



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in Ingegneria Meccanica

‘Progetto di un sistema di presa a vuoto per Robot di Movimentazione’

‘Design of a vacuum gripping system for Handling Robots’

Relatore:
Marco Rossi

Tesi di Laurea di:
Francesco De Toni

Anno Accademico 2021/2022

Indice

1.	Introduzione	5
2.	Macchinari di Movimentazione e Lavorazione del legno	8
2.1.	Biesse Group	8
2.2.	Funzionamento Macchinari di movimentazione	9
2.3.	Funzionalità Richieste	13
3.	Teoria di Flessione	15
3.1.	Principio dei Lavori Virtuali	15
3.2.	Il problema di De Saint Venant	17
4.	Progettazione del Brandeggio	21
4.1.	Scelta del progetto	21
4.2.	Studio degli spostamenti consentiti	24
4.3.	Progettazione del dispositivo di presa	28
4.4.	Funzionamento effetto Vacuum e dimensionamento	31
5.	Verifica strutturale del sistema	35
5.1.	Verifica a flessione	35
5.2.	Pressioni all'interno della camera	38
5.3.	Calcolo degli attriti tra i componenti	41
6.	Studio di fattibilità	43
7.	Conclusione	48

Elenco delle Figure

Figura 1.1	5
Figura 2.1	11
Figura 2.2	12
Figura 4.1	22
Figura 4.2	25
Figura 4.3	26
Figura 4.4	27
Figura 4.5	29
Figura 4.6	30
Figura 4.7	32
Figura 4.8	34
Figura 5.1	35
Figura 5.2	37
Figura 6.1	43
Figura 6.2	47

Elenco delle Tabelle

Tabella 4.1	31
Tabella 5.1	39
Tabella 5.2	40

Capitolo 1

Introduzione

I sistemi di presa a vuoto, o anche detti presa a vacuum, sono largamente utilizzati nel settore industriale per l'automazione dei processi aziendali delegando alle macchine le attività più faticose e ripetitive. La tecnologia del vuoto è utilizzata per la manipolazione di oggetti dei più disparati, dai sacchetti contenenti liquidi, alla movimentazione di legname e materiale grezzo dal peso importante.

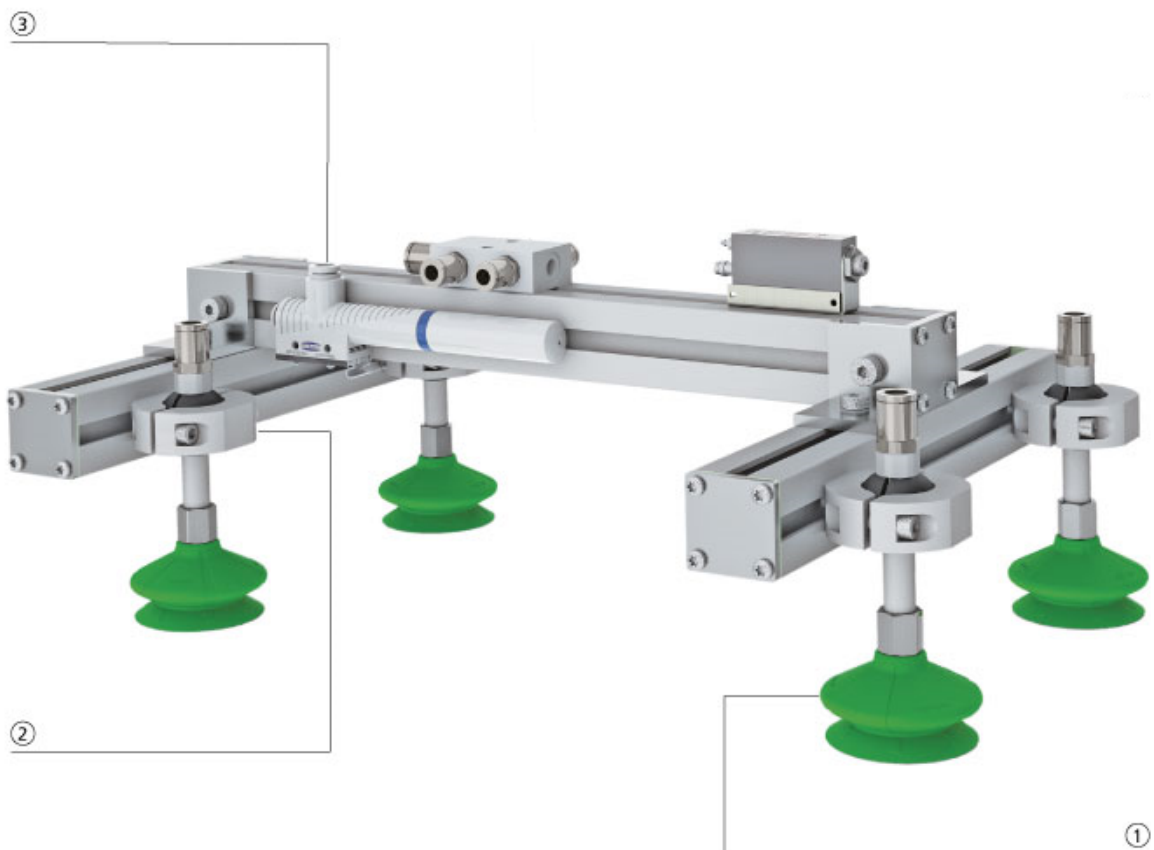


Fig. 1.1 - Esempio di un semplice sistema di presa a vuoto della Schmalz

(1) Ventose per effetto vuoto (2) Stelo di sostegno fissato al telaio

(3) Generatore di vuoto mediante eiettore

In questa tesi verrà approfondita la tecnologia della movimentazione, mediante l'uso di robot, utilizzata nel settore della lavorazione del legno per poi descrivere le fasi di progettazione affrontate volte al perfezionamento di un sistema di presa vacuum già esistente, pensato per robot Kuka. La progettazione del sistema di presa per Biesse Group parte da un'analisi degli attuali robot in uso per comprendere le dinamiche di impiego e, sulla base delle precedenti scelte di sviluppo intraprese, una riprogettazione delle precedenti versioni, dove si sono anche valutate nuove soluzioni di approccio ai sistemi di presa.

Nel presente elaborato sono state sviluppate due tipologie diverse di brandeggio, ovvero il meccanismo di compensazione che permette, entro certi limiti, dei piccoli spostamenti del pannello movimentato, andando a bloccare il moto locale del pannello durante il trasporto o quando richiesto e sbloccandolo nelle fasi di accostamento ai riferimenti della macchina utensile. Il brandeggio svolge un'importante funzione di compensazione delle forze esterne che permette di allineare correttamente il pannello da lavorare, evitando, allo stesso tempo, di sviluppare elevate reazioni che potrebbero rovinare la superficie del pezzo caricato.

Verrà affrontato anche uno studio sulle forze e sugli spostamenti consentiti, insistendo sulle reazioni a cui il brandeggio dovrà essere in grado di rispondere, sia sul piano orizzontale che sul piano verticale in quanto il

braccio del robot non è vincolato ad un solo piano, ma nello spazio, dove è in grado di effettuare rotazioni su tutti e tre gli assi di riferimento.

Attraverso l'uso di Solid Edge è stata poi verificata la fattibilità delle configurazioni di posizione del brandeggio e, soprattutto, ci ha consentito di valutare l'ingombro relativo ai meccanismi sviluppati ed agli elementi pneumatici necessari al funzionamento del sistema di presa.

Definito l'ingombro indicativo della struttura del brandeggio, è stato in seguito svolto un approfondimento sulle applicazioni della tecnologia del vuoto e sui componenti richiesti, basandosi sul sistema di presa precedente, andando poi a configurare la forza dell'impianto di generazione del vuoto ed a ridisegnare la camera di aspirazione che si interfaccia con la spugna tecnica.

Per la verifica delle sollecitazioni, sono stati svolti i calcoli delle forze a cui è soggetta la struttura che sostiene il nuovo meccanismo di presa, integrati assieme allo studio del comportamento delle forze interne alla camera dove risiede il vero e proprio organo di brandeggio, tenendo in particolare considerazione le pressioni e gli attriti a cui i componenti interni possono essere soggetti.

L'elaborato si conclude con la verifica della fattibilità del sistema dopo la consultazione con i rappresentanti Dalmar e Angst-Pfister, fornitori della tecnologia richiesta dal brandeggio, per poi terminare con alcuni spunti sulla rivisitazione od un eventuale miglioramento del sistema di presa.

Capitolo 2

Macchinari di Movimentazione e Lavorazione del legno

2.1 Biesse Group

Biesse Group è un'azienda internazionale che progetta, produce e distribuisce sistemi e macchine per la lavorazione di legno, vetro, pietra, metallo, materiali plastici e compositi per i settori furniture, housing & construction, automotive ed aerospace.

Fondata a Pesaro nel 1969 da Giancarlo Selci, opera in più di 160 Paesi grazie a 13 stabilimenti produttivi e ad una presenza diretta nei principali mercati mondiali.

Biesse Group è divisa in vari brand e Biesse, la fabbrica da cui si è formata tutta l'azienda, si occupa della produzione di macchinari destinati al settore della lavorazione del legno come levigatrici, bordatrici e centri di lavoro completi ma anche di sistemi di movimentazione, di magazzini automatici e sistemi di carico e scarico per le industrie del mobile e dell'edilizia del legno che garantiscono la produzione in tempi e costi ridotti rispetto ad altre soluzioni.

Sotto il brand Biesse è stato affrontato lo sviluppo di un nuovo tipo di sistema di presa per ROS (Robotically Operated System), bracci robotici impiegati per una perfetta integrazione con le macchine utensile, destinati alla lavorazione del legno che garantiscono una manipolazione dei pannelli in tempi predeterminati e sempre con lo stesso standard di qualità al fine di ottenere versatilità ed efficienza facilitando il lavoro dell'operatore addetto alla macchina.

2.2 Funzionamento dei Macchinari di Movimentazione

Il settore della lavorazione del Legno sta vivendo un sempre maggiore sviluppo della automatizzazione dei processi produttivi, questa crescita ha fatto nascere nel settore la richiesta di processi sempre più delegati ai robot sotto ogni aspetto.

E' nata così la necessità di immagazzinare e spostare le materie prime su cui poi effettuare le lavorazioni in modo selettivo, utilizzando robot sia per lo spostamento magazzino-macchina ma anche per lavori di precisione come il posizionamento diretto sulle macchine utensile.

