscite per i cavi di

alimentazione delle resistenze e dei fori per il passaggio delle sonde, se presenti. Per l'uscita dei cavi possono essere presenti dei semplici fori, dei manicotti saldati (Figura 8 – 7) o dei pressacavi di diverse forme, materiali e gradi di protezione. In alternativa si possono anche avere le morsettiere incorporate al carter (Figura 8 – 8), quindi bisogna prevedere una scatola di connessione ispezionabile per permettere all'utilizzatore di effettuare il collegamento.

Nel caso si presenti la necessità di raffreddare, come nelle macchine per l'estrusione della plastica, il carter deve prevedere una struttura per il fissaggio del ventilatore (Figura 8 – 9) che può essere di varie forme e dimensioni in base alla potenza e al costruttore. Il lato su cui viene fissato il ventilatore è rinforzato tramite l'aggiunta di una lamiera che aiuta a sostenere il peso del ventilatore ed evita eventuali deformazioni della struttura esterna. Insieme al supporto bisogna prevedere uno scasso, solitamente opposto alla bocca del ventilatore, per l'uscita dell'aria (Figura 8 – 10). Per applicazioni particolari in cui si vuole minimizzare la perdita di calore durante la fase di riscaldamento si può prevedere un flap che chiude lo scasso di uscita dell'aria (Figura 8 – 11). Durante la fase di raffreddamento il flusso di aria generato dal ventilatore permette l'apertura del flap. Infine si possono avere dei deflettori interni e esterni per modificare, distribuire o uniformare il flusso di aria. La geometria base del carter può essere modificata a seconda degli ingombri presenti sul cilindro prevedendo fori, scassi e aperture. Infine si ha la possibilità di applicare agli involucri tutta una serie di accessori che vanno dalle targhette di segnalazione pericolo (Figura 8 – 12) a maniglie per facilitare la movimentazione e l'assemblaggio dei carter sul cilindro.

2.4 Involucri di Protezione per Cilindri di Plastificazione – Processo Produttivo

Il flusso inizia con la richiesta di quotazione da parte di un cliente. Essendo i carter un particolare abbastanza complicato, la redazione dell'offerta viene spesso gestita dall'ufficio tecnico e non direttamente da quello commerciale. I metodi per costificare un involucro sono principalmente tre. Nel caso il carter sia un componente standard si seguono i prezzi di listino. Nel caso sia un modello fuori standard ma sia di un cliente ricorrente, quindi abbia dei precedenti simili come geometria, si va ad acquisire dall'archivio i costi delle varie lavorazioni e si aggiornano i prezzi della materia prima e di eventuali lavorazioni supplementari. Infine se il carter non è standard e non ci sono precedenti, bisogna simulare un ciclo di lavorazione, abbozzando le lamiere e ricavando lo sviluppo degli elementi per sapere il costo dei materiali. L'addetto tempi e metodi insieme all'ufficio tecnico simula poi la sequenza di lavorazioni necessarie per la produzione del componente e ricava il costo complessivo. Una volta ottenuta la commessa, viene creata la conferma d'ordine che passa all'ufficio tecnico per la modellazione dei vari particolari.

Completata la procedura da parte dell'ufficio tecnico, il processo di produzione dell'involucro inizia con la registrazione della commessa da parte del responsabile di produzione. Inseriti i dati all'interno del file di gestione della produzione il plico di disegni viene consegnato dal responsabile di produzione agli operai addetti alla punzonatrice (Figura 6 – nr. 2) e al taglio laser (Figura 6 – nr. 1). Il flusso di produzione inizia sempre dallo stampaggio delle lamiere. Non tutti i particolari vengono punzonati o tagliati a laser poiché se alcuni elementi non hanno alcun tipo di foro o scantonatura vengono tagliati con la cesoia (Figura 6 – nr. 3). Tagliare un particolare in cesoia permette di ridurre al minimo lo scarto di materiale, in punzonatura il particolare viene lavorato per asportazione di materiale e bisogna garantire una spaziatura minima tra un particolare e l'altro. Inoltre, avere un alto numero di componenti che vengono tagliati in cesoia permette di snellire il carico di lavoro della

punzonatrice e del taglio laser, primo collo di bottiglia della produzione, essendo il punto di partenza per la quasi totalità dei componenti di lamiera e mica.

Una volta che tutti i particolari sono stati tagliati la commessa passa alla zona di piegatura e calandratura (Figura 6 – nr. 4). Come introdotto in precedenza il numero di particolari e la difficoltà di piegatura varia molto in base al tipo di cliente o applicazione. Nel caso di involucri ottagonali per la quasi totalità dei casi le lamiere interne seguono il profilo di quelle esterne, ma in alcune applicazioni il cliente richiede che la lamiera interna sia circolare e non ottagonale e quindi bisogna passare alla macchina per rullare le lamiere.

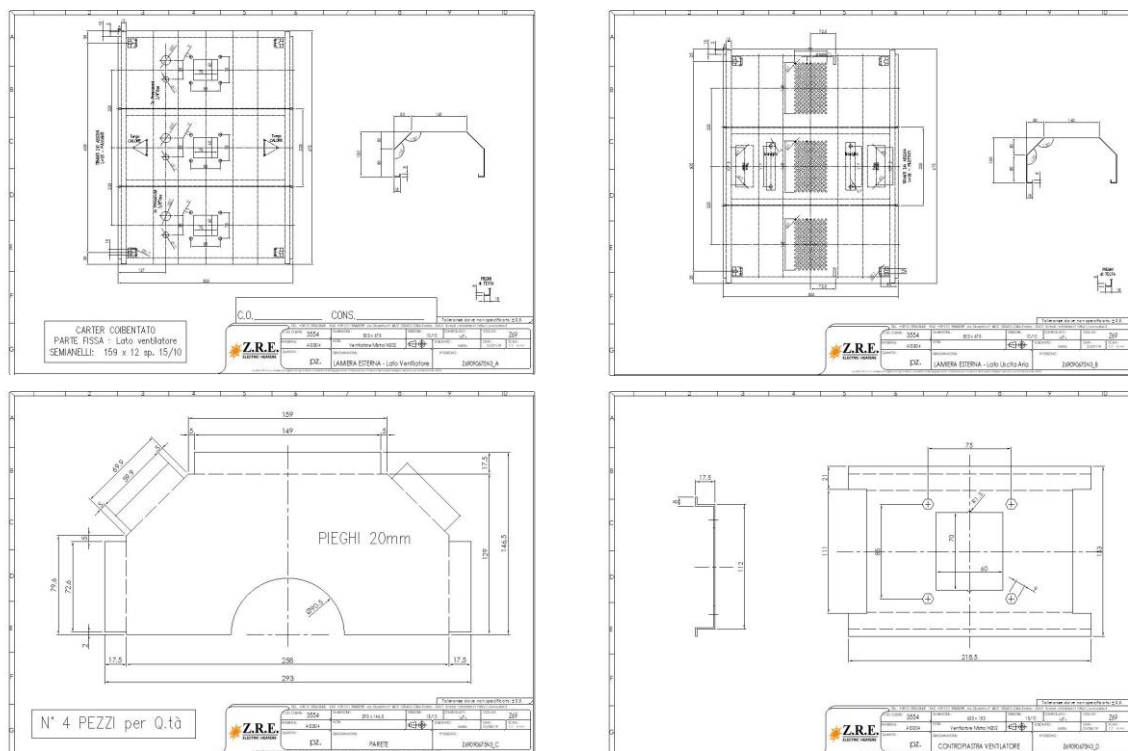
I particolari, una volta piegati, vengono spostati nella zona di assemblaggio (Figura 6 – nr. 5). L'assemblaggio del carter avviene principalmente attraverso tre macchine: le puntatrici elettriche, le rivettatrici e le insertatrici. Le macchine ausiliarie che sono utilizzate per particolari lavorazioni sono la marcatrice per la creazione delle targhe dati, la saldatrice a TIG per il fissaggio di particolari come i manicotti filettati e eventualmente smerigliatrici per la finitura. L'operazione di montaggio richiede un'elevata esperienza e manualità, il particolare è assemblato manualmente e la qualità finale del prodotto dipende interamente dall'abilità del montatore. In particolare l'utilizzo di una macchina come la puntatrice elettrica richiede un alto grado di esperienza in quanto non viene utilizzata solo per fini strutturali, ma è fondamentale che il carter sia gradevole anche a livello estetico. Ad esempio anche la singola elettrosaldatura deve essere curata, in modo da non lasciare segni esterni sull'involucro. Deve essere scelta la corretta punta in rame, con la geometria apposita per la saldatura che si vuole realizzare e la macchina deve essere impostata per ogni singolo spessore e tipologia di lamiera che si vuole lavorare. Bisogna saper movimentare assieme di lamiera che possono anche pesare una decina di kg, in modo fluido, per poter garantire l'assemblaggio dei vari particolari nella posizione corretta. Inoltre è fondamentale sapere interpretare un disegno tecnico, essere in grado di capire le messe in piano del particolare e le viste dell'assieme. Un errato montaggio di qualche particolare, se viene rilevato in fase di collaudo, spesso porta a dover ricominciare dal principio la produzione. Una volta montato l'involucro passa alla stazione di collaudo e infine al magazzino per la spedizione.

