



UNIVERSITÀ  
POLITECNICA  
DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA

---

**PROGETTAZIONE DI UN MECCANISMO PER  
IL TAGLIO AUTOMATICO DI MATERIALE  
CARTACEO**

**DESIGN OF A MECHANISM FOR THE  
AUTOMATIC CUTTING OF PAPER MATERIAL**

*Candidato:*

Filippo Mozzoni

*Relatore:*

Michele Germani

Anno Accademico 2023-2024





UNIVERSITÀ  
POLITECNICA  
DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA

---

**PROGETTAZIONE DI UN MECCANISMO PER  
IL TAGLIO AUTOMATICO DI MATERIALE  
CARTACEO**

**DESIGN OF A MECHANISM FOR THE  
AUTOMATIC CUTTING OF PAPER MATERIAL**

*Candidato:*

Filippo Mozzoni

*Relatore:*

Michele Germani

Anno Accademico 2023-2024

---

UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE  
FACOLTÀ DI INGEGNERIA  
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA  
VIA BRECCE BIANCHE – 60131 ANCONA (AN), ITALY

*Ringraziamenti*

# INDICE

<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>1</b>
<b>2. STATO DELL'ARTE.....</b>	<b>2</b>
<b>2.1 LINEE GUIDA PER LA PROGETTAZIONE DI MACCHINA .....</b>	<b>2</b>
<b>2.2 SOLID EDGE .....</b>	<b>5</b>
<b>3. L'AZIENDA: TEXON ITALIA .....</b>	<b>8</b>
<b>4. PROGETTAZIONE.....</b>	<b>9</b>
<b>4.1 VINCOLI PROGETTUALI.....</b>	<b>9</b>
<b>4.2 STUDIO DELLA CINEMATICA .....</b>	<b>10</b>
<b>4.2.1 DIMENSIONAMENTO TAGLIO .....</b>	<b>11</b>
<b>4.2.2 VELOCITÀ TAGLIO.....</b>	<b>12</b>
<b>4.3 STUDIO DELLA DINAMICA .....</b>	<b>13</b>
<b>4.4 COMPONENTI DELLA MACCHINA .....</b>	<b>15</b>
<b>4.4.1 GRUPPO DI TAGLIO .....</b>	<b>15</b>
<b>4.4.2 GRUPPO DI AZIONAMENTO.....</b>	<b>16</b>
<b>4.4.3 SUPPORTO PER TAGLIERINA.....</b>	<b>17</b>
<b>4.4.4 STRUTTURA .....</b>	<b>18</b>
<b>4.5 DIMENSIONAMENTO .....</b>	<b>20</b>
<b>4.5.1 DIMENSIONAMENTO GRUPPO DI TAGLIO.....</b>	<b>20</b>
<b>4.5.2 DIMENSIONAMENTO ATTUATORE .....</b>	<b>21</b>
<b>4.5.3 DIMENSIONAMENTO COLONNE STRUTTURA .....</b>	<b>22</b>
<b>4.5.4 DIMENSIONAMENTO TRAVE STRUTTURA.....</b>	<b>23</b>
<b>4.5.5 FISSAGGIO A TERRA .....</b>	<b>24</b>

<b>5. FUNZIONAMENTO .....</b>	<b>26</b>
<b>6. MODELLO 3D CAD .....</b>	<b>27</b>
<b>7. COSTO DELLA MACCHINA .....</b>	<b>31</b>
<b>8. CONCLUSIONI .....</b>	<b>32</b>

# ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1: Logo Texon .....	8
Figura 2: Illustrazione spazio disponibile [mm] .....	9
Figura 3: Spazio disponibile .....	10
Figura 4: Dimensioni taglio .....	11
Figura 5: Coefficiente di resistenza a taglio .....	14
Figura 6: Gruppo di taglio .....	16
Figura 7: Gruppo di azionamento .....	17
Figura 8: Viste supporto taglierina .....	18
Figura 9: Struttura .....	18
Figura 10: Piano rialzato .....	19
Figura 11: Configurazione gruppo di taglio.....	20
Figura 12: Attuatore pneumatico scelto.....	21
Figura 13: Assieme macchina.....	27
Figura 14: Vista frontale assieme .....	28
Figura 15: Vista posteriore assieme .....	28
Figura 16: Vista assieme dall'alto.....	29
Figura 17: Vista assieme dal basso .....	29
Figura 18: Vista assieme laterale.....	30

# 1. INTRODUZIONE

Questa tesi si pone come obiettivo lo studio e la progettazione di un sistema di taglio automatico per un particolare materiale cartaceo. Il progetto è destinato a un'azienda leader del settore, la Texon Italia, che verrà descritta in uno dei successivi capitoli.

Il progetto nasce dall'esigenza di migliorare la sicurezza e la ripetibilità del taglio. Gli operatori, infatti, durante l'operazione sono esposti a rischi elevati di infortuni e, nel caso di un loro errore, tutta la linea di produzione rischia di fermarsi, producendo ritardi e danni economici.

Lo scopo del seguente lavoro è quello di automatizzare il sistema di taglio, rendendolo sicuro, affidabile e perfettamente ripetibile, ottimizzando così il sistema produttivo. Inoltre questa soluzione riduce al minimo l'intervento umano.

L'idea sviluppata consiste in una macchina composta da due gruppi di taglio che si muovono perpendicolarmente alla direzione di scorrimento della carta, producendo un taglio di forma triangolare; lo sviluppo e il funzionamento verranno approfonditi nei Capitoli 4 e 5.

## 2. STATO DELL'ARTE

Questo capitolo offre una panoramica delle ricerche, delle tecniche, degli approcci e delle soluzioni tecnologiche più avanzate e utilizzate nel campo della progettazione e ingegneria meccanica. L'obiettivo è fornire un contesto chiaro per comprendere il punto di partenza del progetto e giustificare le scelte tecniche adottate.

### 2.1 LINEE GUIDA PER LA PROGETTAZIONE DI MACCHINA

La progettazione di macchine industriali è un processo complesso che richiede un'approfondita pianificazione, una buona conoscenza ingegneristica e l'utilizzo di strumenti e metodi adeguati per ottenere un prodotto efficiente, sicuro e funzionale. Le linee guida per la progettazione di una macchina coprono tutti gli aspetti, dal concetto iniziale alla realizzazione finale, fino alla fase di messa in servizio. Di seguito vengono riportate le principali linee guida da seguire in ciascuna fase del processo di progettazione:

- **Sicurezza:** Assicurarsi che la macchina rispetti tutte le normative di sicurezza nazionali e internazionali, come la **direttiva macchine** (2006/42/CE in Europa) e progettare dispositivi di protezione, blocchi di sicurezza, e sistemi di emergenza come l'integrazione di sensori per il monitoraggio continuo e l'allerta in caso di anomalie.

- **Manutenibilità:** Progettare la macchina in modo che le operazioni di manutenzione siano facili, sicure ed economiche. Prevedere l'accesso alle parti più soggette a usura o guasto.
- **Affidabilità e durabilità:** scegliere i materiali e componenti più idonei tenendo conto dei cicli di stress a cui la macchina è soggetta per garantire che essa funzioni correttamente durante tutto il ciclo di vita previsto.
- **Normative e standard:** è fondamentale attenersi alle normative locali e internazionali, come gli standard ISO [1]. La norma **ISO 12100:2010** fornisce un insieme di linee guida fondamentali per progettare macchine sicure, aiutando a identificare i rischi potenziali e ridurli al minimo. Applicando correttamente questa norma, i progettisti possono garantire che le macchine siano sicure per gli operatori e rispondano ai requisiti legali, riducendo il rischio di infortuni sul lavoro e migliorando l'affidabilità e la sostenibilità del prodotto. Tale norma è applicabile a tutte le macchine, compresi i sistemi di automazione, le macchine industriali, i robot e qualsiasi altro dispositivo che presenti potenziali rischi per gli operatori e gli utenti. È una norma fondamentale per la progettazione di qualsiasi tipo di macchina, dalla fase di concezione al momento in cui la macchina è in servizio. Inoltre, si applica a tutti i settori industriali che producono o utilizzano macchine, come automotive, aerospaziale, alimentare, chimico, e molti altri.

La ISO 12100:2010 è suddivisa in tre principali sezioni:

1. Principi generali di progettazione per la sicurezza;
2. Valutazione dei rischi;
3. Riduzione del rischio.

Al contempo, la **Direttiva Macchine 2006/42/CE** è una normativa europea che stabilisce i requisiti fondamentali di sicurezza e salute per la progettazione e la costruzione delle macchine, nonché le loro attrezzature e componenti. Essa è stata adottata per garantire che le macchine vendute all'interno del mercato europeo siano sicure per gli utenti e per ridurre il rischio di incidenti sul lavoro, migliorando la libera circolazione delle macchine nel mercato dell'Unione Europea. Questa direttiva è di grande importanza per i costruttori di macchine, per le aziende che utilizzano macchine nel loro processo produttivo, e per gli organismi di certificazione che sono coinvolti nella validazione della conformità delle macchine alle normative. Tale direttiva mira a:

1. Garantire la sicurezza delle macchine;
2. Garantire la libera circolazione delle macchine;
3. Minimizzare i rischi per la salute e la sicurezza degli utenti;
4. Favorire l'armonizzazione delle normative di sicurezza.