La movimentazione dei pannelli in legno mediante l'ausilio di robot è suddivisa in varie fasi.

Conoscendo già a priori la posizione delle strutture con cui deve interagire, il ROS si accosta alla pila di carico dove acquisisce, tramite la lettura di un

codice a barre, tutte le informazioni sul pannello da caricare. Preso il pannello tramite le spugne tecniche ad effetto vuoto, il robot passa su uno squadro di riferimento noto dove lascia e riprende il pezzo, questo passaggio è richiesto per correggere l'allineamento della presa del robot durante la fase successiva. Nella fase di posizionamento, il prodotto viene accostato ai riferimenti della macchina utensile e poi bloccato grazie all'esercizio di una piccola pressione, ad opera del robot, sul piano di lavoro. Qui si attiva la macchina utensile, mentre il braccio robotico si prepara ad una nuova fase di carico.

Terminata la lavorazione, il braccio è in grado di eseguire anche lo scarico del prodotto finito e lo scarto dei ritagli di legno in eccesso.

Per il nuovo sistema di presa per Robot Kuka è stata effettuata una prima analisi dei macchinari di movimentazione simili, già presenti in Biesse. E' stata rivolta particolare attenzione al funzionamento dei componenti addetti al vincolo e svincolo dell'organo di presa Vacuum e sono stati analizzati sia l'attuale sistema di brandeggio, sia il sistema in uso sul modello Synchro.



Figura 2.1 - Una delle prime versioni di Robot Kuka equipaggiato con Kenos KVG durante l'operazione di inserimento del pannello sullo squadro

Il Robot Kuka attuale è dotato di due sistemi di presa a vuoto Kenos KVG collegati entrambi al braccio robotico mediante un supporto in alluminio su cui sono collocate diverse strumentazioni necessarie alle operazioni da effettuare ed al suo funzionamento, come la centralina per generare l'effetto vuoto e la relativa parte elettronica.

Sul supporto in alluminio sono montati tre cilindri pneumatici che hanno la funzione di bloccare e sbloccare l'organo di presa che può così ruotare, di un discreto angolo, sull'asse del robot durante le fasi di accostamento ai riferimenti della macchina utensile. Lo strumento di presa è inoltre dotato di due sensori ottici che permettono al Robot di rilevare le dimensioni del pannello in modo da potersi accostare, con una buona precisione, al pannello da movimentare.

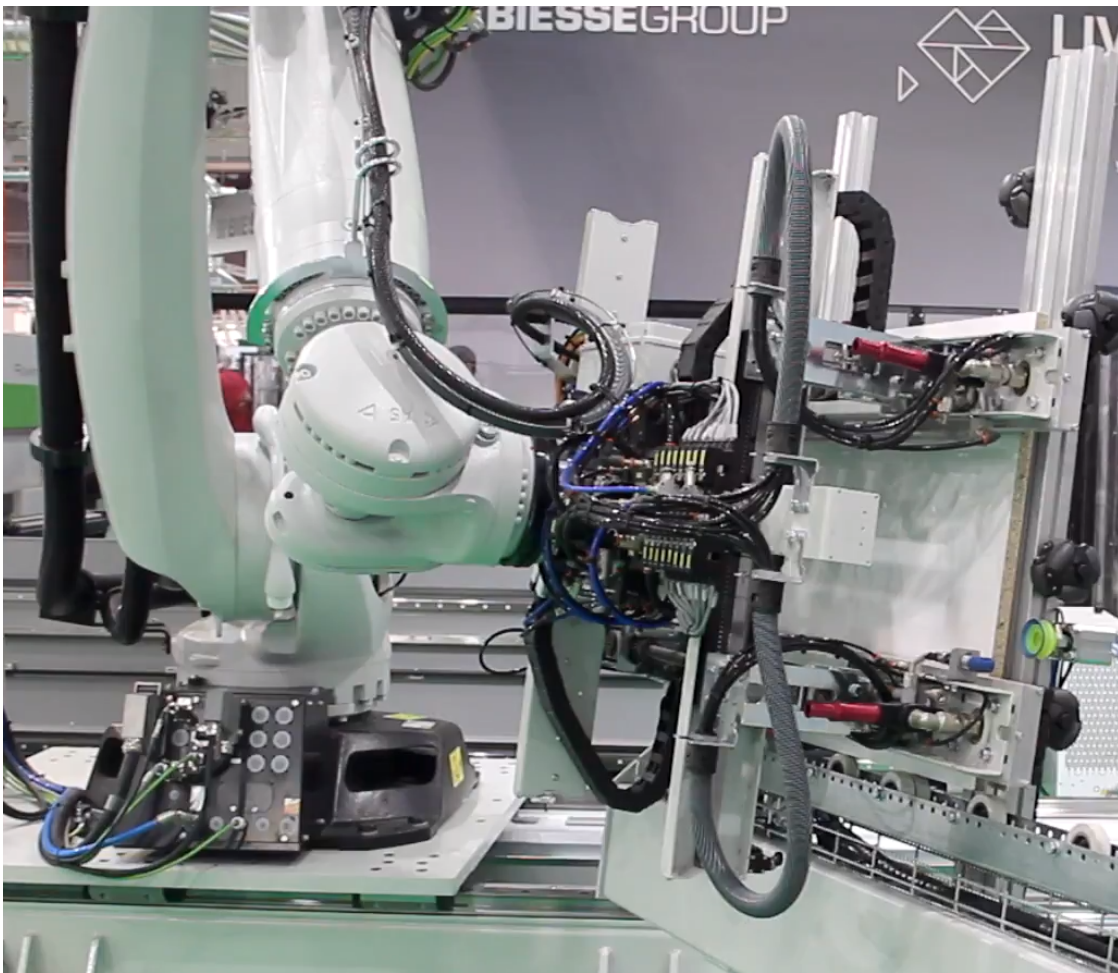


Figura 2.2 - Attuale Robot Kuka equipaggiato con Kenos KVG durante le operazioni sullo squadro di riferimento

Simile è il sistema Synchro, un modello completamente pensato per lo spostamento di pannelli nelle 3 direzioni e totalmente privo della possibilità di rotazione. Il Robot infatti ha un notevole ingombro dovuto alla sua struttura ad “L” che limita i suoi movimenti lungo un solo asse e, di conseguenza, limita anche il suo raggio d’azione. In questo macchinario lo spostamento dei materiali risulta perciò molto semplificato in quanto l’organo di presa, costituito da diverse ventose, effettua l’allineamento ai riferimenti della macchina utensile su di un piano X-Y andando a realizzare un accostamento prima su uno e poi sull’altro asse. L’allineamento del Synchro è affidato ad un cilindro a disegno ed avviene in due fasi, la prima viene attuata accostando il pannello grezzo ad un riferimento presente alla pila di carico, per poi venire successivamente caricato sulla macchina utensile mantenendo un’elevata precisione sulle battute.

2.3 Funzionalità Richieste

Il ROS (Robotically Operated System) è un Robot Kuka dotato di un kit per la movimentazione che viene impiegato negli impianti automatizzati.

L’attuale sistema di brandeggio ha un incertezza troppo elevata per un corretto posizionamento dei pannelli di legno di lunghezza inferiore ai 50 cm, in quanto, durante la fase di posizionamento sulla macchina utensile, si genera una coppia tra il pannello trasportato e l’asse di rotazione dell’organo

di presa. Questa coppia che si genera influisce negativamente sui movimenti del braccio robotico che non rilevando piccole rotazioni genera, senza poter compensare, un errore di accostamento alle battute di riferimento presenti sulla macchina utensile e, di conseguenza, un errore su tutte le lavorazioni che verranno eseguite a seguire sul pannello. Per ovviare in parte a questa incertezza il ROS è costretto a passare attraverso uno squadro opportunamente inclinato di cui conosce i riferimenti, qui il Robot lascia il pannello che per mezzo della forza di gravità si va ad allineare ai riferimenti dello squadro per poi essere ripreso dal Braccio e posizionato sulla macchina utensile con un minor errore di allineamento ai riferimenti.

Capitolo 3

Teoria di Flessione

3.1 Principio dei Lavori Virtuali

Il Principio dei Lavori Virtuali è l'insieme del Teorema dei Lavori Virtuali, del Teorema degli Spostamenti Virtuali e del Teorema delle Forze Virtuali ed è un importante strumento per il calcolo delle equazioni di equilibrio e congruenza delle strutture. Il Principio si focalizza sul Lavoro mettendo in relazione la statica con la cinematica. Per definizione, una forza \mathbf{F} applicata in un punto P dello spazio che subisce uno spostamento $s(P)$ compie un lavoro:

$$\mathcal{L} = \mathbf{F} \times s(P)$$

Analogamente, anche un momento \mathbf{M} applicato ad un corpo che subisce una rotazione θ compie lavoro:

$$\mathcal{L} = \mathbf{M} \times \theta$$

Nello studio della struttura si individuano le forze esterne (\mathbf{f}), statiche, ed i cedimenti vincolari (δ), cinematici; occorre perciò risolvere il Problema cinematico $\mathbf{B} \mathbf{y} = \delta$ (3.1) ed il Problema statico $\mathbf{A} \mathbf{x} + \mathbf{f} = \mathbf{0}$ (3.2), dove sono indicati con “ \mathbf{y} ” gli spostamenti e le rotazioni, “ δ ” i cedimenti vincolari, “ \mathbf{x} ” il vettore delle reazioni vincolari. Le espressioni precedenti (3.1, 3.2) confermano la proprietà $\mathbf{A} = \mathbf{B}^T$.