3 Configuratore

3.1 Descrizione del Problema

L'idea di creare un configuratore nasce da una necessità dell'ufficio tecnico: automatizzare la progettazione degli involucri di protezione. Ad oggi, in azienda la progettazione dei carter viene effettuata attraverso software di modellazione 2D: Autocad.

La creazione di nuovi modelli viene effettuata utilizzando l'archivio aziendale, si parte da prodotti simili e si vanno a modificare i valori che sono cambiati. Come detto in precedenza, avendo ciascun cliente un design personalizzato, spesso il carter di partenza è del medesimo cliente e la forma non cambia. Il lavoro dell'impiegato tecnico prevede la modifica dei valori dimensionali del prodotto attraverso una serie di funzioni che permettono di stirare, tagliare e scalare i vari componenti. Una procedura di questo tipo, che comunque prevede un modello di partenza, comporta dei tempi molto lunghi e una alta probabilità di errore. In media un carter ottagonale può essere formato da 5, fino a più di 30 componenti quindi le procedure per modificare coerentemente tutti i disegni sono molto lunghe e le variabili di errore sono alte. I tempi vengono ulteriormente dilatati perché oltre a modificare il disegno che poi andrà in produzione, bisogna aggiornare tutti i file che vengono mandati in macchina per essere stampati. La Figura 7 rappresenta un esempio di ciclo di lavorazione di un involucro di protezione esagonale, un modello coibentato con predisposizione per l'attacco di un ventilatore e inoltre con pareti interne per dividere le vare zone di riscaldamento/raffreddamento. Si può vedere che ciascun disegno contiene la rappresentazione quotata in piano e sagomata, nel cartiglio invece vengono inseriti i dati gestionali e le informazioni necessarie alla produzione, come lo spessore e la tipologia di materiale.



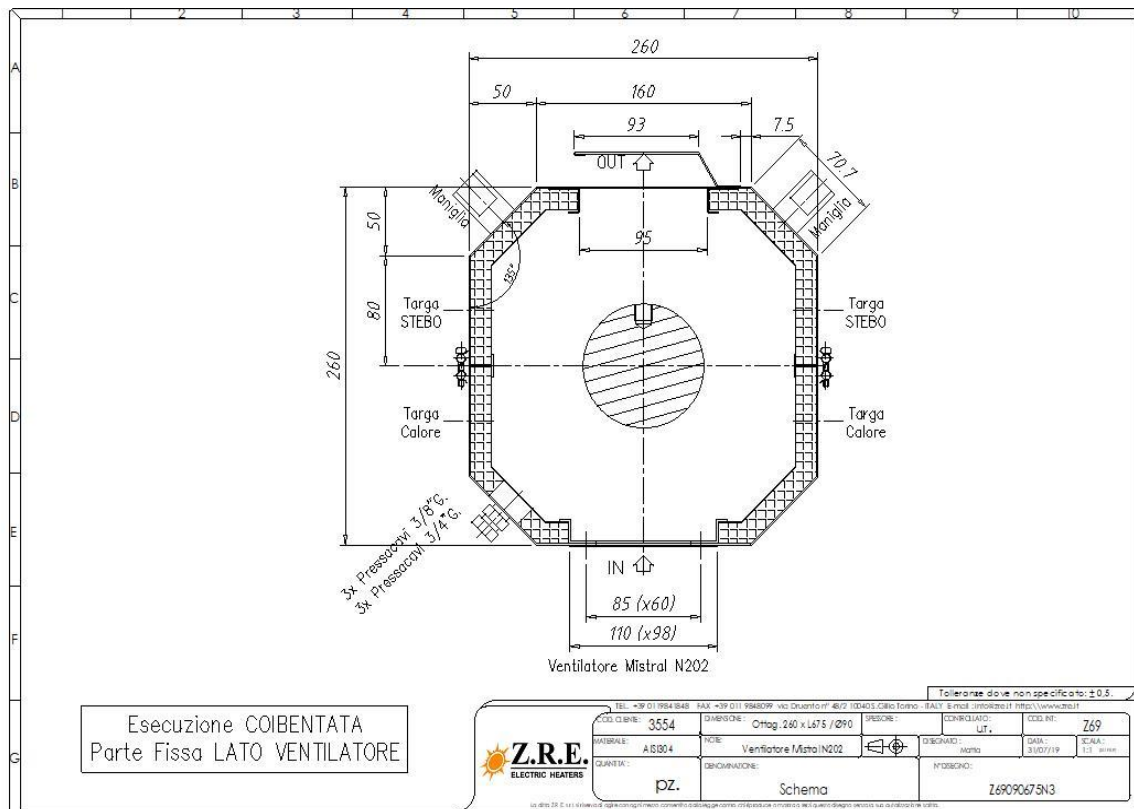


Figura 10: Disegni Costruttivi

Nel caso non fosse presente un involucro della stessa tipologia bisogna creare tutti i particolari seguendo il disegno del cliente: il processo prevede la disegnazione delle lamiera piegate e la messa in piano tenendo conto dei ritiri, che variano in base allo spessore e all'angolo di piegatura della lamiera. Nella quasi totalità dei casi il disegno del cliente, anche se in 3D, non è creato con un software di sviluppo lamiera o comunque pensato come assemblato di lamiera ma è un elemento solido unico. Il processo per trasformare un disegno rappresentativo, (cliente), in un disegno funzionale, (produzione), comporta uno studio approfondito della struttura e del processo di assemblaggio dell'elemento e alti rischi di errore, in quanto nella modellazione 2D non si ha una visione generale dell'assieme. Esaminare solo le viste bidimensionali del carter non permette di evidenziare eventuali geometrie che si intersecano o incoerenze tra fori o scassi. Per questi ed altri motivi il primo passaggio è stato quello di passare ad una modellazione 3D con il software Solidworks. Il programma ha una sezione specifica dedicata allo sviluppo della lamiera e una volta settati i parametri rilevati in produzione, (fattore di piegatura k), la messa in piano delle lamiera viene fatta in automatico da Solidworks. Il passaggio da una modellazione 2D a una 3D ha velocizzato molto la progettazione e ridotto sensibilmente la quantità di errori da parte dell'ufficio tecnico. Per abbassare ulteriormente il rischio di errori è necessario disegnare tutti i componenti di magazzino dell'azienda che vengono utilizzati nella produzione dei carter, come viteria di varie dimensioni, inserti filettati, rivetti, pressacavi, ecc. Senza un magazzino virtuale l'assieme sarà composto solo dalle lamiera piegate e, pur avendo una visione spaziale a 360° del componente, si rischia di incorrere in errori.

