Università Politecnica delle Marche

Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

Sistemi per la regolazione automatica di unità di processo legate alla movimentazione di cambio formato

Systems for the automatic adjustment of process units linked to the handling of format change

Relatore:

Prof. Palpacelli Matteo Claudio

Correlatore:

Ing. D'Orazio Luca

Tesi di laurea:

Nicolini Stefano

Anno Accademico 2020/2021

Indice

1. INTRODUZIONE 5

1.1 PRESENTAZIONE DELL'AZIENDA 5

1.2 LAVORO DI TESI 6

2. LA METODOLOGIA SMED: TEORIA ALLA BASE DEL CAMBIO FORMATO 7

2.1 PRINCIPI DELLA METODOLOGIA SMED 8

2.2 APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA SMED 11

3. ANALISI DELLA LINEA PU E INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI CRITICI 13

3.1 LAYOUT PU 13

3.2 INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI CRITICI 28

4. ADATTAMENTO DELLE UNITÀ PER LA REGOLAZIONE AUTOMATICA 34

4.1 BARRE A 45° 34

4.2 ALLINEATORI FIFE 40

4.3 PISTOLE COLLA 45

4.4 PIEGATORE WAIST 53

4.5 BALLERINO PER IL CONTROLLO DEL TIRO DEL MATERIALE 56

5. CONCLUSIONI 59

6. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA 60

1. Introduzione

1.1 Presentazione dell'azienda

Il seguente lavoro di tesi è stato svolto in collaborazione con l'azienda Cellulose Converting Solutions S.p.A. (CCS), nella sede di Città Sant'Angelo (PE), durante il tirocinio curriculare svolto dal mese di gennaio al mese di giugno 2021.

La CCS è un'azienda italiana che progetta, produce e installa linee complete per la produzione di prodotti igienici monouso. La società ha un'esperienza trentennale nella produzione di macchine per pannolini per bambini, prodotti per l'incontinenza, assorbenti femminili, traverse per materassi, assorbenti fluidi e bavaglini per neonati e adulti. Grazie alle proprie competenze e al continuo desiderio di innovazione e sviluppo tecnologico la società ha raggiunto un vasto mercato internazionale.

L'azienda è in grado di rispondere alle continue richieste dei propri clienti, che hanno bisogno di linee di produzione non standardizzate, attraverso la personalizzazione dei propri prodotti e lo sviluppo di soluzioni innovative.

Uno degli obiettivi principali prefissati dall'azienda è di diventare leader nella fornitura di servizi per i prodotti igienici monouso.

L'azienda ha la sua sede principale a Città Sant'Angelo (PE), dove è situato lo stabilimento di produzione e dove sono presenti gli uffici di Ingegneria Meccanica, Elettrica ed Elettronica; inoltre, ha un altro stabilimento a Moscufo (PE), dove è presente il reparto di Ricerca e Sviluppo.

1.2 Lavoro di tesi

Il seguente lavoro di tesi si pone come obiettivo quello di studiare sistemi per la regolazione automatica di unità di processo, durante le attività di cambio formato. Cambiando la taglia del prodotto da realizzare, variano le dimensioni e, necessariamente, sulla linea devono essere svolte operazioni di regolazione e aggiustamento in alcune unità. Lo scopo principale è quello di ideare e progettare soluzioni che siano in grado di diminuire i tempi di setup e regolazione e di aumentare la precisione e l'accuratezza con la quale vengono eseguite tutte le operazioni necessarie durante un cambio di formato. Le nuove unità progettate faranno parte di kit di aggiornamento che verranno proposti ai clienti, specificando loro i benefici, a livello di tempi di setup e, quindi, di produttività, che si sono stimati durante questo progetto, e i relativi costi.

Il lavoro di tesi inizia con una breve descrizione della metodologia SMED, cioè una teoria ideata dall'ingegnere giapponese Shigeo Shingo che pone le basi concettuali e le linee guida da seguire per la riduzione dei tempi di setup durante operazioni di cambio formato.

Successivamente, viene descritta la prima parte del lavoro svolto, cioè quella di analisi della linea PU123, che realizza dei pannoloni a slip per adulti, per cercarne di capire il funzionamento generale e, inoltre, per comprendere il lavoro svolto dalle singole unità presenti sulla linea.

Subito dopo, si sono stimati, insieme ad un collaudatore esperto, i tempi di tutte le operazioni svolte durante le attività per il cambio formato, in modo da stabilire quali fossero le unità più impattanti e, quindi, quelle da modificare per apportare i maggiori benefici.

Operata la scelta delle aree di intervento, sono state apportate le modifiche necessarie affinché venissero risolti eventuali problemi riscontrati dall'azienda durante il funzionamento di tali unità e affinché venisse garantita la possibilità di regolarle in maniera automatica. È stato scelto di modificare le barre a 45°, gli allineatori Fife, le pistole colla, i piegatori waist e il ballerino per il controllo del tiro del materiale.

2. La metodologia SMED: teoria alla base del cambio formato

Il cambio formato durante l'attività produttiva comporta diverse operazioni di setup della macchina, per permettere l'adattamento della stessa alla nuova tipologia di prodotto da realizzare. Questo comporta un lasso di tempo nel quale la macchina sarà ferma per poter permettere le suddette operazioni. Se non attentamente studiate, le attività di setup portano, quindi, ad un'elevata perdita di tempo e ad un abbassamento della produttività. Oltre a questo aspetto, altre due importanti problematiche che bisogna affrontare durante tali operazioni sono:

- necessità di avere tecnici con elevate competenze e abilità, per effettuare in maniera efficace ed efficiente le suddette attività;
- necessità di realizzare lotti di grandi dimensioni per attenuare l'effetto negativo che tali attività hanno sulla produttività e, di conseguenza, per bilanciare i relativi costi. La produzione di grandi quantità di pezzi, però, comporta un aumento delle scorte sia di semilavorati che di prodotti finiti, con conseguente aumento dei costi e degli spazi necessari alla gestione del magazzino.

Negli anni 50 del XX secolo l'ingegnere giapponese Shigeo Shingo, nell'ambito dell'industria automobilistica Toyota, analizzò questa problematica e sviluppò una metodologia atta a migliorare questi aspetti. Questa prende il nome di SMED, acronimo di **S**ingle **M**inute **E**xchange of **D**ie, e ha come obiettivo quello di ridurre al minimo i tempi delle operazioni di setup. Nonostante sia stata sviluppata all'interno dell'industria automobilistica, è applicabile in tutte quelle situazioni nelle quali sono necessari frequenti cambi di lavorazione e/o formato. Inoltre, questa metodologia ha l'intenzione di semplificare il più possibile queste attività, in modo che, chiunque abbia un minimo di conoscenza tecnica, possa eseguirle correttamente, facilmente e rapidamente. Di conseguenza, riducendo i tempi di setup e semplificando le operazioni necessarie, è possibile pensare di ridurre le dimensioni dei lotti da realizzare, in quanto le perdite economiche per il fermo macchina si riducono. Il risultato finale è un sistema produttivo versatile in grado di realizzare una grande varietà di prodotti anche con lotti di piccole dimensioni, come è richiesto dal mercato odierno.

2.1 Principi della metodologia SMED

L'approccio proposto dalla tecnica SMED non pone le basi su ingenti investimenti in mezzi e tecnologie, bensì si fonda sulla semplificazione delle operazioni attraverso accorgimenti elementari ma di grande effetto.
Per prima cosa, bisogna specificare che il tempo per le attività di setup di una macchina può essere diviso in:

- Tempo di setup esterno (OED) → è il tempo necessario a completare quelle operazioni che possono essere svolte anche mentre la macchina è in funzione. Le attività esterne sono, ad esempio, la preparazione dell'attrezzatura e del materiale necessario per svolgere le effettive operazioni di setup.
- Tempo di setup interno (IED) → è l'effettivo tempo di setup della macchina, definito come l'intervallo di tempo che intercorre tra la fine della produzione del lotto precedente e la realizzazione del primo pezzo conforme del lotto successivo. Le attività che compongono questa fase sono quelle che per essere realizzate necessitano che la macchina sia ferma. Si possono dividere tali operazioni in due categorie principali:
    - Attività di rimpiazzo o sostituzione → consistono nelle operazioni di smontaggio delle attrezzature relative alla produzione precedente e il montaggio di quelle relative alla produzione successiva. È necessario completare diverse operazioni di collegamento tramite bullonatura e di movimentazione, che richiedono molto tempo per la realizzazione;
    - Attività di regolazione e messa a punto → consistono in misurazioni, posizionamenti, calibrazioni e regolazioni necessarie per assicurare la corretta qualità del prodotto. Per effettuare le verifiche sulla buona riuscita di tali operazioni bisogna effettuare delle attività di prova, spesso iterate, che comportano delle perdite di tempo.

Shigeo Shingo, quindi, teorizzò le seguenti otto regole da seguire per l'applicazione della metodologia SMED:

1. Identificazione dell'IED e OED → bisogna definire in maniera chiara quali sono le attività che devono essere svolte a macchina ferma (IED) e quelle che

possono essere svolte anche mentre questa è in funzione (OED). Riuscendo a organizzare in maniera ordinata le attività e suddividendo in maniera corretta le attività esterne da quelle interne, si riesce ad ottenere una riduzione del tempo di setup interno che va dal 30% al 50%.

2. Conversione dell'IED in OED → è l'aspetto più importante della tecnica SMED. Bisogna trasformare, per quanto possibile, le attività interne in esterne. Nel caso questo punto non fosse applicabile, sarebbe difficile riuscire a ridurre drasticamente il tempo di setup. In generale, è importante cercare di ridurre il più possibile l'IED.
3. Standardizzazione funzionale → è un principio che potrebbe sembrare in contrasto con la tecnica SMED, che mira a trovare la migliore soluzione per ogni attività di setup. In realtà, è sufficiente standardizzare anche solo quelle parti che sono utilizzate per effettuare le attività di setup per ottenere un notevole risparmio in termini di tempo e costi.
4. Riduzione dei fissaggi tramite bullonatura → il metodo di serraggio più utilizzato in ambito industriale è sicuramente il bullone, che presenta pregi come la facile reperibilità e la standardizzazione. Questi però presentano anche molti aspetti negativi che rallentano lo svolgimento delle attività interne, quali:
    - il lungo tempo necessario per effettuare il corretto bloccaggio, che avviene quando è l'ultimo filetto ad andare in presa; ciò, infatti, avviene dopo circa 15 rotazioni;
    - perdita di capacità di serraggio quando avviene un allentamento;
    - spesso i bulloni non sono standardizzati all'interno dello stesso setup;
    - sono oggetti che sfuggono facilmente dalle mani degli operatori, che perdono tempo a cercarli e a raccoglierli da terra.

I metodi per sostituire la bullonatura sono molteplici, ma vengono raggruppati in tre macrocategorie: one turn, one motion e interlocking methods. I primi si basano sull'adozione di bulloni appositamente modificati per consentire il serraggio in un solo giro, i secondi sono quei metodi che richiedono una sola azione per il bloccaggio (ad esempio camme e morsetti), mentre del terzo

gruppo fanno parte quegli accorgimenti che utilizzano delle superfici accoppiate (scanalature, code di rondine, ecc.).

5. Utilizzo di dime di montaggio → è una forma o uno stampo utilizzato per poter riprodurre una spaziatura, il profilo di un oggetto o l'oggetto stesso. L'utilizzo di dime di montaggio rende molto più semplice le operazioni di posizionamento e di unione dei pezzi.
6. Operazioni in parallelo → il principio che sta alla base di questo punto è semplice: far svolgere a più persone il lavoro che prima era destinato ad un solo operaio, facendogli fare attività sempre nella stessa zona della macchina. In questo modo si limitano gli spostamenti di ogni operatore lungo la linea e si riducono drasticamente i tempi di setup. Questo principio, però, presenta un grande punto debole: l'aumento del costo della manodopera, che è direttamente proporzionale all'aumento del numero degli operai.
7. Eliminazione delle prove e degli aggiustamenti → solitamente gli aggiustamenti e i cicli di prova pesano dal 50% al 70% circa sul tempo di setup interno ed è quindi fondamentale cercare di ridurli il più possibile. Per prima cosa, bisogna fare una distinzione tra settaggio e aggiustamento, poiché sono due operazioni distinte. La prima azione si ha quando vengono modificati i limit switch, cioè i parametri limite ai quali si fa funzionare il dispositivo. La seconda azione, invece, si effettua quando il limit switch viene testato e ripetutamente messo in nuove posizioni. L'obiettivo sarebbe quello di eliminare le operazioni di aggiustamento, ad esempio attraverso l'utilizzo di maschere per determinare la posizione corretta, rendendo l'operazione di settaggio l'unica richiesta. Più quest'ultima azione è resa accurata, minori saranno gli aggiustamenti necessari.
8. Adozione della meccanizzazione → adottando i criteri esposti nei sette punti precedenti si potrebbe apportare una notevole riduzione alle tempistiche di setup. Quest'ultimo punto, infatti, pur portando ad una diminuzione dell'IED, non ha una importanza rilevante, in termini percentuali, sulla riduzione totale del tempo di setup. La meccanizzazione, inoltre, fa aumentare la precisione con la quale si svolgono le operazioni e, di conseguenza, fa diminuire il numero di

errori commessi. I benefici che ne derivano, però, vanno ben studiati, in quanto la meccanizzazione comporta, spesso, investimenti non indifferenti.

2.2 Applicazione della metodologia SMED

L'applicazione della metodolgia SMED è caratterizzata da cinque fasi progressive che si sviluppano in modo da intervenire prima in maniera generale, andando ad individuare ed eliminare i maggiori sprechi, per poi addentrarsi su particolari specifici. Con l'avanzare delle fasi, aumenta anche la complessità di attuazione e, in termini percentuali, l'efficacia diminuisce.

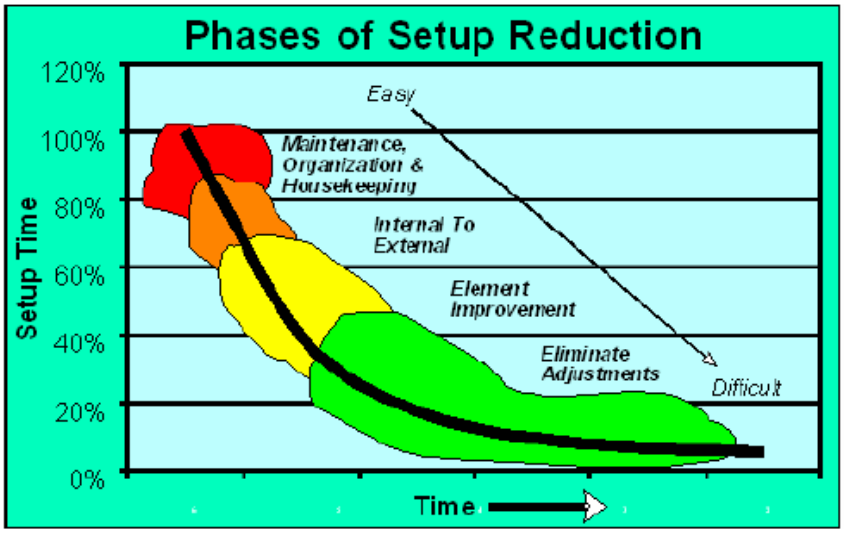

Figura 2.1 Fasi dell'applicazione SMED

Fonte: www.leanmanufacturing.it [1]

La prima è una fase preliminare e viene detta "fase zero". Il primo passo da compiere consiste nella creazione di un team di lavoro specializzato che si occupa di portare avanti la metodologia all'interno dell'azienda. Questo sarà composto da un numero di persone che può essere variabile, nel quale devono essere necessariamente presenti un team leader, un tecnico SMED, con competenze fortemente operative mirate alla conoscenza dei parametri specifici della macchina e un operaio specializzato, che deve coinvolgere il più possibile il personale operativo nell'analisi delle IED e delle OED.

Nella "fase uno" vengono studiate attentamente tutte le attività di setup. Questo grazie all'osservazione diretta, a fotografie o alla visione di filmati delle operazioni stesse. L'obiettivo è arrivare a definire le attività svolte e la loro durata, effettuando una prima

separazione tra IED e OED, gli utensili utilizzati per ognuna di esse e gli operatori impiegati nel processo. In questa fase, in genere, si inizia anche a scrivere un elenco delle possibili strategie migliorative.

Successivamente, la “fase due” consiste nell’analisi critica del ciclo IED e OED. L’obiettivo è quello di identificare quelle operazioni svolte a macchina ferma che, in realtà, possono essere convertite in attività esterne e, quindi, essere svolte mentre la macchina è in funzione.

La “fase tre” consiste nella semplificazione delle singole attività di setup, sia interne che esterne. Bisogna analizzare tutte le operazioni svolte, andando ad individuare quelle superflue, in modo da valutarne una possibile eliminazione, e, in generale, cercando di semplificare e velocizzare quelle che sono necessarie.

Infine, nella “fase quattro” è necessario redigere una nuova procedura che riordini cronologicamente le nuove operazioni da eseguire. Queste devono essere riportate su un foglio a bordo macchina in modo da assicurare che le procedure vengano seguite dagli operatori.

Le fasi descritte, nelle applicazioni reali, possono non essere eseguite nella sequenza illustrata; può succedere che due di queste vengano eseguite contemporaneamente o che una preceda l’altra nell’ordine di applicazione. Questo perché ogni caso di applicazione è diverso dall’altro.

3. Analisi della linea PU e individuazione dei punti critici

Nelle linee per la produzione di prodotti per l'igiene, quali pannolini, pannoloni e assorbenti, è necessario garantire la possibilità di effettuare il cambio formato, in modo da avere l'opportunità di realizzare prodotti di diverse taglie.
Le problematiche principali che si affrontano quando si vuole effettuare la suddetta operazione sono relative alle regolazioni che bisogna fare su diverse unità di processo della linea. Queste, infatti, se fatte manualmente, comportano diverse ore di fermo macchina, che portano ad una riduzione della produttività.
Si è svolta, dunque, un'analisi su una linea per la produzione di pannoloni a slip e, tempificando la durata delle varie regolazioni necessarie, si è cercato di identificare le operazioni più critiche.