L'aderenza a queste normative assicura che la macchina possa essere commercializzata e utilizzata.

- **Progettazione:** la macchina deve essere progettata tenendo conto di vari aspetti tra cui i vincoli, la cinematica e la dinamica del problema, il dimensionamento dei componenti, la realizzazione di un modello CAD 3D e un'analisi dei costi di realizzazione.

## 2.2 SOLID EDGE

Per la realizzazione del modello CAD 3D è stato utilizzato il software Solid Edge [2], un software di modellazione CAD (Computer Aided Design) sviluppato da Siemens Digital Industries Software. È utilizzato per la progettazione meccanica in 3D e 2D, la simulazione e l'analisi. Solid Edge è particolarmente noto per la sua tecnologia di modellazione avanzata, che include funzionalità di modellazione diretta e modellazione basata su parametri. Le caratteristiche principali di questo software sono:

- **Modellazione Diretta:** consente di modificare i modelli 3D in modo intuitivo e diretto, senza la necessità di modificare i parametri o l'albero di costruzione. È ideale per le modifiche rapide e per lavorare con geometrie importate da altri sistemi CAD;
- **Modellazione Parametrica:** consente di creare e modificare modelli 3D attraverso relazioni e vincoli matematici, consentendo una progettazione basata su parametri e specifiche precise. La modellazione parametrica è utile per creare geometrie più complesse e per garantire l'accuratezza delle modifiche.

- **Assemblaggi complessi:** il software permette di progettare assemblaggi complessi, gestendo facilmente grandi assiemi con centinaia di componenti. Il sistema utilizza una tecnologia di "assiemi leggeri" che permette di lavorare su grandi assemblaggi senza compromettere le prestazioni del software.
- **Rendering e Visualizzazione avanzata:** il software offre strumenti avanzati per la visualizzazione dei progetti in modo realistico grazie a una potente tecnologia di rendering 3D. Questo permette di generare immagini fotorealistiche per la presentazione di prototipi, migliorando la comprensione del prodotto da parte dei clienti.
- **Simulazione e analisi:** Solid Edge include funzionalità di simulazione integrata, che consente di eseguire analisi strutturali (come la simulazione agli elementi finiti, FEA), l'analisi del movimento e la simulazione termica per ottimizzare il design e prevedere il comportamento della macchina o del componente sotto diverse condizioni operative. Consente inoltre di analizzare il comportamento dinamico di assemblaggi e meccanismi, permettendo di verificare la cinetica di un sistema meccanico.
- **Disegno 2D:** Solid Edge offre potenti strumenti di disegno 2D che possono essere utilizzati sia per la creazione di schemi tecnici che per la realizzazione di tavole di progetto a partire da modelli 3D. È possibile estrarre facilmente viste 2D di un modello 3D, generando automaticamente le viste ortogonali, le sezioni e le viste assometriche.
- **Interoperabilità con altri software:** Solid Edge supporta l'importazione e l'esportazione di formati di file CAD comuni,

come STEP, IGES, DXF, DWG, Parasolid, ecc. Ciò consente di collaborare facilmente con altri software CAD, riducendo i problemi legati alla compatibilità dei file.

### 3. L'AZIENDA: TEXON ITALIA

Texon Italia [3] è una delle sedi operative di Texon, un'azienda multinazionale produttrice di materiali sostenibili per l'industria delle calzature, della moda e degli accessori. L'azienda italiana, nata a metà degli anni 60, è oggi l'unico produttore nella nazione di materiali cellulosici per calzatura, con soluzioni altamente performanti e dagli elevati standard qualitativi, adatte a soddisfare ogni tipo di esigenza tecnica.[4]

La sede di Texon Italia in questione è situata nel comune di Ripatransone, in provincia di Ascoli Piceno, ed è specializzata nella produzione di materiale cellulosico per sottopiedi di montaggio.

Tutto il processo produttivo viene svolto all'interno dello stabilimento, utilizzando macchinari specializzati nella lavorazione di materiali; infatti, a partire dalla cellulosa, si arriva alla realizzazione del prodotto finito che viene poi immesso sul mercato.

Un punto critico della linea di produzione si trova nella fase finale, quando la carta uscita dagli essiccatori dev'essere avvolta su una bobina. Il problema nasce quando quest'ultima viene riempita ed è necessario convogliare il materiale su una nuova bobina.



*Figura 1: Logo Texon*

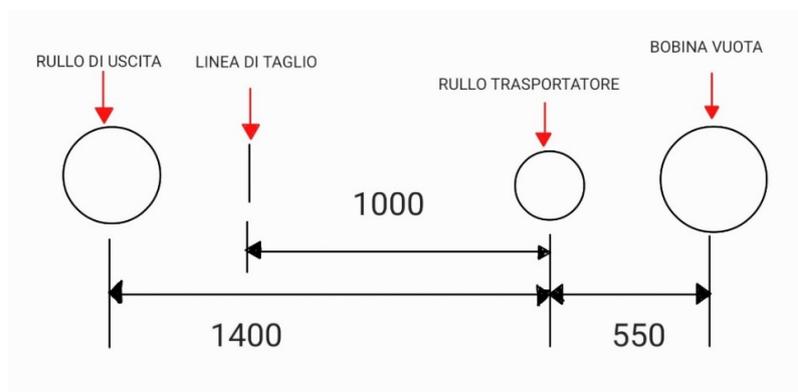
## 4. PROGETTAZIONE

Nelle sezioni seguenti verranno illustrati tutti gli studi e i dimensionamenti eseguiti per lo sviluppo della macchina.

### 4.1 VINCOLI PROGETTUALI

Nella prima fase dello studio sono state analizzate le principali problematiche che vengono riportate di seguito:

1. Spazio limitato: il macchinario dev'essere montato tra il rullo di uscita e il rullo trasportatore, come illustrato nelle Figure 2 e 3.



*Figura 2: Illustrazione spazio disponibile [mm]*



*Figura 3: Spazio disponibile*

Inoltre va considerata la necessità di lasciare un ulteriore spazio utile all'operatore; quest'ultimo durante il processo di taglio, dovrà applicare un adesivo sulla punta del foglio in modo da far aderire il materiale alla nuova bobina.

2. Taglio a V: il taglio va eseguito in modo tale che il punto iniziale di avvolgimento, ovvero la punta della V, si trovi al centro del foglio. Questo perché il non corretto centraggio provocherebbe uno sbilanciamento e una non corretta distribuzione del materiale sulla bobina.

## **4.2 STUDIO DELLA CINEMATICA**

La cinematica di un problema si riferisce allo studio del movimento degli oggetti senza considerare le cause che lo producono (ovvero, senza entrare nel merito delle forze coinvolte). In altre parole, si occupa di descrivere come un oggetto si muove, in termini di

grandezze come la posizione, la velocità e l'accelerazione, ma senza esaminare il motivo per cui si muove.

#### 4.2.1 DIMENSIONAMENTO TAGLIO

In questa sezione vengono descritti i movimenti relativi delle parti in movimento della macchina che producono il taglio desiderato. Nel caso studiato si è pensato a due taglienti che si muovono in direzione perpendicolare al moto della carta, producendo un taglio di forma triangolare. I due taglienti sono distanti l'uno dall'altro di 225 [mm] per esigenze costruttive.