La prima fase del progetto consiste nella creazione di un software che possa modellare la disegnazione dell'involucro, rendendo automatici tutti i passaggi descritti in precedenza. I software gratuiti compresi in Solidworks, come DriveWork Xpress, funzionano seguendo un modello parametrico che può essere modificato a livello dimensionale, ma non nei suoi

componenti. Questo tipo di progettazione porta sicuramente a una velocizzazione per la creazione di carter dello stesso modello, in cui bisogna cambiare solamente le dimensioni. Qualsiasi tipo di modifica che esuli da quella dimensionale comporta un errore nel programma in quanto i modelli sono statici. Pur portando una miglioria a livello di tempi di progettazione, questo tipo di modellazione è inadeguato per un prodotto che non segue uno standard prestabilito. Avere così tante variabili presuppone la creazione di una serie praticamente infinita di modelli parametrici. Naturalmente una soluzione potrebbe essere gestire un numero limitato di modelli “base”, che prevedano solo la geometria esterna senza comprendere fori, scassi o accessori vari. Questa soluzione accelera la fase iniziale di modellazione, ma prevede un lungo lavoro dell’impiegato tecnico per andare a inserire quelle che sono le caratteristiche peculiari dell’involucro.

L’obiettivo ambizioso del progetto è quello di creare un programma in grado di gestire autonomamente il numero più alto possibile di involucri, limitando al minimo l’intervento dell’impiegato. Per questi motivi, dopo alcune prove, ho abbandonato i programmi parametrici.

3.2 Progettazione del Configuratore

Il configuratore deve essere in grado di “simulare” le fasi della modellazione compiute da una persona fisica. Questo implica il fatto che non esista un modello parametrico da cui partire, ma il carter viene modellato creando un componente alla volta partendo dal disegno del cliente. L’analisi viene svolta dall’impiegato tecnico che, individuati i valori necessari per la creazione dell’involucro di protezione, immette nel programma attraverso un’interfaccia guida i dati necessari alla modellazione. Il programma disegna, assembla, mette in tavola e crea i file con gli sviluppi piani del carter.

L’obiettivo della presente tesi è quello di standardizzare la modellazione di uno specifico prodotto. L’automazione prevede di sostituire i convenzionali processi di progettazione e di modellazione effettuati dall’operatore attraverso l’aiuto del computer. Per poter realizzare un processo di automazione è prima necessario realizzare un modello e standardizzare tutto il sapere legato a tale specifico componente. Per sapere si intendono tutte le procedure, le regole, i disegni, le tabelle, il know-how, etc., legati al componente (Jayakiran et al., 2018). Per poter realizzare questo tipo di database è necessario analizzare ogni singolo dettaglio del prodotto, comprendere e catalogare tutte le operazioni che l’operatore compie nello sviluppo del prodotto. È necessario ordinare tutti i passaggi che portano dalle specifiche del cliente al disegno del prodotto finito. Il prodotto nello specifico è caratterizzato da una struttura standard che può variare per dimensioni e accessori. Ogni singola scelta che viene effettuata nella fase di preventivazione/identificazione del prodotto porta a diverse soluzioni finali. Per poter standardizzare questo tipo di operazione è quindi necessario conoscere il risultato di ogni singola possibile opzione e delle relative combinazioni.

Il primo lavoro è stato quindi quello di realizzare un modello completo del prodotto. Non avendo ancora adottato le distinte base, il ciclo di lavorazione dei componenti era caratterizzato semplicemente dall’insieme dei disegni delle varie parti dell’assieme. I disegni rappresentavano lo sviluppo piano e una o molteplici viste del particolare. Lo sviluppo piano è necessario per permettere all’operatore della punzonatrice e della piegatrice di riconoscere univocamente il particolare, mentre le viste quotate servono al piegatore e successivamente al montatore per effettuare le diverse operazioni di piegatura e montaggio.

La necessità di legare questo tipo di procedura con un modello tridimensionale, completo di tutti i componenti, è proprio dovuta alla necessità di catalogare tutti gli elementi necessari alla

realizzazione del prodotto finito. Partendo dal modello più semplice e poi, a seguire, aggiungendo tutti i possibili accessori, abbiamo registrato i meccanismi, le regole e le conseguenze di ogni operazione che il disegnatore ha eseguito manualmente. In questo modo è stato quindi possibile meccanizzare e automatizzare tutti i passaggi della modellazione (Shafiee S. et al., 2014).

Di seguito vengono elencate alcune delle regole di progettazione che sono state rilevate durante la fase di analisi del processo di modellazione. Questo tipo di errori non possono essere individuati dal modello 3D, ma sono frutto dell'esperienza dell'operatore e del know-how aziendale:

Nel caso gli scassi per l'ingresso dell'aria siano troppo grandi è necessario l'inserimento di una nota sul disegno che sottolinei l'importanza di non andare ad eliminare lo sfrido. Avere un vuoto di dimensioni troppo elevate all'interno di una lamiera causa numerosi problemi durante la fase di calandratura del componente.

- 1- In funzione dello spessore della lamiera il raggio di piegatura cambia quindi la presenza di fori o scassi nei pressi di una piega può andare a causare problemi in fase di piegatura.
- 2- La posizione di eventuali inserti filettati o di rivetti può causare problemi durante la fase di montaggio. Questo tipo di minuteria è montato attraverso delle apposite rivettatrici e insertatrici ad aria compressa che hanno uno specifico ingombro. Se tale ingombro non viene considerato e il rivetto/inserto viene posizionato, ad esempio, troppo vicino ad una parete non sarà possibile l'inserimento.
- 3- La gestione di carter che prevedono l'utilizzo di lamiere satinare è fonte di numerosi errori. Gli assiemi satinati devono seguire specifiche regole estetiche e prevedono che le satinature siano tutte nella stessa direzione. Quindi è l'operatore che deve posizionare nel verso corretto i file .dxf in quanto, come regola aziendale, l'operatore macchina non può ruotarli proprio perché non è a conoscenza di come verranno montati.
- 4- L'inserimento automatico di scassi che hanno la funzione di riferimento per l'eventuale puntatura elettrica di lamiere. Un esempio è il deviatore dell'aria nel caso di presenza di un ventilatore.