3.1 Layout PU

La linea chiamata PU, cioè Pull Up, si riferisce alla macchina che realizza dei pannoloni a mutanda, differenti dai tradizionali pannoloni con le alette in quanto si indossano come un normale slip e risultano essere meno ingombranti e più pratici.

Figura 3.1 Pannolone a mutanda

La parte più importante di questo prodotto è, certamente, quella che ha lo scopo di assorbire i liquidi, cioè il tampone. Questo è formato dal fluff, che si ottiene unendo cellulosa defibrata e SAP, una sostanza chimica super assorbente che ha capacità di assorbimento fino a circa quaranta volte il suo volume. Il tampone viene posto sopra a quello che viene chiamato textile backsheet, che è formato da uno strato di polietilene

coperto, su entrambi i lati, da strati di non-woven, cioè un tessuto non tessuto che ha lo scopo di rendere più confortevole al tatto il pannolone, in quanto è il materiale che va a diretto contatto con la pelle. La funzione dello strato di polietilene è quella di non lasciar passare i liquidi nella parte inferiore del pannolone, in modo da evitare fuoriuscite indesiderate. Superiormente, invece, il tampone viene coperto dapprima con uno strato detto acquisition layer (AQL), che è un acceleratore di distribuzione del liquido e ha lo scopo di distribuire, appunto, i liquidi al tampone in maniera omogenea, in modo da non farli concentrare in pochi punti. Successivamente, sopra all'AQL vengono posti strati di non-woven idrofilo, che permette, quindi, il passaggio dei liquidi in modo da farli assorbire dal tampone; l'unione di questo materiale e l'AQL forma il topsheet. Nelle zone laterali del tampone vengono posizionati dei lembi, detti barriere fecali, che sono delle pareti formate da non-woven idrofobico, che hanno la funzione di non far fuoriuscire eventuali residui solidi. Le barriere fecali vengono fatte aderire al corpo attraverso l'utilizzo di elastici, integrati negli strati di non-woven tramite la colla. Questi vengono utilizzati anche in altre zone del pannolone, in modo da renderlo indossabile. Gli elastici sono presenti in due tipologie: nella zona in prossimità del tampone e dove vengono inserite le gambe sono curvi, in modo da seguire il profilo del corpo e rendere lo slip più comodo, mentre nella zona superiore, quella che andrà a contatto con la zona addominale, sono dritti e permettono la tenuta in posizione del pannolone. Questi ultimi sono posizionati e incollati tra due strati di non-woven, uno chiamato inner non-woven, cioè quello che va a contatto con la pelle, e uno chiamato outer non-woven, cioè quello che si trova verso l'esterno. Questo materiale, inoltre, essendo traspirante, rende molto più comodo lo slip, soprattutto per quanto riguarda la zona addominale.

La linea PU è, quindi, quella adibita alla realizzazione del prodotto descritto in precedenza. Questa si sviluppa, in altezza, su due livelli: quello superiore e quello inferiore, diviso in moduli, nel quale avviene il ciclo produttivo vero e proprio. La lunghezza di tale linea risulta essere di circa cinquanta metri, considerando anche il modulo che ha la funzione di confezionamento non presente nella figura 3.2, una larghezza di poco più di 17 metri, considerando anche lo spazio necessario agli svolgitori di materiale, e un'altezza di circa 6 metri.

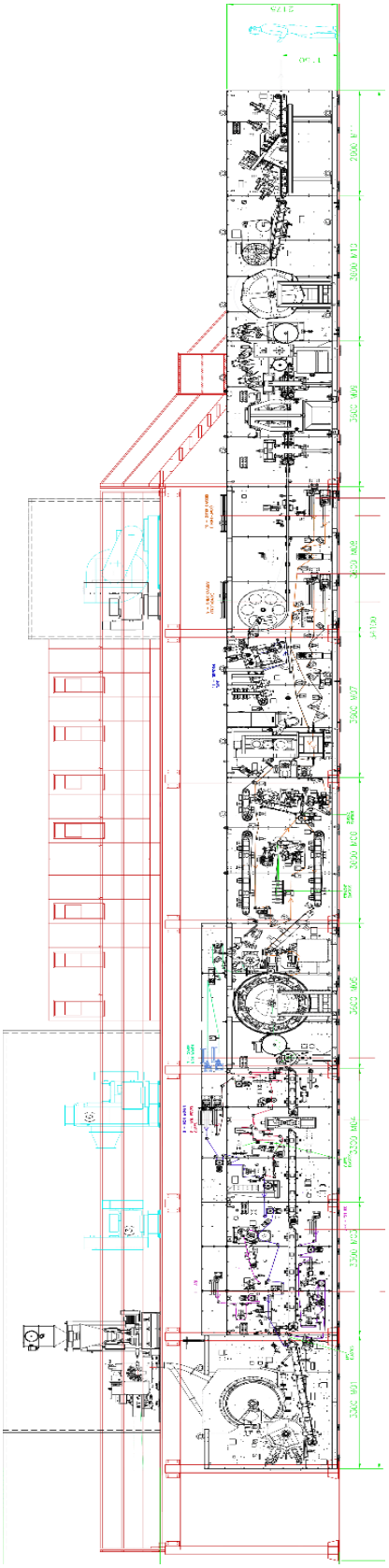

Figura 3.2 Layout della linea Pull Up

Nella zona laterale, oltre al pulpito di comando, che contiene il computer per il controllo della linea, sono presenti gli svolgitori. Infatti, tutti i materiali necessari sono avvolti in bobine che vengono svolte, appunto, tramite gli svolgitori e fatti entrare all'interno della linea dalla parte alta della fiancata laterale, in modo da non creare impedimento agli operatori. I materiali che necessitano di un sistema di questo tipo sono, ad esempio, la cellulosa, l'AQL (acquisition layer), il poliestere e il non-woven per la formazione del textile backsheet, il non-woven per tutte le altre parti dello slip (inner e outer non-woven, topsheet) e gli elastici. Gli svolgitori della cellulosa, a differenza degli altri, non sono motorizzati; il materiale, infatti, viene tirato dal traino del mulino. Inoltre, ad eccezione degli svolgitori degli elastici, gli altri sono dotati tutti di un dispositivo che prende il nome di cambio a volo, un sistema che ha scopo di sostituire una bobina di materiale in esaurimento con una nuova senza che la macchina si fermi. Il tutto viene reso possibile dal buffer di materiale che viene creato prima dell'ingresso dello stesso in macchina; grazie a ciò, infatti, si ha il tempo di eseguire le operazioni di unione tra le due bobine senza fermare il funzionamento della macchina; questa operazione viene svolta utilizzando del nastro (tape). I prodotti che contengono la porzione di materiale dove è avvenuta l'unione vengono riconosciuti tramite una telecamera e scartati automaticamente durante il processo produttivo. L'unione delle bobine degli elastici avviene, invece, manualmente, collegando la coda di quella in esaurimento con la testa di quella nuova mediante un nodo.

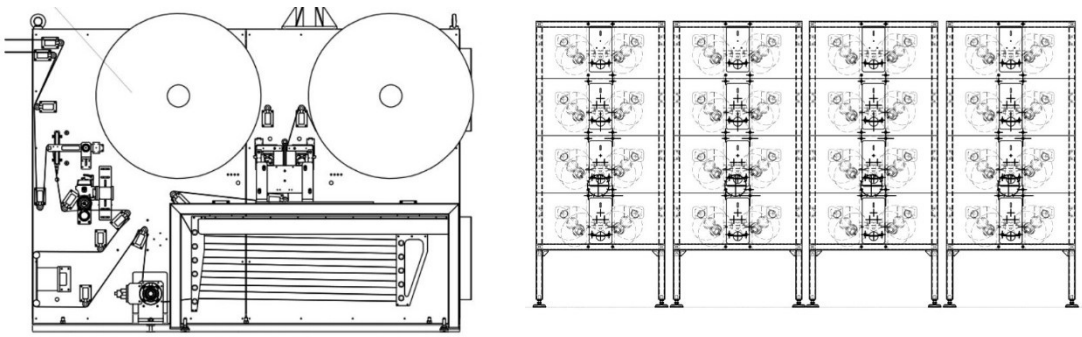

Figura 3.3 A sinistra uno svolgitore di non-woven, a destra uno svolgitore di elastici

Nella zona del piano superiore della linea sono presenti diverse macchine indispensabili per il funzionamento dell'intero sistema. Infatti, qui sono situati sei ventilatori. La tenuta in posizione del prodotto sui diversi organi della linea viene

effettuato mediante la creazione del vuoto, cioè stabilendo una pressione inferiore rispetto a quella atmosferica all'interno delle camere poste al di sotto dei nastri di trasporto, del core forming e di tutte le altre unità che necessitano di mantenere attaccato e in posizione il prodotto. Questo è un aspetto fondamentale per il corretto funzionamento della linea, in quanto un'aspirazione non sufficiente significherebbe una prodotto posizionato in maniera non corretta durante diverse operazioni della macchina, andando a pregiudicare il risultato finale. Ogni ventilatore, quindi, svolge questo compito grazie all'accoppiamento con un motore elettrico in grado di garantire la velocità di rotazione necessaria per effettuare correttamente l'aspirazione. Le camere delle utenze sono collegate mediante dei tubi flessibili, chiamati aspirex, ad un condotto di aspirazione principale che porta direttamente al ventilatore.

Al piano superiore, precisamente al di sopra del modulo M1, è posizionato anche il gruppo che si occupa della formazione del tampone assorbente. La cellulosa, che arriva in fogli dopo essere stata svolta dagli svolgitori, viene defibrata all'interno di un mulino e, con l'aiuto di una ventola in modalità soffiante, viene fatta cadere, insieme al SAP, all'interno della formella del core forming, che è presente nel modulo M1. Il SAP è presente all'interno di un contenitore chiamato dosatore, che ha lo scopo di gestire la giusta quantità di prodotto da mandare, insieme alla cellulosa defibrata, nel core forming; questo passaggio è molto importante, in quanto il SAP è molto costoso e non può essere utilizzato in maniera eccessiva.

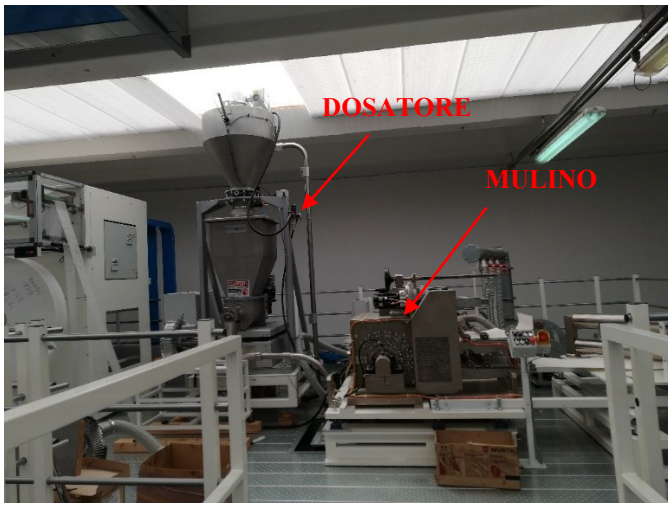

Figura 3.4 Dosatore e mulino

Il fluff, cioè l'insieme di cellulosa defibrata e SAP, passa attraverso il condotto e si va a depositare nella formella del core forming, entrando a tutti gli effetti nel modulo M1, il primo della linea nel piano inferiore.

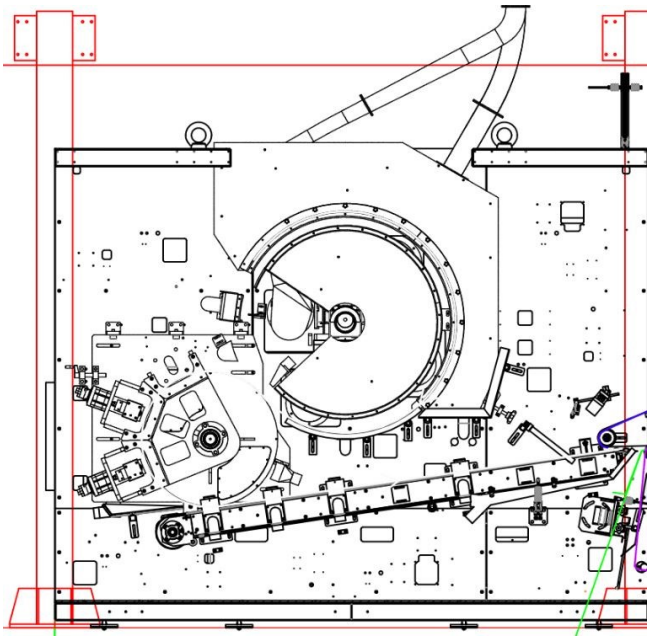

Figura 3.5 Modulo M1

Il core forming è un grande tamburo che ruota in senso antiorario che presenta, sulla superficie esterna, quelle che vengono chiamate formelle. Queste sono degli scavi, che hanno la forma del tampone assorbente, nei quali si va a depositare il fluff che scende dal condotto. All'interno del tamburo ci sono cinque camere aspiranti, quattro principali per la formazione, dove è presente una forte aspirazione, e una quinta che ha lo scopo di tenere il tampone, nella quale c'è una bassa aspirazione, perché il tampone, ormai formato, deve essere lasciato all'unità successiva. Questa operazione, chiamata anche "stacco" del tampone, è aiutata da un soffio d'aria. Il passaggio successivo avviene nel core processor, che è anch'esso un tamburo che ruota in senso antiorario formato da due camere, quella superiore e quella inferiore. Nella prima, poiché è necessario prendere il tampone dal core forming, è presente una forte aspirazione, mentre nella seconda, quella inferiore, l'aspirazione è bassa in quanto il tampone deve essere trasferito ai nastri di trasporto. Nel core processor sono presenti, inoltre, dei controrulli, che hanno il compito di pressare la parte assorbente per renderla più compatta.

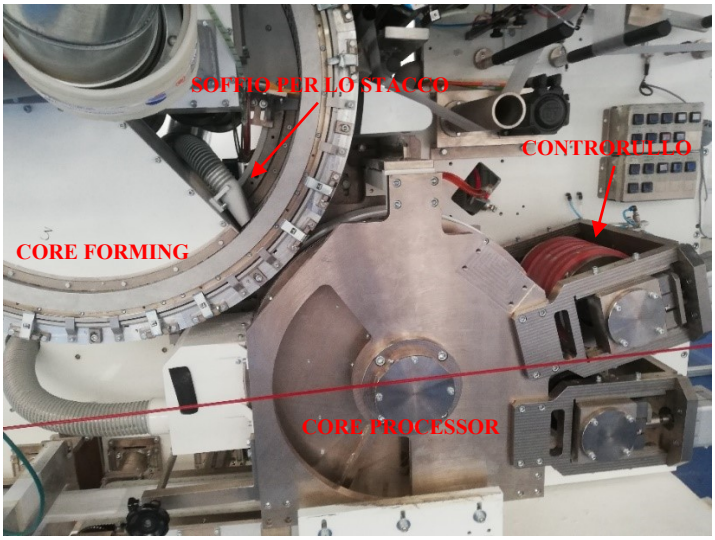

Figura 3.6 Core forming e Core processor

Il tampone, quindi, viene rilasciato sul nastro di trasporto forato, detto anche tappeto, che poggia su una camera di aspirazione; in questo modo è possibile tenere in posizione il prodotto mentre viene movimentato. I tamburi e il nastro di trasporto vengono azionati da dei motori elettrici. In particolare, sono molto importanti quelli che mettono in movimento i nastri di trasporto, in quanto la velocità di questi ultimi dettano le condizioni a tutto il processo.

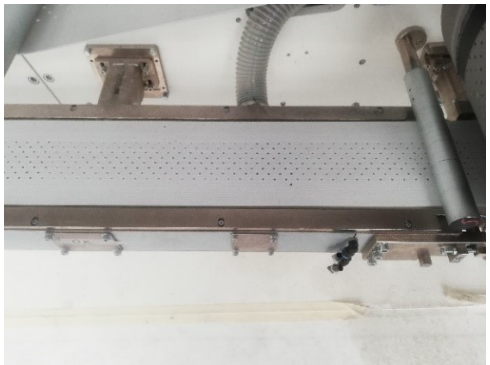

Figura 3.7 Nastro di trasporto

Proseguendo il percorso sul tappeto aspirato, il tampone entra nel modulo M2 della linea. Questo può essere diviso in tre zone, una superiore, una centrale e una inferiore.

