

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITA' DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA
Sede di Forlì

Corso di Laurea in
INGEGNERIA MECCANICA
Classe LM-33

TESI DI LAUREA

in Meccanica dei Robot e delle Macchine Automatiche LM

STUDIO E OTTIMIZZAZIONE DEL MODULO
RAGGRUPPATORE DI UNA MACCHINA
CONFEZIONATRICE PER PRODOTTI
IGIENICO SANITARI FEMMINILI

CANDIDATO
Marco Molari

RELATORE
Prof. Marco Troncossi

CORRELATORE
Maurizio Alpi

Anno Accademico 2014/2015
Sessione III

SOMMARIO

ABSTRACT	5
INTRODUZIONE	7
Presentazione dell'azienda	7
Contenuto dell'elaborato	8
CAPITOLO 1 – ILLUSTRAZIONE DELLA MACCHINA VIRE	9
1.1 – Premessa	9
1.2 – Converter ed interfaccia con la macchina confezionatrice	9
1.3 – Ingresso in catena	11
1.4 – Estrattore	13
1.5 – Pre-compressione	14
1.6 - Asse X-Y	16
1.7 – Trasporto positivo a pioli	17
1.8 – Over-compressione	20
1.9 – Introduttore	21
1.10 – Imbustamento	22
1.11 – Saldatura	24
CAPITOLO 2 – LA CASA DELLA QUALITÀ	27
2.1 – Introduzione	27
2.2 – Struttura della Casa della Qualità	29
2.3 – Benchmarking	32
2.4 - Valutazione di importanza delle categorie di mercato	37
2.5 – Scelta delle soluzioni tecniche	41
2.6 – Il tetto: interazioni tra le soluzioni tecniche	44
2.7 – Risultati ottenuti	46
CAPITOLO 3 – IL CICLOGRAMMA	49
3.1 – I prodotti elaborati	49
3.2 – La camma virtuale	51
3.3 – Costruzione del profilo di moto	52
3.4 – Compilazione della prima parte del ciclogramma	58
3.5 – Miglioramento delle corse	61
3.6 – Il ciclogramma migliorato	64
CAPITOLO 4 – MODELLO MATEMATICO DEL MODULO ESTRATTORE	65
4.1 – Gruppo estrattore	65

4.2 – Il modello cinematico	68
4.2.1 – Il profilo polinomiale.....	70
4.2.2 – Il profilo trigonometrico	75
4.2.3 – Confronto con i dati sperimentali e scelta del profilo	80
4.3 – Il modello dinamico	83
4.3.1 – Valutazione delle inerzie equivalenti	85
4.3.2 – La coppia resistente	87
4.3.3 – Validazione del modello	90
4.4 – L’estrattore a camma	94
4.4.1 – Struttura	95
4.4.2 – Profilo di posizione.....	97
4.4.3 – Variazione del ciclogramma	98
4.4.4 – Variazione del profilo del carrello	100
4.4.5 – Verifica Dinamica.....	101
CAPITOLO 5 – SVILUPPI TECNICI MECCANICI	105
5.1 – Miglioramento delle corse	105
5.2 – Lo stopper aspirato	111
CONCLUSIONI	113
SITOGRAFIA	114

ABSTRACT

Le macchine automatiche prodotte dall'azienda VIRE Automation di Faenza sono atte al confezionamento di prodotti igienico sanitari del settore baby, femminile e adulto. La macchina può essere suddivisa in due gruppi funzionali, il primo legato al raggruppamento dei prodotti in pile e il secondo dedicato al confezionamento vero e proprio. Il presente elaborato consiste nello studio e nella progettazione del raggruppatore della macchina dedicata ai prodotti femminili; in particolare lo scopo è il corretto funzionamento del gruppo con performance superiori a quelle attuali. Il progetto si è articolato nell'applicazione del metodo della Casa della Qualità come strumento di supporto, per poi passare allo studio della parte logica della macchina ed una analisi cinematica e dinamica del gruppo estrattore; infine vengono presentate ulteriori soluzioni tecniche adottate.

INTRODUZIONE

Presentazione dell'azienda

VIRE, fondata nel 1973, opera nel campo delle macchine automatiche, in particolare per il confezionamento di prodotti igienico-sanitari, quali pannolini, sia per bambini che per adulti incontinenti, assorbenti e cerotti.

La capacità progettuale e la costante ricerca tecnologica del suo team tecnico hanno portato alla produzione di impianti estremamente affidabili e di qualità, decretandone il successo in campo nazionale ed internazionale. La flessibilità produttiva, che consente la personalizzazione delle sue macchine rispettando le diverse esigenze produttive del cliente, si è rivelata uno degli elementi vincenti della VIRE.

Dal 2007 è entrata a far parte del gruppo Bucci, diventando l'ultimo marchio tra i cinque brand che, a seguito di investimenti in ricerca e innovazione, hanno reso la Bucci Industries competitiva in tutti i campi in cui opera.

Ad oggi VIRE offre ai propri clienti tre principali serie di macchine per il confezionamento dei prodotti:

- Serie K per pannolini baby;
- Serie M per pannolini incontinenti;
- Serie F per assorbenti;

Per ogni tipologia di macchina vengono presentati tre livelli di performance in modo che il cliente possa scegliere ciò che più si adatta alle sue richieste; questi livelli passano da medio a super performante.

Ognuna di queste macchine presenta una stadio iniziale di raggruppamento, dove i prodotti provenienti dal Converter vengono disposti in modo da formare la pila che finirà all'interno del film protettivo, e una successiva fase di confezionamento, nella quale i prodotti vengono compressi e inseriti all'interno della busta che viene poi saldata. Questi stadi possono essere venduti separatamente oppure assieme, andando a formare la cosiddetta versione integrata.

Per quanto riguarda i cerotti e la loro produzione, vengono progettate macchine rotative raccolte nella serie P, con due livelli di prestazione.

Contenuto dell'elaborato

In questa ricerca è racchiuso lo studio e la progettazione del gruppo raggruppatore della macchina dedicata ai prodotti femminili. Il raggruppatore deve essere in grado di processare diversi tipi di prodotti, caratterizzati ognuno da specifiche dimensioni e ciclicità richieste (per ciclicità si intende il numero di pacchi richiesti ad ogni minuto). Lo scopo è stato quello di studiare il gruppo raggruppatore in modo da consentirne il funzionamento a due livelli di prestazioni differenti, dedicati ognuno ad una categoria di prodotto (grande o piccolo).

Mentre nel primo capitolo vengono presentati i moduli di cui la generica macchina VIRE è composta con lo scopo di conferire al lettore una maggior comprensione degli argomenti affrontati, nei restanti si illustra come l'obiettivo prefissato è stato realizzato:

- Innanzitutto nel capitolo 2 è stato utilizzato il metodo della Casa della Qualità come strumento di supporto grafico alla progettazione, con lo scopo di evidenziare quali soluzioni tecniche potessero soddisfare al meglio le esigenze del cliente.
- Nel capitolo 3 si è passati poi alla elaborazione del ciclogramma, strumento utilizzato per lo sviluppo della parte logica della macchina. In particolare si è evidenziato come una riduzione delle corse migliori in modo consistente le prestazioni.
- Viene affrontata poi nel capitolo 4 l'analisi cinematica e dinamica del gruppo estrattore della macchina, al fine di studiarne i comportamenti ad alto numero di cicli; ne viene poi presentata un'alternativa creata sulla base di uno studio di miglioramento sul modello odierno.
- Infine nell'ultimo capitolo vengono presentate quelle soluzioni tecnico-meccaniche previste al fine di raggiungere la riduzione delle corse previste nel capitolo 3, oltre ad una soluzione tecnica adottata a seguito delle risposte della Casa della Qualità.

CAPITOLO 1 – ILLUSTRAZIONE DELLA MACCHINA VIRE

1.1 – Premessa

In questo primo capitolo viene illustrato il funzionamento di una classica macchina per il confezionamento di prodotti igienico sanitari firmata VIRE AUTOMATION. Queste macchine sono composte da tanti moduli successivi, dove in ognuno dei quali viene eseguita una fase del processo che può essere di manipolazione della pila di prodotti o della busta oppure di semplice trasferimento di essi. Il sincronismo dei movimenti è un requisito fondamentale di ogni macchina automatica e viene garantito da un dedicato sistema di monitoraggio dei vari assi motorizzati che può avvenire secondo un controllo “in dinamica” o “in posizione”, aspetti che verranno approfonditi nel capitolo 3. Oltre a discutere lo scopo e il funzionamento generale di ogni modulo (senza quindi entrare nel dettaglio), si è cercato di mettere in evidenza, dove vi sono, anche eventuali aspetti critici, i quali emergono soprattutto alle alte ciclicità.

1.2 – Converter ed interfaccia con la macchina confezionatrice

I prodotti igienico sanitari riguardanti il settore baby, adulto e femminile vengono prodotti da macchine automatiche chiamate “Converter”: queste sono composte da una serie di rulli sui quali sono avvolti gli strati di materiale del quale è composto il prodotto finito; durante il processo di formazione il materiale viene svolto dai rulli, stratificato e poi tagliato sulla sagoma della forma finale che si vuole ottenere. I Converter moderni sono in grado di produrre fino a 1500 pezzi al minuto (queste cifre sono riferite alle aziende leader del settore) e di solito i prodotti vengono rilasciati in uscita uno dietro l’altro, stesi su appositi nastri che li consegnano alla macchina confezionatrice.

L’interfaccia tra le due macchine, poste in sequenza, è realizzato tramite nastri: vi sono due nastri che, posti a pochi millimetri l’uno dall’altro, afferrano il prodotto tra le loro facce, garantendone il corretto controllo sulla posizione del prodotto; quest’ultimo viene quindi trasportato fino alla fine del modulo.

Il prodotto, che in uscita dal Converter si presenta in posizione stesa su una delle proprie facce più larghe, non si trova nella configurazione tipica per la sua manipolazione, la quale risulta essere quella “a coltello”, in appoggio cioè sulla

superficie definita dalla lunghezza del prodotto e dal suo spessore. Per questo motivo è necessario che il prodotto, appena avvenuto il passaggio dal Converter alla confezionatrice, cambi il proprio orientamento subendo una rotazione di 90 gradi, avendo come asse la direzione di processo. Questo movimento viene effettuato da nastri, tramite un cosiddetto “twist” (Fig. 1.1): essendo i nastri organi flessibili è possibile ottenere la rotazione desiderata fissando gli assi di rotazione dei rulli di ingresso ed uscita dell’avvolgimento in condizione di ortogonalità.

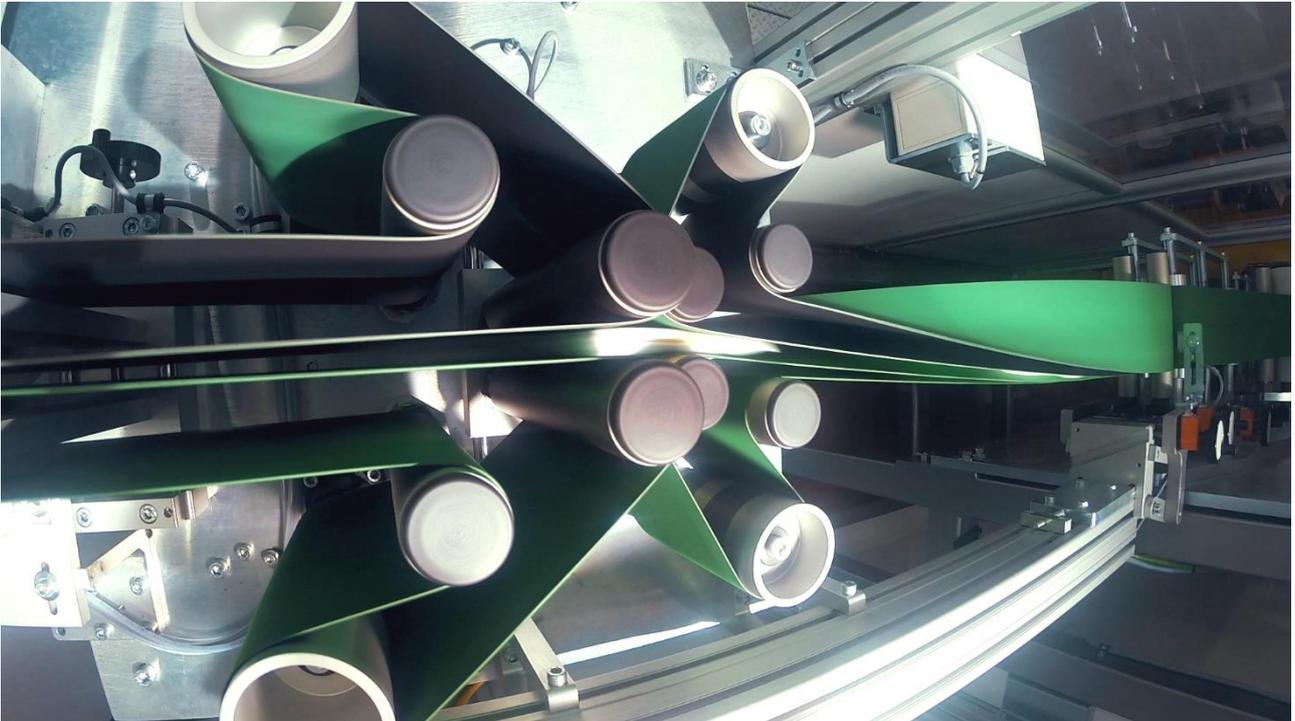


Fig. 1.1: interfaccia con macchina confezionatrice, seguito dal twist.

Al modulo di interfaccia con il Converter è richiesto un certo grado di flessibilità, per consentire l’abbinamento con linee di produzione ognuna delle quali realizza il prodotto ad una determinata altezza dal suolo. Perciò quello che si fa è separare questo modulo in tre parti, sempre composte da nastri:

- La prima parte ha la capacità di variare la propria inclinazione per avvicinarsi a differenti altezze di Converter; è quindi questa prima parte quella dedicata alla correzione del gap di altezze delle due macchine.
- La seconda parte è composta dal twist.
- L’ultima rimane fissa alla macchina impacchettatrice.

Da sottolineare nell’utilizzo dei nastri è che la velocità di un nastro deve essere sempre maggiore o al limite uguale a quella del nastro che lo precede, in quanto in caso contrario si rischia l’accartocciamento del prodotto: la parte iniziale del prodotto

subisce una brusca frenata per via della velocità minore, mentre la parte finale, ancora in contatto con il nastro iniziale, continua a procedere alla stessa velocità, ed essendo incastrato tra due nastri si provoca un accartocciamento obbligato.

1.3 – Ingresso in catena

Una volta che il prodotto è stato ruotato, vi è la necessità di mantenerlo in quella posizione e allo stesso tempo di permettere ai prodotti successivi di depositarsi al suo fianco, in modo da formare la pila che sarà poi elaborata. Per fare ciò si utilizzano catene con palette (Fig. 1.2), dove la catena si sviluppa in direzione perpendicolare rispetto al senso di moto del prodotto. Il prodotto, una volta uscito dall'ultimo nastro, viene depositato nel vano tra due palette; il profilo di moto della catena è tale da generare un vano atto al deposito di un prodotto entro il tempo di cadenza; questo movimento, ripetuto per tutti i prodotti in arrivo dal Converter, genera una fila di prodotti che verranno poi estratti in numero pari a quello desiderato all'interno di una confezione.

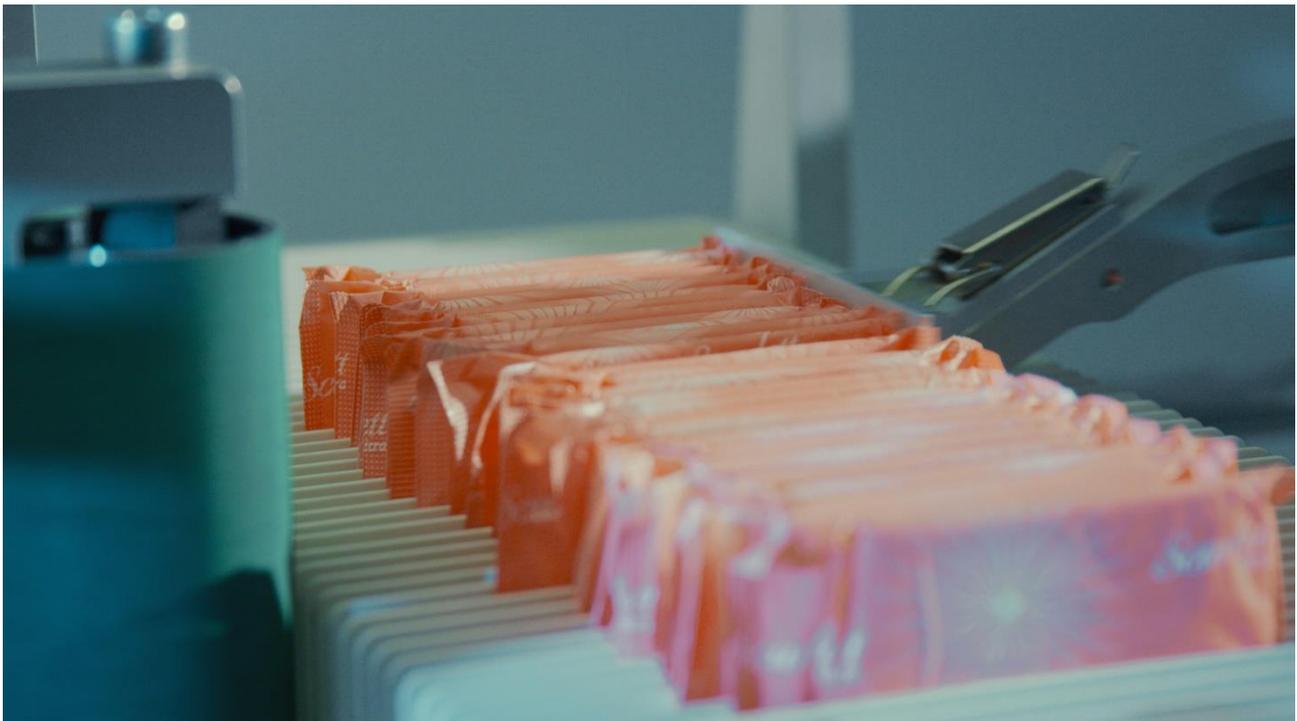


Fig. 1.2: prodotti in catena.

Come accennato nei paragrafi precedenti, i Converter moderni arrivano a produrre 1500 pezzi al minuto, con velocità lineari che possono arrivare oltre 400 m/min . La cadenza reale dei prodotti oscilla rispetto a quella nominale entro un certo range di

tolleranza che può essere causa di un inserimento difficoltoso in catena o addirittura di urto con le palette per via di un difficile controllo del sincronismo della catena con l'arrivo dei prodotti stessi

Una soluzione meccanica a questa problematica consiste nell'utilizzo di un motore lineare movimentato secondo la direzione di avanzamento della catena: il carrello fissato al motore porta i rulli di estremità dei nastri di trasporto permettendo che l'uscita del prodotto dai nastri si possa mantenere allineata con il vano della catena in movimento: così facendo infatti nel sistema di riferimento del prodotto, che si muove assieme all'estremità del nastro introduttore, il vano tra due palette rimane fisso, e l'inserimento è semplice. Un ulteriore vantaggio di questa applicazione è dato dalla possibilità di eseguire l'estrazione (esposta al paragrafo successivo) con catena ferma, in quanto il motore lineare permette all'estremità del nastro che si affaccia alla catena di tornare indietro e riempire gli spazi retrostanti con i prodotti durante il fermo catena, per poi riprendere l'inseguimento appena viene dato il moto.

Le masse movimentate secondo questo profilo di moto alterno ad alta frequenza assoggettano il sistema a carichi inerziali molto elevati; per questo motivo ad alte prestazioni il motore incontra un limite tecnico di tipo termico per il quale le capacità di smaltimento del calore generato non sono sufficienti e portano ad una deriva nel corso di un funzionamento prolungato. Inoltre non è da trascurare nella valutazione del componente il suo alto costo.



Fig. 1.3: stopper.

Per essere fermati nella giusta posizione, poiché per le alte velocità il prodotto potrebbe proseguire la sua corsa al di là delle palette, l'inserimento in catena è gestito con un dispositivo di arresto, detto "stopper" (Fig. 1.3): la sua geometria presenta due elementi fondamentali, la battuta di arresto e la sagomatura dedicata al rallentamento del prodotto per attrito. Per evitare il fenomeno del rimbalzo del prodotto che si avrebbe dopo l'urto contro una superficie ad esso ortogonale occorre disperdere progressivamente la sua energia nel corso dell'inserimento in catena; la sagomatura dello stopper è tale da generare una progressiva riduzione del vano tra le palette della catena costringendo il prodotto a frizionare lateralmente con conseguente rallentamento; la gestione del rimbalzo avviene con una regolazione dell'inclinazione dello stopper.

La catena palette viene realizzata "a formato" secondo due variabili dimensionali del prodotto, altezza e spessore, che si ripercuotono sull'altezza delle palette (effetto contenitivo) e sul passo tra due palette consecutive (agevolazione ingresso).

1.4 – Estrattore

Come spiegato al paragrafo precedente, i prodotti, entrati nella catena, si spostano in direzione perpendicolare a quella di linea macchina, per permettere di ottenere una pila di prodotti che verrà poi elaborata. Il trasferimento della pila di prodotti dalla catena al modulo successivo avviene per mezzo di un dispositivo di estrazione nel quale un braccio collegato ad uno spintore viene movimentato avanti e indietro oppure in camma meccanica.

Questo movimento può essere eseguito con diverse soluzioni, che l'azienda ha affrontato nel corso degli anni. Una delle ultime è l'estrazione a inseguimento (Fig. 1.4): questa tecnica consiste nell'installare l'intero blocco estrattore su di un carrello che insegue la catena nel suo movimento, in modo da eseguire l'operazione di estrazione con velocità relativa nulla; in questo modo, non essendoci strisciamento tra il profilo di estrazione e i prodotti, questi ultimi non subiscono alcun tipo di danneggiamento. Questa soluzione comporta l'utilizzo di due motorizzazioni, una per il movimento del carrello e una per l'avanzamento del braccio. Il braccio viene mosso tramite l'utilizzo di cinghie dentate.

Ulteriore approfondimento sull'estrattore si può trovare al capitolo 4.

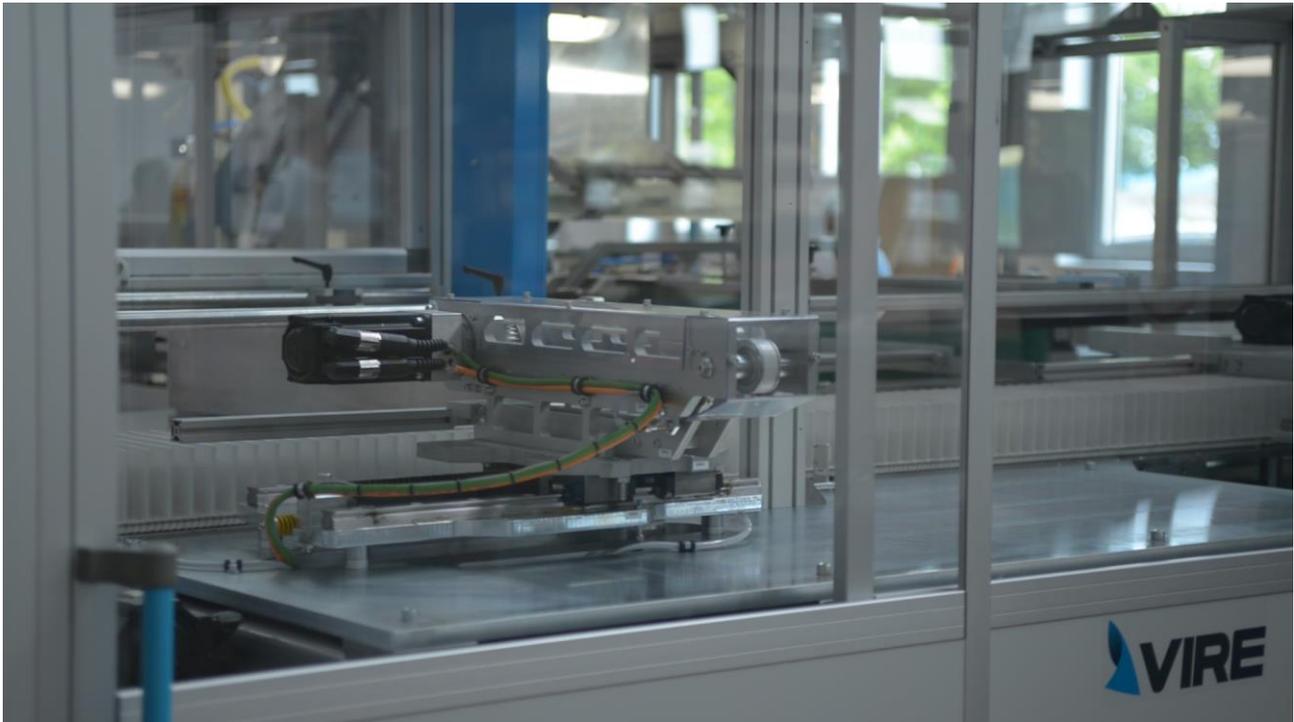


Fig. 1.4: vista posteriore dell'estrattore.

Le palette devono garantire al profilo estrattore, che si affaccia ai prodotti e li spinge in avanti, la possibilità di compiere un'intera corsa, senza essere di intralcio: per questo motivo le palette non avranno un'altezza pari a quella del prodotto, ma saranno più basse, permettendo al braccio estrattore il passaggio sopra di esse (come mostrato in Fig. 1.2)

1.5 – Pre-compressione

La pila di prodotti prima di essere inserita in busta viene compressa concordemente al numero di prodotti che il cliente intende prevedere per una determinata confezione; Il processo di compressione della pila è suddiviso in due fasi, poste in differenti fasi della sequenza di impacchettamento. Nel processo che porta dall'ingresso del singolo prodotto in catena all'imbustamento della pila, la compressione di quest'ultima è suddivisa in più fasi sequenziali, non obbligatoriamente adiacenti. Nel caso infatti la pila venisse compressa fino alla dimensione finale con un solo movimento, il processo potrebbe risultare instabile con possibile “esplosione” della pila e conseguente dispersione dei prodotti; un ulteriore impatto si avrebbe anche sulla ciclicità della macchina, la cui performance, espressa in termini di “tempo ciclo” è direttamente legata all'ampiezza dei movimenti eseguiti.

Per ogni formato richiesto dal cliente sono noti:

- Le dimensioni del prodotto;
- Le dimensioni della confezione finita;
- Il numero di pezzi contenuti nella confezione.

La pressatura complessiva, la cui entità è ricavabile dai suddetti dati, viene ripartita nelle varie fasi in modo tale da bilanciare i tempi dei vari movimenti (e quindi minimizzare il tempo ciclo globale) ed al tempo stesso garantire la stabilità del processo.

La prima di queste fasi di compressione (Fig. 1.5) viene eseguita subito dopo l'estrazione.

I piatti di pressatura devono mantenere la loro posizione fino all'arrivo di un braccio verticale che evacua la zona e accompagna la pila nella stazione successiva, dopodiché possono ritornare nella loro posizione iniziale, in attesa della pila successiva. Dato che la pila arriva in questa sezione accompagnata dall'estrattore con velocità non trascurabili, e che le piastre non oppongono resistenza durante il transito, viene posizionata una battuta meccanica in fondo a questa zona che emerge dal pianale per arrestare la pila in arrivo, per poi scomparire per permettere il passaggio una volta precompressa.



Fig. 1.5: interfaccia tra catena e pre-compressione.

1.6 - Asse X-Y

Il braccio verticale di cui si è accennato nel paragrafo precedente è un componente del modulo denominato “Asse X-Y”: questo prende il suo nome dal fatto che vi è la presenza di due assi di movimento, i quali permettono al braccio meccanico lo spostamento in due differenti direzioni: verticale (Y) e orizzontale (X).

Questo gruppo è fissato alla parte superiore del telaio ed ha il compito di spostare la pila precompressa in avanti nella stazione successiva (il gruppo a pioli). La scelta di una movimentazione di tipo cartesiano (rispetto ad una movimentazione a camma per esempio) deriva dal ridotto spazio di discesa (Fig. 1.7), che permette di collocare la stazione di compressione nelle immediate vicinanze della catena palette, minimizzando la corsa di estrazione; questo comporta uno spazio limitato per l’inserimento di qualsiasi tipo di organo per lo spostamento della pila di prodotti, andando a escluderne qualsiasi tipologia se non la discesa dall’alto verticalmente.

Questa è la sequenza dei movimenti che esso compie (Fig. 1.6):

- Da posizione 0 a posizione 1: il braccio scende in direzione verticale fino a raggiungere l’altezza alla quale spingerà orizzontalmente la pila precompressa.
- Da posizione 1 a posizione 2: avviene il movimento orizzontale: la pila viene spinta in avanti fino al punto desiderato, che sia ribalta pila o gruppo a pioli.
- Da posizione 2 a posizione 0: i due assi rientrano contemporaneamente; mentre infatti il braccio torna indietro, esso risale in modo da portarsi fuori ingombro per la futura pila ed essere già alla posizione di partenza per il prossimo ciclo.



Fig. 1.6: sequenza delle posizioni del braccio del gruppo X-Y.



Fig. 1.7: vista posteriore del braccio del gruppo X-Y.

1.7 – Trasporto positivo a pioli

Una volta che la pila di prodotti è stata inizialmente compressa, può essere trasportata nella stazione finale di impacchettamento, nella quale verrà inserita all'interno della busta, per poi essere saldata ed espulsa. Mentre un tempo si utilizzavano nastri verticali

convergenti che afferravano lateralmente la pila e la trascinavano in avanti, ed allo stesso tempo conferivano anche la restante parte di compressione ancora da eseguire, si è passati oggi ad un approccio legato a un trasporto di tipo positivo. L'utilizzo di nastri non garantisce in ogni istante la presa diretta sulla pila di prodotti, i quali potrebbero anche aprirsi in avanti dall'interno della pila.



Fig. 1.8: pila trasportata da un cilindro del gruppo a pioli.

Il trasporto di tipo positivo permette la movimentazione della pila tramite ostacolo: un profilo (che può essere un cilindro o una piccola piastra, o addirittura un profilo Bosch) si posiziona dietro la pila e la spinge in avanti; ciò garantisce un movimento uniforme della pila permettendo l'allineamento dei prodotti nel caso prima non fosse presente.

La struttura e il funzionamento del gruppo a pioli (Fig. 1.8) è il seguente: la pila viene spinta dal braccio dell'asse X-Y dentro due piastre, poste a una distanza tra loro pari allo spessore della pila compressa. Due profili di catene parallele, poste su un piano verticale, parallelo alla direzione di funzionamento, trasportano cilindri pieni d'acciaio, vincolati alle loro estremità alle catene tramite alcune maglie speciali poste a medesime distanze le une dalle altre; così facendo si va a realizzare un passo tra due cilindri consecutivi costante.

Questo modulo non possiede alcuna funzione di trasformazione, ma solo di trasferimento; in questo senso compie un lavoro del tutto simile a quello dell'Asse X-Y, o del gruppo introduttore, esposto al paragrafo 1.9.

Si potrebbe pensare quindi ad una inutilità di questo modulo; in realtà il suo utilizzo è necessario, per due principali motivi:

- Il modulo Introduttore è un componente che possiede ingombri elevati (Fig. 1.9); se il gruppo a pioli fosse assente si andrebbe incontro all'inevitabile interferenza tra la carcassa dell'Asse X-Y e di quella dell'Introduttore. Quindi il gruppo a pioli si occupa del trasferimento tra questi due moduli permettendone la coesistenza.

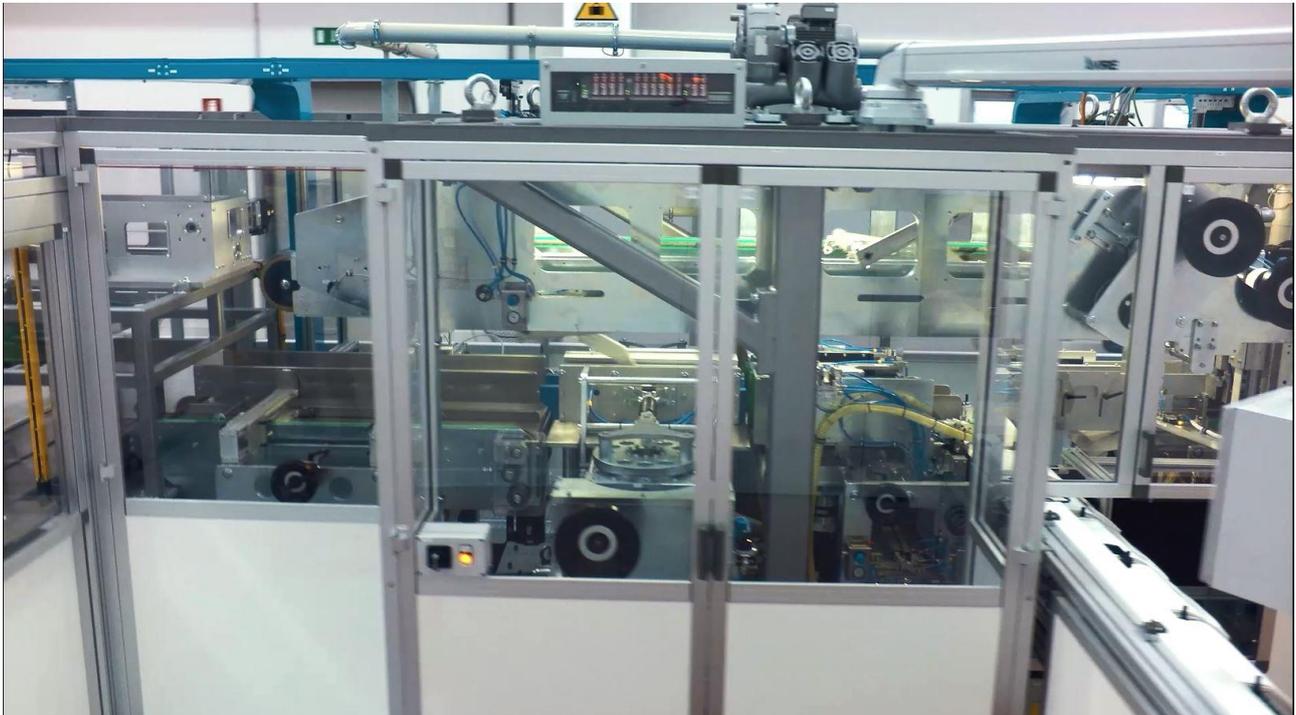


Fig. 1.9: vista laterale della macchina confezionatrice.

- Il gruppo a pioli combina il funzionamento a consensi della prima parte di macchina con un possibile funzionamento continuo della seconda. Tutte le operazioni di macchina dall'estrattore al gruppo X-Y sono legate tramite una sequenza logica di tipo consequenziale che inizia con l'elaborazione di una nuova pila. Per organi con inerzie elevate (quali per esempio l'organo introduttore) lavorare in start-stop richiede, ad alte ciclicità, dinamiche esagerate. Il gruppo a pioli permette agli organi posti a valle nel processo di impacchettamento di lavorare in modalità continua, garantendo esso stesso l'arrivo dei prodotti nei giusti intervalli temporali, fungendo da modulo di compensazione delle fluttuazioni della cadenza nominale dei prodotti, le quali possono causare il ritardo della parte della pila.

Al momento giusto (ossia prima dell'arrivo di un braccio dell'organo Introduttore) il piolo sposta la pila nel gruppo successivo, quello di Over-compressione.

1.8 – Over-compressione

Questo stadio completa il processo di compressione della pila prima dell'inserimento in busta. Per questa movimentazione si utilizza un manovellismo di spinta orizzontale che compie movimenti alternativi (Fig. 1.10): seppur la movimentazione da eseguire è semplice, in quanto la compressione avviene facendo avvicinare due piastre tra di loro per poi allontanarle una volta passato il braccio introduttore, ciò che la rende complicata è la rapidità con la quale deve essere eseguita; infatti questa operazione deve avvenire una volta che la pila viene posizionata correttamente e prima dell'arrivo del braccio, ed il tempo in cui deve essere eseguita, per via delle alte ciclicità, è estremamente ridotto, rendendo obbligatorio l'utilizzo di motori elettrici performanti.

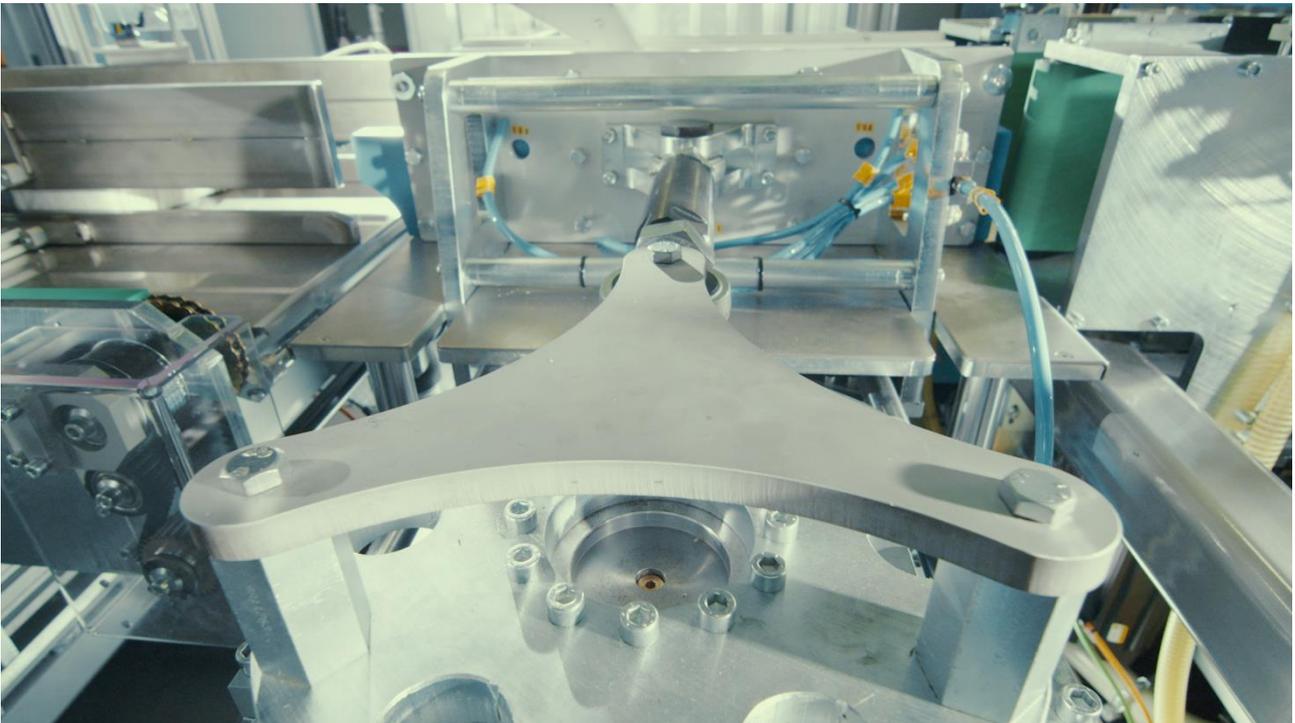


Fig. 1.10: dettaglio del modulo di over-compressione; manovellismo.

I piatti partono da un set-up di base legato allo spessore della pila precompressa, che è pari alla larghezza delle piastre del gruppo a pioli. Una volta che il prodotto viene depositato sul modulo, le piastre si avvicinano grazie alla rotazione della manovella fino a uno spessore minore di quello richiesto; questo punto si trova a punto morto superiore. Nel caso sia richiesto la manovella può procedere ulteriormente nel suo moto causando l'allontanamento delle piastre con lo scopo di estrarre la pila dal modulo in condizione di minore spinta dei prodotti lungo le piastre.

