

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

***Relazione per la prova finale  
«Sistema di piegatura incrementale:  
progettazione gruppo motori e  
determinazione volumi di lavoro»***

Tutor universitario: Prof. Andrea Ghiotti

Laureando: *Zuanetto Filippo 2002027*

Padova, 07/03/2024

La seguente parte riassume lo sviluppo della tesi.

La tesi si svolge in 2 punti principali.

La prima riguarda la determinazione dei motori elettrici più appropriati e per far ciò sono necessari i seguenti dati:

- Forze agenti sul rullo ( $F_x=80000\text{N}$  ,  $F_z=84000\text{N}$  ,  $F_y=26000\text{N}$ )
- Tipologia dell'utensile
- Tipologia di movimentazioni richieste dall'utensile
- Dimensioni effettive dell'utensile

Il primo dato è stato fornito/ipotizzato dai professori sulla base dei possibili materiali da piegare e di uno studio eseguito sull'odierna Flex-roll da un precedente tesista.

A livello decisionale, il secondo e terzo dato sono stati ricavati da brainstorming comuni tra i vari colleghi partecipanti al progetto per la scelta della configurazione migliore.

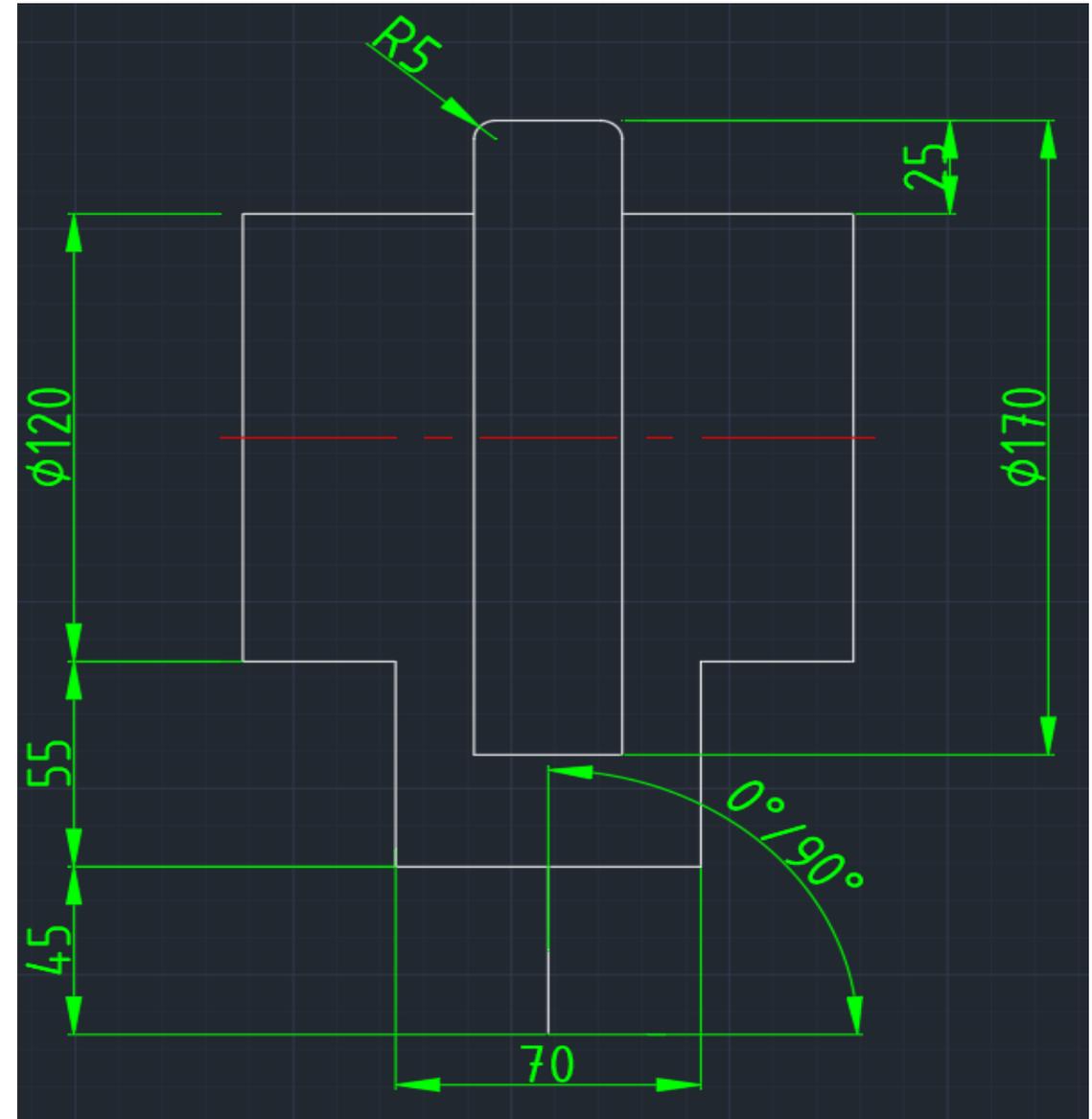
Il quarto e ultimo dato è stato fornito dal lavoro del collega Giacomo Zaniboni.