Nella progettazione del configuratore bisogna inoltre considerare gli standard aziendali a livello di magazzino semilavorati e lamiere. Per quanto riguarda la minuteria e gli accessori basta attingere dall'inventario del magazzino, quindi l'operatore verrà automaticamente indirizzato verso particolari standard. Per le lamiere la procedura è diversa in quanto, a livello aziendale, sussistono dei limiti fisici sulle dimensioni dovuti ai piani di lavoro della punzonatrice e del laser e, successivamente, alla massima lunghezza di piegatura della piegatrice. Per questo motivo il programma deve essere in grado di individuare quando lo sviluppo piano di una lamiera produce un particolare non realizzabile dall'azienda. È poi cura dell'operatore verificare se il complessivo può essere modificato per rientrare nei limiti dimensionali o se si procederà comunque alla produzione del componente, magari affidandolo ad un'azienda esterna.

Come si può immaginare questi sono solo alcuni esempi di quello che possiamo chiamare il know-how del disegnatore meccanico: per tale motivo il processo di creazione del software deve necessariamente seguire il processo di creazione dell'operatore. Questa conoscenza è contenuta nel configuratore sotto forma di flag, regole, cause/conseguenze. Inoltre la catalogazione di questo sapere è fonte di guadagno per l'azienda che svincola operatori esperti da procedure ripetitive di disegnatione o progettazione, guadagnando tempo da investire in

attività più utili. È necessario sottolineare che automatizzare calcoli o azioni ripetitive che l'utente compie non crea problemi nel tempo. Considerazione diversa va fatta per il know-how aziendale, in quanto esso cambia nel tempo e diventa quindi indispensabile poter aggiornare il software.

L'interfaccia utente è divisa in varie sezioni. La prima sezione è dedicata ai dati della conferma d'ordine (Figura 11), necessari per fornire alla produzione i riferimenti della commessa. L'utente inserisce il codice del cliente, il codice del prodotto, l'eventuale codice disegno del cliente, la conferma d'ordine, la quantità e la data di consegna del prodotto. All'interno del programma sono presenti una serie di algoritmi per automatizzare delle operazioni che l'utente dovrebbe fare manualmente, oppure per identificare in modo autonomo delle eventuali incongruenze o errori che sorgono dai dati inseriti. Il primo di questi strumenti permette in automatico di estrapolare il dato codice cliente per confrontarlo con il database clienti dell'azienda, in questo modo viene agganciata la descrizione del cliente e viene estrapolato se il cliente è un costruttore, un rivenditore o un utilizzatore. Tale dato è fondamentale per determinare il tipo di marcatura da applicare sul carter. Nel caso si tratti un rivenditore bisogna tassativamente evitare la marcatura con il logo dell'azienda, mentre per gli utilizzatori vale il discorso opposto. Per quanto riguarda i costruttori la scelta non è univoca ma dipende dalle scelte aziendali del cliente e ciò impedisce al software di decidere in modo autonomo. Nel caso di utilizzatore nella messa in tavola del complessivo verrà indicato di marcare sulla targhetta personalizzata Z.R.E., nel caso di un rivenditore verrà indicato di marcare su una targhetta neutra, infine per un costruttore, nella nota, verrà indicato di effettuare una verifica delle richieste del cliente.

Una volta inseriti i dati gestionali, passiamo alla sezione dedicata alla geometria dell'involucro. I dati di base sono la lunghezza, il diametro del cilindro, la larghezza dell'ottagono, lo spessore e il materiale della lamiera esterna. La lunghezza è un dato sensibile in quanto in magazzino sono presenti delle lamiere standard e la lunghezza dell'elemento non può eccedere le dimensioni dei semilavorati. I dati di spessore e tipo di acciaio inseriti vengono incrociati per identificare in modo univoco il tipo di lamiera e quindi le dimensioni del foglio in magazzino. Questo dato viene poi confrontato con la lunghezza del carter e nel caso risulti maggiore viene inserito un avviso sul disegno del primo componente. L'avviso permette all'impiegato tecnico di verificare con l'ufficio acquisti l'eventuale ordine di fogli di lamiera fuori standard per la realizzazione dell'involucro. Lo spessore è un dato fondamentale poiché in base allo spessore il programma seleziona il corretto valore del fattore k da inserire in Solidworks. Il fattore k è il valore che consente a Solidworks di calcolare lo sviluppo piano delle lamiere e varia in base allo spessore del foglio. In base alle prove di sviluppo effettuate nello stabilimento sono stati individuati i valori k per i diversi spessori. Anche la larghezza è un valore sensibile in quanto non tutti gli involucri ottagonali prevedono una geometria perfetta. Spesso il cliente richiede che non tutti i lati abbiano la stessa lunghezza, nello specifico i quattro lati obliqui siano di lunghezza inferiore rispetto agli altri, mantenendo tutti gli angoli a 135° . Per questo l'inserimento delle dimensioni della geometria esterna prevede una prima scelta da parte dell'utente, in base alla casella selezionata dall'utente viene aperta una finestra che permette di inserire i valori numerici. Nel caso l'ottagono sia perfetto bisogna solamente inserire il dato di larghezza dell'involucro mentre se viene scelta la seconda opzione l'utente deve seguire le indicazioni dello schema (Figura 12).

Successivamente l'interfaccia permette al cliente di selezionare l'opzione per il ventilatore (Figura 13). In caso affermativo viene aperta una finestra in cui il cliente seleziona il tipo di ventilatore in base al catalogo standard di ventilatori, il semiguscio e la posizione. Per permettere una migliore circolazione dell'aria all'interno del carter, vengono inseriti dei deflettori di geometria differente a seconda se l'involucro presenti o no la coibentazione. Il software in automatico calcola la geometria dell'uscita dell'aria, che viene inserita sul semiguscio opposto a quello del ventilatore e varia in base alle dimensioni della bocca di ingresso.

L'utente deve quindi indicare se il carter è previsto oppure no di coibentazione (Figura 14). Nel caso non fosse prevista una coibentazione viene inserito un piego standard della

lunghezza di 10mm. Se il carter prevede una coibentazione viene inserito un doppio piego, il primo di lunghezza pari allo spessore della coibentazione e il secondo di lunghezza standard, pari a 8 mm, necessaria per l'incastro della lamiera interna. Le lamiere interne vengono create in automatico utilizzando i dati dell'involucro esterno e dello spessore della coibentazione: il materiale è AISI 430 spessore 6/10. Una volta che le componenti principali della geometria del carter sono state inserite, si passa a definire quelli che sono gli accessori, i sistemi di chiusura e fissaggio. L'utente può scegliere tra le chiusure con ganci o con tiranti filettati, inserendo poi la quantità e la posizione. Il bloccaggio può avvenire tramite semianello. Il programma calcola lo sviluppo della lamiera da calandrare e inserisce il dato sul disegno dell'assieme. Nel caso venga selezionata l'opzione dei tiranti filettati il programma verifica che le dimensioni del lato ventilatore siano sufficienti per garantire la superficie di fissaggio minima. Nel caso l'algoritmo verifichi che la superficie esterna non sia abbastanza grande, si apre una finestra di avvertimento che indica all'utente le dimensioni minime. L'operatore può quindi modificare le dimensioni esterne del carter per garantire l'interasse minimo dei fori dei tiranti filettati. Se le dimensioni sono superiori al minimo, il software calcola lo sviluppo dei tiranti. L'utente deve quindi inserire la posizione della targa dati e nel caso fosse richiesto dal cliente la quantità e la posizione delle targhette calore. Se richiesto dal cliente si può inserire una o più maniglie per facilitare la movimentazione dell'involucro. Infine abbiamo la sezione che permette di inserire fori, asole, pressacavi e manicotti.