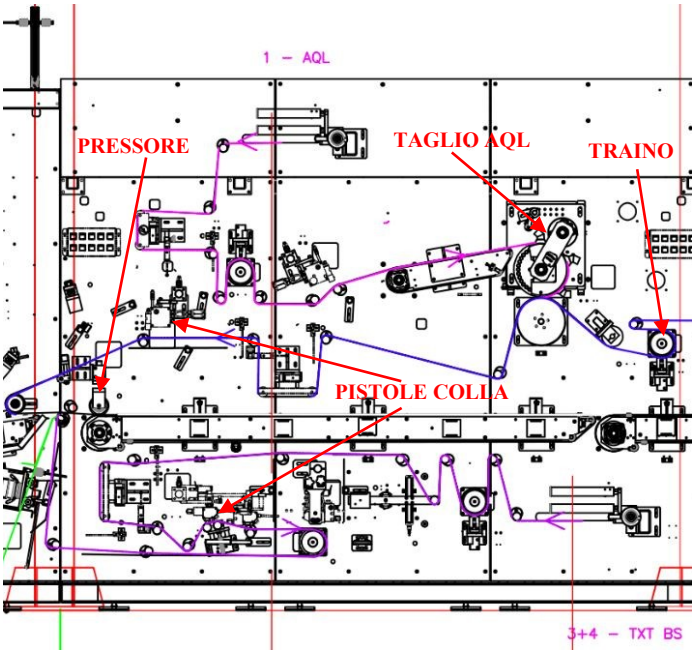

Figura 3.8 Modulo M2

Nella parte in basso del modulo entra, perpendicolarmente alla direzione di avanzamento il textile backsheet, il materiale composto da polietilene ricoperto da non-woven che andrà a posizionarsi al di sotto del tampone. Questo, dopo essere entrato nella parte finale del modulo, viene girato nella direzione di avanzamento, grazie all'utilizzo di un sistema composto da una barra a 45°, per essere trasportato, poi, all'inizio del modulo, dove viene riempito di colla per essere unito al tampone. Nella parte superiore, invece, entra l'AQL, anch'esso in direzione perpendicolare alla direzione di avanzamento per poi essere girato utilizzando lo stesso sistema citato in precedenza. Questo viene fatto passare attraverso un allineatore, per controllare, appunto, l'allineamento, passa attraverso un traino e, successivamente, viene riempito di colla. A questo punto, l'AQL viene trasportato verso la fine del modulo, dove viene discretizzato da un sistema composto da un coltello e un rullo, che funge da controcoltello, per essere poi unito alla parte di topsheet proveniente dal zona successiva. Questo viene trasportato dal modulo M3 all' M2 tramite un sistema di traino. Questi sono presenti ogni circa 5 metri lungo il percorso di ogni materiale, per evitare che l'effetto di elasticità del materiale stesso gli faccia perdere la tensione. Il topsheet, ormai completo, viaggia verso la parte iniziale del modulo M2, dove viene riempito, anch'esso, di colla. Infine, nella zona centrale, a cavallo tra il modulo M2 e

il precedente, il tampone proveniente dalla zona M1 viene posto all'interno dei due strati descritti in precedenza, risultando totalmente coperto. Esso, infatti, è al di sopra del textile backsheet e al di sotto del topsheet, che viene girato passando attorno ad un rullo in modo che l'AQL venga posizionato dal lato del tampone. Vengono, inoltre, inseriti anche degli elastici in questa fase. Poco dopo l'unione dei tre strati, è presente un pressore, composto da due rulli, che ha il compito di effettuare la conferma dei lati esterni al tampone, paralleli alla direzione di avanzamento. Questa operazione ha lo scopo di pressare la zona dove è presente la colla, in modo da far aderire topsheet e backsheet in maniera perfetta.

Dopo aver percorso l'intero modulo M2 sui nastri di trasporto, il prodotto entra nella zona M3. Anche in questo caso si può dividere quest'ultimo in due parti, in base ai processi e ai materiali coinvolti: quella superiore e quella centrale.

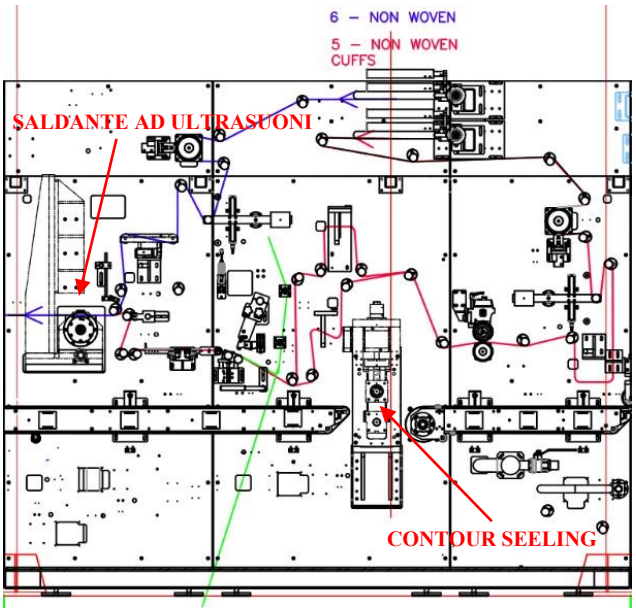

Figura 3.9 Modulo M3

Nella prima vi è l'ingresso in linea dei materiali necessari alla formazione di parte del topsheet, che viene poi completato nel modulo M2. Il non-woven cuffs, o side, entra in macchina e attraversa un primo traino e successivamente un rullo ballerino, che funge da controllo per il tiro. Quindi, il materiale entra all'interno di un allineatore, che deve provvedere all'allineamento, prima che avvenga il taglio slitting nell'unità successiva. Quest'ultima operazione consiste in un taglio longitudinale che divide il

materiale in due fasce distinte, che proseguono il loro percorso in maniera separata, una vira verso il basso e l'altra verso l'alto. Entrambe passano in due allineatori, detti sbandatori, che hanno il compito, oltre che di allinearli, anche di distanziarli in maniera opportuna in base a quella che sarà la posizione che dovranno avere nelle operazioni successive. Alle due fasce, quindi, vengono applicati, nella zona esterna, degli elastici tramite della colla (linee verdi in figura 3.9) che poi vengono racchiusi dal non-woven piegando le estremità verso l'interno. Dopo aver fatto queste operazioni, le due fasce vengono unite, tramite la saldante ad ultrasuoni, al non-woven centrale con una sovrapposizione di circa 10 mm, andando a formare la zona delle barriere fecali. Il prodotto risultante da questa operazione passa, quindi, al modulo M2 dove viene completato e posto al di sopra del tampone, a formare il topsheet.
Nella zona centrale, invece, la sola attività rilevante è quella fatta dall'unità che prende il nome di contour seeling. La parte del pannolone fino ad ora realizzata ha bisogno della operazione di conferma della testa e della coda del tampone, cioè dei lati del contorno perpendicolari alla direzione di avanzamento. La contour seeling consiste in un rullo in rotazione che presenta tre protuberanze rettangolari in gomma equidistanti in direzione circonferenziale e estese per tutta la lunghezza assiale del rullo stesso. Queste sono distanziate in modo che all'arrivo del prodotto la prima estensione confermi la coda, la seconda confermi la testa dello stesso prodotto, la terza confermi la coda dell'inserto successivo e così via. Per effettuare questa operazione è presente, nella parte inferiore dell'unità, una superficie rettangolare sulla quale le protuberanze del rullo vanno in battuta, in modo da schiacciare il topsheet e il backsheet.

Continuando il percorso sul nastro di trasporto, i prodotti entrano nel modulo M4. La prima unità che si incontra e quella di taglio; infatti, fino a questo punto, i vari tamponi sono stati racchiusi tra due strati di materiale che risultano essere continui e, quindi, vi è la necessità di effettuare l'operazione di taglio per discretizzarli. Questa è composta da un controcoltello nella parte superiore, cioè un rullo forato in rotazione al quale viene applicata aspirazione per mantenere i prodotti in posizione, e da una lama, posta nella parte inferiore dell'unità, che colpisce il controcoltello in maniera intermittente per tagliare gli inserti.

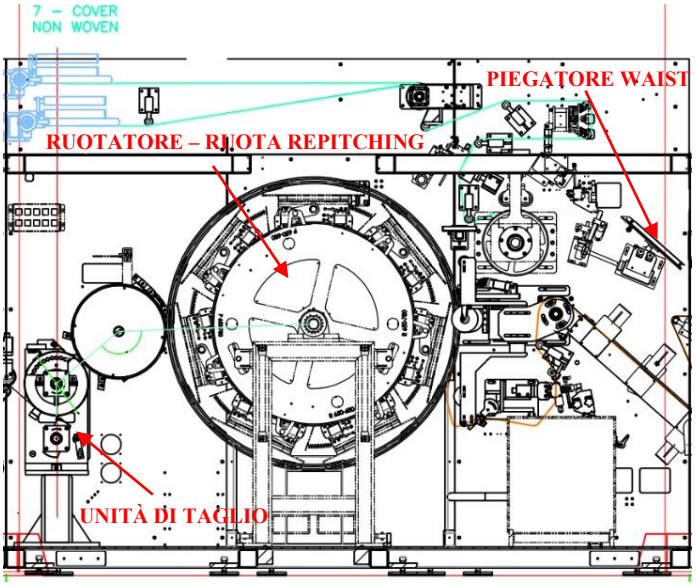

Figura 3.10 Modulo M4

Quest'ultimo, in uscita dall'unità di taglio, viene trasferito, tramite un rullo, su un ruotatore, che può essere di due tipologie, a seconda dell'applicazione e delle funzioni che deve svolgere: classico o ruota repitching. Il primo viene utilizzato quando non vi è la necessità di modificare il passo tra i vari inserti e consiste in un disco centrale che ruota ad una determinata velocità con all'estremità dei platorelli. Questi sono delle superfici forate, alle quali viene applicata aspirazione, che hanno il compito prendere l'inserto dal rullo di trasferimento, ruotarlo di 90° e rilasciarlo nella parte finale del modulo. L'azione di rotazione dei platorelli viene effettuata tramite una camma desmodromica che si trova all'interno del gruppo. Il ruota repitching, che è quello rappresentato in figura 3.10, viene utilizzato quando vi è la necessità di modificare la distanza che intercorre tra gli inserti per effettuare le attività che si svolgeranno in seguito sulla linea. In questo caso, rispetto al ruotatore classico, cambia solo il disco centrale e ne viene inserito uno con una camma desmodromica che ha il compito di variare la velocità e, quindi, la distanza tra gli inserti in uscita dall'unità. Nella parte finale del modulo M4 arrivano le due fasce che vengono poste trasversalmente all'inserto e che andranno a formare la parte di slip che va a contatto con la zona addominale. Queste vengono formate nei moduli successivi e, viaggiando nella direzione opposta a quella di avanzamento del prodotto, entrano nel modulo M4 dove vengono cosparse di colla da un'unità che prende il nome di pad fix (perché, appunto,

serve per poter attaccare le fasce al pad, cioè all'inserto). Le due fasce, quindi, vengono posizionate trasversalmente alle estremità del prodotto, ormai ruotato dai platorelli, e la zona di incollaggio viene confermata da dei rulli sghembi prima che il prodotto venga rilasciato al rullo di trasferimento. È da specificare che, in questo momento del processo, la fasce che compongono la zona addominale sono due, una per lato, e sono ancora separate; solo in seguito verranno unite e andranno a formare lo slip vero e proprio. Il prodotto, quindi, prosegue il suo percorso passando sul rullo di trasferimento e arrivando al piegatore waist. Questa unità ha il compito di fare due pieghe, dette appunto waist, all'estremità esterna di ogni fascia, in modo che lo slip non abbia un taglio netto nel lembo posto in alto della zona addominale e risulti, in questo modo, esteticamente più piacevole.

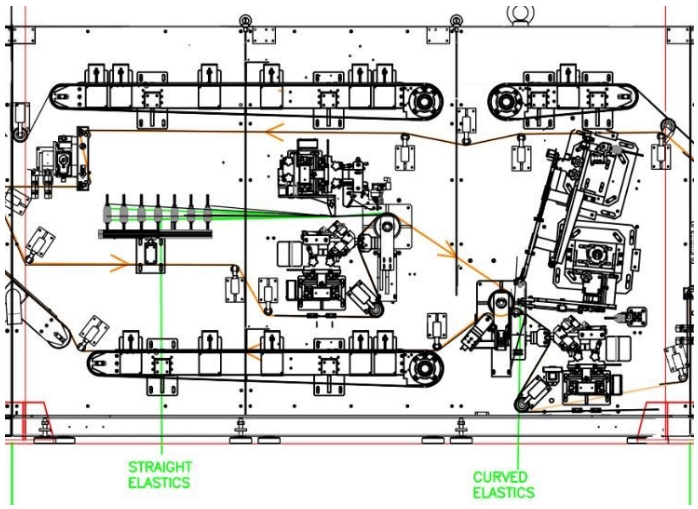

Figura 3.11 Modulo M5

Si entra, dunque, nel modulo M5 della linea. Nella zona superiore, semplicemente, il prodotto prosegue lungo il suo percorso trainato dai nastri di trasporto, senza che avvengano particolari operazioni. Nella parte centrale e inferiore del modulo, invece, viene completata la formazione delle fasce viste nella zona M4. In particolare, al materiale che proviene dai moduli successivi all'M5 vengono aggiunti, tramite incollaggio, gli elastici, sia di tipo dritto che di tipo curvo. Questi ultimi vengono formati grazie all'utilizzo di un sistema biella-manovella, che gli imprime una curvatura di tipo sinusoidale.

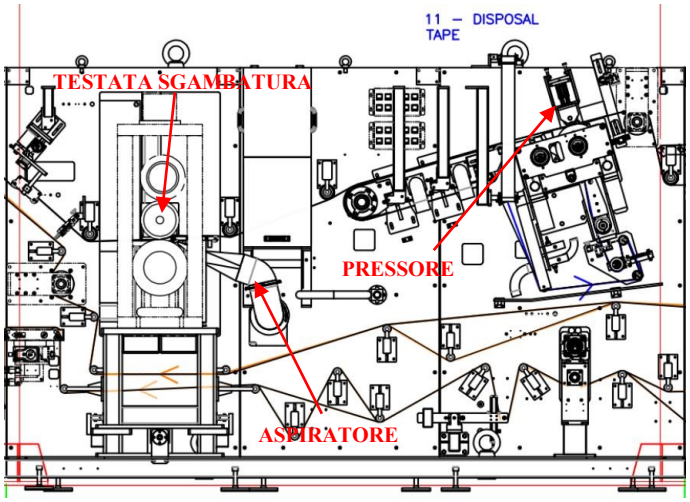

Figura 3.12 Modulo M6

Successivamente, i prodotti entrano nel modulo M6 e, dopo aver attraversato un allineatore, passano all'interno di un'unità chiamata testata sgambatura. Questa ha il compito di sagomare i buchi dove vengono inserite le gambe, tagliando il materiale che è in eccesso. Per fare ciò, l'unità è formata da due rulli, uno inferiore, fermo, che funge da controcoltello, e uno superiore in rotazione che presenta una lama opportunamente sagomata per effettuare il taglio con la giusta forma. Gli sfridi che si generano in questa operazione vengono raccolti, tramite un aspiratore, in un contenitore per poi essere smaltiti. In uscita dall'unità testata sgambatura vi è un box dove viene controllata, tramite una telecamera, la presenza degli elastici mediante lampada UV che illumina la colla degli elastici stessi. Il prodotto prosegue il suo percorso sul nastro di trasporto sito in alto nel modulo e arriva all'unità che si occupa del disposal tape, cioè un piccolo nastro adesivo che servirà per chiudere il pannolone, dopo che questo sia stato usato, in modo da racchiuderne il contenuto. Questo entra in macchina, viene cosparso di colla per poi essere tagliato, posizionato sullo slip e confermato da un pressore, che si trova lungo il percorso del prodotto. Nella parte inferiore, invece, avvengono le prime operazioni per la formazione delle fasce che sono state descritte in precedenza.

Subito dopo il pressore, a cavallo tra modulo M6 e M7, è presente un traino che tira i prodotti e li fa entrare, appunto, nella zona M7. Questi vengono ripiegati su loro stessi, in modo da sovrapporre le fasce sui due lati del tampone, tramite una barra obliqua posta lungo il loro percorso, in modo da prepararli per la successiva saldatura.

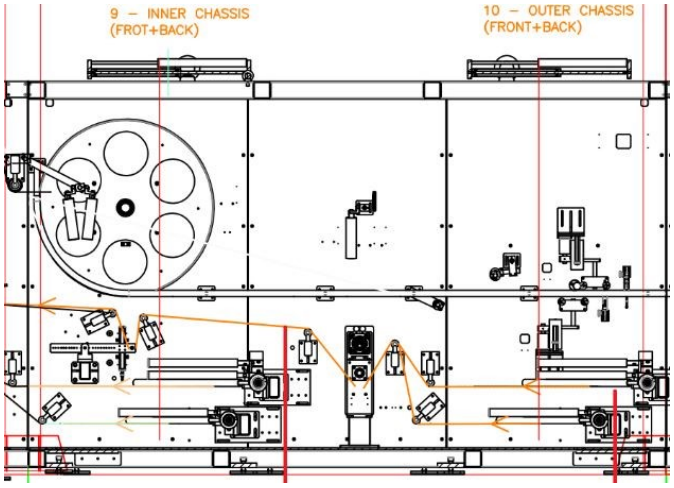

Figura 3.13 Modulo M7

Nella parte inferiore si nota, invece, l'ingresso dei materiali necessari alla formazione dell'inner chassis e dell'outer chassis. Anch'essi entrano perpendicolarmente alla linea e vengono girati in direzione corretta tramite l'utilizzo di una barra a 45°, per poi iniziare il percorso che porterà alla formazione delle fasce.

Proseguendo lungo la linea si entra nel modulo M8. I prodotti, dopo essere passati tra due nastri che hanno il compito di pressarli e tenerli precisamente in posizione, entrano nell'unità che compie la saldatura ad ultrasuoni delle due fasce, sovrapposte durante la precedente operazioni di piegatura. In questo modo si uniscono la parte di slip che va a contatto con la zona addominale con quella che va a contatto con la schiena, realizzando le giunzioni che si trovano sui fianchi a pannolone indossato.

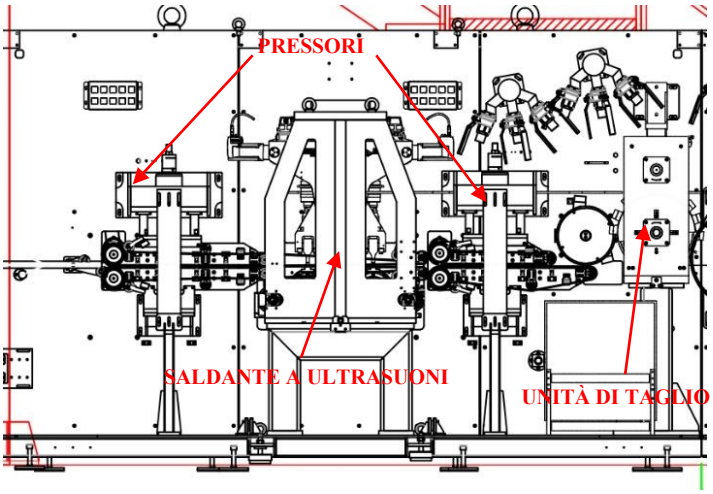

Figura 3.14 Modulo M8

I prodotti risultano, però, ancora collegati l'uno con l'altro. Quindi, dopo essere passati di nuovo attraverso un pressore che ne consolidasse la posizione, questi vengono posti, attraverso l'utilizzo di un rullo di trasferimento, su un cilindro rotante che funge da controcoltello dell'unità di taglio. L'asse al di sopra di tale cilindro è quello nel quale viene montato il coltello, che taglia la fascia contenente i prodotti. Questo viene effettuato tra due saldature successive, in modo che diventino una la saldatura del fianco destro del prodotto in uscita dall'unità e una la saldatura del fianco sinistro del prodotto in entrata nell'unità.