Il mio lavoro verte sulla determinazione del gruppo motore-riduttore migliore in grado di sostenere la configurazione più critica durante l'operazione di piegatura.

Il secondo punto riguarda la determinazione dei volumi di lavoro in base alle dimensioni dell'utensile e ai componenti da creare.

A lato viene mostrato l'ingombro sul piano dell'utensile, viene considerato un braccio di 245mm. Tale braccio è stato scelto considerando, in prima battuta, un aumento di 45mm.

Esso tiene conto del possibile raggio dell'albero e di spessori tra la base e la guida a coda di rondine (non rappresentata).



Per eseguire il corretto dimensionamento dei motori è necessario capire qual è lo sforzo maggiore che esso deve essere in grado di resistere. Per tale motivazione, per le movimentazioni degli assi X e Z si è scelto di procedere prendendo come dato in input la forza massima agente lungo gli stessi.

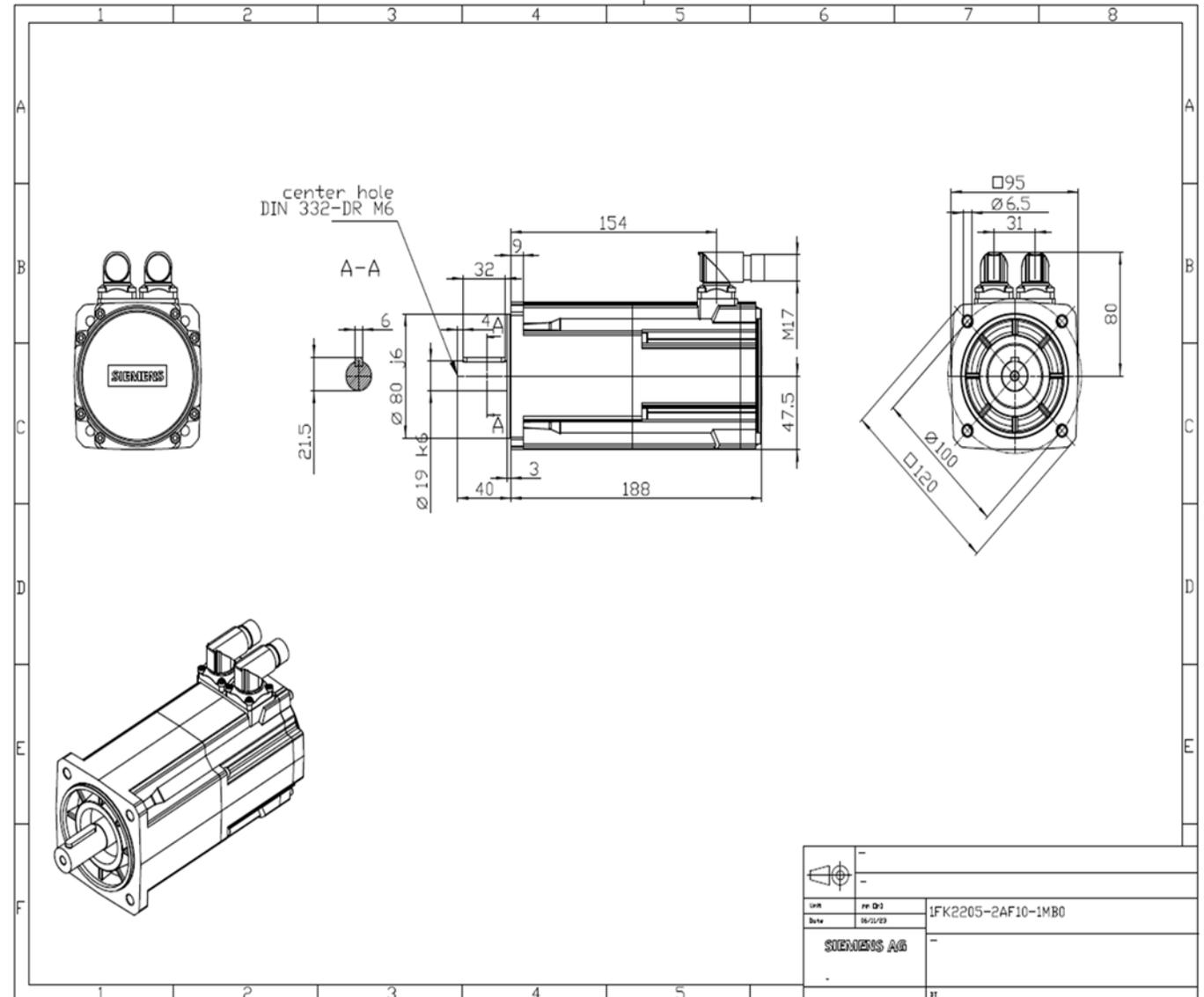
Il valore di tale forza è 84 kN per cui tutti i componenti devono sopportare tale carico. A partire dalla forza di 84 kN, che ogni singola vite della catena cinematica deve sopportare, sono stati calcolati i vari parametri dei componenti fino alla coppia motrice che deve essere generata dal motore elettrico.