Per calcolare infine il lavoro di tutte le forze agenti sulla struttura, per effetto degli spostamenti del problema cinematico posso scrivere in modo generale che:

$$\mathcal{L} = \sum_j x_j \delta_j + \sum_i f_i y_i \quad \text{oppure} \quad \mathcal{L} = \mathbf{x} \times \delta + \mathbf{f} \times \mathbf{y}$$

da cui è possibile enunciare i seguenti teoremi:

- *Teorema dei Lavori Virtuali*: Sia dato un sistema di forze \mathbf{x} e \mathbf{f} equilibrato (cioè $\mathbf{A} \mathbf{x} + \mathbf{f} = \mathbf{0}$) ed un sistema di spostamenti \mathbf{y} e δ congruenti (cioè $\mathbf{B} \mathbf{y} = \delta$) allora il lavoro è nullo, $\mathcal{L} = \mathbf{x} \times \delta + \mathbf{f} \times \mathbf{y} = 0$
- *Teorema delle Forze Virtuali*: Sia dato un sistema di spostamenti \mathbf{y} e δ . Se per qualsiasi sistema di forze \mathbf{x} ed \mathbf{f} equilibrato (cioè $\mathbf{A} \mathbf{x} + \mathbf{f} = \mathbf{0}$) si ha $\mathcal{L} = 0$, allora \mathbf{y} e δ sono congruenti (cioè $\mathbf{B} \mathbf{y} = \delta$)
- *Teorema degli Spostamenti Virtuali*: Sia dato un sistema di forze \mathbf{x} e \mathbf{f} . Se per qualsiasi sistema di spostamenti \mathbf{y} e δ congruenti (cioè $\mathbf{B} \mathbf{y} = \delta$) si ha $\mathcal{L} = 0$, allora \mathbf{x} e \mathbf{f} sono equilibrati (cioè $\mathbf{A} \mathbf{x} + \mathbf{f} = \mathbf{0}$)

In conclusione, il Principio dei Lavori Virtuali ha molte applicazioni pratiche poiché permette di risolvere un problema cinematico mediante un problema statico ma anche viceversa.

3.2 Il problema di De Saint Venant

Il problema di De Saint Venant, o anche detto problema della trave deformabile, permette di risolvere esattamente lo stato tensionale considerando la deformabilità della trave ed il suo effettivo volume.

Per poterlo applicare occorre fare delle ipotesi abbastanza restrittive che definiscono:

1. la *forma del corpo*: un cilindro retto con base arbitraria, detto anche solido del D.S.V. ovvero una trave rettilinea a sezione costante con l'asse z coincidente con l'asse della trave. Praticando un taglio perpendicolare all'asse z ottengo una sezione in cui è possibile individuare le seguenti risultanti

$$N = \int_A \sigma_z dA \text{ (forza normale)}$$

$$T_x = \int_A \tau_{zx} dA \text{ (taglio lungo x)}$$

$$T_y = \int_A \tau_{zy} dA \text{ (taglio lungo y)}$$

$$M_x = \int_A y \sigma_z dA \text{ (momento flettente attorno a x)}$$

$$M_y = - \int_A x \sigma_z dA \text{ (momento flettente attorno a y)}$$

$$M_t = \int_A (x \tau_{zy} - y \tau_{zx}) dA \text{ (momento torcente)}$$

2. il *materiale*: linearmente elastico, omogeneo ed isotropo
3. i *vincoli*: non interessa come sia vincolato il corpo
4. i *carichi*: non ci devono essere forze di volume e l'area ai lati della trave (mantello) deve essere scarica

Il postulato di De Saint Venant afferma che «se sulle basi si applicano distribuzioni di tensioni diverse ma aventi le stesse risultanti, oltre una certa distanza dalle basi stesse, detta distanza di estinzione, lo stato tensionale è sostanzialmente identico», ne segue che contano solo le risultanti delle tensioni applicate sulle basi e non serve conoscere la loro effettiva distribuzione.

Per travi isotrope con sezione compatta, ovvero che presenta le stesse proprietà in tutte le direzioni, la distanza di estinzione può essere approssimata con il massimo diametro “d” della sezione.

Infine la soluzione va cercata nella forma

$$\sigma_x = \sigma_y = \tau_{xy} = 0$$

che prende il nome di ipotesi semi-inversa.

Tale assunzione dà maggior importanza al comportamento longitudinale rispetto a quello trasversale, ovvero, che tra le fibre parallele all'asse si trasmettano solo tensioni tangenziali longitudinali.

Per utilizzare il problema di De Saint Venant per la determinazione della flessione semplice retta, ovvero del momento flettente M_x , occorre apportare

alcune approssimazioni che si allontanano, in modo accettabile, dalla soluzione esatta.

Nelle formule che faranno seguito si tralascia di riportare il pedice “x” che sarà sottinteso.

La prima estensione del problema consiste nel mantenere lo stesso stato tensionale

$$\tau_{zy} = \tau_{zx} = 0, \quad \sigma_z(z) = \frac{M(z)}{I(z)} y,$$

in modo tale da determinare il tensore della tensione in ogni punto conoscendo l'azione interna.

La seconda estensione è di riferirsi all'asse della trave come corpo monodimensionale, ma tenendo conto della sua deformabilità. Per realizzare ciò occorre definire grandezze medie sulle sezioni capaci di rappresentare e sintetizzare il comportamento di tutta la trave.

Per quel che riguarda la statica, la grandezza è l'azione interna $M(z)$, lo spostamento è quello trasversale $v(z)$, l'unico possibile per l'asse della trave.

A livello deformativo il momento flettente tende ad incurvare la trave e perciò il parametro che lo descrive è la curvatura $\kappa(z)$ che viene inserita nell'*equazione di legame costitutivo*:

$$\kappa(z) = \frac{M(z)}{E(z) I(z)}$$

mentre l'*equazione di congruenza* è data dalla relazione tra la curvatura e gli spostamenti

$$v''(z) = -\kappa(z)$$

L'*equazione di equilibrio* è

$$M''(z) = -p(z) - c'(z)$$

dove $p(z)$ è il carico trasversale, dato dalle forze di volume e dai carichi applicati sul mantello, e $c(z)$ i momenti per unità di lunghezza applicati all'asse della trave.

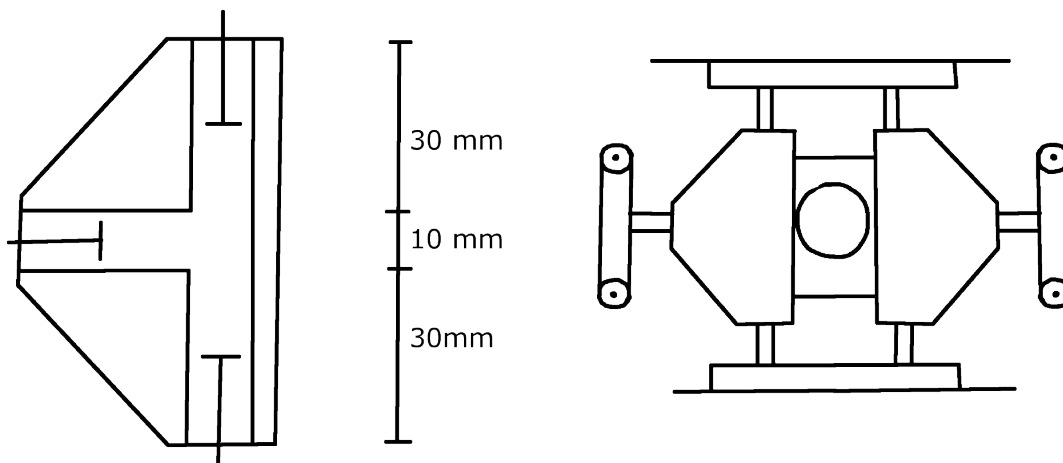
Capitolo 4

Progettazione del Brandeggio

4.1 Scelta del progetto

Durante la progettazione del brandeggio sono state sviluppate diverse idee che si rifanno ai concetti degli organi di presa illustrati in precedenza, ripensati per soddisfare le richieste di un migliore allineamento ai riferimenti evitando passaggi aggiuntivi sullo squadro ed analizzando costi e benefici di ciascuno di essi.

La prima opzione presentata è una rivisitazione del Synchro, modificato per permettere un bloccaggio ed una reazione alle forze completa, con la possibilità di rotazione attorno all'asse dello stelo, collegato al sistema di presa Kenos KVG per l'effetto vuoto, od in alternativa, collegandolo direttamente al braccio del robot Kuka. In questa ipotesi sono necessari dei cilindri a disegno, molto simili al modello originale, ma ripensati apposta per le rotazioni nello spazio.



*Figura 4.1 - Alcune bozze di Cilindri a disegno ispirate al brandeggio
utilizzato sul modello Synchro*

Da questa prima rivisitazione nascono alcune perplessità: occorre innanzitutto cercare di mantenere bassi i costi di realizzazione, in quanto i cilindri a disegno sono realizzati su misura ed unicamente per questo organo di presa, inoltre occorre valutare l'ingombro dei cilindri che dovranno comunque restare all'interno del volume del precedente brandeggio.

Un'opzione più economica si può ottenere mediante l'utilizzo di cilindri pneumatici commerciali, questi permetterebbero una grossa versatilità ed un elevato controllo sui movimenti possibili durante la fase di accostamento alla macchina utensile, questo grado di controllo è realizzabile grazie al sistema di regolazione pneumatico attivo dei cilindri, che permette di regolare direttamente la forza e la direzione del bloccaggio, per l'appunto, in modo attivo. Dal punto di vista economico, in caso di rottura, è possibile reperire

facilmente delle parti di ricambio, in quanto c'è una larga scelta di componenti e pezzi sostitutivi. L'ingombro di queste parti rimane contenuto anche se occorrerà prevedere l'inserimento di un supporto dedicato per il fissaggio dei cilindri sulla struttura.

L'utilizzo di una guarnizione gonfiabile rappresenta una valida alternativa ai suddetti cilindri commerciali, poiché permetterebbe di ripartire lo sforzo distribuendolo su tutto il perimetro senza sollecitare un unico perno. La funzione di bloccaggio e sbloccaggio può essere consentita regolando la pressione interna della camera della guarnizione che potrà sviluppare una forza reattiva in relazione ai pesi applicati.

E' stato ipotizzato anche un sistema di presa passivo mediante l'uso di molle o elastomeri a compressione che presentano vantaggi simili ai precedenti, ma offrono un campo operativo più limitato. Infatti, molle ed elastomeri resistono a compressione opponendo sempre la stessa forza senza possibilità di regolazione, limitando di fatto il campo di impiego, salvo uno studio più accurato e varianti con diverse resistenze a compressione. Questo sistema di tipo passivo è maggiormente soggetto ad usura e fatica per via della propria risposta meccanica agli sforzi esterni.

L'ultima idea di progetto prevede l'impiego di una maggiore quantità di sensori per rilevare e mantenere controllati gli sforzi a cui si sottopone il pannello da lavorare. Sensori ottici migliori in aggiunta ai già esistenti permetterebbero una maggiore accuratezza del Robot in fase di presa e

posizionamento, evitando il passaggio sullo squadro. Eventuali estensimetri in aggiunta andrebbero ad aumentare la sensibilità del Robot durante il posizionamento sulla macchina utensile. L'inserimento di sensori più costosi porta però ad un aumento dei costi e, ancor di più, un lavoro a livello software non indifferente per permettere al Robot di registrare i segnali degli estensimetri e regolare in autonomia la propria forza.

