



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

Facoltà Di Ingegneria

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Meccanica

Dipartimento Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche

**Sviluppo di un sistema di automazione
della progettazione di un kit di reggiatura**

Development of an automation system for the design
of a strapping kit

Relatore:

Prof. Michele Germani

Tesi di Laurea di:

Mirko Marcantognini

Anno Accademico 2018 / 2019

Il seguente elaborato è frutto dell'esperienza di tirocinio curricolare svolto presso l'azienda Messersì Packaging s.r.l. leader nel settore dell'imballaggio e dei sistemi per l'automazione dei fine linea industriali. L'azienda è specializzata nella produzione della reggia in PP e PET e di una gamma completa di attrezzature per l'imballaggio: reggiatrici automatiche e semiautomatiche, macchine avvolgitrici, incappucciatrici, impianti di termoretrazione e linee d'imballo complete. Ogni soluzione Messersì è studiata per rendere sicura e protetta qualsiasi tipologia di prodotto durante la movimentazione, l'immagazzinamento e il trasporto. I macchinari proposti sono progettati per specifici settori industriali: laterizi, ceramica, legno, scatolifici, alluminio, beverage, fibre, alimentari, mobilifici, elettrodomestici.

Messersì Packaging è un mondo di mondi che sviluppa soluzioni in tutti i settori di cui conosce complessità, criticità, opportunità. Soluzioni significa concepire e realizzare prodotti e servizi attraverso reggia macchine e linee per creare il pacco perfetto di ogni forma, materiale, dimensione, consistenza, fragilità, complessità quello ben fatto, stabile, solido, compatto, protetto, impermeabile, sicuro nello stoccaggio e nelle movimentazioni. Ogni pacco perfetto è una storia che contiene la memoria aumentata dell'esperienza, delle soluzioni e delle storie, e l'innovazione imposta dall'unicità di ogni impianto; ogni progetto utilizza le migliori tecnologie applicate a macchine reggiatrici, avvolgitrici, per termoretrazione e per incappucciamento con stretch film, con ognuna e con tutte; ogni imballaggio viaggia efficiente su linee e navette regolate da software e sistemi di controllo sincronizzato e coordinato che dialogano con ogni apparato produttivo, secondo tutti i protocolli di sicurezza e di certificazione (Messersì Packaging, s.d.).

1. Sommario

2.	Introduzione	5
3.	Software proposti utilizzati in azienda	6
4.	Interoperabilità tra software	7
4.1.	Interoperabilità Solid Edge ed Excel	7
4.2.	Integrazione del sistema PDM	8
5.	Approccio alla progettazione utilizzato	9
6.	Necessità ed esperienze aziendali	10
6.1.	Concetto di generatore	12
6.2.	Concetto di ottimizzazione	13
7.	Formalizzazione della conoscenza aziendale appresa	14
8.	Imballaggio e macchine reggiatrici	16
8.1.	Kit di reggiatura	18
8.2.	Arco di reggiatura	20
8.2.1.	Arco in Patellette	21
8.2.2.	Arco in Telo	22
9.	Configuratore di Archi	25
9.1.	Parametri elaborati dal configuratore	27
9.2.	Algoritmo di calcolo arco in Patellette	28
9.3.	Algoritmo di calcolo arco in Telo	32
9.4.	Collegamento del Configuratore di Archi al PDM	34
10.	Disegno arco standard	35
10.1.	Modello parametrico 3D	35
10.2.	Unione delle variabili di Solid Edge alle celle di Excel	37
10.3.	Disegno costruttivo 2D	39
11.	Codifica	42
11.1.	Archivio PDM	43

11.2.	Distinta base arco standard (BOM).....	44
12.	Processo di generazione nuovo arco.....	46
12.1.	Flow Chart di generazione nuovo arco.....	47
12.2.	Automazione processo di generazione nuovo arco	49
13.	Risultati Ottenuti	51
14.	Miglioramenti da apportare.....	53
15.	Prospettive future	54
16.	Conclusioni.....	55
17.	Bibliografia.....	56
18.	Ringraziamenti.....	57

2. Introduzione

L'esperienza del tirocinio nasce dall'esigenza aziendale di ottimizzare le fasi di disegno, codifica e messa in produzione di una parte dei loro macchinari atti ad essere integrati in processi industriali di terzi.

In questo elaborato si compie un primo passo verso lo sviluppo di un metodo di "automazione della progettazione" con il risultato principale dell'automazione di attività come la disposizione dei componenti, modellazione geometrica 3D, estrazione di disegni 2D, compilazione della distinta base (Raffaelli, Mengoni, Cicconi, & Germani, 2010). Oltre la creazione di un sistema che coadiuvi un foglio di calcolo per il dimensionamento del macchinario al sistema di codifica ed archiviazione. Per i progettisti, è intrinsecamente vantaggioso utilizzare strumenti e tecniche che affrontano in autonomia gran parte del ciclo di progettazione; dopotutto, invocare competenze per un numero limitato di strumenti è molto meno complesso che farlo di volta in volta con singoli strumenti. Un ciclo di progettazione si basa sulla creatività come il principale meccanismo di propulsione, producendo l'incentivo vitale per l'evoluzione della definizione del prodotto che va di pari passo del progetto di sviluppo del prodotto (Lutters, van Houten, Bernard, & Mermoz, 2014).

È stato quindi ideato il concetto di generatore per fornire un prodotto flessibile e strutturato così da automatizzare il processo di progettazione sfruttando le proprietà tecniche della modellazione 3D parametrica, dei metodi, dei framework e dal know-how presenti all'interno dell'ufficio tecnico. Il concetto sviluppato inizia con la configurazione del componente e segue step by step il progettista in tutte le fasi di progettazione che termina con la codifica e la stesura degli elaborati utili nel ciclo di vita del prodotto, come ad esempio la messa in produzione. Il particolare scelto per l'esperienza è "l'arco di reggiatura" componente del macchinario "kit di reggiatura".

3. Software proposti utilizzati in azienda

Solid Edge ST10 un software di progettazione ibrida 2D/3D sviluppato da Siemens PLM Software. Offre evolute funzionalità di modellazione e di progettazione dei componenti e degli assiemi, gestione trasparente dei dati e un ambiente integrato di analisi ad elementi finiti (Solid Edge | Siemens, s.d.). Utilizzato per la parte di disegno 3D e messa in tavola degli elaborati 2D;

RuleDesigner PDM (Product Data Management) è una soluzione integrata web-based che ha come obiettivo di applicazione il miglioramento dell'efficienza e dell'efficacia dell'organizzazione e delle attività di innovazione e sviluppo lungo il ciclo di vita del prodotto. RuleDesigner attiva una stretta collaborazione tra i team di progettazione globali per lo sviluppo congiunto dei progetti aziendali. Garantisce un completo controllo del processo di sviluppo prodotto con informazioni che fluiscono senza soluzione di continuità (RuleDesigner PDM/PLM - Management of the product life-cycle, s.d.). Utilizzato in correlazione con Solid Edge per la raccolta ed organizzazione di file nelle fasi di ideazione, progettazione, codifica e produzione dei prodotti.

Microsoft Excel è un'applicazione software che può essere usata come foglio elettronico, database, o generatore di grafici (Microsoft Excel, s.d.). Utilizzato in correlazione con Solid Edge per configurare l'arco nei suoi parametri.

4. Interoperabilità tra software

Molti software tradizionali, come Excel appartenenti alla suite di applicazioni Microsoft Office o altri software di disegno CAD (Computer-Aided Design) di ultima generazione, sono stati implementati con specifiche (ad es. funzionalità o collegamenti parametrici) capaci di cooperare e di scambiare informazioni o servizi con altri sistemi o prodotti in maniera più o meno completa e priva di errori, con affidabilità e con ottimizzazione delle risorse.

4.1. Interoperabilità Solid Edge ed Excel

Una delle proprietà del programma CAD Solid Edge è quella di avere la possibilità di collegare le variabili di Solid Edge ad un foglio elettronico, si può usare Microsoft Excel o un altro software relativo ai fogli di calcolo. Prima di fare ciò, è necessario creare le variabili da inserire nel documento Solid Edge. Quando si modifica il valore nel foglio elettronico, la variabile nella Tabella Variabili viene aggiornata. Per esempio, quando si collegano le quote del documento disegno a un foglio elettronico Excel, si possono cambiare le quote del disegno modificando i valori corrispondenti nel foglio elettronico Excel. Il documento disegno viene aggiornato automaticamente (Siemens Documentation: Solid Edge ST10, s.d.).

Con queste prerogative si è deciso di costruire un documento Excel da utilizzare su più livelli di modo da raccogliere in un unico documento sia fogli dedicati al calcolo del modello che celle di comando da assegnare alle variabili indipendenti del disegno parametrico.

4.2. Integrazione del sistema PDM

Il PDM è basato integralmente su una piattaforma web collaborativa che consente di supportare e automatizzare la maggior parte delle attività relative allo sviluppo del prodotto come gestione dei dati di prodotto:

- tramite classificazione parametrica, codifica automatica di disegni e documenti tecnici con una forte integrazione con il CAD Solid Edge;
- Flussi di lavoro ECR (engineering change request) ed ECO (engineering change order);
- approvazione e flussi di lavoro configurabili;
- ricerche avanzate sul repository di disegni;
- archiviazione normativa e condivisione dei dati con funzioni e fornitori aziendali;
- Gestione della distinta base;
- rinominare ed eseguire operazioni automatiche su enormi elenchi di codici e file;
- procedure di automazione e plugin configurabili per qualsiasi esigenza (RuleDesigner PDM/PLM - Management of the product life-cycle, s.d.).

Inoltre, il sistema PDM ha la capacità di interfacciarsi con file nel formato Excel quindi nello sviluppo del processo di automazione di progettazione e creazione di un generatore del componente arco si sfruttata la capacità cooperative tra questi software.

5. Approccio alla progettazione utilizzato

La progettazione tradizionale della configurazione del prodotto richiede una sequenza di passaggi che possono essere esposti come segue:

- Definizione di un set ordinato di opzioni di configurazione;
- Definizione di un albero di strutture varianti alternative;
- Definizione delle regole per mappare le opzioni alle varianti;
- Associazione di geometrie a ciascuna variante di prodotto.

Questi passaggi vengono normalmente eseguiti dal disegnatore che raccoglie informazioni sul prodotto in un modo non strutturato quindi lo trasferisce negli strumenti utilizzando linguaggi di codifica. Grazie ai vantaggi nei sistemi CAD parametrici questo approccio copre una vasta gamma di possibili geometrie prestando attenzione alla correttezza nel modellare i vincoli del profilo delle caratteristiche e definendo opportune dimensioni guida. I modelli di parti si uniscono in modelli di assieme, che incorporano relazioni di posizionamento e ulteriori parametri. La configurazione degli assieme si ottiene sostituendo componenti con altri nuovi dimensionati ad hoc, si modificano parametri, numero di ripetizioni e distanze di accoppiamento, scrivendo proprietà non geometriche e infine salvando di nuovo il file modello con un nuovo nome (Raffaeli, Cicconi, & Germani, 2016).

Infine, si è deciso costruire il sistema di progettazione autonoma seguendo una progettazione di tipo tradizionale come descritta in precedenza; grazie a tale sistema è possibile ottenere forme geometriche di parti e assieme a partire da una serie di iniziali specifiche mediante l'introduzione di dati all'interno di un software autonomo. Per applicare tale sistema è quindi necessario avere un prodotto caratterizzato da un buon livello di configurabilità o variabilità dimensionale.

6. Necessità ed esperienze aziendali

Il progetto nasce dall'esigenza aziendale di semplificare ed incrementare la produttività dell'ufficio tecnico, con l'esperienza l'azienda ha allargato le proprie capacità e possibilità tecniche. Nasce quindi il desiderio e la necessità di innovare il sistema di progettazione e messa in produzione da utilizzare per alcuni componenti prodotti, per ottemperare a tale desiderio si è pensato quindi di introdurre un sistema di automazione della progettazione.

L'automazione è uno strumento che agevola e semplifica il lavoro del personale più esperto cosicché possa dedicarsi alla risoluzione di problemi più significativi, invece che ad attività ordinarie e/o ripetitive. Adottando il sistema di automazione della progettazione l'azienda acquista efficienza e l'intervento di personale specializzato acquista importanza. I principali vantaggi vanno individuati in: una maggiore produttività, in questo modo il personale può dedicarsi in attività complesse che hanno un maggiore impatto sull'azienda lasciando che il sistema si occupi della progettazione di componenti semplici e ripetitive. Una maggiore affidabilità, limitando il rischio di errori e/o sviste nei processi manuali svolti in attività ripetitive. Inoltre, codificare il processo consente un maggior controllo su tutte le attività svolte. L'automazione non è applicabile ovunque ma a seconda delle caratteristiche del componente da progettare, come scritto in precedenza in questo elaborato il componente scelto per avviare un primo sistema di automazione della progettazione è "l'arco di reggiatura" del macchinario "kit di reggiatura". Quindi dopo aver appreso l'obiettivo da raggiungere, preso nota delle capacità dei software a disposizione, preso conoscenza del know-how aziendale ed apprese le tecniche trattate in precedenza in altri ambiti si è dato sfogo alla creatività per unire tutte le informazioni in un sistema semplice, funzionale e flessibile. Esplorando e sviluppando scelte alternative è stato possibile integrare al processo un foglio di calcolo in grado di compiere decisioni e dare istruzioni seguendo un iter di

comandi codificati (Lutters, van Houten, Bernard, & Mermoz, 2014).