In alcuni casi l'over-compressione (che può raggiungere anche il 50% dello spessore iniziale del prodotto) non è necessaria. In quel caso quindi il modulo di over compressione diventa un semplice corridoio nel quale il prodotto viene scaricato dal gruppo a pioli e spinto in avanti dall'organo introduttore.

1.9 – Introduttore

Il modulo introduttore è l'organo più ingombrante dell'intera macchina, ed ha il compito di accompagnare i prodotti dalla stazione di over-compressione fino al modulo finale di Saldatura della busta. Per fare ciò è stato progettato un meccanismo a camma: un certo numero di bracci introduttori (numero che dipende dalla tipologia di prodotti elaborati e dalle prestazioni richieste) possiedono l'estremità posteriore vincolata ad un percorso creato tramite fresatura su una piastra di supporto, saldata alla parte superiore del telaio. Un punto intermedio del braccio invece è legato tramite un cilindro, simile a quello del gruppo a pioli, a due cinghie disposte su piani verticali paralleli alla direzione di moto principale. Per vincolare questo cilindro pieno alle cinghie sono state progettate alcune cinghie che possiedono sul lato esterno delle sedi cilindriche. Le cinghie conferiscono il moto ai bracci che, seguendo il profilo di camma a cui l'estremità è vincolata, si abbassano nel loro moto di avanzamento per trasportare il prodotto per poi rialzarsi una volta imbustata la pila e consegnata al gruppo di saldatura.

In Fig. 1.11 si può osservare il suo profilo:

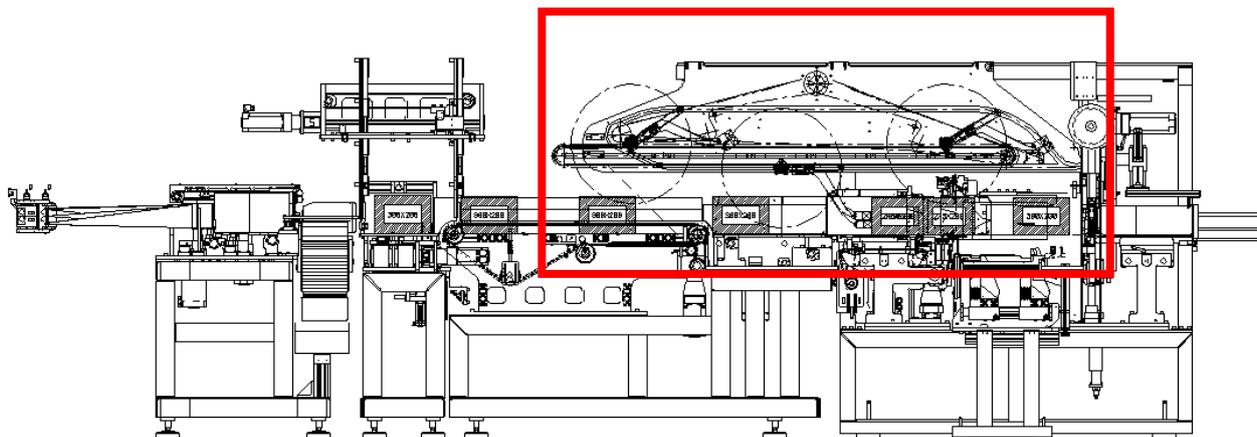


Fig 1.11: dettaglio della traiettoria del braccio estrattore.

Il braccio meccanico si avvicina procedendo in diagonale verso la stazione di over-compressione dove si trova la pila; dopo essersi approssiato ai prodotti tramite la parte terminale del braccio, procede orizzontalmente, passando per la sezione di imbustamento. Quando la busta viene depositata nel modulo di sigillatura, il profilo camma costringe il braccio a tornare immediatamente indietro e ad alzare la propria parte terminale; il rientro alla posizione iniziale è sempre con moto orizzontale, mantenendo il braccio sopraelevato, fuori ingombro.

A basse ciclicità l'introduttore segue un funzionamento di tipo start-stop, che consiste nel fermare il movimento in attesa della pila da elaborare, può funzionare solo a bassi cicli. All'aumentare delle ciclicità le inerzie hanno maggiore impatto, per cui è opportuno passare ad un funzionamento di tipo continuo; sarà quindi il gruppo a pioli che gestirà l'alimentazione di questo modulo.

1.10 – Imbustamento

La pila di prodotti che è accompagnata dall'organo introduttore deve infine essere messa in busta. L'azienda VIRE offre la possibilità ai clienti di scegliere attraverso due principali moduli di imbustamento, che vengono di seguito esposte; esse variano per come la busta viene formata, ma seguono poi la stessa fase di apertura busta e inserimento.

- Soluzione a buste prefatte (Wicket): le buste sono già preparate e accumulate sovrapposte, con numero di pezzi per ogni lotto che si aggira attorno alle centinaia. Queste buste sono legate tra loro da un lembo in aggiunta posto nella parte superiore che possiede dei fori nei quali passano cilindri di plastica. Questa soluzione comporta un caricatore di buste (Fig. 1.12), che è un modulo lungo circa 3 metri che si approccia trasversalmente alla direzione principale di macchina: su questo caricatore girano cinghie che possiedono ad intervalli regolari denti, nei quali vanno ad accoppiarsi i fori dei lembi superiori del lotto di buste citato sopra. Man mano che un lotto finisce, queste cinghie avvicinano il lotto successivo (che era stato precedentemente precaricato) in asse macchina, rendendo disponibile il nuovo lotto all'interazione con i prodotti.



Fig. 1.12: interfaccia tra caricatore buste Wicket e macchina.

Il caricatore permette il pre-posizionamento di un numero di lotti di buste a scelta del cliente.

- Soluzione a Rulli (Foglia): in questa soluzione invece le buste sono da creare da alcuni rulli sui quali sono avvolti gli strati di film protettivo. Il film viene svolto, steso e tensionato da organi appositi; viene poi piegato su stesso, e trasportato in una zona di saldatura, dove si creano le pareti laterali e allo stesso tempo si separano le buste. Infine la busta con i lati saldati viene portata su asse macchina, dove la pila di prodotti viene inserita al suo interno.

La soluzione Wicket permette il caricamento a tempo morto di lotti di buste prefatte, mentre per la soluzione Foglia è prevista una saldatura tra il lembo finale di un rullo e quello iniziale del successivo per non interrompere il processo. Seppur avendo costi di investimento maggiori, la soluzione Foglia presenta costi minori per singola busta prodotta, diventando alla lunga la soluzione più vantaggiosa dal punto di vista economico.

Ogni busta, nel momento in cui si affaccia una pila, viene aperta da alcune ventose; queste staccano il lembo utilizzato per trasportare le buste, e mantengono la busta in posizione, pronta all'arrivo dei prodotti. Dopo il sollevamento del lembo superiore, vengono inserite nel foro della busta, nel quale verranno inseriti i prodotti, due piastre laterali (Fig. 1.13), che hanno il compito di tenere largo il foro di apertura per l'inserimento della pila e accompagnare i prodotti in questo processo; questo inserimento infatti è contemporaneo al movimento dei prodotti spinti dal braccio

introduttore. Quest'ultimo quindi, che come già accennato procede con moto continuo, accompagna la pila dentro la busta. Una volta che la pila è stata inserita, le piastrine laterali si ritraggono in posizione originale, e il braccio introduttore procede la sua corsa, stavolta spingendo però non solo la pila ma anche la busta nella quale essa è inserita, fino alla stazione di saldatura.

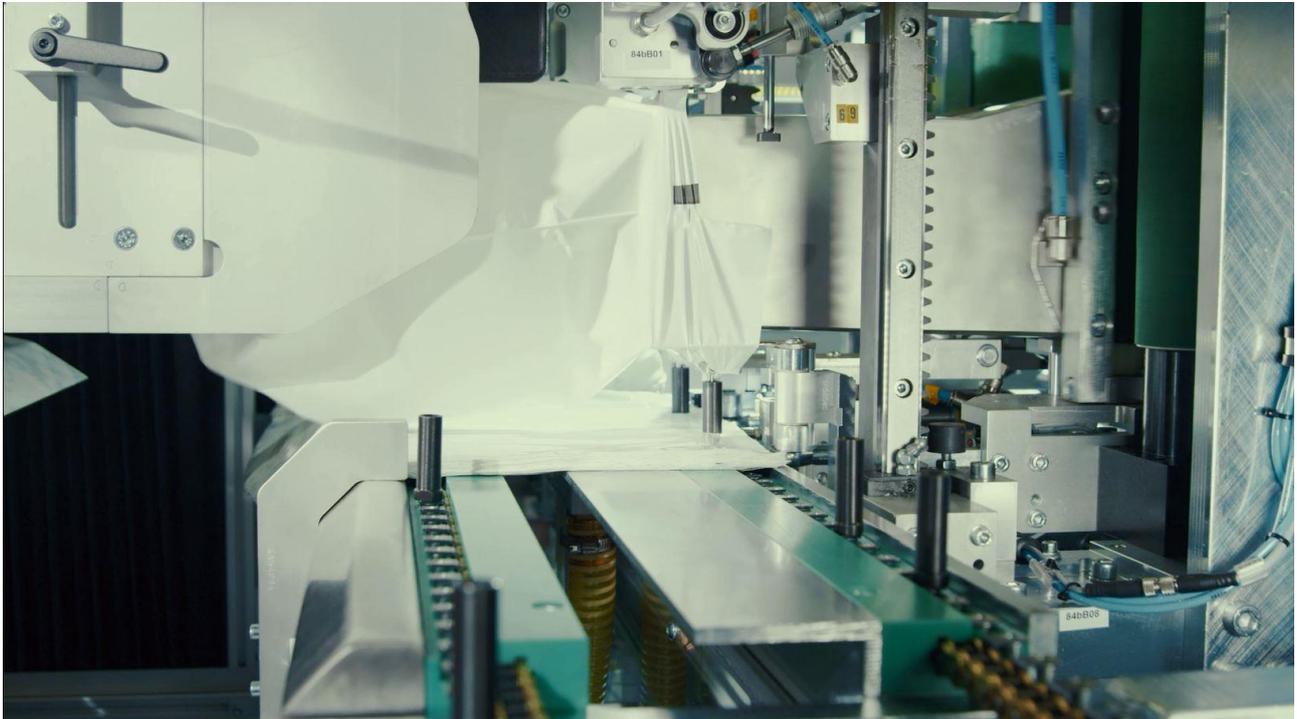


Fig. 1.13: inserimento delle spade dentro la busta aperta.

1.11 – Saldatura

Il modulo dedicato alla saldatura del film protettivo è l'ultima parte del processo di imbustamento. Una volta che la pila ha raggiunto questa posizione, il braccio introduttore termina la sua corsa e ritorna indietro seguendo il profilo di camma, che lo fa sollevare per uscire dagli ingombri. In questa stazione, mentre la busta viene bloccata sia lateralmente che superiormente, due piastre con estremità riscaldate avvicinano i lembi superiori e inferiori saldandoli termicamente. Nella Fig. 1.14 si può vedere in dettaglio come questo processo avviene. La saldatura genera quindi del materiale di scarto, composto dalla parte di film protettivo superiore che è rimasto esterno alle piastre di saldatura, e che a seguito di essa si scarta. Per non produrre accumulo di scarto, è necessario che questa parte di film venga prelevata immediatamente; questa operazione viene eseguita tramite aspirazione da un foro posto

nel piano di scorrimento della busta, in una posizione leggermente precedente alla stazione di saldatura, nella quale è presente lo scarto.



Fig. 1.14: sfrido prodotto dalla saldatura.

Il prodotto, una volta saldato, rimane in posizione; l'evacuazione avviene tramite l'arrivo della pila successiva che spinge fuori ingombro la precedente. Questo modulo pone fine al processo di confezionamento; collegata a questa confezionatrice potrebbe essere presente un'ulteriore macchina automatica dedicata al "*secondary packaging*", ossia il confezionamento delle buste di prodotti in scatoloni americani oppure, come avviene negli ultimi anni, in uno strato di film protettivo aggiuntivo.

CAPITOLO 2 – LA CASA DELLA QUALITÀ

2.1 – Introduzione

Mentre un tempo il contatto tra il cliente e l'artigiano era diretto, nell'era moderna il desiderio del cliente viene elaborato da diverse realtà che convivono all'interno dell'azienda; esse possono essere:

- L'ufficio commerciale si occupa delle relazioni con i clienti
- L'ufficio tecnico progetta ciò che il cliente richiede
- L'ufficio di produzione realizza quello che è stato progettato dall'ufficio tecnico

Le comunicazioni all'interno dell'azienda seguono un percorso che può essere riassunto nella Fig. 2.1:

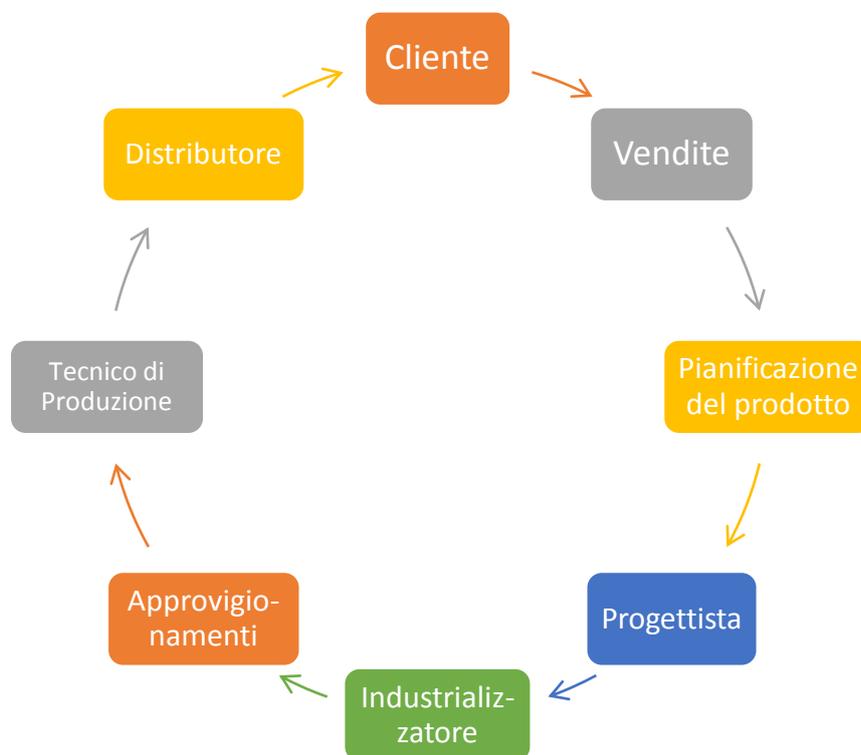


Fig. 2.1: cerchio delle comunicazioni aziendali.

Il desiderio del cliente passa lungo il cerchio delle comunicazioni e ritorna allo stesso nella forma di un nuovo prodotto. Tuttavia capita spesso, in questa specie di passaparola aziendale, che le esigenze del cliente non vengano tradotte in modo adeguato nel passaggio da una funzione all'altra.

Quando si affronta l'argomento della qualità, il pensiero si ferma in modo semplicistico a ciò che riguarda il controllo di processo e al raggiungimento delle caratteristiche finali in relazione alle specifiche di partenza. È doveroso ricordare che il controllo della qualità realizza i suoi obiettivi solo quando il risultato finale soddisfa le richieste del cliente. Inoltre è bene considerare nella valutazione della qualità che essa è una grandezza multidimensionale, e che quindi coinvolge tutte quelle caratteristiche necessarie alla sua rappresentazione: estetica, sicurezza, affidabilità, conformità alle specifiche, e tante altre. Prima ancora della produzione, quindi, è necessario verificare che le specifiche delineate siano le stesse esigenze espresse dal destinatario del prodotto.

La “Casa della qualità” (House of Quality) è uno strumento grafico appartenente alla metodologia del Quality Function Deployment (QFD). Tale approccio, ancora poco diffuso in Italia, consente di tradurre le esigenze del cliente in specifiche tecniche per realizzare o migliorare prodotti e servizi. Le origini di questa metodologia non sono definite nel tempo, ma il primo articolo che ne fornisce una breve storia è stato pubblicato nell'ottobre del 1983, e la sua diffusione negli Stati Uniti ha avuto inizio nel 1986. La definizione della Casa della Qualità viene data nel 1987 dall'ASI (American Supplier Institute), secondo i quali essa è “un sistema per tradurre le esigenze dei clienti in opportuni requisiti aziendali in ogni fase, dalla ricerca attraverso la progettazione, produzione e sviluppo, fino alla produzione, distribuzione, installazione e marketing, vendite e servizi”.

La Casa della Qualità pone l'attenzione sulle aspettative e i bisogni del cliente, nel tentativo di annullare la possibilità che qualunque aspetto della qualità attesa non venga considerato nel processo di progettazione; è uno strumento orientato alla realizzazione del prodotto verso le esigenze reali di chi lo utilizza: tutte le aspettative vengono raccolte e poi unite attraverso l'efficace sintesi rappresentativa della Casa della Qualità, in modo da ottenere delle soluzioni tecniche che centrino l'obiettivo prefissato. Questo metodo consente di annullare o quantomeno ridurre la possibilità che un aspetto essenziale sia trascurato nel processo di progettazione di un prodotto o di una sua revisione.

Seppur, come già accennato, questa metodologia di progetto sia ancora poco famosa in Italia, VIRE Automation, in occasione di questa nuova serie di macchine, si è interessata allo svolgimento di tale indagine con lo scopo di giungere ad una serie di soluzioni tecniche complete che siano in grado di soddisfare tutte le esigenze dei clienti senza richiedere modifiche successive.

2.2 – Struttura della Casa della Qualità

La metodologia del QFD, di cui la Casa della qualità fa parte, è mirata ad ottenere una corretta impostazione di un nuovo prodotto o processo con una modalità di tipo grafica; come viene illustrato di seguito lo stile grafico di questo studio è proprio ciò che ha dato il nome a questo metodo. Per individuare e trasferire le reali aspettative e bisogni del cliente in specifiche di prodotto e definire quindi le conseguenti specifiche di processo e di controllo della qualità si sfruttano un insieme di tabelle dove convergono tutte le informazioni necessarie allo sviluppo. Questa struttura permette, una volta completa, di assumere le decisioni strategiche considerando tutti gli aspetti, “tutti i punti di vista”; è un notevole strumento di supporto alle decisioni. Inoltre non si può trascurare la sua utilità come strumento di integrazione e coinvolgimento di tutte le funzioni aziendali.

Per raggiungere un livello di dettaglio sufficiente si devono ricercare informazioni provenienti da tutti gli ambiti aziendali e di progettazione; esse possono quindi essere:

- Esigenze dei clienti
- Valutazione della concorrenza
- Valutazione delle tecnologie
- Valutazione dei processi produttivi e di erogazione
- Problemi e criticità su prodotti già presenti sul mercato
- Valutazione delle prestazioni di disponibilità
- Analisi dei costi

Queste informazioni, riguardanti le specifiche generali di sistema, sono tradotte in specifiche di dettaglio per i sottosistemi composti da componenti critici (ossia quelli che consentono di realizzare le funzioni essenziali per cui il prodotto è progettato). Il termine “componenti” è appropriato nel caso il progetto in questione sia costituito da parti meccaniche; il QFD può comunque essere applicato altrettanto efficacemente anche per altri tipi di prodotti e servizi.

Dal punto di vista delle procedure il QFD si avvale di una serie di tabelle dette “Tabelle della qualità”; queste permettono di rappresentare e di mettere in relazione tra loro le variabili che concorrono alla definizione del progetto, fornendo utili indicazioni sul livello e sulle loro modalità di interazione.

Il QFD può essere quindi composto in quattro principali moduli, esposti nella Fig. 2.2:

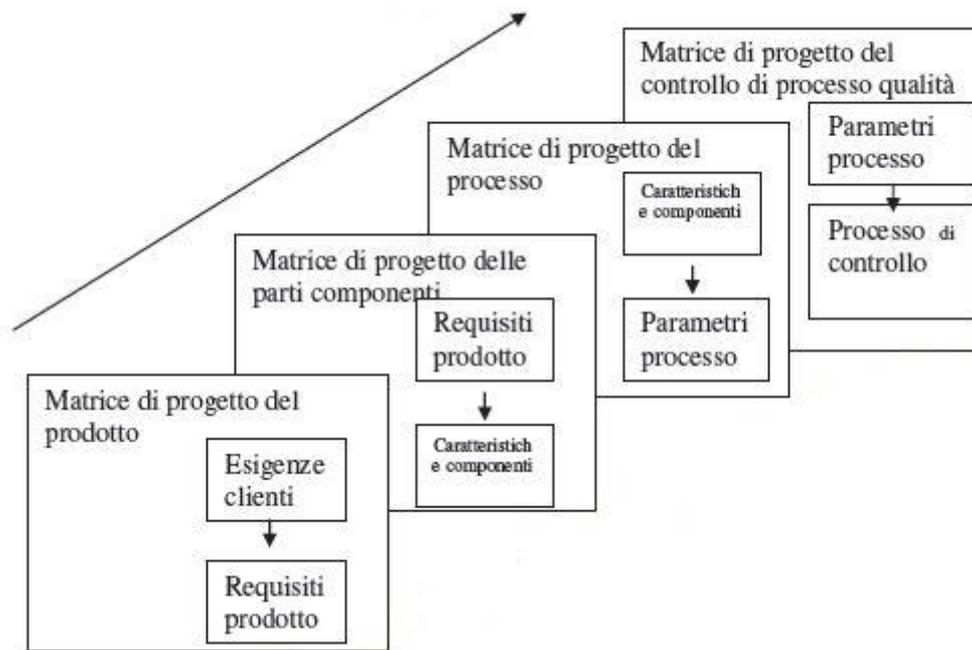


Fig. 2.2: Composizione dei moduli del QFD.

Il primo modulo (la matrice di progetto del prodotto) è composto dalla Casa della Qualità, ed è quello che viene approfondito in questo capitolo. Esso, assieme al secondo modulo di “Definizione delle parti”, si riferisce alla progettazione del prodotto; i secondi due invece lasciano come risultato soluzioni riguardo la pianificazione del processo e delle attività di produzione con riferimento agli aspetti del controllo qualità.

Passando alla realizzazione della Casa della qualità vera e propria, viene fornita di seguito una descrizione dettagliata delle principali fasi necessarie alla sua costruzione. La lista delle fasi comprende:

1. Individuazione delle esigenze del cliente
2. Valutazione delle esigenze sulla base della priorità
3. Individuazione delle caratteristiche tecniche
4. Creazione della matrice delle relazioni
5. Realizzazione delle interazioni tra caratteristiche tecniche
6. Valutazione finale delle caratteristiche

Ad ogni fase del processo di realizzazione della Casa, corrisponde una stanza, cioè una tabella. In Fig. 2.3 viene illustrata la struttura grafica della Casa della qualità:

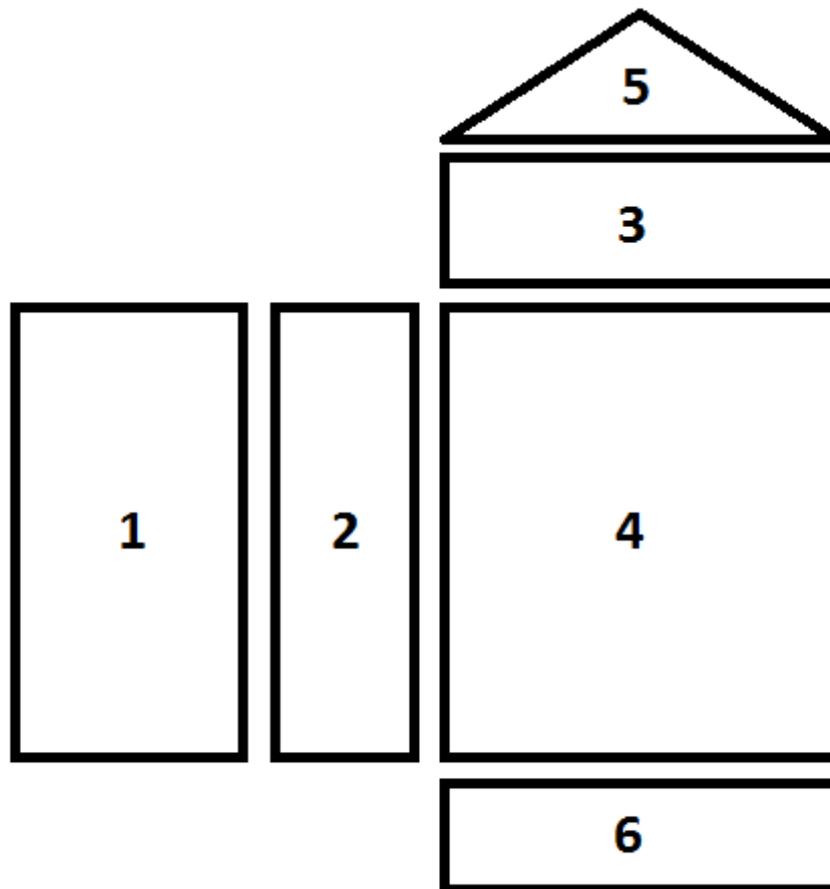


Fig. 2.3: Schema della Casa della Qualità.

Nei prossimi paragrafi si entra nel dettaglio di tutte le stanze dando una spiegazione al metodo con il quale vengono realizzate, illustrando contemporaneamente il lavoro svolto.

Le difficoltà più grosse che le aziende incontrano quando cercano di implementare metodologie come quelle della Casa della qualità sono di carattere organizzativo: il QFD ottiene ottimi risultati solo in un ambiente favorevole all'innovazione che alimenti le attività creative e la condivisione delle informazioni. Ciò che è stato inizialmente affrontato è un percorso di *benchmarking*, ossia una ricerca approfondita sulle aziende concorrenti per intuire in quale direzione si muove il mercato; si è poi passato ad una comunicazione diretta con tutti gli uffici aziendali (tecnico, commerciale e di produzione) per raggiungere quella completezza richiesta dal metodo, che ha portato poi a soluzioni progettuali utili alla soddisfazione del cliente e all'aumento della competitività aziendale nel piano mondiale.

2.3 – Benchmarking

Nella stanza 1, legata alle Esigenze del cliente, si individuano, si elencano e si strutturano le esigenze espresse e implicite del cliente. Lo scopo di questa stanza è giungere ad una piena e corretta percezione del cliente che usufruirà successivamente del prodotto che viene sviluppato. Questa operazione, nel caso il prodotto che si vuole sviluppare sia legato ad uno specifico cliente, può essere fatta sulla base delle richieste svolte e dalle domande che l'ufficio commerciale rivolge al cliente stesso, cercando di entrare nel dettaglio di ciò che desidera. In questo caso specifico, la progettazione della nuova macchina per il settore femminile nasce dall'esigenza di sviluppare tecnologie innovative per tornare sul mercato in maniera competitiva; non è quindi legata alla richiesta particolare di un singolo cliente.

Al fine di conoscere in maniera completa il mercato nel quale ci si vuole inserire, lo studio si è mosso prevalentemente in due direzioni:

- Ricerca delle aziende concorrenti nel settore del *nonwoven* (tessuto non tessuto, materiale di cui sono composti i prodotti igienico sanitari elaborati)
- Confronto con le macchine VIRE, con verifica dei desideri richiesti dal cliente

Vi sono diverse aziende che operano nel settore del *nonwoven*, che trova il proprio leader di mercato in OPTIMA. Questa azienda ha assunto in agosto 2015 il suo 2000° impiegato, e possiede dodici brand che operano nel settore farmaceutico e alimentare. Il primo passo è stato quindi quello di raccogliere informazioni su queste aziende, compilando una raccolta di poco meno di duecento pagine a riguardo. Da queste informazioni, e dalla lettura e approfondimento dei casi di studio delle varie aziende, si è giunti ad una fitta comprensione di come il mercato si muova negli ultimi anni, richiedendo prestazioni sempre più elevate con la garanzia di un mantenimento della stabilità processuale.

Dallo studio effettuato si è estrapolata una serie di “Richieste di mercato”, ossia quelle specifiche che i clienti sono soliti richiedere nel momento di un nuovo ordine; queste sono state scelte basandosi su:

- Analisi statistiche svolte da varie aziende;
- Risultati pubblicati;
- Valutazione e confronto delle specifiche di macchina garantite;

In Fig. 2.4 si può prendere visione di un primo elenco delle voci legate alle richieste del mercato. Ogni esigenza dovrebbe essere espressa con un adeguato livello di dettaglio, individuando una gerarchia delle richieste. Se la lista diviene troppo lunga, ognuno dei bisogni viene raggruppato in categorie più generali, fino a che si giunge all'identificazione di al più venti categorie di richieste. In questa fase del procedimento si deve trovare il giusto compromesso tra livello di dettaglio e difficoltà di compilazione: una casa della qualità con troppe voci diventa ingestibile dal punto di vista dei risultati espressi. In questo caso quindi si sono raccolte innanzitutto le varie voci in macro categorie, in modo da riassumere al meglio le richieste del mercato. La fase successiva è stata quella di affrontare ogni singola categoria ottenuta, con lo scopo di valutare se essa fosse effettivamente una richiesta del mercato importante, o se fosse più semplicemente una richiesta minore, o addirittura una soluzione tecnica: in questa fase infatti non si stanno già cercando le soluzioni tecniche (che vengono valutate nella compilazione della terza stanza) ma solo quelle categorie di mercato richieste, non legate a nessuna particolare soluzione. Si è quindi giunti alla soluzione mostrata in Fig. 2.5, in cui sono state escluse diverse voci, ritenute di poco interesse, mentre il numero di categorie è stato portato a diciassette, in quanto ci si poteva permettere un livello di dettaglio maggiore. Questi risultati sono stati poi nuovamente elaborati e messi in discussione per raggiungere infine, attraverso anche le opinioni dell'ufficio commerciale (il quale è costantemente in contatto con i clienti) l'elenco definitivo che ha rappresentato la stanza 1, quella dedicata alle esigenze del mercato.

Quest'elenco può essere osservato in Fig. 2.6. Ognuna delle voci presenti è in realtà il riassunto di alcune esigenze particolari, e per questo è giusto cercare di descrivere alcune di esse con un po' più di dettaglio:

- Cambi formati rapidi: questa voce racchiude il desiderio del cliente di poter eseguire un cambio formato in poco tempo. In queste macchine infatti, dove è presente la possibilità di elaborare un certo numero di prodotti differenti, sono presenti alcuni componenti che possiedono posizioni reciproche da modificare, proprio per accettare le dimensioni del nuovo prodotto. Altri componenti sono invece proprio da sostituire. È naturale richiedere quindi un cambio rapido, in quanto il tempo di fermo macchina è un tempo perso, di non produzione.
- Piattaforma flessibile: si intende vera e propria capacità di accettare un numero elevato di prodotti differenti, sia per quanto riguarda le dimensioni che per la loro velocità in ingresso. Inoltre si può racchiudere in questa voce anche ciò che riguarda le dimensioni della busta, il numero di prodotti all'interno di essa, e così via.

- Interfaccia valida per tutti i tipi di Converter: in questa voce è espressa la capacità della macchina di approcciarsi a differenti tipi di Converter (ossia le macchine che producono il prodotto igienico sanitario considerato). Esse possono presentare differenti altezze del prodotto in uscita, così come diverse modalità di distribuzione dello stesso. È chiaro che per un'azienda che possiede diversi tipi di Converter sia utile e a volte necessario che la macchina confezionatrice possa adattarsi ad ognuno di essi.
- Qualità estetica e funzionale del prodotto in uscita: si chiede di garantire che la busta contenente i prodotti sia esteticamente apprezzabile, e che i prodotti all'interno non abbiano subito danni strutturali che abbiano alterato le proprie capacità assorbenti.
- Prestazioni Massimizzate, riduzione numero di prodotti scartati e disponibilità tecnica: queste voci sono state raccolte perché riguardano l'ottimizzazione dell'*Overall Equipments Effectiveness* (OEE), cioè la misura di efficienza dell'impianto. Questa è ottenuta dal prodotto di tre valori percentuali che sono appunto:
 - L'efficienza, che rappresenta la velocità di lavoro rispetto alla velocità alla quale è stata progettata.
 - Il tasso di qualità, ossia il numero di prodotti sani, senza difetti, sul numero totale di prodotti elaborati.
 - La disponibilità, che riguarda il tempo di funzionamento effettivo della macchina, considerando i fermi macchina per via di guasti e altri malfunzionamenti, rispetto al tempo effettivo di funzionamento.

L'ottimizzazione dell'OEE garantisce un incremento delle prestazioni della macchina, rendendola più appetibile dal punto di vista commerciale.

- Alimentazione orizzontale o verticale: alcuni clienti richiedono la possibilità di introdurre i prodotti in ingresso non solo in orizzontale, ma anche dall'alto in verticale.
- Alta personalizzazione e aggiunta di Add-On: sebbene ogni azienda offra al mercato una serie limitata di macchine, il cliente poi richiede che vi siano alcune caratteristiche particolare, che possano riguardare gli ingombri limitati o addirittura l'aggiunta di moduli particolari, quali per esempio quelli legati alla possibilità di inserire prodotti manualmente, o di creare un piccolo buffer di pile precomprimate per l'inserimento nel caso vi sia qualche tipo di malfunzionamento in ingresso.

Cambi formati	1	Cambi formato rapidi	<i>Prestazioni</i>	36	Configurazioni diverse per rispondere a diverse velocità
	2	Possibilità di elaborare prodotti di dimensioni molto differenti		37	Alte prestazioni
	3	Passaggio da uno a due strati senza aggiunta di componenti		38	Possibilità di elaborare più formati contemporaneamente
	4	Possibilità di elaborare diversi numeri di pezzi per pacco		39	Velocità di produzione massimizzata
Design	5	Nessuno spreco di spazio	<i>Qualità prodotti</i>	40	Possibilità di alimentare con un raggruppatore più confezionatrici
	6	Design funzionale		41	Alimentazione orizzontale o verticale
	7	Design attraente		42	Velocità in uscita alte (=stessa portata di prodotti)
	8	Porte scorrevoli o a soffietto		43	Riduzione o eliminazione dei fermi macchina
Software	9	Approccio Modulare, possibilità di interfacciarsi a tutti i tipi di macchine	<i>Servizi per il cliente</i>	44	Grande facilità di gestione del confezionamento
	10	Grafica adeguata con ridotto numero di cambi schermata		45	Stress minimo dei prodotti
	11	Software che suggerisce possibili rimedi		46	Garantire la forma del prodotto
	12	Risultati di diagnostica leggibili, di facile comprensione per tutti		47	Prevenzione e risoluzione del problema del sottosquadro
Monitoraggio e Diagnostica	13	Interfaccia utente che guida l'operatore nel cambio formato	<i>Modifiche e aggiornamenti</i>	48	Buona compressione dei prodotti
	14	Trasmissione degli errori a schermo		49	Grande facilità di gestione del confezionamento
	15	Accessi differenziati per tipologie di utenti		50	Ricevere aggiornamenti sul progresso dell'ordine
	16	Controllo del peso dei prodotti		51	Made in Italy
	17	Controllo al metal detector		52	Spedizione nell'arco delle 24 ore
	18	Presenza di controlli di qualità		53	Rilascio di documentazione didattica professionale
	19	Sistemi di monitoraggio delle condizioni di produzione		54	Capacità di offrire una macchina integrata (non solo raggrup. o confez.)
	20	Sistema integrato di sensori		55	Corsi di formazione per gli addetti
	21	Analisi statistica per eliminazione di errori frequenti		56	Consulenza rapida
	22	Analisi della forza di pressatura		57	Elevata possibilità di personalizzazione
	23	Presenza di sensori per analisi dello sforzo locale		58	Aggiunta di Add-on su richiesta
	24	Analisi del trend		59	Possibilità di stilare contratti con ispezioni e manutenzione regolare
Sicurezza	25	Rivelamento automatico fermi macchina	<i>Ricambi</i>	60	Elevata possibilità di personalizzazione
	26	Scarto di un unico pezzo e non dell'intera pila		61	Possibilità di trasformare la macchina
	27	Controllo costante del processo		62	Upgrade di modelli vecchi
	28	Controllo produttività in tempo reale		63	Possibilità di aggiornare le macchine
Sicurezza	29	Dati su malfunzionamenti direttamente trasmessi al fornitore	<i>Costi</i>	64	Possibilità di modificare le macchine
	30	Basso inquinamento sonoro		65	Fornitura di ricambi via internet
	31	Igiene garantita		66	Facile identificazione delle parti di ricambio
	32	Protezione dello staff dall'impatto con processi in gioco		67	Catalogo digitale per ricambi
	33	Protezione del prodotto garantita		68	Presenza di un magazzino fornito per ricambi rapidi
	34	Garantire l'integrità del prodotto		69	Prezzi bassi
	35	Facile individuazione dell'errore da parte dell'operatore (tramite luci LED)		70	Consumo energetico basso

Fig. 2.4: elenco delle richieste di mercato, prima stesura.

1 Cambi formato rapidi e guidati da un'interfaccia utente	11 Protezione del prodotto e della sua integrità
1 Cambi formato rapidi	33 Protezione del prodotto garantita
13 Interfaccia utente che guida l'operatore nel cambio formato	34 Garantire l'integrità del prodotto
2 Flessibilità nell'elaborazione di prodotti e pacchi di diverse dimensioni	45 Stress minimo del prodotto
2 Possibilità di elaborare prodotti di dimensioni molto differenti	46 Garantire la forma del prodotto
3 Passaggio da uno a due strati senza aggiunta di componenti	12 Prestazioni massimizzate
4 Possibilità di elaborare diversi numeri di pezzi per pacco	37 Alte prestazioni
3 Design attraente e funzionale	39 Velocità di produzione massimizzata
6 Design funzionale	42 Velocità in uscita (=stessa portata di prodotti)
7 Design attraente	13 Possibilità di lavorare con più formati contemporaneamente
8 Porte scorrevoli o a soffietto	38 Possibilità di alimentare con un raggruppatore più confezionatrici
4 Approccio Modulare per rispondere a diverse velocità, con interfaccia valida per tutti i tipi di converter	14 Alimentazione orizzontale o verticale
9 Approccio Modulare, possibilità di interfacciarsi a tutti i tipi di macchine	41 Alimentazione orizzontale o verticale
36 Configurazioni diverse per rispondere a diverse velocità	15 Alta personalizzazione e aggiunta di Add-on
5 Facile individuazione dell'errore e trasmissione dei dati all'operatore, il quale è aiutato nella risoluzione da tecnologie apposite	58 Aggiunta di Add-on su richiesta
11 Software che suggerisce possibili rimedi	60 Elevata possibilità di personalizzazione
14 Trasmissione degli errori a schermo	16 Possibile upgrade di modelli vecchi
29 Dati su malfunzionamenti direttamente trasmessi al fornitore	61 Possibilità di trasformare la macchina
35 Facile individuazione dell'errore da parte dell'operatore (tramite luci LED)	62 Upgrade di modelli vecchi
6 Controllo di qualità del prodotto	63 Possibilità di aggiornare le macchine
16 Controllo del peso dei prodotti	64 Possibilità di modificare le macchine
17 Controllo al metal detector	17 Prezzo basso
18 Presenza di controlli di qualità	69 Prezzi bassi
26 Scarto di un unico pezzo e non dell'intera pila	70 Consumo energetico basso
7 Monitoraggio continuo del processo, con analisi dello sforzo locale	Esclusi
19 Sistemi di monitoraggio delle condizioni di produzione	5 Nessuno spreco di spazio
20 Sistema integrato di sensori	10 Grafica adeguata con ridotto numero di cambi schermata
22 Analisi della forza di pressatura	15 Accessi differenziati per tipologie di utenti
23 Presenza di sensori per analisi dello sforzo locale	27 Controllo costante del processo
8 Analisi statistica per eliminazione di errori frequenti	44 Grande facilità di gestione del confezionamento
21 Analisi statistica per eliminazione di errori frequenti	47 Prevenzione e risoluzione del problema del sottosquadro
24 Analisi del trend	48 Buona compressione dei prodotti
28 Controllo produttività in tempo reale	49 Grande facilità di gestione del confezionamento
9 Rilievamento dei fermi macchina, con loro riduzione o eliminazione	50 Ricevere aggiornamenti sul progresso dell'ordine
25 Rilievamento automatico fermi macchina	51 Made in Italy
43 Riduzione o eliminazione dei fermi macchina	52 Spedizione nell'arco delle 24 ore
10 Protezione dello staff e igiene garantito	53 Rilascio di documentazione didattica professionale
30 Basso inquinamento sonoro	54 Capacità di offrire una macchina integrata (non solo raggrup. o confez.)
31 Igiene garantito	55 Corsi di formazione per gli addetti
32 Protezione dello staff dall'impatto con processi in gioco	56 Consulenza rapida
	57 Elevata possibilità di personalizzazione
	59 Possibilità di stilare contratti con ispezioni e manutenzione regolare
	65 Fornitura di ricambi via internet
	66 Facile identificazione delle parti di ricambio
	67 Catalogo digitale per ricambi
	68 Presenza di un magazzino fornito per ricambi rapidi

Fig. 2.5: elenco delle richieste di mercato, seconda stesura.