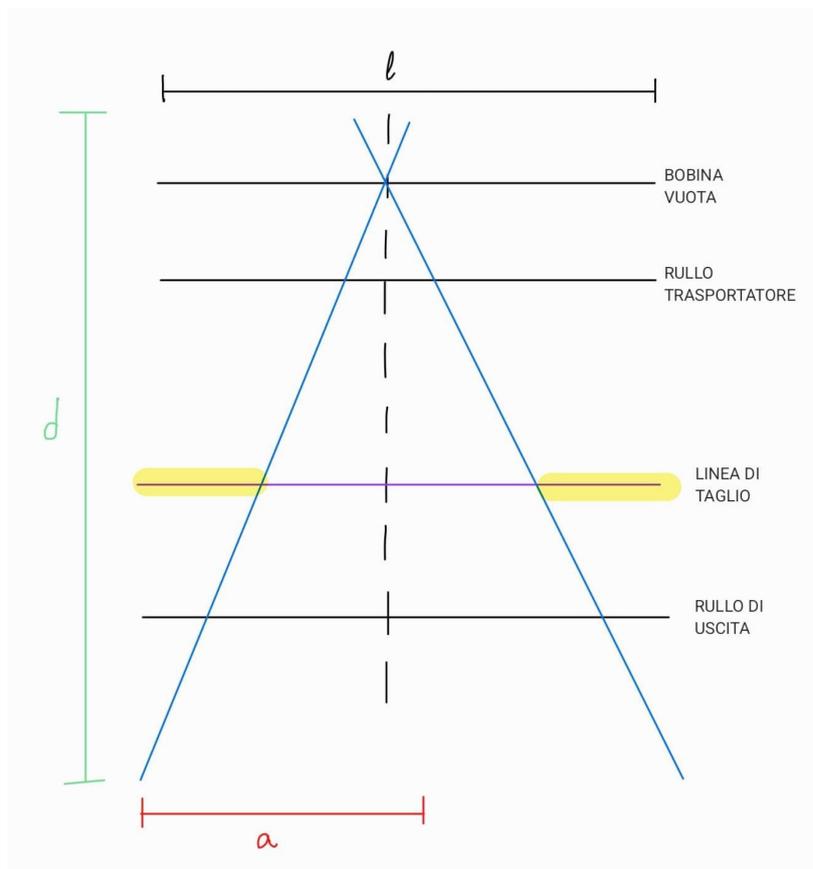


Figura 4: Dimensioni taglio

Nella Figura 4 sono illustrate la forma e le dimensioni del taglio:

- Dimensione “  $l$  ”: larghezza del foglio prodotto dall’azienda, costante e pari a un valore di 1690 [mm].
- Dimensione “  $d$  ”: lunghezza del taglio pari a un valore di 2725 [mm].
- Dimensione “  $a$  ”: larghezza del taglio pari a un valore di 930 [mm].

La scelta di queste dimensioni del taglio nascono dalla necessità di mantenere il foglio unito fino all’istante in cui la punta inizia ad avvolgersi nella bobina vuota, poiché in caso contrario il foglio cadrebbe a terra. Nella Figura 4 sono evidenziate in giallo le zone ancora unite nel suddetto istante. Inoltre il taglio non parte dal centro del foglio ma leggermente spostato, poiché essendo i taglienti distanti l’uno dall’altro, sarebbe difficile iniziare il taglio con una punta perfetta.

La linea di taglio è stata posta a 1000 [mm] dalla bobina vuota a causa dell’ingombro stesso della macchina e per lasciare dello spazio all’operatore che dovrà applicare l’adesivo.

#### **4.2.2 VELOCITÀ TAGLIO**

Una volta definite tutte le dimensioni del taglio, si è passato allo studio della velocità di traslazione del tagliente. L’azienda produce fogli con spessore differenti, variabili tra 0,3 e 3,5 [mm]. A seconda dello spessore la velocità del foglio  $v_1$  varia tra 6 e 30 [m/minuto]. Per produrre il taglio della forma precedentemente studiata, il tagliente deve traslare a una velocità  $v_2$  pari a  $0,34 \cdot v_1$ .

### 4.3 STUDIO DELLA DINAMICA

La dinamica di un problema riguarda lo studio del movimento degli oggetti in relazione alle forze che agiscono su di essi. A differenza della cinematica, che si limita a descrivere come un oggetto si muove (in termini di posizione, velocità e accelerazione), la dinamica si occupa del perché un oggetto si muove, cioè analizza le forze e i momenti che causano il movimento.

Nel nostro caso, l'unica forza agente nel sistema è quella prodotta dalle lame nel momento che incidono il foglio di carta. Per calcolare tale forza di taglio è necessario conoscere vari fattori tra cui la geometria del tagliente, le condizioni operative e le proprietà specifiche del materiale.

Il tagliente che verrà utilizzato nella macchina è lo stesso utilizzato dagli operatori: una semplice lama per “cutter”. Per quanto riguarda, invece, le proprietà specifiche del materiale è fondamentale conoscere il coefficiente di taglio della carta. Essendo il materiale prodotto da Texon, un tipo di carta utilizzato esclusivamente da loro, in letteratura non sono presenti valori di tale coefficiente. L'azienda non disponeva neanche di dati sperimentali motivo per cui il coefficiente è stato scelto pari a quello di un materiale più duro: il legno [5].

Nel caso di sollecitazione di scorrimento lungo le fibre, i valori di resistenza sono molto bassi da un minimo di 4 N/mm<sup>2</sup> ad un massimo di 12 N/mm<sup>2</sup>. Per sollecitazione normale alle fibre la resistenza assume valori notevoli, da un minimo di 12 N/mm<sup>2</sup> ad un massimo di 40 N/mm<sup>2</sup>. Le prove si eseguono su provini indicati in figura come da norme UNI 4144/58.

Resistenza a taglio

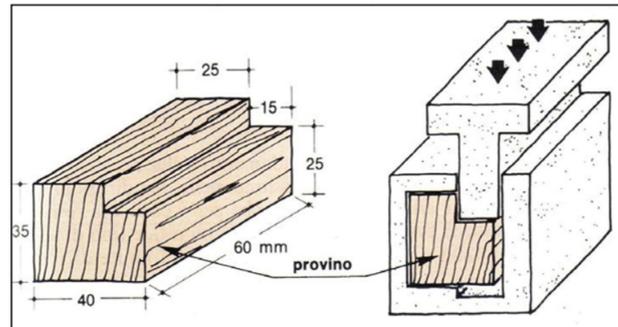


Figura 12: Prova di resistenza al taglio

Figura 5: Coefficiente di resistenza a taglio

Dalla Figura 5 considerando un valore medio del coefficiente di resistenza a taglio e convertendolo in MPa otteniamo  $\tau_s \approx 8 \text{ MPa}$ .

La forza di taglio è stata stimata attraverso la seguente formula:

$$F_t = \tau_s \cdot A$$

dove:

$F_t$  rappresenta la forza di taglio [N]

$\tau_s$  rappresenta il coefficiente di resistenza a taglio [MPa]

$A$  rappresenta l'area di contatto tra foglio e tagliente [mm<sup>2</sup>]

L'area di contatto  $A$  dipende dalla larghezza della lama  $w$  e dalla profondità di penetrazione del tagliente  $d$ . In questo caso  $w$  è pari

a 1 [mm] mentre per la profondità  $d$  utilizziamo lo spessore del foglio maggiore utilizzato da Texon pari a 3,5 [mm]:

$$A = w \cdot d$$

Tuttavia, in questo caso la lama non può compiere un taglio perpendicolare, bensì dovrà essere inclinata per permettere la traslazione orizzontale durante l'operazione. L'area effettiva dunque dipenderà dall'angolo  $\alpha$  di inclinazione del tagliente, il quale influisce sulla lunghezza della lama che concretamente taglia il foglio in un certo istante, risultando:

$$A_{eff} = \frac{w \cdot d}{\cos \alpha}$$

L'angolo  $\alpha$  è stato approssimato a  $60^\circ$  tenendo conto del taglio svolto manualmente dagli operatori. Sostituendo quest'ultima equazione al posto della precedente otteniamo il valore della forza di taglio per singolo tagliente:  $F_t \approx 60 [N]$ .

## **4.4 COMPONENTI DELLA MACCHINA**

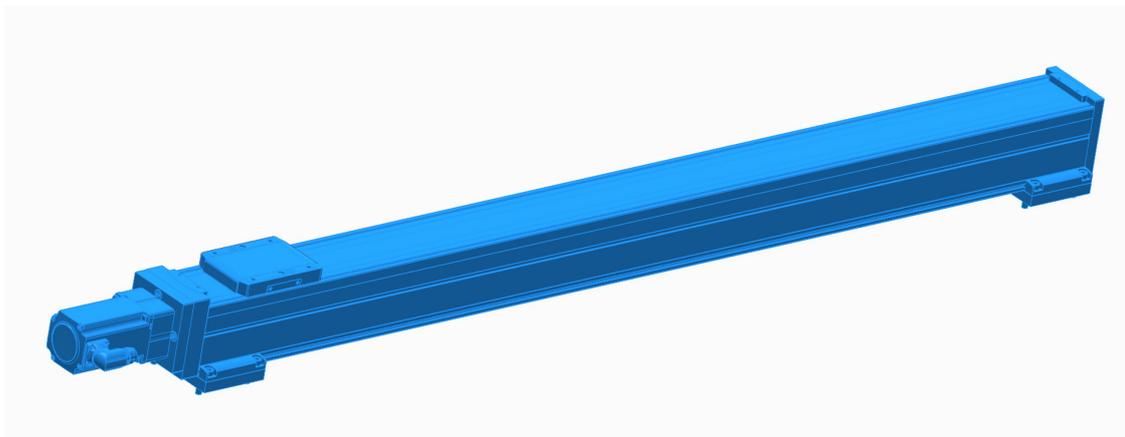
In questa sezione verranno elencati e descritti tutti i componenti utilizzati per la costruzione della macchina.