Da queste tipologie di brandeggio differenti sono stati selezionati e sviluppati due progetti in parallelo: i cilindri commerciali e le guarnizioni gonfiabili.

4.2 Studio degli spostamenti consentiti

Scelti i sistemi di presa, si sono iniziati a sviluppare due diverse tipologie di brandeggio, il vero e proprio meccanismo che permetterà alla ventosa, in gomma spugna ad effetto vuoto, di spostarsi nel piano X-Y e di ruotare sul proprio asse permettendole di compensare i movimenti del pannello durante la fase di allineamento alle battute di riferimento.

Per poter consentire questi spostamenti si è prima di tutto impostato a 30~40 mm il massimo gioco dello stelo, un cilindro cavo che permette il passaggio dell'aria per il vacuum. Determinata l'ampiezza del gioco è stato possibile individuare diverse configurazioni di posizioni che la ventosa può assumere, definendo così la massima escursione disponibile.

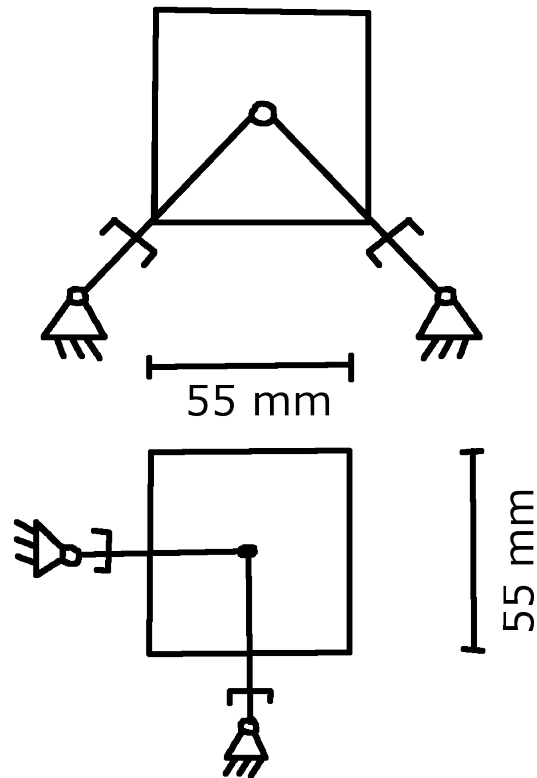


Figura 4.2 - Disegno dell'area utilizzabile per il brandeggio locale e le relative configurazioni a riposo

Il montaggio ottimale si è ottenuto disponendo i cilindri pneumatici a 90° tra loro, in questo modo è possibile spostare lo stelo lungo le diagonali coprendo un'area maggiore, ed inoltre, permette di gestire più efficacemente l'ingombro dei cilindri che viene così sfruttato lateralmente permettendo di inserire più elementi.

La disposizione, l'ingombro dei cilindri e dei relativi montaggi è il risultato di una ricerca approfondita che, attraverso l'utilizzo di Solid Edge, ci ha permesso di individuare gli ingombri, i limiti e le criticità dei vari

componenti. La soluzione trovata parte dall'impiego di cilindri pneumatici (Figura 4.3), dispositivi meccanici che trasformano l'energia dell'aria compressa in lavoro tramite il movimento alternato dello stelo che può essere regolato per mantenere una posizione fissa nel tempo.

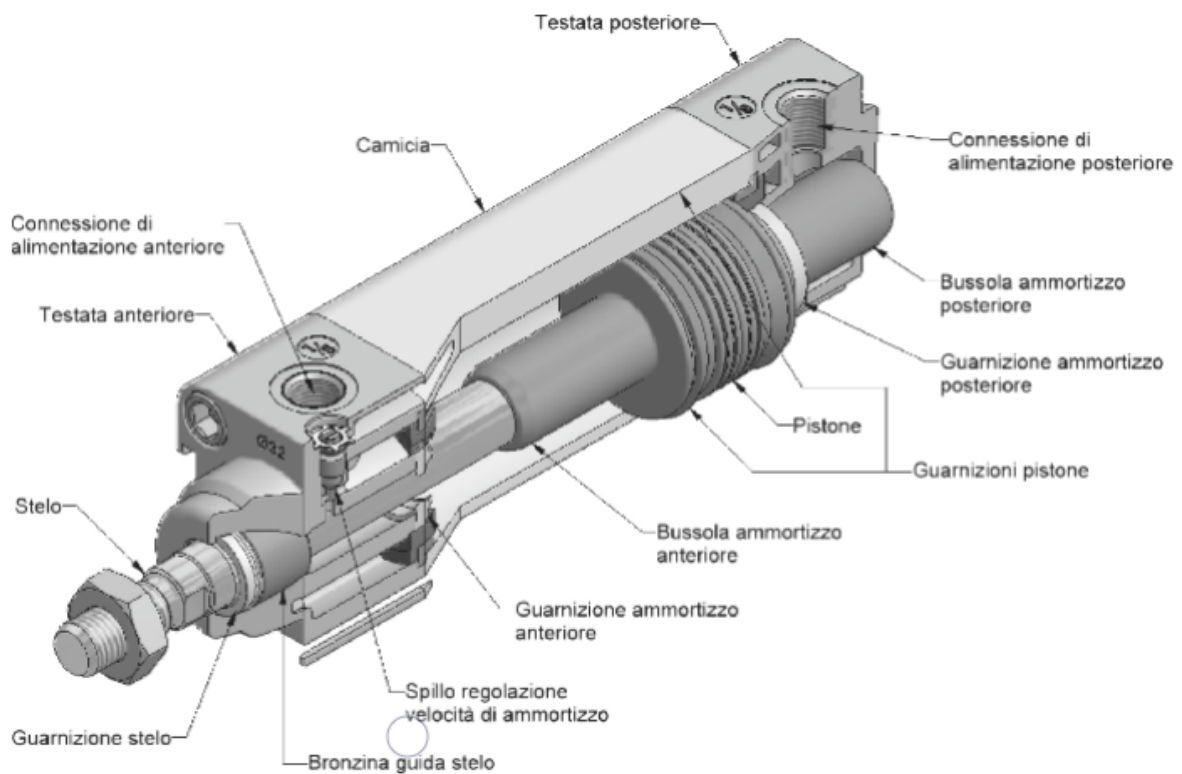


Figura 4.3 - Particolari costruttivi di un cilindro pneumatico Pneumax

Per l'estremità dello stelo, grazie alla filettatura presente, è previsto il collegamento ad un anello, dotato di cuscinetto radiale, che permetterà di realizzare un vincolo a cerniera sullo stelo di supporto della presa ad effetto vuoto.

Cilindri e stelo sono montati su di una lamiera in alluminio, appositamente sagomata, su cui sono eseguiti dei fori circolari, di 30~40 mm di diametro, inseriti per limitare i movimenti dei cilindri concedendo allo stesso tempo una discreta area di lavoro, utile a compensare e smorzare gli sforzi durante l'accostamento ai riferimenti delle macchine utensili. La geometria circolare è sembrata la scelta più naturale, in quanto l'area a disposizione presenta tutti punti equidistanti, priva di punti critici che potrebbero dar luogo ad errori di estensione per i cilindri.

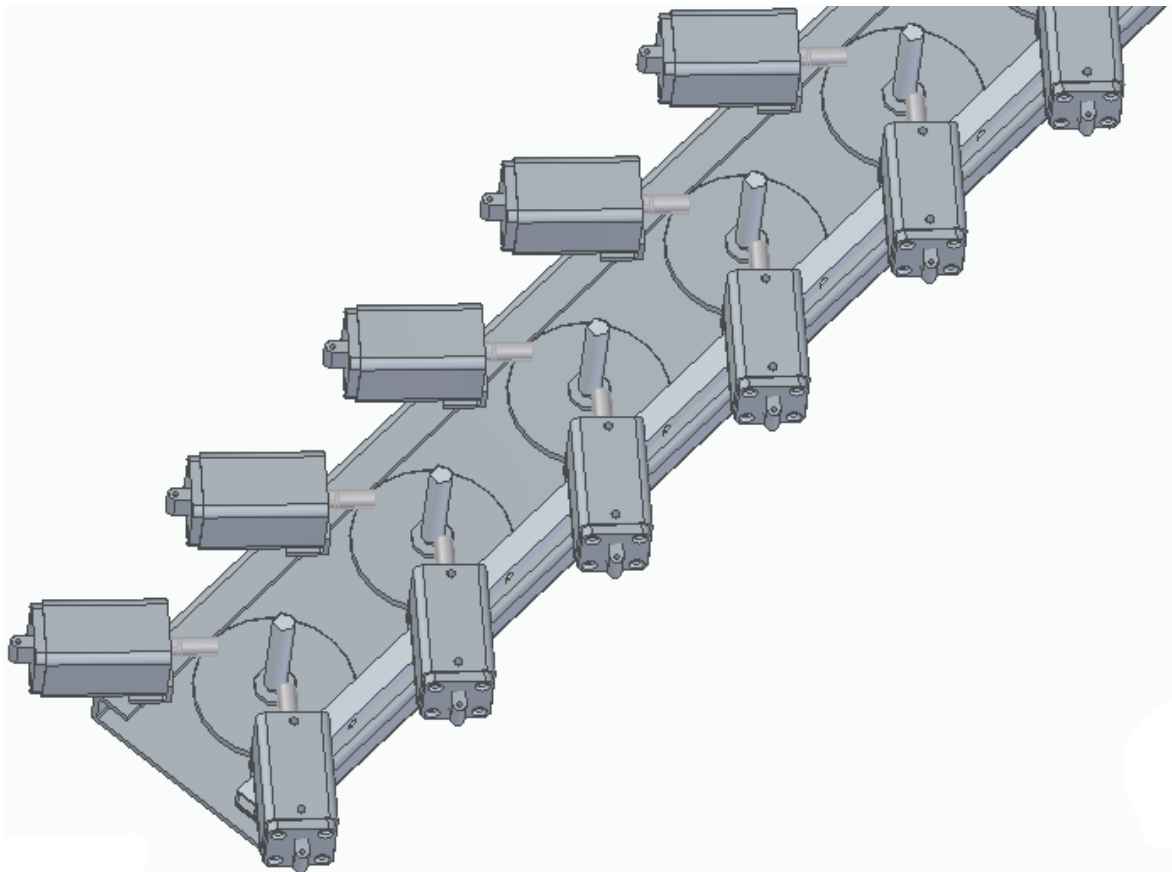


Figura 4.4 - Bozza di un'ipotesi di brandeggio con cilindri pneumatici

In questa configurazione, ma lo sarà anche nelle successive, lo stelo di supporto della presa a vuoto svolge una funzione di passaggio per l'aria, mediante un foro opportunamente sagomato, ma anche una funzione strutturale, poiché il suo compito sarà di sostenere il peso della camera di generazione del vuoto e parte del peso dei pannelli in movimentazione.