Cambi formati rapidi (fast change over)	1
Piattaforma flessibile (prodotti, buste, velocità)	2
Design attraente / Ergonomia	3
Interfaccia valida per tutti i tipi di converter	4
Ripartenza rapida dopo allarme	5
Manutenzione Semplificata	6
Qualità (estetica e funzionale) elevata del prodotto in uscita	7
Stabilità del processo (Ripetibilità)	8
Prestazioni Massimizzate	9
Riduzione numero di prodotti scartati	10
Disponibilità tecnica (riduzione fermi macchina)	11
Sicurezza dell'operatore	12
Possibilità di lavorare con più formati contemporaneamente	13
Alimentazione orizzontale o verticale	14
Alta personalizzazione e aggiunta di Add-on	15
Possibile upgrade di modelli vecchi	16
Prezzo basso	17

Fig. 2.6: richieste di mercato, stesura finale.

2.4 - Valutazione di importanza delle categorie di mercato

Le voci scelte per la stanza 1 ed esposte nella Fig. 2.6 non possiedono tutte la stessa importanza ai fini commerciali; è naturale infatti che anche per lo stesso cliente alcune caratteristiche siano più necessarie di altre. Nella stanza 2, dedicata alla valutazione delle esigenze, si definisce e si quantifica l'importanza di ciascuna esigenza, in ottica cliente.

Si sono sviluppati diversi metodi per misurare l'importanza che viene data ai singoli attributi da parte dei clienti. Un primo metodo consiste nel far valutare direttamente l'importanza della lista di voci, chiedendo al cliente di riportare il peso che ritiene di attribuire a ciascuna voce, mediante la compilazione di un apposito questionario. In questo caso la scala di valutazione può essere a motivo crescente. Un secondo metodo può consistere nell'esprimersi mediante un valore numerico che va da 1 a 5, cercando di dare un valore di riferimento in precedenza per ogni giudizio associato, per esempio:

1. Trascurabile
2. Preferibile
3. Importante
4. Molto importante
5. Indispensabile

In un terzo metodo si può procedere assegnando il valore 10 all'attributo più importante per poi, riferiti a questo, assegnare tutti i restanti. Infine un altro tipo di misura è quella denominata "a somma costante", che richiede di spargere una somma costante di punti tra le varie voci; in questo caso si tiene conto di un eventuale *trade-off* tra le varie voci.

Il metodo scelto per questo studio è l'unione di una ricerca di confronto diretto tra le varie voci del mercato e di una certa semplicità compilativa. Volendo capire quale delle categorie fosse più importante delle altre si è deciso di paragonarle direttamente le une alle altre; si è creato perciò una tabella dove le voci in colonna sono le stesse voci presenti anche in riga, ossia le esigenze del mercato, illustrate in Fig. 2.6. Per la compilazione della tabella si è dettata questa regola: se chi compila il questionario pensa che, a seguito della sua esperienza del mercato e dei clienti, l'esigenza presente in riga sia più importante di quella in colonna, allora può inserire 2 nello spazio corrispondente all'incrocio delle due esigenze; se altrimenti è più importante quella in colonna, allora assegnare 0. Dopodiché vengono sommati tutti i valori in riga per ogni categoria, ottenendo il peso della esigenza, che verrà poi utilizzato per il risultato finale.

Confrontando in questa maniera le varie esigenze del mercato si hanno diversi vantaggi:

- Anzitutto si genera in modo immediato una "classifica", che mostra chiaramente quali sono le esigenze più importanti, le quali devono essere tenute in considerazione.
- Non impedisce a due categorie di arrivare a un punteggio finale simile, in quanto possono raggiungere lo stesso punteggio tramite confronti diversi.

- È rapida da compilare: basta infatti compilare la parte triangolare superiore della tabella che automaticamente si assegnano i valori anche alla parte inferiore, i quali saranno gli opposti del valore dato. Se infatti la categoria in riga X è migliore della esigenza in colonna Y e quindi si assegna un 2, nello spazio relativo alla esigenza in riga Y confrontato con la colonna della categoria X si inserirà uno 0.

Si può chiedere di compilare questa tabella a più clienti e a tutte le persone che lavorano in questa fetta di mercato; basterà fare una media tra i valori ottenuti per ottenere il risultato finale. La media potrebbe anche essere pesata nel caso in cui si ritengano alcune personalità e clienti più esperte di altre.

In questa specifica ricerca la tabella è stata compilata dall'ufficio commerciale il quale, dopo consultazione, ha prodotto i risultati finali, mostrati in Fig. 2.7. Era stato indicato un esempio per ogni esigenza in tabella per semplificare il compito dell'ufficio commerciale nel comprendere a cosa ogni categoria si riferiva con esattezza.

I risultati mostrano come anzitutto la sicurezza dell'operatore sia al centro di ogni piano dell'azienda; le macchine devono assolutamente possedere meccanismi che blocchino il funzionamento nel momento in cui qualcuno interagisca con essa, anche semplicemente nel tentare di aprire una delle porte di protezione. La stabilità del processo è ciò che i clienti richiedono maggiormente: un processo stabile indica non tanto l'assenza di guasti o di inceppi, ma come la macchina sia studiata per un funzionamento lineare, dove non esistano moduli complicati. Per quanto riguarda l'ottimizzazione dell'OEE si può notare come le aziende non ricerchino costantemente il massimo delle prestazioni, ma siano disposte a sacrificare questa componente per salvaguardare il malfunzionamento causa inceppi e lo scarto di prodotti.

Fig. 2.7 (pagina successiva): tabella per l'assegnazione dei pesi compilata.

I risultati ottenuti, dati dalla somma di tutti i valori presenti in riga, possono essere normalizzati: l'ultima colonna infatti mostra i valori ottenuti con un massimo di 10. Per rendere il processo di compilazione della casa della qualità meno pesante sono state scelte tramite i pesi le 10 categorie che, a seguito della compilazione della stanza 2 hanno ottenuto punteggi maggiori.

2.5 – Scelta delle soluzioni tecniche

Nel primo passo che si è compiuto, di stretto dominio del marketing, si è determinato ciò che desidera il cliente; in questo secondo passo invece, di dominio più marcatamente tecnico-progettuale, si decide come ottenere il risultato desiderato. A questo scopo, partendo dalle esigenze del cliente si devono identificare le grandezze progettuali misurabili e controllabili che possano consentire una valutazione globale del prodotto e che siano capaci di rispondere concretamente alle richieste del cliente.

È un passo particolarmente impegnativo perché implica la traduzione del modello del mercato espresso nei termini soggettivi del linguaggio del cliente in indicatori oggetti di tipo tecnico, cioè in una descrizione del prodotto espressa nel linguaggio proprio del progettista. Viene compilata una lista di parametri o specifiche di progetto ovvero caratteristiche tecnico-ingegneristiche che rappresentano i “come” definiti dal progettista. Alcuni autori definiscono questi parametri come “caratteristiche di qualità sostitutive” perché si sostituiscono alle richieste del cliente e costituiscono l'input di progetto.

Per ognuna delle categorie si sono quindi valutate e proposte, con la supervisione dei membri dell'ufficio tecnico-progettuale, i quali hanno consegnato al lavoro anche le proprie opinioni, alcune soluzioni di tipo tecnico, che vengono di seguito brevemente esposte. Dato che la ricerca delle categorie per la stanza 3 è avvenuta in contemporanea con la richiesta di compilazione della tabella dei pesi per la stanza 2, la ricerca di soluzioni tecniche è stata assunta per tutte le esigenze di mercato iniziali; in questo elaborato però si illustrano solo le soluzioni tecniche riguardanti le esigenze di mercato scelte per la compilazione della casa della qualità, ossia quelle che hanno ricevuto a seguito della compilazione della stanza 2 punteggi alti:

Per ciò che riguarda la richiesta di una piattaforma flessibile, le soluzioni proposte sono legate all'accettazione di diversi tipi di prodotti in ingresso, e quindi all'utilizzo di moduli che ne permettano poi la corretta elaborazione. Nel caso si vogliano accettare, come nell'ambito femminile, prodotti di piccole dimensioni, bisogna porre particolare attenzione al problema del sottosquadro: esattamente come nei pacchi regalo, il film dal quale viene prodotto il sacco contenitore deve essere un po' più lungo alle estremità per permettere ai lembi superiore e inferiore di congiungersi e di essere saldati; prima di procedere alla saldatura però il materiale posto sui lati perpendicolari alla direzione di saldatura viene "beccato" verso l'interno, in modo da eliminare lo spazio in eccesso creato dalla maggiore lunghezza del film [Fig. 2.8a]. Quando la larghezza e l'altezza diventano le stesse, ci si ritrova in un caso limite in cui le estremità delle porzioni di film, riportate all'interno da ambo i lati, si toccano [Fig. 2.8b]. Nel caso in cui la larghezza del prodotto continui a diminuire, fino a diventare inferiore dell'altezza della pila (ciò può capitare con prodotti di piccole dimensioni, quali assorbenti o pantyliner), il materiale beccato si sovrappone, facendo scontrare così gli organi di movimento che consentono questa operazione [Fig. 2.8c]. In tal caso è necessario quindi un'operazione di rotazione della pila durante il processo di avvicinamento alla zona di saldatura, oppure della busta.

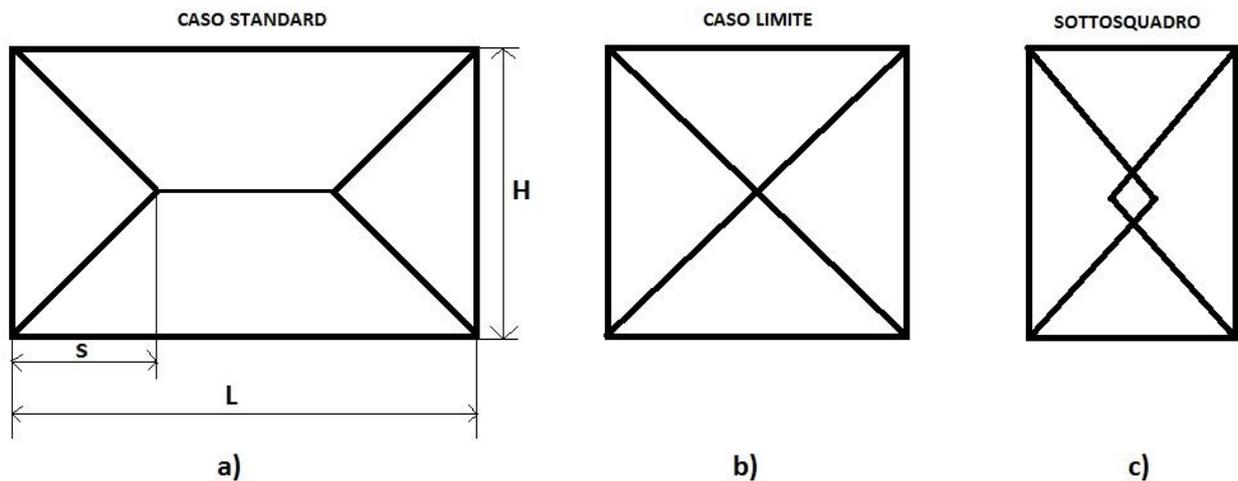


Fig. 2.8: problema del sottosquadro

Altre soluzioni tecniche sono legate al Ruota Pila, ossia la possibilità di ruotare il prodotto di 90° o 180° in direzione perpendicolare al senso del moto, all'altezza in ingresso variabile per avvicinarsi a tutti i tipi di Converter e alla possibilità di una alimentazione verticale.

La variabilità del prodotto in ingresso è legata al fatto che in diverse ore del giorno il prodotto si può presentare con spessori e dimensioni differenti da quelle standard indicate dal prodotto; questo perché il materiale di cui i prodotti igienico sanitari sono

composti è sensibile alle variazioni termiche e igrometriche dell'ambiente circostante, e basta a volte il passaggio temporale tra mattino e mezzogiorno per ottenere differenze significative di spessore. Per permettere che la macchina possa elaborare comunque i prodotti senza problemi esagerati si è individuata una possibile soluzione tecnica nella presenza di un sensore di spessore in ingresso e nell'utilizzo di un sistema di decelerazione flessibile, che possa quindi ovviare ai problemi di cambio di dimensione depositando correttamente il prodotto in catena.

Per la ripartenza rapida dopo allarme si sono proposte soluzioni riguardanti la facilità di scoperta del problema, magari aiutati dal software della macchina, il quale può addirittura consigliare qualche metodo di risoluzione rapida, e qualche dispositivo di tipo luminoso che possa segnalare in modo immediato la zona nella quale intervenire. La macchina non possiede solo componenti meccanici ed in questa metodologia di studio non si poteva escludere ciò che riguarda il mondo dell'elettronica e della logica di processo.

Il controllo estetico e funzionale del prodotto in uscita può essere fatto con l'utilizzo di telecamere; tramite il controllo del peso per verificare se il prodotto è stato danneggiato e se quindi il materiale di cui è composto non garantisce le capacità assorbenti standard; tramite la presenza di un metal detector per verificare che non vi sia presenza di metallo nei prodotti; infine un sistema di controllo di pressione sulla stazione di over compressione, affinché nel caso siano elaborati prodotti con spessore diverso da quello indicato per la lavorazione, non vengano esageratamente pressati con il rischio di modifiche strutturali.

Con il desiderio poi di massimizzare le prestazioni l'utilizzo di materiali innovativi e di organi di movimento maggiormente leggeri e snelli potrebbe essere di aiuto in questa realizzazione. Infine per quel che concerne la riduzione di prodotti scartati, a seguito di uno studio approfondito sull'argomento si è riscontrato come un buon controllo logico della macchina interagisca con in modo diretto con questo tema.

La sicurezza dell'operatore, che ha ricevuto il punteggio maggiore nella stanza 2, non ha prodotto soluzioni tecniche utili, in quanto è comunque un elemento che è sempre ricercato, essendo presenti documentazioni a riguardo.

2.6 – Il tetto: interazioni tra le soluzioni tecniche

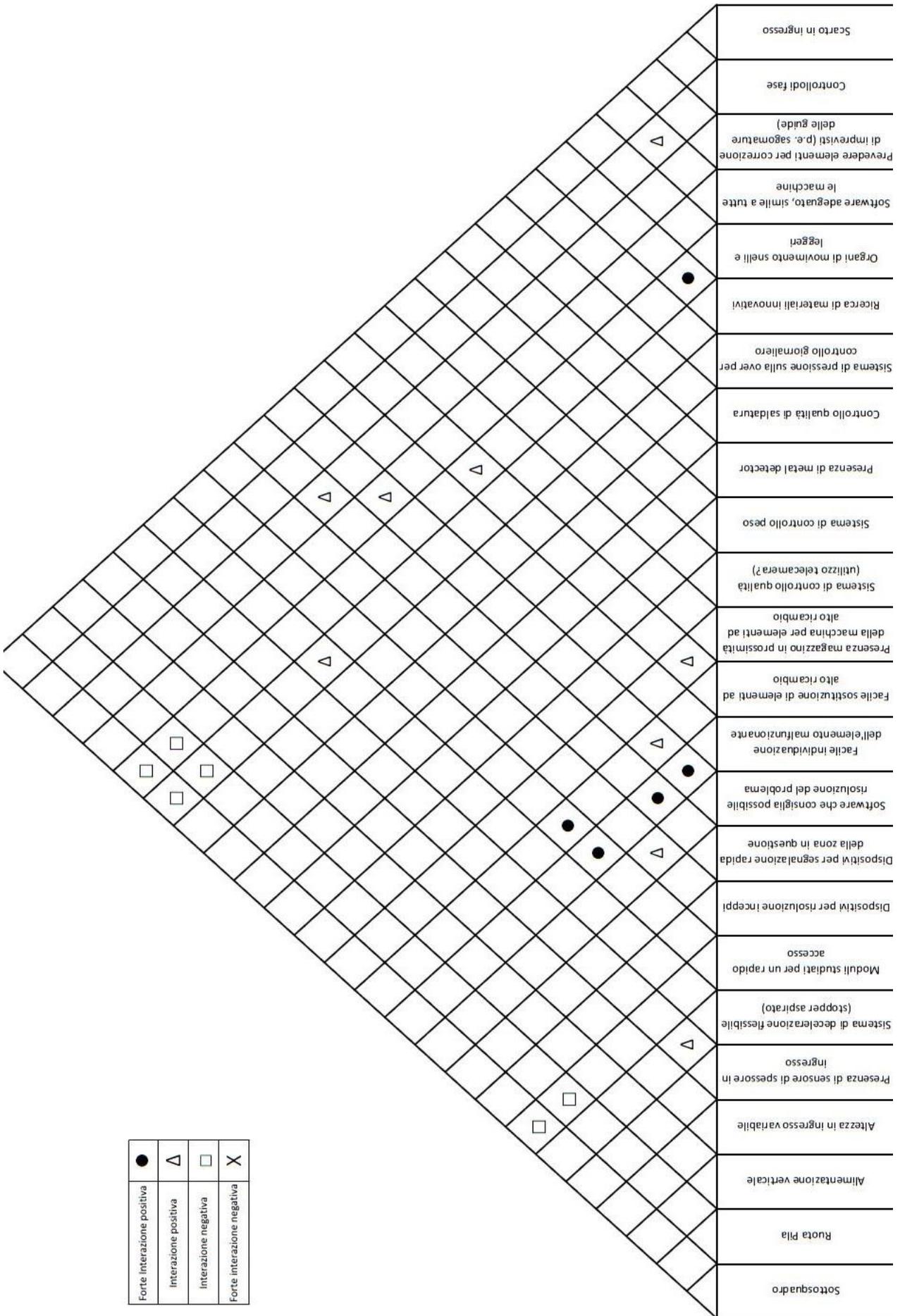
Prima di passare all'illustrazione dei risultati ottenuti a seguito della compilazione della stanza 4 legata alla Matrice di correlazione esigenze-caratteristiche tecniche, si desidera mostrare le relazioni che intercorrono tra le caratteristiche tecniche stesse. La matrice delle correlazioni posta sul “tetto” della Casa della qualità ha forma triangolare ed è collocata parallelamente all'asse delle caratteristiche del prodotto e sopra di esso. Questa matrice consente di descrivere la correlazione fra le varie caratteristiche tecniche mediante simboli univoci qualitativi che rappresentano l'andamento positivo o negativo e l'intensità di ciascuna correlazione. Per rappresentare le correlazioni si usano dei simboli che evidenziano le relazioni conflittuali (negative o fortemente negative) oppure le relazioni che si favoriscono l'un l'altro (positive o estremamente positive); in questo modo la matrice favorisce le soluzioni tempestive e i giusti compromessi.

La matrice delle correlazioni serve a identificare quali caratteristiche tecniche si supportano vicendevolmente e quali sono in conflitto tra di loro. L'assegnazione dell'andamento, positivo o negativo, delle correlazioni è basata sul modo in cui ciascuna caratteristica influenza l'altra, indipendente dalla direzione nella quale si muove il target della caratteristica: è possibile in questo modo esprimere le potenzialità di una caratteristica al di là della soddisfazione della esigenza per la quale è stata proposta.

Le correlazioni negative rappresentano situazioni che richiedono giusti compromessi; le necessità di compromessi che non vengono identificati o compromessi non risolti portano infatti a non soddisfare le esigenze del cliente. Perciò questi devono essere risolti mediante aggiustamenti sui valori di obiettivo delle caratteristiche tecniche che caratterizzano il sistema da progettare.

In Fig. 2.9 si può osservare il tetto della Casa della qualità, compilato con la supervisione dell'ufficio tecnico il quale ha lasciato anche il proprio parere dato dall'esperienza nel campo del *nonwoven*.

Fig. 2.9 (pagina successiva): tetto della Casa della Qualità.



Forti interazione positiva	●
Interazione positiva	▽
Interazione negativa	□
Forti interazione negativa	×

2.7 – Risultati ottenuti

Infine si giunge alla compilazione della stanza più importante ai fini della progettazione tramite la metodologia del QFD, ossia la stanza 4 riguardante la “Matrice delle relazioni”. Per ognuno degli elementi della matrice si cerca la risposta alla domanda: “in quale misura le caratteristiche tecniche del prodotto possono influenzare la qualità attesa dal cliente in termini di un suo grado di soddisfazione?”. Le risposte a queste domande sono discusse dall'ufficio tecnico e commerciale fino a che si raggiunge il consenso. L'accordo circa le valutazioni si basa sulle precedenti esperienze nei rispettivi campi, ossia quello tecnico, sui responsi dei clienti e sui dati ottenuti attraverso analisi statistiche.

Le relazioni tra richieste e caratteristiche sono espresse in modo qualitativo o al più semi-qualitativo tramite fattori di intensità di correlazione (elevata, media, debole o inesistente) e codificate mediante lettere, numeri o simboli convenzionali.

Il QFD fornisce una via per districare questa complessa ragnatela di relazioni mediante una matrice, formata dalle esigenze di mercato e le caratteristiche tecnologiche associate, che definisce le loro reciproche relazioni. Le esigenze sono disposte orizzontalmente nella colonna di sinistra, mentre le caratteristiche in verticale sopra la matrice delle relazioni. Le relazioni sono rappresentate nel caso proposto in questo elaborato da numeri, in modo da poter arrivare a una soluzione finale che sia di chiara lettura, essendo semplicemente un risultato numerico.

È interessante osservare che le caratteristiche tecniche, che si ricorda essere proposte per soddisfare una specifica richiesta del mercato, influenzano in realtà anche altre esigenze, ed è proprio in questo che si dimostra la potenza di questa metodologia: tramite l'utilizzo della Casa della qualità è possibile giungere alla scelta di una soluzione tecnica rispetto ad un'altra semplicemente osservando come essa influenza non solo l'esigenza per la quale è inserita, ma anche tutte le altre e grazie ai valori numerici, stabilire l'intensità di questa influenza. Se non ci sono relazioni, i corrispondenti incroci vengono lasciati vuoti.

In Fig. 2.10 si può osservare la Casa della Qualità completa.

I valori assegnati sono:

- 1 per interazione debole
- 3 per interazione media
- 9 per interazione forte

Sono stati scelti questi valori esponenziali per dare maggiore peso alle interazioni forti: in questo caso un'interazione forte è più influente di due interazioni medie, ed è quindi valorizzata.

Una volta conclusa la parte riguardante la matrice delle relazioni, si passa alla compilazione finale della stanza 6, nella quale sono riassunti i risultati della Casa della qualità. In questa riga di valori viene sommato per ogni colonna il punteggio che è stato assegnato ad una determinata caratteristica tecnica in riferimento ad una specifica esigenza del mercato, moltiplicata per il peso di quella esigenza, stabilito nella compilazione della stanza 2. Tutti questi valori, sommati tra loro stabiliscono il peso di ogni caratteristica tecnica; è possibile infine stabilire, tramite una classifica, quali sono le soluzioni tecniche più importanti, e quindi quelle sulle quali basare la prima parte della progettazione.

I risultati sono esposti nell'ultime righe della Fig. 2.10 dove sono mostrati i punteggi totali. Per questo progetto la Casa della qualità ha dimostrato come una Logica di fase (indicata con 1 nell'ultima riga) ben costruita sia ciò di cui le macchine hanno bisogno. Si è dedicato quindi una parte del lavoro allo studio del Ciclogramma, che come viene esposto al capitolo 3 è ciò che governa il processo di tutti gli organi di movimento. Inoltre anche un software adeguato permette un facile utilizzo della macchina, con notevole risparmio di tempo; lo sviluppo di questa parte però non è inserita all'interno di questo elaborato. Lo è invece quello dedicato alla progettazione di uno stopper aspirato, il quale, come mostra la Casa della qualità, possiede notevoli vantaggi in termini di stabilità del processo e ottimizzazione dell'OEE.

CAPITOLO 3 – IL CICLOGRAMMA

I risultati conseguiti dall'applicazione della metodologia della Casa della Qualità hanno mostrato come una buona logica di fase, ossia l'insieme di algoritmi logici che comandano in maniera sincrona tutti le varie movimentazioni della macchina confezionatrice, garantisca il successo di una nuova progettazione e per questo sia la soluzione tecnica principale su cui puntare nelle prime fasi. Ulteriore attenzione è stata quindi dedicata allo sviluppo di questo argomento.

Viene segnalato inoltre che i grafici inseriti in questo elaborato sono privi di qualsiasi riferimento numerico per motivi di riservatezza.

3.1 – I prodotti elaborati

Prima di mostrare l'importanza e il funzionamento del ciclogramma, è necessario soffermarsi sulle diverse tipologie e dimensioni di prodotti che ogni macchina VIRE elabora. Come già ripetuto nei capitoli precedenti, la flessibilità è una caratteristica importante. In generale un costruttore può decidere se dedicarsi alla progettazione di una macchina uniformato, caratterizzata da performance elevate, o di una macchina con maggiormente flessibile, in grado di elaborare più tipologie di prodotto ma con performance inferiori legate alla soddisfazione dei diversi requisiti dei prodotti. VIRE garantisce ai propri clienti tramite un'unica macchina l'elaborazione di diverse dimensioni di prodotti, i quali richiedono quindi ciclicità diverse; ciò comporta uno sviluppo orizzontale, con obiettivo il funzionamento della macchina per tutti i prodotti alle ciclicità richieste. Nello studio di progettazione quindi si deve tenere conto, per ogni soluzione viene proposta, che essa sia adatta a tutti i tipi di prodotti.

In Fig. 3.1 è possibile notare le dimensioni dei diversi tipi di prodotti presenti nel mercato del prodotto femminile. Questi valori sono il riassunto dei risultati ottenuti a seguito di una ricerca approfondita sul mercato; in questa fase sono state analizzate informazioni raccolte da clienti, aziende concorrenti e studi innovativi svolti sull'argomento. Per tutti i prodotti, oltre alla dimensione media, che viene spesso considerata come misura target, vengono anche considerati i relativi discostamenti, indicando le dimensioni minime e massime.

PANTYLINER STESO	ALTEZZA	LUNGHEZZA	SPESSORE
	[mm]	[mm]	[mm]
minimo	45	120	1
massimo	70	200	5
target	60	170	3

PANTYLINER TRIPIEGATO IN BUSTINA	ALTEZZA	LUNGHEZZA	SPESSORE
	[mm]	[mm]	[mm]
minimo	50	70	2
massimo	70	100	8
target	60	90	5

LIGHT INCO TRIPIEGATO IN BUSTINA	ALTEZZA	LUNGHEZZA	SPESSORE
	[mm]	[mm]	[mm]
minimo	90	90	15
massimo	150	190	25
target	130	140	20

ASSORBENTE STESO	ALTEZZA	LUNGHEZZA	SPESSORE
	[mm]	[mm]	[mm]
minimo	50	200	4
massimo	80	320	12
target	70	250	8

ASSORBENTE TRIPIEGATO IN BUSTINA	ALTEZZA	LUNGHEZZA	SPESSORE
	[mm]	[mm]	[mm]
minimo	50	70	4
massimo	130	150	18
target	80	100	10

Fig. 3.1: tabella con misure dei prodotti.

Si può notare l'ampia gamma di misure che il mercato odierno richiede per il prodotto femminile. Nel caso della progettazione di una nuova macchina, è necessario considerare tutte le possibili combinazioni di prodotto che il cliente potrebbe richiedere durante l'ordine di una confezionatrice. Per lo studio sviluppato e discusso in questo

elaborato sono stati considerati due prodotti tipo che riassumono in essi tutti quelli che con le loro dimensioni possono essere processati con operazioni simili. Per il “prodotto grande”, ossia quello che riassume i prodotti di dimensioni maggiori, è stata considerata una dimensione della faccia laterale pari a $350 \times 110 \text{ mm}$, mentre per il “prodotto piccolo” le dimensioni sono $150 \times 150 \text{ mm}$. La larghezza della pila non è in questo caso determinante ai fini della discussione e viene d’ora in poi trascurata.

I Converter sono caratterizzati da una determinata velocità lineare di produzione: i prodotti vengono creati da rotoli di *nonwoven* e la velocità con cui questi rotoli vengono svolti è sempre la stessa, qualsiasi siano i prodotti che si desiderano ottenere, e pari alla massima possibile, al fine di massimizzare le prestazioni. La lunghezza del prodotto richiesto però caratterizza la ciclicità, ossia il numero di prodotti al minuto ottenuti, dato che la stessa quantità di materiale separata in spazi di lunghezza maggiore produce un minor numero di pezzi a parità di tempo. Come conseguenza di questo motivo il prodotto grande viene processato a ciclicità che risultano inferiori rispetto al prodotto piccolo. Un’ulteriore indagine di mercato sulle ciclicità richieste in base al tipo di prodotto ha riportato che un tipico prodotto grande viene elaborato con una ciclicità richiesta di 80 pz/min , mentre quello piccolo viene confezionato con una ciclicità pari a 120 pz/min . Questi valori sono stati scelti ai fini della progettazione della nuova macchina, e quindi le applicazioni mostrate in seguito vengono studiate per soddisfare entrambe le ciclicità.

3.2 – La camma virtuale

Nelle macchine automatiche che devono compiere operazioni successive ad alte velocità è necessario, anche in fase di studio, utilizzare uno strumento che permetta di modificare con facilità lo stato di organi che possiedono movimenti consequenziali; in particolare in questo ambiente è classico il caso in cui un modulo si avvii una volta concluso il movimento di quello precedente. Inoltre è utile compiere operazioni di progettazione in un ambiente che ti permetta di osservare le variazioni di parametri dinamici a seguito di un’alterazione della ciclicità, mantenendo però immutato il profilo di moto degli organi di movimento.

Per fare questo si utilizza una camma virtuale del tipo *Master-Slave*: la camma virtuale appena citata compie un giro di 360° virtuali in un tempo ciclo T_c , espresso come:

$$T_c = \frac{60}{BPM}$$

dove 60 sono i secondi in un minuto e *BPM* risulta la ciclicità richiesta, ossia il numero di prodotti in uscita alla macchina confezionatrice.

A questa camma, denominata *Master*, sono legati i movimenti degli *Slave*, gli organi di movimento della macchina: man mano che il Master gira, nel suo moto di rotazione attiva gli organi che compiono così il loro movimento. La comodità di questo metodo consiste nel fatto che in questo processo non è necessario assegnare un tempo ad ogni movimentazione, il quale dovrebbe essere poi nuovamente attribuito appena si cambia il numero di cicli.

Il tempo assegnato ad un movimento viene espresso dedicando un angolo virtuale della rotazione del Master a tale movimentazione; questo numero viene precedentemente assegnato in base alla costruzione della camma virtuale. In questo modo cambiando la velocità del Master varia allo stesso modo la velocità degli Slave, ottenendo notevoli vantaggi in termini di carico computazionale.

Ulteriore vantaggio è legato alla semplicità di vincolare la partenza di un determinato modulo in base all'arrivo di uno precedente ad esso: la costruzione della camma in questo senso è banale in quanto è sufficiente calcolare l'istante di arrivo di un determinato modulo, dato dalla somma dell'istante iniziale e della durata del movimento, ed impostarlo come inizio del successivo.

3.3 – Costruzione del profilo di moto

Per la costruzione del ciclogramma è necessario assegnare ad ogni organo di movimento il proprio profilo di moto. In una macchina come questa, dove ogni stazione ripete il proprio movimento ogni tempo ciclo, ritornando nella propria posizione alla fine del processo prestabilito, è importante eseguire il movimento il più rapidamente possibile. Per questo studio sono state studiate due soluzioni principali che maggiormente simulano in modo corretto il comportamento reale degli organi; il profilo scelto è stato applicato poi a tutte le movimentazioni. Si ricorda inoltre che ogni profilo viene studiato affinché si possa applicare una sua definizione generica,

indipendente dall'angolo assegnato alla movimentazione; solo successivamente infatti si specifica l'angolo assegnato.

Il primo profilo di posizione studiato è legato al trapezio di velocità del tipo 1/3, 1/3, 1/3: esso consiste di una fase iniziale ad accelerazione costante, per poi passare ad un tratto a velocità costante ed infine ad un tratto di decelerazione costante. Ogni tratto possiede una durata pari ad un terzo della durata totale del movimento. Questo profilo di velocità produce quindi un profilo di posizione che ha una forma parabolica per il primo e per il terzo tratto, mentre il secondo tratto possiede un andamento rettilineo. Il movimento di un organo è composto da due fasi: una di andata e una di ritorno, che possiedono in questo studio lo stesso profilo in senso opposto.

Chiamando T il tempo dedicato al tratto di sola andata, esso vale:

$$T = N_g t_g$$

Dove:

- N_g sono i gradi dedicati al tratto, pari quindi a:

$$N_g = \theta_f - \theta_i$$

Con:

- θ_f il grado a cui si conclude il movimento
- θ_i il grado iniziale

- t_g il tempo corrispondente ad un grado Master, pari a:

$$t_g = \frac{T_c}{360}$$

dove:

- T_c è il tempo ciclo
- 360 i gradi di un ciclo Master

Chiamando t_1 , t_2 e t_3 i tempi dedicati rispettivamente al tratto di accelerazione, a velocità costante e di decelerazione, nel caso studiato del trapezio di velocità si ha che essi sono uguali tra loro (pari a t_t) e vale:

$$T = t_1 + t_2 + t_3 = 3t_t$$

Avendo come dato di progettazione la corsa s che l'organo considerato deve eseguire, per calcolare la velocità del tratto a velocità costante si uguaglia la corsa all'area del trapezio nel diagramma velocità-tempo:

$$s = \frac{(B + b)h}{2} = \frac{(t_1 + t_2 + t_3 + t_2)v}{2} = \frac{4t_t v}{2} = 2t_t v$$

quindi:

$$v = \frac{s}{2t_t}$$

Per calcolare l'accelerazione invece, essendo il primo un tratto ad accelerazione costante, essa vale:

$$a = \frac{v}{t_t}$$

Dati T ed s vengono ricavati v ed a e il trapezio di velocità viene totalmente definito; il profilo di posizione si costruisce calcolando in ogni punto lo spazio percorso, dove se si è nel primo tratto essa vale:

$$x(t) = \frac{1}{2}at^2$$

nel secondo tratto:

$$x(t) = \frac{1}{2}at_1^2 + v(t - t_1)$$

e nell'ultimo tratto di decelerazione:

$$x(t) = \frac{1}{2}at_1^2 + v(t - t_1) - \frac{1}{2}a(t - t_2 - t_1)^2$$

In questo caso si verifica per ogni grado in che tratto l'organo si ritrova e si assegna il profilo di posizione corrispondente. Per il tratto di ritorno il profilo è del tutto simile, se non per il fatto che la posizione iniziale è non nulla e pari alla corsa s e che accelerazioni e velocità sono negative.

Una seconda possibilità è data dalla scelta di un profilo di tipo sinusoidale. Questo profilo viene determinato partendo da quello di posizione: dato che anche l'asse motore

viene pilotato tramite un controllo di posizione, questo profilo potrebbe ricordare maggiormente il suo reale comportamento.

La funzione vale 0 al grado iniziale, perciò è presente una traslazione della funzione verso l'alto. La funzione generica quindi, in funzione del tempo, è:

$$x(t) = X \cos\left(\frac{2\pi}{P}t - \pi\right) + s_0$$

dove

- X è l'ampiezza della funzione
- P è il periodo della funzione
- s_0 è lo spostamento iniziale

Cambiando la variabile della funzione e passando ai gradi Master, si nota che:

- $P = 2(\theta_f - \theta_i)t_g$
- $t = t_g \theta$ con θ pari al grado Master considerato

Passando inoltre dai radianti ai gradi, si ottiene quindi:

$$x(\theta) = X \cos\left(\frac{360^\circ}{2(\theta_f - \theta_i)t_g} t_g \theta - 180^\circ\right) + s_0$$

Inoltre, considerando che non sempre $\theta_i = 0$, si pone al posto di θ , $\theta - \theta_i$. Si giunge dopo alcuni passaggi, alla formulazione finale:

$$x(\theta) = X \cos\left[\left(\frac{\theta - \theta_i}{\theta_f - \theta_i} - 1\right) 180^\circ\right] + s_0$$

Ponendo infine le condizioni al contorno:

- $x(\theta_i) = -X + s_0 = 0$
- $x(\theta_f) = X + s_0 = s$

Si ottiene $X = s_0 = \frac{s}{2}$ e in conclusione:

$$x(\theta) = \frac{s}{2} \cos\left[\left(\frac{\theta - \theta_i}{\theta_f - \theta_i} - 1\right) 180^\circ\right] + \frac{s}{2}$$

In questo modo si ha la possibilità di svincolare il profilo dalla discretizzazione dei tratti. I due profili sono molto simili nell'andamento, come si nota in Fig. 3.2.

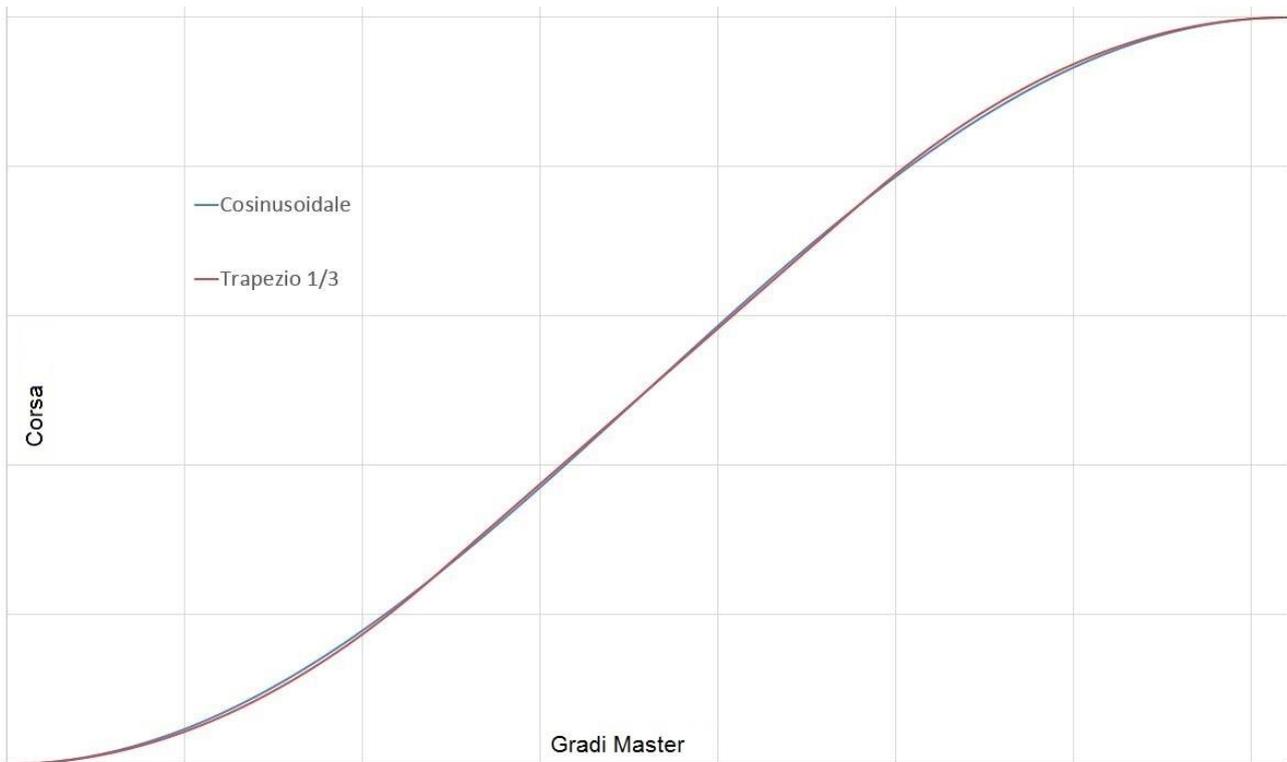


Fig. 3.2: confronto tra profilo sinusoidale e profilo dato dal trapezio di velocità.