Di seguito vengono riportate le principali formule utilizzate con relative operazioni:

$$F_{vite} = T' \cdot 2\pi / p_{vite} = 84000N$$

È stato scelto di utilizzare viti con passo 2mm, di conseguenza si ricava la coppia motrice:

$$T' = F_{vite} \cdot p_{vite} / 2\pi = 84000N \cdot 0,002m / 2\pi = 26,8Nm$$



A lato sono riportati i dati tecnici fondamentali del motore elettrico 1FK2205-2AF10-1MB0.

### Dati base del motore Basic motor data

Tipo di motore Motor type	Motore sincrono a magneti permanenti, Ventilazione naturale, IP64 Permanent-magnet synchronous motor, Natural cooling, IP64
Tipo di motore Motor type	Compact
Coppia da fermo Static torque	3,60 Nm
Corrente da fermo Static current	2,9 A
Coppia max. Maximum torque	10,80 Nm
Corrente max. Maximum current	9,5 A
Numero di giri max. Maximum speed	6.000 giri/min
Momento di inerzia del motore Rotor moment of inertia	4,0500 kgcm <sup>2</sup>
Peso Weight	4,8 kg

### Dati nominali Rated data

SINAMICS S120, BLM/SLM 3AC 400 V  
SINAMICS S120, BLM/SLM 3AC 400V

Velocità nominale Rated speed	3.000 giri/min
Coppia nominale Rated torque	3,00 Nm
Corrente nominale Rated current	2,5 A
Potenza nominale Rated power	0,94 kW

### Dati meccanici Mechanical data

Forma costruttiva secondo Code I Design acc. to Code I	IM B5 (IM V1,IM V3)
Grado di vibrazione Vibration severity grade	Livello A Grade A
Altezza d'asse Shaft height	48
Grandezza della flangia (AB) Flange size (AB)	95 mm
Bordo di centratura (N) Centering ring (N)	80 mm
Cerchio di fori (M) Hole circle (M)	100 mm
Foro di avvitamento (S) Screw-on hole (S)	6,5 mm
Lunghezza costruttiva (LB) Overall length (LB)	188 mm
Diametro dell'albero (D) Diameter of shaft (D)	19 mm
Lunghezza dell'albero (E) Length of shaft (E)	40 mm
Quota diagonale flangia (P) Length of flange diagonal (P)	120 mm
Estremità d'albero Shaft end	Con chiave Fitted key
Colore della custodia Color of the housing	Standard (Antracite, simile a RAL 7016) Standard (Anthracite, similar to RAL 7016)