3.4 Codice

La prima bozza di configuratore che viene presentato in questa tesi comprende più di mille righe di codice. Il codice prevede l'utilizzo di una serie di UserForm per la creazione di finestre attraverso cui l'utente può inserire i dati richiesti. La UserForm1 (Figura 11) è la finestra principale, in cui l'impiegato tecnico inserisce i dati gestionali e dati geometrici base del prodotto. La UserForm1 viene aperta una volta inizializzato il programma, nel codice di seguito si possono vedere le prime righe del programma dove vengono dichiarate le variabili e i rispettivi spazi di archiviazione. La prima Sub denominata 'main' contiene semplicemente il codice per richiamare la UserForm1.

```
Dim swApp As SldWorks.SldWorks

Dim Part As ModelDoc2

Dim boolstatus As Boolean
Dim longstatus As Long, longwarnings As Long

Sub main()

Set swApp = Application.SldWorks

UserForm1.Show

End Sub
```

Come si può vedere nella Figura 11 la finestra principale, oltre alle caselle in cui inserire il testo, contiene una serie di caselle combinate che corrispondono alle varie personalizzazioni che abbiamo introdotto in precedenza, esempio la presenza di ventilatori o coibentazione.

```

Public Sub UserForm_Initialize()

    ComboBox1.Text = "<Selezionare>"
    With ComboBox1
        .AddItem "Si"
        .AddItem "No"
    End With

    ComboBox2.Text = "<Selezionare>"
    With ComboBox2
        .AddItem "Si"
        .AddItem "No"
    End With

    ComboBox3.Text = "<Selezionare>"
    With ComboBox3
        .AddItem "Semianelli"
        .AddItem "Tiranti Filettati"
    End With

    ComboBox5.Text = "<Selezionare>"
    With ComboBox5
        .AddItem "AISI304"
        .AddItem "AISI430"
        .AddItem "FE/ALL"
    End With

    ComboBox6.Text = "<Selezionare>"
    With ComboBox6
        .AddItem "Si"
        .AddItem "No"
    End With

End Sub

```

Quando l'utente apre la tendina di selezione troverà i testi del codice appena riportato. A seguito della scelta effettuata dall'utente, vengono aperte delle finestre per inserire i dati necessari alla realizzazione dei vari particolari, come ad esempio la quantità e la posizione dei tiranti filettati oppure la tipologia e la posizione del ventilatore. L'apertura delle UserForm secondarie dipende dalla selezione effettuata dall'operatore ed è gestita attraverso delle condizioni If, come si può vedere di seguito, per il caso del ventilatore. La UserForm2 richiamata dal seguente codice corrisponde alla Figura 13 mostrata in precedenza.

```

Public Sub ComboBox1_Click()

    If ComboBox1.ListIndex = 0 Then
        UserForm2.Show
    End If

End Sub

```

Una volta che i dati sono stati inseriti l'utente preme il pulsante di comando per proseguire e la finestra viene nascosta. Si torna alla finestra principale e si prosegue la compilazione di tutti i campi. Quando questo procedimento è completato, cliccando il CommandButton1 si chiude la finestra e si richiama la Sub denominata 'Esegui' che contiene il codice per la creazione delle lamiere. All'interno della Sub vengono prima dichiarate le variabili necessarie alla creazione dei componenti, ad esempio la larghezza dell'involucro o il diametro del cilindro. Le variabili vengono poi riempite andando a ricavare i valori direttamente dalle caselle di testo compilate dal cliente.

```
Dim Larghezza As Double
Dim Lunghezza As Double
Dim DiametroCilindro As Double
Dim SpessoreLamiera As Double

Larghezza = UserForm1.TextBox1.Text / 1000
Lunghezza = UserForm1.TextBox2.Text / 1000
DiametroCilindro = UserForm1.TextBox3.Text / 1000
SpessoreLamiera = UserForm1.TextBox4.Text / 1000
```

Il programma segue esattamente il processo di un ipotetico progettista e inizia dalla lamiera esterna superiore. Andiamo ad analizzare la prima sezione di codice, per la creazione della lamiera esterna superiore.

Come si può vedere nel flowchart sottoriportato il primo passaggio è aprire un nuovo file .prt, selezionare il “piano frontale” e aprire un nuovo schizzo. La prima clausola IF è legata alla geometria dell’esagono in quanto può essere simmetrico o asimmetrico. La condizione dell’istruzione è legata alla UserForm1.ComboBox6 che offre due opzioni: ottagonone non simmetrico e ottagonone simmetrico. Se l’utente ha scelto la prima opzione si entra nelle istruzioni-then, se è stata scelta la seconda opzione si va alle istruzioni-else. Nelle istruzioni è contenuto il codice per creare lo schizzo, nel caso di un ottagonone non simmetrico lo schizzo verrà creato come un insieme di linee, mentre nel caso di un ottagonone simmetrico verrà utilizzata il metodo CreatePolygon, che è stato descritto in precedenza. La seconda clausola IF è legata alla presenza della coibentazione. Tale condizione è necessaria alla creazione della lamiera esterna in quanto, nel caso di coibentazione, viene inserito un piego addizionale per permettere l’incastro della lamiera interna, che serve a contenere lo strato di coibente.