### **4.4.1 GRUPPO DI TAGLIO**

Il gruppo di taglio comprende le componenti utili alla traslazione orizzontale della lama. Per la sua realizzazione sono state scelte componenti commerciali dal catalogo FESTO [6] come segue:

- Asse a vite FESTO ELGC-BS-KF-80-1000-16P
- Kit di collegamento assiale FESTO EAMM-A-T46-57A
- Motore passo-passo FESTO EMMT-ST-57-M-RM
- 2 Kit di fissaggio FESTO EHAA-D-L2-80-L2-80

Tali componenti dovranno essere considerati due volte, poiché i gruppi di taglio nella macchina saranno due.



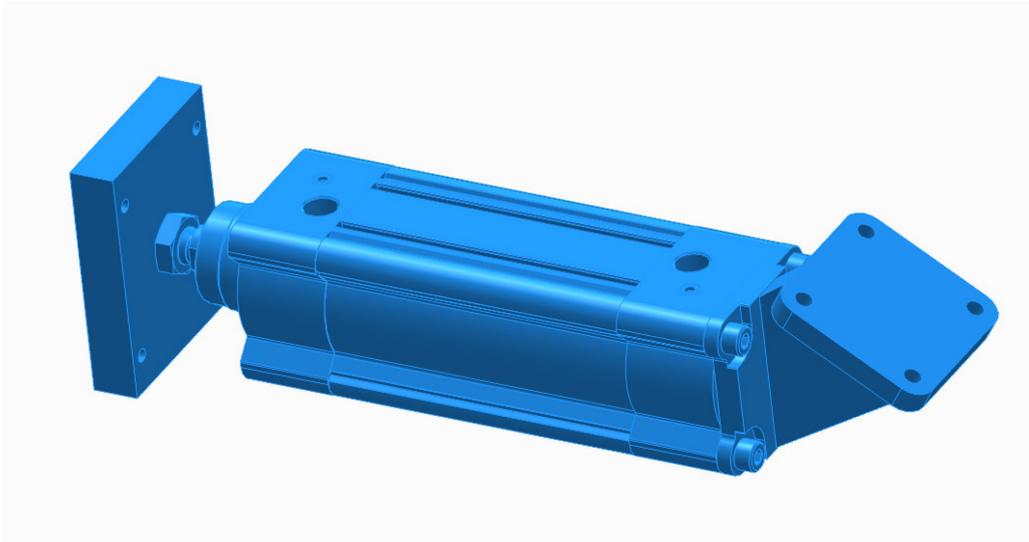
*Figura 6: Gruppo di taglio*

#### **4.4.2 GRUPPO DI AZIONAMENTO**

Il gruppo di azionamento consente, nel momento necessario, di spostare il gruppo di taglio al livello della carta e dunque di iniziare il taglio. È composto da varie componenti, alcune commerciali ed altre disegnate appositamente per questo progetto:

- Attuatore pneumatico FESTO DSBC-63-100-PPVA-N3
- Staffa con inclinazione di 60°
- Staffa di fissaggio all'asse a vite
- Viti di fissaggio

Per ogni gruppo di taglio sono necessari due gruppi di azionamento, dunque, in totale saranno quattro.

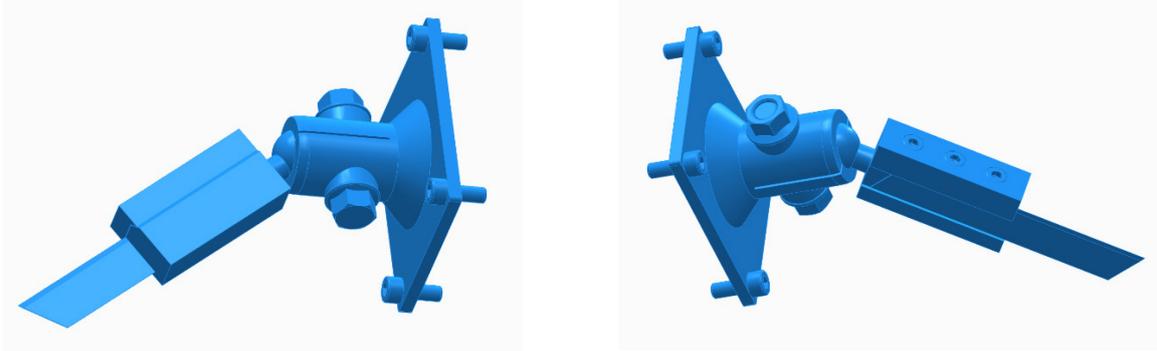


*Figura 7: Gruppo di azionamento*

#### **4.4.3 SUPPORTO PER TAGLIERINA**

Per sostenere la lama della taglierina è stato disegnato un apposito supporto orientabile. È composto da due componenti principali:

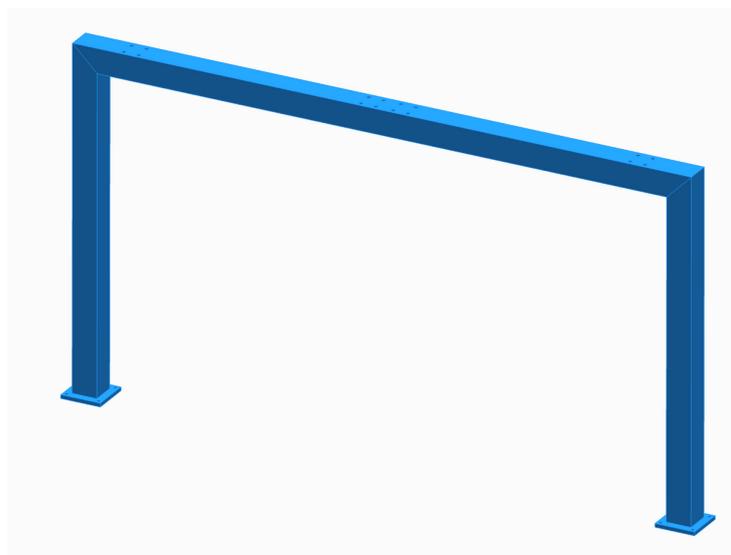
- Supporto della lama per “cutter”: realizzato con due corpi, che attraverso tre viti, vanno ad afferrare la lama;
- Piastra di fissaggio: collega il supporto della lama all’asse a vite e attraverso una cavità sferica permette di orientarlo nella posizione ottimale, il tutto viene poi bloccato con un bullone M10.



*Figura 8: Viste supporto taglierina*

#### **4.4.4 STRUTTURA**

Per sorreggere la macchina è stata disegnata una struttura composta da due colonne, una trave e due piastre di ancoraggio a terra. La struttura non solo dovrà supportare i carichi statici e dinamici, ma anche resistere alle sollecitazioni durante il funzionamento. Per la sua costruzione è stato scelto un tubolare commerciale 100x100x2 [mm] di acciaio da costruzione S235. Nel capitolo seguente verranno svolti i calcoli per verificare il dimensionamento.



*Figura 9: Struttura*

L'altezza delle colonne è stata calcolata pensando di fissare la struttura sul piano rialzato evidenziato in Figura 10, ma nel caso l'azienda volesse fissarla direttamente a terra sarà solo necessario ridefinire l'altezza delle colonne.



*Figura 10: Piano rialzato*

## 4.5 DIMENSIONAMENTO

In questo capitolo verranno analizzati i criteri e i metodi utilizzati per dimensionare i principali componenti della macchina. Questa fase è cruciale nella progettazione di qualsiasi sistema meccanico al fine di garantire che quest'ultimo soddisfi le esigenze funzionali, di sicurezza e di affidabilità. Il dimensionamento è un processo critico che coinvolge una serie di calcoli ingegneristici per ottimizzare il sistema e massimizzare le prestazioni in base ai requisiti richiesti.