Infine, dopo aver tagliato i prodotti, si entra nella parte conclusiva della linea, cioè i moduli M9 e M10, dove lo slip viene preparato per essere confezionato.

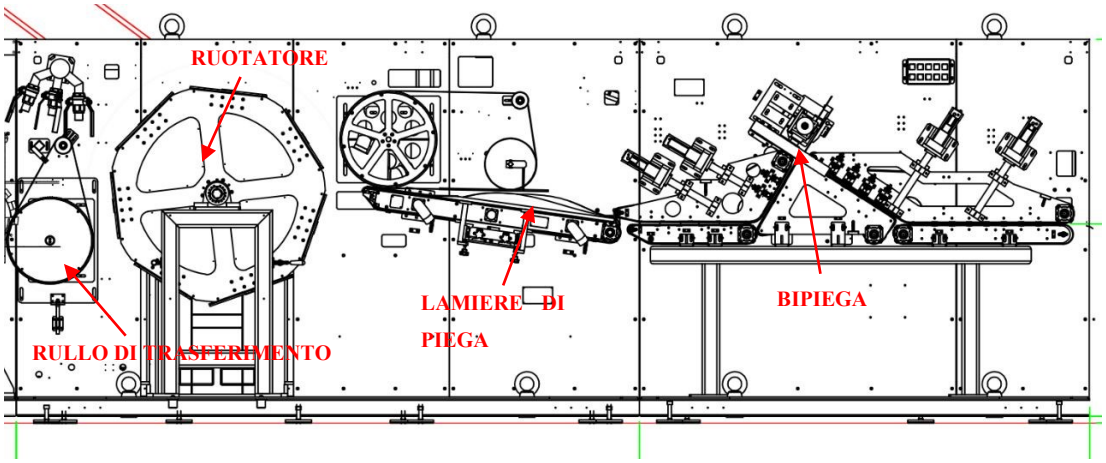

Figura 3.15 Moduli M9 e M10

Passando attraverso la ruota di trasferimento, il pannolone viene rilasciato al ruotatore, che ha il compito di ruotarlo di 90°, in modo da posizionarlo con la fascia della zona addominale verso l'inizio della linea e con la parte del tampone verso la fine. Il funzionamento del ruotatore è lo stesso di quello presente nel modulo M4. Il prodotto, che ormai ha una forma a T [Figura 3.16], viene, quindi, rilasciato al nastro di trasporto, sul quale sono presenti due lamiere di piega, che hanno il compito di piegare, appunto, le zone della fascia che eccedono in larghezza rispetto al tampone. Passando attraverso una coppia di nastri, per mantenerne la forma e la posizione, il pannolone sale fino ad arrivare all' unità che prende il nome di bipiega, che ha lo scopo di piegare

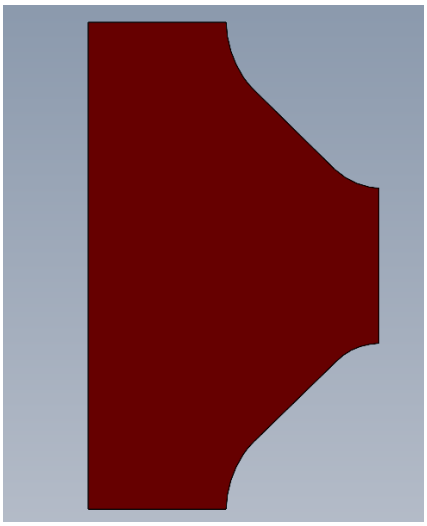

Figura 3.16 Esempio della forma del prodotto

il prodotto su stesso. Questa operazione è svolta da una piastra rotante, opportunamente sagomata, che colpisce al centro lo slip in arrivo dal basso, facendolo entrare piegato tra una coppia di nastri successivi. A questo punto il pannolone ha la forma corretta per essere confezionato. Questo viene trasportato fino alla fine del modulo, dove verranno installate uno stacker, cioè un sistema a palette che raggruppa i prodotti l'uno al fianco dell'altro, e un'imbustatrice, che raggruppa un determinato numero di pannoloni per metterli in una busta in modo da completare il confezionamento.

3.2 Individuazione dei punti critici

Per individuare le zone di intervento sono state stimate le tempistiche per ogni operazione di regolazione necessaria al cambio formato, avvalendosi dell'aiuto di un collaudatore esperto in questo settore. Per ognuna di esse sono stati specificati:

- Campo di osservazione, ovvero la parte che viene analizzata;
- Materiale, cioè quale zona di pannolone viene formata durante quelle operazioni (ad esempio, topsheet, backsheet, inner e outer chassis ecc.);
- Il modulo di appartenenza;
- La fase di lavoro, se cambio formato o cambio della bobina di materiale;
- L'azione svolta dalla parte;
- La regolazione necessaria;
- Eventuali note;
- Le tempistiche stimate per effettuare la regolazione.

I dati delle sessantaquattro operazioni che si effettuano durante il cambio formato sono visibili nella tabella 3.17, nella tabella 3.18 e nella tabella 3.19.

Campo di osservazione	Materiale	Modulo/Frame	Fase di lavoro	Azione	Regolazioni	Nota	Tempo Necessario
Battuta bobina	Outer	M23 Vista H	Cambio formato	Cambio larghezza materia prima	Adeguamento distanza della battuta della bobina		5
Fife	Outer	M23 Vista H	Cambio formato	Cambio larghezza materia prima	Adeguamento distanza sensori	Da verificare sensore utilizzato	15
Diametro bobina	Outer	M23 Vista H	Cambio Bobina	Misurazione manuale del diametro della bobina	Impostazione ad HMI del diametro della bobina	Sensore di diametro sempre presente con buffer pneumatico	2
Barra 45'	Outer	M08	Cambio formato	Allineamento materiale in macchina	Adeguamento distanza barre		20
Sensori	Outer	M08	Cambio formato	Adeguamento distanza sensori alla larghezza della fascia	Adeguamento distanza sensori	dopo Nip Roll	5
Fife	Outer	M05-M06	Cambio formato	Cambio larghezza materia prima	Adeguamento distanza sensori	Da verificare sensore utilizzato	2
Sensori	Outer	M06	Cambio formato	Cambio larghezza materia prima	Adeguamento distanza sensori	dopo Fife	5
Pistole Colle	Outer	M06	Cambio formato	Cambio larghezza materia prima	Registrazione Pistole		10
Tessitore	Elastics	M06	Cambio formato	Cambio larghezza materia prima	Regolazione braccio di leva, in CD e ampiezza		20
Battuta bobina	Inner	M23 Vista G	Cambio formato	Cambio larghezza materia prima	Adeguamento distanza della battuta della bobina		5
Fife	Inner	M23 Vista G	Cambio formato	Cambio larghezza materia prima	Adeguamento distanza sensori	Da verificare sensore utilizzato	15
Diametro bobina	Inner	M23 Vista G	Cambio Bobina	Misurazione manuale del diametro della bobina	Impostazione ad HMI del diametro della bobina	Sensore di diametro sempre presente con buffer pneumatico	2
Barra 45'	Inner	M08	Cambio formato	Allineamento materiale in macchina	Adeguamento distanza barre		20
Sensori	Inner	M07	Cambio formato	Adeguamento distanza sensori alla larghezza della fascia	Adeguamento distanza sensori	dopo Nip Roll	5
Fife	Inner	M06-M07	Cambio formato	Cambio larghezza materia prima	Adeguamento distanza sensori	Da verificare sensore utilizzato	2
Pistole Colle	Inner	M06	Cambio formato	Cambio larghezza materia prima	Registrazione Pistole		10
Sensori	Fasce	M05	Cambio formato	Adeguamento distanza sensori alla larghezza delle fascie	Adeguamento distanza sensori	pre Incollaggio PAD	5
Pistole Colle	Fasce	M05	Cambio formato	Cambio larghezza materia prima	Registrazione Pistole	pre incollaggio PAD	10
Accoppiamento Pad Fasce	Fasce	M06	Cambio formato	Cambio diametrp Ruotatore PAD	Regolazione contrasto tra platorello e fasce		30

Tabella 3.17 Operazioni per il cambio formato da 1 a 19

Campo di osservazione	Materiale	Modulo/Frame	Fase di lavoro	Azione	Regolazioni	Nota	Tempo Necessario
Battuta bobina	Cover	M21 Vista D	Cambio formato	Cambio larghezza materia prima	Adeguamento distanza della battuta della bobina		5
Fife	Cover	M21 Vista D	Cambio formato	Cambio larghezza materia prima	Adeguamento distanza sensori	Da verificare sensore utilizzato	10
Diametro bobina	Cover	M21 Vista D	Cambio Bobina	Misurazione manuale del diametro della bobina	Impostazione ad HMI del diametro della bobina	Sensore di diametro sempre presente con buffer pneumatico	2
Barra 45°	Cover	M05	Cambio formato	Allineamento materiale in macchina	Adeguamento distanza barre		20
Sensori	Cover	M05	Cambio formato	Adeguamento distanza sensori alla larghezza della fascia	Adeguamento distanza sensori	dopo Nip Roll	5
Fife	Cover	M05	Cambio formato	Cambio larghezza materia prima	Adeguamento distanza sensori	Da verificare sensore utilizzato	2
Pistole Colle	Cover	M05	Cambio formato	Cambio larghezza materia prima	Registrazione Pistole		5
Pressa	PAD + Fasce	M05	Cambio formato	Cambio spessore tampone	Regolazione manuale della posizione		10
Piegatore	PAD + Fasce	M05	Cambio formato	Cambio laghezza prodotto	Adeguamento distanza piegatori		20
Fife	PAD + Fasce	M06	Cambio formato	Cambio laghezza prodotto	Spostamento motore sulla piastra Spostamento Attuatori Spostamento sensori di controllo	pre sgambatura	10
Sensori	PAD + Fasce	M05	Cambio formato	Cambio laghezza prodotto	Adeguamento distanza sensori	di presenza pre sgambatura	5
Pressa	PAD + Fasce	M07-M08	Cambio formato	Cambio laghezza prodotto	Spostamento in cross direction in base alle	prima di ruota di trasferimento	10
Fife	PAD + Fasce	M08	Cambio formato	Cambio laghezza prodotto	Spostamento motore sulla piastra Spostamento Attuatori Spostamento sensori di controllo	post sgambatura	15
Piegatore	Prodotto	M10	Cambio formato	cambio dimensioni tapone	Adeguamento distanza piegatori	Viene toccato solo sullo small	20
Battuta bobina	NW Back	M20 Vista B	Cambio formato	Cambio larghezza materia prima	Adeguamento distanza della battuta della bobina		5
Fife	NW Back	M20 Vista B	Cambio formato	Cambio larghezza materia prima	Adeguamento distanza sensori	Da verificare sensore utilizzato	10
Diametro bobina	NW Back	M20 Vista B	Cambio Bobina	Misurazione manuale del diametro della bobina	Impostazione ad HMI del diametro della bobina	Sensore di diametro sempre presente con buffer pneumatico	2
Battuta bobina	Poly	M20 Vista B	Cambio formato	Cambio larghezza materia prima	Adeguamento distanza della battuta della bobina		5
Fife	Poly	M20 Vista B	Cambio formato	Cambio larghezza materia prima	Adeguamento distanza sensori	Da verificare sensore utilizzato	5
Diametro bobina	Poly	M20 Vista B	Cambio Bobina	Misurazione manuale del diametro della bobina	Impostazione ad HMI del diametro della bobina	Sensore di diametro sempre presente con buffer pneumatico	2

Tabella 3.18 Operazioni per il cambio formato da 20 a 39

Campo di osservazione	Materiale	Modulo/Frame	Fase di lavoro	Azione	Regolazioni	Nota	Tempo Necessario
Barra 45°	Backsheet	M03	Cambio formato	Allineamento materiale in macchina	Adeguamento distanza barre		15
Fife	Backsheet	M03	Cambio formato	Cambio larghezza materia prima	Adeguamento distanza sensori	Da verificare sensore utilizzato	10
Pistole Colle	Backsheet	M03	Cambio formato	Cambio larghezza materia prima	Registrazione Pistole		10
Tessitore	Elastics	M03	Cambio formato	cambio larghezza a prodotto	Regolazione braccio di leva, in CD e ampiezza		2
Battuta bobina	AQL	M20 Vista A	Cambio formato	Cambio larghezza materia prima	Adeguamento distanza della battuta della bobina		5
Diametro bobina	AQL	M20 Vista A	Cambio Bobina	Misurazione manuale del diametro della bobina	Impostazione ad HMI del diametro della bobina	Sensore di diametro sempre presente con buffer pneumatico	2
Barra 45°	AQL	M03	Cambio formato	Allineamento materiale in macchina	Adeguamento distanza barre		15
Fife	AQL	M03	Cambio formato	Cambio larghezza materia prima	Adeguamento distanza sensori	Da verificare sensore utilizzato	5
Pistole Colle	AQL	M03	Cambio formato	Cambio larghezza materia prima	Registrazione Pistole		15
Fife	Topsheet	M03	Cambio formato	Cambio larghezza materia prima	Adeguamento distanza sensori	Da verificare sensore utilizzato	5
Pistole Colle	Topsheet	M03	Cambio formato	Cambio larghezza materia prima	Registrazione Pistole		10
Battuta bobina	Central	M21 Vista C	Cambio formato	Cambio larghezza materia prima	Adeguamento distanza della battuta della bobina		5
Diametro bobina	Central	M21 Vista C	Cambio Bobina	Misurazione manuale del diametro della bobina	Impostazione ad HMI del diametro della bobina	Sensore di diametro sempre presente con buffer pneumatico	2
Barra 45°	Central	M04	Cambio formato	Allineamento materiale in macchina	Adeguamento distanza barre		10
Fife	Cuff	M04	Cambio formato	Cambio larghezza materia prima	Adeguamento distanza sensori	Da verificare sensore utilizzato	5
Pistole Colle	Cuff	M04	Cambio formato	Cambio larghezza materia prima	Registrazione Pistole		10
Piegatore	Cuff	M04	Cambio formato	Cambio laghezza prodotto	Adeguamento distanza piegatori		15
Fife	Central	M04	Cambio formato	Cambio larghezza materia prima	Adeguamento distanza sensori	Da verificare sensore utilizzato	5
Ruota di trasferimento	PAD	M05	Cambio formato	cambio diametro repithcing ruotatore	Match diametro ruotatore	Core processor	30
Pressa	PAD	M01	Cambio formato	Cambio Grammatura	Adeguo l'altezza della pressa		10
Fife	Cuff	M04	Cambio formato	Cambio larghezza materia prima	Adeguamento distanza sensori	Da verificare sensore utilizzato	5
Fife	Cuff	M04	Cambio formato	Cambio larghezza materia prima	Adeguamento distanza sensori	Da verificare sensore utilizzato	5
Pistole Colle	Backsheet	M03	Cambio formato	Cambio larghezza materia prima	Registrazione Pistole		10
Pistole Colle	Cover	M05	Cambio formato	Cambio laghezza prodotto	Spostamento motore sulla piastra Spostamento Attuatori Spostamento sensori di controllo	accoppiamento con fasce e pad, pre piegatore	10

Tabella 3.19 Operazioni per il cambio formato da 40 a 64

Sono stati sviluppati, quindi, due grafici per effettuare l'analisi. Il primo, in figura 3.20, mette in relazione il tempo necessario alle operazioni rispetto alla zona di pannolone formata, specificando la durata per ognuna di queste e il peso percentuale (linea arancione) che queste hanno sul tempo totale di regolazione e ordinandole in senso decrescente di durata.

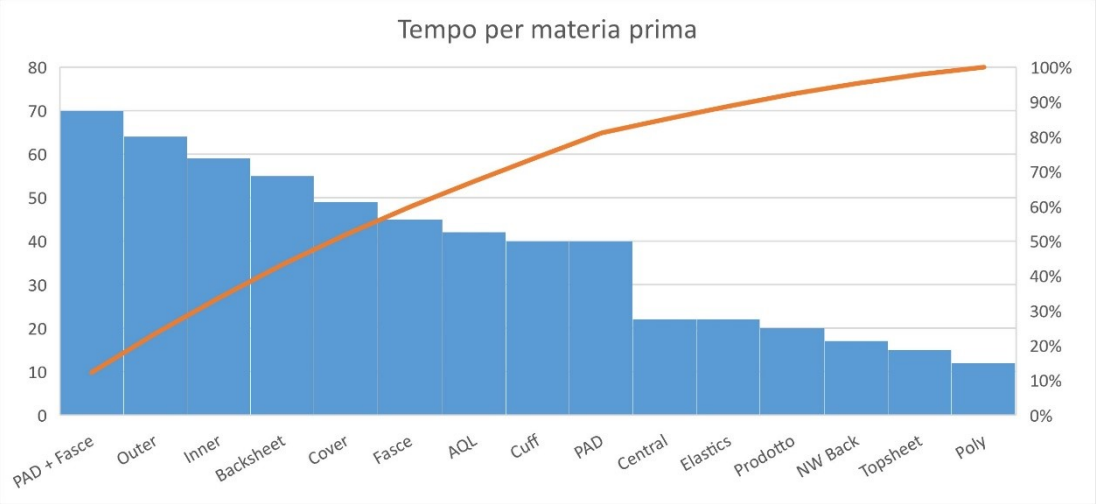

Figura 3.20 Tempo per materia prima

Il secondo grafico, in figura 3.21, specifica il tempo necessario per ogni tipologia di parte che viene coinvolta nelle regolazioni, andando ovviamente a sommare le durate di operazioni che coinvolgono la stessa unità. Inoltre, viene graficato il peso percentuale (linea arancione) che ognuna di esse ha sul tempo totale per effettuare le regolazioni.