Si è quindi scelto di utilizzare il profilo sinusoidale per i motivi sopra citati. Le velocità e le accelerazioni sono quelle descritte di seguito.

Chiamando δ la quantità $\frac{\theta - \theta_i}{\theta_f - \theta_i} 180^\circ$ vale

$$v(\theta) = \frac{s}{2} [-\sin(\delta - 180^\circ)] \frac{d\delta}{dt} = \frac{s}{2} \frac{180^\circ}{\theta_f - \theta_i} [-\sin(\delta - 180^\circ)] \omega$$

dove ω è la velocità angolare costante della camma virtuale e pari a $\frac{2\pi}{T_c}$; l'accelerazione invece è

$$a(\theta) = \frac{s}{2} \frac{180^\circ}{\theta_f - \theta_i} \left\{ \dot{\omega} [-\sin(\delta - 180^\circ)] + \omega [-\cos(\delta - 180^\circ)] \frac{180^\circ}{\theta_f - \theta_i} \omega \right\}$$

con $\dot{\omega}$ accelerazione angolare della camma virtuale, la quale però procede a velocità costante, e quindi $\dot{\omega} = 0$.

Ciò porta a:

$$a(\theta) = \frac{s}{2} \left(\frac{180^\circ}{\theta_f - \theta_i} \omega \right)^2 [-\cos(\delta - 180^\circ)]$$

Per ogni grado Master viene quindi calcolata posizione, velocità ed accelerazione dell'organo considerato, e viene poi rappresentato in un grafico. Per lo sviluppo del calcolo è stato utilizzato Excel. In Fig. 3.3 e Fig. 3.4 sono presentati i confronti tra le due tipologie anche per quanto riguarda velocità e accelerazioni.

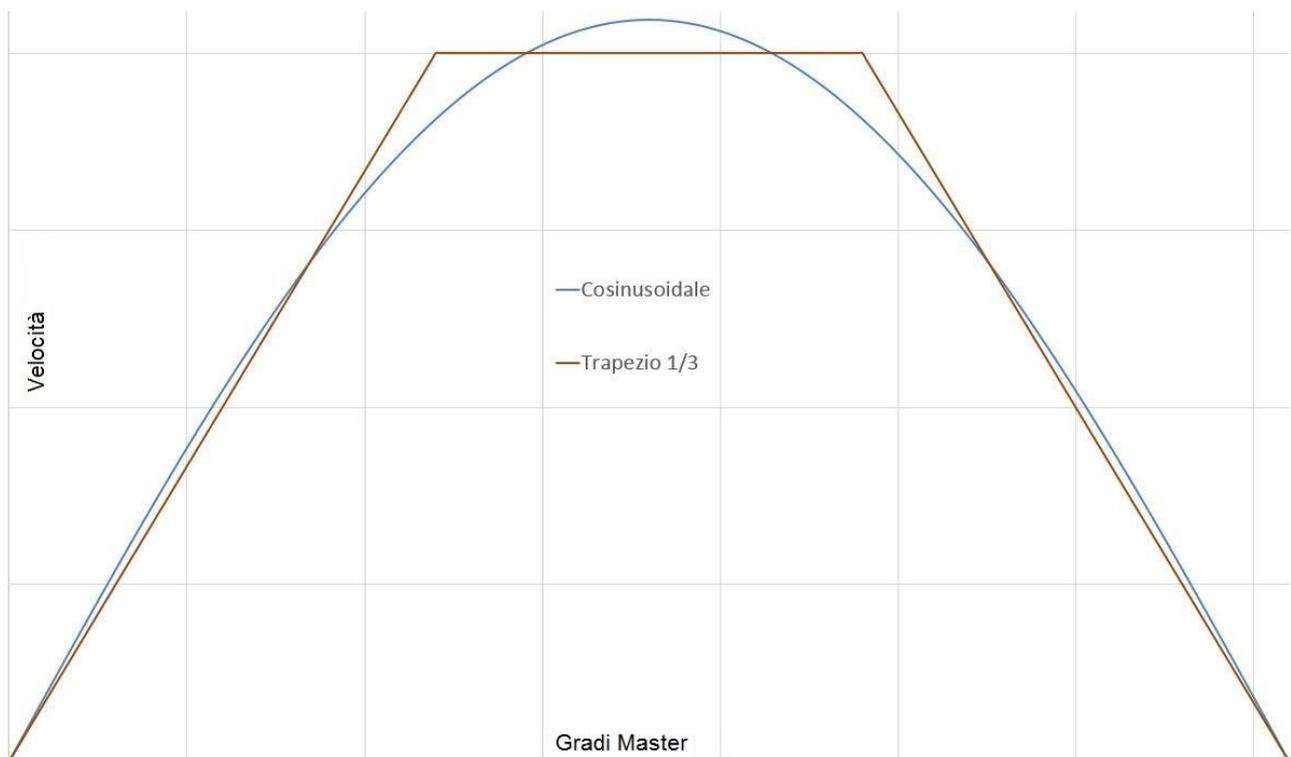


Fig.: 3.3: confronto tra i profili di velocità.

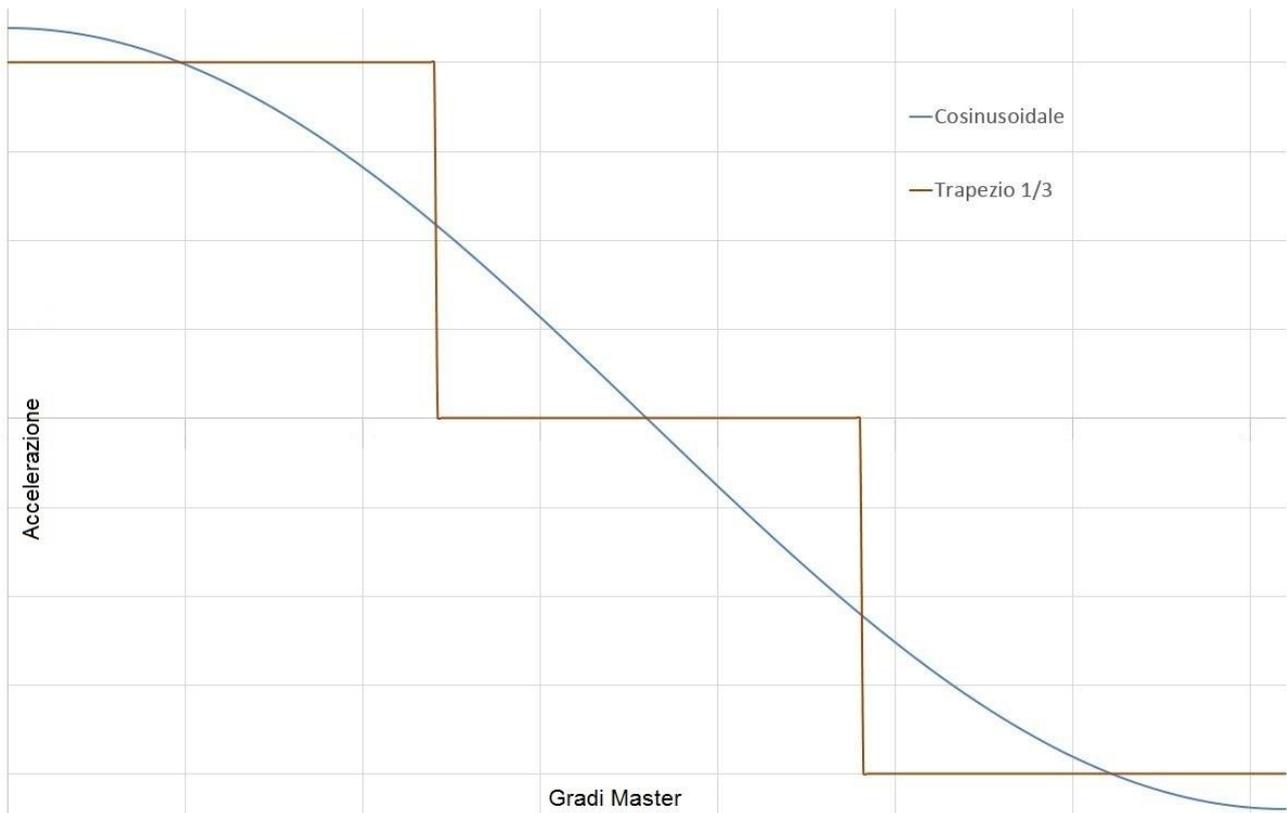


Fig. 3.4: confronto tra i profili di accelerazione.

3.4 – Compilazione della prima parte del ciclogramma

Dato che in questo studio ci si è soffermati sulla progettazione del gruppo raggruppatore, ci si concentra sui moduli di cui esso è composto. Tuttavia non è possibile separarsi da alcuni moduli successivi, in quanto essi sono legati tra loro dalla logica dei movimenti ad essi associati, i quali sono vincolanti anche per quanto riguarda le scelte progettuali.

Innanzitutto vi è da precisare che alcune tra le prime stazioni non sono considerate nel ciclogramma, ossia l'interfacciamento con il Converter, quello con la macchina confezionatrice e la catena porta prodotti. Queste stazioni infatti hanno l'obbligo di un funzionamento continuo: interagendo con il Converter, il quale possiede una portata di prodotti in uscita costante, non possono avere un funzionamento discontinuo in quanto si andrebbe in questo modo a creare inceppi, non avendo la possibilità di interrompere il funzionamento del Converter. Questo spiega la loro assenza all'interno del ciclogramma.

La sequenza logica dei movimenti della prima fase è illustrata in fig. 3.5 ed è la seguente:

- Il ciclogramma inizia con la corsa del braccio dell'estrattore. Quando il numero di prodotti desiderato si presenta nell'interfaccia del profilo dell'estrattore (il che è verificabile grazie alla presenza di un sensore che garantisce il conteggio dei pezzi) viene dato il comando di avvio. Il carrello che insegue la catena nel suo moto di avanzamento non viene considerato in quanto è un cosiddetto "movimento a tempo morto", ossia un movimento eseguito prima di raggiungere il punto in cui deve avvenire l'estrazione. Al termine della corsa di andata il braccio di estrazione esegue immediatamente il rientro.
- Una volta terminata la corsa di andata dell'estrattore è il momento di due azionamenti che possiedono un avvio contemporaneo: l'asse Y e la pre-compattazione. Il fatto che queste movimentazioni debbano attendere l'andata dell'estrattore è legato all'arrivo della pila di prodotti da elaborare. Per poter portare il prodotto in avanti il gruppo X-Y deve prima compiere il suo moto di discesa (come spiegato al paragrafo 1.6) e allo stesso tempo attendere la fine della corsa di pre-compattazione: per questo motivo le due movimentazioni citate procedono contemporaneamente, fino alla fine della loro corsa di andata. In questo caso però, a differenza del braccio estrattore, entrambe attendono prima di procedere con il moto di ritorno.
- Il movimento più lento delle due andate citate sopra indica l'inizio della movimentazione in direzione X del braccio meccanico: infatti a seconda della percentuale di spessore che si desidera comprimere, si potrebbe avere, per via dei gradi assegnati ai movimenti, che la compressione sia più lenta della discesa dell'asse Y. In tal caso si deve attendere la fine della compressione, in quanto non farlo farebbe avanzare i prodotti in una condizione di semi-compressione, che porterebbe alla distruzione della pila creata dall'estrattore. La corsa dell'asse X dipende dalla lunghezza del prodotto da elaborare.
- Terminata la corsa dell'asse X la pila si trova ora sul gruppo a pioli. Con quest'ultimo gruppo escluso terminano i moduli presenti nella prima fase del ciclogramma. La parte conclusiva è quindi dedicata al rientro di tutte le movimentazioni che hanno eseguito solamente la corsa di andata nelle loro posizioni iniziali, e quindi viene avviato il loro ritorno. Questi tre movimenti (rientro asse X, rientro asse Y e rientro pre-compressione) avvengono contemporaneamente.

È importante notare però che la fine dei 360° non sia necessariamente il termine per tutte le movimentazioni. Entro l'ultimo grado del ciclo è necessario che siano stati ripristinati quegli organi che impedirebbero altrimenti il corretto processo di confezionamento del prodotto. Nello specifico caso considerato, ciò che potrebbe impedire la lavorazione della pila successiva è la non riapertura delle piastre di precompressione. Infatti se le piastre non sono ritornate allo stato originale, la pila trasportata dall'estrattore impatterebbe contro le piastre ancora chiuse, bloccando completamente il processo. La stessa cosa vale per l'asse Y: se il braccio non uscisse in tempo dall'ingombro, diventerebbe un ostacolo per la pila in arrivo. Una volta però che il braccio è salito e si trova fuori ingombro, il ritorno in direzione X può tranquillamente avvenire senza limiti temporali, anche contemporaneamente all'estrazione successiva; l'unico vincolo è che esso si concluda entro la fine dell'andata dell'estrazione, perché poi è richiesta la discesa dell'asse Y che deve per forza avvenire in verticale.

Una volta compreso come si compongono le azioni, e quindi la sequenza logica legata al ciclogramma, è necessario assegnare i gradi alle diverse operazioni; si è scelto di inserire per ognuno di essi un angolo virtuale tale che le dinamiche associate fossero più o meno le stesse per ogni asse. In questo modo è stato possibile quindi capire quali fossero i limiti legati alle ciclicità e quindi alle prestazioni, per arrivare alla consultazione del diagramma che può a tutti gli effetti essere considerato quello definitivo.

In Fig. 3.5 viene presentata la sequenza dei movimenti della prima fase all'interno del ciclogramma:



Fig. 3.5: primo ciclogramma studiato.

Nel diagramma sono mostrati i seguenti movimenti:

- In rosso l'estrattore
- In giallo l'asse Y
- In blu la pre-compressione
- In verde l'asse X

Le linee continue indicano l'andata, mentre quelle tratteggiate il ritorno.

Analizzando i dati emersi, si è subito notato come le dinamiche fossero molto elevate per il prodotto piccolo. Infatti le accelerazioni richieste per eseguire le operazioni con le corse e le ciclicità desiderate risultano in questo modo esagerate, raggiungendo in alcuni casi valori pari a 90 m/s^2 . Volendo mantenere le dinamiche più basse, ci si è mossi verso una rivalutazione di come il ciclogramma venisse impostato, andando a lavorare direttamente su alcune movimentazioni.

3.5 – Miglioramento delle corse

Nella valutazione dei moduli presenti nella prima fase del ciclogramma, si è notato come per il prodotto del tipo piccolo fossero impostate le stesse corse dedicate al prodotto grande, le quali risultano eccessive rispetto alla sua lunghezza. Queste sono state calcolate sulla base del dimensionamento fatto sul prodotto grande, che ha determinato le lunghezze massime dei moduli. In questa situazione però esse non risultano vantaggiose per il prodotto piccolo, il quale quindi a ciclicità maggiori e a pari distanza è soggetto a dinamiche più elevate.

Di conseguenza la prima valutazione è stata eseguita riguardo alla corsa dell'asse X e all'occasione di una sua possibile riduzione. Il movimento in direzione X infatti deve portare la pila fuori dall'ingombro del modulo di precompressione, che è stato progettato considerando le dimensioni del prodotto più grande; nel caso in cui i prodotti venissero depositati nella stazione di precompressione con la faccia anteriore sempre nello stesso punto (in Fig. 3.7 indicata con 1), per un prodotto di minore lunghezza sarebbe necessaria una corsa inferiore per essere portato fuori ingombro. In realtà ciò non avviene, avendo la situazione esattamente opposta, con la faccia posteriore posizionata sempre allo stesso livello (in Fig. 3.6 indicata con 1), al di là della lunghezza del prodotto: l'estrattore infatti si interfaccia con la pila da dietro, accompagnandola nel suo moto di avanzamento; se l'estrattore compie sempre la stessa

corsa la depositerebbe costantemente nello stesso punto, obbligando quindi il braccio dell'Asse X-Y a compiere la massima corsa orizzontale.

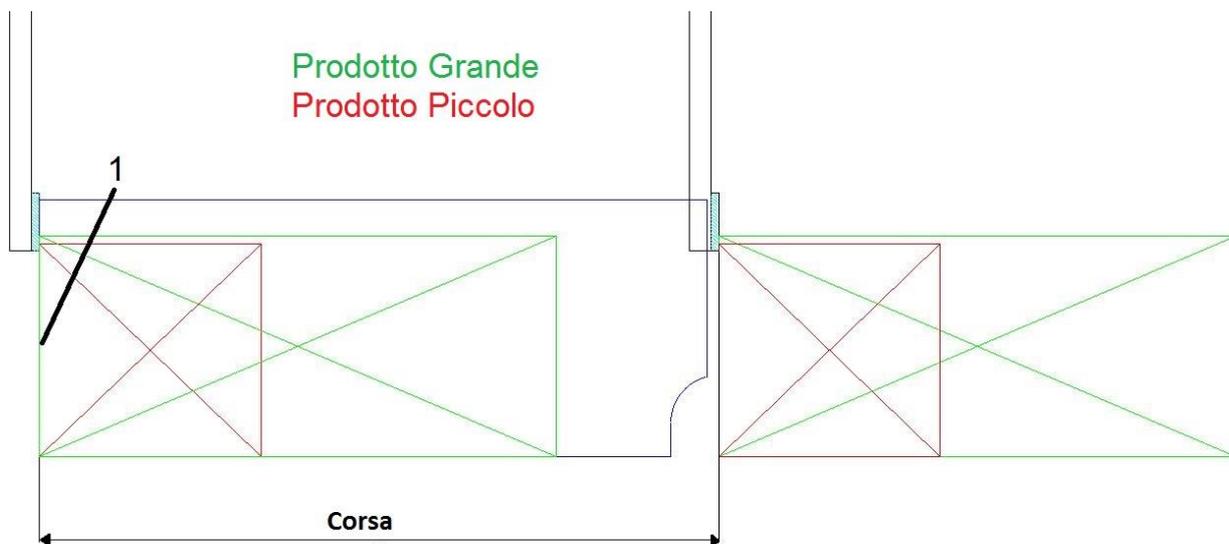


Fig. 3.6: Vista laterale. Corsa dei prodotti con coincidente faccia posteriore.

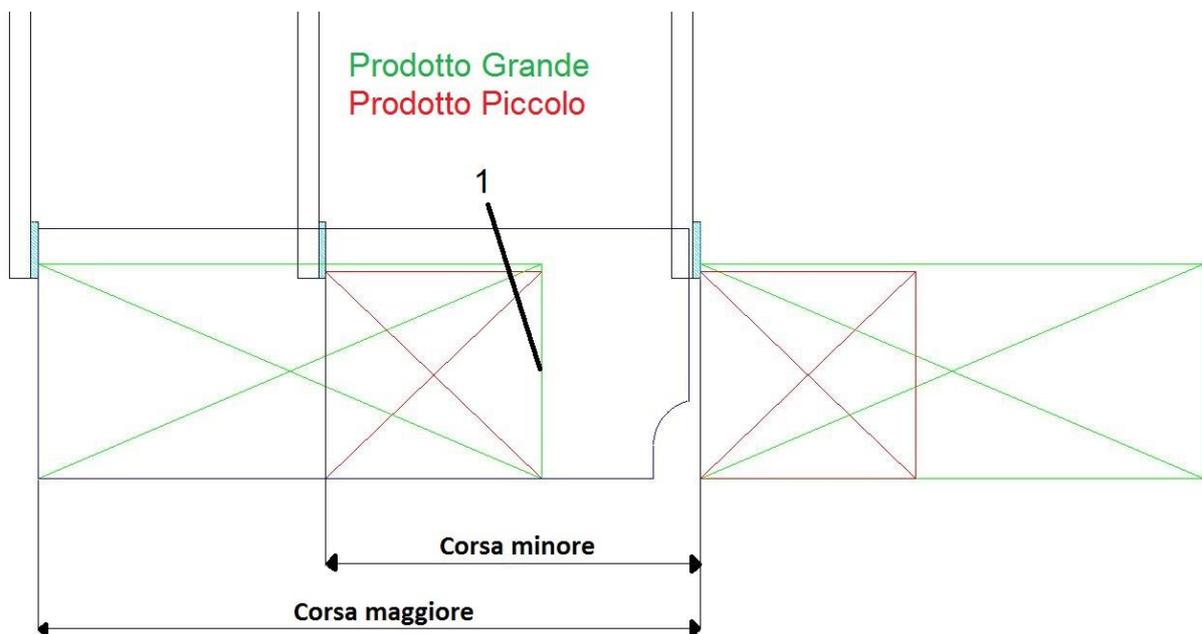


Fig. 3.7: corsa dei prodotti con coincidente faccia anteriore.

Nel caso in cui l'estrattore potesse lasciare il prodotto più avanti, l'Asse X compierebbe una corsa inferiore, garantendo dinamiche inferiori a parità di gradi Master o una riassegnazione di quest'ultimi ad altre movimentazioni, con conseguente diminuzione generale di tutte le dinamiche. L'abbassamento della corsa dell'Asse X però

sembrerebbe compensato da un aumento di corsa dell'estrattore, il quale deve accompagnare la pila di prodotti per un tratto maggiore in modo tale da depositarla più avanti; questa problematica però viene eliminata da alcune considerazioni:

- Innanzitutto la pila accompagnata dall'estrattore, per via delle forti accelerazioni, riceve una spinta che le permette di proseguire il proprio moto di avanzamento senza la necessaria presenza del profilo dell'estrattore; una volta raggiunta la zona di precompressione la pila può procedere da sola guidata dalle pareti laterali e dal pianale, fino a raggiungere il punto dove avviene la compattazione. In questo luogo è presente una battuta, composta da una piastra verticale che appare dal basso, la quale possiede la funzione di interrompere il moto di avanzamento incontrollato della pila, così da permettere la pre-compattazione. Tale spinta garantisce una parte della riduzione della corsa desiderata.
- Inoltre lo stesso ragionamento fatto per la riduzione della corsa dell'Asse X può essere fatto per l'estrattore. In questo caso però, andando sempre più a monte nel processo di confezionamento, si nota come la corsa dell'estrattore dipenda dalla posizione del prodotto all'interno della catena porta palette (Fig. 3.8): se infatti il prodotto venisse posizionato a ridosso della zona di ingresso del modulo di precompressione, il braccio estrattore potrebbe avere il punto di inizio corsa (1) molto più vicino e quindi eseguire una corsa inferiore. Per far sì che il prodotto venga depositato in una zona più vantaggiosa è necessario però permettere al nastro estrattore di avvicinarsi a tale zona, coprendo quella distanza che altrimenti il prodotto dovrebbe percorrere completamente incontrollato.

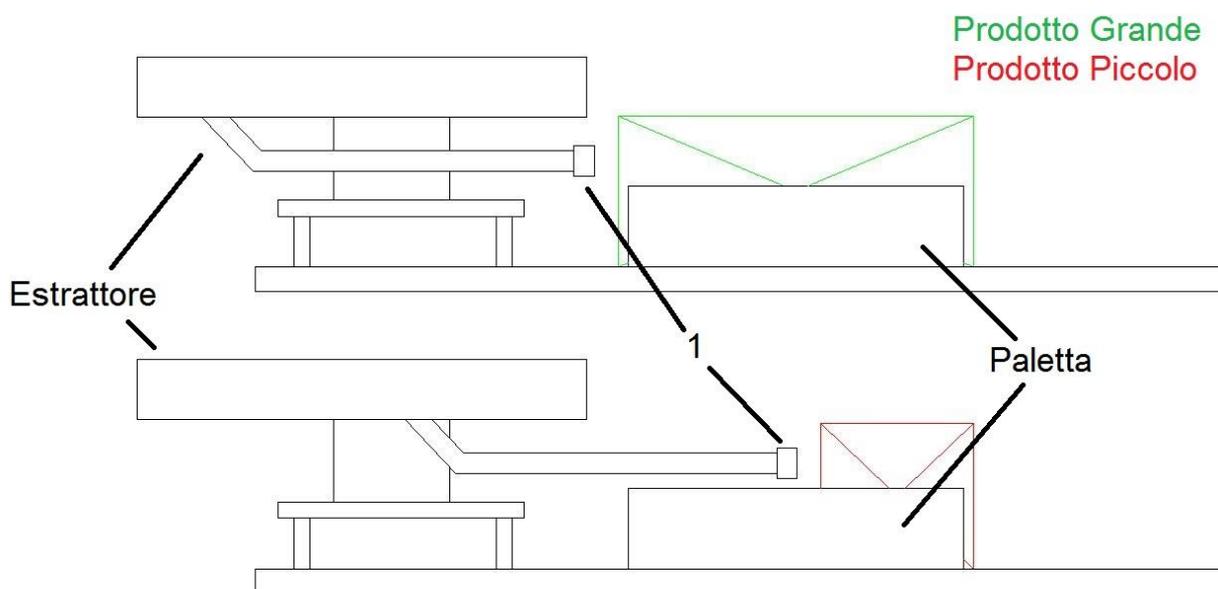


Fig. 3.8: confronto tra le posizioni iniziali del braccio estrattore.

3.6 – Il ciclogramma migliorato

A seguito delle valutazioni fatte al paragrafo precedente, sono stati apportati miglioramenti alla all'organizzazione del ciclogramma che hanno permesso di ottenere soluzioni ottimali ai fini della progettazione di questa prima fase. Di seguito viene esposto il ciclogramma qualitativo (in Fig. 3.10) che è simile sia per prodotti grandi e piccoli, i quali possiedono le dimensioni e ciclicità indicate nel paragrafo 3.1. I loro andamenti sono del tutto uguali se non per le corse diverse ed indicate di seguito in Fig. 3.9.

PRODOTTO GRANDE		
Lunghezza prodotto	[mm]	350
Corsa Estrattore	[mm]	430
Corsa Asse X	[mm]	460

PRODOTTO PICCOLO		
Lunghezza prodotto	[mm]	150
Corsa Estrattore	[mm]	220
Corsa Asse X	[mm]	230

Fig. 3.9: confronto tra corse per diversi prodotti.

Grazie alla riduzione delle corse è stato possibile osservare un calo notevole nelle accelerazioni, ottenendo valori pari a circa $40 m/s^2$, i quali sono considerati accettabili.

Le soluzioni che permettono la riduzione della corsa dell'estrattore sono state ampiamente studiate e vengono esposte al capitolo 5.

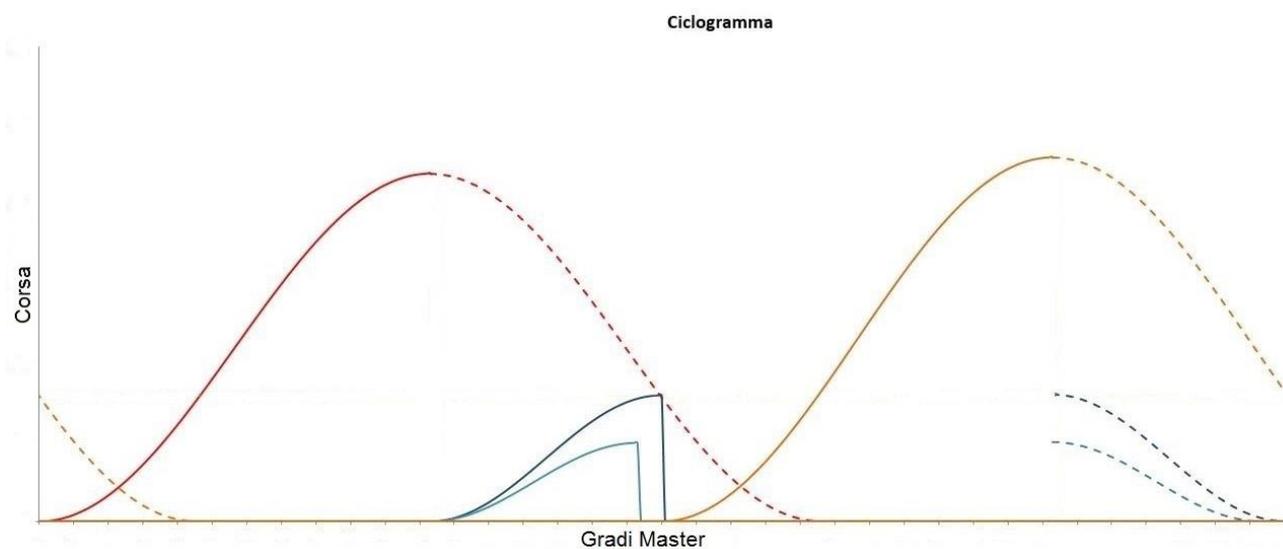


Fig. 3.10 (nella pagina successiva): ciclogramma ultimato.

CAPITOLO 4 – MODELLO MATEMATICO DEL MODULO ESTRATTORE

4.1 – Gruppo estrattore

Dal capitolo 3 si è evinta la possibilità, tramite appropriati accorgimenti, di raggiungere le ciclicità richieste dal mercato per il prodotto femminile. Con l'aggiustamento delle corse effettuate dal modulo estrattore e dal gruppo X-Y, le dinamiche di questi moduli risultano accettabili. È stato quindi possibile proseguire con lo studio e miglioramento di alcuni particolari moduli in vista delle considerazioni precedentemente fatte.

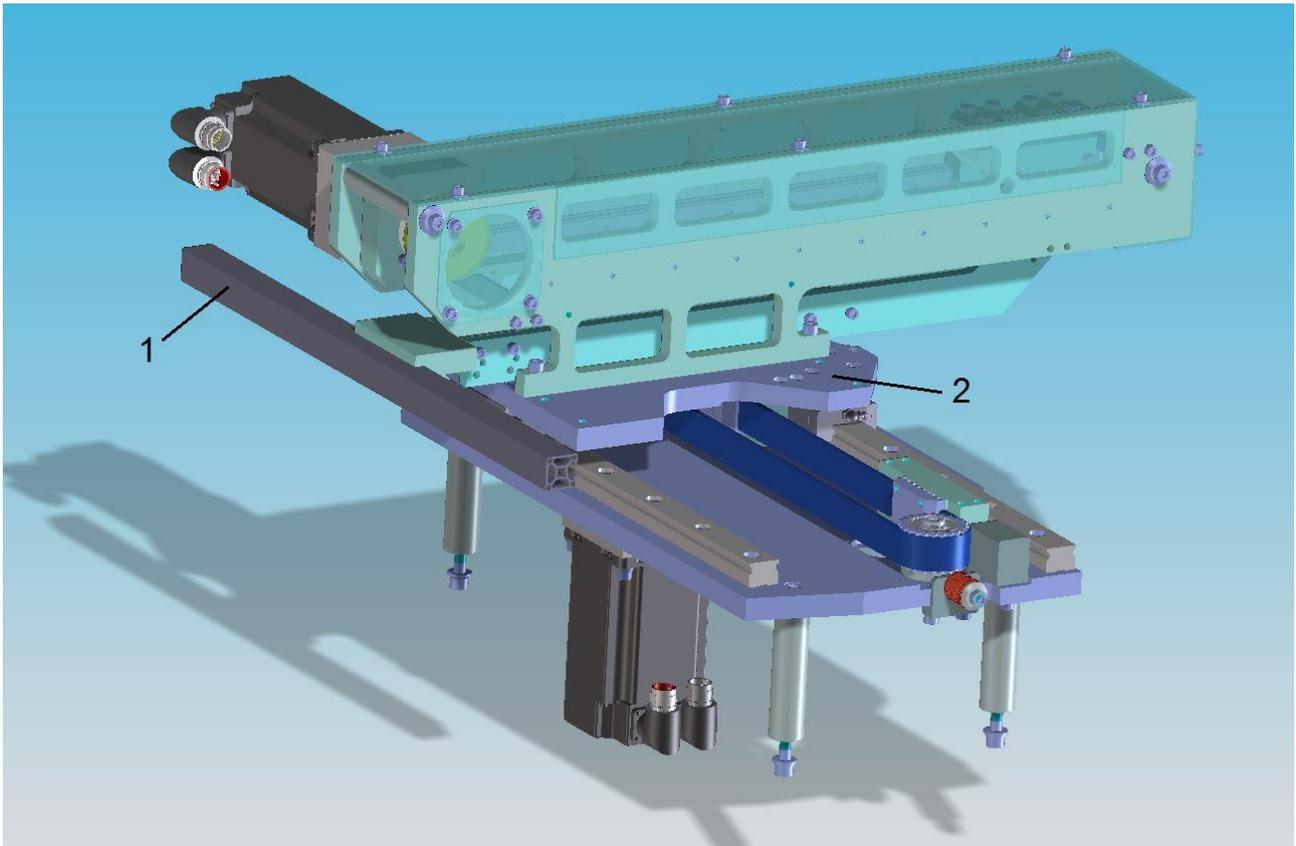


Fig. 4.1: Vista dell'estrattore.

È stato necessario effettuare uno studio approfondito sul gruppo estrattore (Fig. 4.1). Esso è stato brevemente presentato al paragrafo 1.4; in questa parte si entra più in profondità, aggiungendo maggiore dettaglio a ciò che è stato già illustrato. Questo modulo possiede 2 assi di funzionamento: l'asse principale di macchina compie lo scopo principale dal punto di vista funzionale, in quanto è legato allo spostamento del braccio estrattore, composto da due lamiere con geometria studiata (Fig. 4.2 punto 1) vincolate da appositi blocchetti posti lungo il profilo; il braccio interagisce con i prodotti raccolti nelle palette della catena tramite un profilo geometrico (Fig. 4.1 punto 1) e li porta nella zona di pre-compressione. Lo spostamento del braccio viene

effettuato tramite cinghia dentata (Fig. 4.2 punto 2) ed il collegamento tra i due componenti si realizza tramite uno scorrevole (Fig. 4.2 punto 3), composto da due parti che da entrambi i lati stringono la catena; il braccio è collegato allo scorrevole lateralmente tramite viti. Due pattini (Fig. 4.2 punto 4) che scorrono su apposite guide legate alla carcassa dell'estrattore guidano le lamiere del braccio nel moto di avanzamento. All'estremità si trova uno scavo con forma apposita, predisposto per la creazione di un accoppiamento di forma con il profilo geometrico, il quale viene selezionato della lunghezza necessaria all'estrazione del numero di prodotti. La cinghia dentata viene svolta attorno a due pulegge dentate (Fig. 4.2 punto 5): mentre quella nella zona retrostante è folle, all'altra è legato un sistema di motoriduzione.

Tutto ciò che è stato predisposto per la guida del braccio estrattore e i relativi sostegni vengono appoggiati su un carrello (Fig. 4.1 punto 2), il quale possiede un moto perpendicolare al movimento di estrazione e quindi parallelo alla direzione di spostamento della catena porta palette; il compito di quest'asse è quello di inseguire i prodotti nel loro spostamento, in modo che l'estrazione avvenga con velocità relativa nulla. Il carrello è composto principalmente da una piastra (Fig. 4.3 punto 1) alla quale è saldata tramite collegamenti filettati la carcassa del braccio estrattore. Esattamente come per il primo asse, anche in questo caso il movimento viene effettuato tramite cinghia dentata (Fig. 4.3 punto 2), dove il collegamento è affidato ad un altro scorrevole (Fig. 4.3 punto 3) del tutto simile a quello esposto sopra. Essendo di dimensioni maggiori, il carrello viene guidato da tre pattini (Fig. 4.3 punto 4), accoppiati a guide (Fig. 4.3 punto 5) poste nella stessa direzione dello sviluppo della cinghia. Il sistema di movimentazione del carrello si trova al di sotto di esso e vincolato al piano su cui si poggia anche il sistema di rulli per l'ingresso in catena. La motoriduzione è posta verticalmente e sorretta da un insieme di colonnine; trasmette il moto alla cinghia tramite una apposita puleggia dentata. L'utilizzo del carrello permette l'eliminazione del motore lineare quale elemento essenziale ai fini della corretta lavorazione dei prodotti: dato che l'estrazione avviene in movimento non è più necessario infatti fermare la catena e quindi predisporre un organo per garantire il corretto inserimento dei prodotti nei vani retrostanti. Ciò che rimane uno dei punti fondamentali della progettazione è la necessità di effettuare l'estrazione in un sistema di riferimento relativo in quiete, poiché se vi fosse scorrimento laterale tra il profilo geometrico legato al braccio e i prodotti non si garantirebbe il trascinarsi della totalità dei prodotti che formano la pila, o addirittura si potrebbe causare uno scontro tra i prodotti ed i piatti della pre-compressione.

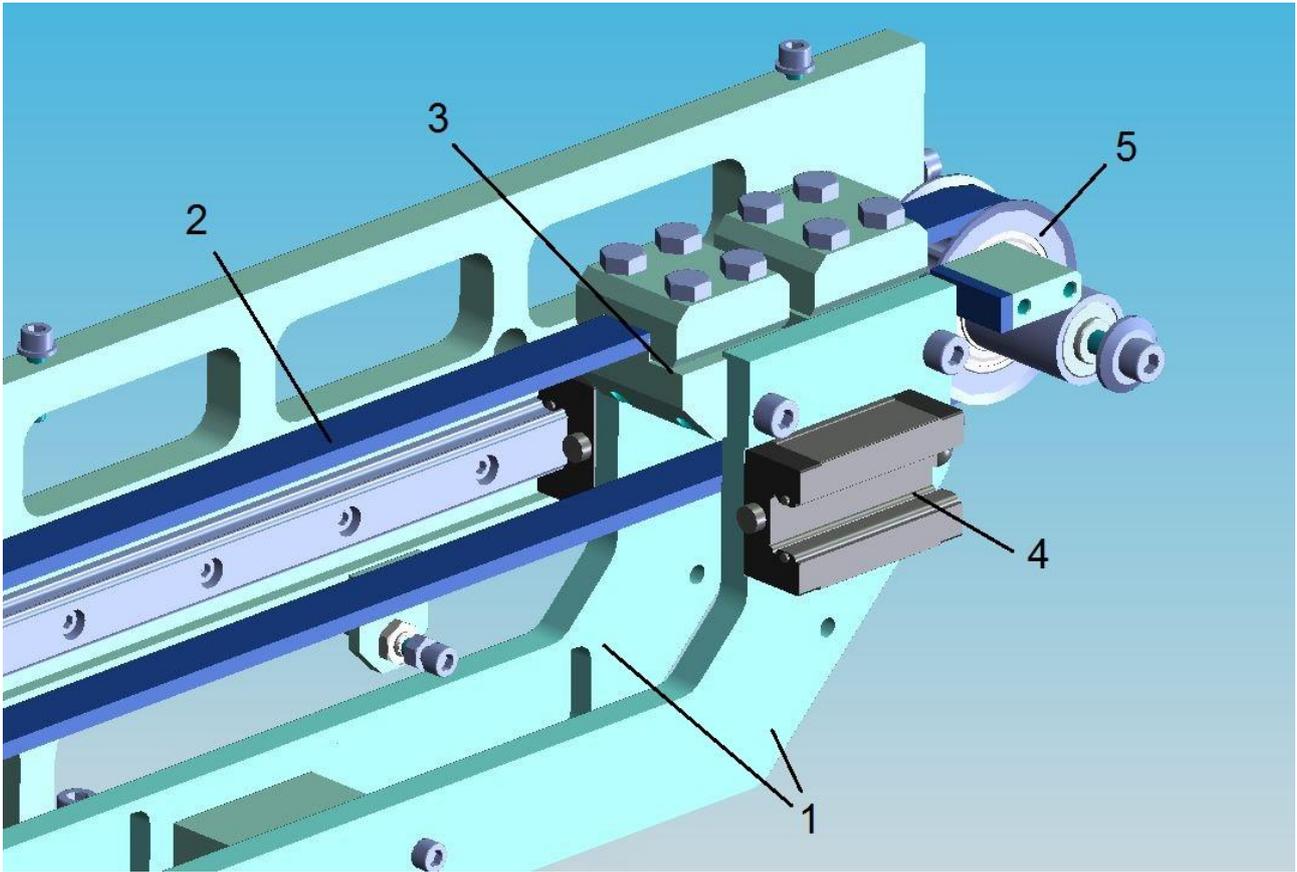


Fig. 4.2: particolare del braccio estraente.