### 4.5.1 DIMENSIONAMENTO GRUPPO DI TAGLIO

Per il dimensionamento del gruppo di taglio, essendo composto interamente da componenti commerciali FESTO, è stato utilizzato un loro tool di progettazione digitale, disponibile sul sito [www.festo.com](http://www.festo.com), denominato *Electric Motion Sizing*. Inserendo i principali parametri del taglio (lunghezza, velocità, forze) il tool ci mostra varie soluzioni. Di seguito viene mostrata la configurazione scelta:

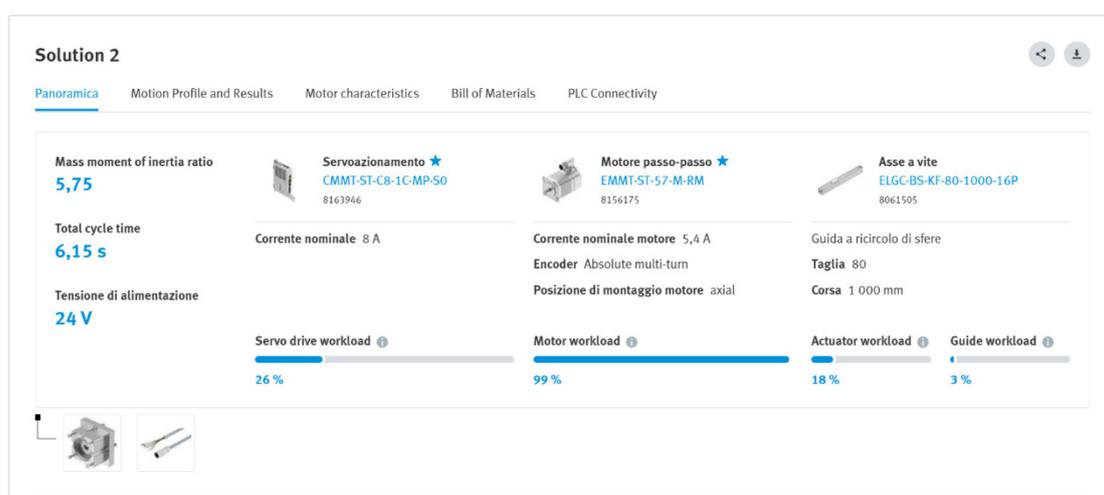


Figura 11: Configurazione gruppo di taglio

## 4.5.2 DIMENSIONAMENTO ATTUATORE

Il dimensionamento dell'attuatore pneumatico è stato effettuato tenendo conto della corsa necessaria e delle forze in gioco. Il suo ruolo è quello di abbassare il gruppo di taglio per metterlo in contatto con la carta ed iniziare l'operazione di taglio. Considerando di voler abbassare il gruppo di taglio di un'altezza  $h = 50 [mm]$  e tenendo conto dell'angolo di inclinazione  $\alpha = 30^\circ$ , la corsa dell'attuatore  $c$  è stata calcolata con la seguente equazione:

$$c = \frac{h}{\sin 30^\circ} = 100 [mm]$$

Per quanto riguarda il dimensionamento delle forze, verrà presa in considerazione solo la forza peso del gruppo di taglio poiché le forze sviluppate sulla lama durante il taglio, possono essere trascurate essendo di piccola entità. La massa del gruppo di taglio è pari a 13 Kg dunque la forza peso sarà circa 130 N.

Essendo due gli attuatori che sorreggono il gruppo di taglio, ognuno dovrà lavorare con una forza di circa 65 N. Di seguito è riportata l'immagine dell'attuatore scelto, il quale ha una forza in spinta e in corsa di ritorno superiore ai 1000 N, più che sufficiente per compiere il loro lavoro.



Figura 12: Attuatore pneumatico scelto

### 4.5.3 DIMENSIONAMENTO COLONNE STRUTTURA

Le colonne della struttura devono essere dimensionate per sopportare i carichi verticali e le forze laterali, garantendo la rigidità necessaria a minimizzare vibrazioni e movimenti durante il funzionamento. In questo caso, come specificato precedentemente, verrà utilizzato un tubolare 100x100x2 [mm] di acciaio da costruzione S235. Per il dimensionamento le forze di taglio, essendo di piccola entità, verranno trascurate e verranno prese in considerazione solo le forze peso del sistema di taglio e della trave. Dunque, essendo le colonne sottoposte solo a carichi di compressione, verrà valutata l'instabilità elastica per carico di punta.

La forza critica  $F_{cr}$  rappresenta il carico massimo che una colonna può sopportare prima di cedere per instabilità elastica, portando la struttura a incurvarsi pericolosamente, e può essere calcolata con la seguente equazione:

$$F_{cr} = C \cdot \frac{E \cdot J}{L^2}$$

in cui:

$C = \frac{1}{4}$  costante dipendente dalle condizioni di carico

$E = 200 [GPa]$  modulo di elasticità del materiale

$J = \frac{H^4 - h^4}{12}$  momento d'inerzia (per sezione quadrata)

$L = 1350 [mm]$  altezza della colonna

Sostituendo tutti i valori nell'equazione si ottiene  $F_{cr} = 34500 \text{ N}$  la quale, considerando che su ogni colonna agisce una forza peso di circa  $320 \text{ N}$ , è ampiamente verificata. Anzi, sarebbe possibile scegliere tubolari di sezione inferiore.

#### **4.5.4 DIMENSIONAMENTO TRAVE STRUTTURA**

La verifica della resistenza a flessione di una trave è un calcolo fondamentale nell'ambito della progettazione strutturale per garantire che la trave sia in grado di sopportare i carichi a cui è sottoposta senza subire danni.

La flessione in una trave è causata dai momenti flettenti che generano sollecitazioni interne. La verifica della resistenza a flessione si basa sulla teoria della flessione delle travi e sulla resistenza dei materiali.

In questo caso, la trave è sottoposta solo all'azione della forza peso del sistema di taglio, dunque, per semplificare i calcoli, la considero un'unica forza applicata al centro della trave. Per la verifica della resistenza a flessione verrà prima calcolato il momento flettente massimo  $M_{max}$ , e successivamente il modulo di resistenza minimo  $W_{min}$ , che verrà poi confrontato con il modulo di resistenza della trave scelta per il progetto.

In questo caso, avendo un carico concentrato al centro della trave si può utilizzare la seguente formula:

$$M_{max} = \frac{P \cdot L}{4}$$

dove:

$P = 350 \text{ N}$  forza peso al centro della trave (calcolata considerando che il peso dell'intero sistema di taglio equivale a circa 35 Kg)

$L = 2,4 \text{ [m]}$  lunghezza della trave

Sostituendo i valori nell'equazione si ottiene  $M_{max} = 210 \text{ [N/m]}$ .

Per il calcolo del modulo di resistenza minimo si utilizza la seguente formula:

$$W_{min} = \frac{M_{max}}{\sigma}$$

dove  $\sigma = 160 \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$  indica la resistenza a flessione del materiale (acciaio da costruzione S235).

Sostituendo i valori nell'equazione si ottiene  $W_{min} \cong 1,3 \text{ [cm}^3\text{]}$ . Essendo il modulo di resistenza della trave scelta (100x100x2 [mm] acciaio da costruzione S235) pari a 25,11 [cm<sup>3</sup>], essa è nettamente verificata, anzi, anche in questo caso si potrebbe scegliere un tubolare di sezione inferiore.

#### **4.5.5 FISSAGGIO A TERRA**

Il dimensionamento del fissaggio a terra è una parte fondamentale della progettazione di strutture che necessitano di essere ancorate al suolo per garantire stabilità e resistenza.

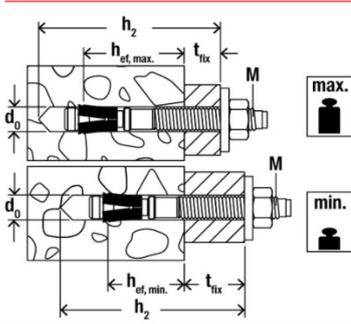
In questo caso è stato scelto un ancorante metallico per il fissaggio a terra valutando il catalogo della Fisher [7].

Analizzando le seguenti Tabelle 1 e 2 è stato scelto di utilizzare, per ogni piastra, quattro ancoranti M12, i cui valori di resistenza

sono nettamente superiori alle forze sviluppate dalla struttura e lo spessore massimo fissabile è maggiore del necessario.