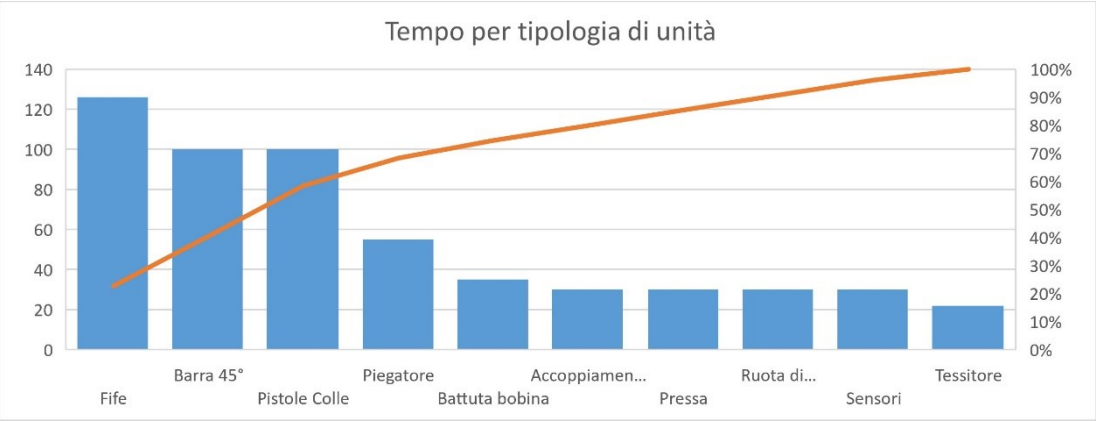

Figura 3.21 Tempo per tipologia di unità

In base a questa analisi è stato deciso, quindi, di lavorare sulle seguenti unità:

- Barre a 45°, che comportano una spesa temporale di 100 minuti per ogni cambio formato;
- Allineatori Fife, che comportano una spesa temporale di 126 minuti per ogni cambio formato;
- Pistole per l'applicazione di colla, che comportano una spesa temporale di 100 minuti per ogni cambio formato;
- Piegatore waist, che comportano una spesa temporale di 55 minuti per ogni cambio formato.

Grazie alla possibilità di svolgere le regolazioni di queste unità in maniera automatica è possibile stimare un risparmio di tempo di circa il 70% rispetto a quello necessario effettuando tutte le operazioni in maniera manuale.
Inoltre, è stato deciso di studiare e modificare anche l'unità che prende il nome di "ballerino", che ha lo scopo di controllare il tiro del materiale all'interno della macchina. Questo non è collegato direttamente alle operazioni di cambio formato, ma si è deciso di automatizzarne il funzionamento per apportare un ulteriore miglioramento alla linea.

4. Adattamento delle unità per la regolazione automatica

4.1 Barre a 45°

Le unità chiamate “barre a 45°” sono numerose all’interno della linea Pull Up. Esse sono disposte in corrispondenza dell’ingresso di qualsiasi tipologia di materiale all’interno della linea. Le barre hanno, infatti, il compito di cambiare la direzione del materiale che, entrando perpendicolarmente alla linea, ha bisogno di essere girato nella direzione di avanzamento del prodotto. L’unità, attualmente, è quella in figura 4.1.

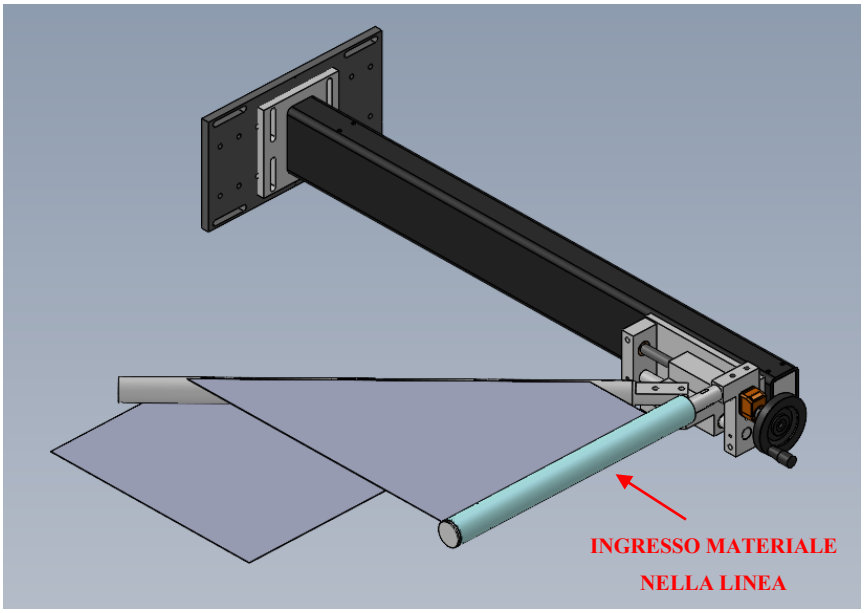

Figura 4.1 Barra a 45° attuale

È formata da una piastra, per il collegamento al telaio, con quattro asole orizzontali, per permettere eventuali regolazioni, e due file di fori che permettono il collegamento della staffa orizzontale in diverse posizioni tramite un’altra piastra asolata. Sulla staffa è collegata il meccanismo per la regolazione manuale al quale è, a sua volta, collegata la barra a 45°, attorno alla quale gira il materiale per cambiare la direzione. Inoltre, è presente una barra dritta che ha il compito di indirizzare il materiale, proveniente dall’alto. Guardando frontalmente l’unità (figura 4.2) è possibile notare come le barre debbano essere posizionate in maniera precisa, in modo che abbiano una distanza pari allo spessore del materiale (circa 2mm) che, infatti, deve arrivare in maniera planare alla barra a 45° affinché il cambio di direzione avvenga con successo.

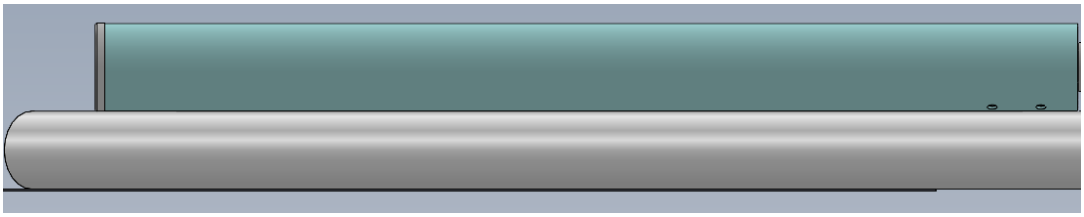

Figura 4.2 Vista frontale delle barre

L'operazione che si effettua quando è necessario fare un cambio formato è l'adeguamento della distanza della barra perché, ovviamente, cambiando la taglia del pannolone, cambiano le dimensioni generali e, quindi, le posizioni che devono occupare i materiali durante i vari processi. Il sistema che permette di effettuare manualmente l'azione descritta precedentemente è quello in figura 4.3.

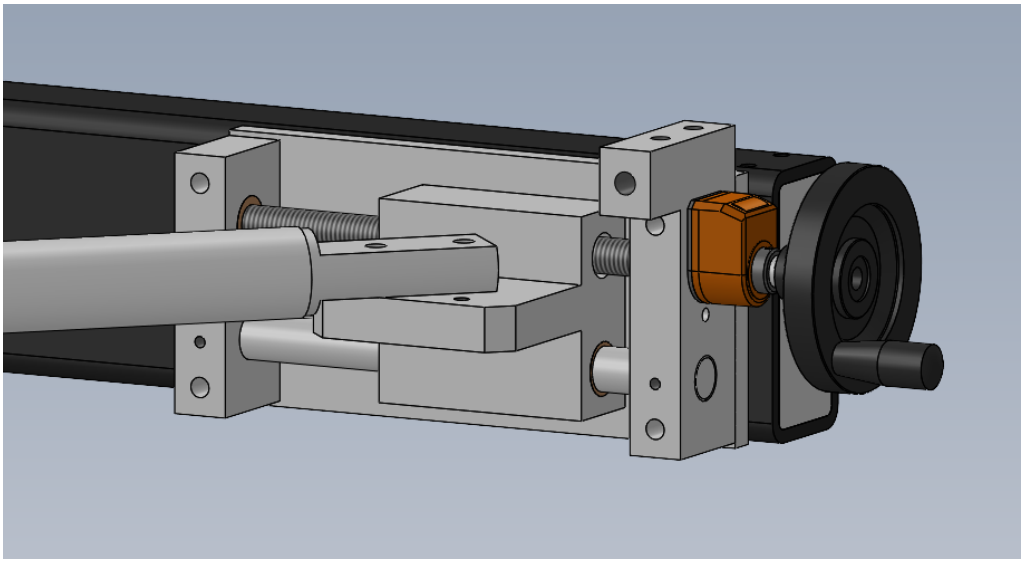

Figura 4.3 Dettaglio del sistema di regolazione manuale

È formato da una barra con filettatura trapezoidale, che funge da trasmissione, e una liscia, che funge da guida. La prima è quella attraverso la quale si effettua la regolazione vera e propria, utilizzando la manovella per far ruotare la barra filettata. La seconda, quella liscia, ha funzione di sostegno per il supporto, per evitarne il ribaltamento, e si interfaccia ad esso attraverso delle bronzine, in modo che venga ridotto l'attrito quando avviene lo spostamento. Questa soluzione, però, presenta problemi di gioco tra il supporto e le due barre e problemi di rigidezza delle barre stesse, che vanno a pregiudicare la precisione della regolazione. Per questo motivo è stato necessario, in primo luogo, pensare ad una soluzione che risolvesse queste problematiche e, successivamente, cercare un modo per rendere automatica

l'operazione di spostamento della barra quando è necessario effettuare il cambio formato. Analizzando le diverse opzioni disponibili, è stato ritenuto opportuno modificare l'unità come in figura 4.4.

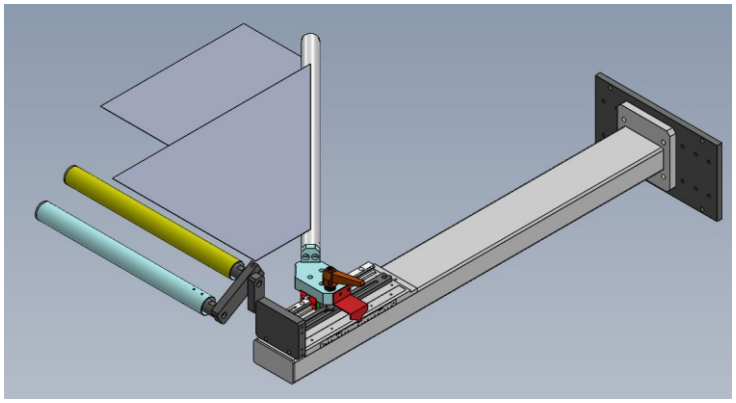

Figura 4.4 Barra a 45° manuale modificata

Il supporto che si collega al telaio è stato allargato per poter inserire un nuovo meccanismo per la movimentazione (figura 4.5) ed è stata inserita un'ulteriore barra nella zona di ingresso del materiale, in modo da poter far arrivare il materiale sia dall'alto che dal basso prima dell'ingresso nella barra a 45°. Il sistema per la regolazione dell'unità è stato, quindi, modificato, inserendo, al posto della barra con filettatura trapezoidale, una guida lineare a ricircolo di sfere, che risulta essere più rigida e precisa. Il pattino viene spostato manualmente dall'operatore e, una volta raggiunta la posizione desiderata, viene bloccato avvitando la manopola di colore arancione in figura 4.5.

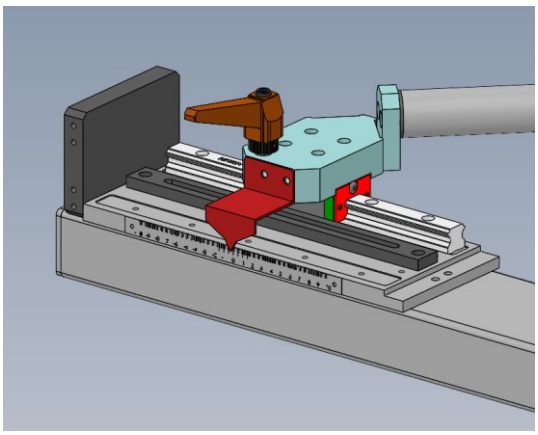

Figura 4.5 Meccanismo di movimentazione manuale modificato

Successivamente, è stato pensato un adattamento di tale meccanismo per poterlo regolare in maniera automatica, senza modificarlo in maniera sostanziale. È stato deciso, quindi, di inserire una barra con filettatura trapezoidale parallela alla guida lineare che fungesse da trasmissione (figura 4.6). Questa però, a differenza di quella presente nell'unità attuale, viene azionata tramite un motore elettrico passo-passo collegato direttamente all'estremità e fissato

su una piastra, che permette dunque di spostare l'intero supporto della barra a 45° in maniera automatica, tramite l'utilizzo del PLC.

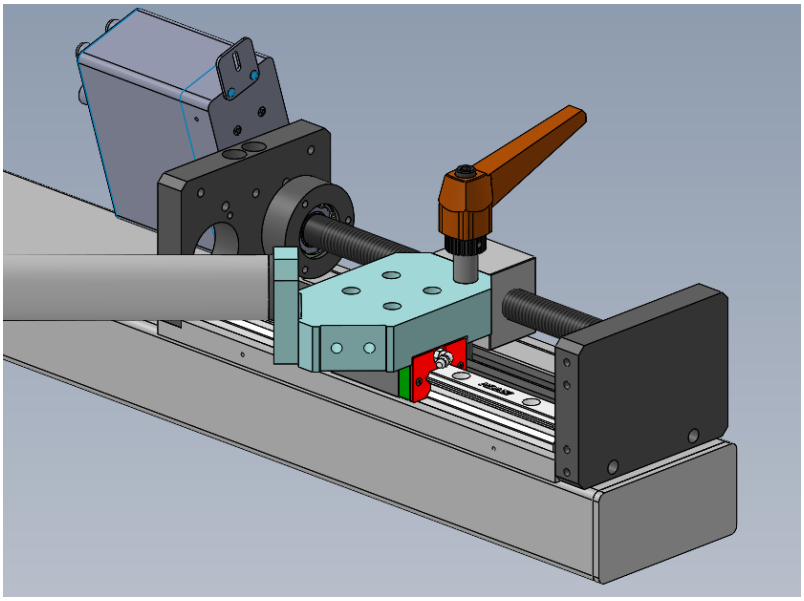

Figura 4.6 Meccanismo di movimentazione automatica

La manopola che aveva la funzione di bloccaggio nel sistema di movimentazione manuale in questo caso non serve più, in quanto viene garantito dal motore stesso. Questa però viene lasciata all'interno del meccanismo nel caso in cui, per scelta o per necessità, ad esempio a causa di un guasto al motore elettrico, si debba ritornare alla configurazione manuale. Per evitare, però, il rischio che si utilizzi la movimentazione automatica con inserita la manopola di bloccaggio, andando così a compromettere l'integrità del sistema, il fissaggio tramite bullonatura della boccola filettata, presente sulla barra, al supporto che si trova sulla guida lineare è possibile solo se la manopola è alzata in una posizione tale da non effettuare il bloccaggio.

Per la scelta del motore è stato svolto un calcolo, in maniera approssimata, per verificare la coppia necessaria alla movimentazione nel caso più sfavorevole, ovvero quando il movimento è in direzione opposta al tiro del materiale. I dati presi in considerazione sono i seguenti:

- $m = 2\ kg$, cioè la massa da movimentare;
- $a = 3\ m/s^2$, cioè l'accelerazione richiesta;
- $p = 4\ mm$, cioè il passo della barra filettata;

- $d = 20\ mm,$ cioè il diametro medio della barra;
- $f = 0.51$, cioè il coefficiente di attrito acciaio-ottone;
- $F = 100\ N$, cioè la forza di tiro del materiale sulla barra;
- $2\alpha = 60°$, cioè l'angolo del filetto.

Si immagina di sviluppare un singolo avvolgimento di un filetto di tipo rettangolare sul piano. Il profilo del filetto è l'ipotenusa di un triangolo rettangolo, che ha come cateti il passo e la circonferenza corrispondente al diametro medio, come rappresentato in figura 4.7, dove inoltre sono presenti anche le forze che agiscono sulla superficie di contatto. L'angolo compreso tra l'ipotenusa e la base è l'angolo di avanzamento λ e le forze rappresentate, che agiscono sul profilo del filetto (cioè sull'ipotenusa), sono la F_{tot}, cioè il carico totale che agisce sulla barra filettata, somma dell'inerzia e del tiro del materiale, la P, che si genera effettuando lo spostamento, la N, cioè la forza normale alla superficie del filetto e la *f*N, cioè la forza di attrito.

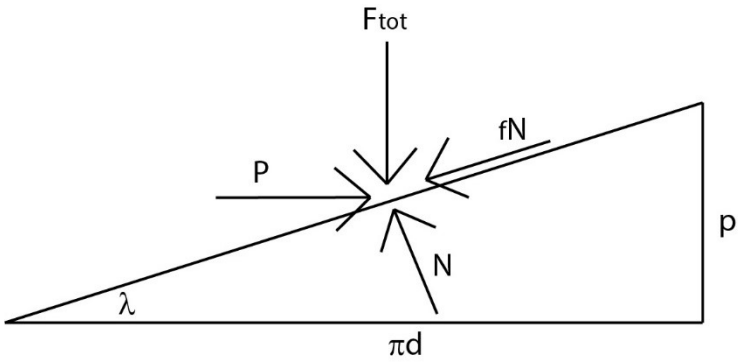

Figura 4.7 Sviluppo di un singolo avvolgimento di un filetto di tipo rettangolare

L'obiettivo è trovare l'espressione della P, per poi calcolare la coppia. Si impone l'equilibrio in direzione orizzontale e verticale:

$$\sum F_H = P - N sin\lambda - fN cos\lambda = 0 \qquad \text{(Eq 4.1)}$$

$$\sum F_V = F_{tot} + fN sin\lambda - N cos\lambda = 0 \qquad \text{(Eq 4.2)}$$

Risolvendo le equazioni si riesce quindi a trovare l'espressione di P:

$$P = \frac{F_{tot}(sin\lambda + f cos\lambda)}{cos\lambda - f sin\lambda} \qquad \text{(Eq 4.3)}$$

Sostituendo l'espressione $tan\lambda = \frac{p}{\pi d}$, ricavata geometricamente, e moltiplicando la P per il raggio medio, è possibile ricavare la coppia:

$$T = \frac{F_{tot}\, d}{2}\left(\frac{p+\pi f d}{\pi d - f p}\right) \qquad \text{(Eq 4.4)}$$

Essendo però il filetto di tipo trapezoidale, bisogna tener conto del fatto che il carico normale alla superficie di contatto è inclinato rispetto all'asse della vite per via dell'angolo del filetto e dell'angolo di avanzamento. In genere, in secondo è piccolo e può essere trascurato e, quindi, viene considerato solo il primo, che ha lo scopo di aumentare la forza di attrito; per questo motivo nell'equazione 4.4 il termine relativo all'attrito va diviso per $cos\alpha$. L'espressione finale della coppia diventa dunque:

$$T = \frac{F_{tot}\, d}{2}\left(\frac{p+\frac{\pi f d}{cos\alpha}}{\pi d - \frac{f p}{cos\alpha}}\right) = 0.72\ Nm \qquad \text{(Eq 4.5)}$$

La coppia risultante è bassa, non sono necessarie elevate prestazioni. Per semplicità di utilizzo e ingombri ridotti si è scelto di montare un motore di tipo passo-passo, il lika RD1A-T48, con coppia di spunto pari a $12\ Nm$ e una coppia di $5\ Nm$ alla velocità di $60\ rpm$. Si è optato per questa soluzione perché, nonostante ci fossero motori con coppia minore ma comunque sufficiente all'applicazione, questo modello ha l'elettronica integrata e può essere collegato direttamente al PLC con un cavo di potenza e un cavo di segnale, evitando l'utilizzo di un modulo esterno, che sarebbe stato necessario in caso di utilizzo di un motore più semplice.