Valutando tutte le sfaccettature di sistemi e macchine si è trovato il giusto compromesso per introdurre un nuovo sistema di progettazione autonoma nella parte di modellazione, manuale-pilotato nelle restanti fasi. Sviluppando così un sistema che poggia su due concetti principali quello del generatore e quello dell'ottimizzazione.

6.1. Concetto di generatore

Il termine configurazione si riferisce ad approcci e strumenti per identificare insiemi validi di parametri di input forniti un insieme di variabili indipendenti scelte da un utente e una serie di vincoli tecnici (Raffaelli, Cicconi, & Germani, 2016). Il sistema CAD utilizzato è in grado di modellare parti e assiemi molto bene ma non progettare (Gao, Zhang, Chen, & Yang, 2013), ovvero non è in grado di fare scelte computazionali autonome in funzione alle esigenze del progettista, né tantomeno è sostenuto da un ambiente di programmazione tale da poter scrivere un codice per rendere possibile la modellazione parametrica autonoma dei disegni, sia 3D che 2D. Sfruttando l'interoperabilità vista in precedenza tra Excel, Solid Edge ed il PDM si è pensato quindi di introdurre il concetto di generatore per fornire un prodotto flessibile in grado di automatizzare l'intero processo di progettazione (Raffaelli, Mengoni, Cicconi, & Germani, 2010). È stato creato un file Excel con il quale è possibile configurare l'intero arco di reggiatura all'interno di fogli dedicati è stato sviluppato un algoritmo di calcolo per trasformare i dati di ingresso in parametri di uscita da associare al modello 3D in Solid Edge. Mentre, in altri fogli dedicati il file cerca all'interno dell'archivio se la configurazione selezionata è già stata progettata e codificata, nel caso positivo genera un collegamento ipertestuale che riconduce al PDM. Qualora la configurazione non fosse presente il generatore è stato sviluppato per avviare la procedura guidata che segue passo passo tutte le fasi, sia autonome che manuali, per la progettazione di un nuovo arco di reggiatura.

Il generatore, denominato "Configuratore di Archi", quindi è lo strumento con il quale il progettista si interfaccia per la progettazione degli archi di reggiatura.

6.2. Concetto di ottimizzazione

Viste le capacità dei sistemi di integrazioni a disposizione, per ottimizzare il processo di progettazione autonoma il modello 3D d'assieme di arco è stato completamente ridisegnato in modo parametrico. Rendendo possibile il collegamento tra Solid Edge ed il generatore di archi, in Excel. Inoltre, il disegno 3D è stato snellito rimuovendo le componenti obsolete o non funzionali alla modellazione autonoma. In questo modo è stato semplificato il disegno d'assieme "arco standard". I metodi di progettazione sono ottimizzati anche per una migliore occupabilità (Raffaelli, Cicconi, & Germani, 2016) quindi si è posta l'attenzione sulla codifica di modo da generale il minimo numero di codici e files da inserire in archivio per ogni arco progettato. Per velocizzare la generazione dei files e semplificare gli elaborati dedicati alla costruzione, si è deciso di redigere il minimo numero di disegni sia 2D che 3D.

7. Formalizzazione della conoscenza aziendale appresa

Appresi tutti i concetti, studiato potenzialità e limiti tecnici degli strumenti messi a disposizione, descritti nei capitoli precedenti, sono state ascoltate le esigenze delle principali figure aziendali. In particolare: il responsabile dell'ufficio tecnico per la parte inerente al disegno del modello 3D e degli elaborati da redigere. Il webmaster per la gestione e l'integrazione del PDM al sistema, il responsabile di produzione per gestire il layout degli elaborati e le informazioni da inserire durante la stesura dei files. Il tutto è stato formalizzato come linee guida da seguire per costruire il sistema di automazione. Quindi dall'alto dell'esperienza aziendale per la parte di modellazione 3D si è deciso di non generare un modello di assieme per ogni nuova specifica soluzione configurata e codificata così da codificare ed archiviare solo il semplificato dell'assieme 3D, questo perché codificare tutti i componenti presenti in assieme di ogni arco prodotto si è rivelato eccessivo sia in termini di spazio occupato che di tempo speso dall'operatore. In questo modo si evita sia la creazione di tanti files codice di parti e sotto parti, che rimangono inutilizzati per il più delle volte. Inoltre, si genera un vantaggio intrinseco nel momento in cui il modello dell'arco semplificato viene utilizzato come parte di un assieme ben più complesso, difatti più semplici e leggeri risultano i componenti più i terminali elaborano velocemente i dati.

Per quanto concerne il disegno delle tavole costruttive si è deciso di concentrare tutte le viste dell'assieme e tutte le informazioni in un unico disegno costruttivo. Dal momento che si è deciso di utilizzare solo il semplificato dell'assieme risulta impossibile la redazione di un costruttivo nel formato disegno “.dft” per ogni arco, la tipologia di file “.par” non dispone delle geometrie per costruire il disegno 2D di un assieme né tantomeno è in grado di esportare tutte le informazioni come la distinta base. Per ovviare a tali problemi, vedendo che in passato i files “.dft” dei costruttivi sono risultati poco utili, è

stato deciso di redigere ed archiviare il costruttivo 2D solo in formato “.pdf”. L’archivio PDM può importare BOM (Bill of Materials) in automatico solo in presenza di assiemi cosa non possibile se l’assieme salvato risulta come parte singola. Una diversa soluzione è stata presa per l’inserimento della distinta base nel PDM che sfruttando le informazioni presenti nel configuratore di archi e la capacità di lettura di quest’ultimo dei file nel formato “.xmls” si è deciso di creare un ulteriore file Excel che di volta in volta viene generato ed inserito nella sezione BOM del nuovo codice creato all’interno del PDM.

In sostanza è stato deciso di disegnare un unico modello 3D parametrico che collegato al Configuratore di Archi modifica il disegno in funzione della configurazione scelta dal progettista. Di disegnare un unico costruttivo contenente tutte le informazioni per la costruzione e che si adatta a tutte le possibili configurazioni.

Quindi nella fase di creazione di un nuovo arco standard il configuratore evoca il programma di disegno, invia tutti i parametri per modellare il 3D e le informazioni da inserire nel costruttivo 2D. Dopodiché il modello 3D viene salvato come copia di assieme semplificato mentre il costruttivo esportato nel formato “.pdf”. Al contempo si genera un nuovo file Excel contente la distinta base (BOM) della configurazione scelta. Al termine del processo di generazione tutti i files di origine non verranno salvati difatti si perderà tutte le informazioni e le modifiche apportate tramite la configurazione in Excel.

8. Imballaggio e macchine reggiatrici

L'imballaggio, spesso utilizzato con il termine inglese packaging, è lo strumento utile alla conservazione di un bene per facilitarne la conservazione e facilitarne il trasporto. Il termine assume un significato relativo all'involucro del materiale o al complesso di operazioni attraverso cui la merce viene racchiusa in un contenitore (Imballaggio, s.d.). In questo elaborato si è posta l'attenzione su una componente di una macchina che esegue l'imballaggio tramite reggetta al fine di garantire l'imballaggio per il trasporto.

L'imballaggio per il trasporto è *un imballaggio concepito in modo da facilitare la manipolazione ed il trasporto di un certo numero di unità di vendita oppure di imballaggi multipli per evitare la loro manipolazione ed i danni connessi al trasporto, esclusi i container per i trasporti stradali, ferroviari, marittimi e aerei* (art. 218, lettera d, d.lgs. n. 152/2006).

La reggiatrice è una macchina automatico o semiautomatico utilizzato per sigillare un bene o un prodotto al fine di trasporto, le dimensioni del macchinario varia in funzione delle dimensioni e delle peculiarità del prodotto da imballare, Figura 1a. La macchina reggiatrice svolge la sua azione sul prodotto tramite l'applicazione sotto tensione di una banda plastica affinché il prodotto sia perfettamente bloccato, questa azione può essere svolta sia in posizione orizzontale che verticale. La banda che compie l'azione di imballo è chiamata reggetta (o reggia da imballaggio), Figura 1b, essa può essere di due diversi materiali plastici: in polipropilene (PP) o in poliestere (PET). Le sue dimensioni possono variare da 8 mm a 32 mm di larghezza, e da 0,50 mm a 1,27 mm di spessore.

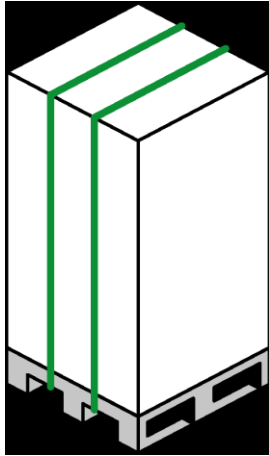


Figura 1. a) A SINISTRA UN TIPICO ESEMPIO DI REGGIATURA DI UN PALLET. b) A DESTRA UNA FOTO DI APPLICAZIONE DI UNA REGGETTA DA IMBALLAGGIO

Le macchine reggiatrici automatiche, semiautomatiche e per linea di imballaggio, orizzontali, verticali, laterali e a compressione imballano con facilità e velocità ogni materiale, in Figura 2. Per la loro semplicità di utilizzo e l'alto grado di personalizzazione, sono impiegate in molti settori industriali e artigianali.

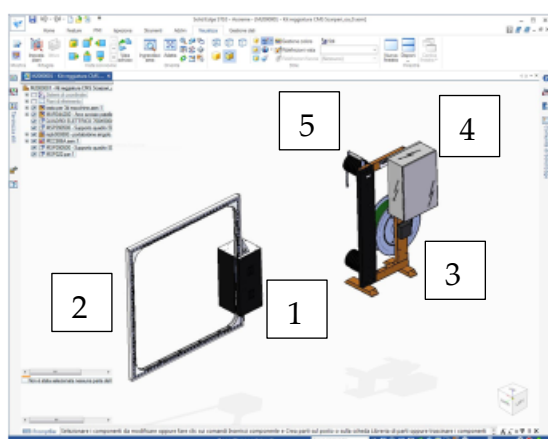


Figura 2. ESEMPIO DI REGGIATURA DI UN PRODOTTO

8.1. Kit di reggiatura

Il macchinario kit di reggiatura è una tipologia di macchinari composta da un numero sufficiente di assiemi per garantirne l'utilizzo.

Sostanzialmente il kit di reggiatura, Figura 3, è composto da: una testa reggiatrice che provvede al movimento, alla messa in tensione e alla saldatura della reggia attorno al prodotto da imballare. Un arco di reggiatura che posto attorno al pacco guida la reggia durante tutte le fasi di imballaggio. Una bobina avvolgi reggia che tramite un motore passo passo rilascia la giusta quantità di reggia. Un quadro elettrico che tramite PLC e informatica integrata comanda ogni componente durante la reggiatura seguendo un preciso ordine di comandi che garantiscono l'imballaggio del prodotto. La carpenteria metallica che incorpora una serie di pulegge, guide verticali e masse di bilanciamento utili per dissipare l'energia cinetica della reggia durante il processo. Difatti la reggia durante il processo viene dapprima tirata dalla testa reggiatrice poi restituita alla bobina con delle velocità che variano da 0.1÷5 m/s, velocità che la bobina non può seguire per motivi di inerzie, quindi la reggia prima di arrivare alla testa reggiatrice passa attraverso il sistema di pulegge.



Il kit di reggiatura comprende i seguenti assiemi:

1. Testa di reggiatura;
2. Arco standard, nelle tipologie in «Patellette» o in «Telo»;
3. Bobina avvolgi reggia;
4. Quadro elettrico;
5. Carpenteria metallica.

Figura 3. ESEMPIO KIT DI REGGIATURA

La puleggia posizionata in alto è fissata nella sua posizione mentre l'altra è libera di scorrere sulle guide verticali, così durante la fase di lancio e richiamo

questa sale e scende permettendo alla bobina avvolgi reggia di srotolare la reggia ad una velocità costante. Inoltre, la carpenteria metallica può essere utilizzata per fissare altri componenti sia interni, come il quadro elettrico, che esterni. Il kit di reggiatura nasce per essere adattato nelle più svariate condizioni; può essere utilizzato così come mostrato in Figura 3, può essere utilizzato all'interno di processi produttivi già esistenti tramite l'aggiunta di particolari esterni e alcune modifiche da realizzare sul posto come in Figura 5. Oppure è possibile utilizzare il kit all'interno di macchinari ben più complessi come in Figura 4a e 4b.