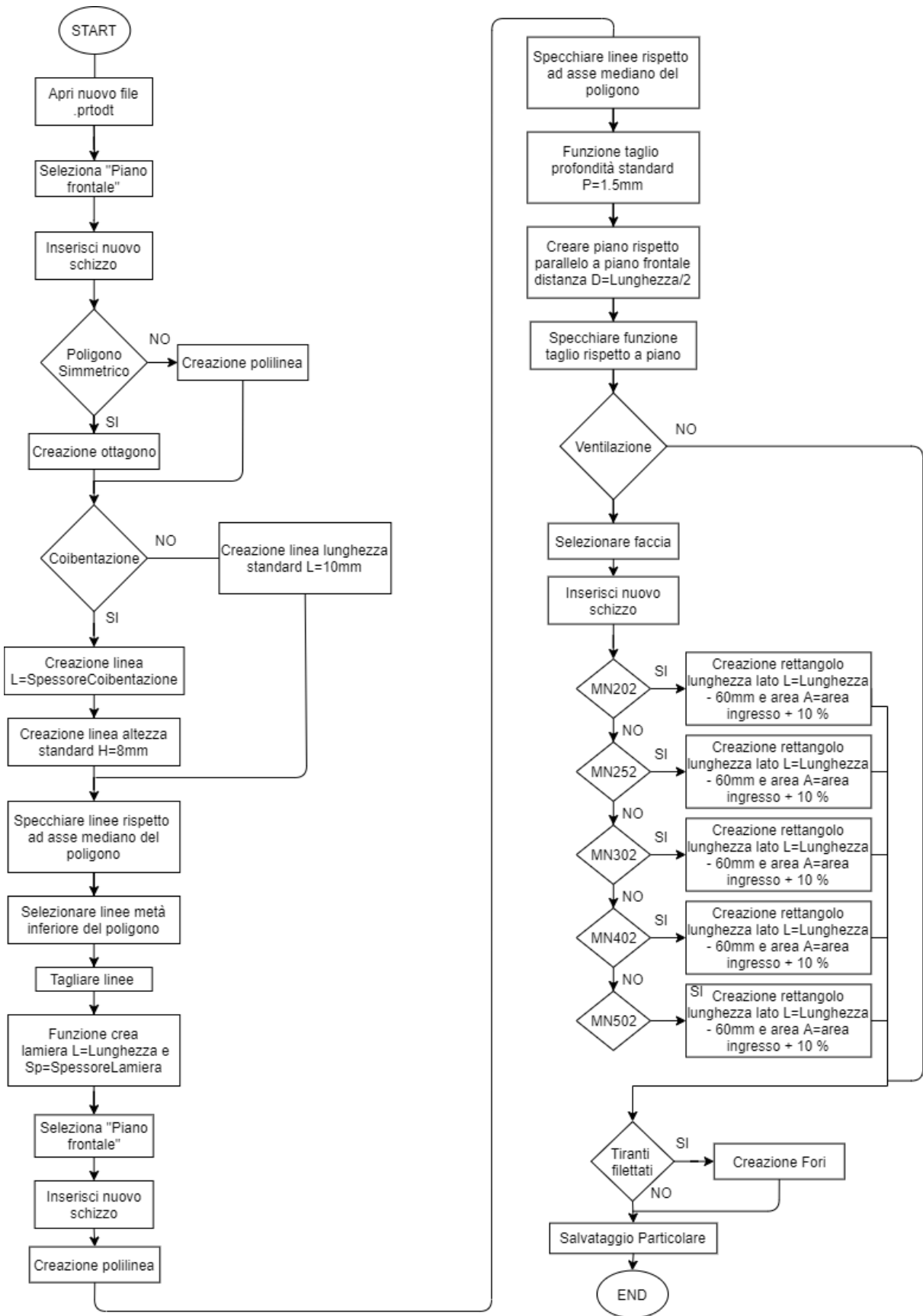


Figura 15: Diagramma di flusso creazione lamiera esterna superiore

La condizione è contenuta nel UserForm1.ComboBox2 in cui l'operatore può scegliere tra le due opzioni. Nel caso sia presente la coibentazione viene richiamato il valore di spessore della coibentazione che l'operatore ha inserito nella finestra che si è aperta durante la fase di compilazione. Conoscere lo spessore è necessario per dimensionare il primo piego della lamiera, che è pari a tale valore. Viene poi inserito il secondo piego che ha un'altezza standard di 8mm e, come introdotto in precedenza, serve a incastrare la lamiera interna. Una volta completato il profilo della lamiera superiore vengono utilizzati degli strumenti di taglio per eliminare le linee della parte inferiore del poligono. A questo punto entriamo nella sezione lamiera di Solidworks, viene prima indicato il valore del coefficiente K, necessario per la creazione della ripetizione piatta del componente, e successivamente lanciato il metodo per la creazione della lamiera, Part.FeatureManager.InsertSheetMetalBaseFlange2.

La sezione denominata 'TAGLIO PER PARETI' fa parte di quello che abbiamo introdotto come know-how aziendale nella creazione del componente, le pareti esterne del carter vengono elettrosaldate a filo alle lamiere esterne e questo rende necessario tagliare alle estremità i pieghi per permettere il montaggio delle pareti. Questo tipo di operazione non è intuitiva e senza l'apporto di un operatore esperto che è a conoscenza di questo problema creerebbe un errore nel prodotto finale, non permettendo un corretto assemblaggio. Si potrebbe notare un'intersezione delle due lamiere solo una volta creato un assieme 3D del componente, mentre sul 2D questo tipo di errore è molto difficile da visualizzare.

Una volta create le scantonature si passa alla condizione IF legata alla presenza del ventilatore. In caso positivo il programma va a leggere i dati inseriti dall'utente e in base al modello selezionato crea una scantonatura per l'uscita dell'aria. Nel caso non sia previsto il ventilatore il programma passa direttamente alla sezione legata alla tipologia di chiusura del carter. I valori per la creazione dei fori sono standard e quindi sono già presenti all'interno del software, in base a ciò che è stato indicato dall'operatore vengono creati i fori sulle pareti laterali. A questo punto il particolare descritto è completo e viene salvato in una cartella specifica. Il nome con cui il componente viene salvato segue lo standard aziendale che prevede il nome dell'articolo seguito da una desinenza che è semplicemente una lettera.

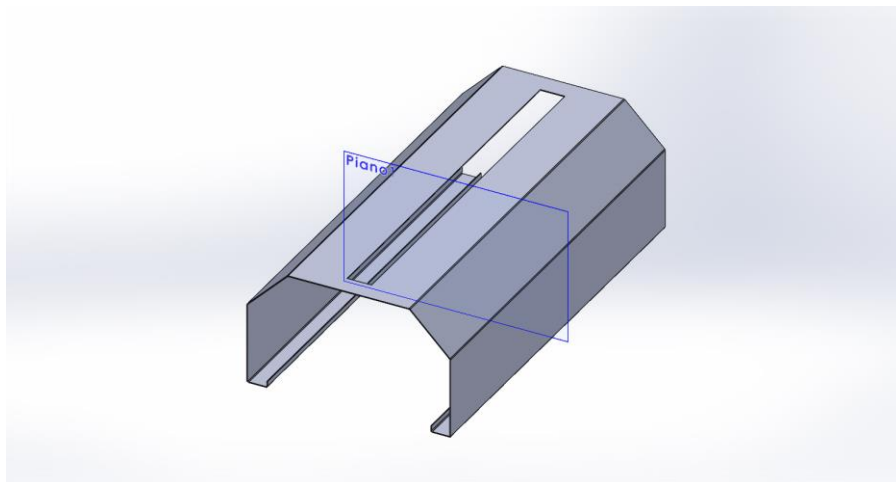


Figura 16: Lamiera esterna superiore

Terminata la creazione della lamiera esterna superiore il programma prosegue con la modellazione dei particolari successivi come la lamiera esterna inferiore, le pareti laterali e eventualmente le lamiere interne e il deviatore dell'aria in uscita.

3.5 Distinta Base

L'ultimo passaggio del configuratore è la compilazione di una distinta base di tutti i particolari che compongono l'assieme. Ad oggi non è ancora prevista una distinta materiali per questo tipo di componenti. L'importanza di avere una distinta base completa dei materiali è legata sia alla gestione del magazzino che alla costificazione del prodotto. Ad oggi, la gestione del magazzino avviene attraverso dei valori di scorta minima che sono stati implementati negli anni in base al consumo e alla reperibilità dei diversi materiali. A fronte di ordini che esulano dall'ordinario o per problemi di errata comunicazione, può succedere che ci si accorga della mancanza di materiale solo durante la fase di assemblaggio del componente e ciò può causare forti ritardi nelle consegne dei prodotti.



Figura 17: Lista Componenti

Nell'organigramma sono riportati tutti i componenti di un involucro di protezione divisi per famiglie (Chatras C. et al., 2016). Come descritto in precedenza abbiamo una serie di particolari in lamiera, variabili in base alle specifiche dell'involucro, e poi una serie di accessori che dipendono dalle richieste del cliente.

Il codice per creare la distinta materiali da un assieme SolidWorks è stato creato separatamente dal configuratore presentato in questa tesi. Il programma può lavorare su qualsiasi assieme creato su SolidWorks, in questo modo è possibile utilizzarlo su tutti i prodotti che ad oggi vengono modellati dall'ufficio tecnico. L'obiettivo finale è andare ad integrare la parte di codice per estrarre i valori e le quantità dei componenti con il configuratore, ma questo passaggio potrà essere effettuato solo dopo aver completato il programma con la sezione di creazione dell'assieme.