**Dati tecnici FAZ II Plus**

Ancorante a battente FAZ II Plus



FAZ II Plus	Art.	Certificazioni <sup>1)</sup>			Diametro foro	Prof. foro min per test.	Lunghezza ancorante	Profondità di ancoraggio efficace standard e rispettivo spessore fissabile <sup>2)</sup>	Profondità di ancoraggio efficace minima e rispettivo spessore fissabile	Filettatura	Chiave serraggio	Conf.					
		Acciaio zincato	Acciaio inossidabile	Acciaio alla resistenza alla corrosione									ETA	ICC	CI/ C2		
Prodotto		g/vz	R	HCR	ETA	ICC	CI/ C2	d <sub>1</sub> (mm)	h <sub>2</sub> (mm)	L (mm)	h <sub>ancor</sub> (mm)	t <sub>fix</sub> (mm)	h <sub>ancor</sub> (mm)	t <sub>fix</sub> (mm)	Ø x L (mm)	SW (Nm)	[pz]
FAZ II Plus 6/70	504572	504607	—	•	—	•	—	6	60	85	40	10	—	—	M 8 x 25	10	50
FAZ II Plus 6/20	504573	504608	—	•	—	•	—	6	70	75	40	20	—	—	M 8 x 35	10	50
FAZ II Plus 8/70	504574	504609	—	•	•	•	—	8	68	75	45	10	35 <sup>3)</sup>	20	M 8 x 38	13	50
FAZ II Plus 8/70	—	—	—	•	•	•	—	8	68	75	45	10	35 <sup>3)</sup>	20	M 8 x 38	13	50
FAZ II Plus 8/30	504575	504610	—	•	•	•	—	8	88	95	45	30	35 <sup>3)</sup>	40	M 8 x 58	13	50
FAZ II Plus 8/30	—	—	—	•	•	•	—	8	88	95	45	30	35 <sup>3)</sup>	40	M 8 x 58	13	50
FAZ II Plus 8/50	504576	504611	—	•	•	•	—	8	108	115	45	50	35 <sup>3)</sup>	60	M 8 x 78	13	50
FAZ II Plus 8/50	—	—	—	•	•	•	—	8	108	115	45	50	35 <sup>3)</sup>	60	M 8 x 78	13	50
FAZ II Plus 8/100	504577	—	—	•	•	•	—	8	158	165	45	100	35 <sup>3)</sup>	110	M 8 x 128	13	25
FAZ II Plus 8/100	—	—	—	•	•	•	—	8	158	165	45	100	35 <sup>3)</sup>	110	M 8 x 128	13	25
FAZ II Plus 8/160	504578	—	—	•	•	•	—	8	218	225	45	160	35 <sup>3)</sup>	170	M 8 x 100	13	20
FAZ II Plus 8/160	—	—	—	•	•	•	—	8	218	225	45	160	35 <sup>3)</sup>	170	M 8 x 100	13	20
FAZ II Plus 10/10	504579	504612	—	•	•	•	—	10	85	95	60	10	40	30	M 10 x 53	17	10
FAZ II Plus 10/10	—	—	—	•	•	•	—	10	85	95	60	10	40	30	M 10 x 53	17	10
FAZ II Plus 10/20	504580	—	—	•	•	•	—	10	95	105	60	20	40	40	M 10 x 63	17	25
FAZ II Plus 10/20	—	—	—	•	•	•	—	10	95	105	60	20	40	40	M 10 x 63	17	25
FAZ II Plus 10/30	504581	—	—	•	•	•	—	10	105	115	60	30	40	50	M 10 x 73	17	25
FAZ II Plus 10/30	—	—	—	•	•	•	—	10	105	115	60	30	40	50	M 10 x 73	17	25
FAZ II Plus 10/30	—	—	—	•	•	•	—	10	105	115	60	30	40	50	M 10 x 73	17	10
FAZ II Plus 10/50	504582	504615	—	•	•	•	—	10	125	135	60	50	40	70	M 10 x 93	17	20
FAZ II Plus 10/50	—	—	—	•	•	•	—	10	125	135	60	50	40	70	M 10 x 93	17	20
FAZ II Plus 10/70	—	—	—	•	•	•	—	10	145	155	60	70	40	90	M 10 x 113	17	20
FAZ II Plus 10/80	504583	—	—	•	•	•	—	10	155	165	60	80	40	100	M 10 x 123	17	20
FAZ II Plus 10/100	504584	504617	—	•	•	•	—	10	175	185	60	100	40	120	M 10 x 143	17	20
FAZ II Plus 10/100	—	—	—	•	•	•	—	10	175	185	60	100	40	120	M 10 x 143	17	20
FAZ II Plus 10/160	504585	504618	—	•	•	•	—	10	235	245	60	160	40	180	M 10 x 193	17	20
FAZ II Plus 12/70	504586	504619	—	•	•	•	—	12	98	110	70	10	50	30	M 12 x 61	19	20
FAZ II Plus 12/70	—	—	—	•	•	•	—	12	98	110	70	10	50	30	M 12 x 61	19	20
FAZ II Plus 12/20	504587	504620	—	•	•	•	—	12	109	120	70	20	50	40	M 12 x 71	19	20
FAZ II Plus 12/30	504588	504621	—	•	•	•	—	12	119	130	70	30	50	50	M 12 x 81	19	20
FAZ II Plus 12/30	—	—	—	•	•	•	—	12	119	130	70	30	50	50	M 12 x 81	19	10
FAZ II Plus 12/50	504589	504622	—	•	•	•	—	12	139	150	70	50	70	70	M 12 x 101	19	20
FAZ II Plus 12/50	—	—	—	•	•	•	—	12	139	150	70	50	70	70	M 12 x 101	19	20
FAZ II Plus 12/60	—	—	—	•	•	•	—	12	149	160	70	60	80	80	M 12 x 111	19	20
FAZ II Plus 12/60	—	—	—	•	•	•	—	12	149	160	70	60	80	80	M 12 x 111	19	20
FAZ II Plus 12/80	504590	—	—	•	•	•	—	12	169	180	70	80	50	100	M 12 x 131	19	20
FAZ II Plus 12/80	—	—	—	•	•	•	—	12	169	180	70	80	50	100	M 12 x 131	19	20
FAZ II Plus 12/100	504591	504624	—	•	•	•	—	12	189	200	70	100	50	120	M 12 x 151	19	20
FAZ II Plus 12/100	—	—	—	•	•	•	—	12	189	200	70	100	50	120	M 12 x 151	19	20
FAZ II Plus 12/160	504592	—	—	•	•	•	—	12	249	260	70	160	50	180	M 12 x 186	19	10

Tabella 1: Valori spessori fissabili

**FAZ II Plus - Carichi ammissibili per azioni di carico statiche**

Carichi ammissibili di un ancorante singolo<sup>1)</sup> in calcestruzzo normale con classe di resistenza C20/25. Per la progettazione deve essere presa in considerazione la valutazione tecnica completa ETA-19/0520 del 22.05.2023.

Tipo	Materiale/superficie <sup>2)</sup>	Profondità di ancoraggio efficace h <sub>ef</sub> [mm]	Spessore min. supporto h <sub>min</sub> [mm]	Coppia di serraggio t <sub>test</sub> [Nm]	Calcestruzzo fessurato				Calcestruzzo non fessurato			
					Carico ammissibile a trazione (N <sub>amm</sub> ) e carico ammissibile a taglio (V <sub>amm</sub> ); interasse minimo (s <sub>min</sub> ) e distanza dal bordo (c <sub>min</sub> ) con riduzione dei carichi	N <sub>amm</sub> <sup>3)</sup> [kN]	V <sub>amm</sub> <sup>3)</sup> [kN]	s <sub>min</sub> <sup>3)</sup> [mm]	c <sub>min</sub> <sup>3)</sup> [mm]	Carico ammissibile a trazione (N <sub>amm</sub> ) e carico ammissibile a taglio (V <sub>amm</sub> ); interasse minimo (s <sub>min</sub> ) e distanza dal bordo (c <sub>min</sub> ) con riduzione dei carichi	N <sub>amm</sub> <sup>3)</sup> [kN]	V <sub>amm</sub> <sup>3)</sup> [kN]
FAZ II Plus 6	g/vz	40	80	8	0,7	4,3	35	40	5,0	4,3	35	40
	g/vz	80	120	8	0,7	4,3	35	40	5,0	4,3	35	40
	R	40	80	8	0,7	5,0	35	40	5,0	5,0	35	40
	R	80	120	8	0,7	5,0	35	40	5,0	5,0	35	40
FAZ II Plus 8	g/vz	35	80	20	2,6	8,5	35	40	4,8	9,3	40	40
	g/vz	90	140	20	3,8	9,3	35	40	6,7	9,3	40	40
	R	35	80	20	2,6	8,5	35	40	4,8	10,1	40	40
	R	90	140	20	3,8	10,1	35	40	6,7	10,1	40	40
FAZ II Plus 10	g/vz	40	80	45	4,1	10,8	40	45	5,9	15,0	40	45
	g/vz	100	150	45	6,2	15,0	40	45	9,5	15,0	40	45
	R	40	80	45	4,1	10,8	40	45	5,9	15,1	40	45
	R	100	150	45	6,2	15,1	40	45	9,5	15,1	40	45
FAZ II Plus 12	g/vz	50	100	60	5,8	18,0	50	55	8,3	21,1	50	55
	g/vz	125	190	60	9,5	21,1	50	55	10,5	21,1	50	55
	R	50	100	60	5,8	18,0	50	55	8,3	24,1	50	55
	R	125	190	60	9,5	24,1	50	55	10,5	24,1	50	55

Tabella 2: carichi ammissibili

## 5. FUNZIONAMENTO

Al fine di effettuare il taglio nel migliore dei modi, in questo capitolo verrà spiegata la corretta sequenza di azionamento della macchina.