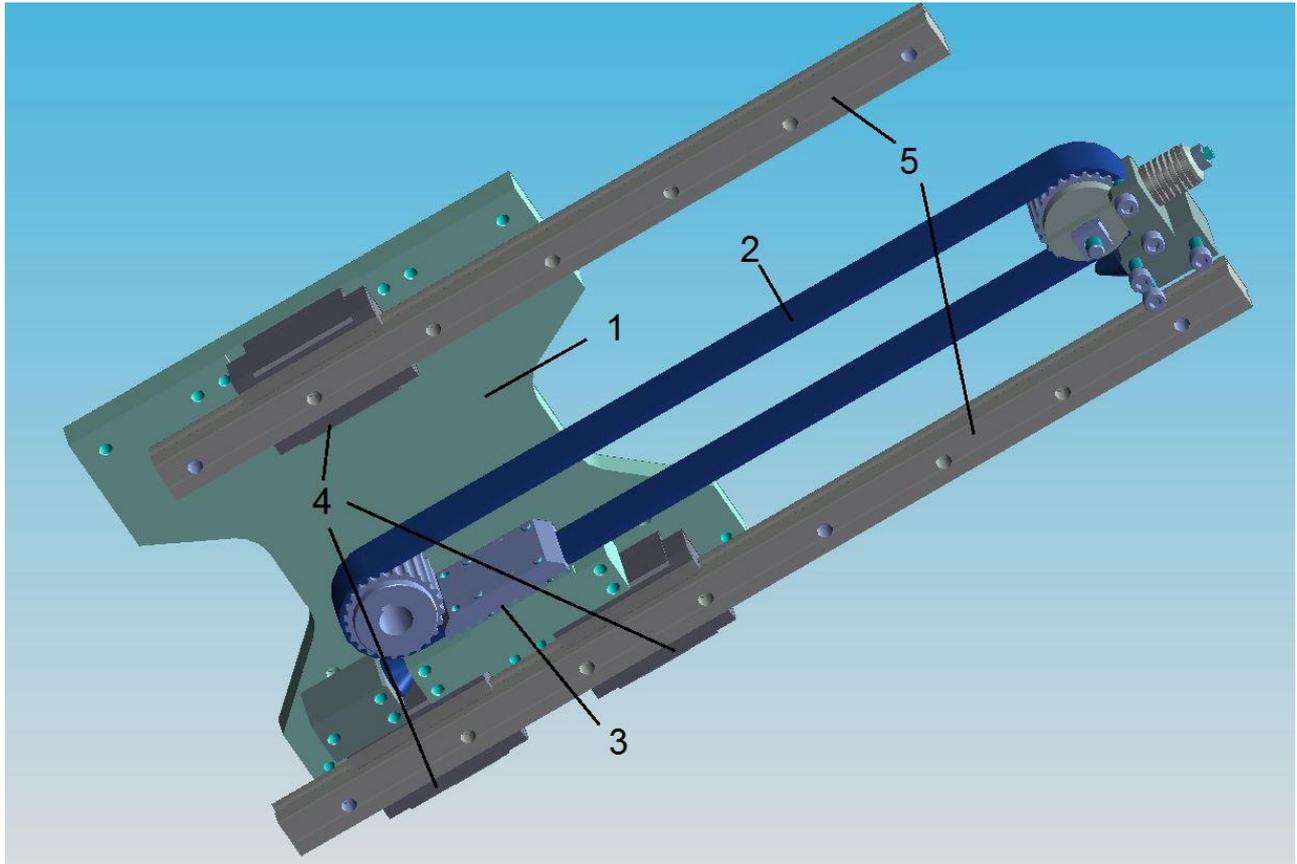


Fig. 4.3: vista dal basso del carrello.

Il sistema appena descritto era stato progettato per una macchina del settore baby, con un funzionamento nominale previsto di 60 battute al minuto. È stato quindi considerato importante verificare il funzionamento di questo modulo per un numero di colpi notevolmente superiore. Non essendo a conoscenza della effettiva potenzialità del modulo e non possedendo un prototipo sul quale poter effettuare sperimentazioni, si è passati quindi alla realizzazione di un modello matematico: esso ha previsto uno studio cinematico e dinamico del modulo, sia per l'asse carrello che per quello di estrazione, i quali vengono illustrati nei prossimi paragrafi.

4.2 – Il modello cinematico

Per la costruzione del modello del gruppo estrattore è stato necessario anzitutto definire i profili di posizione da assegnare ad entrambe le movimentazioni. Per il braccio estrattore il profilo è già stato definito, in quanto esso segue la curva cosinusoidale presentata nel paragrafo 3.3, ove con una semplice modifica di dati quali corsa e numero di gradi Master assegnati si ottiene il profilo desiderato.

Più complessa è stata la definizione del percorso per il carrello: infatti, mentre per il braccio è richiesta la soddisfazione di un obiettivo preciso quale la realizzazione nel tempo richiesto della corsa stabilita, senza particolare interesse per velocità e accelerazione che hanno l'unico limite di mantenere le proprie intensità entro specifici valori, il carrello non ha un andamento determinato dalla logica di macchina e può quindi essere studiato per ottenere risultati ottimali.

Partendo da uno stato di quiete, si può suddividere il moto del carrello in quattro parti principali:

1. Tratto di accelerazione per raggiungere la velocità della catena porta palette;
2. Il carrello poi prosegue a velocità costante pari a quella con cui si muove la catena fino al completamento dell'estrazione;
3. Vi è un tratto di decelerazione fino al raggiungimento di una velocità nulla;
4. È presente infine il ritorno del carrello alla posizione iniziale, dove si instaura una nuova situazione di quiete;

Il movimento deve essere completato entro un tempo ciclo, in quanto l'inizio dello spostamento del carrello è strettamente legato alla necessaria estrazione dei prodotti, che dà inizio al nuovo ciclo.

Per individuare il profilo teorico che più si avvicinasse al profilo reale sono stati proposti due tipi di profili diversi, in grado di adattarsi alle ciclicità e numero di prodotti per pila richiesti; il confronto con i dati ricavati da una precedente macchina venduta ha permesso successivamente di individuare quale dei due profili fosse il migliore. In particolare si sono utilizzati per uno curve polinomiali e per l'altro curve trigonometriche, che vengono di seguito mostrate in dettaglio.

Indicati i *BPM* (numero di buste richieste al minuto) si ricava il tempo ciclo T_c come:

$$T_c = \frac{60}{BPM}$$

Nel secondo tratto il carrello si muoverà ad una velocità pari a quella della catena; la catena si muove ad una velocità tale da garantire la presenza ad ogni tempo ciclo del numero di prodotti che formano una pila. Perciò la velocità vale:

$$v_{cat} = \frac{N p_{cat}}{T_c}$$

dove

- N è il numero di prodotti in una pila;
- p_{cat} è il passo della catena, che è anche la distanza tra due palette consecutive;

Dovendo infatti estrarre una pila per ciclo, è necessario che ad ogni ciclo venga coperto lo spazio legato al numero di prodotti richiesto.

Si deve inoltre indicare lo spazio entro il quale si vuole raggiungere la velocità dell'estrattore. Avendo soltanto la velocità iniziale nulla e finale richiesta, occorre un ulteriore dato per determinare le restanti grandezze interessate: tra spazio, tempo e accelerazione si è scelto di determinare lo spazio in quanto è un parametro indipendente dalle condizioni di funzionamento. In particolare si è scelto e d'ora in poi si considera, a meno di indicazioni specifiche, uno spazio in cui raggiungere la velocità della catena pari a:

$$s = \frac{p_{cat}}{2}$$

Questo valore viene impostato anche come lo spazio da percorrere nel tratto 3 per frenare il carrello fino a velocità nulla. In questo modo i tratti 1 e 3 possono essere considerati del tutto simili nel loro sviluppo.

4.2.1 – Il profilo polinomiale

È stato studiato il profilo a curve polinomiali poiché è quello che più si avvicina al controllo reale del motore elettrico. Mentre il software di controllo richiede di indicare una serie di punti, per poi realizzare una particolare spline passante per i punti stessi, per questo studio le curve sono state compilate grazie all'impostazione di condizioni iniziali su posizione, velocità ed accelerazione.

Per il tratto 1 e 3 sono state utilizzate polinomiali di terzo grado. Questa curva possiede la generica forma

$$x(t) = at^3 + bt^2 + ct + d$$

dove t è il tempo dedicato alla fase di accelerazione e a , b , c e d sono i parametri dell'equazione. Derivando questa equazione si ottengono le espressioni della velocità e dell'accelerazione, che hanno andamento rispettivamente parabolico e lineare:

$$\dot{x}(t) = 3at^2 + 2bt$$

$$\ddot{x}(t) = 6at + 2b$$

Oltre ai 4 parametri, anche il tempo dedicato alla fase di accelerazione t_{acc} è incognito. Per determinare tutte e 5 le incognite di quest'equazione, è necessario assegnare un numero di condizioni iniziali pari al numero di incognite. Nel caso del tratto 1, il carrello parte da una condizione di quiete, con posizione e velocità nulla, mentre al termine della fase di accelerazione il carrello ha percorso lo spazio assegnato ed ha raggiunto la velocità richiesta con accelerazione nulla in modo da poter procedere nel secondo tratto con velocità costante. Perciò:

- $x(0) = 0$
- $\dot{x}(0) = 0$
- $x(t_{acc}) = s$
- $\dot{x}(t_{acc}) = v_{cat}$
- $\ddot{x}(t_{acc}) = 0$

Sostituendo nelle equazioni e rielaborandole, si ottengono le espressioni dei parametri:

$$t_{acc} = \frac{3s}{2v}$$

$$a = -\frac{4v^3}{27s^2}$$

$$b = \frac{2v^2}{3s}$$

Mentre le componenti c e d risultano nulle.

Il secondo tratto ha un andamento lineare in posizione, in quanto la velocità risulta costante. È questo infatti il momento in cui il carrello procede assieme alla catena fino alla completa estrazione dei prodotti e al ritorno del braccio scorrevole. La durata di questo tratto varia a seconda del numero di gradi Master dedicati all'estrazione. Chiamando G_{est} il numero di gradi dedicati alla fase di andata dell'estrazione, si ha una durata temporale del tratto a velocità costante pari a:

$$t_{vel} = 2G_{est}t_g$$

dove t_g è il tempo impiegato da un grado Master.

Banalmente lo spazio percorso è:

$$s_{vel} = v_{cat} t_{vel}$$

Per la determinazione del profilo nel tratto 3 si segue lo stesso procedimento, ma con condizioni iniziali diverse: all'inizio del tratto infatti si ha velocità costante pari a v_{cat} ; il carrello deve inoltre risultare fermo in uno spazio pari a s ; per quanto riguarda l'accelerazione invece si ricorda che per una polinomiale di terzo grado essa risulta lineare. Si impone un'accelerazione massima all'inizio e infine nulla, una volta che il carrello risulta fermo. Queste condizioni potrebbero essere più veritiere, in quanto i sistemi di controllo dei motori tendono a dare istantaneamente la coppia massima erogabile per raggiungere nel più breve tempo possibile il punto desiderato; in aggiunta si ha in questo modo prima dell'inversione del moto una situazione di completa quiete, con sia la velocità che l'accelerazione nulle.

Perciò le condizioni sono:

- $x(t_{acc} + t_{vel}) = s + s_{vel}$
- $\dot{x}(t_{acc} + t_{vel}) = v_{cat}$
- $x(t_{acc} + t_{vel} + t_{dec}) = 2s + s_{vel}$
- $\dot{x}(t_{acc} + t_{vel} + t_{dec}) = 0$
- $\ddot{x}(t_{acc} + t_{vel} + t_{dec}) = 0$

Che porta alla determinazione dei seguenti parametri:

$$t_{dec} = \frac{3s}{2v}$$

$$a = \frac{v_{cat}}{3(t_{acc} + t_{vel})^2 - 6(t_{acc} + t_{vel})(t_{acc} + t_{vel} + t_{dec}) + 3(t_{acc} + t_{vel} + t_{dec})^2}$$

$$b = -3a(t_{acc} + t_{vel} + t_{dec})$$

$$c = 3a(t_{acc} + t_{vel} + t_{dec})^2$$

$$d = 2s + s_{vel} - a(t_{acc} + t_{vel} + t_{dec})^3$$

Si passa ora alla trattazione del quarto e ultimo tratto. Per questo percorso sono note le condizioni iniziali e finali desiderate: infatti mentre il carrello si ritrova in una condizione di quiete iniziale ad una certa distanza dall'origine che è stata percorsa nei primi tre tratti, con una accelerazione pari a quella finale del tratto 3 (quindi o nulla o pari a un valore minimo), alla fine del ciclo si richiede che esso sia tornato nella posizione originale, in una ulteriore condizione di quiete, con velocità e accelerazione nulle. In questo caso però è già determinato il tempo in cui questo ritorno si deve svolgere, in quanto la movimentazione del carrello deve avvenire in un tempo ciclo.

Perciò, sapendo che:

$$t_{rit} = T_c - t_{acc} - t_{vel} - t_{dec}$$

$$s_{rit} = 2s + s_{vel}$$

si hanno le seguenti condizioni:

- $x(0) = s_{rit}$
- $\dot{x}(0) = 0$
- $\ddot{x}(0) = 0$
- $x(t_{rit}) = 0$
- $\dot{x}(t_{rit}) = 0$
- $\ddot{x}(t_{rit}) = 0$

Per poter conservare le informazioni relative a queste specifiche è necessario l'utilizzo di una polinomiale di quinto grado. Essa si presenta nella forma generica:

$$x(t) = at^5 + bt^4 + ct^3 + dt^2 + et + f$$

Dall'imposizione delle condizioni si ottengono le seguenti espressioni per i 6 parametri:

$$a = -\frac{6}{t_{rit}^5} \left(s_{rit} + \frac{1}{12} A t_{rit}^2 \right)$$

$$b = \frac{15}{t_{rit}^4} s_{rit} + \frac{3}{2} \frac{A}{t_{rit}^2}$$

$$c = -10 \frac{s_{rit}}{t_{rit}^3} - \frac{3}{2} \frac{A}{t_{rit}}$$

$$d = \frac{A}{2}$$

$$e = 0$$

$$f = s_{rit}$$

Con la determinazione di questi parametri si conclude la formulazione della curva polinomiale. Di seguito sono riportati i grafici nelle Fig. 4.4, 4.5 e 4.6. Anche in questo capitolo, come in quello precedente, non vengono riportati valori in ascisse e ordinate per questioni di riservatezza.

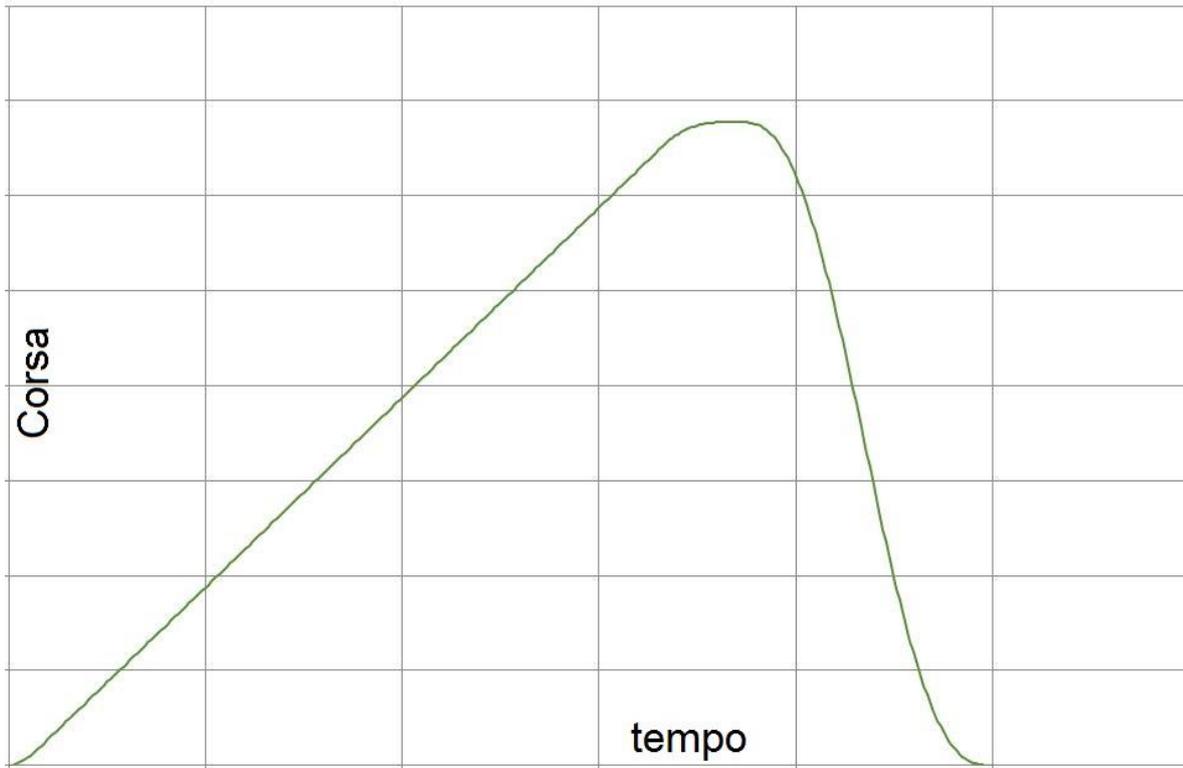


Fig. 4.4: confronto di posizione con variazione del tratto 3.



Fig. 4.5: confronto di velocità con variazione del tratto 3.

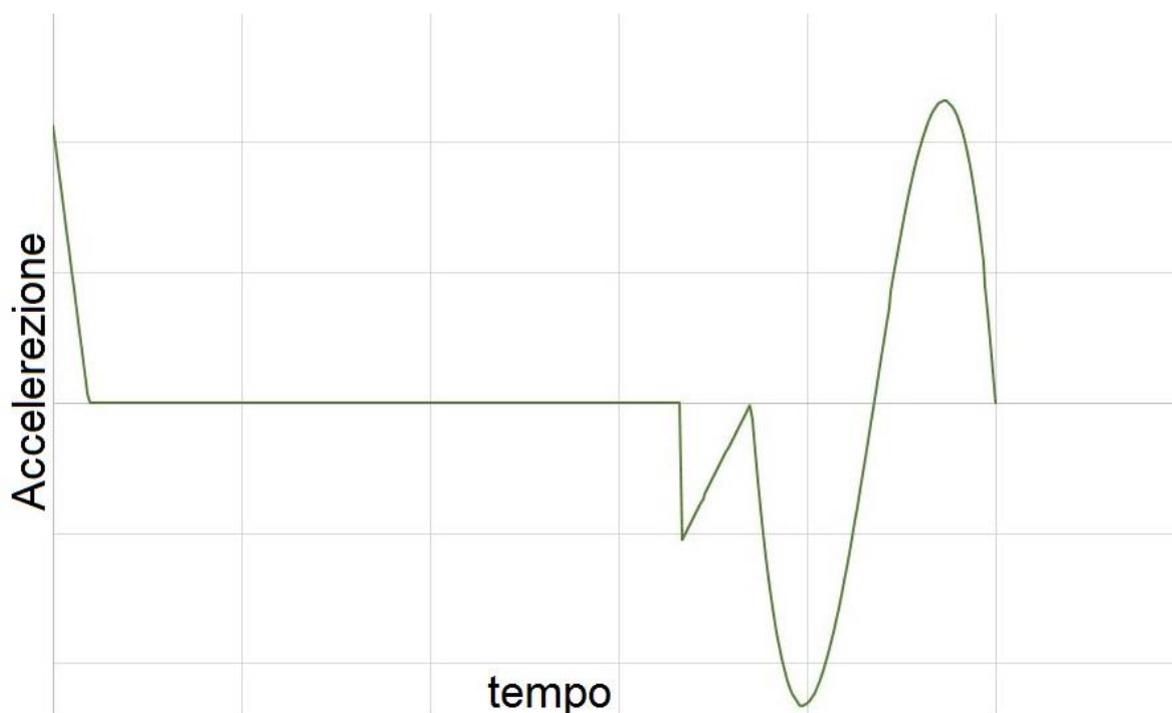


Fig. 4.6: confronto di accelerazione con variazione del tratto 3.

4.2.2 – Il profilo trigonometrico

Prima di passare al confronto con i dati sperimentali si è considerato opportuno presentare un profilo concorrente, in modo da garantire un confronto: l'obiettivo di questa fase dello studio è stato quello di ricercare un profilo che più si avvicinasse al comportamento attuale del carrello dell'estrattore per basso numero di cicli, in modo da poter poi spingere il modello ad alti cicli e studiarne la cinematica e la dinamica.

Il secondo profilo studiato è quello denominato trigonometrico, che prende il nome dalle funzioni da cui si è ricavato l'andamento della velocità. In questo caso si è quindi partiti dallo studio del profilo di velocità: le funzioni seno e coseno permettono, impostando le condizioni adeguate, di partire e raggiungere la velocità desiderata con pendenza nulla (ossia con derivata nulla, quindi l'accelerazione), raggiungendo il picco di accelerazione solo nel punto di mezzera, anziché all'inizio del tratto come per il profilo polinomiale.

Dividendo la movimentazione del carrello nei quattro tratti precedentemente descritti, vengono considerati il primo e terzo tratto del tutto simili tra loro, e quindi esposti contemporaneamente. In questo studio è stata scelta una funzione generale, per poi separare i vari tratti impostando diverse condizioni iniziali.

L'espressione generica della funzione considerata per la velocità è la seguente:

$$\dot{x}(t) = A \cos\left(\frac{2\pi}{T_f} t\right) + B \sin\left(\frac{2\pi}{T_f} t\right) + C$$

dove:

- T_f il periodo delle funzioni

Per completezza vengono riportate anche le generiche espressioni della posizione (che è l'integrale della funzione sopra) e dell'accelerazione (che ne è la derivata):

$$x(t) = \frac{T_f}{2\pi} A \sin\left(\frac{2\pi}{T_f} t\right) - \frac{T_f}{2\pi} B \cos\left(\frac{2\pi}{T_f} t\right) + Ct + cost$$

$$\ddot{x}(t) = -\frac{2\pi}{T_f} A \sin\left(\frac{2\pi}{T_f} t\right) + \frac{2\pi}{T_f} B \cos\left(\frac{2\pi}{T_f} t\right)$$

Partendo dallo studio del primo tratto, nel caso di interesse è richiesto che il carrello parta con velocità nulla e raggiunga la velocità della catena al tempo t_{acc} ; considerando che in un periodo T_f la funzione trigonometrica, essendo periodica, ritorna al suo valore iniziale nel tempo periodo, e che in mezzo periodo raggiunge il valore opposto a quello iniziale, si deduce che:

$$T_f = 2t_{acc}$$

Inoltre anche per questo profilo è stato assegnato lo spazio in cui il carrello deve raggiungere la velocità della catena, pari a:

$$s = \frac{p_{cat}}{2}$$

Sono presenti quindi 4 incognite, che necessitano di altrettante condizioni per essere completamente definite. Imponendo le condizioni sulla velocità e sull'accelerazione finale nulla:

- $\dot{x}(0) = 0$
- $\dot{x}(t_{acc}) = v_{cat}$
- $\ddot{x}(t_{acc}) = 0$
- $x(t_{acc}) - x(0) = s$

Svolgendo i calcoli si ottengono le seguenti espressioni dei parametri

$$t_{acc} = \frac{2s}{v_{cat}}$$

$$A = -\frac{v_{cat}}{2}$$

$$B = 0$$

$$C = \frac{v_{cat}}{2}$$

Per il terzo tratto le condizioni poste all'espressione sono del tutto simili, se non per il fatto che sono invertite le condizioni sulla velocità; infatti per questo tratto:

- $\dot{x}(t_{acc} + t_{vel}) = v_{cat}$
- $\dot{x}(t_{acc} + t_{vel} + t_{dec}) = 0$

Per quanto riguarda il secondo tratto, esso è del tutto identico a quello mostrato nel paragrafo precedente. La propria durata dipende infatti dai gradi dedicati all'estrazione, i quali non sono influenzati dal profilo del carrello.

Il quarto tratto invece si separa dagli altri in quanto è stato ricavato dal profilo di posizione. Infatti in questo caso in cui il carrello si trova ad una certa distanza, è necessario che esso ritorni nella posizione iniziale in un tempo determinato. Quindi, esattamente come nel caso precedente sono determinati tempo e spazio, pari a:

$$t_{rit} = T_c - t_{acc} - t_{vel} - t_{dec}$$

$$s_{rit} = 2s + s_{vel}$$

È sufficiente perciò impostare un profilo cosinusoidale per la posizione del tipo:

$$x(t) = X \cos\left(\frac{\pi}{t_{rit}} t\right) + X_0$$

dove vengano rispettate le seguenti condizioni:

- $y(0) = s_{rit}$
- $y(t_{rit}) = 0$

si ricava infine:

$$X = X_0 = \frac{s_{rit}}{2}$$

Le espressioni della velocità e accelerazione risultano in questo modo:

$$\dot{x}(t) = -\frac{\pi}{t_{rit}} X \sin\left(\frac{\pi}{t_{rit}} t\right)$$

$$x(t) = -\left(\frac{\pi}{t_{rit}}\right)^2 X \cos\left(\frac{\pi}{t_{rit}} t\right)$$

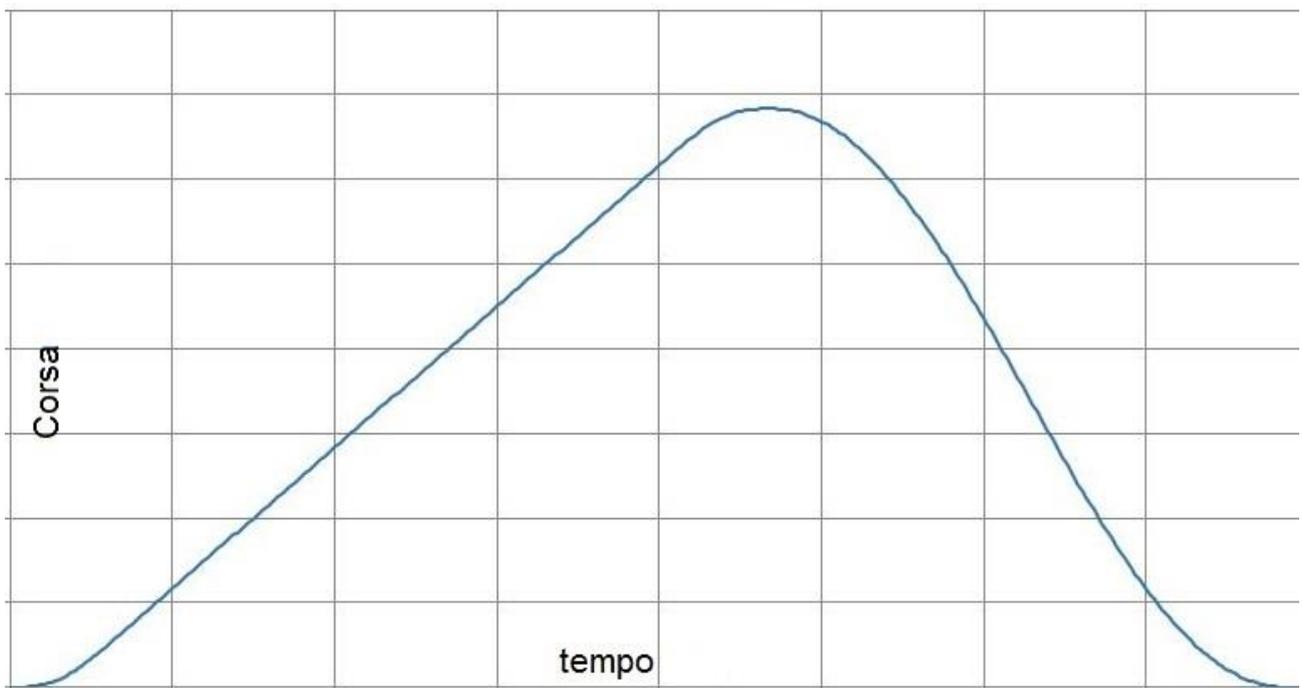


Fig. 4.7: curva di posizione del profilo trigonometrico.

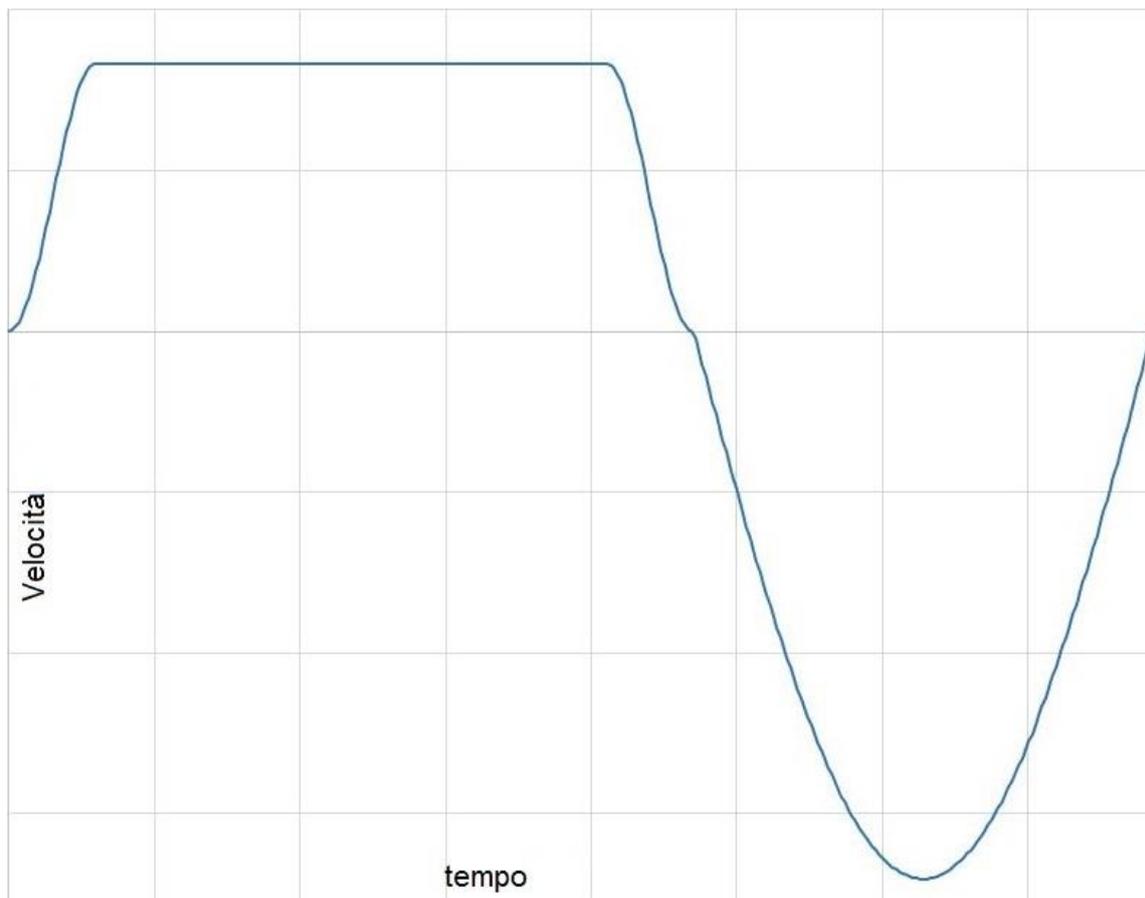


Fig. 4.8: curva di velocità del profilo trigonometrico.

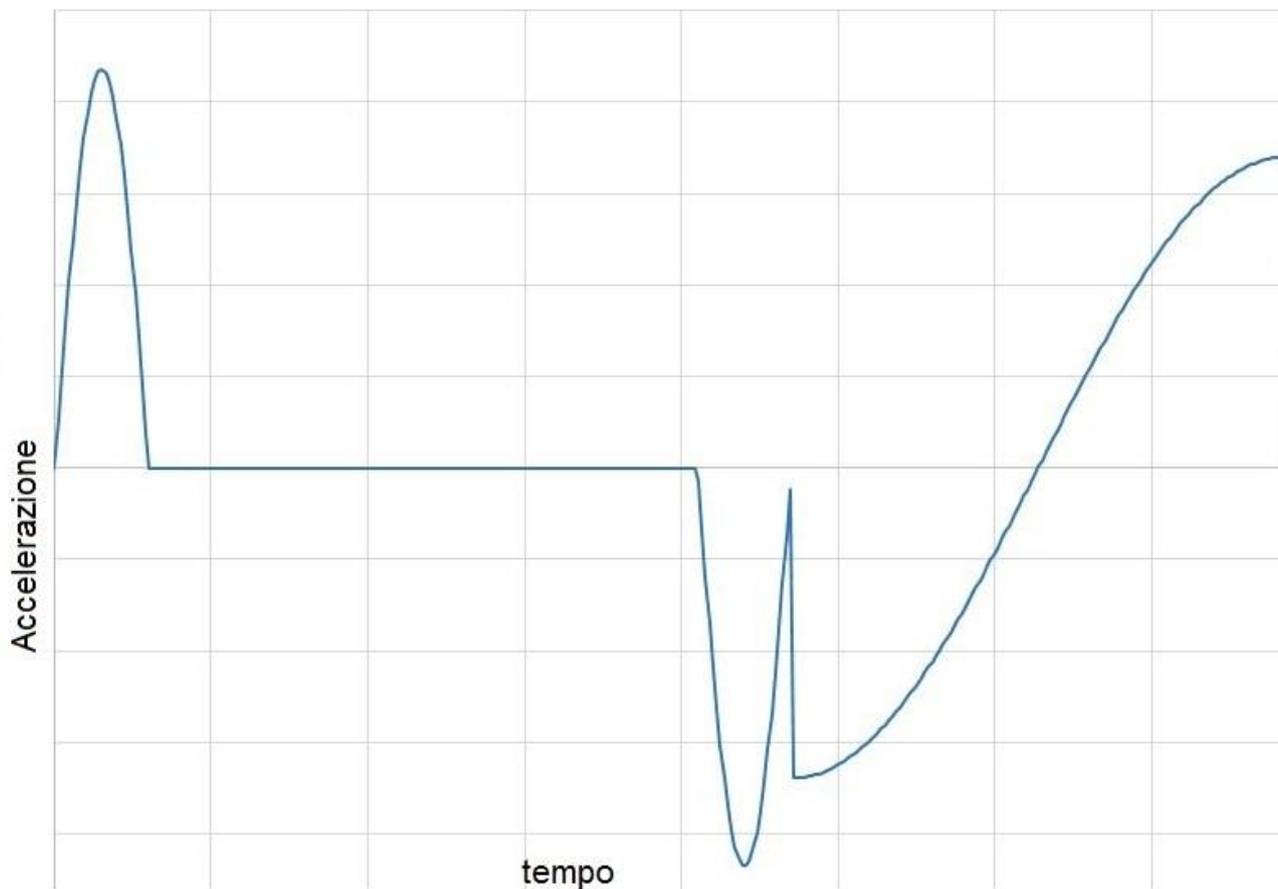


Fig. 4.9: curva di accelerazione del profilo trigonometrico.

Nelle Fig. 4.7, 4.8 e 4.9 sono riportati i grafici completi di posizione, velocità e accelerazione di questo profilo, costruiti nel metodo sopra riportato. Il confronto con il profilo polinomiale è illustrato nel prossimo paragrafo, dove verranno comparati ai dati prelevati sperimentalmente.

4.2.3 – Confronto con i dati sperimentali e scelta del profilo

Da una vecchia prova eseguita su una macchina progettata per elaborare i tipici prodotti baby, erano stati prelevati i dati relativi a posizione, velocità e accelerazione di carrello e braccio estrattore ad una ciclicità di 71,4 pacchi al minuto. I valori ottenuti da tale prova sono stati sistemati in modo da poter essere leggibili al fine di una loro valutazione e un possibile utilizzo grafico. Infatti lo scopo di tali valori è stato quello di ottenere da essi una curva per un confronto con i profili precedentemente studiati in modo che, dopo aver inserito gli stessi dati della prova eseguita sulla macchina, quali numero di prodotti per pila e passo della catena, nonché i gradi dedicati all'estrazione, fosse possibile valutare quale tra essi risultasse il più accurato tramite un semplice accostamento delle curve.

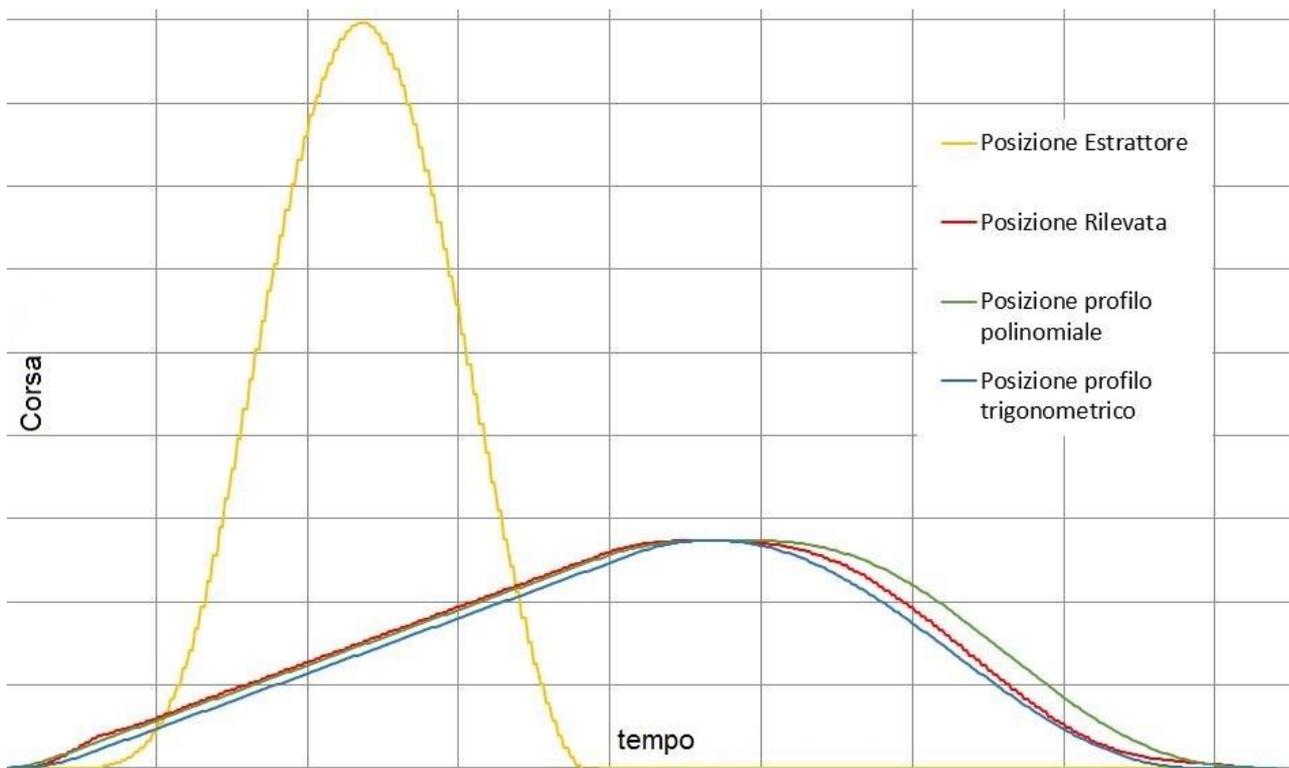


Fig. 4.10: confronto tra i profili di posizione.