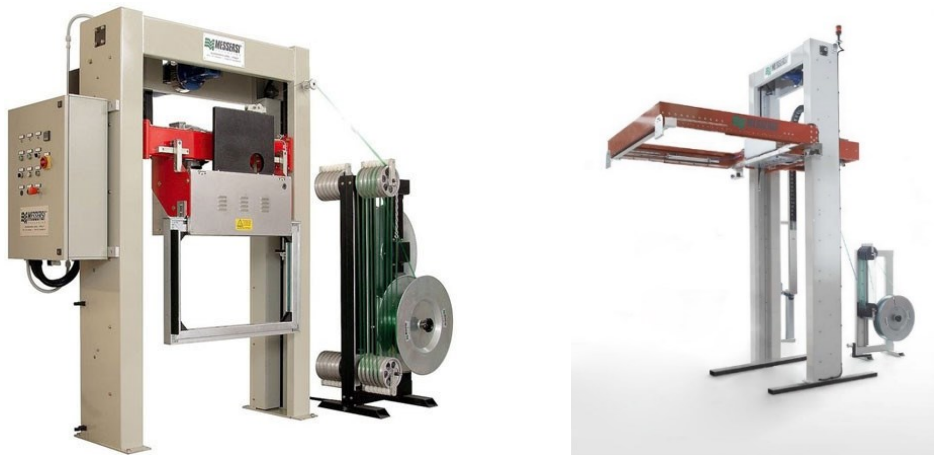


Figura 4. DUE ESEMPI DI APPLICAZIONE DEL KIT DI REGGIATURA ALL'INTERNO DI LINEE DI IMBALLAGGIO, A SINISTRA LA REGGIATURA È VERTICALE, A DESTRA ORIZZONTALE



Figura 5. ESEMPIO DI UTILIZZO AUTONOMO DEL KIT APPLICATO AD UNA CARPENTERIA MECCANICA

8.2. Arco di reggiatura

Il componente arco di reggiatura, come mostrato in Figura 3, è completamente vincolato alla testa reggiatrice tramite apposite staffe. Il suo scopo è quello di guidare la reggia tutt'attorno il pacco da imballare nelle le fasi di lancio e richiamo reggia. Durante il processo di imballaggio l'arco di reggiatura viene posizionato intorno al pacco in questione, in posizione verticale o orizzontale che sia a seconda del macchinario e della linea di imballaggio su cui è applicato. La testa reggiatrice in un primo momento lancia la reggia all'interno di tutto il perimetro dell'arco, in un secondo momento la richiama verso sé così che questa fuoriesca dall'arco e aderisca al pacco. In questa fase l'arco, tramite diverse tipologie costruttive, rilascia la reggia dal suo interno permettendole di aderire al pacco. Nella fase finale la testa reggiatrice serra e salda garantendo l'imballaggio. L'arco di reggiatura preso in considerazione per essere costruito tramite il sistema di progettazione autonoma è stato denominato "arco standard" ed è utilizzato esclusivamente nel macchinario "kit di reggiatura". L'arco di reggiatura consiste in un parallelogramma di 90° diviso in 5 rami dal profilo lineare aperto in un lato sul quale è montata la testa reggiatrice. A seconda delle esigenze di configurazione il kit di reggiatura può ospitare diversi tipi di testa reggiatrice che solitamente viene scelta in funzione della reggia più adatta al prodotto da imballare. A seconda delle proprietà della reggia (materiale, spessore, larghezza) il sistema di rilascio reggia si distingue in due tipologie, quindi in due varianti di arco assolutamente diverse tra loro. Per una tipologia di reggia più spessa, larga e rigida si utilizza un sistema di rilascio tramite l'utilizzo di "Patellette", viceversa per tipologie di reggia più sottile, stretta e flessibile si utilizza un sistema di rilascio tramite "Telo".

Distinguiamo gli archi di reggiatura standard in due tipologie costruttive: "Arco in Patellette" e "Arco in Telo".

8.2.1. Arco in Patellette

L'arco in Patellette è caratterizzato dal sistema con il quale la reggia viene guidata all'interno dell'arco nella fase di lancio e nella fase di rilascio della reggia; questo sistema è denominato "gruppo patellette". Come si note in Figura 6a ogni ramo dell'arco è composto da un profilo piatto esterno in alluminio sul quale è montato un profilo a "C" in acciaio zincato a caldo fissato al piatto tramite viti autofilettanti M6 durante la costruzione dell'arco stesso a discrezione dell'operatore. Lungo il piano frontale del profilo sono presenti dei fori passanti Ø25 mm passo 50 mm sui quali vengono applicati i gruppi patellette. All'interno dell'apertura del profilo a "C" si inserisce il piatto di scorrimento della reggia, un componente in polietilene PE500 opportunamente lavorato per essere fissato sul profilo forato. Lo scorrimento longitudinale è impedito dalle curve, anch'esse inserite all'interno del profilo a C sia sul lato verticale che quello orizzontale.

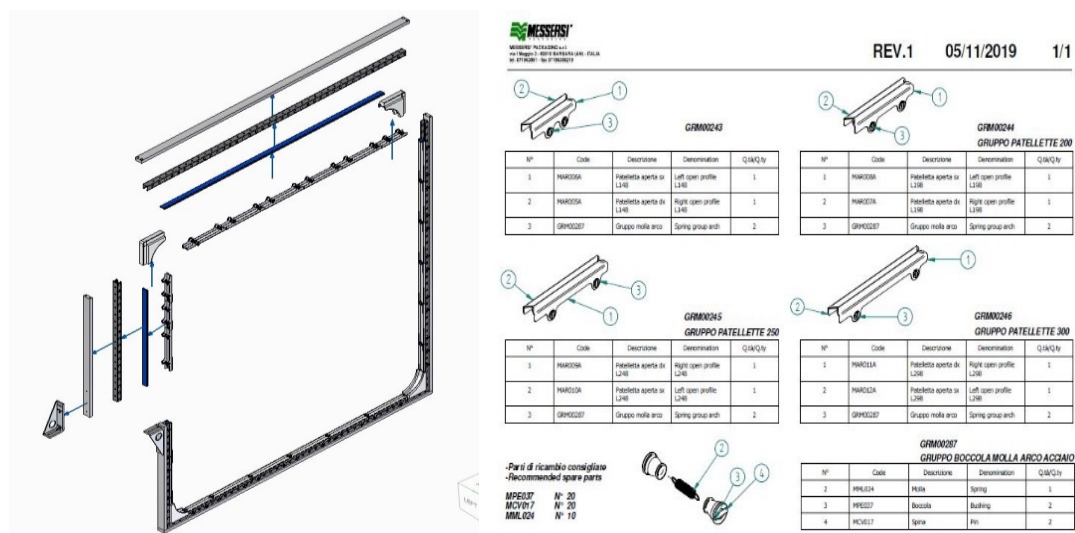


Figura 6. a) VISTA SEMIESPLOSA ARCO IN PATELLETTE. b) TIPOLOGIA DI PATELLETTE

Le curve sono montate sui profili seguendo un preciso verso di montaggio che segue la direzione di lancio della reggia. Le curve hanno un preciso verso di montaggio che evita il bloccaggio o la fuoriuscita della reggia, difatti in ingresso l'area di passaggio è più ampia e posizionata più in basso rispetto al piatto di

scorrimento reggia. Poi via via l'area si restringe dando la giusta direzionalità al movimento della reggia in uscita della curva. Il gruppo Patellette è costituito da una coppia speculare di lamiere opportunamente piegate ad "L" montate sul profilo forato e tenute insieme da una coppia di boccole e molle in tensione, Figura 6b. Si hanno a disposizione patellette di 4 differenti lunghezze: 300, 250, 200, 150 mm da montare sul profilo forato lungo l'intero perimetro interno con una tolleranza di ± 1 mm. Ai vertici i piatti in alluminio esterni sono uniti tra loro tramite una coppia di viti a testa cilindrica TCEI M6x25. Alle due estremità del piatto superiore ed inferiore vengono costruiti i fori con la sede per la testa della vite mentre sul piano planare dei piatti laterali vengono eseguiti i fori filettati M6.

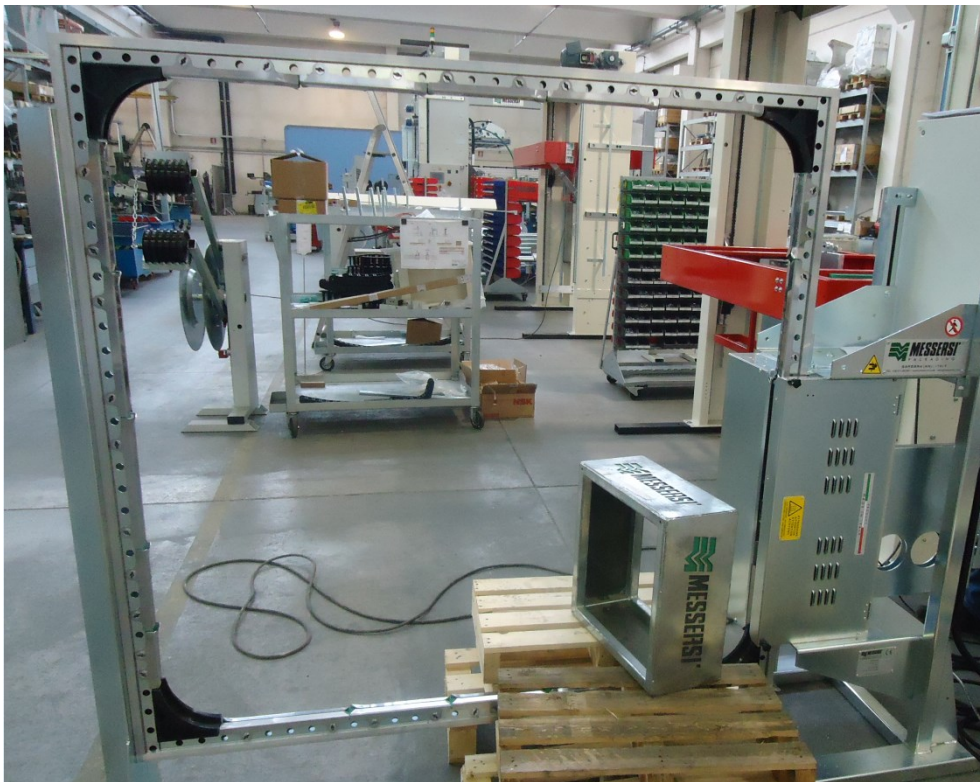


Figura 7. FOTO DI UN ARCO IN PATELLETTE COSTRUITO TRAMITE L'UTILIZZO DEL CONFIGURATORE DI ARCHI CON POSIZIONE TESTA REGGIATRICE LATERALE

8.2.2. Arco in Telo

L'arco in Telo è caratterizzato dal sistema con il quale la reggia viene guidata all'interno dell'arco nella fase di lancio e nella fase di rilascio.

L'intero perimetro dell'arco è composto da un profilo sagomato in alluminio tagliato a 45°, Figura 8, viene assemblato tramite una grappa di montaggio ad "L" applicata sui tutti i vertici di ciascun lato dell'arco. Il fissaggio viene garantito tramite dei tasselli e delle viti M6. All'interno di ogni profilo sagomato sono montati: 2 tipologie di nastro in telo di diversa rigidità, il meno rigido all'interno il più rigido all'esterno dell'arco. I due nastri sono serrati tramite la pressione da parte del piatto di scorrimento in polietilene PE500, in questo caso la parte centrale è scavata e vi scorre la reggia mentre i lati fanno pressione sul telo verso il profilo. Il tutto è tenuto in pressione da un piatto reggispinta in acciaio inox, la spinta è garantita da dei grani M5 applicati al momento della costruzione dall'operatore che fora e filetta dall'esterno il profilo sagomato a sua discrezione. Ai vertici dell'arco si inseriscono all'interno del profilo scavato le curve guida nella corretta sequenza di montaggio che segue il verso di lancio della reggia.

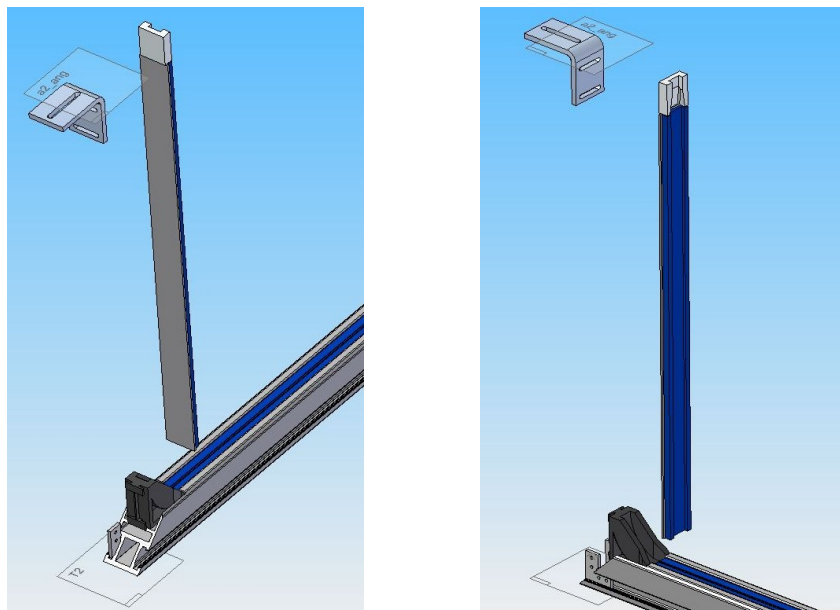


Figura 8. VISTA SEMIESPLOSA DELL'ARCO IN TELO

Come nel caso della tipologia in patellette anche le curve montate in questa tipologia d'arco hanno un preciso verso di montaggio che evita il bloccaggio o la fuoriuscita della reggia. In ingresso l'area di passaggio è più ampia e

posizionata più in basso rispetto al piatto di scorrimento reggia poi via via l'area si restringe dando la giusta direzionalità al movimento della reggia nella fase di lancio. A seconda della posizione della testa reggiatrice in configurazione è possibile montare il componente guidareggia "MIR002" che guida la reggia per il ritorno verso la testa reggiatrice.