Dal momento che si presenta la necessità di cambiare bobina, il taglio verrà eseguito come segue:

- Azionamento degli attuatori pneumatici del primo gruppo di taglio e azionamento dell'asse a vite, la posizione di partenza della lama dovrà essere di 930 [mm] dal bordo del foglio;
- Attesa di un tempo  $t$  dipendente dalla velocità della carta, calcolabile con la seguente equazione:

$$t = \frac{s \cdot 60}{v_1} [s]$$

in cui:

$s = 0,225$  [m] distanza tra i due gruppi di taglio

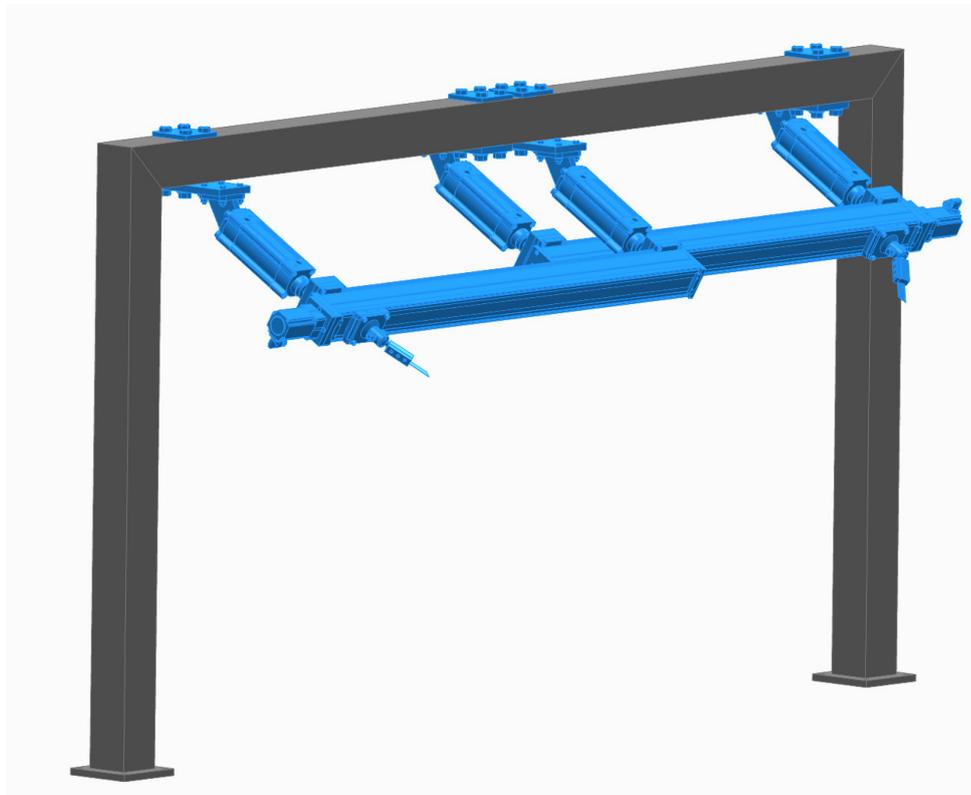
$v_1 = x$  [ $\frac{m}{min}$ ] velocità attuale della carta

- Azionamento degli attuatori del secondo gruppo di taglio e azionamento dell'asse a vite, anche in questo caso la posizione di partenza della lama dovrà essere di 930 [mm] dall'altro bordo del foglio;
- Terminato il taglio, tutti gli attuatori verranno azionati per tornare alla posizione di partenza.

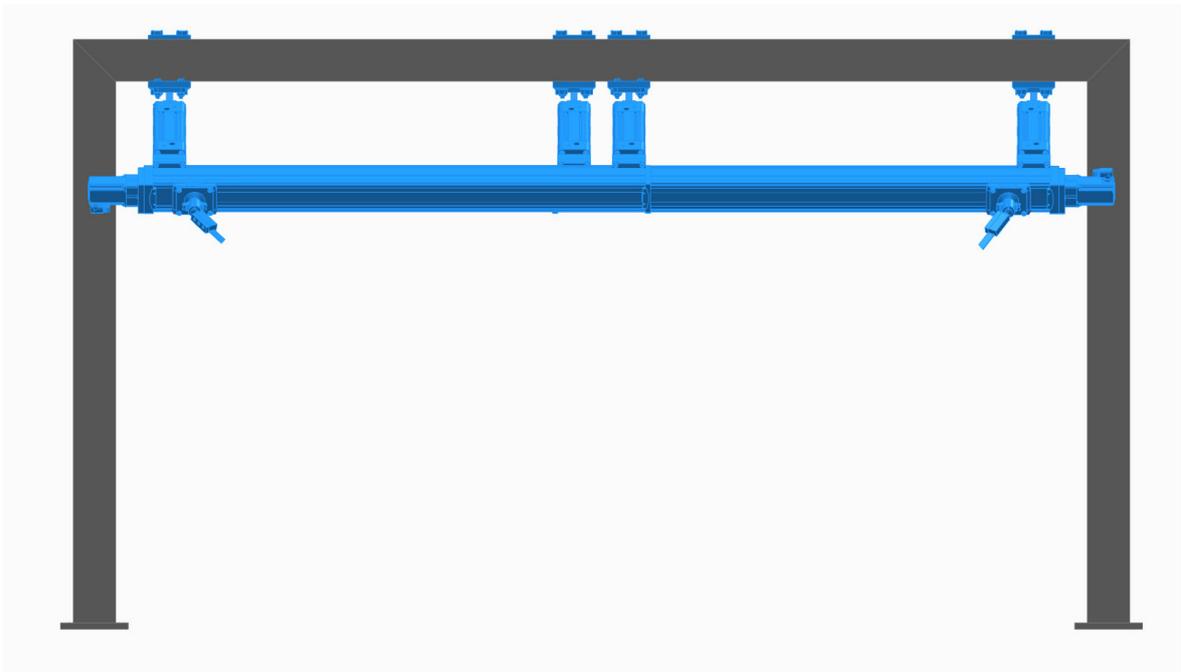
## 6. MODELLO 3D CAD

In questo capitolo verrà presentato il modello 3D CAD del sistema di taglio progettato, realizzato attraverso il software Solid Edge. In ambito ingegneristico e industriale, la modellazione tridimensionale viene utilizzata per progettare, visualizzare, testare e produrre oggetti in modo più preciso ed efficiente rispetto ai metodi tradizionali, consentendo di minimizzare gli errori, ottimizzare gli spazi e impiegare molto meno tempo.

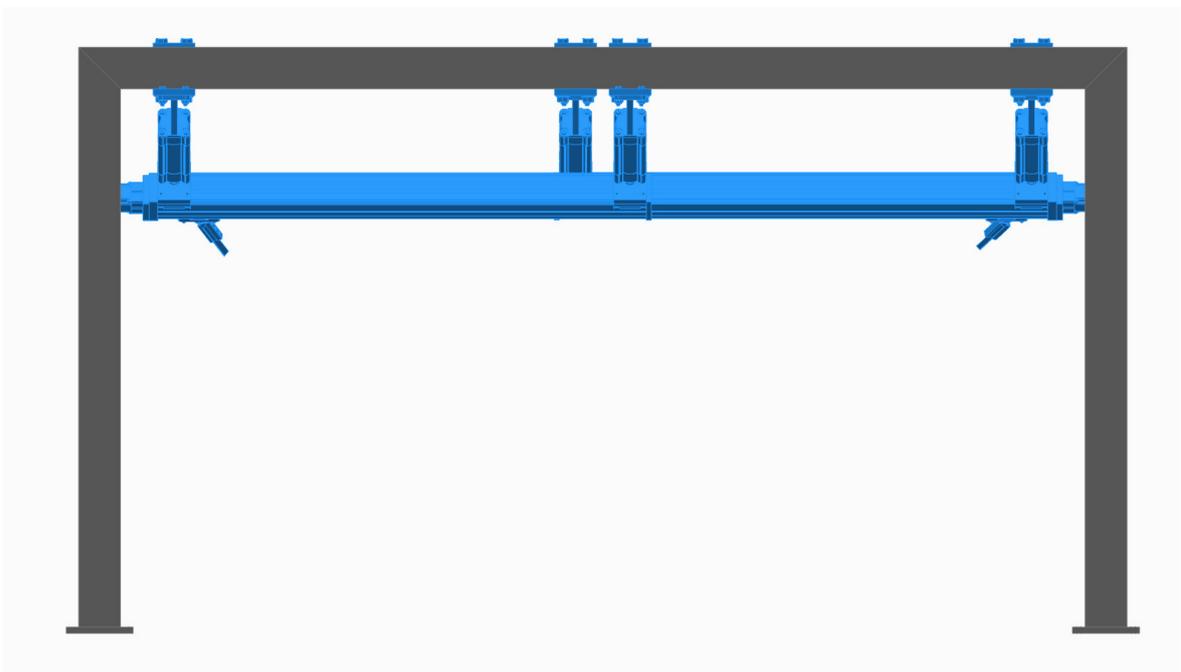
Di seguito sono presentate le immagini delle varie viste d'assieme della macchina.