Nelle Fig. 4.10, 4.11 e 4.12 sono riportati i grafici. Nel grafico di posizione (Fig. 4.10) è stato riportato anche il profilo del braccio estrattore, per garantire maggiore chiarezza sulle operazioni di processo. Il profilo di posizione reale sovrappone nella prima parte la curva polinomiale, per poi compiere il ritorno in modo più simile alla curva trigonometrica. Per poter scegliere quale dei due profili abbia una maggiore bontà è necessario accostarsi agli altri due grafici. Osservando il grafico di velocità (Fig. 4.11) si può notare che, seppur vi siano evidenti discostamenti causati dalla sovraelongazione della curva reale, la forma della curva polinomiale sia più simile alla reale rispetto a quella trigonometrica; in particolare si evidenzia come la scelta di imporre nel tratto 3 un'accelerazione finale nulla (che nel grafico di velocità corrisponde al tratto in cui la curva tocca l'asse delle ascisse con pendenza nulla) sia stata azzeccata, poiché è riscontrato, seppur con un leggero discostamento, anche nella curva reale. Nel grafico di accelerazione si può apprezzare inoltre la sovrapposizione della curva polinomiale con la curva reale nella prima parte del tratto 4.

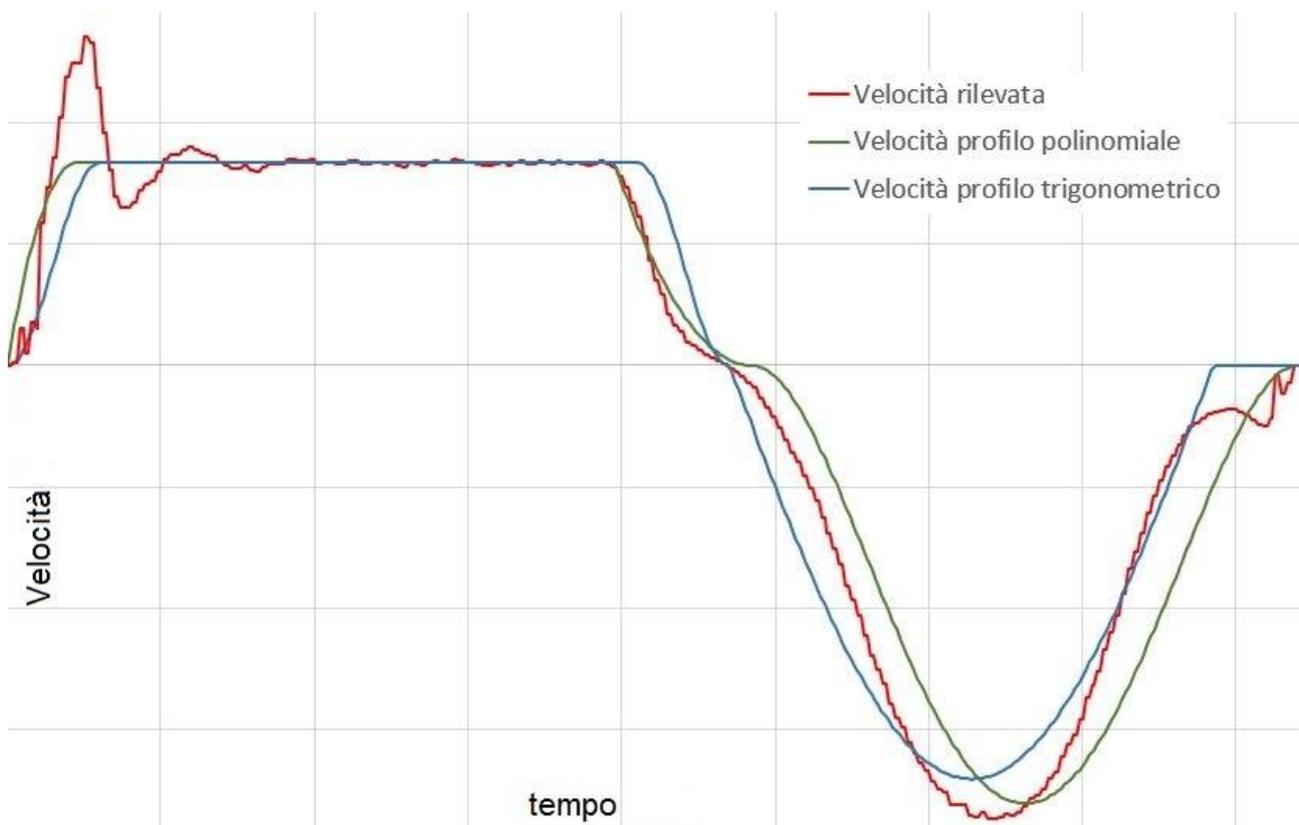


Fig. 4.11: confronto tra i profili di velocità

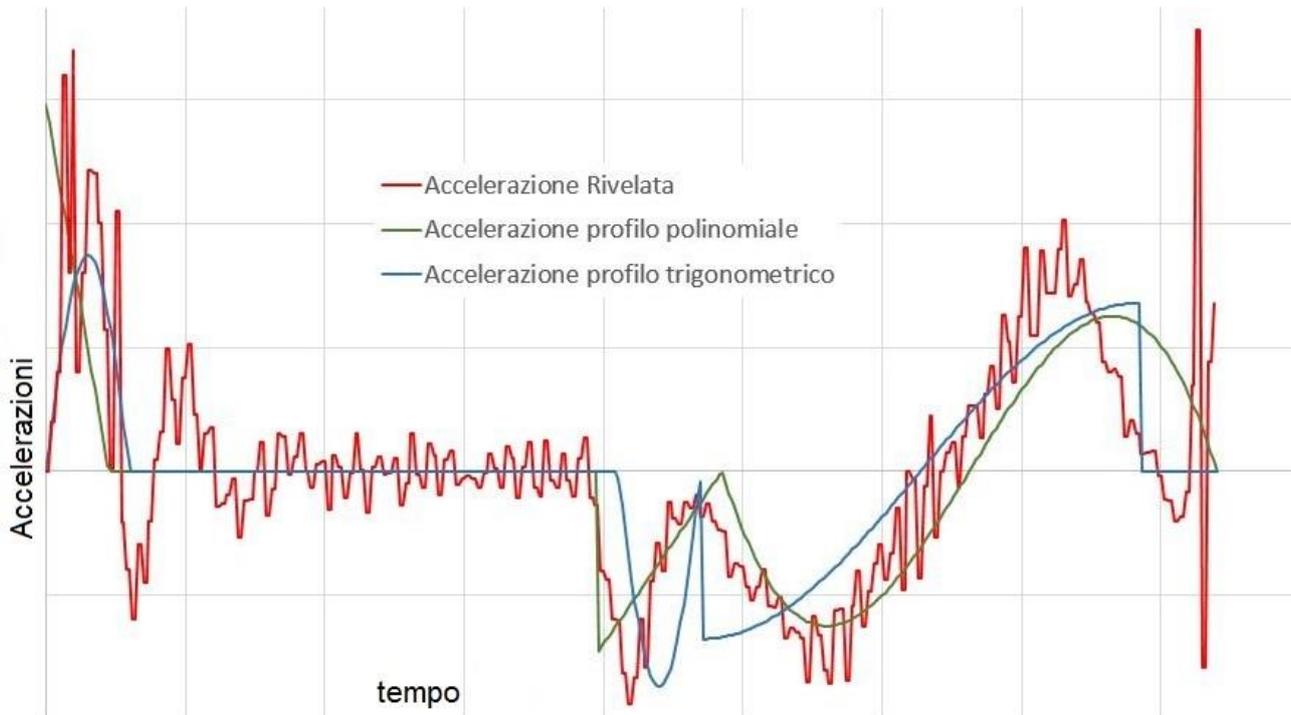


Fig. 4.12: confronto tra i profili di accelerazione.

A seguito di queste valutazioni, si è scelta la curva polinomiale per la prosecuzione dello studio dinamico relativo al carrello. Da questi profili, inserendo i dati relativi al numero di cicli e prodotti all'interno di una pila e del passo paletta interessati, è possibile ricavare la velocità e l'accelerazione in ogni punto; questi sono valori utili per la valutazione della bontà dinamica del modello.

Si riportano in particolare i valori di velocità e accelerazione massima calcolati tramite il modello a 80 e 120 cicli al minuto.

$$v_{max}^{80} = 1.96 \frac{m}{s}$$

$$a_{max}^{80} = 33.7 \frac{m}{s^2}$$

$$v_{max}^{120} = 1.96 \frac{m}{s}$$

$$a_{max}^{120} = 46.4 \frac{m}{s^2}$$

4.3 – Il modello dinamico

Una volta in possesso dei profili cinematici di entrambi gli assi del modulo estrattore, è possibile studiarne il modello dinamico. Per questa valutazione si è partiti dall'equazione di equilibrio dinamico del sistema (principio d'Alembert):

$$C_m - C_r = J_{tot} \dot{\omega}$$

dove

- C_m è la coppia motrice del sistema
- C_r è la coppia resistente (che tiene conto delle coppie passive)
- J_{tot} il momento di inerzia delle masse rotanti del sistema
- $\dot{\omega}$ è l'accelerazione angolare

Ciò che è richiesto è di calcolare la coppia motrice:

$$C_m = C_r + J_{tot} \dot{\omega}$$

valutando quindi l'entità dell'inerzia totale e delle coppie resistenti in gioco; le accelerazioni angolari sono già note, poiché determinate dai modelli cinematici esposti nel paragrafo 4.2.

Nella Fig. 4.13 si può apprezzare uno schema degli assi di questo modulo. È importante sottolineare la presenza del riduttore, che separa in due parti il sistema, ossia lato motore e lato carico, che ruotano a velocità chiaramente diverse tra loro. Poiché entrambi gli assi, seppur seguendo profili di posizione differenti, possiedono lo stesso schema di base, con la presenza di masse rotanti e traslanti, vengono fatte di seguito valutazioni sulle loro inerzie, per poi mostrare il generico caso comune a entrambi per quanto riguarda l'applicazione della metodologia della riduzione ad un unico asse per il calcolo dell'equazione di equilibrio dinamico e la valutazione della coppia resistente.

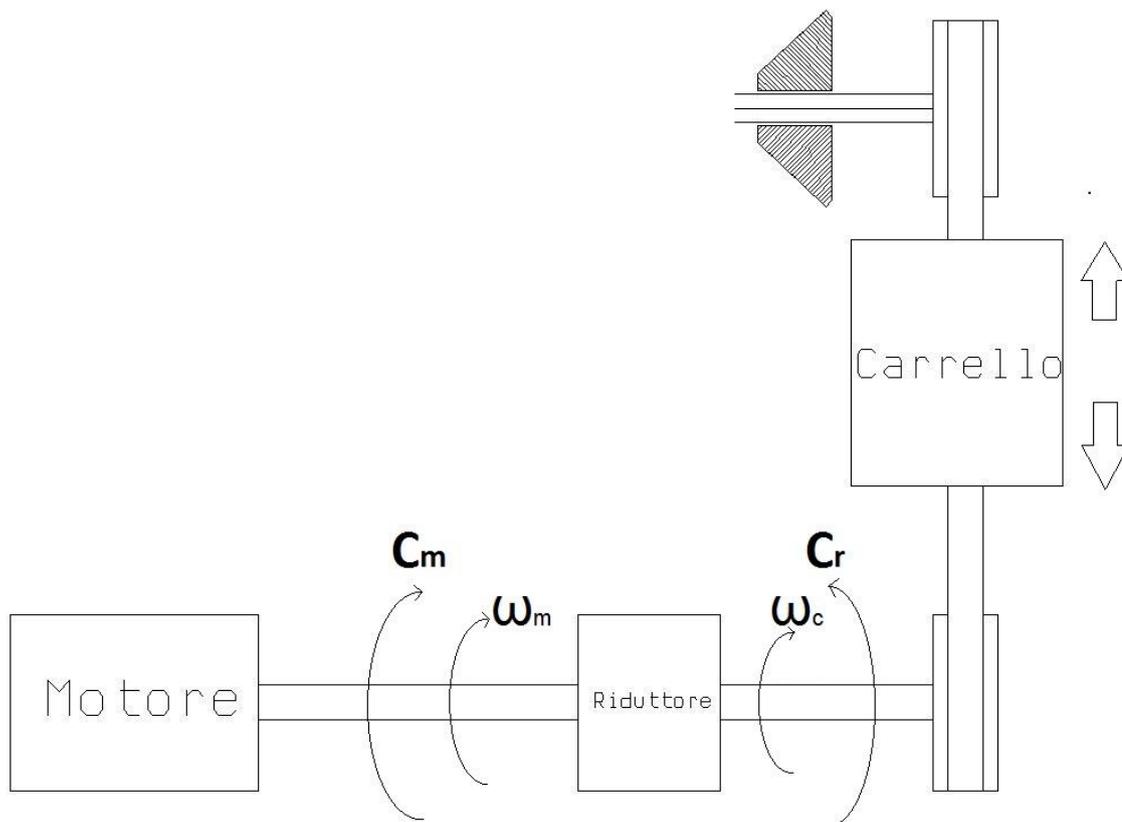


Fig. 4.13: Schema del generico asse di movimento.

Riducendo il sistema all'asse motore risulta uno schema come quello in Fig. 4.14. In questo caso è presente un unico carico nel quale sono raccolte tutte le inerzie relative alle masse in gioco; tramite le equazioni di equivalenza dinamica è possibile calcolare le inerzie equivalenti.

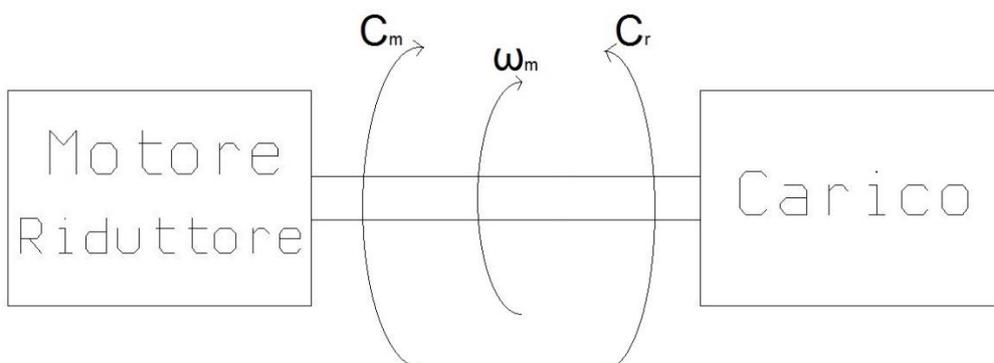


Fig. 4.14: Schema ridotto.

4.3.1 – Valutazione delle inerzie equivalenti

Entrambi gli assi, ossia carrello e braccio estrattore, sono composti da una massa che trasla in una direzione tramite una cinghia dentata, la quale è avvolta su due pulegge dentate le quali posseggono lo stesso diametro primitivo. Un unico asse può quindi essere suddiviso in tre gruppi di masse:

1. I componenti che traslano in direzione parallela allo sviluppo della cinghia.
2. Ciò che ruota attorno all'asse folle del sistema.
3. I componenti che ruotano attorno all'asse collegato al riduttore.

Per valutare l'inerzia totale è quindi necessario innanzitutto ridurre le prime due masse elencate all'asse del carico, ossia quello collegato al riduttore. Per quanto riguarda il primo gruppo di masse, chiamando m la massa totale, l'inerzia relativa alle masse traslanti J_1 viene calcolata come:

$$J_1 = m r^2$$

Dove r è il raggio primitivo della puleggia attorno alla quale si svolge la cinghia. Le masse sono state valutate tramite l'utilizzo di un software per progettazione 3D, dopo aver indicato per ogni componente il relativo materiale. Questi sono principalmente acciaio, alluminio e lexan.

Per quanto riguarda le masse rotanti, grazie all'utilizzo dello stesso software è possibile conoscere direttamente le inerzie relative semplicemente indicandone l'asse di rotazione. Le masse rotanti attorno all'asse folle non necessitano di alcun rapporto di riduzione per essere riportate all'asse del carico perché le pulegge dentate possiedono lo stesso raggio, però si deve tenere conto della presenza della cinghia come intermezzo, la quale verrà valutata tramite un rendimento di trasmissione annesso. Per quanto riguarda le masse rotanti, esse sono in particolare costituite dalle stesse pulegge e dai cuscinetti presenti sull'asse folle.

Nelle Fig.4.15 e 4.16 sono indicati i valori delle masse e inerzie in gioco relative ad entrambi gli assi.

L'inerzia totale del carico generico per entrambi gli assi è quindi così espresso:

$$J_{tot} = J_3 + \frac{J_1 + J_2}{\eta_c}$$

dove J_2 e J_3 sono le somme delle inerzie delle masse rotanti attorno all'asse folle e all'asse di carico, mentre η_c è il rendimento della cinghia, valutato pari a 0.85.

Gruppo Carrello			
Masse in traslazione		29,401	[kg]
Q.tà	Organi in rotazione	asse folle	
1	Puleggia Dentata HTD8M-	2,00E-04	[kg*m ²]
2	Cuscinetto Radiale a sfere	3,66E-05	[kg*m ²]
TOTALE		2,79E-04	[kg*m ²]
Organi in rotazione		asse motore	
1	Puleggia Dentata HTD8M-	2,92E-04	[kg*m ²]

Rendimento Cinghia	0,85	
Diametro primitivo	61,12	mm
Inerzia risultante lato carico	3,29E-02	[kg*m ²]

Riduttore CP080-MO1-4-111	
Inerzia	5,40E-05 [kg*m ²]
Rapporto di Riduzione	4
Rendimento	0,97

Motore MPL-B430P-SJ72AA	
Inerzia	3,80E-04 [kg*m ²]
Potenza Nominale	2,2 [kW]

Inerzia totale riportata a lato motore	2,55E-03 [kg*m ²]
--	-------------------------------

Fig. 4.15: Schema per il calcolo delle inerzie dell'asse carrello.

Gruppo Braccio estrattore			
Masse in traslazione		4,39	[kg]
Q.tà	Organi in rotazione	asse folle	
1	Puleggia Dentata HTD8M-	1,41E-04	[kg*m ²]
2	Cuscinetto Radiale a sfere	5,64E-05	[kg*m ²]
TOTALE		2,32E-04	[kg*m ²]
Organi in rotazione		asse motore	
1	Puleggia Dentata HTD8M-	2,88E-04	[kg*m ²]
1	Distanziale	1,45E-06	[kg*m ²]
1	Vite TCE M6x20	4,87E-07	[kg*m ²]
TOTALE		1,93E-06	[kg*m ²]

Rendimento Cinghia	0,85	
Diametro primitivo	61,12	mm
Inerzia risultante lato carico	5,05E-03	[kg*m ²]

Riduttore CP080-MO1-4-111	
Inerzia	5,40E-05 [kg*m ²]
Rapporto di Riduzione	4
Rendimento	0,97

Motore MPL-B330P-SJ72AA	
Inerzia	1,20E-04 [kg*m ²]
Potenza Nominale	1,8 [kW]

Inerzia totale riportata a lato motore	5,00E-04 [kg*m ²]
--	-------------------------------

Fig. 4.16: Schema per il calcolo delle inerzie dell'asse estrattore.

Vengono riportati i valori delle inerzie risultanti al lato carico, pari a:

$$J_{tot}^{car} = 3.28 \times 10^{-2} \text{ kg m}^2$$

$$J_{tot}^{est} = 5.06 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$$

Le figure appena citate mostrano inoltre i dati relativi al motore e al riduttore di entrambi gli azionamenti. Mentre per il motore sono noti da catalogo l'inerzia e la potenza nominale, per il riduttore sono presenti i dati relativi a inerzia, rapporto di riduzione e rendimento. Una volta ottenuta l'inerzia totale a lato carico è necessario per l'ottenimento dell'inerzia totale relativa al lato motore sommare ad essa le inerzie di motore e riduttore.

La formula applicata è la seguente:

$$J_{tot}^{eq} = J_{mot} + J_{rid} + \frac{J_{tot}}{\eta_{rid} i^2}$$

con:

- J_{tot}^{eq} inerzia totale equivalente del sistema ridotto
- J_{mot} inerzia del motore
- J_{rid} inerzia del riduttore
- η_{rid} rendimento del riduttore
- i rapporto di conduzione

Si riportano di seguito i valori finali delle inerzie riportati a lato motore:

$$J_{tot}^{car\ eq} = 2.55 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$$

$$J_{tot}^{est\ eq} = 5 \times 10^{-4} \text{ kg m}^2$$

4.3.2 – La coppia resistente

Si passa ora alla valutazione sulla coppia resistente: la valutazione di quest'ultima è alquanto complicata, perché non esiste alcuno strumento che possa indicare quale sia l'intensità della coppia resistente in ogni istante di funzionamento. Essa va ricavata tramite una serie di valutazioni sugli organi che si oppongono al moto.

In particolare sono state oggetto di studio le coppie resistenti causate dai pattini che scorrono sulle guide tramite accoppiamento prismatico, e quelle sui cuscinetti, presenti negli assi folli degli azionamenti.

Per quanto riguarda i pattini, è stato innanzitutto necessario eseguire una prova sperimentale tramite l'utilizzo di un dinamometro, che ha permesso di osservare quale forza è necessaria a garantire un moto a velocità costante di un singolo pattino, il quale è stato precaricato con una massa di prova del valore di 10 kg. Con una semplice proporzione è stato possibile valutare, per le masse reali in gioco, quale forza resistente fosse applicata.

Una volta ottenuta la forza resistente sui pattini si ottiene la coppia resistente moltiplicando la forza calcolata per il raggio primitivo della puleggia:

$$C_{r_{pat}} = F_r r$$

I valori ottenuti (lato carico) sono i seguenti:

$$C_{r_{pat}}^{car} = 4.22 Nm$$

$$C_{r_{pat}}^{est} = 0.23 Nm$$

Per quanto riguarda la coppia resistente causata dai cuscinetti, essa è stata valutata tramite la seguente formula [1]:

$$C_{r_{cusc}} = N_{cusc}(0.15 \mu F d)$$

dove

- N_{cusc} è il numero di cuscinetti
- μ è il coefficiente di attrito, valutato pari a 0.0015
- d è il diametro interno del cuscinetto
- F è la forza radiale agente sul cuscinetto

Per quest'ultima si sono studiate le forze agenti sull'asse nel quale sono posti gli stessi cuscinetti, e si è valutato come le uniche forze interessanti siano date dal tiro della cinghia. In questo caso quindi la forza radiale sarà il doppio del tiro della cinghia; come calcolare l'intensità di tale forza viene specificato nel catalogo delle cinghie [2].

Essa è espressa come:

$$T = 600 \frac{P_{mot}}{v_{cin}}$$

con

- P_{mot} potenza del motore espressa in kW
- v_{cin} velocità della cinghia espressa in m/s

Al fine di considerare il caso peggiore, come velocità è stata scelta la massima raggiunta dal profilo nel suo moto, mentre la potenza del motore è indicata da catalogo.

Una volta ottenuta, si ricava quindi la forza radiale, pari a $F = 2T$, e poi la coppia resistente sui cuscinetti.

I valori ottenuti delle coppie resistenti sui cuscinetti (lato carico) sono i seguenti:

$$C_r^{car}_{cusc} = 1.51 \times 10^{-2} Nm$$

$$C_r^{est}_{cusc} = 8.1 \times 10^{-3} Nm$$

La coppia resistente totale è data dalla somma delle coppie relative ai pattini e ai cuscinetti. Questo valore però si riferisce alla coppia nel lato relativo al carico; a seguito della riduzione all'asse motore, la coppia resistente vale:

$$C_r = \frac{C_{rpat} + C_{rcusc}}{\eta_{rid} i}$$

I valori finali delle coppie resistenti (lato motore) sono:

$$C_r^{car} = 1.09 Nm$$

$$C_r^{est} = 0.06 Nm$$

In Fig. 4.17 e 4.18 sono riportati i calcoli eseguiti per la valutazione della coppia resistente di entrambi gli assi.

ANALISI COPPIA RESISTENTE - Estrazione		
Forza resistente di un pattino a vel costante	15	[N]
Massa di prova	10	[kg]
Massa del pattino	0,32	[kg]
Massa sui 2 pattini + massa pattini	4,39	[kg]
Forza resistente pattini (con rendimento cinghia)	7,74	[N]
Coppia resistente pattini a valle del riduttore	2,37E-01	[Nm]
Coppia resistente pattini lato motore	6,10E-02	[Nm]
Potenza del motore	1,8	[kW]
Velocità della cinghia	3,001966	[m/s]
Tiro della Catena	359,7642	[N]
Forza Radiale	719,5284	[N]
Coefficiente di attrito	0,0015	
diametro interno del cuscinetto	0,025	[m]
numero di cuscinetti	2	
Coppia resistente di attrito sui cuscinetti	8,09E-03	[Nm]
Coppia resistente riportata lato motore	2,09E-03	[Nm]
Coppia resistente totale	6,31E-02	[Nm]

Fig. 4.17: Schema per il calcolo della coppia resistente, asse estrazione.

ANALISI COPPIA RESISTENTE - Carrello		
Forza resistente di un pattino a vel costante	40	[N]
Massa di prova	10	[kg]
Massa del pattino	0,44	[kg]
Massa sui 3 pattini + massa pattini	29,40	[kg]
Forza resistente pattini (con rendimento cinghia)	138,4	[N]
Coppia resistente pattini a valle del riduttore	4,23	[Nm]
Coppia resistente pattini lato motore	1,09	[Nm]
Potenza del motore	2,2	[kW]
Velocità della cinghia	1,96	[m/s]
Tiro della Catena	674,5	[N]
Forza Radiale	1348,9	[N]
Coefficiente di attrito	0,0015	
diametro interno del cuscinetto	0,025	[m]
numero di cuscinetti	2	
Coppia resistente di attrito sui cuscinetti	1,52E-02	[Nm]
Coppia resistente riportata lato motore	3,91E-03	[Nm]
Coppia resistente totale	1,09	[Nm]

Fig. 4.18: Schema per il calcolo della coppia resistente, asse carrello.

4.3.3 – Validazione del modello

Si può infine calcolare la coppia motrice per ogni asse del modulo estrattore. L'accelerazione angolare dell'asse motore (unica variabile rimasta da determinare) può essere ricavata attraverso l'accelerazione massima rilevata dallo studio delle leggi di moto precedentemente illustrati, come:

$$\dot{\omega}_{mot} = \frac{a}{r} i$$

Per verificare se il modello si possa considerare attendibile è necessario eseguire una valutazione sulla sua validità, comparando i risultati ottenuti con quelli prelevati sperimentalmente nella prova illustrata nel paragrafo 4.2; il confronto è stato eseguito sulla coppia massima registrata. La vicinanza tra i valori teorico e reale mostra quanto il modello matematico rappresenti al meglio la situazione reale; nel caso esso sia attendibile si è certi che il comportamento rappresentato a livello teorico per ciclicità lontane da quelle attuali risulterà corretto.

I valori della coppie massime ottenute per entrambi gli assi sono i seguenti:

$$C_m^{car}_{max} = 6.05 Nm$$

$$C_m^{est}_{max} = 4.32 Nm$$

Questi valori sono stati confrontati con quelli massimi rivelati sperimentalmente. I risultati mostrano come per entrambi i modelli matematici la coppia massima matematica si discosti da quella reale di un 4% espresso in riferimento alla coppia nominale. Questo valore viene considerato accettabile, con conseguente conferma della bontà dei modelli, che sono stati utilizzati per le valutazioni delle dinamiche successive.

In Fig. 4.19 e 4.20 si possono vedere i punti di funzionamento del motore relativi al punto a velocità massima, rispettivamente per l'asse carrello e l'asse estrattore. È possibile notare che alla ciclicità studiata l'estrazione raggiunge quasi il limite massimo di velocità angolare, mentre il carrello si ritrova entro il limite del servizio continuo di tipo S1.

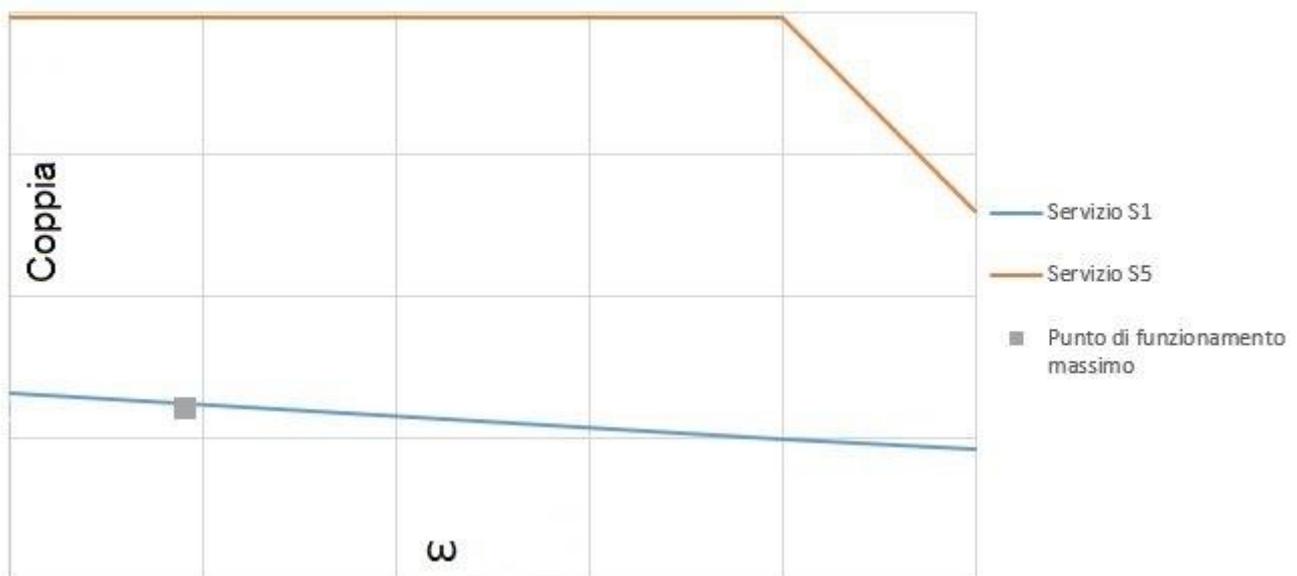


Fig. 4.19: Curva caratteristica del motore, asse carrello.

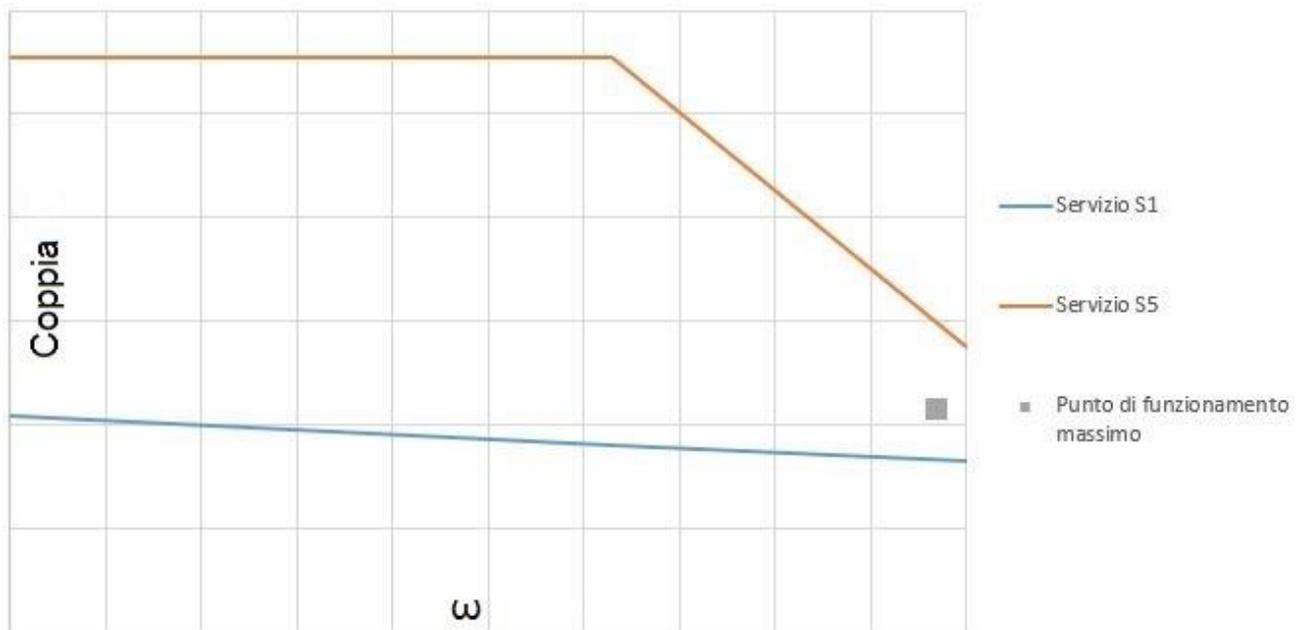


Fig. 4.20: Curva caratteristica del motore, asse estrazione.

A seguito della validazione dei modelli matematici finora studiati, sono stati effettuati studi sul comportamento dei relativi assi alle ciclicità obiettivo, che si ricorda essere pari a 80 *BPM* per il prodotto di lunghezza 350 *mm* e 120 *BPM* per il prodotto di lunghezza 150 *mm*.

Dato che le movimentazioni considerate non possiedono un moto continuo ma sono soggette a continue accelerazioni e decelerazioni, tratti a velocità costante e stati di fermo, oltre a valutare il punto di funzionamento in condizioni più gravose è opportuno, per una corretta e completa valutazione, considerare anche il punto di funzionamento medio.

Il punto di funzionamento medio viene calcolato sulla velocità angolare media sull'intero percorso, mentre per la coppia si utilizza il valore quadratico medio. Essa si calcola dividendo il profilo di moto in n parti, dove per ogni parte è nota la propria durata t_i ; inoltre si considera all'interno di ogni intervallo una coppia motrice costante e pari a C_{m_i} .

Il valore efficace della coppia $C_{m_{RMS}}$ vale:

$$C_{m_{RMS}} = \sqrt{\frac{\sum_i^n C_{m_i}^2 t_i}{\sum_i^n t_i}}$$

Al fine di rendere il calcolo del valore efficace più veloce ad ogni profilo di posizione (sia per estrattore avanti indietro che camma, sia per braccio estrattore che carrello) è stato associato il profilo trapezio di velocità del tipo 1/3 1/3 1/3, così da poter considerare nei vari tratti un'accelerazione costante e di conseguenza, dato che inerzie e coppie resistenti rimangono costanti, coppie motrici costanti.

Si riportano di seguito i valori delle coppie ottenute a 80 *BPM* e 120 *BPM*:

Carrello

Estrattore

$$C_m^{80}_{max} = 12.35 \text{ Nm}$$

$$C_m^{80}_{max} = 2.80 \text{ Nm}$$

$$C_m^{80}_{RMS} = 4.23 \text{ Nm}$$

$$C_m^{80}_{RMS} = 1.62 \text{ Nm}$$

$$C_m^{120}_{max} = 16.59 \text{ Nm}$$

$$C_m^{120}_{max} = 2.94 \text{ Nm}$$

$$C_m^{120}_{RMS} = 5.81 \text{ Nm}$$

$$C_m^{120}_{RMS} = 1.74 \text{ Nm}$$

Di seguito in Fig. 4.21 e 4.22 sono rappresentati questi punti.

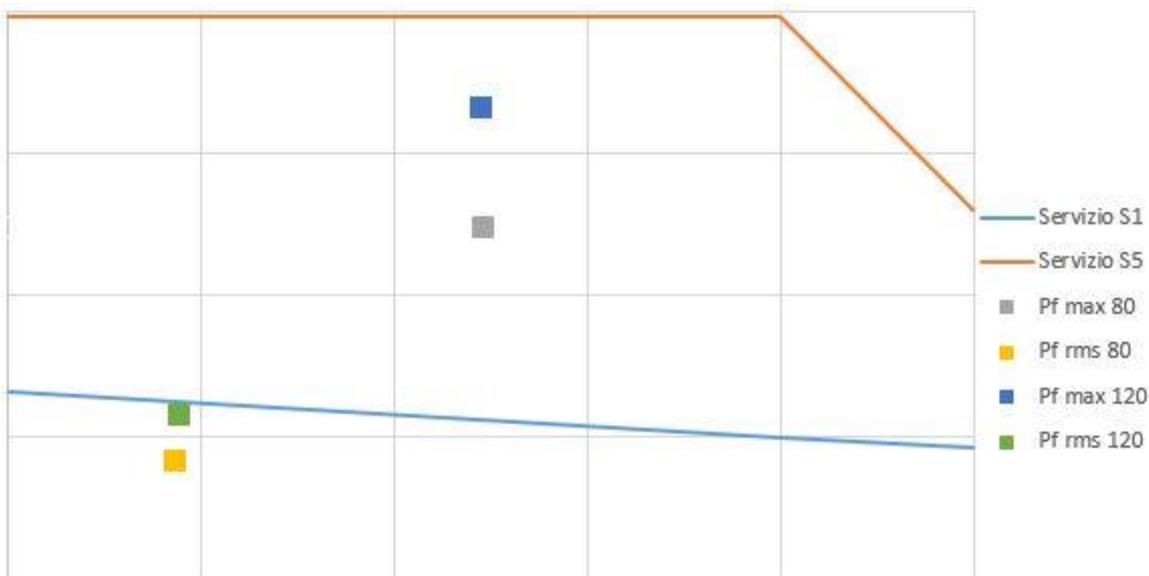


Fig. 4.21: Punti di funzionamento dell'asse carrello.

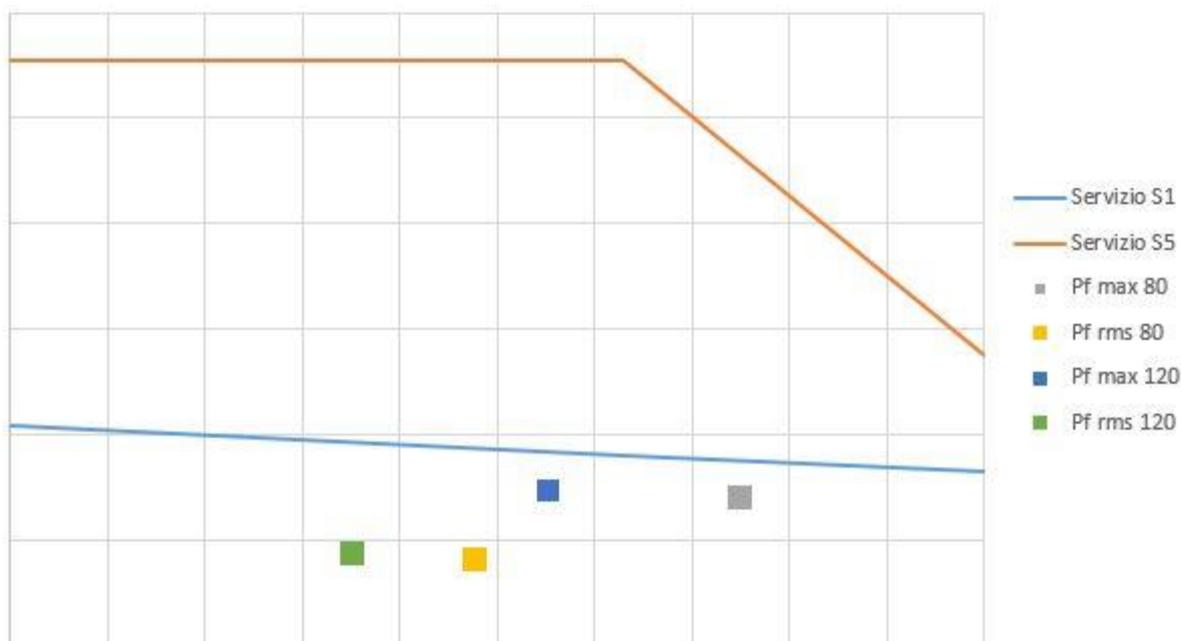


Fig. 4.22: Punti di funzionamento dell'asse estrattore.