Figura 9. FOTO DI UN ARCO IN TELO COSTRUITO TRAMITE L'UTILIZZO DEL CONFIGURATORE DI ARCHI CON POSIZIONE TESTA REGGIATRICE CENTRALE

9. Configuratore di Archi

La necessità di creare un sistema di progettazione autonoma per la parte della modellazione 2D e 3D unita alla ricerca di velocità e semplicità di codifica e redazione dei documenti come descritto nei paragrafi precedenti ha portato all'ideazione e alla creazione di un documento Excel che raggruppa tutti i concetti visti fin ora. Il configuratore di archi è il risultato finale dell'intero lavoro svolto grazie al quale è possibile progettare un arco di reggiatura partendo da semplici valori iniziali chiesti dal cliente o assiemi padri di macchinari ben più complessi in cui questo può essere integrato.

Il configuratore di archi è stato creato per due principali utilizzi, come riassunto in Figura 10, il primo di pura progettazione. Ovvero, dopo aver effettuato la configurazione scelta si passa alla generazione reale del componente. Il secondo utilizzo è di consultazione, ovvero modificando le variabili di configurazione il configuratore di archi ha la capacità di vedere se un arco con le caratteristiche richieste è già presente in archivio. In caso positivo mostra al progettista il codice identificativo all'interno dell'archivio PDM.

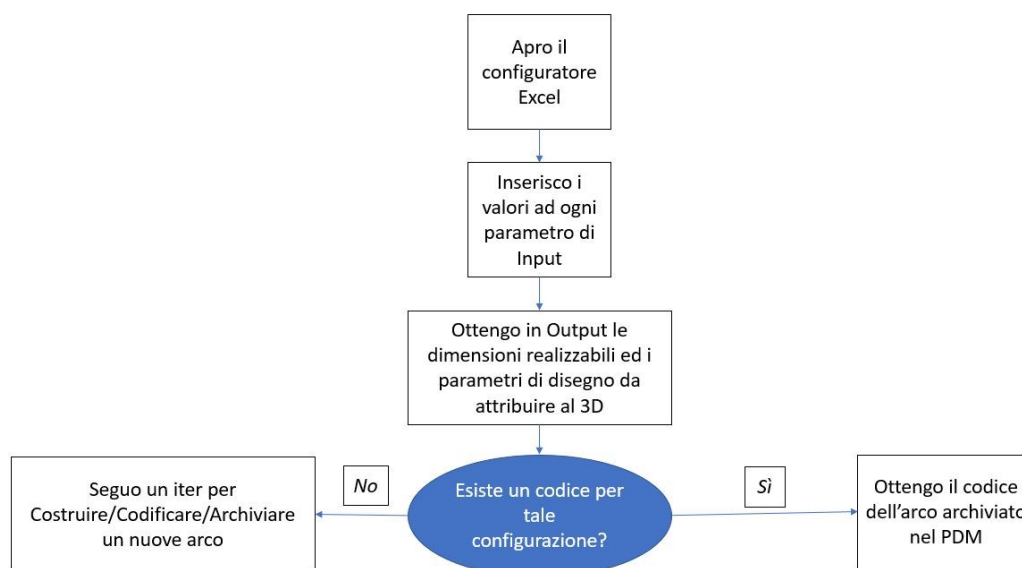


Figura 10. PROCESSO LOGICO DI UTILIZZO DEL CONFIGURATORE DI ARCHI

Quest'ultima capacità è di grandissima utilità perché permette di ideare e proporre compromessi esterni di modo da evitare la progettazione di un nuovo arco proponendo l'utilizzo di materiale già presente in archivio ed utilizzato in precedenza, con tutte le informazioni di funzionamento del caso.

Infine, si è posto l'accento sul concetto di "User Friendly" cercando di creare un'interfaccia grafica, in Figura 11, intuitiva e di facile compilatura nella fase di configurazione, di consultazione o di avvio generazione di un nuovo arco.

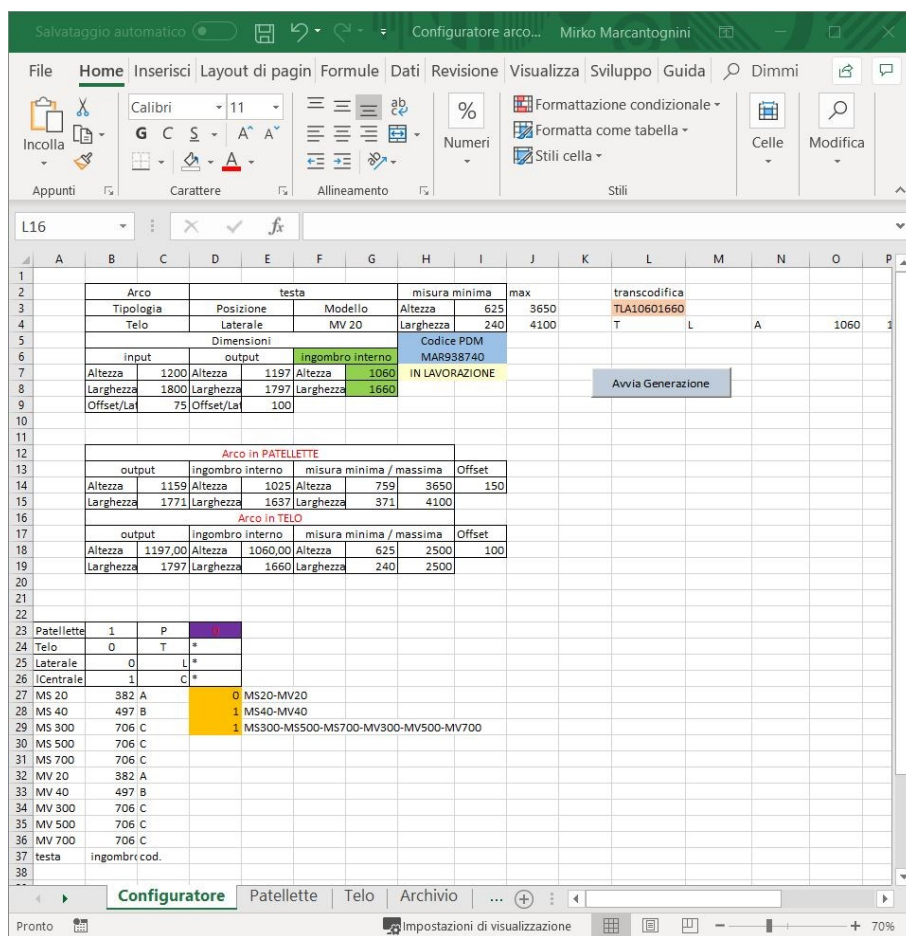


Figura 11.INTERFACCIA CONFIGURATORE ARCHI

9.1. Parametri elaborati dal configuratore

Il configuratore di archi permette sia la consultazione in archivio che la generazione di un nuovo arco di reggiatura compilando le caselle di configurazione nelle quali si indicano le caratteristiche che deve possedere l'arco alla fine del processo. Tali informazioni sono poi trasferite come Input di ingresso ad un algoritmo di calcolo specificatamente costruito così da ottenere degli Output ritrasformati a loro volta in parametri da assegnare alle varie funzioni.

I parametri da inserire come Input sono:

- Tipologia d'arco;
- Modello testa di reggiatura;
- Posizione testa di reggiatura;
- Dimensioni di massima: Altezza/Larghezza/Offset decentramento testa.

Mentre gli Output ottenuti sono:

- Dimensioni reali dell'ingombro interno: Altezza/Larghezza;
- Codice dell'arco di reggiatura nel PDM (se presente);
- Stato di lavorazione (se presente);
- Tutte le variabili parametriche da associare al disegno 3D per la modellazione 3D di un nuovo arco di reggiatura.

9.2. Algoritmo di calcolo arco in Patellette

Tenendo in considerazione il valore degli Input nella configurazione dell'arco di reggiatura intrinsecamente si vanno a toccare e modificare diverse componenti che contraddistinguono la forma stessa dell'arco. Difatti come mostrato nella Figura 12 è possibile scegliere tra 8 modelli di testa reggiatrice da applicare in 3 possibili posizioni rispetto l'altezza.

Modello teste di reggiatura:		Posizione testa di reggiatura:
1. MS20	} Ingombro 382 mm	1. Centrale
2. MV20		2. Laterale
3. MS300	} Ingombro 497 mm	3. Decentrata di un Offset specifico (rispetto alla posizione laterale)
4. MS500		
5. MS700		
6. MV300	} Ingombro 706 mm	
7. MV500		
8. MV700		

Figura 12. PARAMETRI CONFIGURABILI

Questa può essere applicata al centro, di un certo offset di rispetto alla posizione intermedia o in prossimità di un vertice. Impostando le dimensioni di massima di altezza e larghezza, in un certo range di valori, si calcola: la quantità per ogni tipologia di patelletta da inserire sui 5 rami ottimizzati di modo da montarne la minima quantità.

Tipologie curve guida reggia:	Tipologie di staffe di fissaggio:
1. MNY019 standard	1. MSP022 staffa standard
2. MNY152294 ribassata in ingresso	2. MCC986A staffa bassa
3. MNY152295 ribassata in uscita	

Le curve ribassate sono state appositamente create per la serie «20» delle teste di reggiatura.

Figura 13. PARAMETRI CONFIGURABILI

Quindi in funzione dell'altezza, della tipologia della testa reggiatrice e della sua posizione configurata il configuratore di carichi sceglie quali tipologie di curve guidareggia applicare ai vertici su 3 proposti e quali staffe utilizzare per ancorare l'arco standard alla testa reggiatrice su 2 a disposizione, Figura 13. Le dimensioni esterne dell'arco sono ottimizzate in funzione della tipologia della testa, del numero di patellette conteggiate e delle tolleranze di assemblaggio da rispettare, arrotondate in difetto per un massimo di 50 mm. Così da avere dimensioni esterne che si differenziano di 50 mm l'una dall'altra. È stato costruito un algoritmo per il calcolo delle misure realizzabili ed il conteggio delle patellette per ogni ramo; l'algoritmo costruito è utilizzato per il calcolo della lunghezza di ogni lato. In Figura 14 è riportato un estratto di un calcolo della larghezza, il valore della larghezza dato in input è di 2000 mm. A questa larghezza viene sottratto l'ingombro delle curve e del profilo piatto esterno totale; tale misura, 1629 mm, è divisa per la lunghezza della patelletta più lunga. Il valore ricavato è arrotondato all'unità in difetto, questo rappresenta la quantità di patellette; dopodiché si calcola lo scarto sulla lunghezza totale. Come in precedenza lo scarto della patelletta maggiore viene diviso e ricalcolato per ogni lunghezza delle patellette fino all'ultima di 150 mm. Qualora lo scarto finale sia superiore ai 50 mm il conteggio viene scartato, nell'esempio riportato lo scarto è di 129 mm. Quindi si ripete il loop di calcolo effettuando un nuovo conteggio partendo dalla quantità della patelletta più lunga precedentemente calcolata sottraendola di 1: n. quantità nel primo conteggio, n-1 nel primo loop. I calcoli proseguono come in precedenza fino ad ottenere lo scarto finale. I calcoli verranno ripetuti finché lo scarto finale non sarà inferiore ai 50 mm, nel caso portato in esempio lo scarto finale è di 29 mm. Durante tutte le simulazioni svolte il conteggio non ha mai richiesto più di due loop di calcolo. Calcolata la giusta quantità per ogni tipologia di patelletta si somma la lunghezza totale del ramo su cui sono montate le patellette agli

ingombri esterni, in questo modo è possibile ottenere la lunghezza del ramo finale realizzabile. Nell'esempio di configurazione fatto, in Figura 14, la larghezza reale sarà di 1971 mm e ci saranno n°4 patellette di lunghezza 300 mm e n°2 patellette di lunghezza 200 mm.

LARGHEZZA											
PATELLETTE T1 & T2 (SOPRA T1 SOTTO T2)											
2000	1629	300	250	200	150						
		5	0	0	0	scarto			no		
371		129	129	129	129	129	1871	0		Tipologia	Q.tà
	4									300	4
300	4	429								250	0
250		1	179,00	0	429,00					200	2
200		0	179,00	2	29,00					150	0
150		1	29,00	0	29,00			si		larghezza	1971
				scarto	29,00	1971	1				

Figura 14. ESTRATTO DEL CONFIGURATORE DI ARCHI DELL'ALGORITMO DI CALCOLO DELL'ARCO IN PATELLETTE

Come citato in precedenza i valori vanno di 50 mm in 50 mm quindi la medesima soluzione verrà calcolata assegnando una larghezza di input compresa 1971÷2020 mm, mentre se si imposta una larghezza ad esempio di 2030 mm il configuratore assegna una larghezza realizzabile di 2021 mm. Oltre a questo, configurata la tipologia di testa reggiatrice, l'algoritmo assegna un valore minimo e massimo realizzabile sia per l'altezza che la larghezza. Per quanto riguardano gli altri rami dell'arco si utilizza lo stesso identico processo di conteggio e calcolo ma con alcune aggiunte: nella configurazione con la testa decentrata l'offset scelto viene arrotondato in autonomia dal valore di ingombro minimo a valori maggiori di 50 mm in 50 mm così da semplificare il conteggio delle patellette. Inoltre, le teste reggiatrici si distinguono per 3 diverse misure di ingombro, Figura 13, per rendere applicabile le teste della serie 20, MS20 e MV20, sono state costruite 2 nuove tipologie di curva codificate "MNY152294" e "MNY152295" che a differenza delle altre è stata ribassata di 5 mm rispettivamente nel lato di ingresso ed uscita reggia. Questa nuova variante è utilizzata ai vertici dell'arco dove non è presente la testa reggiatrice.