4.3 Progettazione del dispositivo di presa

Durante lo sviluppo della soluzione con cilindri pneumatici sono però emerse alcune criticità:

- l'ingombro laterale è eccessivo, soprattutto per l'elevato numero di ventose previste
- l'alimentazione di un elevato numero di cilindri, due per ciascuna ventosa, aumenta la complessità del brandeggio, i consumi ed il peso.

Da queste difficoltà di progetto si è intervenuto cercando di localizzare ulteriormente il sistema di brandeggio attivo, andandolo ad avvicinare il più possibile alla spugna ad effetto vuoto, ricercando anche una diversa tipologia di presa dalle idee di progetto fornite in precedenza.

Valutando le opzioni a disposizione, si è scelto di sviluppare più approfonditamente la tecnologia delle guarnizioni gonfiabili, perché permette di avere gli stessi vantaggi dei cilindri, in quanto entrambi possono generare una forza attiva e regolabile, ed in più riduce drasticamente l'impianto di

alimentazione ad aria compressa dimezzando l'utenza e l'ingombro orizzontale. Le guarnizioni gonfiabili lavorano anch'esse mediante aria compressa, nel particolare, hanno la capacità di espandersi lungo la direzione richiesta andando ad esercitare una pressione distribuita lungo il proprio perimetro. Necessitano di una sola alimentazione per guarnizione in quanto le forze che si vanno a sviluppare sono in direzione radiale alla circonferenza. Per poter sfruttare questa caratteristica si sono incorporati lo stelo di supporto ed il brandeggio in un unico elemento, ottenendo, dopo diverse iterazioni, una camera cilindrica chiusa.

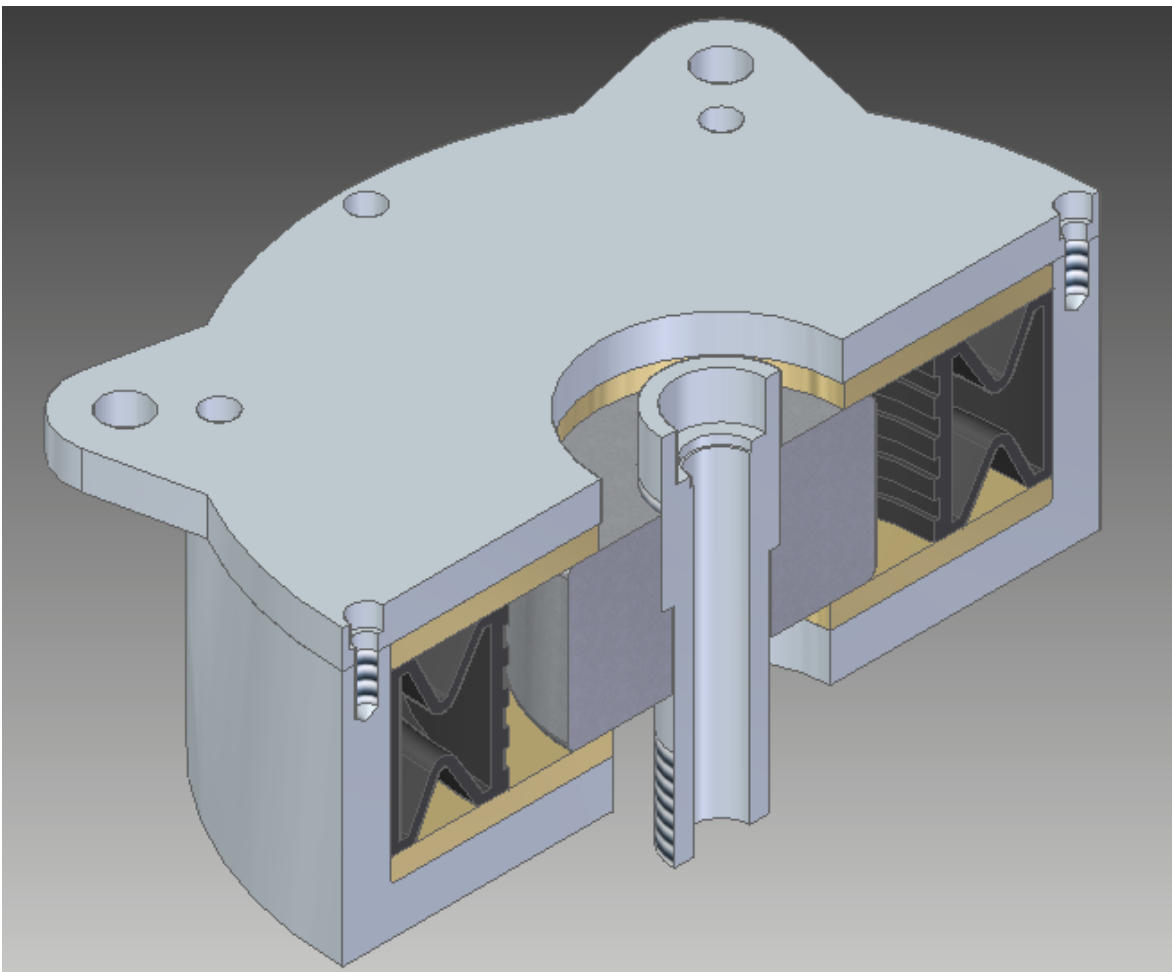


Figura 4.5 - Sezione della camera di brandeggio

All'interno della camera sono state inserite tutte le parti necessarie. E' ancora presente lo stelo che alimenta e sostiene la spugna per l'effetto vuoto, mentre sono state inserite alcune accortezze, come la presenza di un disco mobile interno, per ottimizzare l'impiego della guarnizione gonfiabile.

Infatti, il disco permette di interfacciare lo stelo e la guarnizione che, estendendosi dal perimetro esterno verso l'interno della camera, rende possibile la regolazione della forza con cui rispondere agli sforzi esterni, attraverso la variazione della propria pressione interna che viene esercitata sul disco di area nota. Al suo interno il disco è stato opportunamente forato e filettato per poter alloggiare lo stelo. Questo supporto mobile svolge un ruolo chiave in quanto, oltre alle forze normali di pressione, dovrà trasmettere anche le forze ortogonali provenienti dai pesi trasportati dalla ventosa sottostante, rimanendo, allo stesso tempo, libero di spostarsi e ruotare nel piano X-Y senza provocare sforzi eccessivi all'interno della camera, che, per questo motivo, è composta da diversi materiali.

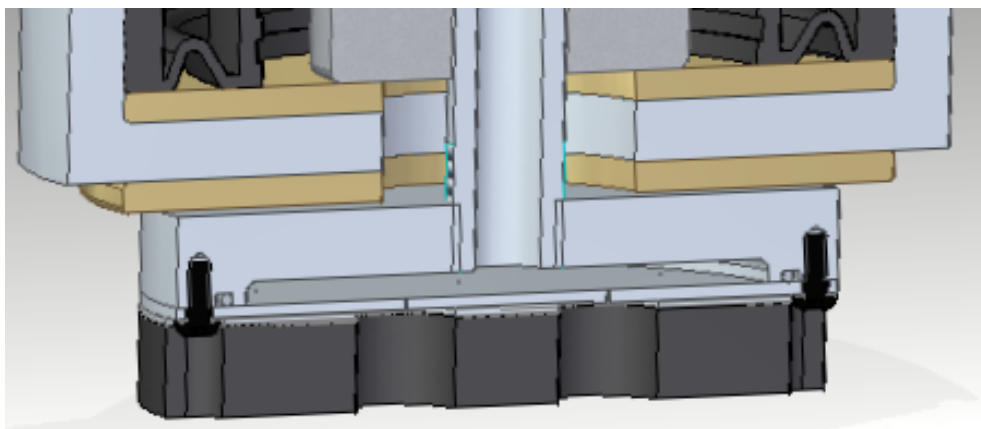


Figura 4.6 - Camera di generazione del vuoto localizzata con spugna tecnica collegata alla camera di brandeggio

Nella camera di brandeggio è possibile individuare l'ottone che riveste la parete superiori ed inferiore della camera, l'acciaio cromato di cui è composto il disco mobile interno, la guarnizione realizzata in gomma sintetica EPDM ed infine la camera di alloggiamento in alluminio.

Ottone	8400 kg/m ³
Acciaio (steel EN 10111)	7850 kg/m ³
Alluminio (EN 573-3)	2700 kg/m ³
EPDM	1180 kg/m ³

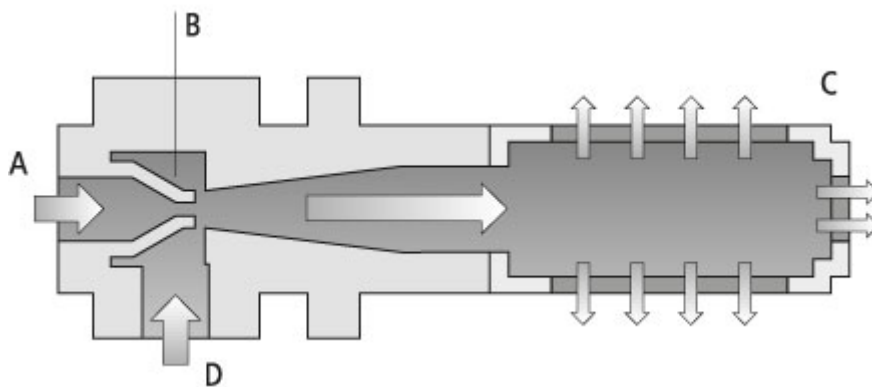
Tabella 4.1 - Densità dei materiali utilizzati

Definendo la densità dei materiali utilizzati ed il volume occupato, è stato possibile determinare il peso complessivo del brandeggio che si attesta, per eccesso, intorno ai 2,5 kg totali.