La distinta materiali viene creata su un file Excel da cui poi il programma gestionale aziendale estrae i valori necessari a gestire le scorte di magazzino. Come si può vedere nel segmento di codice che segue, il programma dopo aver verificato la presenza di un assieme SolidWorks apre un nuovo file Excel e per prima cosa crea l'intestazione della tabella.

```

Set swModExt = SwModel.Extension
Set MassProp = swModExt.CreateMassProperty
OutputPath = Environ("USERPROFILE") & "\Desktop\"
OutputFN = SwModel.GetTitle & ".xlsx"
If Dir(OutputPath & OutputFN) <> "" Then
Kill OutputPath & OutputFN
End If
Set xlApp = Excel.Application
xlApp.Visible = True
Set xlWorkBooks = Excel.Workbooks
Set xlBook = xlWorkBooks.Add()
Set xlsheet = xlBook.Worksheets("Foglio1")
xlsheet.Range("A1").value = "Num. articolo"
xlsheet.Range("B1").value = "Num. parte"
xlsheet.Range("C1").value = "Descrizione"
xlsheet.Range("D1").value = "Quantità"
xlsheet.Range("E1").value = "Materiale"
xlsheet.Range("F1").value = "Spessore"
xlsheet.Range("G1").value = "Lunghezza Contorno"
xlsheet.Range("H1").value = "Larghezza Contorno"
xlsheet.Range("I1").value = "Lunghezza del perimetro esterna"
xlsheet.Range("J1").value = "Lunghezza perimetro interna"
xlsheet.Range("K1").value = "Piegature"
xlsheet.Range("L1").value = "Volume"

```

Successivamente il programma estrae i dati dal file Solidworks attraverso il comando `GetModelDoc2.Extension.CustomPropertyManager`, un ciclo FOR consente ad ogni iterazione di selezionare un diverso componente dell'assieme ed inserire i dati nelle varie celle del file. Una volta terminato il ciclo, il file viene salvato in una specifica cartella. Nella Tabella 1 si può vedere la distinta materiali dell'involucro rappresentato in Figura 7. Per alcuni particolari come la minuteria, gli accessori o le targhette dati vengono estratti solo il codice e la quantità. Per quanto riguarda i particolari in lamiera il programma è in grado di estrarre tutte le informazioni necessarie all'identificazione del particolare. Oltre al tipo di materiale e spessore della lamiera vengono estratti i valori di lunghezza e larghezza del contorno che rappresentano lo sviluppo piano del componente. Con questi dati il gestionale è in grado di quantificare il consumo di lamiera e procedere allo scarico del materiale. Il valore che indica il numero di pieghi, combinato ai dati sul materiale, lo spessore e lo sviluppo della lamiera, permette di ricavare il costo del particolare.

Questo primo modello di distinta base permette di avere una visione chiara di tutto ciò che è necessario per la produzione del componente. Appena il particolare viene modellato dall'ufficio tecnico si possono verificare le giacenze di magazzino ed eventualmente procedere agli ordini del materiale mancante. Durante la fase di produzione avere una lista chiara di tutti i materiali permette di semplificare il processo di assemblaggio. La distinta consente all'operatore di avere una visione completa di tutto il materiale da preparare e posizionare nei pressi della postazione di lavoro per completare l'assemblaggio: ciò riduce di molto gli eventuali tempi morti dovuti alla mancanza di un particolare (Zhou. C. e Cao. Q., 2019).

Tabella 1: Distinta materiali

Num. articolo	Num. parte	Descrizione	Quantità	Materiale	Spessore	Lunghezza Contorno	Larghezza Contorno	Lunghezza del perimetro esterna	Lunghezza perimetro interna	Piegature	Volume
1	26923060001_F	LAMIERA ESTERNA	2	AISI 430	0,6	595	322,92	1835,84		0	2 0,000115283
2	26923060001_M	PARETE INFERIORE	1	AISI 304	1,5	482,03	241,01	1575,96		0	4 0,000126289
3	26923060001_N	PARETE INFERIORE	1	AISI 304	1,5	482,03	241,01	1575,96		0	4 0,000126289
4	26923060001_L	SUPPORTO VENTILATORE	1	AISI 304	1	595	232,49	1754,98		553,1	4 0,000118396
5	26923060001_H	LAMIERA INT. USCITA ARIA	2	AISI 304	1	595	74,08	1338,17		128	2 4,40139E-05
6	26923060001_E	LAMIERA INTERNA	1	AISI 304	0,6	595	245,84	1681,68		0	1 8,77643E-05
7	26923060001_D	LAMIERINO	1	AISI 304 SATINATO	0,6	595	314,17	1818,34		1276,88	1 5,94832E-05
8	26923060001_A	PARETE	2	AISI 304 SATINATO	1,5	482,03	241,01	1555,32		0	5 0,000110561
9	26923060001_C	SEMICARTER INFERIORE	1	AISI 304	1,5	874,73	600	2949,46		1632,39	7 0,000722301
10	26923060001_B	SEMICARTER SUPERIORE	1	AISI 304	1,5	798,38	600	2796,76		1512,39	8 0,000699693
11	ASSIEME_CHIUSURA		4								0,002913184
12	ASSIEME_CHIUSURA-3/CHIUSURA		1								9,34733E-06
13	ASSIEME_CHIUSURA-3/CHIUSURA2		1								1,98072E-06
14	ASSIEME_CHIUSURA-3/RIVETTO D.4		2								1,19443E-07
15	ASSIEME_CHIUSURA-3/RIVETTO D.5		3								2,15335E-07
16	ASSIEME_CHIUSURA-4/CHIUSURA		1								9,34733E-06
17	ASSIEME_CHIUSURA-4/CHIUSURA2		1								1,98072E-06
18	ASSIEME_CHIUSURA-4/RIVETTO D.4		2								1,19443E-07
19	ASSIEME_CHIUSURA-4/RIVETTO D.5		3								2,15335E-07
20	26923060001_2	LAMIERINO DI FISSAGGIO	2	AISI 304	1	28,04	15	86,08		0	1 4,25343E-07
21	ASSIEME_CHIUSURA-2/CHIUSURA		1								9,34733E-06
22	ASSIEME_CHIUSURA-2/CHIUSURA2		1								1,98072E-06
23	ASSIEME_CHIUSURA-2/RIVETTO D.4		2								1,19443E-07
24	ASSIEME_CHIUSURA-2/RIVETTO D.5		3								2,15335E-07
25	26923060001_T	STAFFA DEFLETTORE	2	AISI 304	0,6	32,31	22	108,62		37,7	3 4,09524E-07
26	26923060001_O	MORSETTO BIPOLARE	3		1	45	38	166		0	2,77737E-05
27	26923060001_V	SEMIANELLO	4	AISI 304 SATINATO	2	279,98	152,01	899,45		43,98	2 2,09443E-05
28	ETICHETTA		2								1,61364E-06
29	TARGA MARCATURA		1								3,12173E-06
30	26923060001_L	LAMIERA INTERNA	1	AISI 304 SATINATO	1,5	144	122,51	533,03		0	1 2,65136E-05
31	TARGA SAETTA		1								1,06179E-06
32	ASSIEME_CHIUSURA-1/CHIUSURA		1								9,34733E-06
33	ASSIEME_CHIUSURA-1/CHIUSURA2		1								1,98072E-06
34	ASSIEME_CHIUSURA-1/RIVETTO D.4		2								1,19443E-07
35	ASSIEME_CHIUSURA-1/RIVETTO D.5		3								2,15335E-07
36	26923060001_P	LAMIERA PROTETTIVA	1	AISI 304 SATINATO	1	588,08	42,44	1341,22		0	5 2,50752E-05
37	26923060001_S	DEFLETTORE MOBILE	1	AISI 304	0,6	515	51,99	1133,97		0	3 1,60641E-05
38	ASSIEME_MANIGLIA		2								0,002913184
39	ASSIEME_MANIGLIA-1/VITE 6x20		2								8,23074E-07
40	ASSIEME_MANIGLIA-1/CHIUSURA VITE		2								3,54961E-07
41	ASSIEME_MANIGLIA-1/MANIGLIA		1								3,00447E-05
42	26923060001_Q	LAMIERA PROTETTIVA	1	AISI 304 SATINATO	1	776,17	21,4	1995,14		0	4 1,65962E-05
43	26923060001_U	TONDINO	1	AISI 430							3,88772E-06
44	ASSIEME_MANIGLIA-2/VITE 6x20		2								8,23074E-07
45	ASSIEME_MANIGLIA-2/CHIUSURA VITE		2								3,54961E-07
46	ASSIEME_MANIGLIA-2/MANIGLIA		1								3,00447E-05
47	26923060001_G	COPERCHIO	1	AISI 304	1	302	172	948		116,24	0 5,17689E-05
48	26923060001_R	PIASTRA MANICOTTO	1	FERRO	1,5	60	60	240		125,66	0 3,51504E-06