Tramite un processo di comandi "if-then-else" si uniscono le informazioni di

dimensioni, posizione e tipologia della testa reggiatrice così da poter scegliere le tipologie di curva guida e staffe ottimali. Quindi a seconda di testa e staffe vengono assegnate le quote dei fori filettati presenti sui profili laterali. Tutti i valori fin qui descritti, quantità di patellette dimensioni ecc. vengono trascritti all'interno di specifiche celle Excel del generatore di archi che collegate alle variabili di Solid Edge assegnano i corretti parametri per generare il disegno 3D.

Infine, raccogliendo tutti i valori dimensionali vengono calcolate tutte le informazioni di Output e le quote reali di ingombro interno utile per il raffronto coi pacchi da imballare.

9.3. Algoritmo di calcolo arco in Telo

Come per la tipologia di arco in patellette tenendo in considerazione il valore degli Input nella configurazione dell'arco di reggiatura intrinsecamente si vanno a toccare e modificare diverse componenti che contraddistinguono la forma stessa dell'arco. Come in precedenza la scelta può ricadere su 8 modelli di testa reggiatrice da applicare in 3 possibili posizioni rispetto l'altezza, Figura 12. Questa può essere applicata al centro, di un certo offset di rispetto alla posizione intermedia o in prossimità di un vertice. Le dimensioni esterne dell'arco sono ottimizzate in funzione alla tipologia della testa e delle tolleranze di assemblaggio da rispettare.

L'algoritmo calcola la larghezza e l'altezza realizzabili partendo da una misura di massima impostata in input, un caso in esempio del calcolo dell'altezza in Figura 15, alla misura impostata si sottrae un valore calcolato in funzione di ingombro e tolleranze da rispettare: dai 1200 mm in input si calcolano 1197 mm di output. A questo punto all'altezza reale ottenuta si sottrae l'ingombro della testa reggiatrice, il valore ottenuto viene a sua volta diviso in funzione della posizione scelta da quest'ultima. Nell'esempio la posizione è laterale quindi un ramo acquista in automatico il valore minimo mentre il valore dell'altro si ottiene per differenza. Qualora fosse stato impostato un offset di decentramento tale valore sarebbe stato arrotondato di 25 mm partendo da un valore minimo, poi si sarebbero calcolate le lunghezze definitive dei due rami per sottrazione rispetto all'altezza totale. Come si può vedere in figura nel caso riportato in esempio il ramo superiore alla testa reggiatrice (R1) è lungo 121,5 mm, l'altro (R2) 693,5 mm. Da notare che a differenza dell'arco in patellette l'algoritmo dell'arco in telo non prende in considerazione il lato verticale dove non è presente la testa reggiatrice in quanto tutti i calcoli sono lasciati al software di disegno.

Posizione	0	centrale=1 / laterale=0		ingombro angoli	120
Testa	382	mir002	50	ingombro profili	137
Offset	0				
Altezza					
Altezza input	1200	R1+R2 id	815	delta <25	0
Misura minima	625	R1 id	121,5	delta >50	693,5
arrotonda output	1065	R2 id	693,5	MIR002	1
arrotonda input	1060	delta	573,5	40>delta>20	0
Ingombro interno	1060			R1 eff	121,50
Altezza output id	1197			R2 eff	693,5
				R1+R2 eff	815,00
Alt output eff	1197,00			Ingombro eff	1060,00

Figura 15. ESTRATTO DEL CONFIGURATORE DI ARCHI DELL'ALGORITMO DI CALCOLO DELL'ARCO IN TELO

Calcolate le misure dei rami si giunge alla decisione riguardo il guidareggia "MIR002", questo è necessario nel caso in cui la lunghezza del ramo inferiore sia compresa tra i 25÷50 mm, quindi tramite un comando "if-then" si controlla l'utilizzo e la posizione sul disegno di questo particolare.

Infine, tramite una serie di comandi "if-then-else" si uniscono le informazioni degli Input per generare gli Output necessari. Si calcola: le dimensioni esterne dell'arco ottimizzate in funzione della tipologia della testa e delle tolleranze di assemblaggio da rispettare e l'ingombro interno effettivo di modo da rendere immediato il raffronto col pacco da imballare.

Tutti i valori fin qui descritti vengono trascritti all'interno di specifiche caselle Excel del generatore di archi che collegate alle variabili di Solid Edge assegnano i corretti parametri per generare il disegno 3D.

9.4. Collegamento del Configuratore di Archi al PDM

Il configuratore di archi tramite “connessione SQL server” interroga l’archivio PDM riguardo i codici degli archi standard salvati e li riporta sotto forma di tabella nella sezione “Archivio” del configuratore. Per far comunicare il PDM ed Excel è stato necessario creare un “Codice Configurazione” univoco e parlante utile nella fase di generazione o di consultazione. Il codice di transizione è composto da 3 lettere e 8 numeri corrispondenti a:

- Tipologia arco;
- Posizione testa;
- Tipologia testa;
- Ingombro interno.

Entrambi i programmi generano il codice in completa autonomia il quale è utilizzato anche come sistema di controllo, qualora la stessa configurazione non avesse lo stesso codice il progettista viene spinto ad indagare. In questo modo è possibile sapere se la configurazione di arco scelta è già stata creata, codificata e in quale stato di lavorazione si trova, Figura 22b. Nel caso in cui tale configurazione non è presente in archivio è necessario procedere con la generazione di un nuovo arco.

10. Disegno arco standard

Il disegno dell'arco di reggiatura denominato standard è stato completamente riprogettato utilizzando come traccia il vecchio componente spogliato di alcune componenti obsolete ed altre, come coperture e staffe per applicazione di sensori ecc. non parametrizzabili quindi inutile ai fini dell'automazione della progettazione dell'arco stesso. Sebbene le 2 tipologie di arco assolvono alla stessa funzione sono estremamente differenti nell'insieme quindi sono stati disegnati 2 modelli 3D e 2 modelli 2D.

10.1. Modello parametrico 3D

Per mettere in pratica tutti i concetti richiesti è stato necessario disegnare il modello 3D in maniera parametrica partendo dal foglio bianco. Il disegno di assieme è stato costruito con la giusta gerarchia di parti e sottoassiemi costruendo legami tra sketch, feature e pattern. Sono stati costruiti 2 modelli 3D, una per ogni tipologia d'arco, Figura 16 e 17, all'interno dei quali sono presenti tutte le parti e i sottoassiemi, con le rispettive occorrenze, che di volta in volta vengono modificate, soppresse e aggiornate. Per facilitare e semplificare le tabelle del costruttivo 2D a tutte le componenti è stato dato un nome parlante composto da una prima parte del codice della materia prima e da una seconda parte dall'identificativo della parte stessa, ad esempio la parte MLF040-2 è riferita al profilo a "C" forato in acciaio zincato con identificativo 2.

Durante le simulazioni è emerso che è conveniente caricare il minor numero di variabili indipendenti in Solid Edge, quindi legare quante più variabili possibili all'interno del modello, così da evitare spiacevoli inconvenienti come bug di sistema o particolari interruzioni causate dallo smarrimento della gerarchia delle variabili.

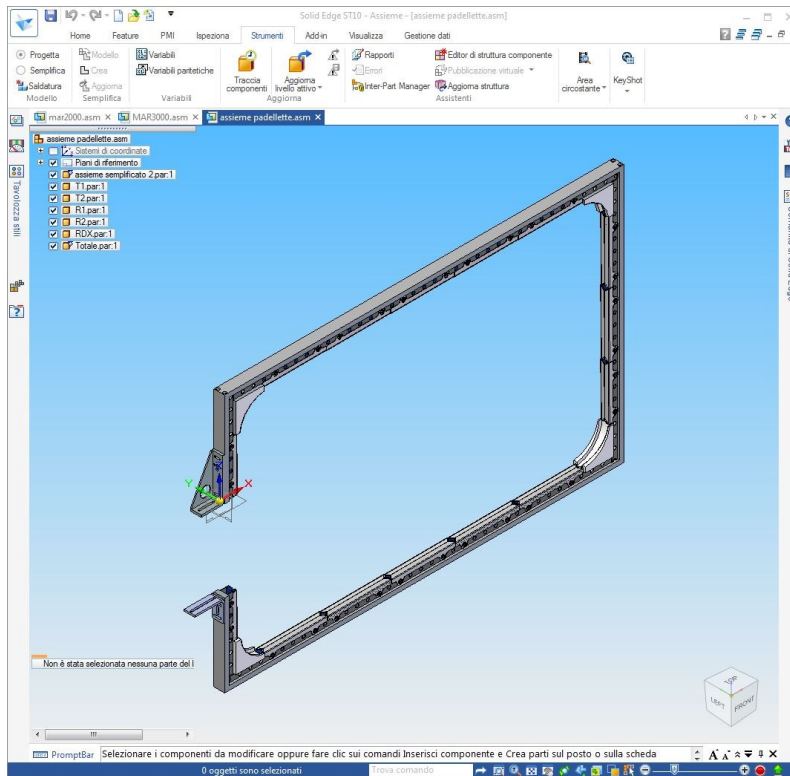


Figura 16. MODELLO 3D ARCO IN PATELLETTE

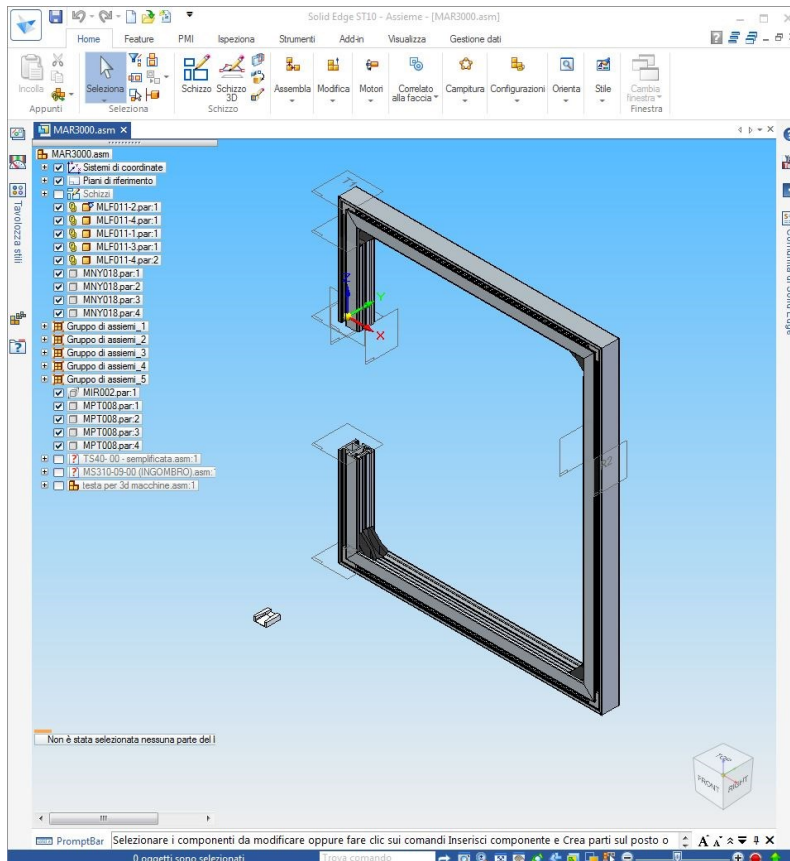


Figura 17. MODELLO 3D ARCO IN TELO

10.2. Unione delle variabili di Solid Edge alle celle di Excel

Completato il modello 3D si è sfruttata l'interoperabilità tra Excel e Solid Edge. Le celle del foglio Excel del configuratore di archi contenenti i valori da assegnare ai parametri di disegno vengono collegate con le celle della tabella delle variabili di Solid Edge come mostrato in Figura 18.

RDX (destra)						
Tipologia	Q.tà	Feature assiemi		Variabili utente		Relazioni assiemi
300	2	scavo_300_RDX	0	300_RDX	3	B RDX -650
250	0	scavo_250_RDX	1	250_RDX	2	C RDX -50
200	1	scavo_200_RDX	0	200_RDX	2	D RDX -250
150	0	scavo_150_RDX	1	150_RDX	2	
alt.	1157					

Tipo	Nome	Valore	Unità	Regola	Formula	Intervallo	Esponi	Nomi esposti	Commento
Dim	V523	0,00	mm				<input type="checkbox"/>		Scavo_300_RDX
Dim	V570	1,00	mm				<input type="checkbox"/>		Scavo_250_RDX
Dim	V618	0,00	mm				<input type="checkbox"/>		Scavo_200_RDX
Dim	V659	1,00	mm				<input type="checkbox"/>		Scavo_150_RDX
Dim	V664	3,00	mm				<input type="checkbox"/>		300_RDX
Dim	V827	2,00	mm				<input type="checkbox"/>		250_RDX
Dim	V830	2,00	mm				<input type="checkbox"/>		200_RDX
Dim	V841	2,00	mm				<input type="checkbox"/>		150_RDX
Var	V482	-650,00	mm				<input type="checkbox"/>		B RDX
Var	V483	-50,00	mm				<input type="checkbox"/>		C RDX
Var	V484	-250,00	mm				<input type="checkbox"/>		D RDX

Figura 18. COLLEGAMENTO TRA LE CELLE EXCEL E LE VARIABILI DEL MODELLO 3D ALL'INTERNO DELLA TABELLA VARIABILI DI ASSIEME DI SOLID EDGE

In questo modo si può notare che modificando i valori dei parametri delle celle nel configuratore di archi, in maniera coerente, il modello si modifica in autonomia fino al raggiungimento della configurazione scelta come si può notare in Figura 19 assegnando un valore di 2200 mm sia all'altezza che alla larghezza il configuratore di archi calcola una dimensione di 2097 mm per entrambi e l'assegna alle celle collegate con Solid Edge. Quest'ultimo trascrive i valori alle sue variabili dei parametri quindi cambia il disegno del modello 3D, difatti sul modello si può riscontrare la stessa misura.