Questi risultati, che vengono considerati accettabili, sono stati ottenuti grazie alle considerazioni fatte nel capitolo 3 dedicato al ciclogramma. Mentre l'asse estrattore si mantiene in ogni caso sotto la curva di servizio continuo S1, si nota invece che l'asse carrello raggiunge coppie richieste elevate all'aumentare delle ciclicità, seppur il punto di funzionamento medio si mantiene sempre sotto la curva di funzionamento continuo. Nel prossimo paragrafo sono state compiute alcune considerazioni che hanno portato, allo sviluppo di un ulteriore modulo, nato dal desiderio di migliorare alcuni comportamenti del modulo vecchio.

4.4 – L'estrattore a camma

Il moto del braccio estrattore in un'unica direzione (avanti e indietro) obbliga il carrello sul quale esso viene montato assieme alla carcassa a proseguire nel suo moto di inseguimento, con lo scopo di tenere lo stesso braccio fuori dall'ingombro causato dai prodotti che vengono trasportati dalla catena; ciò comporta delle corse del carrello maggiori rispetto a quelle necessarie, ed inoltre obbliga il braccio estrattore ad un rientro che sia il più veloce possibile. In fase di progettazione è stato considerato utile dedicare del tempo allo studio di un'alternativa che rimediasse a questi due inconvenienti, e che offrisse maggiori capacità di sviluppo. Nel caso specifico il moto

di solo avanzamento del braccio estrattore non può concedere margini di miglioramento in quanto in qualsiasi caso non si può evitare l'impatto con i prodotti in movimento.

Per questi motivi è risultata una conseguenza naturale rendere verticale il piano in cui il braccio estrattore si muove. Una soluzione in cui l'estremità che entra in contatto con i prodotti, una volta consegnata la pila nel modulo di precompressione, possa sollevarsi e compiere il rientro passando al di sopra dei prodotti che continuano a scorrere garantirebbe la risoluzione dei problemi appena citati: il carrello infatti potrebbe ritornare alla posizione di riposo una volta che l'andata dell'estrazione sia avvenuta, mentre l'estrazione ha la possibilità di compiere un rientro a velocità minori fuori ingombro.

È stato di conseguenza ideato un estrattore a camma, dove tramite la movimentazione di un unico asse è stato possibile conferire il profilo desiderato al profilo estrattore. Inoltre tramite questa metodologia il moto del braccio non deve mai essere invertito, potendo quindi mantenere il verso di rotazione dell'albero motore, senza alcuna inversione di moto. I prossimi paragrafi mostrano i passi di studio effettuati per la progettazione. I due estrattori (avanti indietro e camma) sono stati poi confrontati sulla base del punto di funzionamento a coppia e velocità massima e del punto di funzionamento medio.

4.4.1 – Struttura

Il movimento viene conferito, esattamente come per il primo tipo di estrazione presentato, tramite una puleggia dentata (in Fig. 4.24 punto 1) alla quale è ingranata una cinghia (in Fig. 4.24 punto 2), che si avvolge inoltre attorno ad un'altra puleggia delle stesse dimensioni della prima. La cinghia possiede in un punto della parte esterna un rigonfiamento cavo in cui è possibile alloggiare un perno legato all'estremità del braccio. Durante il moto della cinghia questa cavità si sposta lungo tutto il profilo (anche nelle curve) trascinandosi dietro il braccio. La rotella (in Fig. 4.24 punto 3) che ricopre il perno rotola in profilo appositamente preparata per il moto a camma. Il profilo di camma si trova su un piano intermedio tra le pareti esterne del modulo (in Fig. 4.23 punto 1).

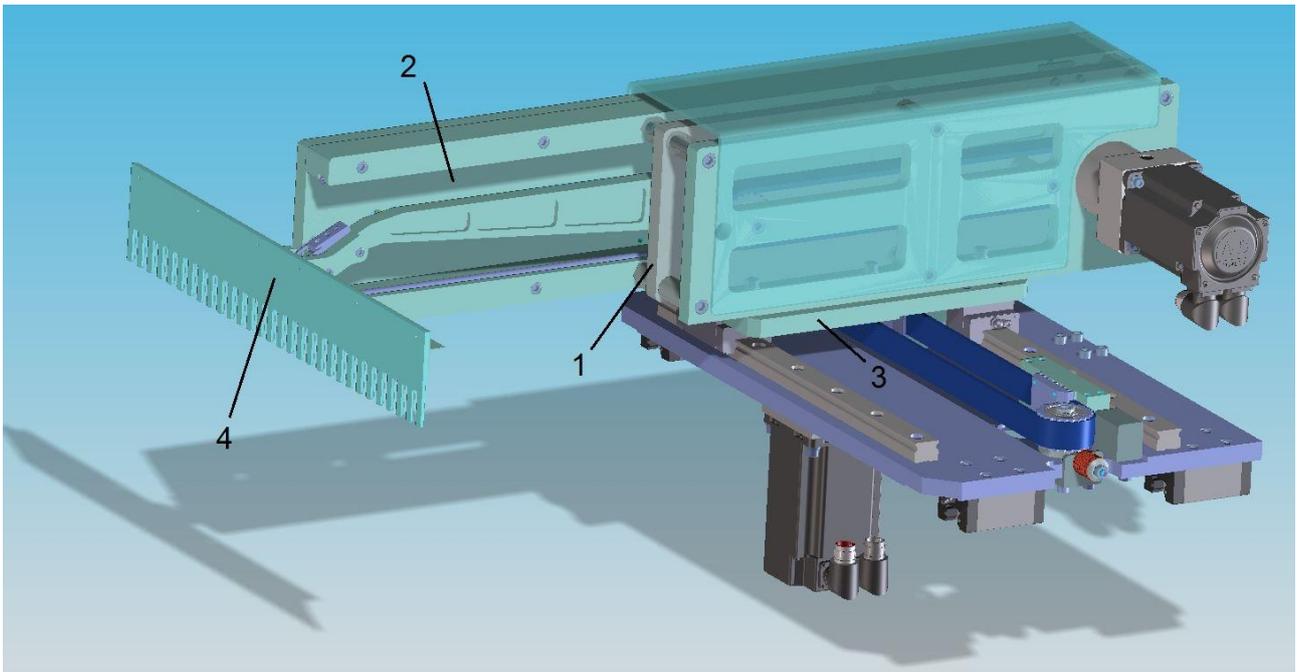


Fig. 4.23: Estrattore a camma. Vista completa.

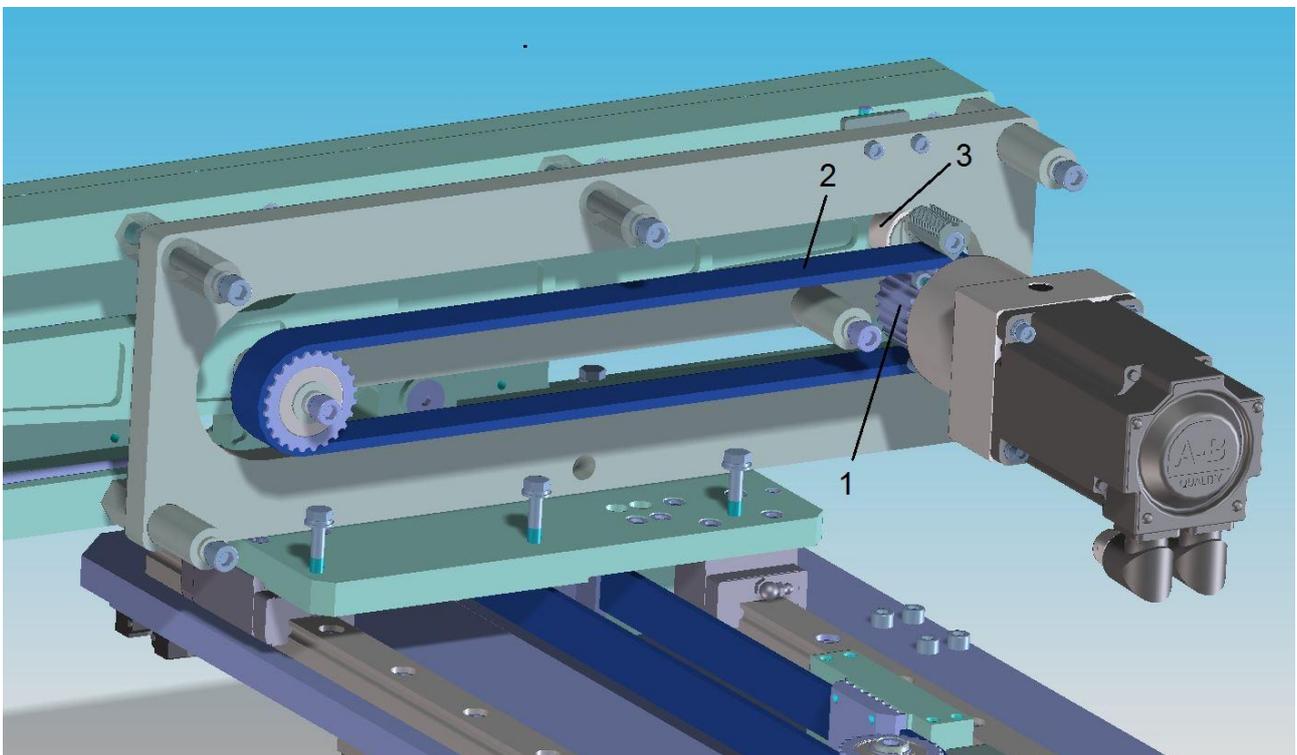


Fig. 4.24: Estrattore a camma. Vista del piano intermedio.

Mentre l'estremo del braccio segue il profilo di camma, l'altro estremo, necessario al conferimento del moto desiderato, è legato ad un carrello posto sulla parete opposta dove sono presenti guide che conferiscono un moto rettilineo. La maggiore lunghezza di questa parete (in Fig. 4.23 punto 2) è data proprio dalla corsa che il carrello deve realizzare.

Le pareti sono quindi appoggiate al carrello (in Fig. 4.23 punto 3) che ha il compito di inseguire la catena porta-palette, lo stesso dell'estrattore avanti indietro.

4.4.2 – Profilo di posizione

Viene mostrato di seguito il profilo che il punto di estrazione segue nel suo moto di avanzamento. Gli obiettivi studiati e ottenuti sono i seguenti:

- Il braccio estrattore deve entrare in contatto con i prodotti quando sta già percorrendo il suo tratto lineare, per non causare l'impuntamento del prodotto. La discesa quindi deve avvenire in una posizione retrostante a quella in cui si trovano i prodotti.
- Una volta depositata la pila, il profilo deve compiere la salita percorrendo la minore distanza nella direzione di estrazione. I prodotti potrebbero infatti in caso contrario ricevere una spinta verso l'altro che alzerebbe la loro coda scomponendo l'intera pila. Inoltre la parte della salita dove il braccio continua ad avanzare viene tenuta conto nella distanza utile all'estrazione.
- La lunghezza di estrazione viene valutata sul prodotto più lungo. Il profilo sarà unico e non cambierà al variare del formato, perciò è necessario che il prodotto più lungo possa venire elaborato.
- La distanza tra il piano di avanzamento e quello di ritorno deve essere tale da garantire la mancanza di interferenza con i prodotti in fase di avanzamento.

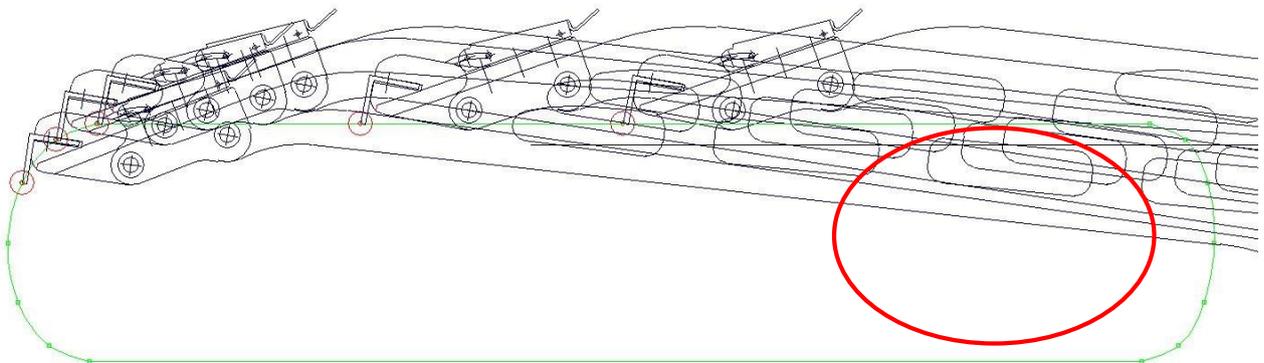


Fig. 4.25: Profilo di posizione del braccio estrattore; particolare di possibile interferenza.

A seguito delle considerazioni fatte, si è ottenuto il profilo mostrato in Fig. 4.25; in essa sono rappresentate anche alcune posizioni del braccio nel suo rientro. Esse mostrano un possibile problema di interferenza tra il braccio e i prodotti in arrivo: mantenendo il perno attorno al quale il braccio ruota sempre alla stessa altezza, il braccio si ritrova a percorrere il ritorno con la parte anteriore nella posizione in cui i prodotti si posizionano nel loro moto di avanzamento verso la zona di estrazione. Per questo motivo viene conferito al profilo che si interfaccia con i prodotti una forma allungata, così da mantenere il braccio sempre al di sopra dei prodotti. Nella Fig. 4.26 la curva tratteggiata rappresenta il nuovo percorso compiuto dal punto più basso della paletta. Questo profilo inoltre possiede una dentatura nella sua parte inferiore, per poter passare tra una paletta e l'altra ed impattare i prodotti ad un'altezza inferiore e garantire un migliore trasporto (in Fig. 4.23 punto 4).

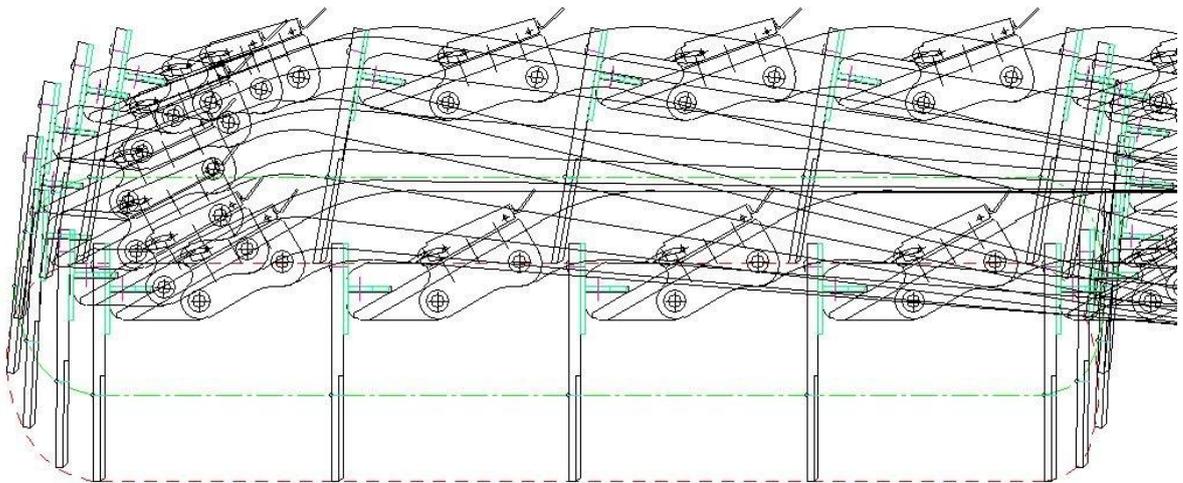


Fig. 4.26: profilo estrattore con paletta allungata.

4.4.3 – Variazione del ciclogramma

Con l'utilizzo di una camma cambia anche il modo in cui il moto dell'estrattore viene rappresentato nel ciclogramma. Mentre per il caso precedente i gradi assegnati all'estrazione dipendevano dalle dinamiche e di conseguenza dalle corse effettuate, in questo caso la corsa effettuata dall'estrattore è sempre la stessa: non esiste più una fase di andata e ritorno ma il braccio percorre il profilo (che rimane lo stesso per tutti i prodotti) senza la necessità di invertire il verso di funzionamento del motore.

È importante sottolineare come con questa metodologia sia presente un guadagno anche dal punto di vista logico. L'inversione di moto comporta un tratto finale di tipo

decelerato che è possibile evitare se viene utilizzato un percorso a camma: in questo caso infatti non essendoci alcuna necessità di compiere il ritorno nel più breve tempo possibile, il braccio può procedere a velocità massima fino ad aver compiuto completamente l'estrazione, operazione che una volta conclusa indica il punto di avvio per le movimentazioni successive. Dato che lo spazio necessario alla completa frenata viene percorso a velocità costante in minore tempo è possibile guadagnare gradi Master che possono essere assegnati ad altre movimentazioni per garantire minori dinamiche. A titolo indicativo viene assegnato un profilo cosinusoidale come quelli mostrati al paragrafo 3.3 al moto del braccio, con corsa pari all'intero sviluppo della cinghia, ma la parte di tale profilo interessante ai fini dei comandi logici di avvio è quella nel quale viene compiuta la corsa necessaria. Questa corsa dipende infatti dal prodotto poiché per un prodotto piccolo che viene adagiato nei pressi della zona di precompressione (si rimanda alle considerazioni fatte al paragrafo 3.5) il profilo estrattore può partire da una posizione più ravvicinata alla faccia posteriore della pila e quindi compiere corse inferiori. Nella Fig. 4.27 si nota come le operazioni di discesa Asse Y e pre-compressione (viola e blu) si avviino in un punto della curva del modulo estrattore (rossa) nel quale si considera completamente avvenuta l'estrazione dei prodotti dalla catena. La restante parte è dedicata al ritorno in posizione, e potrebbe anche avvenire più lentamente in quanto è un'operazione "a tempo morto".

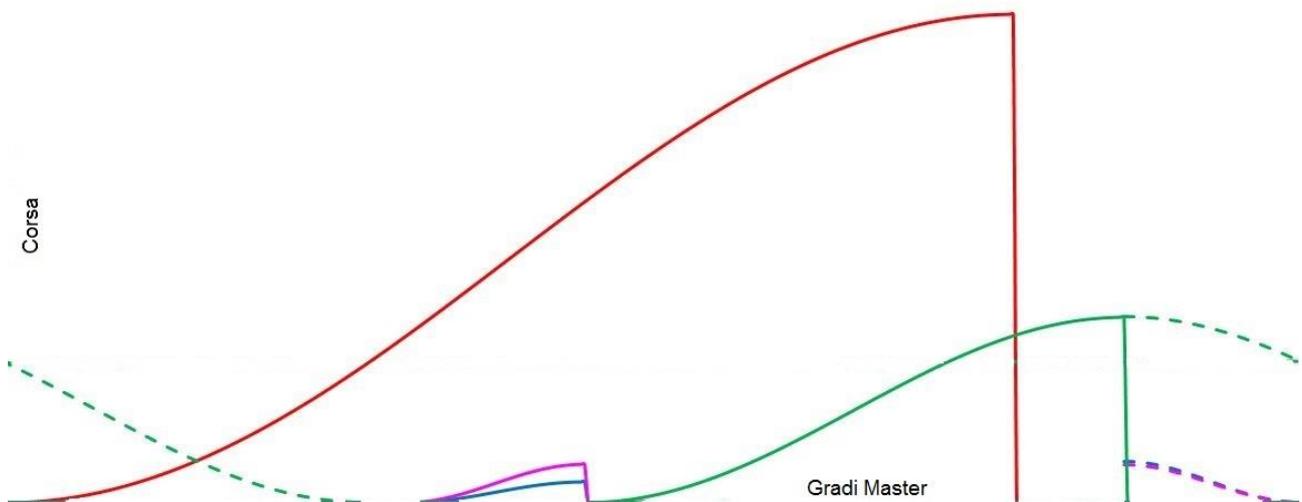


Fig. 4.27: Ciclogramma con estrattore a camma.

4.4.4 – Variazione del profilo del carrello

Come già esposto all'inizio del paragrafo 4.4 uno dei vantaggi concessi da questa soluzione è quello di garantire una minore corsa al carrello. Dovendo infatti inseguire la catena solo per l'andata dell'estrazione, la distanza percorsa è inferiore.

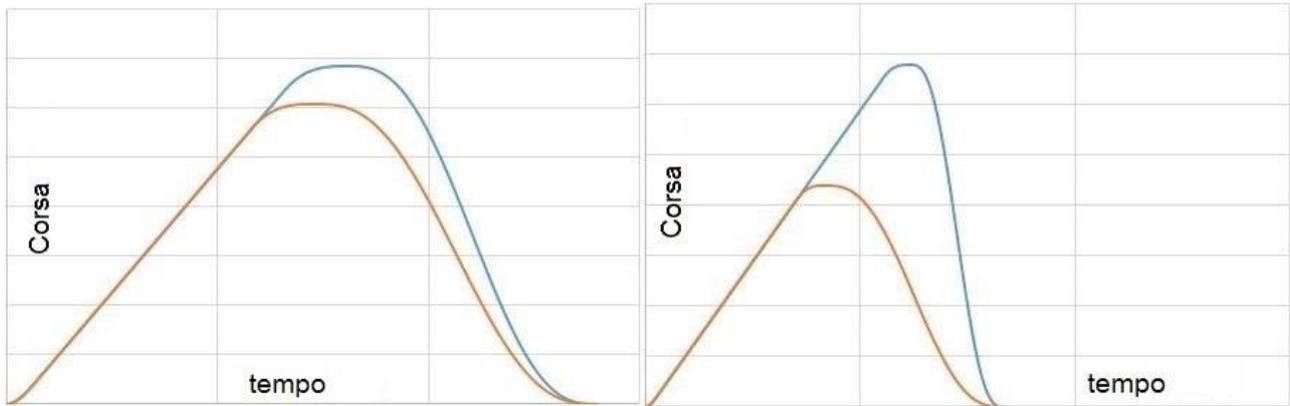


Fig. 4.28: confronto tra i profili di posizione del carrello rispettivamente a 80 cicli e 120 cicli.

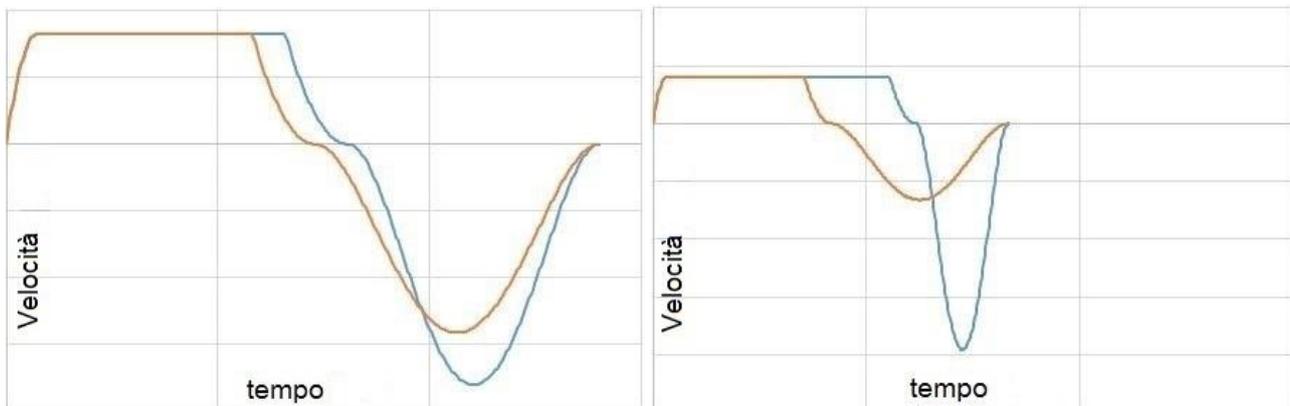


Fig. 4.29: confronto tra i profili di velocità del carrello rispettivamente a a 80 cicli e 120 cicli.

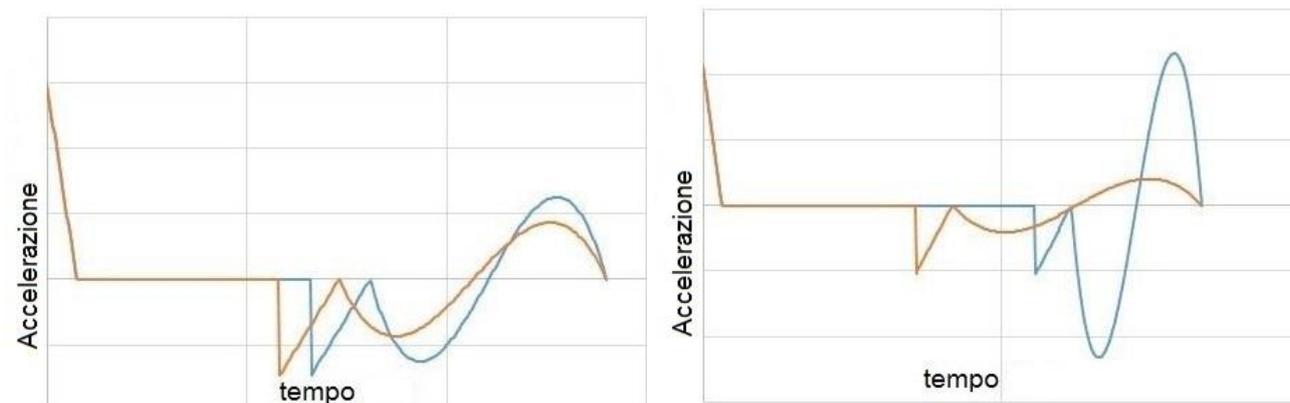


Fig. 4.30: confronto tra i profili di accelerazione del carrello rispettivamente a a 80 cicli e 120 cicli.

Inoltre, considerando il tratto di ritorno, avendo meno spazio da percorrere in più tempo (il tratto 2 dura la metà del tempo, il che porta ad un aumento del tempo dedicato al tratto 4), le grandezze cinematiche risultano nettamente inferiori rispetto al caso precedente; questo vantaggio aumenta all'aumentare delle ciclicità. Nei grafici in Fig. 4.28, 4.29 e 4.30 sono presentati i profili di posizione, velocità e accelerazione confrontati nei due casi presentati: in blu viene presentata la curva del caso di estrazione avanti indietro, mentre in arancio è illustrata la curva dell'estrazione a camma.

4.4.5 – Verifica Dinamica

Prima di poter discutere i risultati riguardo al confronto di entrambe le movimentazioni, è necessario verificare che i motori e riduttori selezionati per l'estrattore del tipo avanti indietro siano adatti a sopportare anche la movimentazione del nuovo gruppo illustrato. La verifica eseguita utilizza il modello matematico utilizzato ed illustrato al paragrafo 4.3. È stata svolta una ulteriore analisi del modello 3D realizzato tramite software CAD, assegnando ad ogni componente il proprio materiale o inserendo le masse come indicate da catalogo per quelli commerciali.

Per quanto riguarda l'asse che muove il carrello, la massa che esso trasporta è aumentata notevolmente, quasi del doppio. Seppur le accelerazioni che sono ad esso associate siano minori, questo comporta ad alte ciclicità che la coppia massima richiesta dal sistema sia al di sopra della massima ammissibile e pari a:

$$C_m^{120}_{max} = 24.5 Nm$$

Per ovviare a questo problema, è sufficiente aumentare il rapporto di riduzione del riduttore: della stessa famiglia del riduttore precedentemente indicato, basta passare da 4 a 5 per ottenere dei risultati accettabili; infatti pur avendo aumentato il rapporto di riduzione la velocità massima in ingresso risulta al di sotto del valore indicato, ottenendo valori della coppia massima pari a:

$$C_m^{120}_{max} = 16.9 Nm$$

La coppia richiesta a 80 cicli al minuto risulta invece pari a:

$$C_m^{80}_{max} = 7.96 Nm$$

La movimentazione del braccio estrattore risulta invece alleggerita a seguito delle modifiche strutturali eseguite. In questo caso la velocità angolare massima rivelata del motore, ad alte ciclicità, risulta sopra il numero massimo di giri sopportabili e pari a:

$$n_{max} = 6067 \text{ rpm}$$

Per questo motivo è stato scelto, dopo averne eseguito una corretta verifica, un riduttore con rapporto di riduzione più basso, impostandolo da 4 a 3.

Le coppie massime calcolate per questo asse sono:

$$C_m^{80}_{max} = 1.73 \text{ Nm}$$

$$C_m^{120}_{max} = 2.17 \text{ Nm}$$

In Fig. 4.31 e 4.32 sono riportate le tabelle utilizzate per il calcolo di questi valori, rispettivamente dell'estrattore e del carrello. In particolare si riportano i valori delle coppie RMS, che sono pari a:

Carrello

$$C_m^{80}_{RMS} = 1.99 \text{ Nm}$$

$$C_m^{120}_{RMS} = 2.86 \text{ Nm}$$

Estrattore

$$C_m^{80}_{RMS} = 0.99 \text{ Nm}$$

$$C_m^{120}_{RMS} = 1.44 \text{ Nm}$$

Questi valori sono nettamente inferiori rispetto a quelli calcolati per il modello estrattore di tipo avanti-indietro; l'estrattore a camma risulta quindi vantaggioso pure dal punto di vista dello stress termico dei motori. Questo beneficio si deve, per quel che concerne l'asse estrattore, al maggiore tempo dedicato alla completa operazione di estrazione (seconda riga della Fig. 4.31).

Estrattore									
Costruzione del profilo 1/3 associato									
Avanti Indietro					Camma				
ciclicità	71,40	80,00	120,00		ciclicità	71,40	80,00	120,00	
tempo per estrazione	0,19	0,23	0,16	[s]	tempo per estrazione	0,61	0,44	0,39	[s]
ta=tv=td	0,06	0,08	0,05	[s]	ta=tv=td	0,20	0,15	0,13	[s]
corsa	460,00	430,00	220,00	[mm]	corsa	1024,00	1024,00	1024,00	[mm]
diametro primitivo	61,20	61,20	61,20	[mm]	diametro primitivo	51,20	51,20	51,20	[mm]
rapporto di riduzione	4,00	4,00	4,00		rapporto di riduzione	3,00	3,00	3,00	
velocità	3,69	2,87	2,10	[m/s]	velocità	2,53	3,51	3,98	[m/s]
accelerazione lineare	59,36	38,22	40,19	[m/s ²]	accelerazione lineare	12,51	24,07	30,89	[m/s ²]
accelerazione angolare lato motore	7759,40	4996,37	5253,90	[rad/s ²]	accelerazione angolare lato motore	1466,04	2821,22	3620,38	[rad/s ²]
Inerzia gruppo	0,00	0,00	0,00	[kg*m ²]	Inerzia gruppo	0,00	0,00	0,00	[kg*m ²]
Coppia resistente	0,06	0,06	0,06	[Nm]	Coppia resistente	0,06	0,06	0,06	[Nm]
Coppia accelerazione	3,94	2,56	2,69	[Nm]	Coppia accelerazione	0,85	1,58	2,01	[Nm]
Coppia quadratica media	3,22	2,09	2,20	[Nm]	Coppia quadratica media	0,69	1,29	1,64	[Nm]
Velocità lineare media	2,46	1,91	1,40	[m/s]	Velocità lineare media	1,69	2,34	2,65	[m/s]
Velocità ang media	322,00	249,82	183,24	[rad/s]	Velocità ang media	197,72	274,29	310,71	[rad/s]
RPM medio	3074,87	2385,59	1749,79		RPM medio	1888,12	2619,24	2967,10	

Fig. 4.31: tabella di calcolo del punto di funzionamento medio, asse estrattore.

Carrello									
Costruzione del profilo 1/3 associato									
Avanti Indietro					Camma				
ciclicità	71,4	80	120		ciclicità	71,4	80	120	
Andata					Andata				
tempo dedicato	0,49	0,57	0,37	[s]	tempo per estrazione	0,44	0,34	0,25	[s]
ta=tv=td	0,16	0,19	0,12	[s]	ta=tv=td	0,15	0,11	0,08	[s]
corsa	136,67	188,00	135,56	[mm]	corsa	121,11	101,67	87,78	[mm]
diámetro primitivo	61,20	61,20	61,20	[mm]	diámetro primitivo	61,20	61,20	61,20	[mm]
rapporto di riduzione	4,00	4,00	4,00		rapporto di riduzione	7,00	7,00	7,00	
velocità	0,42	0,49	0,55	[m/s]	velocità	0,41	0,45	0,53	[m/s]
accelerazione lineare	2,61	2,60	4,45	[m/s ²]	accelerazione lineare	2,83	3,97	6,29	[m/s ²]
accelerazione angolare lato motore	341,49	339,74	582,02	[rad/s ²]	accelerazione angolare lato motore	648,36	909,15	1437,75	[rad/s ²]
Inerzia gruppo	0,00	0,00	0,00	[kg*m ²]	Inerzia gruppo	0,00	0,00	0,00	[kg*m ²]
Coppia resistente	1,10	1,10	1,10	[Nm]	Coppia resistente	1,09	1,09	1,09	[Nm]
Coppia accelerazione	1,97	1,97	2,59	[Nm]	Coppia accelerazione	2,13	2,55	3,41	[Nm]
Ritorno					Ritorno				
tempo dedicato	0,36	0,18	0,13	[s]	tempo per estrazione	0,40	0,41	0,25	[s]
ta=tv=td	0,12	0,06	0,04	[s]	ta=tv=td	0,13	0,14	0,08	[s]
corsa	136,67	188,00	135,56	[mm]	corsa	121,11	101,67	87,78	[mm]
diámetro primitivo	61,20	61,20	61,20	[mm]	diámetro primitivo	61,20	61,20	61,20	[mm]
rapporto di riduzione	4,00	4,00	4,00		rapporto di riduzione	7,00	7,00	7,00	
velocità	0,58	1,57	1,57	[m/s]	velocità	0,45	0,37	0,53	[m/s]
accelerazione lineare	4,88	26,27	36,17	[m/s ²]	accelerazione lineare	3,38	2,71	6,36	[m/s ²]
accelerazione angolare lato motore	637,40	3433,62	4728,36	[rad/s ²]	accelerazione angolare lato motore	772,14	620,42	1453,82	[rad/s ²]
Inerzia gruppo	0,00	0,00	0,00	[kg*m ²]	Inerzia gruppo	0,00	0,00	0,00	[kg*m ²]
Coppia resistente	1,10	1,10	1,10	[Nm]	Coppia resistente	1,09	1,09	1,09	[Nm]
Coppia accelerazione	2,73	9,86	13,17	[Nm]	Coppia accelerazione	2,33	2,09	3,43	[Nm]
Coppia quadratica media	2,00	4,23	5,81	[Nm]	Coppia quadratica media	1,93	1,99	2,86	[Nm]
Velocità lineare media	0,33	0,69	0,71	[m/s]	Velocità lineare media	0,29	0,27	0,35	[m/s]
Velocità ang media	43,56	90,01	92,16	[rad/s]	Velocità ang media	66,06	62,59	80,32	[rad/s]
RPM medio	415,99	859,48	880,08		RPM medio	630,87	597,66	767,00	

Fig. 4.32: tabella di calcolo del punto di funzionamento medio, asse carrello.

Per quanto riguarda il carrello, l'aver assegnato corse inferiori e il poter eseguire l'operazione di ritorno una volta completata l'andata di estrazione porta a dedicare un tempo maggiore al rientro del carrello, in modo da ottenere velocità e accelerazioni massime inferiori.

Nelle figure di seguito sono riportati infine i grafici dei motori alle diverse ciclicità studiate, ossia 71.4, 80 e 120. Su ognuno sono riportate le coppie massime (cerchio) e medie (quadrato) delle due configurazioni studiate, avanti indietro (rosso) e camma (giallo) con lo scopo di favorirne il confronto. Le curve rappresentate sono quella di servizio continuo S1 (blu) e di servizio intermittente S5 (arancio).

A seguito di tutte le valutazioni fatte e dei risultati mostrati, si è scelta la soluzione dell'estrattore a camma.

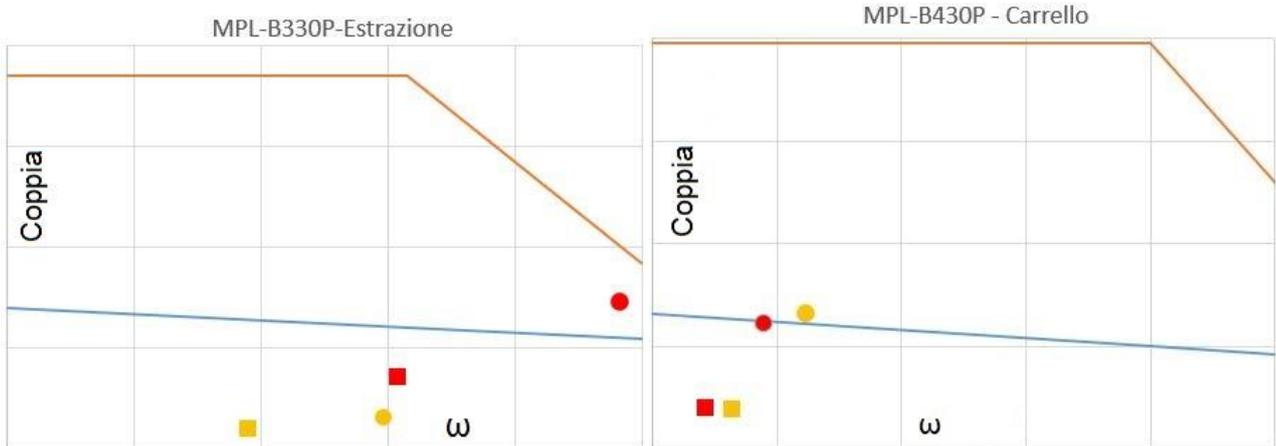


Fig. 4.33: Curve caratteristiche del motore con punti di funzionamento massimo e medio a 71.4 cicli/min.

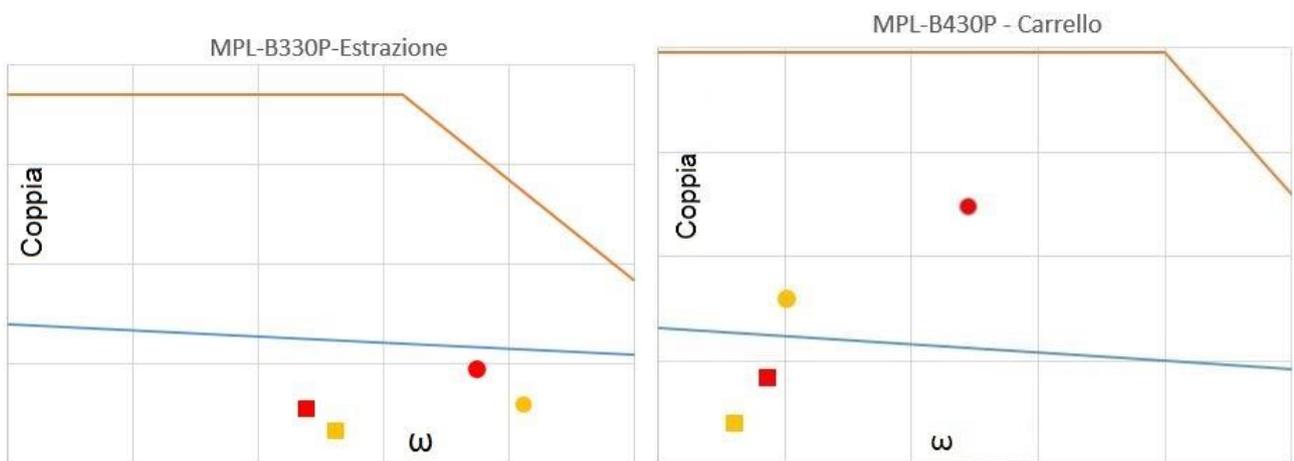


Fig. 4.34: Curve caratteristiche del motore con punti di funzionamento massimo e medio a 80 cicli/min.