4.2 Allineatori Fife

L'allineatore Fife è un'unità presente più volte all'interno della linea, principalmente nella zona successiva all'ingresso di un materiale. Sono delle guide attive che hanno il compito di controllare il posizionamento dei nastri e, nel caso questo non fosse corretto, di riportarli nella giusta posizione per le operazioni successive. Infatti, eventuali disallineamenti dei vari materiali si tradurrebbero in errori durante le lavorazioni successive che comporterebbero lo scarto di tutti i prodotti realizzati. Questi possono essere causati da diversi fattori:

- Errore generici nel posizionamento del materiale, dovuti ad un non preciso ingresso in macchina del nastro di materiale o ad una regolazione non precisa di alcune unità antecedenti all'allineatore, come, ad esempio, le barre a 45°;
- Presenza contemporanea, nel percorso del nastro, di un rullo non perfettamente allineato e di un offset di accelerazione; la sola prima condizione, infatti, non comporta uno spostamento della posizione del materiale. L'offset di accelerazione è spesso da imputare, piuttosto che a una variazione di velocità, ad una variazione di tensione nel nastro, che comporta, appunto, il disallineamento del materiale.

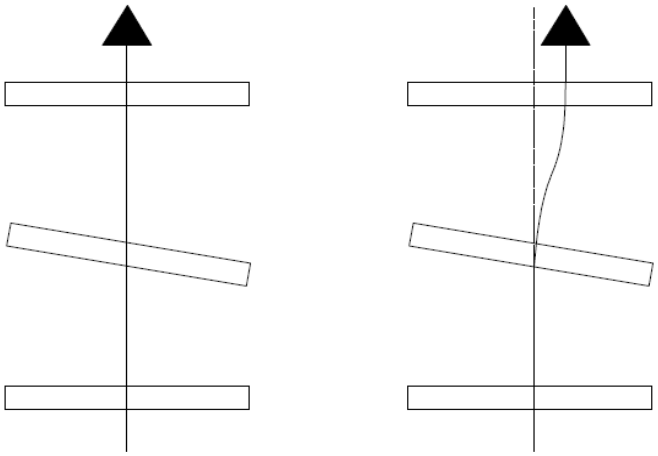

Figura 4.8 Nastro senza offset di accelerazione a sinistra, nastro con offset di accelerazione a destra

Quindi, affinché non ci siano spostamenti del nastro durante il suo percorso bisogna evitare gli errori geometrici, le variazioni di velocità e bisogna mantenere costante il livello di tensione del nastro stesso.

Come detto in precedenza, gli allineatori Fife sono delle guide attive. Queste sono composte da uno o più sensori, da un attuatore, da un sistema di guida e da un sistema di controllo. I primi possono essere un qualsiasi dispositivo che coglie in maniera affidabile il bordo di un nastro e i più comuni sono delle seguenti tipologie: pneumatici (per i nastri non porosi), fotoelettrici (per i nastri opachi) o a palette (per i nastri spessi). L'output dei sensori va ad un sistema di controllo che comanda l'attuatore, che spesso è un motore passo-passo, che muove un sistema di guida che sposta i rulli sui quali vengono fatti passare i nastri. Per la precisione, l'unità utilizzata nella linea Pull Up è una guida-nastri a telaio pivottante (OPG) Symat 25, che consente 16 diverse tipologie di montaggio e, quindi, di passaggio del nastro.

Figura 4.9 Guida-nastri a telaio pivottante Symat 25

Il principio di funzionamento generale è quello descritto in precedenza e lo spostamento imposto dall'attuatore al sistema di guida fa in modo che il secondo rullo, cioè quello dal quale il nastro esce, ruoti come se fosse fulcrato al centro del rullo di ingresso, andando a determinare lo spostamento del materiale di una certa quantità (figura 4.10). Questa può essere ottenuta imponendo al sistema un angolo di rotazione ben definito, calcolabile attraverso la seguente formula:

$$\phi = sin^{-1}\left(\frac{C}{L}\right) \qquad \text{(Eq 4.6)}$$

dove:

- ϕ, in gradi, è l'angolo di rotazione del sistema;

- C, in pollici, è l'entità della correzione da apportare;
- L, in pollici, è la distanza esterna tra le estremità dei rulli.

È da notare come, se si aumentasse la distanza L, il valore dell'angolo di correzione ϕ necessario diminuirebbe.

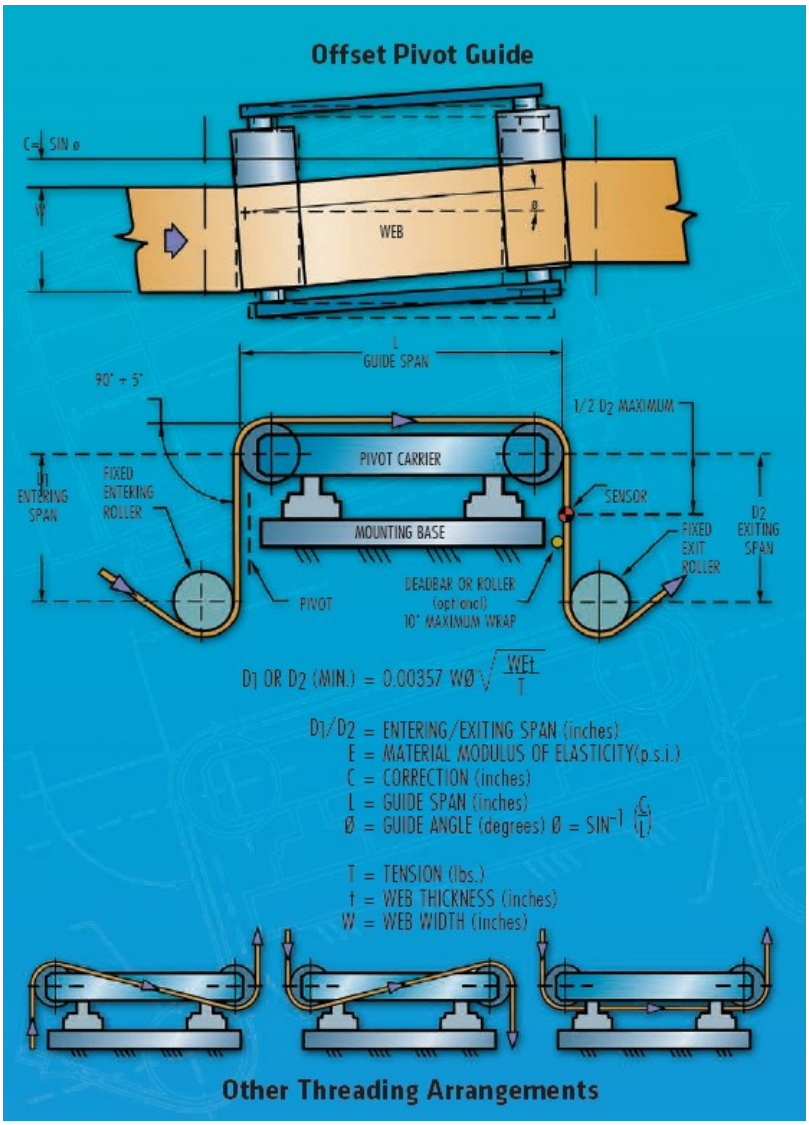

Figura 4.10 Schema di funzionamento della guida-nastri

Come si può notare dalla figura 4.10, sono presenti dei rulli in entrata e in uscita dal sistema e questi devono essere necessariamente posizionati in modo tale da permettere l'ingresso e l'uscita del nastro in direzione perpendicolare al piano dove avverrà la rotazione. La distanza minima dai rulli superiori D_1 e D_2 alla quale bisogna posizionarli è stabilita dai parametri di funzionamento del sistema e dalla tipologia di nastro che

viene utilizzato, e questa determinerà anche il posizionamento dei sensori, che dovranno essere sistemati a non più di ½ del valore di D_1 o D_2. Il loro valore viene calcolato come segue:

$$D_1 o\ D_2\ = 0.00357 \cdot W \cdot \phi \cdot \sqrt{\frac{W \cdot E \cdot t}{T}} \qquad \text{(Eq 4.7)}$$

dove:

- $D_1 o\ D_2$, in pollici, è la distanza del rullo di ingresso o uscita dal piano di rotazione;
- W, in pollici, è la larghezza del nastro;
- t, in pollici, è lo spessore del nastro;
- ϕ, in gradi, è l'angolo di rotazione del sistema;
- E, in p.s.i., è il modulo di elasticità del materiale;
- T, in ib, è la tensione del nastro.

Per poter definire l'entità della correzione da apportare c'è bisogno, però, di uno o più sensori, nella zona di entrata del nastro, che ne leggano la posizione rispetto ad un set point che stabilisce il punto nel quale dovrebbero passare se il loro percorso fosse corretto. Nella configurazione attuale vengono utilizzati due sensori, uno per lato, del tipo Fife SE-42R (figura 4.11), che sono a luce infrarossa modulata con lunghezza d'onda a 875 nm. Questo li rende relativamente insensibili alla luce e adatti al funzionamento con la maggior parte dei materiali, sia opachi che trasparenti. Hanno un campo visivo relativamente corto, di 17mm, e il funzionamento è il seguente: l'emettitore di luce situato nel braccio basso della forcella emette un fascio di luce e, in base alla porzione del campo visivo coperta dal materiale, una parte degli infrarossi passa e va a colpire il ricevitore, posizionato nel braccio superiore della forcella. Quest'ultimo, in base alla quantità di luce ricevuta, produce un segnale in uscita che permette di determinare la posizione esatta del bordo del nastro. Il set point di questi sensori è fisso, e dunque è necessario, durante le operazioni di cambio formato, spostarli fisicamente e posizionarli nella maniera corretta, in modo da far passare il materiale nella zona di lettura.

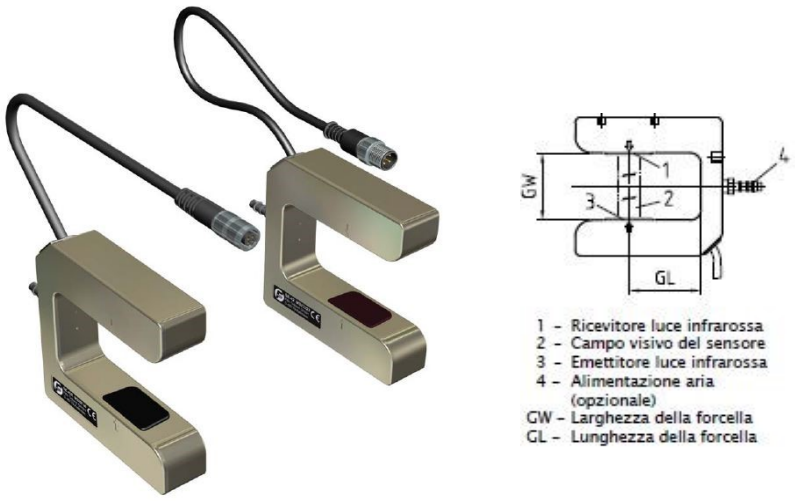

Figura 4.11 Sensore Fife SE-42R

Analizzando le varie opzioni disponibili per evitare di svolgere queste operazioni durante il cambio formato, si è scelto di cambiare i sensori, optando per dei Fife DSE-17 (figura 4.12), con principio di funzionamento praticamente identico ai precedenti, ma con un campo visivo del sensore molto più grande, le cui dimensioni possono essere scelte tra tre opzioni: 160mm, 300mm e 420mm. Tenendo conto della differenza di larghezza tra il formato più grande e quello più piccolo dei prodotti da realizzare, si è scelto quello da 160mm. Il set point, in questo caso, non è fisso ma è possibile posizionarlo attraverso un comando software. Questo, ovviamente, viene cambiato automaticamente alla scelta del formato e, quindi, non è necessario modificare la posizione dell'intero sensore.

Figura 4.12 Sensore Fife DSE-17

4.3 Pistole colla

Le pistole colla sono una delle unità più importanti all'interno della linea. Infatti, le operazioni di incollaggio sono diverse e tutte di notevole importanza. Vengono utilizzate sia per il collegamento tra parti diverse del prodotto, ma anche, per esempio, per quello tra gli elastici e il non-woven. Queste operazioni avvengono, dunque, grazie all'utilizzo di 12 tipologie diverse di pistole colla, utilizzate in base all'attività da svolgere, che devono essere posizionate nel corretto punto per l'applicazione e quest'ultimo dipende dal formato del prodotto. In questo progetto è stata presa in analisi una pistola della NORDSON. Queste hanno un layout composto da tre componenti principali:

- Fusore → è l'elemento del sistema che permette di avere la colla in stato fuso, pronta per l'applicazione in macchina. È composto da una parte elettrica e da una idraulica. La prima gestisce la temperatura all'interno della pistola, la seconda ha il compito di movimentare la colla. La parte idraulica è formata da una pompa volumetrica e da un filtro, che ha il compito di trattenere le impurità;
- Tubo → Composto da un'anima in gomma con delle resistenze elettriche avvolte attorno che servono per mantenere costante la temperatura della colla all'interno del tubo. È preferibile che il tubo sia corto, in modo che il percorso della colla sia più breve, per ridurre le perdite di carico, di pressione e avere una temperatura più uniforme. Nel caso non fosse possibile ciò, oppure si dovesse utilizzare una colla con viscosità elevata, è consigliabile aumentare il diametro del tubo in modo da aumentare la portata della colla, che scorrerà facilmente al centro ma tenderà ad attaccarsi ai bordi. Infine, questi devono essere posizionati ad una distanza minima di 10cm l'uno dall'altro, per evitare che le resistenze si surriscaldino, e non devono presentare pieghe a 90°;
- Applicatore → questo è composto dal modulo di applicazione e dall'ugello e ha la funzione di distribuire la colla nella zona di interesse. L'applicatore può essere di due differenti tipologie, slot e spray, ognuna con diverse opzioni di ugello utilizzabile. Ogni tipologia di combinazione tra applicatore e ugello ha determinate condizioni di utilizzo per quanto riguarda l'inclinazione della

pistola e la configurazione dei rulli per il passaggio materiale. Ad esempio, un applicatore spray con ugello di tipo signature deve essere posizionato in modo che l'angolo dell'applicazione (β) sia compreso tra 90° e 105° e che il punto dove avviene tale operazione corrisponda ad una gobba di materiale, in modo che la colla non "rimbalzi". Inoltre, il punto di accoppiamento dei prodotti deve essere molto vicino al punto di posizionamento della colla, per evitare che questa si freddi e inglobi agenti contaminanti (Figura 4.13).

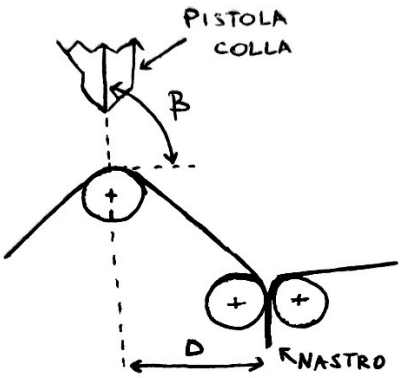

Figure 4.13 Rappresentazione posizionamento della pistola colla rispetto al materiale

L'intera pistola viene collegata a telaio attraverso un supporto, che dovrà necessariamente avere un meccanismo per permettere lo spostamento dell'unità durante le operazioni di cambio formato. Le prime tipologie di supporto sviluppate erano semplici, presentavano un meccanismo di movimentazione composto da una manopola attraverso la quale si ruotava una vite che spostava l'intero supporto e due manopole per il bloccaggio al raggiungimento della posizione corretta. Inoltre, erano predisposte per il montaggio di una sola pistola, mentre nella maggioranza delle applicazioni ne servono due. Per questo, per ogni zona nella quale era necessario l'incollaggio, bisognava montare due supporti differenti.