4.4 Funzionamento effetto Vacuum e dimensionamento

L'effetto vuoto o vacuum viene generato da eiettori che funzionano in base al principio Venturi, sono macchine statiche che permettono l'innalzamento della pressione di un fluido e quindi si può dire che funzionino come una pompa o come un compressore. Con gli eiettori l'aria compressa viene immessa attraverso l'attacco (Figura 4.7 A) per poi scorrere attraverso

l'ugello Venturi (B), dove l'aria viene accelerata e compressa. Dopo il passaggio per l'ugello l'aria accelerata si espande e creando una depressione (o vuoto). In questo modo l'aria viene aspirata attraverso il collegamento per vuoto (D). L'aria aspirata e l'aria compressa fuoriescono infine attraverso il silenziatore.



e (C).

Figura 4.7 - Sezione generica di un eiettore tradizionale

Negli eiettori con tecnologia di ugelli più recente il vuoto fluisce attraverso diversi ugelli Venturi azionati uno dopo l'altro, permettendo un ingombro ridotto e migliorando l'efficienza grazie ad un minor consumo di energia. La depressione generata dagli eiettori aspira l'aria attraverso lo stelo, svuotando la camera a contatto con la spugna tecnica, che per mezzo di piccoli fori, permette la movimentazione di carichi.

Per il calcolo del massimo peso movimentabile dal nuovo brandeggio pensato con spugne circolari, occorre partire dalle caratteristiche dell'eiettore: il Mini Si08-2 della Piab. Questo eiettore di tipo coassiale con un piccolo ingombro,

permette di sviluppare una portata di vuoto fino a 0.62 Nl/s. Il Mini Si08-2, applicato alla configurazione per il vuoto progettata, permette di sostenere un carico di 220 N per ventosa attiva, secondo la formula:

$$F = \Delta p \cdot S^2$$

dove Δp è la differenza di pressione tra l'ambiente e la pressione del sistema, mentre l'area della sezione, oltre che della geometria della ventosa, tiene conto anche della massa (kg) dell'oggetto movimentabile, della depressione realizzata dall'eiettore (bar) e dal numero di ventose utilizzate, il tutto tenendo conto di un coefficiente di sicurezza secondo la formula tratta dai cataloghi Schmalz:

$$d = 1,12 + \sqrt{\frac{m \cdot S}{p \cdot n}}$$

La formula della forza di sollevamento indicata, considera l'utilizzo di una ventosa di sezione circolare nella fase di sollecitazione con carico verticale.

L'impianto di generazione del vuoto che si vuole ricreare è di tipo decentralizzato, pertanto le ventose non impegnate attivamente nella movimentazione, non influiranno negativamente sulla portata d'aria consumata, permettendo così di ottenere sempre la massima forza di sollevamento.

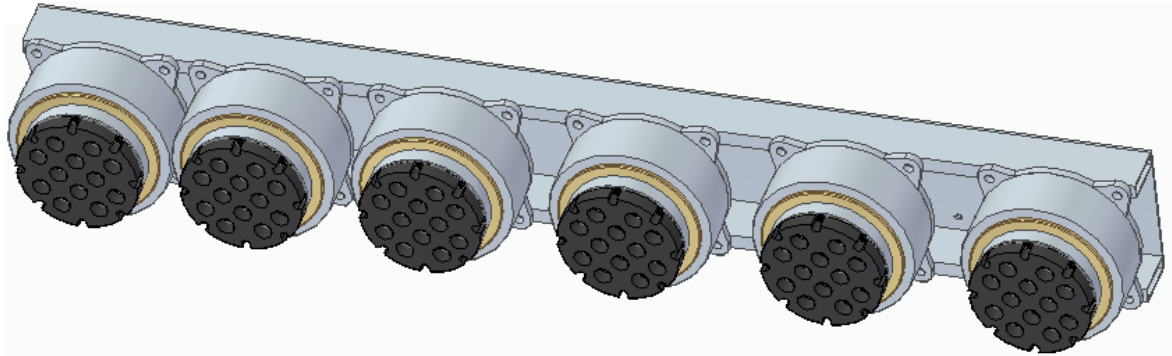


Figura 4.8 - Braccio del robot attrezzato con i dispositivi di brandeggio

Tenendo conto del carico sostenibile, moltiplicato per le otto ventose disponibili per ciascun braccio del telaio, il peso movimentabile massimo arriva ad essere di 67 kg.

Capitolo 5

Verifica Strutturale del sistema

5.1 Verifica a flessione

Al fine di comprendere meglio gli sforzi a cui la struttura del brandeggio è sollecitata, si è effettuato il calcolo a flessione delle travi da cui è sorretto il sistema di presa vacuum. Considerata la peggiore delle ipotesi con un carico massimo di 72 kg, da dividere su ciascuna delle dodici spugne ad effetto vuoto, a cui si aggiunge il loro peso proprio, calcolato nei capitoli precedenti, ottengo una forza pari ad 85 N, ripartita su ciascuna ventosa in gomma spugna.

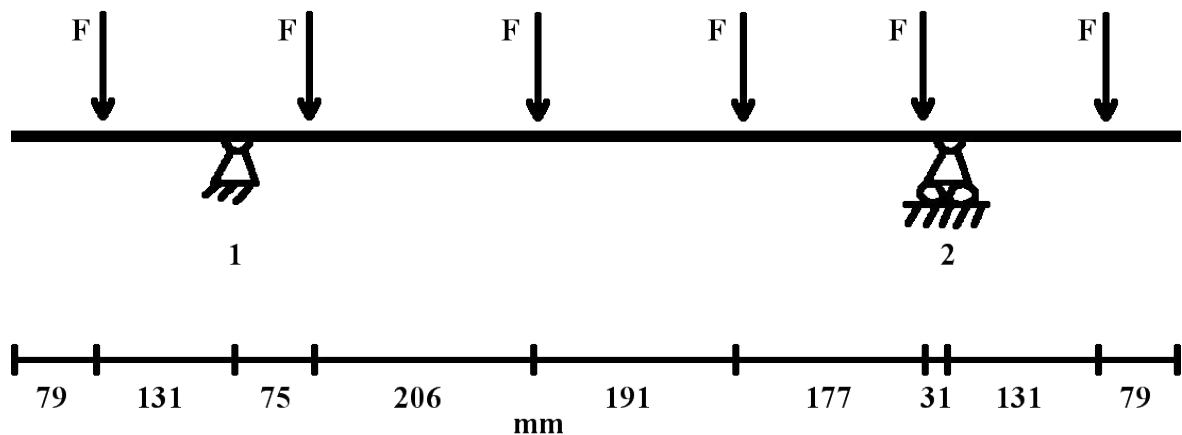


Figura 5.1 - sezione travetti in alluminio e relativa schematizzazione con le reazioni vincolari

Prendendo in considerazione la fase di carico del robot in cui avviene il sollevamento del pannello da lavorare, è possibile supporre che le forze normali, di compressione e trazione, siano pari a

$$N = 0$$

Le forze trasversali di taglio invece sono date dalla serie di dispositivi montati sul supporto e dalle reazioni vincolari:

$$T = V_1 + V_2 - 6 \cdot 85$$

Infine occorre il calcolo del momento rispetto ad un polo a scelta, in questo caso preso su V_2 :

$$M(V_2) = V_1 \cdot 0,68 - F (0,811 + 0,605 + 0,399 + 0,208 + 0,031 - 0,131) = 0$$

L'equilibrio del momento mi permette di andare a trovare le incognite V_1 e V_2 , ovvero le forze vincolari cui la struttura in alluminio del braccio robotico è sollecitata.

$$V_1 = \frac{85 \cdot 1,923}{0,68} = 240,38 \text{ N} = 24 \text{ kg}$$

$$V_2 = 510 - 240,38 = 269,62 \text{ N} = 27 \text{ kg}$$

Di seguito infine sono riportati i diagrammi a cui la struttura è sottoposta.

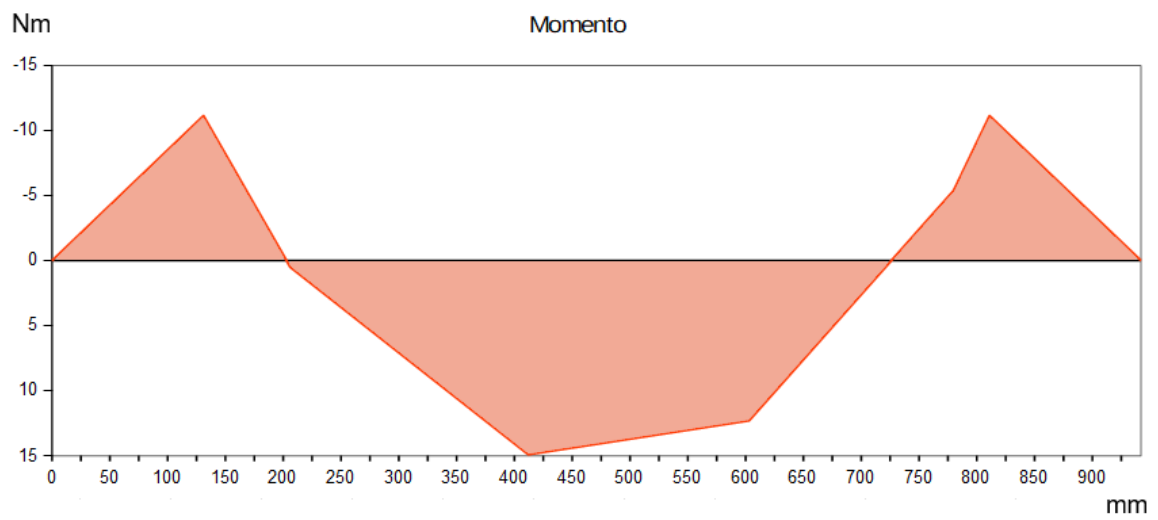
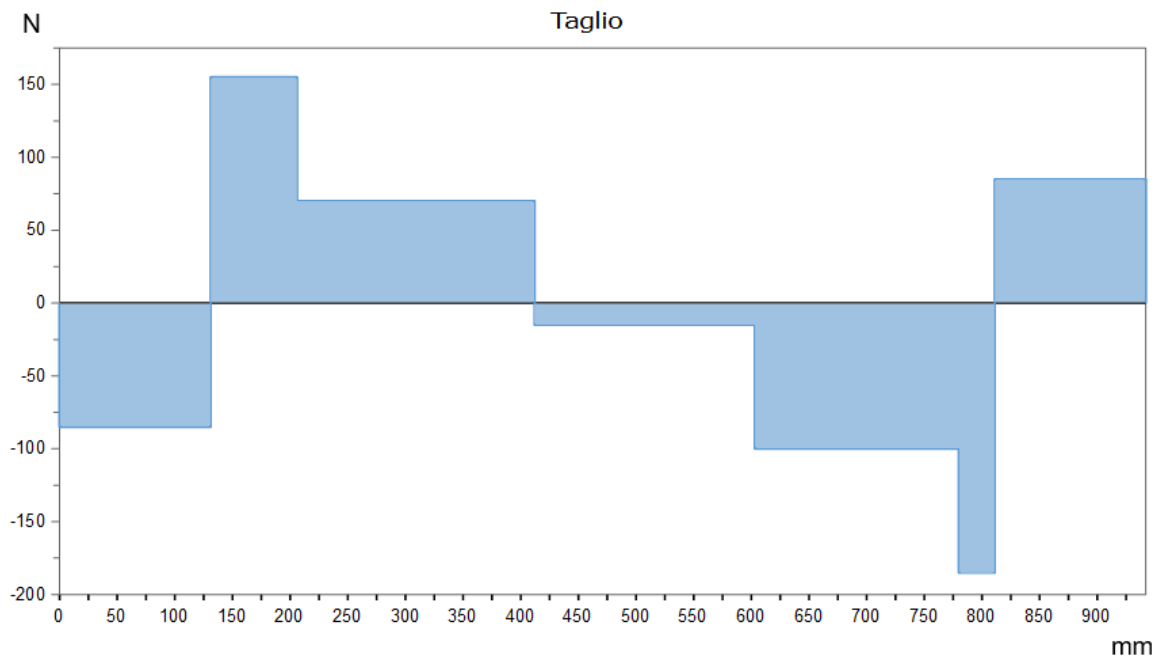