La capacità di comunicazione dei due software è limitata dall'avvio, difatti per avere questo scambio di informazioni è necessario che tutti i software siano aperti nello stesso momento sul terminale utilizzato.

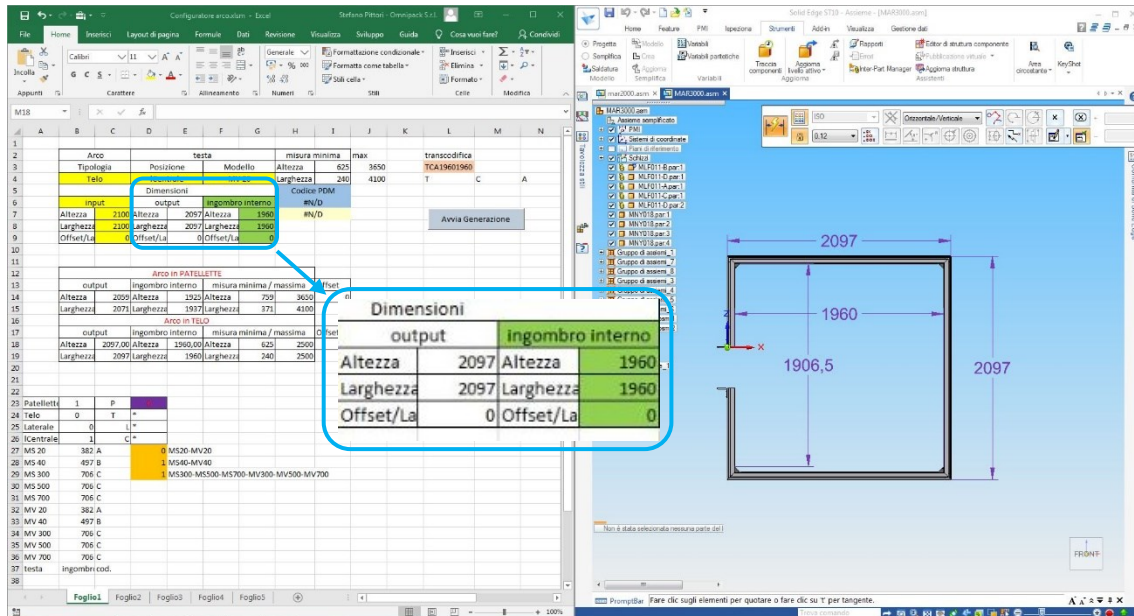


Figura 19. ESEMPIO DI MODULAZIONE ALLA CONFIGURAZIONE DI UN ARCO DI REGGIATURA

10.3. Disegno costruttivo 2D

Dal momento che il prodotto da redigere può assumere diverse configurazioni e si evolve nella forma grazie al lavoro del configuratore di archi, le entità da dimensionare cambiano e richiedono adeguate strategie di layout (Raffaelli, Cicconi, & Germani, 2016). Per ottimizzare l'intero processo di produzione si è scelto di concentrare tutte le informazioni in un'unica tavola utilizzando codici parlanti per indicare le parti e tabelle non di default. Sebbene il configuratore abbia la possibilità di progettare 2 tipologie di archi dal disegno analogo nel funzionamento ma completamente diverso nei singoli dettagli (come profili e componenti guida) si è deciso di utilizzare lo stesso layout costruttivo con piccole differenze descritte in seguito.

Arco in patellette: il layout del disegno, in Figura 20, è composto da una vista laterale posta al centro del foglio, nel formato A2, con le rispettive prospettive frontale e superiore posizionate a debita distanza. Lo spazio che intercorre tra le 3 viste è giustificato dal fatto che le dimensioni dell'arco di reggiatura può variare di molto, la differenza tra la dimensione minima e la massima è dell'ordine del metro. In questo modo si garantisce la giusta posizione delle viste nel disegno in qualunque configurazione. Per rendere più visibili tutte le quote, i particolari e la pallinatura sono stati introdotti 8 dettagli:

- I 4 vertici visti frontalmente in cui si legge la tipologia di curva utilizzata ed il montaggio dei componenti;
- Il dettaglio dei rami all'altezza dell'ancoraggio alla testa reggiatrice in cui è possibile leggere la tipologia di staffa montata e le quote dei fori da realizzare per fissarle;
- Il dettaglio dei fori presenti agli apici con le rispettive quote costruttive;
- Il dettaglio della sezione trasversale con le quote di montaggio di tutte le componenti;

- Il disegno statico di un arco di reggiatura utile per comprendere i riferimenti nella lettura delle tabelle.

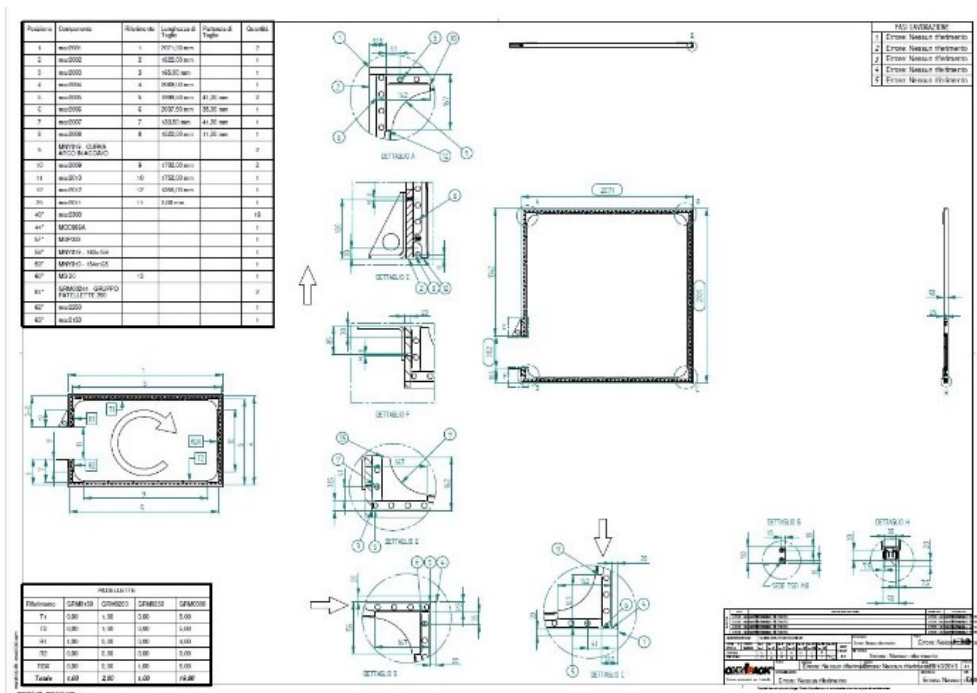


Figura 20. LAYOUT DRAFT COSTRUTTIVO ARCO IN PATELLETTE

Per semplificare l'assemblaggio è stata inserita una tabella riassuntiva con la quantità e la tipologia delle Patellette da inserire su ciascun lato, in basso a sinistra in Figura 20. Il disegno d'insieme di un arco di reggiatura standard statico è utile per riconoscere il riferimento dei rami e il verso di lancio della reggia all'interno delle guide utili per il verso di montaggio delle curve. All'interno della tabella di distinta base compare: posizione di pallinatura, nome del componente parlante codificato come materia prima, n° di riferimento per l'assieme statico, lunghezza e partenza di taglio di profili sagomati e materia prima e quantità ed il riferimento della materia prima da lavorare e assemblare.

Arco in telo: come per quello in patellette il layout del disegno, in Figura 21, è composto da una vista laterale posta al centro del foglio, nel formato A3, con le rispettive prospettive frontale e superiore posizionate a debita distanza. Lo spazio che intercorre tra le 3 viste è giustificato dal fatto che le dimensioni

dell'arco di reggiatura può variare di molto. In questo modo si garantisce la giusta posizione delle viste nel disegno in qualunque configurazione. Per rendere più visibili tutte le quote, i particolari e la pallinatura sono stati introdotti 2 dettagli dei rami all'altezza dell'ancoraggio alla testa reggiatrice in cui è possibile leggere la tipologia di staffa montata e le quote dei fori da realizzare per fissarli

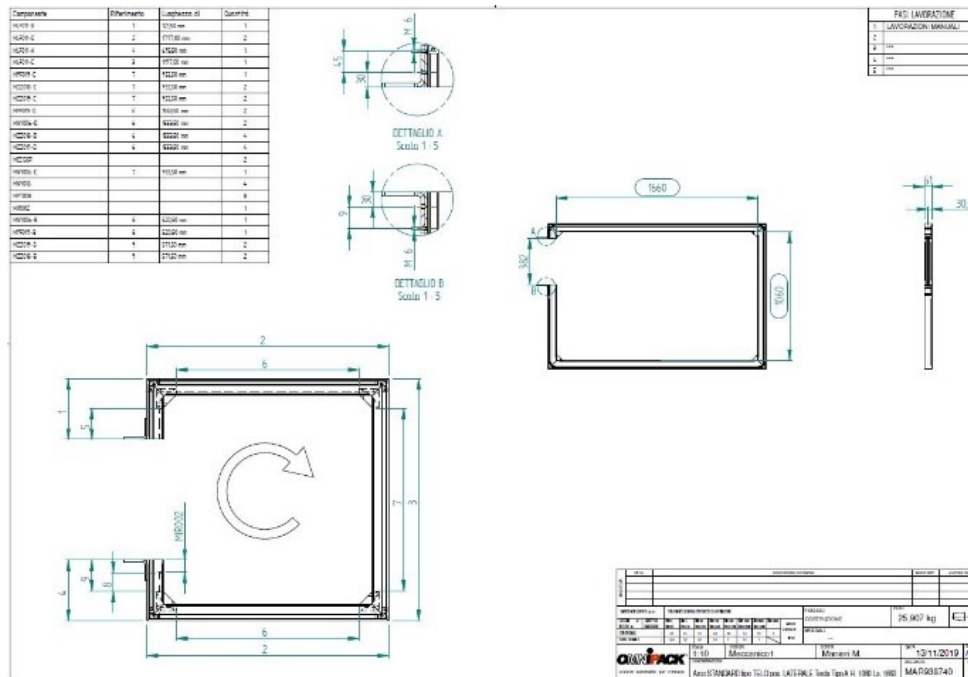


Figura 21. LAYOUT DRAFT COSTRUTTIVO ARCO IN TELO

Il disegno d'assieme di un arco di reggiatura standard statico è utile per riconoscere il riferimento dei rami e il verso di lancio della reggia all'interno delle guide utili per il verso di montaggio delle curve. La tabella di distinta base nella quale compare: posizione di pallinatura, nome del componente parlante codificato come materia prima, n° di riferimento per l'assieme statico, lunghezza e partenza di taglio di profili sagomati e materia prima e quantità ed il riferimento della materia prima da lavorare e assemblare.

Sì è scelto di costruire un disegno costruttivo con tutte le caratteristiche così descritte per dare la possibilità all'operatore di costruire l'intero arco leggendo un unico disegno partendo dalla materia prima a magazzino.

11. Codifica

La codifica è una parte complementare dell'intero processo di progettazione grazie la quale è possibile gestire ed archiviare i files tramite PDM, è importante perché permette di avere in memoria un cronologico di tutte le operazioni e lo stato di lavorazione di tutte le componenti progettate.

L'esperienza aziendale, descritta nel capitolo 7, ha suggerito che codificare tutti i componenti presenti in assieme di ogni arco di reggiatura prodotto è eccessivo sia in termini di spazio occupato in archivio che di tempo speso dall'operatore. Quindi per ottimizzare la fase di codifica e semplificare la fase di archiviazione si è deciso si generare:

- Un unico file 3D nel formato “.par” assieme semplificato;
- Un unico file 2D, costruttivo nel formato “.pdf”;
- BOM da importare in archivio nel formato “.xml”.

Ogni arco di reggiatura standard progettato con il configuratore di archi al termine del processo per ogni codice creato all'interno del PDM saranno presenti solo i 3 files. Tutti i files di disegno 2D e 3D insieme ai files Excel sono stati spostati all'interno di una sezione del server e tale cartella impostata come directory di lavoro di Solid Edge e del PDM. In questo modo il configuratore di archi potrà lavorare su tutti i terminali interni dell'azienda.

11.1. Archivio PDM

All'interno del PDM è stata introdotta la nuova famiglia di archi "standard" nella quale compaiono i parametri di configurazione, in Figura 22b:

- Tipo;
- Posizione;
- Famiglia testa;
- Altezza;
- Larghezza.

Dalla compilazione di questi parametri si genera in autonomia il Codice Configurazione mostrato nel paragrafo 9.4. Per rendere possibile il collegamento tra il configuratore di archi e l'archivio PDM è stata creata di condivisione Layout di pagina nella quale una è presente una tabella di riepilogo contenente tutti gli archi codificati che utilizza il codice di configurazione come veicolo per trasferire i dati in tabella server al foglio "Archivio" all'interno del configuratore di archi, Figura 22a.