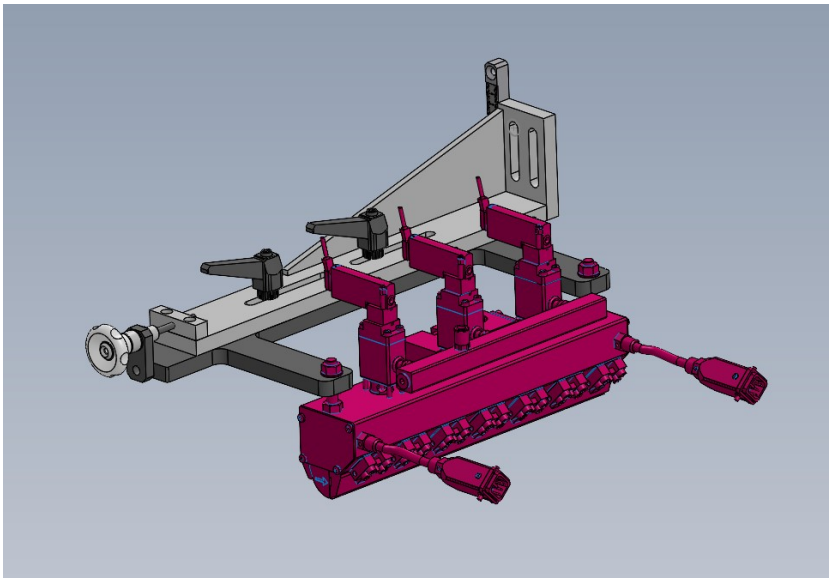

Figura 4.14 Vecchio supporto per pistola colla

Nell'azienda è stato, quindi, sviluppato un nuovo tipo di supporto, in figura 4.15, che migliorasse quello esistente. Per prima cosa, questa soluzione permette il collegamento di entrambe le pistole colla, evitando di dover utilizzare due supporti per ogni zona di applicazione.

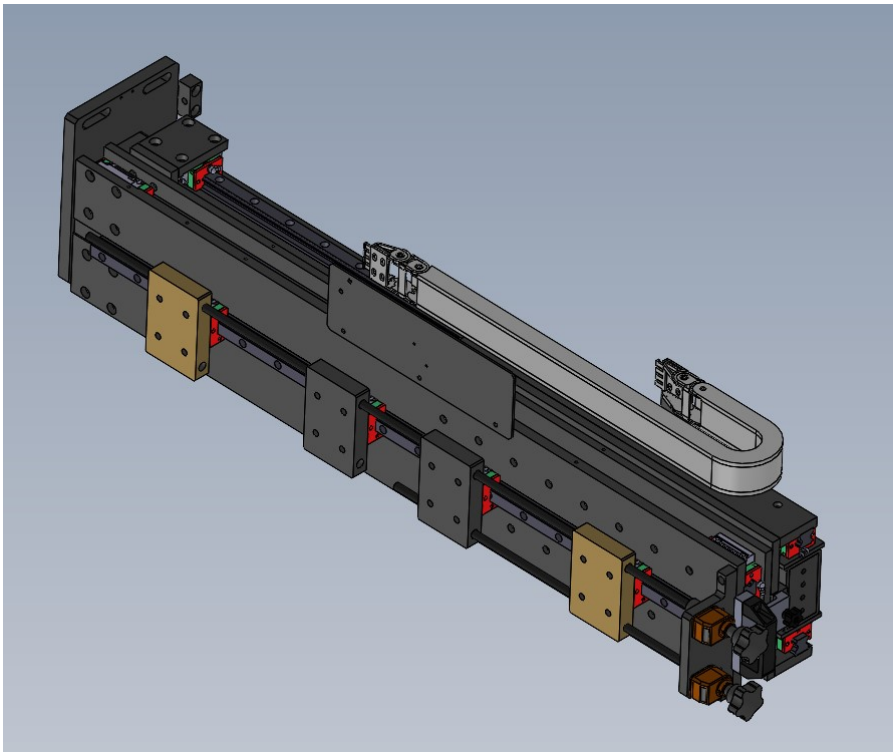

Figura 4.15 Nuovo supporto per pistola colla

Inoltre, grazie a otto sistemi di guida lineari a ricircolo di sfere posti su due livelli diversi, il supporto risulta essere scorrevole e quindi permette lo spostamento, al di fuori della linea, delle pistole colla che necessitano periodicamente della pulizia dell'ugello, che si sporca con residui di colla che rimangono attaccati. Questo avvantaggia di molto la comodità delle operazioni di manutenzione. Si è scelto di disporre le guide su due livelli in modo da ottenere un determinato valore di spostamento verso l'esterno della linea limitando lo sviluppo in lunghezza delle guide e del supporto stesso. Anche in questo caso l'operazione di regolazione avviene tramite due sistemi identici, uno per pistola, composti da una manopola che fa ruotare una vite che, a sua volta, fa spostare una madrevite alla quale viene collegato l'applicatore della colla. Lo spostamento delle pistole è supportato attraverso l'utilizzo di altre guide lineari a ricircolo di sfere, alle quali vengono collegate le madreviti, che conferiscono robustezza e maggiore precisione al movimento delle pistole. Per rendere questa operazione automatica è stata pensata ed effettuata la medesima modifica utilizzata per le barre a 45°, cioè l'installazione di un motore passo-passo al posto della manovella, che muovesse in maniera automatica la pistola nella posizione corretta e che la bloccasse per evitare spostamenti involontari.

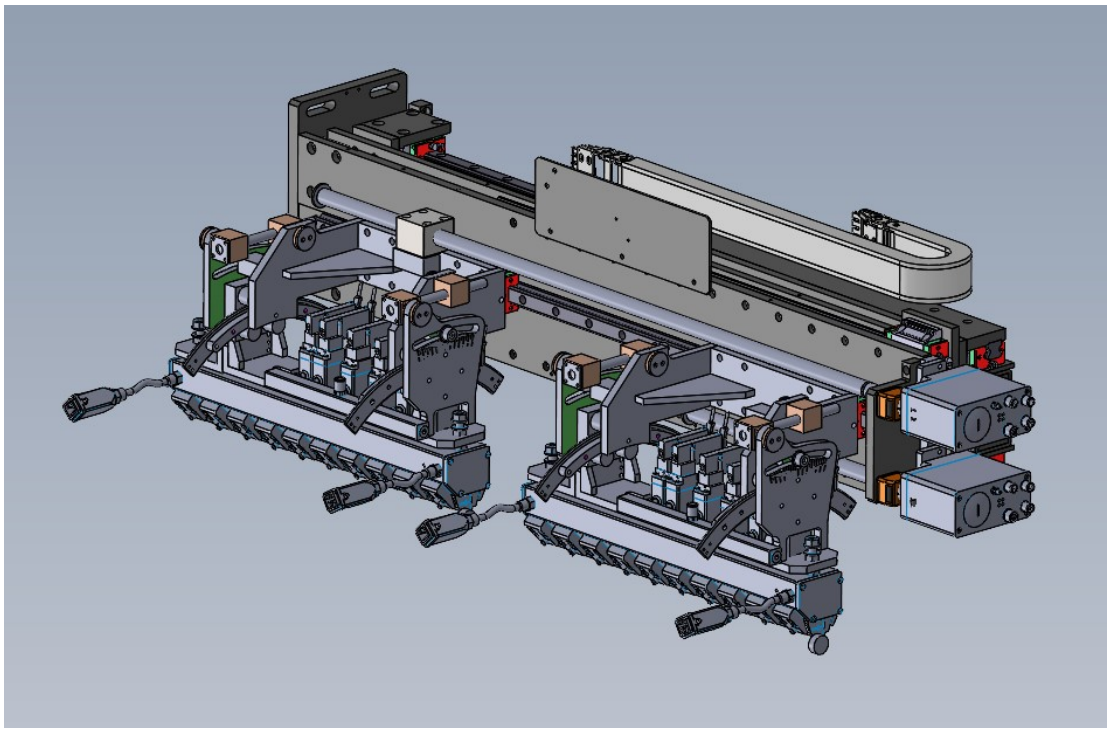

Figura 4.16 Unità pistole colla con movimentazione automatica

Si è quindi arrivati alla configurazione finale (figura 4.16) nella quale però si nota un particolare supporto (figura 4.17) per il collegamento della pistola alla madrevite che la fa muovere.

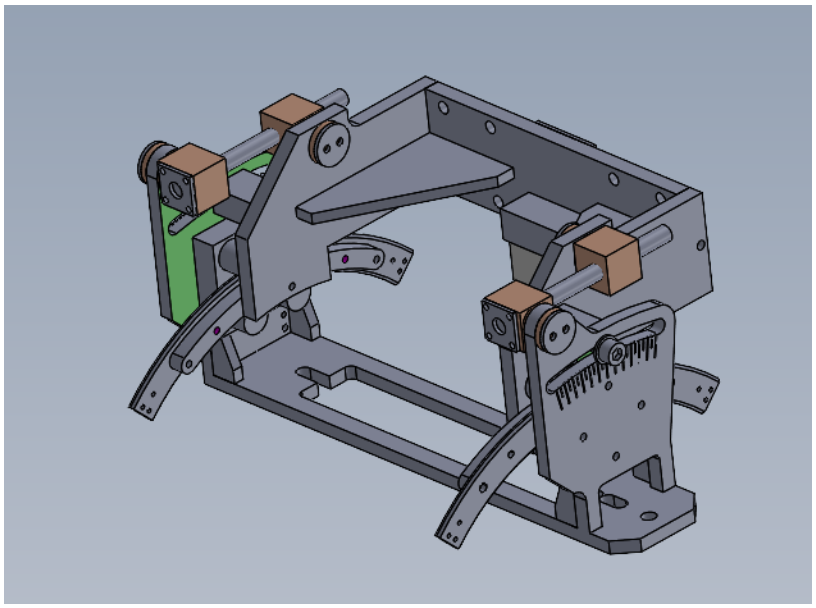

Figura 4.17 Supporto per il collegamento pistola colla-madrevite

Questo è stato pensato per poter collegare alcune delle diverse tipologie di pistole colla utilizzate nell'intera linea, in modo che si potesse adoperare sempre la stessa staffa per il collegamento a telaio. Come già descritto in precedenza, però, ogni tipologia di applicatore ha delle specifiche condizioni di utilizzo per poter funzionare al meglio. La modifica principale da effettuare riguarda l'angolo di applicazione della colla e, per fare questa operazione, il supporto è dotato di una guida ad arco di circonferenza. Questa è stata pensata in modo tale da far ruotare la pistola, come se il fulcro fosse posizionato sull'ugello di uscita della colla, allentando la vite, che poi verrà stretta una volta arrivati in una posizione tale da garantire l'angolo di applicazione corretto. Questa regolazione è stata lasciata manuale in quanto si rende necessaria solo quando c'è da sostituire la tipologia di applicatore, operazione svolta manualmente dagli operatori.

A causa della complessità del sistema e dell'elevato peso generale, è stato ritenuto necessario effettuare un'analisi FEM sulla staffa più interna, quella effettivamente collegata al telaio e sulla quale si scaricano tutte le forze e i momenti presenti.

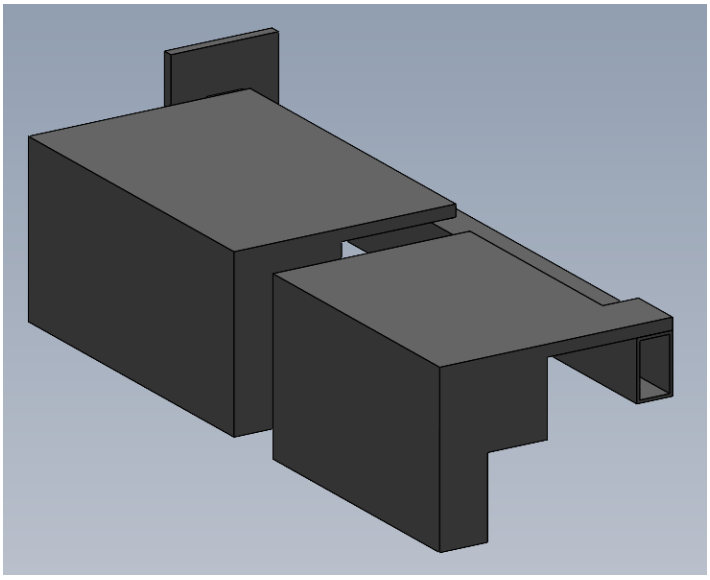

Figura 4.18 Semplificazione dell'unità pistole colla per l'analisi FEM

Per prima cosa è stata semplificata l'intera unità e idealizzata come nella figura 4.18, in modo da rendere più leggera l'analisi commettendo un errore trascurabile. Per poter applicare il carico nella posizione corretta sono state modellate due notevoli semplificazioni delle due pistole colla e di tutte quelle parti collegate alla staffa, che, per svolgere l'analisi, sono stati considerati come corpi rigidi, cioè non soggetti ad alcuna deformazione. La zona di unione è stata scelta come rappresentato in figura 4.18 per simulare le dimensioni della zona in cui vengono scaricate le forze; infatti, nel modello reale il collegamento della pistola alla sinistra avviene tramite la guida lineare, mentre quella di destra avviene tramite il pattino della guida. Tutto ciò è stato fatto tenendo in considerazione le distanze reali che ci sono tra la staffa e la pistola colla, in modo che le forze siano applicate nella giusta posizione. Quindi, effettuando una valutazione dei pesi di tutti i corpi, è stato deciso di effettuare la simulazione applicando una forza complessiva di 1200 N, cioè di circa 120 kg, divisi equamente tra le due pistole. Queste sono state applicate in maniera distribuita nella zona inferiore delle semplificazioni delle due pistole, in modo da considerare anche un caso più gravoso, in quanto la maggior parte delle masse, nella situazione reale, sono più vicine alla staffa centrale rispetto a quanto effettivamente considerato nella simulazione. I risultati dell'analisi FEM sono rappresentati in figura 4.19 e 4.20, che rappresentano, rispettivamente, le tensioni applicate sulla staffa e lo spostamento della staffa.

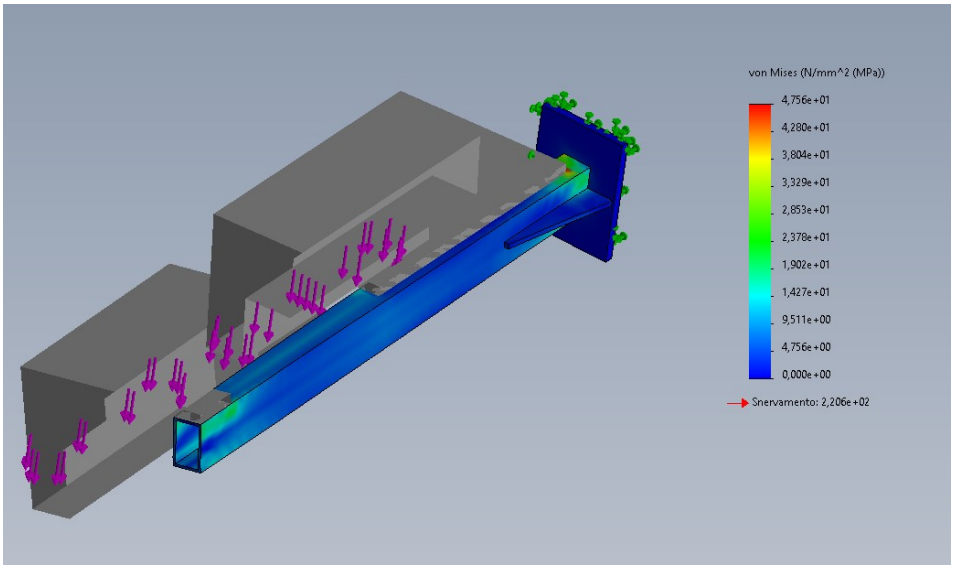

Figura 4.19 Tensioni applicate alla staffa

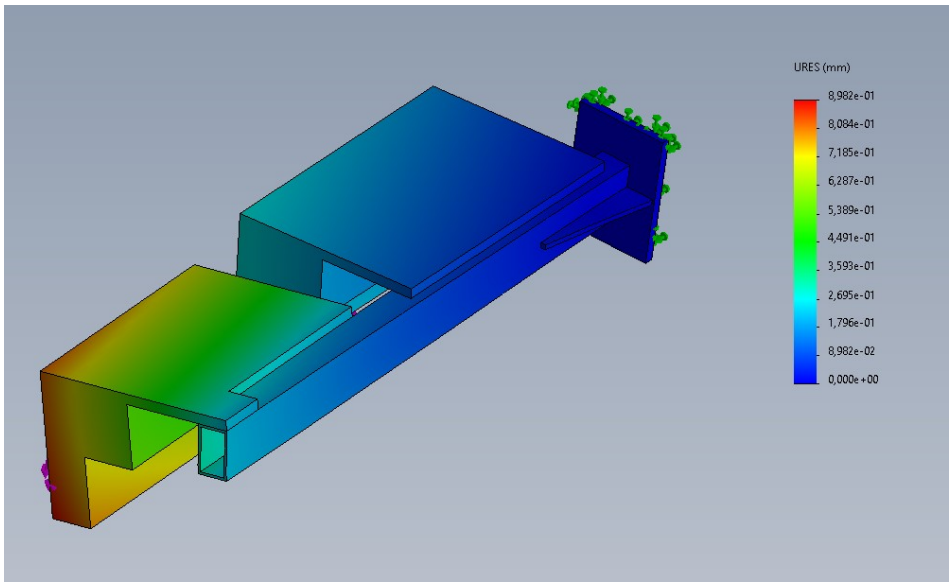

Figura 4.20 Spostamenti della staffa e delle pistole colla

Si può notare, dalla figura 4.19, come la massima tensione presente sia nella zona di collegamento della pistola più vicina al telaio e sia pari a circa 47 Mpa, quindi notevolmente inferiore alla tensione di snervamento. Inoltre, guardando agli spostamenti in figura 4.20, si nota che anch'essi risultano essere poco rilevanti e che il valore massimo che si raggiunge sulla pistola più lontana dal telaio, pari a circa 9 decimi di millimetro, non pregiudica la corretta riuscita dell'operazione.

Infine, seguendo il procedimento già spiegato nel paragrafo 4.1 riguardante le barre a 45°, è stata calcolata la coppia necessaria per lo spostamento della pistola colla in modo da poter scegliere il motore. Considerando gli stessi parametri già utilizzati in precedenza, con la sola differenza della F_{tot}, cioè della forza totale applicata alla barra filettata, in questo caso composta dalla sola forza d'inerzia. La massa considerata per il calcolo dell'inerzia è stata supposta pari a 30 kg, considerando il peso della pistola e del supporto per il collegamento con la madrevite. La coppia applicata è quindi risultata pari a:

$$T = \frac{F_{tot}\, d}{2}\left(\frac{p+\frac{\pi f d}{cos\alpha}}{\pi d-\frac{fp}{cos\alpha}}\right) = 0.55\ Nm \qquad \text{(Eq 4.8)}$$

Anche in questo caso la coppia risultante è bassa, ma per le stesse motivazioni spiegate nel paragrafo 4.1, si è optato per il motore passo-passo lika RD1A-T48, il medesimo scelto per l'unità delle barre a 45°. Ovviamente, vi è la necessità di installare due motori differenti, uno per ogni pistola presente.