Figura 5.2 - Andamento del Taglio e del Momento

5.2 Pressioni all'interno della camera

In questa parte di elaborato andiamo ad individuare più nello specifico, le dinamiche che si realizzano all'interno del supporto cilindrico del brandeggio. Come dato noto di riferimento abbiamo la forza di accostamento fornita, tra i 10 e i 100 N, che il brandeggio dovrà essere in grado di bilanciare per evitare di danneggiare il pannello trasportato e realizzare così un corretto posizionamento sulla macchina utensile.

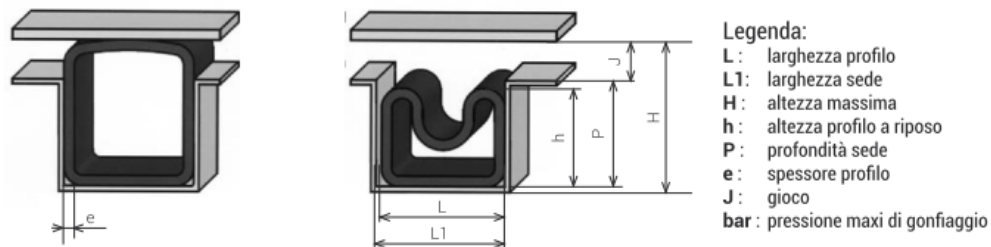
Come è noto, la pressione è una grandezza fisica che ci permette di misurare l'azione della forza rispetto all'unità di superficie su cui questa viene esercitata, pertanto ci è possibile scriverla nella seguente formula fisica più conosciuta:

$$F = p \cdot S$$

Nell'attuale configurazione di utilizzo eseguo una sezione trasversale del brandeggio che mi permette di considerare solo una metà della guarnizione in pressione, dovrò poi moltiplicare la semi circonferenza trovata per la relativa altezza della guarnizione:

$$S = \frac{6,5}{2} \cdot \pi = 34.70 \text{ cm}^2$$

Al fine di sviluppare la forza necessaria, abbiamo ristretto la ricerca tra i profili di guarnizione di tipo “D” e “P” (vedi Tabella 5.1) poiché presentano un'altezza di sezione non troppo elevata, un gioco abbastanza grande assieme a pressioni intorno all'ordine di 1 bar che ci permetterebbero di non andare a complicare l'impianto pneumatico, evitando così l'inserimento dei regolatori di pressione e dei distributori, che andrebbero a gravare anche sull'ingombro del brandeggio.



profili tipo "D"

Ref	L	h	e	H	L1	P	J	bar
0-289	16	12,5	2	15	L ^{+0,5/0}	13	2	4,5
0-290	16	14	1,8	18,5	L ^{+0,5/0}	14,5	4	4,5
0-111	16	14,5	1,5	25	L ^{+0,5/0}	16	9	0,5
0-115/3	18	16,5	2	22	L ^{+0,5/0}	17	5	3
0-115	18	15,5	2	25	L ^{+0,5/0}	17	8	0,75
0-254	24	20	3	25	L ^{+0,5/0}	21	4	3,5
0-217	24	20	2	30	L ^{+0,5/0}	22	8	1
0-216/3	34	25	3	33	L ^{+1/0}	26,5	6,5	3
0-216	34	25	3	38	L ^{+1/0}	27	11	1
0-281	50	35	4,5	55	L ^{+1,5/0}	37,5	17,5	1,5
0-233	64	50	4	80	L ^{+1,5/0}	53	27	2
0-1-2-116-2	95	65	3,5	120	L ^{+1,5/0}	68	52	1

profili tipo "P"

Ref	L	h	e	H	L1	P	J	bar
0-432	16	14,5	1,3	25	L ^{+0,5/0}	15	10	1
0-433	24	20	2	36	L ^{+0,5/0}	21	15	1
0-434	34	25	2,6	43	L ^{+1/0}	26	17	1

Tabella 5.1 - Catalogo delle guarnizioni gonfiabili Dalmar analizzate

Di seguito vengono riportati i risultati di calcolo delle forze sviluppate dalle diverse guarnizioni prese in esame.

Ref	Spessore L (cm)	Sezione (cm ²)	bar	Forza (N)
0-111	16	52	0,5	26
0-115	18	58,50	0,75	43,88
0-217	24	78	1	78
0-216	34	110,50	1	110,5
0-432	16	52	1	52
0-433	24	78	1	78
0-434	34	110,50	1	110,5

Tab 5.2 - Risultati di calcolo delle forze di pressione generate dai diversi profili secondo i parametri indicati dalla Dalmar

A meno di interventi sulla regolazione della pressione dell'impianto che rimane sempre al di sotto del valore di 2 bar, le guarnizioni riescono a generare forze prossime all'intervallo di utilizzo desiderato, e dall'analisi dei dati trovati, tanto è più piccolo lo spessore "L" della guarnizione, tanto minore sarà la forza realizzata sul disco mobile interno.

Perciò, per poter abbassare ulteriormente le forze generate è possibile, in linea teorica, intervenire sulle pressioni regolando il sistema di scarico dell'aria in modo più accurato per ottenere una pressione più bassa con una buona precisione grazie alla fuoriuscita controllata di aria.

5.3 Calcolo degli attriti tra i componenti

Un altro parametro che si deve tenere in considerazione per poter capire il comportamento del brandeggio è l'attrito che si genera tra le superfici interne ed il disco mobile, che risultano essere costantemente a contatto.

La forza di attrito si oppone al moto di una superficie rispetto all'altra, questa forza di contatto andrà ad influenzare i componenti inseriti, soprattutto nella parte inferiore della struttura, all'interfaccia tra il disco mobile solidale con lo stelo e la base della camera cilindrica del brandeggio, dove si realizzeranno gli sforzi maggiori.

Scelto con acciaio cromato per una maggiore affidabilità di resistenza ai carichi, il disco mobile è a contatto con il rivestimento del fondo in ottone, che presenta una buona resistenza meccanica ed un basso coefficiente di attrito, all'interfaccia tra i materiali dei due componenti viene generato un coefficiente di attrito statico pari a $\mu_s = 0,51$ e dinamico $\mu_d = 0,44$.

Sapendo che la forza normale alla superficie in ottone è data dal peso massimo movimentabile di un singolo sistema di brandeggio, pari a 60 N, a cui andrà sommato il peso dello stelo e del disco mobile di 10 N, posso ricavare la forza di attrito che sarà data da:

$$F_{As} = F_N \cdot 0,51 = 35,7 \text{ N} = 3,57 \text{ kg}$$

$$F_{Ad} = F_N \cdot 0,44 = 30,8 \text{ N} = 3,08 \text{ kg}$$

Perciò, durante le fasi di accostamento si genera una forza di attrito dinamico che si contrappone alla forza esercitata dalla guarnizione per un valore di 3,08 kg nel verso opposto al movimento, tale sforzo ci permette di esercitare una pressione leggermente più alta perché una parte di essa verrà spesa per superare l'attrito tra i componenti interni mobili.

Capitolo 6

Studio di fattibilità

Nelle ultime fasi di progettazione del nuovo sistema di presa a vuoto per gli attuali robot Kuka di Biesse Group, con il fine di verificare l'effettivo ingombro del nuovo sistema, sono stati inseriti tutti i componenti necessari al funzionamento del braccio, come i sensori, la centralina, l'encoder per l'albero superiore, il pacchetto valvole ed il motore elettrico per la gestione dei due bracci.