The image shows two parts of a software interface. On the left, a spreadsheet titled 'Configurazione' lists various arch configurations with columns for 'Configurazione', 'Codice', and 'Stato'. On the right, a configuration form for 'Tipologia Prodotto' (ARCHI) and 'Famiglia' (STANDARD) is shown. The form includes dropdown menus for 'Tipo' (PATELLETTE (P)), 'Posizione' (CENTRALE (C)), and 'Famiglia Testa' (A (M[S/V]20)), and text input fields for 'Altezza' (1925) and 'Larghezza' (1937). The 'Codice Configurazione' field is populated with 'PCA19251937'. Below the form, a table shows the generated configuration code and its parameters: 'PCA19251937', 'P', 'C', 'A', '1925', '1937'. A blue arrow points from the 'Codice Configurazione' field in the form to the corresponding row in the table. A button labeled 'Avvia Generazione' is also visible.

Figura 22. a) A SINISTRA LA TABELLA RIASSUNTIVA DEGLI ARCHI CODIFICATI NEL PDM, b) A DESRA LA TABELLA DICOMPILAZIONE DELLA FAMIFLIA ARCO STANDARD CON LA CREAZIONE DEL "CODICE CONFIGURAZIONE".

11.2. Distinta base arco standard (BOM)

L'archivio PDM può importare BOM (Bill of Materials) in automatico solo in presenza di assiemi. Dato che si è optato per il salvataggio di un assieme semplificato per la generazione della distinta base è stato necessario creare un nuovo file Excel per ciascuna tipologia d'arco che collegato al file configuratore archi prende forma in maniera autonoma. Il PDM ha la possibilità di caricare al suo interno file in Excel con un'unica regola: questo legge esclusivamente i dati scritti all'interno del foglio 1 partendo dalla cella A1 fino alla prima cella vuota. Ovvero alla prima cella vuota della colonna A e alla prima cella vuota della riga 1 il PDM smette di leggere ed importa, tutto ciò che non è compreso in questa area viene ignorato. Quindi all'interno del foglio 2 vengono trasportate tutte le informazioni proveniente dal Configuratore di Archi, le componenti singole vengono quantizzate per pezzo, cadauno, mentre per quanto riguarda i profili vengono quantizzati in metri lineari, ml. Quest'ultimi sono stati codificati come materia prima perciò anziché caricare la misura della lunghezza di ogni componente si carica misura totale della materia prima in uscita dal magazzino. Creando così l'opportunità di aggiungere una futura area dedicata alla costificazione e/o alla preventivazione di questo componente. La distinta base da caricare all'interno del PDM deve contenere 3 colonne:

- La prima deve contenere il "codice padre", in questo caso il codice del nuovo arco costruito;
- La seconda deve contenere il "codice figlio", ovvero il codice di ogni singolo componente già caricato all'interno dell'archivio;
- La terza colonna deve contenere la quantità dello specifico componente.

All'interno dell'archivio PDM ogni componente ha già caricate le proprie caratteristiche e proprietà quindi non è necessario assegnare l'unità di misura ai componenti. Se il codice viene riconosciuto tutte le proprietà gli vengono assegnate di conseguenza viceversa se il codice non viene riconosciuto questo

non viene caricato e si genera un errore. Durante le simulazioni non è mai emerso un problema in tal senso.

Tutti i dati da inserire nel PDM vengono trascritti nella tabella nel foglio 1, Figura 23, la tabella si popola in autonomia durante il processo; il PDM non è in grado di leggere il valore numerico intero "0" quindi nel caso in cui un componente non sia presente nella configurazione scelta questo non deve essere trascritto nella tabella del foglio 1.

Come per il caso dei disegno anche il file Excel distinta base deve essere salvato come copia di volta in volta all'interno della cartella directory di lavoro.

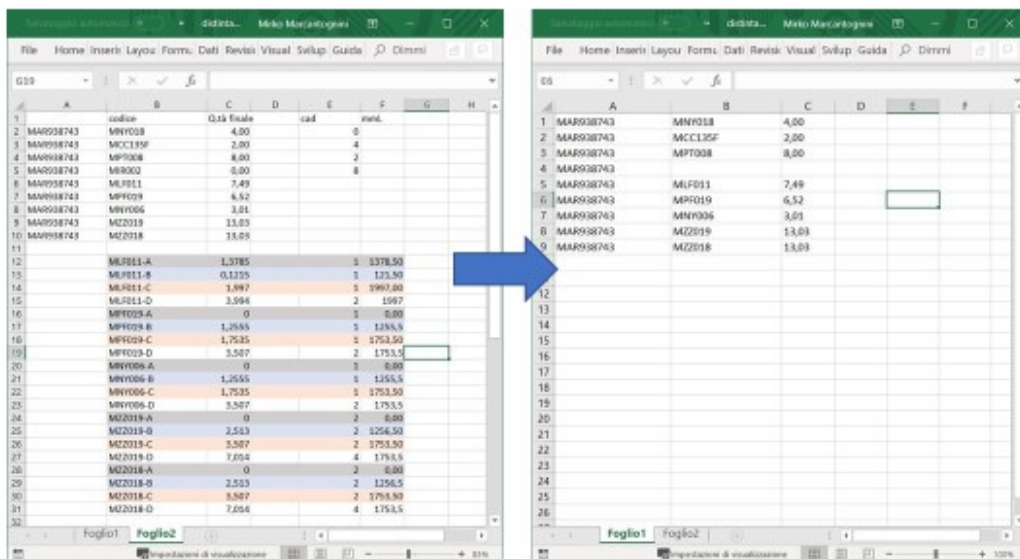


Figura 23. IMMAGINE DELLA CREAZIONE DELLA DISTINTA BASE (BOM)

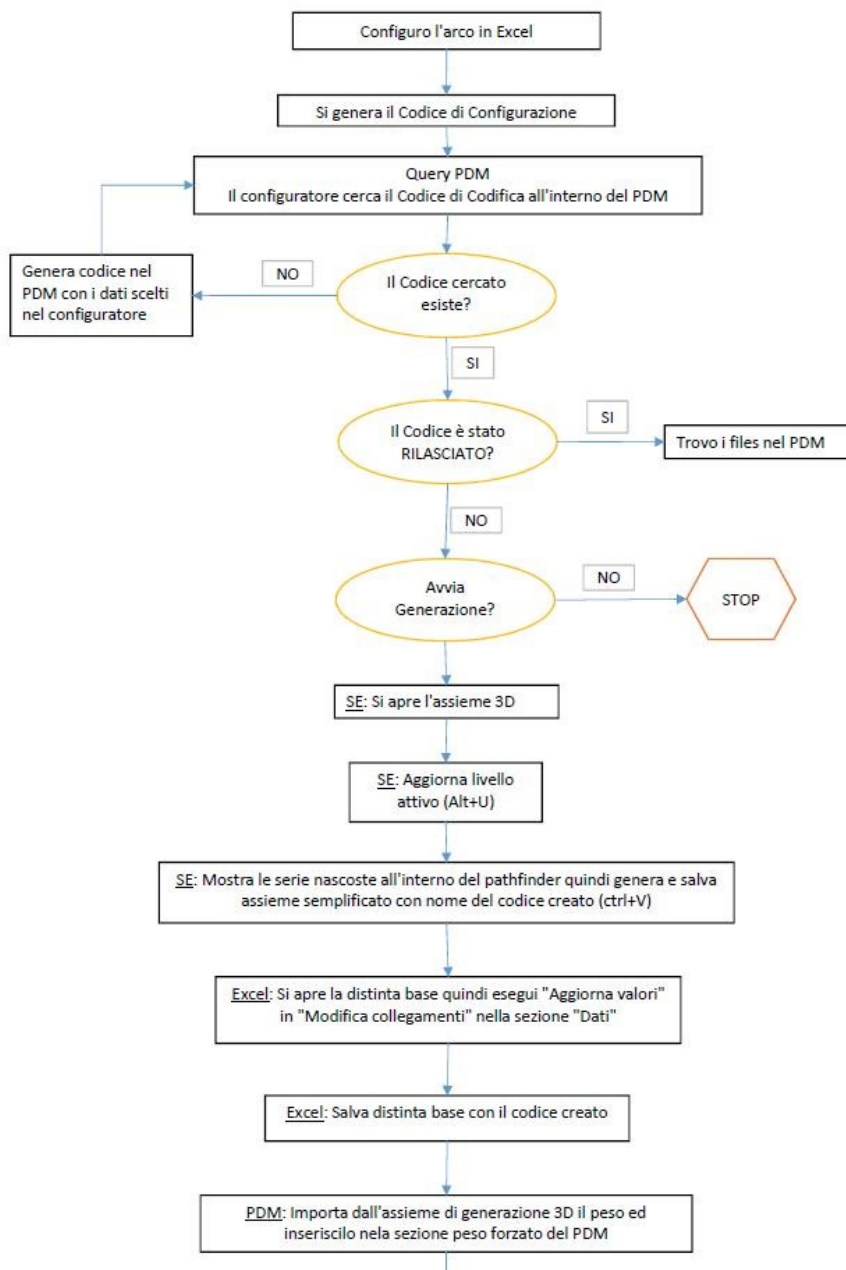
12. Processo di generazione nuovo arco

Messo in opera il sistema per la progettazione autonoma della parte inerente al disegno, presa in considerazione l'impossibilità di rendere completamente autonoma la fase di codifica ed archiviazione dati i limiti del PDM è stato alleggerito il lavoro del progettista in tutte le operose azioni da compiere per portare a termine l'intero processo. Quindi è stato progettato un iter di processi da seguire step by step per la realizzazione di un nuovo arco completo.

Automatizzare questo processo di generazione, come verrà descritto nei capitoli seguenti, è decisamente vantaggioso in quanto non è necessario istruire nessun utente per la costruzione di un nuovo componente. Difatti ogni collaboratore dell'uffici tecnico con il suo bagaglio di conoscenza ed esperienza può seguire passo passo ogni istruzione dettata dal Configuratore di Archi senza difficoltà alcuna.

12.1. Flow Chart di generazione nuovo arco

Dopo vari tentativi è stato trovato il giusto percorso di comandi da eseguire per codificare ed archiviare tutti i files nella maniera corretta. Di modo da avere tutti i disegni correttamente modellati, tutti i cartigli di disegno popolati in autonomia con le giuste informazioni, i giusti valori (come ad es. il peso) ed il corretto codice assegnato.



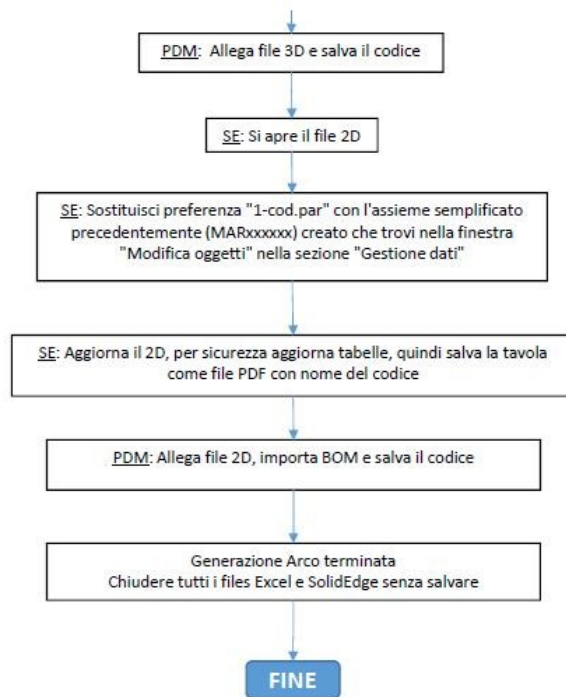


Figura 24. PROCESSO LOGICO DI UTILIZZO DEL CONFIGURATORE

Il processo inizia dalla configurazione dell'arco di reggiatura scelto passando per la fase di consultazione archivio fino ad arrivare alla progettazione di un nuovo arco di reggiatura; il tutto seguendo una serie precisa di comandi. Questo processo si può schematizzare in un flowchart, in Figura 24, seguendo passo passo i comandi lì descritti è possibile progettare un nuovo arco di reggiatura nel minor tempo possibile con gli strumenti propri.

12.2. Automazione processo di generazione nuovo arco

Il processo di generazione di un arco seguendo tutte le istruzioni del flowchart seppur velocizzato e snellito in tutte le fasi, resta comunque operoso con decine di passaggi da svolgere all'interno dei diversi software. Inoltre, istruire tutti gli operatori nell'utilizzo del configuratore sarebbe risultato addirittura controproducente.

Quindi per semplificare l'iter è stata creata una macro all'interno dell'ambiente di programmazione di Excel. Tramite la stesura di un codice VBA (Visual Basic for Application), un estratto in Figura 25, è possibile evocare Solid Edge ed aprire tutti i disegni poi è possibile guidare step by step l'utente in tutti i passaggi della progettazione, codifica ed archiviazione.