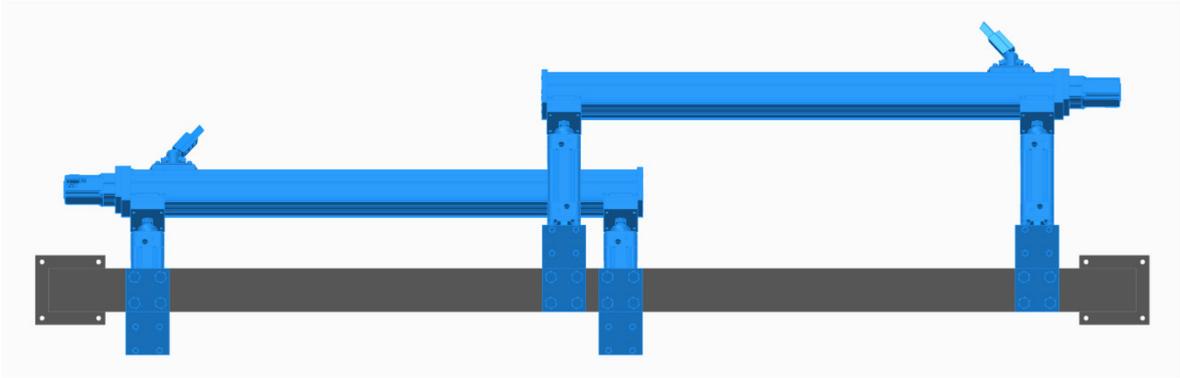
*Figura 13: Assieme macchina*



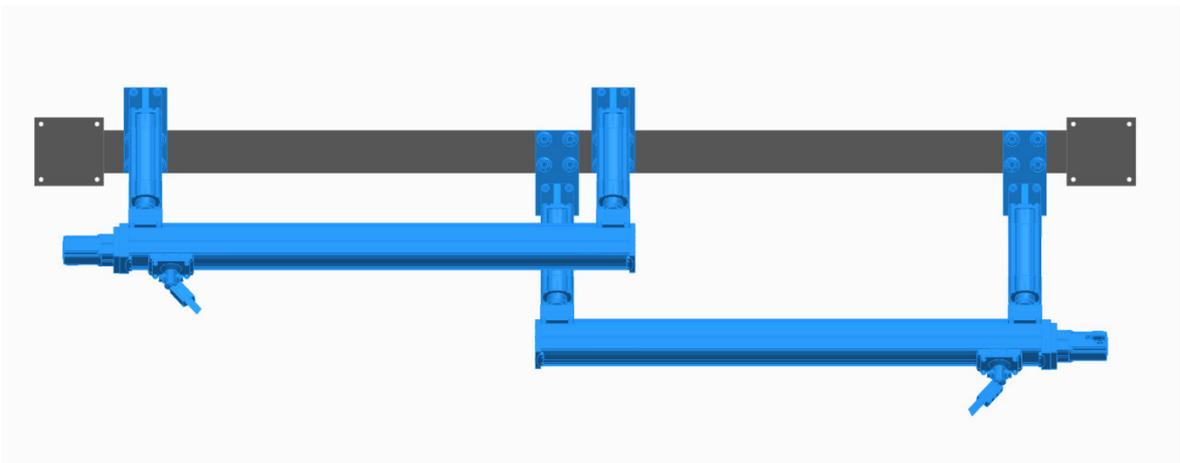
*Figura 14: Vista frontale assieme*



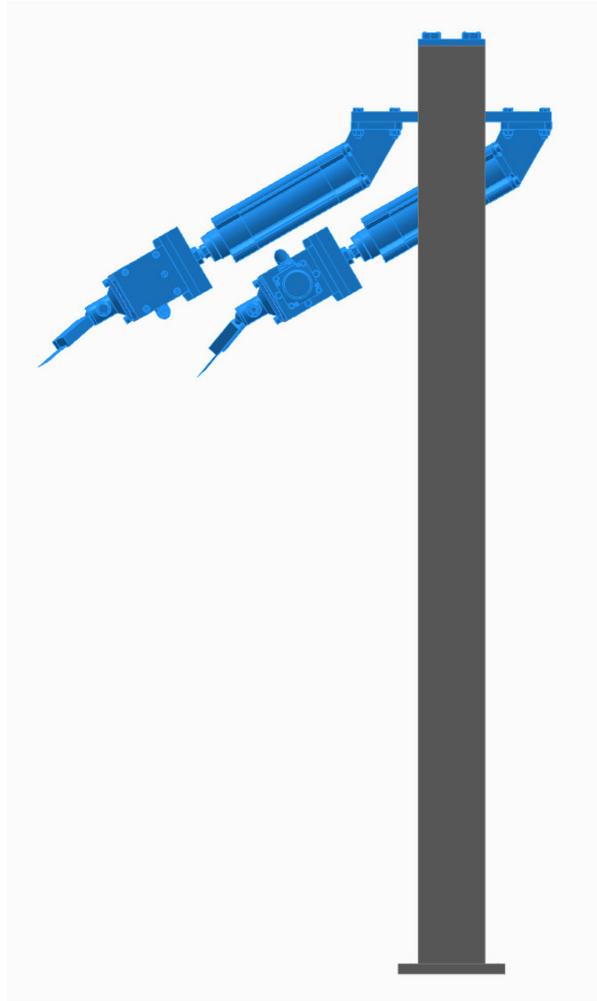
*Figura 15: Vista posteriore assieme*



*Figura 16: Vista assieme dall'alto*



*Figura 17: Vista assieme dal basso*



*Figura 18: Vista assieme laterale*

## 7. COSTO DELLA MACCHINA

L'analisi dei costi per la progettazione di una macchina è un processo fondamentale per determinare il budget necessario, le risorse da allocare, e la sostenibilità economica di un progetto. La corretta valutazione dei costi può determinare se il progetto è finanziariamente valido e se è possibile realizzarlo rispettando i tempi e le risorse disponibili.

Per la stima dei costi è stata eseguita una ricerca online dei prezzi medi per le componenti commerciali, mentre per le piastre disegnate e la viteria è stato stimato un costo di 500 €.

Di seguito è riportata la tabella con tutti i costi e il totale:

Parte	Quantità	Costo unitario	Costo totale
Asse a vite	2	1.300,00 €	2.600,00 €
Kit collegamento assiale	2	70,00 €	140,00 €
Motore	2	700,00 €	1.400,00 €
Attuatore	4	120,00 €	480,00 €
Kit fissaggio	4	40,00 €	160,00 €
Tubolare struttura	6	20,00 €	120,00 €
Piastre varie e viteria			500,00 €
Ancorante Fisher	8	3,00 €	24,00 €
<b>TOTALE</b>			<b>5.424,00 €</b>

*Tabella 3: Costi componenti*

## **8. CONCLUSIONI**

Gli obiettivi principali di questo progetto, ovvero migliorare la sicurezza degli operatori e migliorare l'efficienza del taglio, sono stati pienamente raggiunti. La macchina di taglio automatizzata elimina la necessità di eseguire il taglio manualmente dagli operatori, i quali ora si occuperanno solamente di applicare l'adesivo rimanendo a distanza di sicurezza dalla macchina in movimento. A tal proposito, al fine di mettere in sicurezza ulteriormente la macchina, si è pensato a un possibile miglioramento applicando un pannello di sicurezza interposto tra la zona di taglio e la zona in cui l'operatore deve applicare l'adesivo.

Nonostante la macchina progettata soddisfi gli obiettivi prefissati, è importante mantenere un approccio flessibile e aperto a miglioramenti, permettendo di ottimizzare ulteriormente le prestazioni e l'efficienza della macchina, resolvendo eventuali problemi che si verranno a creare durante la realizzazione e la messa in servizio della stessa.

Questa macchina è stata creata per rispondere a esigenze uniche e specifiche, che non potevano essere soddisfatte con soluzioni già esistenti, dimostrando la necessità di innovazione e personalizzazione nell'ambito industriale.

# Bibliografia

[1] International Organization for Standardization. Sicurezza delle macchine — principi generali di progettazione — valutazione e riduzione del rischio. ISO 12100, 2010

[2] Siemens – Solid Edge. <https://solidedge.siemens.com/it/>, 2024.

[3] Texon International Group Ltd – Texon Italia. <https://www.texon.com/contact-us/italy-2/>, 2024.

[4] Mpa Style. <https://www.mpastyle.it/texon-italia-qualita-senza-compromessi/>, 2018.

[5] Università degli Studi di Cagliari. [https://dipcia.unica.it/superf/Degrado/Legno CAPITOLO1.pdf](https://dipcia.unica.it/superf/Degrado/Legno_CAPITOLO1.pdf), 2024.

[6] Festo Spa. <https://www.festo.com/it/it/>, 2024.

[7] Fischer Italia S.r.l. Unipersonale. Catalogo FAZ II Plus. [https://fiproductmedia.azureedge.net/media/Marketing%20Materials/Catalog%20pages/VKU\\_FAZ-II-PLUS-CATALOG IT.pdf/](https://fiproductmedia.azureedge.net/media/Marketing%20Materials/Catalog%20pages/VKU_FAZ-II-PLUS-CATALOG_IT.pdf/), 2024.