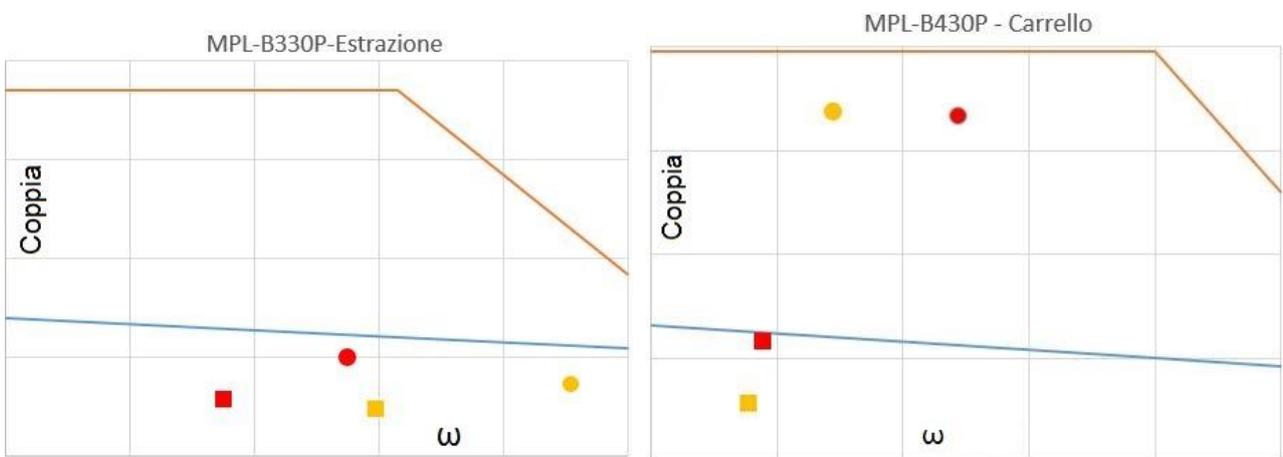


Fig. 4.35: Curve caratteristiche del motore con punti di funzionamento massimo e medio a 120 cicli/min.

CAPITOLO 5 – SVILUPPI TECNICI MECCANICI

In questo capitolo sono illustrate alcune delle soluzioni tecniche studiate e previste all'interno del nuovo raggruppatore. In particolare sono stati sviluppati quei moduli che devono realizzare e permettere il ridimensionamento delle corse necessario e previsto nella progettazione del ciclogramma, il quale è stato discusso al paragrafo 3.5; inoltre viene mostrata la realizzazione dello stopper aspirato che è una tra le diverse soluzioni tecniche che la Casa della Qualità ha dimostrato essere necessaria al fine di una buona progettazione di macchina per un inserimento corretto nel mercato.

5.1 – Miglioramento delle corse

Come illustrato nel paragrafo 3.5, lo studio delle corse all'interno della progettazione del ciclogramma è stato eseguito tramite un ragionamento “a ritroso”: partendo dall'ultimo modulo previsto nella prima fase, ossia l'asse X del gruppo X-Y, si sono poste determinate condizioni che si sono poi tramutate in valutazioni sulla corsa dell'estrattore. La riduzione di queste corse è stata possibile tramite ragionamenti eseguiti riguardo il sistema a nastri che raccoglie i prodotti dalla parte legata al twist e li inserisce all'interno della catena porta palette. Si è notato in particolare che per i prodotti piccoli, i quali sono legati a ciclicità maggiori, depositare il prodotto all'interno delle palette in una posizione maggiormente affacciata alla zona di precompressione ridurrebbe la corsa del braccio estrattore, potendo esso partire in una posizione avanzata (Fig. 3.8). Deve essere possibile quindi realizzare un sistema che a seconda della lunghezza del prodotto lo depositi più o meno vicino al modulo di precompressione, variando di conseguenza la distanza dall'asse della catena porta-palette.

Il sistema a nastri studiato e progettato viene denominato “a rulli telescopici”, del quale si può vedere una rappresentazione di massima in Fig. 5.1; questa configurazione permette di allungare il sistema a nastri, spingendo la parte terminale sopra la catena porta-palette e permettendo così il rilascio dei prodotti in una posizione avanzata. Questa parte non si tratta di una semplice modifica effettuata dal sistema a nastri precedente, ma di un vero e proprio modulo aggiunto.

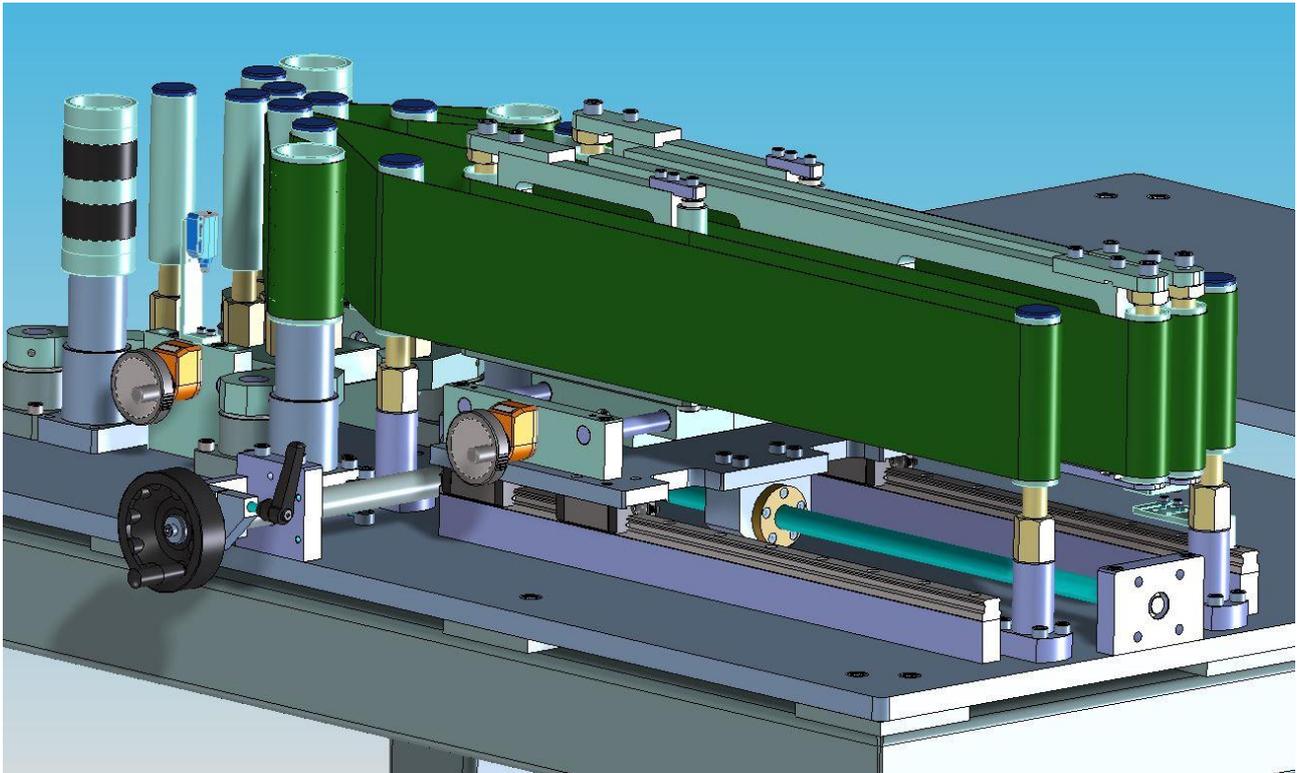


Fig. 5.1: sistema a nastri con rulli telescopici.

Obiettivo di questa progettazione è stato quello di scoprire una soluzione che permettesse l'avanzamento della parte terminale mantenendo invariato lo sviluppo dei nastri, in modo da non dover possedere nastri di diversa lunghezza a seconda del prodotto da elaborare. Ciò è stato possibile rendendo mobile l'ultima parte del sistema a rulli, il quale può avanzare liberamente tramite sistema a controllo manuale.

Si passa ora alla descrizione del modulo, partendo dal sistema di rulli, mostrato in pianta nella Fig. 5.2. Sono presenti cinque rulli fissi: partendo dalla parte retrostante il primo si interfaccia ai nastri dedicati all'operazione di rotazione del prodotto, ossia il twist; il secondo presenta un diametro maggiore degli altri per garantire una maggiore superficie di avvolgimento e attrito; il terzo è montato su un supporto che può ruotare ed è legato al tensionamento del nastro, in quanto un suo spostamento permette al nastro di rilassarsi per essere successivamente sostituito. Il quarto e il quinto possiedono l'asse alla stessa distanza dal piano di moto sul quale si trova il prodotto; il sesto e settimo rullo sono resi solidali ad un carrello che permette la traslazione nella direzione del moto. La loro disposizione è stata studiata al fine di permettere l'avanzamento della parte terminale senza variare lo sviluppo del nastro che si avvolge attorno ai rulli: infatti, come si può osservare in Fig. 5.3 dove è mostrata la configurazione di parte terminale avanzata, mentre la parte di nastro compresa tra i rulli 5 e 6 si riduce, aumenta quella tra 1 e 7 della stessa distanza; ciò soddisfa quindi l'obiettivo prefissato. Il rullo 5 si trova in una posizione così avanzata per permettere

un corretto tensionamento del nastro tra i rulli 5 e 6; se fosse stato più indietro il rullo 6 si troverebbe in una posizione più avanzata rispetto al 5, deviando semplicemente il nastro senza avvolgerlo attorno ad una mezza superficie.

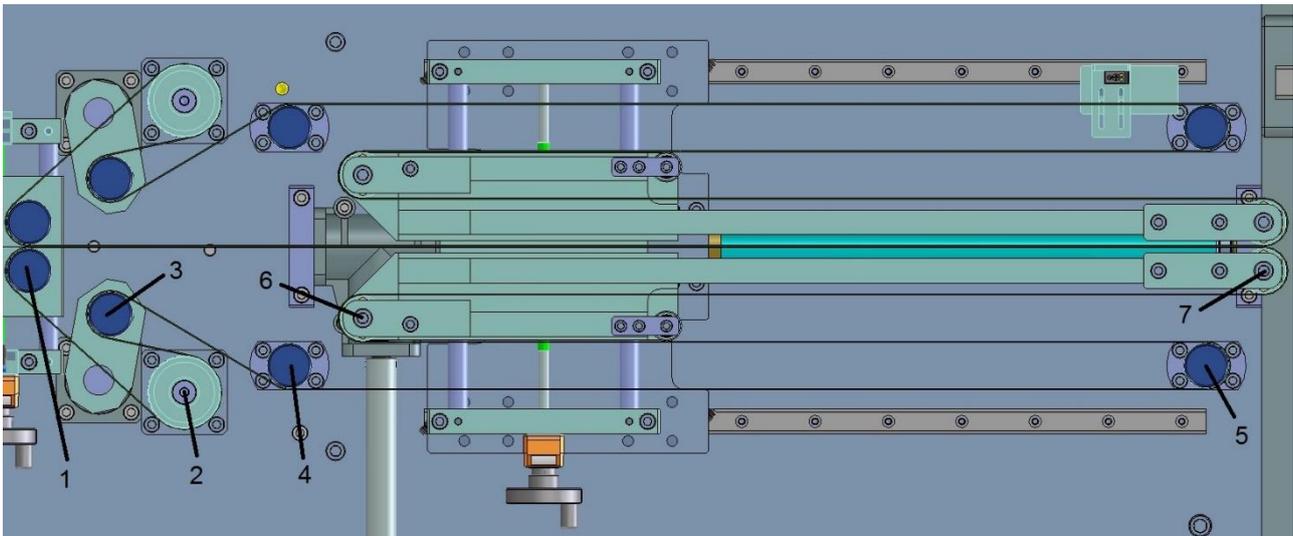


Fig. 5.2: vista in pianta del sistema a rulli telescopici.

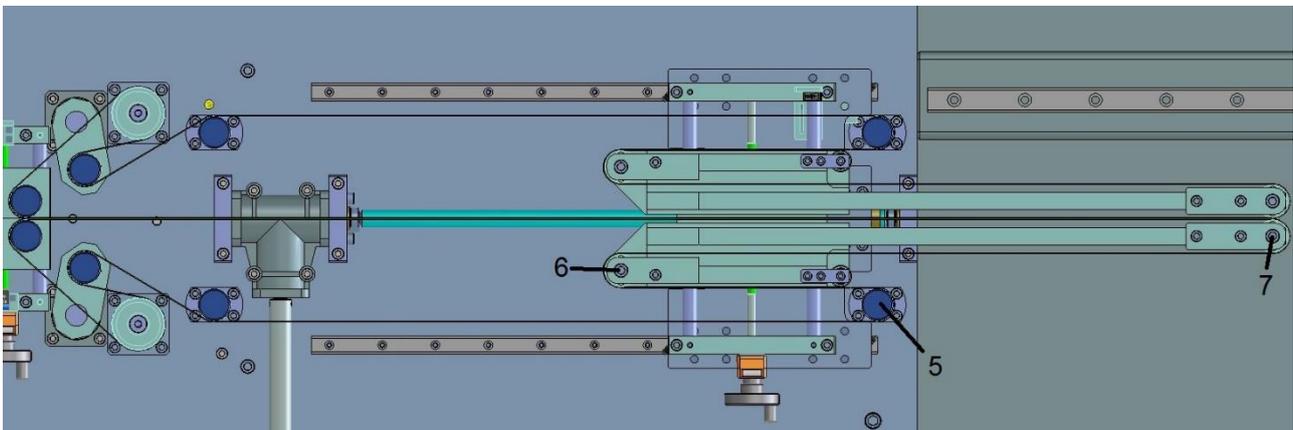


Fig. 5.3: sistema a rulli telescopici; configurazione allungata.

Dato che il tipo di prodotto elaborato non viene modificato mentre il sistema è in funzionamento, ma avviene a macchina ferma, l'impostazione della corretta configurazione del sistema a rulli telescopici può avvenire tramite un controllo manuale, come per gli altri nastri presenti in macchina. Nella parte retrostante è presente un sistema dove tramite l'utilizzo di un volantino che interagisce con un rinvio angolare si controlla la rotazione di una vite con filettatura trapezoidale; essa ingrana con una chiocciola flangiata che viene legata al carrello tramite collegamento filettato (Fig. 5.4), permettendo così la traslazione. Il carrello è montato su quattro pattini (1) che scorrono su due guide (2) parallele alla direzione di moto.

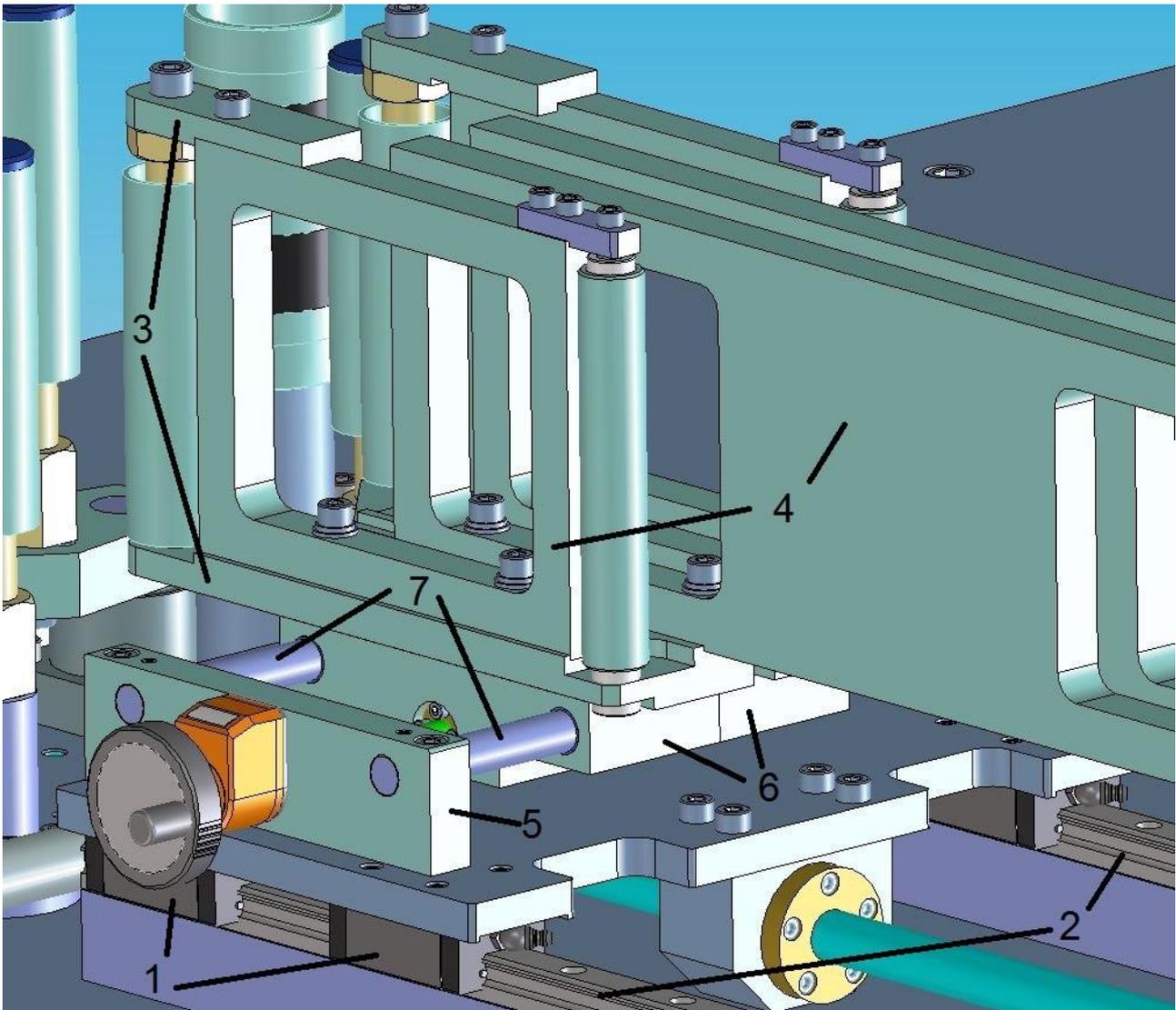


Fig. 5.4: dettaglio della parte mobile del modulo.

Il carrello si trova in una posizione intermedia rispetto ai due rulli ad esso solidali; essi vengono quindi montati a sbalzo e sono tenuti in posizione da due supporti (3) che li sorreggono tenendoli dall'estremo inferiore e superiore; queste piastre possiedono una forma allungata: quella superiore vincola tramite collegamento filettato l'asse del rullo mentre quella inferiore presenta una cavità circolare nella quale viene alloggiato l'albero del rullo. L'utilizzo di due supporti distinti anziché uno è dovuto alla semplicità di estrazione del nastro in caso sia necessaria una sostituzione. Entrambi questi supporti sono resi solidali ad una piastra forata (4), di dimensioni diverse a seconda che il rullo sia quello terminale o quello retrostante, la quale si occupa anche del serraggio al carrello.

Come indicato in Fig. 3.1 i prodotti si distinguono gli uni dagli altri anche per il loro spessore: deve quindi essere previsto un sistema che permetta una modifica controllata

della distanza reciproca dei nastri, in modo che possano configurarsi correttamente al prodotto; se fossero troppo larghi il prodotto non verrebbe trattenuto e cadrebbe, mentre se fossero troppo spessi non riuscirebbe ad entrare nello spazio tra i nastri causando l'inceppamento. Il controllo della distanza reciproca dei nastri avviene anch'esso manualmente, nello stesso modo in cui avviene il controllo della posizione del carrello. In questo caso il sistema è montato a bordo del carrello stesso, come si può notare in Fig. 5.4. Due piastre (5) sostengono la vite trapezoidale addetta al movimento; due flange filettate, una per parte, tramite un coerente montaggio permettono, azionando un volantino, di allontanare tra loro i carrelli (6) alle quali sono vincolate. Questi carrelli sono sostenuti da due ulteriori alberi (7) fissati alle piastre di supporto alle estremità, i quali possiedono delle boccole per permettere la traslazione. Sopra il carrello sono fissati alcuni elementi dedicati al sostegno delle piastre forate utili al supporto dei rulli.

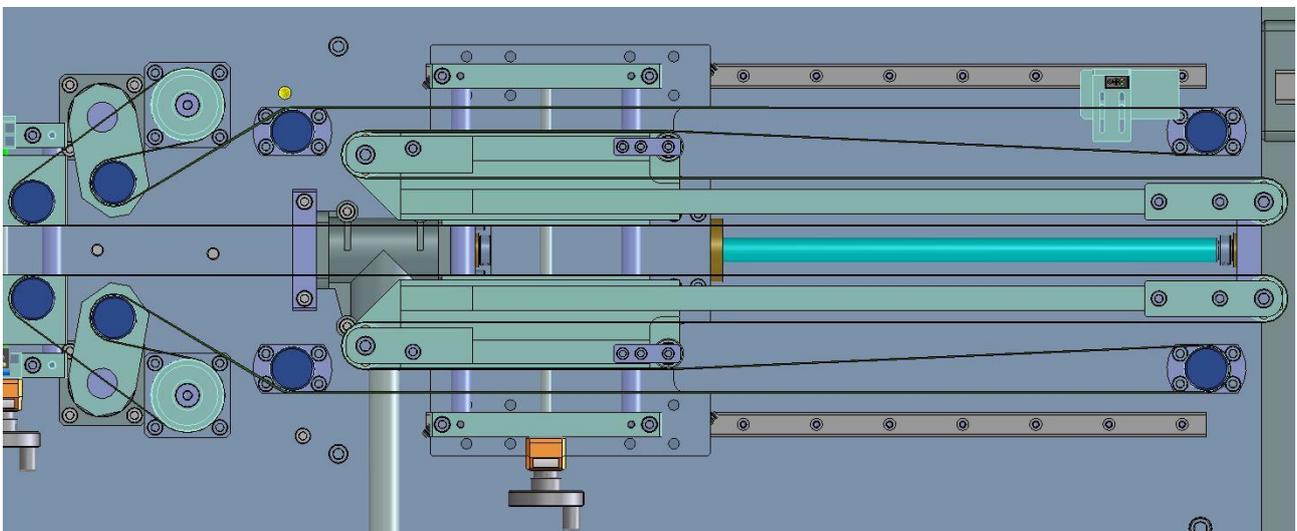


Fig. 5.5: sistema a rulli telescopici; configurazione allargata per prodotti con spessore maggiore.

Le facce del nastro avvolto attorno ai rulli 5, 6 e 7, nella posizione prevista per i prodotti con spessore minimo, risultano parallele tra loro. Nel moto di allargamento queste facce perdono la proprietà appena descritta; in particolare è evidenziato l'utilizzo obbligato di un rullo di diametro minore rispetto agli altri, montato alla piastra forata del rullo 6. Questo rullo si trova ad una distanza maggiore rispetto alla mezzeria, in quanto il suo scopo è quello di impedire lo strisciamento tra il nastro e la piastra forata stessa, come si può notare in Fig. 5.5.

Per concedere però ai rulli terminali un movimento di avvicinamento alla stazione di pre-compressione è necessario una riprogettazione delle palette che sostengono i

prodotti, in quanto la loro altezza genera una interferenza. Nel caso in cui si utilizzasse la configurazione con nastri avanzati (Fig. 5.6) non è necessario possedere una paletta della stessa lunghezza di quella utilizzata per i prodotti grandi in quanto il prodotto piccolo viene depositato in una posizione diversa dalla solita. In questo caso è quindi possibile preparare una paletta con una forma apposita per una determinata tipologia di prodotti: questa è rialzata nella parte più vicina al modulo di pre-compressione, dove viene rilasciato il prodotto, per poi abbassarsi ad un livello minimo nella restante parte, la quale non è interessata all'operazione di sostegno del prodotto e permette l'avanzamento del nastro. In Fig. 5.7 si può apprezzare la forma data alla paletta assegnata al prodotto piccolo. Si vuole evidenziare il fatto che avere delle catene a formato è una soluzione già precedentemente prevista in quanto necessaria al fine di possedere la giusta distanza tra una paletta e l'altra, data appunto dal passo della catena utilizzata; per questo motivo aggiungere al cambio di passo catena anche quella della forma delle palette non è una soluzione così problematica dal punto di vista economico.

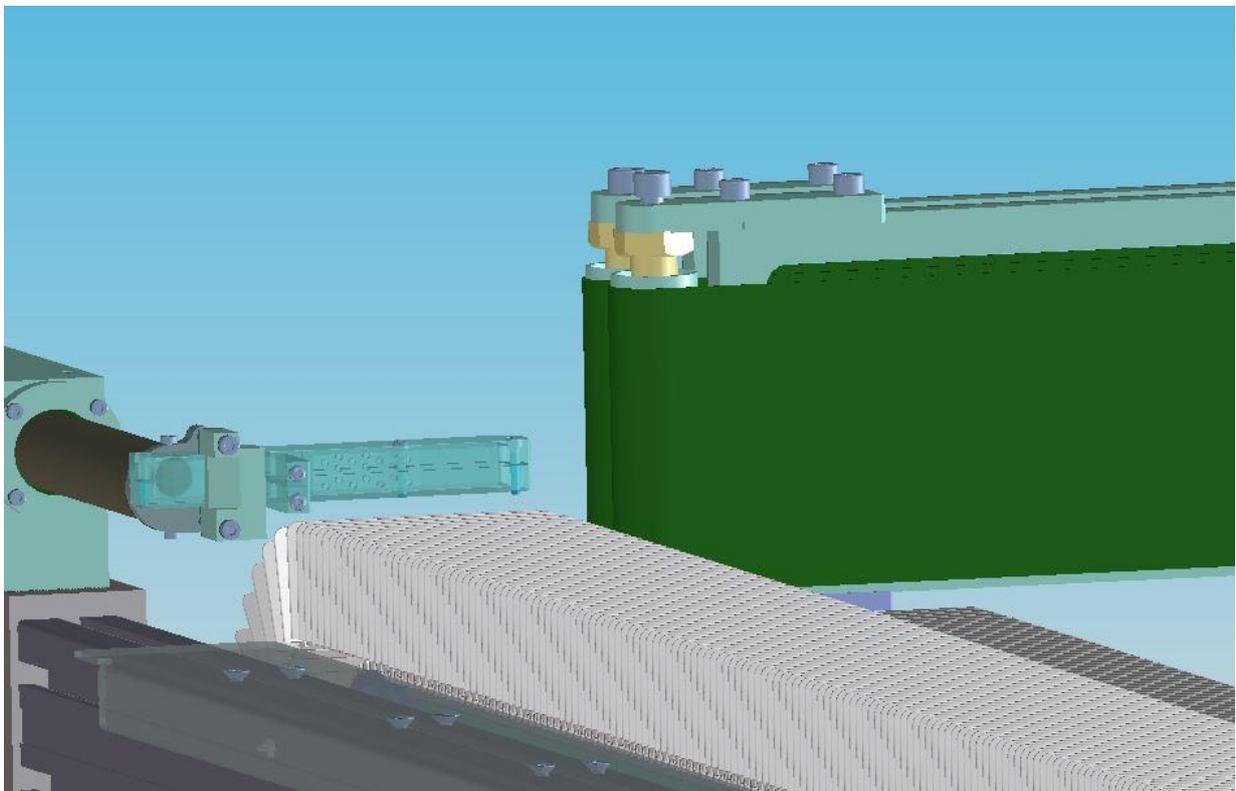


Fig. 5.6: sistema a rulli telescopici; configurazione allungata. Interfaccia tra nastri e catena.

Tramite queste due soluzioni è quindi possibile rispondere alla richiesta avvenuta in fase di progettazione logica della macchina, ed ottenere quindi il funzionamento previsto ed illustrato nei capitoli precedenti.

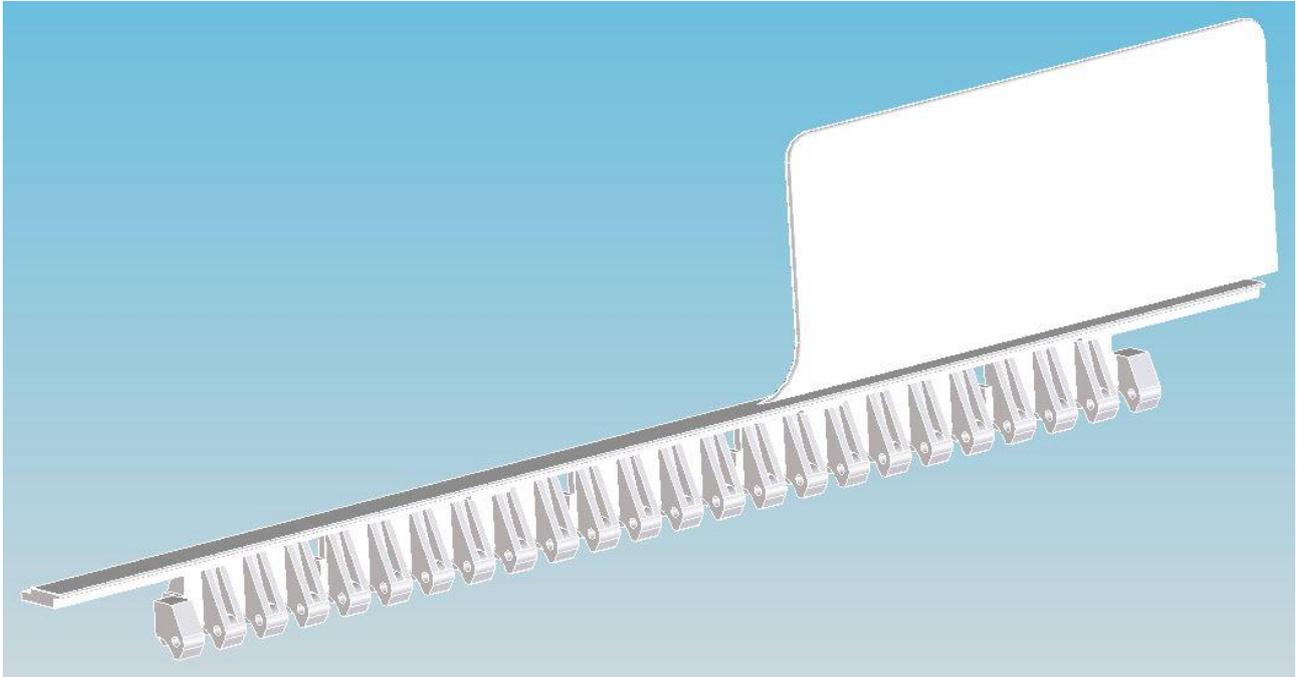


Fig. 5.7: paletta per il prodotto piccolo, dettaglio.

5.2 – Lo stopper aspirato

La Casa della qualità ha mostrato come l'utilizzo di uno stopper aspirato possa garantire notevoli vantaggi in termini di stabilità del processo e ottimizzazione dell'efficienza dell'impianto. Lo stopper, come già illustrato nel paragrafo 1.3, ha lo scopo di impedire al prodotto di proseguire nel suo moto nel momento in cui viene depositato all'interno di due palette, facendo da ostacolo. Una non corretta configurazione potrebbe però incidere sul funzionamento del sistema, causando inceppi per via del bloccaggio del prodotto in questa zona. Lo stopper aspirato possiede una forma del tutto simile a quella utilizzata finora, ma utilizza la forza di aspirazione per rallentare il prodotto nel suo moto di ingresso affinché raggiunga la zona di deposito a velocità nulla; in questo caso non si hanno quindi urti che in caso di funzionamento non nominale potevano causare inceppi e rallentamenti.

In Fig. 5.8 si può apprezzare la forma data a questo componente. Esso possiede una forma esteriore del tutto simile a quello presente sulle macchine baby, ma presenta internamente delle cavità; l'aria viene aspirata da alcuni fori di piccolo diametro posti sulle facce che entrano a contatto con il prodotto. La forza di aspirazione varia a seconda della velocità di ingresso del prodotto. Il sistema è collegato al sistema di aspirazione dell'intera macchina.

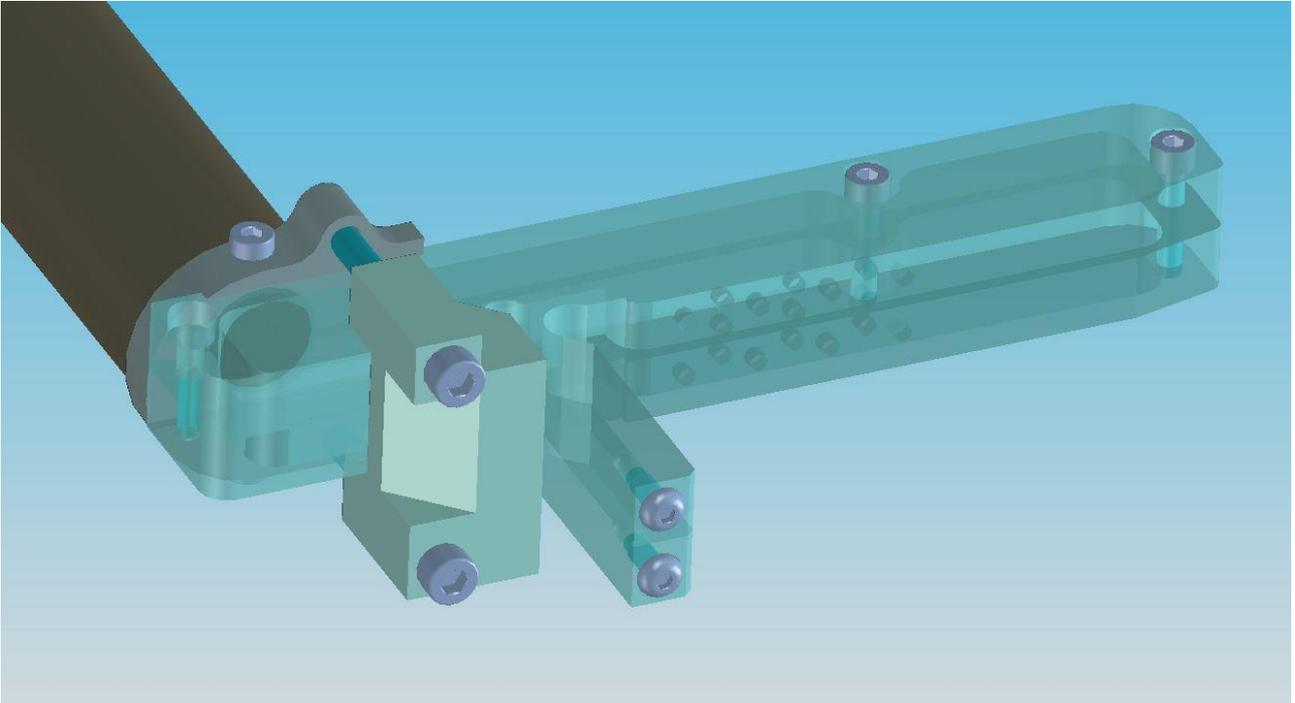


Fig. 5.8: stopper aspirato, dettaglio.

In Fig. 5.9 si può osservare una vista del gruppo raggruppatore completo con il sistema a rulli telescopici in configurazione avanzata.

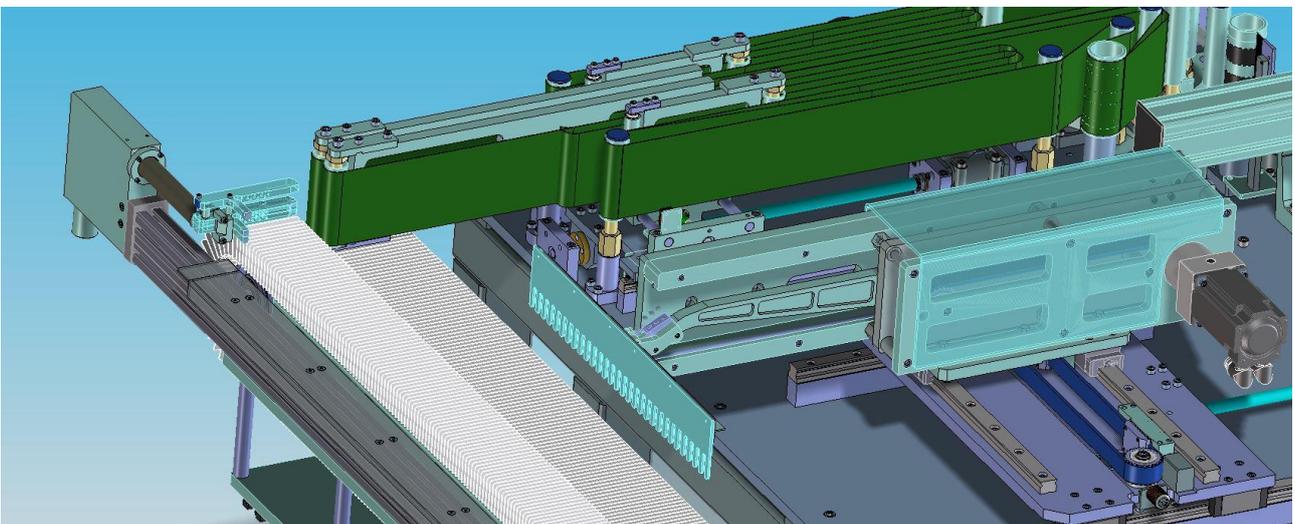


Fig. 5.9: Vista completa del modulo raggruppatore con i moduli studiati.

CONCLUSIONI

I Converter moderni, cioè le macchine automatiche atte alla produzione di prodotti igienico sanitari, sono in grado di produrre fino a 1500 pezzi al minuto. Nel settore femminile queste cifre si combinano con un numero di prodotti per pacco ridotto; questa unione porta alla richiesta di ciclicità superiori rispetto agli altri settori. Questo studio ha consentito di studiare e realizzare un primo progetto del gruppo raggruppatore (il primo gruppo funzionale della macchina che ha lo scopo di raccogliere i prodotti in pile) che sia in grado di rispondere alle alte ciclicità richieste.

La Casa della Qualità ha avuto un ruolo fondamentale nel focalizzare quali fossero gli aspetti fondamentali di una corretta progettazione di questo tipo di macchina e nel sottolinearne le soluzioni tecniche in grado di garantire un valore aggiunto. La parte logica della macchina non è conseguenza di quella meccanica ma ne è la causa: dallo studio teorico dei movimenti e dalla loro ottimizzazione si possono fare considerazioni sulla progettazione meccanica dei moduli. Un corretto approccio cinematico e dinamico ad ogni modulo consente, una volta convalidato il modello, di valutare in maniera rapida e diretta e con risultati vicini alla realtà il comportamento degli organi in un punto di funzionamento lontano da quello nominale. Infine grazie all'analisi degli aspetti negativi del modulo estrattore utilizzato per il settore baby è stato possibile realizzare un modello di un estrattore a camma che, grazie agli stessi moduli precedentemente progettati, è stato confrontato e giudicato migliore sotto ogni punto di vista.

Ulteriori sviluppi su questo argomento possono essere avanzati sull'analisi dei materiali utilizzati. La ricerca di materiali innovativi con minore peso specifico a parità di caratteristiche potrebbe portare vantaggi sia da un punto di vista dinamico che economico.

SITOGRAFIA

- [1] <http://www.skf.com/binary/77-121486/SKF-rolling-bearings-catalogue.pdf>

- [2] <http://www.poggispa.com/pict/doc/3305x/3305x.pdf>