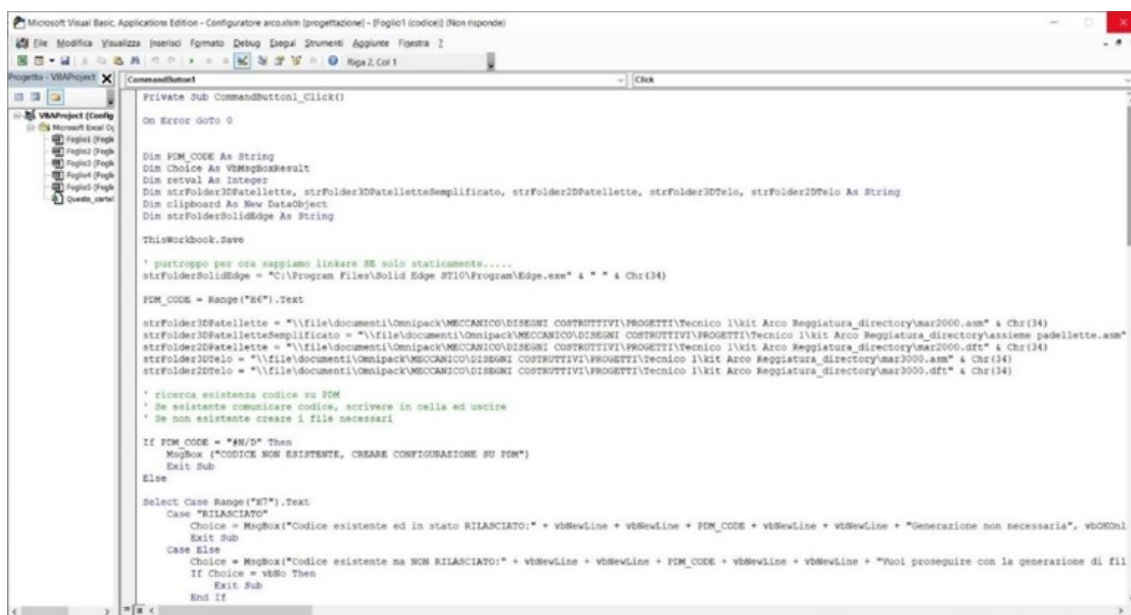


Figura 25. PORZIONE DI CODICE PER AUTOMATIZZARE IL PROCESSO DI PROGETTAZIONE AUTONOMA NEL FORMATO VBA

La generazione di un nuovo arco di reggiatura parte semplicemente premendo il pulsante "Avvia Generazione" aggiunto alla schermata principale del configuratore di archi, in Figura 26.



Figura 26. PULSANTE AVVIO GENERAZIONE ARCO

La macro segue il workflow di Figura 24, informa e detta istruzioni fase dopo fase al progettista tramite message box che di volta in volta appaiono sul desktop, Figura 27. L'automazione del processo è stata ottimizzata e semplificata in ogni minimo particolare come ad esempio il salvataggio automatico del codice nella clipboard di modo da non scrivere nulla manualmente evitando così probabili errori.

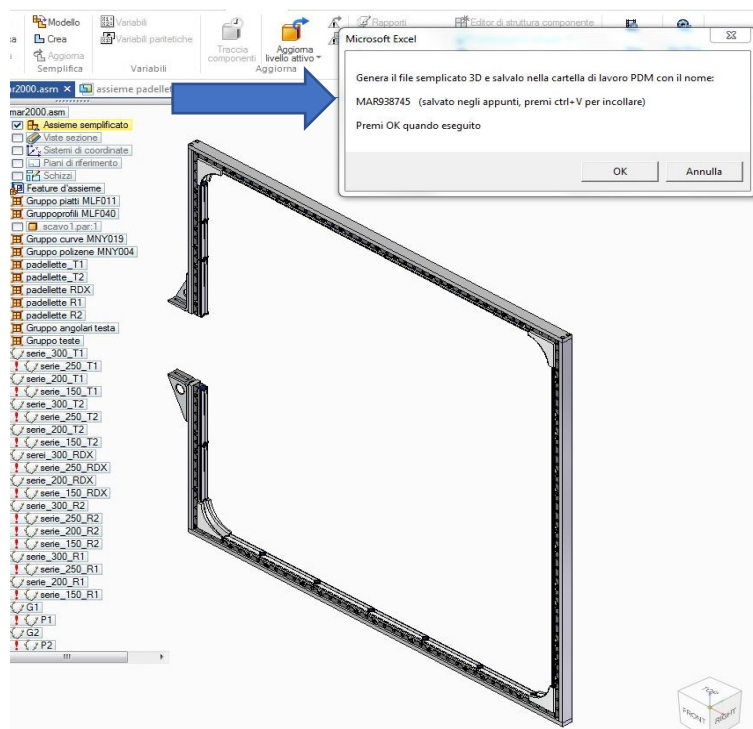


Figura 27. ESEMPIO MESSAGE BOX

13. Risultati Ottenuti

Dai risultati ottenuti nei primi test effettuati si è osservato che lo sviluppo del generatore di archi che permette la modellazione autonoma del disegno sia 3D che del costruttivo 2D e semplifica il processo di codifica ed archiviazione guidando step by step il progettista comporta una notevole riduzione del tempo di progettazione di un arco di reggiatura standard. Inoltre, è stato riscontrato che grazie all'introduzione della tipologia di arco standard il processo di codifica è stato semplificato in maniera significativa sia per facilità di riconoscimento e compilazione che per velocità di esecuzione. Il raffronto dei tempi ottenuti rispetto i tempi di progettazione utilizzato fin ad oggi è di facile interpretazione. In primo luogo, c'è da considerare il fatto che in precedenza non esisteva una procedura da seguire per la progettazione di tale particolare difatti i progettisti ad oggi seguivano due metodi distinti di progettazione: il primo era quello di disegnare l'intero arco ex novo in maniera non parametrica con parti scollegate tra loro cercando di completare il modello nel minor tempo possibile. Quindi di volta in volta si partiva dal foglio bianco dimensionando tutte le parti e modellando il 3D, poi si eseguiva la messa in tavola del costruttivo 2D quindi si codificavano tutti i componenti.

Il secondo metodo veniva utilizzato quando il prodotto richiesto era analogo ad uno già presente in archivio ma non sostituibile quindi si procedeva nel copiare, rinominare, modificare, aggiustare infine codificare l'arco precedentemente progettato adattato alle nuove esigenze. In entrambi i casi il tempo di produzione e redazione di tutti i files e codici è stato quantificato per esperienze passate. Utilizzando il metodo di disegno ex novo si riscontra un tempo per la progettazione di oltre 2 ore, mentre, utilizzando il sistema per similitudine un tempo tra le 1 e le 2 ore. Dopo diverse simulazioni di progettazione di un nuovo arco di reggiatura utilizzando il Configuratore di Archi sviluppato è stato registrato un tempo compreso tra i 7 e i 15 minuti.

Quindi, come si vede in Tabella 1, il vantaggio nell'utilizzo del nuovo sistema di progettazione autonoma e generazione guidata del codice è marcato sia in termini di tempo che di risorse umane all'interno dell'ufficio.

TEMPI DI PROGETTAZIONE ARCO STANDARD	Progettazione ex novo	Progettazione per similitudine	Progettazione tramite il Generatore di Archi
	(min.)	(min.)	(min.)
Modellazione 3D	80÷100	40÷50	7÷15
Stesura Draft 2D	25÷45	10÷20	
Codifica ed Archiviazione	10÷15	10÷15	

Tabella 1. RAFFONTO DEI TEMPI DI PROGETTAZIONE

Durante le simulazioni è emerso che indipendentemente dalla configurazione scelta il tempo necessario alla creazione dei modelli 2D e 3D è sostanzialmente la stessa, però questo tempo può variare a seconda della potenza di calcolo del terminale su cui è utilizzato il Configuratore di Archi. Allo stesso modo il tempo di esecuzione di tutte le fasi varia in funzione dell'abilità e dell'abitudine del progettista che esegue i comandi descritti nelle message box.

14. Miglioramenti da apportare

Durante le simulazioni eseguite al termine del progetto è stato possibile riscontrare delle difficoltà da parte del progettista nell'interagire con i tre software in simultanea. Sebbene il processo di disegno è completamente autonomo e seguito comando dopo comando, le operazioni sono comunque molte e risultano "macchinose" ai più. Quindi in futuro si potrebbe migliorare la comunicazione tra Excel-Solid Edge-PDM, specie di quest'ultimo vista la possibilità di programmazione, in aree come la popolazione automatica delle caselle del PDM, l'aggiornamento dei parametri e la sostituzione di variabili che bisogna di volta in volta eseguire. Semplificare l'iter di generazione spostando magari tutto l'algoritmo scritto nel foglio Excel in un'area di progettazione dedicata per gli archi standard all'interno del PDM.

15. Prospettive future

Visti gli incoraggianti risultati ottenuti dalla creazione del concetto di generatore di archi l'azienda sfrutterà tale potere per aumentare la capacità operativa dell'ufficio tecnico.

Il know-how sviluppato in questa esperienza per la produzione del componente arco standard verrà trasferito anche su altri componenti. In un primo momento si proverà ad applicare e adattare lo stesso configuratore espandendo le sue funzioni per altri componenti dal numero esiguo di parti. Qualora il riscontro fosse positivo grado per grado questo sistema verrà applicato ad assiemi sempre più complessi e popolosi. Inoltre, visti i dati a disposizione all'interno del configuratore è stato proposto di inserire una sezione dedicata alla certificazione di modo da avvicinare il lavoro dell'ufficio tecnico a quello commerciale agevolando fasi come la certificazione e lo scambio di informazione ufficio vendite-cliente. Grazie alla possibilità di essere utilizzato su qualunque terminale capace di accedere al server aziendale, il Configuratore di Archi, se utilizzato correttamente dall'ufficio commerciale potrebbe ottimizzare intrinsecamente il processo di preventivazione guidando il cliente verso l'acquisto di un macchinario già progettato. Risparmiando lavoro all'ufficio tecnico ma soprattutto rendendosi competitivi sul mercato.

16. Conclusioni

Dai risultati ottenuti e dalle simulazioni effettuate si evince che è stato raggiunto l'obiettivo di ottimizzare i processi di progettazione, codifica ed archiviazione della componente arco di reggiatura. Nello specifico è stato:

- Costruito un foglio di calcolo Excel (Configuratore di Archi) che permette: la configurazione di un arco di reggiatura, la consultazione dei codici in archivio e la generazione di tutti i documenti per la messa in produzione di un nuovo arco;
- Costruito un modello 3D di assieme di generazione parametrico che prende forma in funzione degli Input inseriti nel Configuratore di Archi;
- Costruito un unico layout del disegno 2D per ogni tipologia e configurazione di arco;
- Snellito la fase di codifica;
- Costruito un processo che segue workflow di istruzioni per la generazione di un nuovo arco.

Grazie a tutto questo si è notato un aumento sostanziale della velocità di svolgimento delle attività riducendo il tempo totale di esecuzione gestendo l'avanzamento delle singole attività e dei sotto processi.

Sebbene il processo di automazione della progettazione prevede alcune fasi di lavoro manuale da parte del progettista che segue e sorveglia tutte le fasi della progettazione. Si può affermare che è stato raggiunto l'obiettivo di compiere un primo significativo passo verso la completa automazione della progettazione costruendo un generatore che progetta un componente di un macchinario su specifica configurazione del progettista.

17. Bibliografia

Gao, S., Zhang, S., Chen, X., & Yang, Y. (2013). *A framework for collaborative top-down assembly design*.

Imballaggio. (s.d.). Tratto da Wikipedia:
<https://it.wikipedia.org/wiki/Imballaggio>

Lutters, E., van Houten, F. J., Bernard, A., & Mermoz, E. (2014). *Tools and techniques for product design*.

Messersi Packaging. (s.d.). Tratto da <https://messersi.com/it/>

Microsoft Excel. (s.d.). Tratto da Wikipedia:
https://it.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Excel

Raffaelli, R., Cicconi, P., & Germani, M. (2016). *Automation of drafting execution by schemes*.

Raffaelli, R., Mengoni, M., Cicconi, P., & Germani, M. (2010). *Modular product configuration: an automatic tool for eliciting design*.

RuleDesigner PDM/PLM - Management of the product life-cycle. (s.d.). Tratto da <https://www.ruledesigner.com/it/moduli-prodotto/pdmplm/>

Siemens Documentation: Solid Edge ST10. (s.d.). Tratto da https://docs.plm.automation.siemens.com/tdoc/se/109/se_help/#uid:inde
x

Solid Edge | Siemens. (s.d.). Tratto da <https://www.plm.automation.siemens.com/global/it/>

Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 "Norme in materia ambientale"

18. Ringraziamenti

Vorrei innanzitutto ringraziare il Professor Michele Germani, il mio relatore, per la sua grande disponibilità e professionalità dimostratami in questi mesi di lavoro iniziato nel ruolo di tutor del tirocinio curriculare.

In secondo luogo, vorrei ringraziare l'azienda Messersì Packaging s.r.l. per avermi dato la possibilità di svolgere il tirocinio curriculare grazie al quale è stato possibile redigere questo elaborato. Vorrei ringraziare Sara Maddaloni, responsabile dell'ufficio risorse umane, che si è resa disponibile ed ha reso possibile tutto questo. Sempre all'interno degli uffici di Messersì Packaging vorrei ringraziare il responsabile dell'ufficio tecnico meccanico Luca Ordonselli e tutti i ragazzi che lavorano nell'ufficio con cui ho collaborato fianco a fianco e per la realizzazione di questo progetto.

Quindi vorrei ringraziare tutti gli amici di sempre che mi sono stati vicini in questi ultimi anni ed i nuovi amici incontrati durante questo percorso accademico, in particolare Gianmario compagno di studi e divertimenti universitari con il quale ho condiviso tanti bei momenti.

Infine, vorrei ringraziare la mia famiglia che come una mano invisibile mi ha sorretto ed accompagnato in ogni istante di questa avventura. Mi sono stati vicini nei momenti più duri ed hanno gioito con me nei momenti di festa.

Lasciare il lavoro per intraprendere quest'avventura non è stato semplice per me e nessuno più di loro può sapere quanto impegno, dedizione e determinazione ho messo per affrontare questa sfida.

Ma oggi posso dire che la sfida è vinta. Siate fieri di me.