4.4 Piegatore waist

L'unità che prende il nome di piegatore waist ha il compito di realizzare due pieghe all'estremità esterna delle due fasce di materiale che andranno a formare la fascia situata nella zona della addominale. Questa operazione viene svolta per far si che lo slip non presenti un taglio netto nel lembo in alto della fascia della vita e risulti, quindi, esteticamente più piacevole.

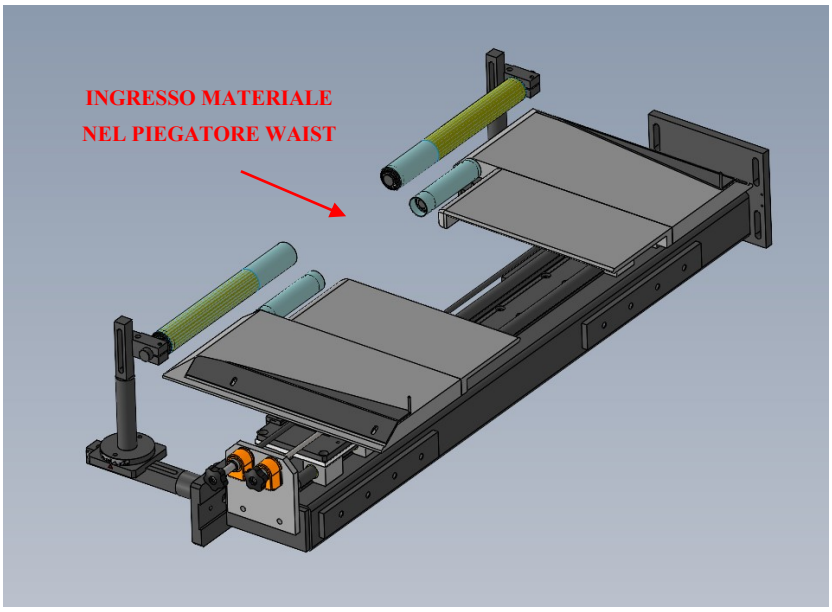

Figura 4.21 Piegatore waist con regolazione manuale

Il piegatore è composto da una staffa per il collegamento a telaio alla quale è collegato un sistema di movimentazione che sposta due grandi piastre, che si occuperanno di effettuare la piegatura. Le fasce di materiale, in ingresso nell'unità, vengono guidate da due coppia di rulli che le indirizzano in modo da farle salire sulle due piastre, una per ogni fascia. Una volta che queste ultime si trovano a scorrere sulle piastre trovano un ostacolo, che presenta un lato inclinato, che fa in modo che le fasce di materiale si ripieghino su loro stesse, nella zona dell'estremità esterna, di una determinata quantità. Come è facilmente intuibile, è necessario un sistema di movimentazione che possa regolare la distanza che intercorre tra le due piastre, in quanto questa dipende necessariamente dalle dimensioni del prodotto da realizzare e, quindi, dal formato. Il sistema di movimentazione di tipo manuale è composto da due barre lisce, poste inferiormente, che fungono da guida e da sostegno, alle quali vengono collegate le

piastre. Entrambi i sistemi di connessione sono composti da quattro boccole, due per barra, alle quali è collegata una piccola piastra che presenta il supporto di effettivo collegamento, che è quello comandato dalle manopole tramite barre filettate per lo spostamento effettivo. Quello in figura 4.22 è della piastra che si trova più lontana dal telaio. Si può notare come questo supporto abbia un foro filettato per il collegamento con la manopola che ne comanderà il movimento e un ulteriore foro, in questo caso liscio, per permettere il passaggio della barra filettata che si occuperà dello spostamento della piastra vicina al telaio.

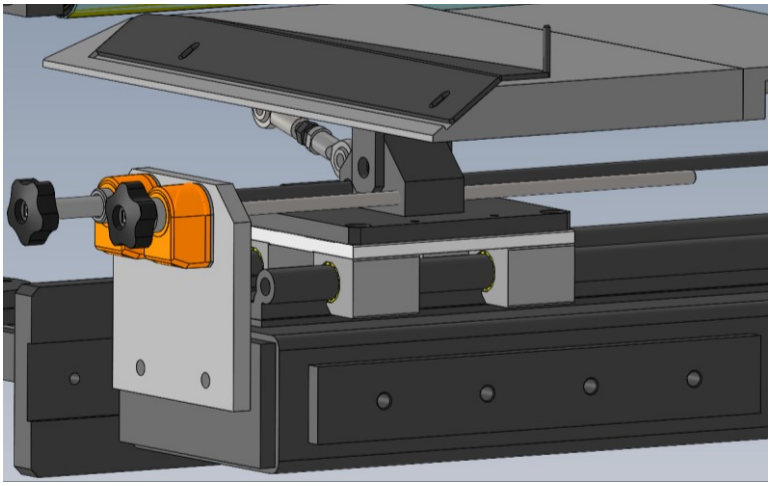

Figura 4.22 Dettaglio del sistema di movimentazione del piegatore waist

Per poter effettuare in maniera automatica la regolazione dell'unità è stata effettuata una modifica simile a quella apportata all'unità delle barre a 45°. Infatti, le barre lisce sono state sostituite da delle guide lineari a ricircolo di sfere per conferire maggior rigidezza, minor gioco e, quindi, maggior precisione al sistema di movimentazione. Al di sopra dei pattini sono stati montati i supporti per le due piastre, che fungono da madrevite per la barra filettata che si occupa dello spostamento. Queste ultime sono azionate da dei motori elettrici passo-passo, per le stesse motivazioni espresse nel paragrafo 4.1 riguardanti la scelta di quelli per le barre a 45°.

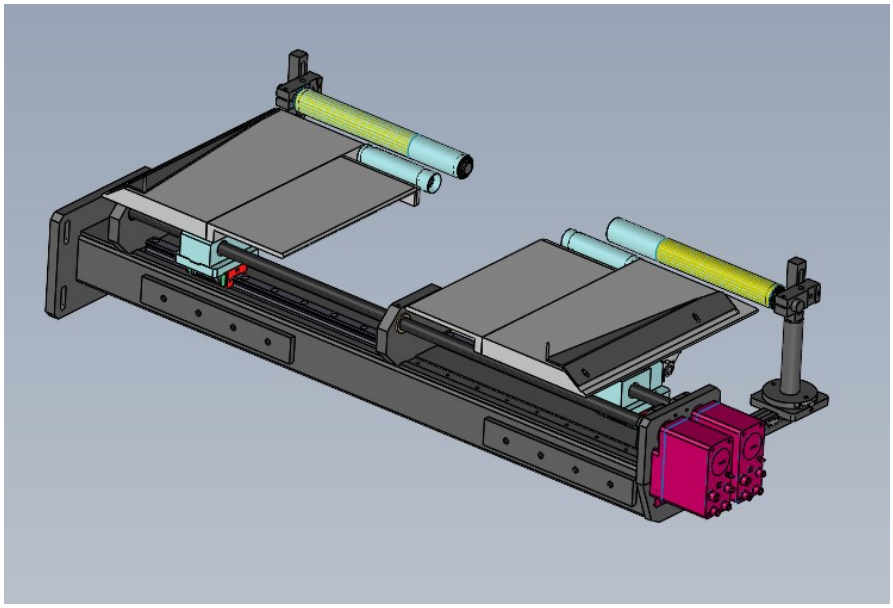

Figura 4.23 Piegatore waist con regolazione automatica

La scelta del motore è stata fatta seguendo lo stesso procedimento utilizzato sia per le barre a 45° che per le pistole colla. Utilizzando gli stessi parametri specificati nel capitolo 4.1 e considerando la F_{tot} formata dalla sola forza inerziale e una massa da spostare pari a circa 10 kg, la coppia necessaria allo spostamento risulta essere la seguente:

$$T = \frac{F_{tot}\, d}{2}\left(\frac{p+\frac{\pi f d}{cos\alpha}}{\pi d-\frac{fp}{cos\alpha}}\right) = 0.2\ Nm \qquad \text{(Eq 4.9)}$$

Anche in questo caso la coppia risultante è bassa e per le stesse motivazioni spiegate nel paragrafo 4.1 e nel 4.3, si è optato per il motore passo-passo lika RD1A-T48, il medesimo scelto per l'unità delle barre a 45° e per le pistole colla. Anche in questo caso vi è la necessità di installare due motori differenti, uno per ogni piastra.

4.5 Ballerino per il controllo del tiro del materiale

L'unità di controllo del tiro, che prende il nome di ballerino a causa del suo funzionamento, non fa parte di quelle unità che vengono regolate o cambiate durante le operazioni di cambio formato. È stata presa in considerazione una sua modifica, però, perché era possibile un miglioramento della sua precisione e della sua affidabilità. Infatti, la vecchia unità, in figura 4.24, è composta da un braccio che può ruotare intorno al fulcro collegato al telaio, con a sinistra un contrappeso e sulla destra dei rulli sui quali viene fatto passare il materiale.

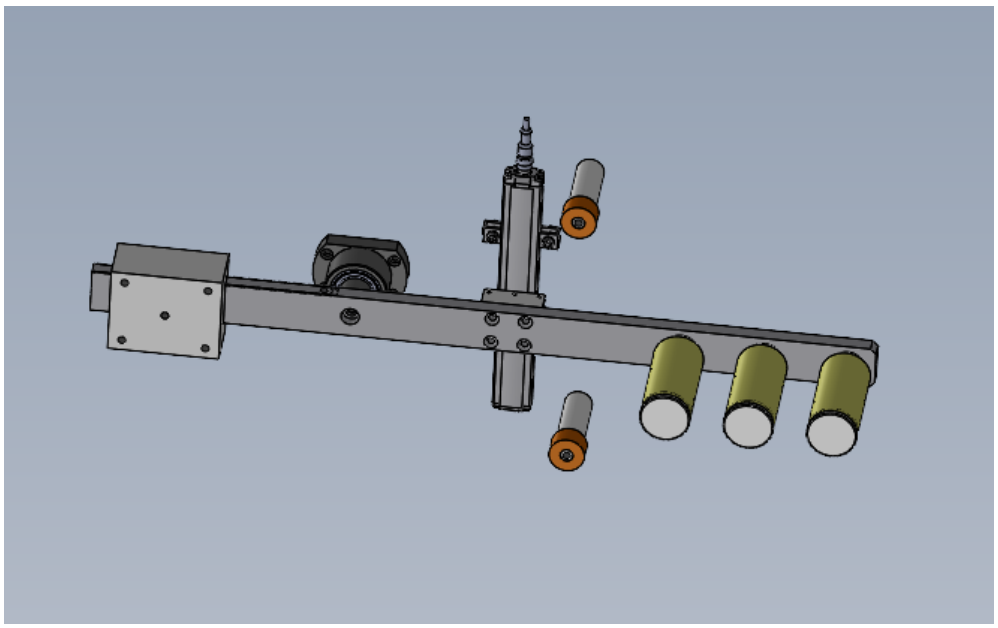

Figura 4.24 Vecchia unità del ballerino

Inoltre, è presente un trasduttore lineare di posizione, al centro dell'unità, che ha il compito di leggere l'angolazione del braccio. Per fare ciò è presente una parte, solidale alla barra rotante, e un sensore, solidale al telaio, e due rulli di fine corsa che sono posti in corrispondenza dei punti di 0% e 100% di lettura. Un'eventuale variazione del tiro del materiale comporterebbe una rotazione verso il basso o verso l'alto del braccio e, quindi, della parte di trasduttore ad esso solidale. Il sensore, influenzato dalla posizione del braccio, genera segnali di output che il PLC converte in spostamento angolare. Quest'ultimo, a sua volta, aziona i motori elettrici dei rulli di traino in modo da correggere il tiro del materiale e riportarlo al valore corretto. Questa soluzione, però, ha degli svantaggi in quanto, per poter funzionare correttamente, il range di

misurazione deve essere centrato perfettamente con il sensore montato a telaio, altrimenti la misura risulta errata. Questo è provocato da eventuali errori di montaggio iniziale, oppure durante la sostituzione per un guasto, del sistema al telaio che contiene il sensore, che ne vanno a pregiudicare il corretto posizionamento e, quindi, la corretta lettura. Per poter ovviare a questo problema si è scelto un trasduttore di posizione angolare e il sistema è stato modificato come in figura 4.25.

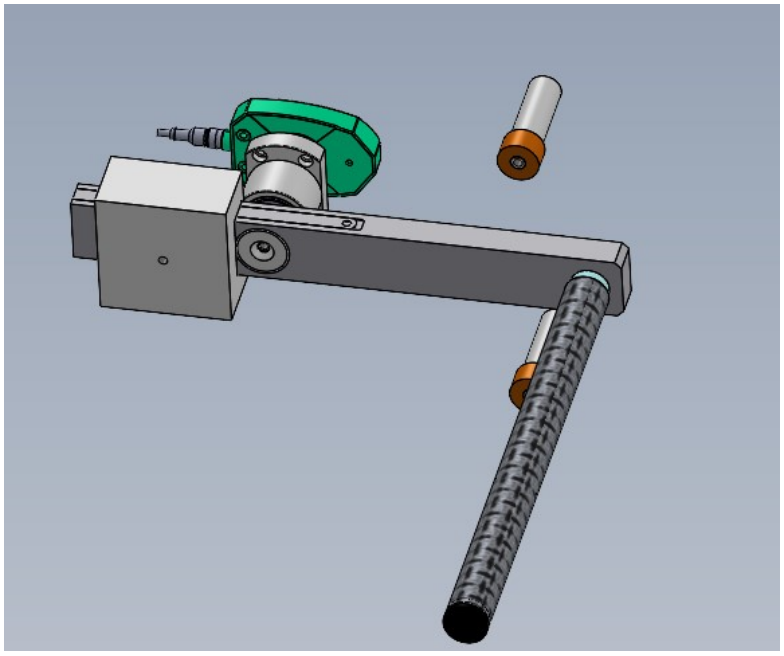

Figura 4.25 Nuova unità del ballerino

Il funzionamento generale è praticamente uguale, è stato modificato il tipo di sensore, che ora è posizionato nel fulcro della rotazione del braccio. Il trasduttore di posizione angolare risulta essere molto più pratico e intuitivo da montare, riducendo così eventuali errori di posizionamento che ne pregiudicano il corretto funzionamento.

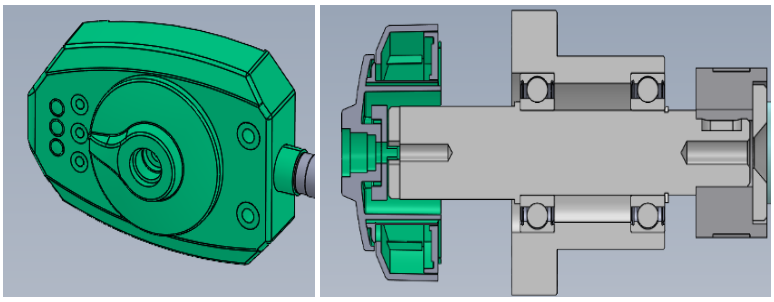

Figura 4.26 Trasduttore sulla sinistra, sezione del collegamento trasduttore-braccio sulla destra

Questo ha una parte esterna, solidale al telaio, e una parte interna circolare solidale ad un albero che ruota insieme al braccio del ballerino. In questo modo, dopo aver settato uno zero, eventuali rotazioni della parte centrale del trasduttore, e cioè del sistema in generale, rispetto alla parte esterna fanno nascere dei segnali di output. Questi verranno inviati al PLC che, in base al segnale ricevuto, azionerà i motori dei rulli di traino in modo da far variare il tiro del materiale, per riportarlo al valore corretto.

5. Conclusioni

L'obiettivo della tesi è stato raggiunto modificando le unità prese in esame, rendendo possibile la loro regolazione automatica durante le operazioni di cambio formato e, in alcuni casi, migliorandone il funzionamento generale, risolvendo alcuni problemi che affliggevano le configurazioni attuali. Questo lavoro ha portato ad una stima dei vantaggi ottenibili attraverso l'adozione delle nuove unità. Infatti, inizialmente il tempo complessivo per la realizzazione di tutte le sessantaquattro operazioni che si svolgono durante il cambio formato è risultato essere pari a 558 minuti, cioè a poco più di nove ore. Rendendo automatiche le operazioni di regolazione per barre a 45°, per gli allineatori Fife, per le pistole colla e per i piegatori waist e ipotizzando che, dopo le modifiche effettuate, i tempi di setup per queste quattro unità siano istantanei e, quindi, trascurabili rispetto alle altre operazioni, il tempo di setup si riduce del 68,3%. Questo passa, così, a 177 minuti, cioè circa tre ore, con un risparmio di 381 minuti, cioè di oltre sei ore. Ovviamente, questo comporta notevoli benefici in termini di aumento della produttività, poiché è necessario un minor tempo di fermo della linea, ma anche di versatilità, in quanto, con questi tempi di setup, passare da un formato all'altro non comporta una perdita economica eccessiva. La modifica dell'unità del ballerino per il controllo del tiro, infine, non ha un impatto sulle operazioni di cambio formato, ma comporta un miglioramento del funzionamento generale e della semplicità di montaggio dell'unità, a fronte di una modifica di piccola entità.

6. Bibliografia e sitografia

[1] «Lean manufacturing,» [Online]. Available: www.leanmanufacturing.it.

[2] «Lika, smart encoders & actuators,» [Online]. Available: www.lika.it.

[3] «Maxcess Fife,» [Online]. Available: www.maxcess.it/fife.

[4] D. R. Roisum, The mechanics of web handling, Tappi press.

[5] «Mitconsulting,» [Online]. Available: www.mitconsulting.it.

[6] J. E. Shigley, R. G. Budynas e K. J. Nisbett, Progetto e costruzione di macchine, McGraw-Hill.