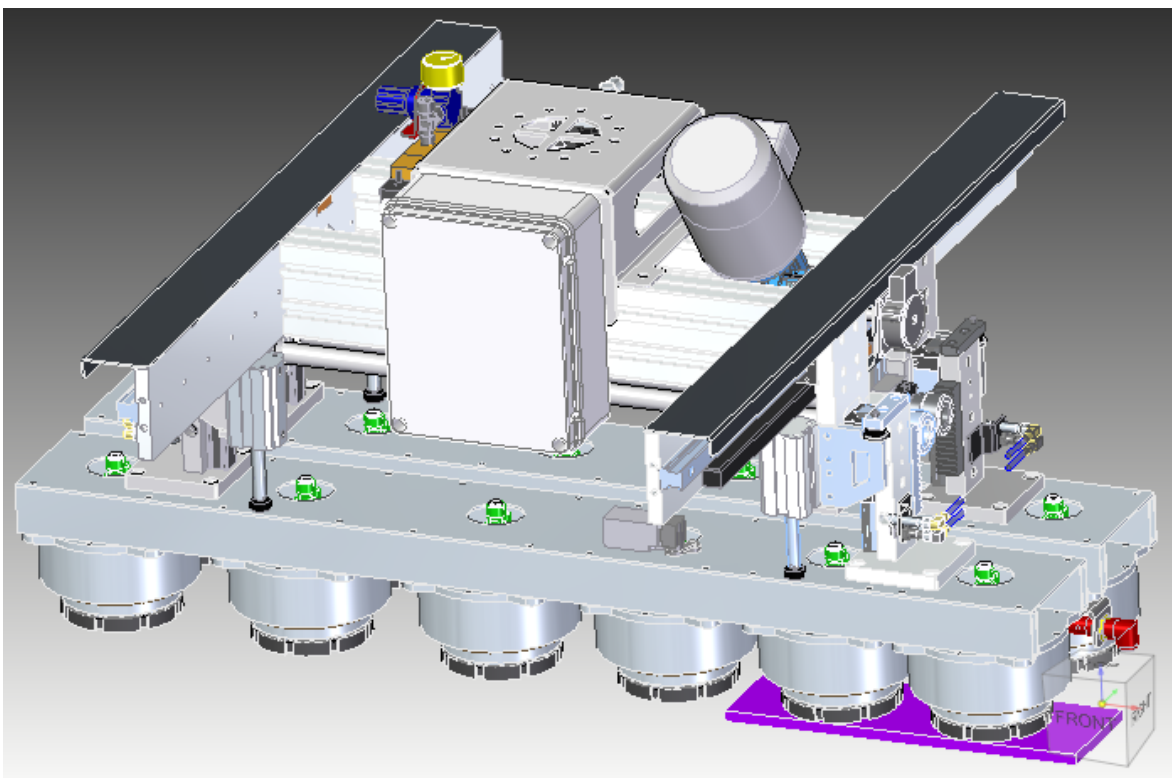


Figura 6.1 - Sistema di presa a vuoto assemblato con dimensioni del pannello movimentabile minimo in viola

Sono stati poi coinvolti i rappresentanti di due aziende fornitrici di guarnizioni gonfiabili, Angst-Pfister e Dalmar, riguardo alla idoneità delle soluzioni proposte per il brandeggio ed il corretto utilizzo delle guarnizioni nel campo di applicazione da noi richiesto.

Sfortunatamente, la finestra di utilizzo che si è teorizzata non si è rivelata interamente realizzabile per alcuni limiti tecnologici di costruzione dei materiali delle guarnizioni, nel dettaglio:

- Le guarnizioni, per poter garantire una buona qualità costruttiva e la loro affidabilità, vengono prodotte a partire da un diametro minimo di 250 mm, mentre, per il sistema ideato, il diametro esterno raggiunge i 200 mm
- Per non incorrere in piegature della camera d'aria durante l'espansione, che potrebbero generare un comportamento differente da quello di progetto, occorre fissare la parte piatta della guarnizione sul disco mobile nella camera del brandeggio che porta ad un conseguente aumento di ingombro
- Le pressioni di utilizzo richieste per il corretto funzionamento delle guarnizioni con profilo di tipo "P", con una maggiore dilatazione radiale, sono di 1 bar, contro la nostra esigenza di poter erogare uniformemente una pressione di 0,1 bar su tutto l'impianto.

Le guarnizioni gonfiabili fornite da Dalmar e Angst-Pfister non hanno perciò le caratteristiche di utilizzo ideali per il funzionamento del brandeggio sviluppato, ma il sistema teorizzato è stato comunque ritenuto valido.

Infatti, utilizzando la guarnizione 0-111 e modificando il brandeggio utilizzato è possibile ottenere un diametro interno di 250 mm, con un gioco di 9 mm, per un ingombro massimo che si aggira intorno ai 300 mm, con forze di pressione sull'ordine dei 100 N. Per non mantenere la forma cilindrica, che per questi diametri acquista un importante volume, è possibile realizzare un brandeggio di forma ellittica a vantaggio di una notevole riduzione dell'ingombro laterale e della superficie aspirante.

Sulla stessa linea di principio, spostando la camera di brandeggio, dalla base del sistema di presa al collegamento con il braccio robotico, si potrebbe rientrare nel diametro di utilizzo delle guarnizioni e beneficiare di un brandeggio con la stessa accuratezza del vecchio modello ma con molte meno complessità di montaggio e sostituzione.

Una soluzione alternativa potrebbe essere la riprogettazione di una guarnizione gonfiabile specifica per l'impiego ideato, che non si discosta eccessivamente dagli attuali utilizzi delle guarnizioni ma richiede un diverso approccio nella realizzazione della guarnizione, ovviamente anche questo studio comporterebbe un'ulteriore spesa in quanto realizzate su misura.

In entrambi i casi suddetti occorre tenere in considerazione il problema della pressione interna alla guarnizione gonfiabile, per cui occorrerà predisporre un

moltiplicatore di pressione idoneo ed effettuare un ulteriore studio sulle forze che le guarnizioni sono in grado di generare, poiché, tenendo sempre conto della pressione di 1 bar di utilizzo che rimarrà invariata, dovrà essere ripartita su di una superficie diversa da quella considerata in questo testo.

Per poter aumentare la precisione dell'attuale sistema di presa vuoto con una decentralizzazione del brandeggio reso indipendente per ciascuna ventosa e collocato il più vicino possibile all'interfaccia con il carico movimentato, si rivela necessario scendere ad alcuni compromessi:

- In entrambi i prototipi teorizzati, il sistema di presa viene reso più complesso ed articolato, in quanto ogni spugna deve essere indipendente per avere una buona risposta e questo porta ad una maggiore complessità di tutte le sue parti.
- La maggior complessità di impianto causa un notevole aumento degli ingombri a cui si sommano, come sopra indicato, difficoltà nella ricerca di parti commerciali poiché si entra nell'ambito dei componenti per utilizzi speciali
- Per evitare di complicare la struttura è possibile ricorrere a soluzioni personalizzate ed a componenti più specifiche aumentando la precisione come, per esempio, l'uso di un sensore ottico più preciso potrebbe evitare il passaggio sullo squadro di riferimento. Queste soluzioni andranno però a pesare sui costi di produzione dell'impianto.

Come ulteriore alternativa alle guarnizioni gonfiabili, è possibile trarre ispirazione dal funzionamento dei freni a tamburo che, tramite l'esercizio di una pressione sui pistoni collegati al fluido, permettono uno spostamento delle ganasce verso la parete esterna su cui esercitano una forza che si traduce in forza d'attrito.

Cambiando la configurazione del cilindro contenente i pistoni ed invertendone la corsa è teoricamente possibile mantenere l'idea di fondo del sistema di brandeggio sviluppato per le guarnizioni gonfiabili, andando ad effettuare opportune modifiche degli elementi all'interno che dovranno essere sagomati diversamente per rispondere coerentemente alle forze sviluppate durante le fasi di accostamento.

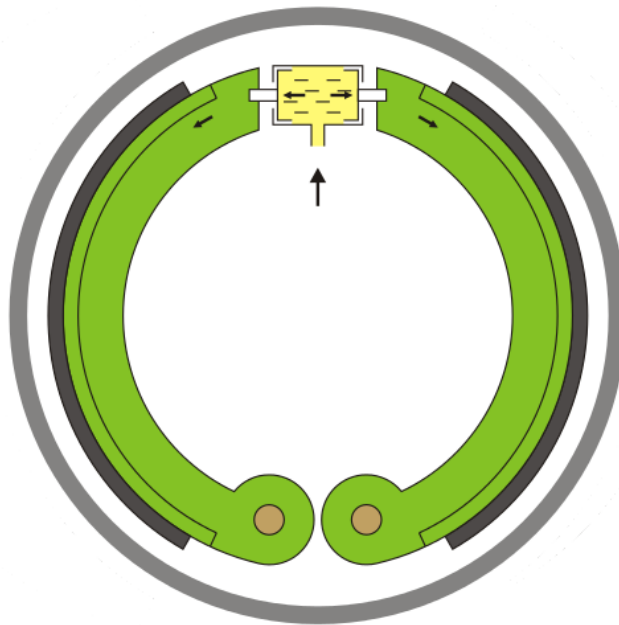


Figura 6.2 - Sezione di un freno a tamburo Simplex

Capitolo 7

Conclusione

Questo elaborato si propone di progettare un nuovo sistema ad effetto vuoto per ROS con un'ampia flessibilità di prodotti movimentabili e con una maggiore accuratezza di posizionamento degli stessi.

Nello sviluppo del progetto per Biesse, è stata approfondita la tecnologia degli attuali ROS in servizio e la dotazione in uso, focalizzandosi sull'impiantistica pneumatica e sull'effetto vuoto.

Per la maggior parte, il sistema di presa è stato realizzato tramite l'ausilio di Solid Edge che mi ha permesso di mettere virtualmente in pratica alcune bozze di progetto, consentendo di verificare in anticipo il reale comportamento delle soluzioni proposte. Lo studio dedicato alle reazioni sul piano ci ha aiutato a comprendere meglio le forme che il brandeggio ha poi assunto durante le fasi di ideazione successive, portando alla scelta della soluzione con guarnizioni gonfiabili.

Gli sforzi a cui la struttura sviluppata è sottoposta non sono particolarmente gravosi, ma hanno richiesto ugualmente una verifica delle forze in gioco per comprendere meglio il comportamento durante i movimenti del robot che non si limitano unicamente ad un solo piano, ma coinvolgono più fattori contemporaneamente.

Il sistema di presa trattato non si è rivelato flessibile come ci si aspettava a causa dei limiti di costruzione delle guarnizioni che vanno a rendere la struttura più ingombrante, privandola così della possibilità di essere localizzata più vicino all'interfaccia con il prodotto da lavorare.

In sintesi, questo elaborato ha permesso di trovare un nuovo sistema di presa mediante l'uso di guarnizioni gonfiabili, ma per un effettivo impiego del brandeggio nel settore dei ROS, si rendono necessari ulteriori approfondimenti per verificare la correttezza delle assunzioni fatte in questo studio, soprattutto vista una sua possibilità di impiego utilizzando diametri più grandi ed altezze di sezione più piccole, od infine, attraverso una rivisitazione della camera di brandeggio con un sistema di bloccaggio meccanico più compatto.

Bibliografia

Stefano Lenci, “Lezioni di Meccanica Strutturale”, Pitagora Editrice Srl,
Seconda Edizione 2009

Pneumax, “Catalogo Generale - Componenti per l’automazione pneumatica”,
Edizione 2018, Pneumax Spa