Conclusioni

L'obiettivo della presente tesi era prima di tutto di dimostrare la fattibilità di un'automazione nel processo di modellazione degli involucri di protezione per i cilindri di plastificazione. Per raggiungere tale traguardo era prima necessario analizzare sia le attuali modalità di progettazione che il processo complessivo di produzione e gestione del componente.

Possiamo affermare che l'obiettivo, almeno in parte, è stato raggiunto anche se una considerevole parte di programmazione è ancora necessaria.

Dal lavoro di tesi possiamo dedurre che, a seguito di un'approfondita analisi del processo produttivo e di catalogazione del sapere dei progettisti meccanici, è possibile ricavare le informazioni per la creazione di un configuratore funzionale alla modellazione dei componenti. La sezione di design automation è stata analizzata in maniera approfondita e il configuratore pilota è una risorsa importante per tagliare considerevolmente i tempi di modellazione 3D del componente. Come introdotto, è ancora necessaria una considerevole parte di programmazione, in quanto bisogna implementare la creazione dell'assieme e la messa in tavola dei vari componenti. Pur essendo incompleto il configuratore presentato ha mostrato come attraverso l'utilizzo di Solidworks API è possibile riprodurre tutte le procedure di disegno che l'operatore è solito eseguire manualmente. Per tali ragioni possiamo affermare che lo strumento individuato è corretto e funzionale al raggiungimento dell'obiettivo.

Le difficoltà principali che sono state riscontrate durante il presente lavoro di tesi sono sicuramente legate alla parte di scrittura del codice. Gli involucri di protezione per cilindri di plastificazione sono particolari che non presentano difficoltà dal punto di vista della modellazione dei singoli componenti ma, come descritto, sono caratterizzati da molte variabili. Per avere uno strumento funzionale è quindi necessario principalmente concentrarsi sulla creazione di un software che sia in grado di gestire tali variabili. Se il lavoro di analisi del processo è stato svolto in maniera approfondita e non presenta particolari criticità, invece si è riscontrato che il lavoro sul software va notevolmente implementato, magari rivolgendosi a programmatori esterni esperti. Questo punto è particolarmente importante perché durante la redazione del configuratore si è riscontrato che se il codice non è costruito correttamente, andando a implementare nuove variabili, si possono verificare errori. Inoltre il codice deve essere modificabile, in quanto possono cambiare degli standard a livello aziendale (Kristjansdottir et al., 2018). Un esempio pratico è per esempio la modifica di alcuni particolari di minuteria, nell'ultimo anno sono stati cambiati gli inserti filettati che sono passati da cilindrici ad esagonali. Il programma deve essere quindi pensato per poter essere continuamente aggiornato in base alle necessità ed ai suggerimenti degli operatori tecnici che lo utilizzano.

Un importante aspetto da tenere in considerazione è inoltre come il configuratore è stato recepito dagli operatori dell'ufficio tecnico. Sono stati immediatamente riconosciuti i vantaggi in termini di risparmio di tempo e riduzione dei compiti ripetitivi, e c'è stata un'intensa collaborazione al fine di creare un prodotto funzionale alle loro esigenze.

Possiamo concludere affermando che, se correttamente implementato, il configuratore si può rivelare un'importante mezzo nella riduzione dei tempi e degli errori di progettazione dell'ufficio tecnico.

Riferimenti Bibliografici

- Abhishek C. A.S.Rao, 2014, *Design and Drawing Automation Using Solid Works Application Programming Interface*, International Journal of Emerging Engineering Research and Technology, Volume 2, Issue 7, pp 157-167, ISSN 2349-4395 (Print) & ISSN 2349-4409 (Online).
- Chatras C., Giard V., Sali M., 2016, *Mass customisation impact on bill of materials structure and master production schedule development*, International Journal of Production Research, 54:18, 5634-5650, [DOI: 10.1080/00207543.2016.1194539].
- Haug A., Hvam L., Mortensen N.H., 2012, *Definition and evaluation of product configurator development strategies*, Computers in Industry, 63:5, 471-481, [DOI: 10.1016/j.compind.2012.02.001].
- Jayakiran Reddy E., Venkatachalapathi N., Pandu Rangadu V., 2018, *Development of an approach for Knowledge-Based System for CAD modelling*, Materials Today: Proceedings, 5:5, 2, 13375:13382, [DOI: 10.1016/j.matpr.2018.02.330].
- Kristjansdottir K., Shafiee S., Hvam L., Forza C., Henri N.K., Mortensen H. N., 2018, *The main challenges for manufacturing companies in implementing and utilizing configurators*, Computers in Industry, 100, 196-211, [DOI: 10.1016/j.compind.2018.05.001].
- Shafiee S., Hvam L., Bonev M., 2014, *How to Scope a Product Configuration Project in an Engineering Company*, Proceedings of 6th International Conference on mass Customization and Personalization in Central Europe (MCP-CE 2014) University of Novi Sad
- Tiihonen J., Soinen T., 1997, *Product Configurators – Information System Support for Configurable Products*, <http://www.soberit.tkk.fi/pdmg/config/celsart.pdf>.
- Trentin A., Perin E., Forza C., 2011, *Overcoming the customization-responsiveness squeeze by using product configurators: Beyond anecdotal evidence*, Computers in Industry, 62:3, 260-268, [DOI: 10.1016/j.compind.2010.09.002].
- Trentin A., Perin E., Forza C., 2012, *Product configurator impact on product quality*, International Journal of Production Economics, 135:2, 850-859, [DOI: 10.1016/j.ijpe.2011.10.023].
- Zhou. C., Cao. Q., 2019, *Design and implementation of intelligent manufacturing project management system based on bill of material*, Springer, Cluster Computing, 22, 8647:8655, [DOI: [10.1007/s10586-018-1934-4].