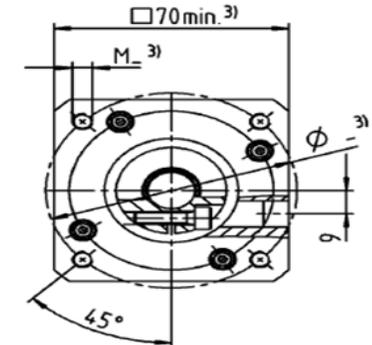
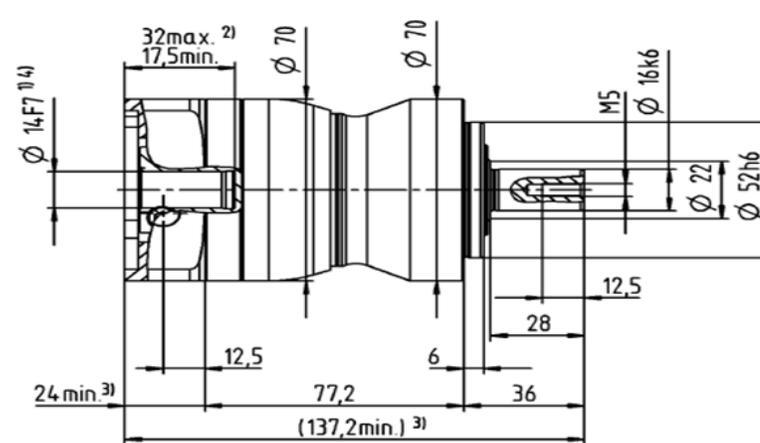
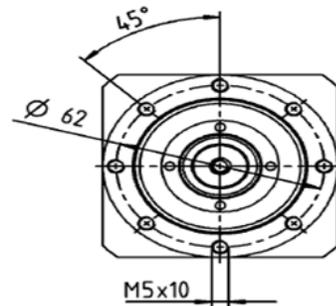
Per diminuire la dimensioni e la potenza del motore elettrico si è deciso di frapparre un riduttore, in modo da poter ridurre il numero di giri e moltiplicare la coppia. Il rapporto di trasmissione scelto è  $\tau=10$ : in questo modo è possibile calcolare la coppia nominale del motore elettrico.

$$T_{\text{motore}} = T' / \tau = 26,8Nm / 10 = 2,68Nm$$

Una richiesta fondamentale delineata dai professori e l'acquisizione dei vari componenti per la movimentazione dall'azienda Siemens. Ciò è dato dal fatto che l'azienda Promotec, realizzatrice del progetto precedente, ha installato un software nel control panel che comunica in modo opportuno con i motori Siemens.

## 1-stadio

Ø morsetto  
calettatore fino a  
14<sup>4)</sup> (C)<sup>5)</sup>



La scelta è ricaduta su una particolare categoria di motori definiti “motoriduttori”; essi sono costituiti da un motore elettrico di piccole/medie dimensioni e potenza collegato con un riduttore. I criteri per la scelta del motoriduttore più opportuno si sono basati su:

- Riduzione massima degli ingombri
- Coppia nominale ad un certo numero di giri di poco maggiore o uguale a quella necessaria
- Riduzione dei costi
- Peso del motore minore

La soluzione che è riuscita a coniugare tutte le richieste sopracitate è data dal motore 1FK2205-2AF10-1MB0 ovvero quello già montato sulla Flex-roll odierna.

(Immagine diapositive 4 e 5).

La scelta del riduttore ricade su NPL 015 MF 1-stadio ovvero un riduttore epicicloidale che è compatibile con i motori elettrici prodotti da Siemens perché sono rispettati i seguenti requisiti tecnici:

- Compatibilità con le caratteristiche costruttive B5
- Presentano una tolleranza di eccentricità radiale e assiale minima secondo la norma DIN EN 50347
- Estremità dell'albero cilindrica con tolleranza h6-k6

## Scheda tecnica

alpha Value Line

NPL 015 STANDARD



Caratteristiche prodotto	
Codice d'ordine: NPL015S-MF1-10-1C1-1S	
Tipo prodotto	NPL
Taglia	015
Esecuzione	Standard
Versione riduttore	Standard
Numero di stadi	1
Rapporto di riduzione	10
Esecuzione uscita	Albero con linguetta
Diametro del morsetto calettatore	14 mm
Gioco massimo	Standard $\leq 8$ arcmin
Codice materiale Riduttore	10046076

Componenti di accoppiamento al motore	
Codice materiale Flangia di adattamento	10032105

Dati prestazioni	
Coppia massima $T_{2m}$	56 Nm
Coppia di emergenza	80 Nm
Velocità massima in ingresso	8.000 min <sup>-1</sup>
Velocità media consentita in ingresso	3.800 min <sup>-1</sup>
Coppia di ribaltamento massima	152 Nm
Forza assiale massima	2.400 N
Forza radiale max.	2.800 N
Momento di inerzia	0,23 kgcm <sup>2</sup>
Peso	1,9 kg
Lubrificazione	Lubrificato a vita
Temperatura max. ammissibile sulla carcassa	90 °C
Classe di protezione	IP 65
Rumorosità	59 dB(A)
Verniciatura	Innovation blue

Ora viene eseguito il calcolo del tempo necessario per far percorrere all'utensile lo spostamento massimo eseguibile in Z, ovvero dove si ha lo spostamento massimo pari a  $L=350\text{mm}$ .

Dati:

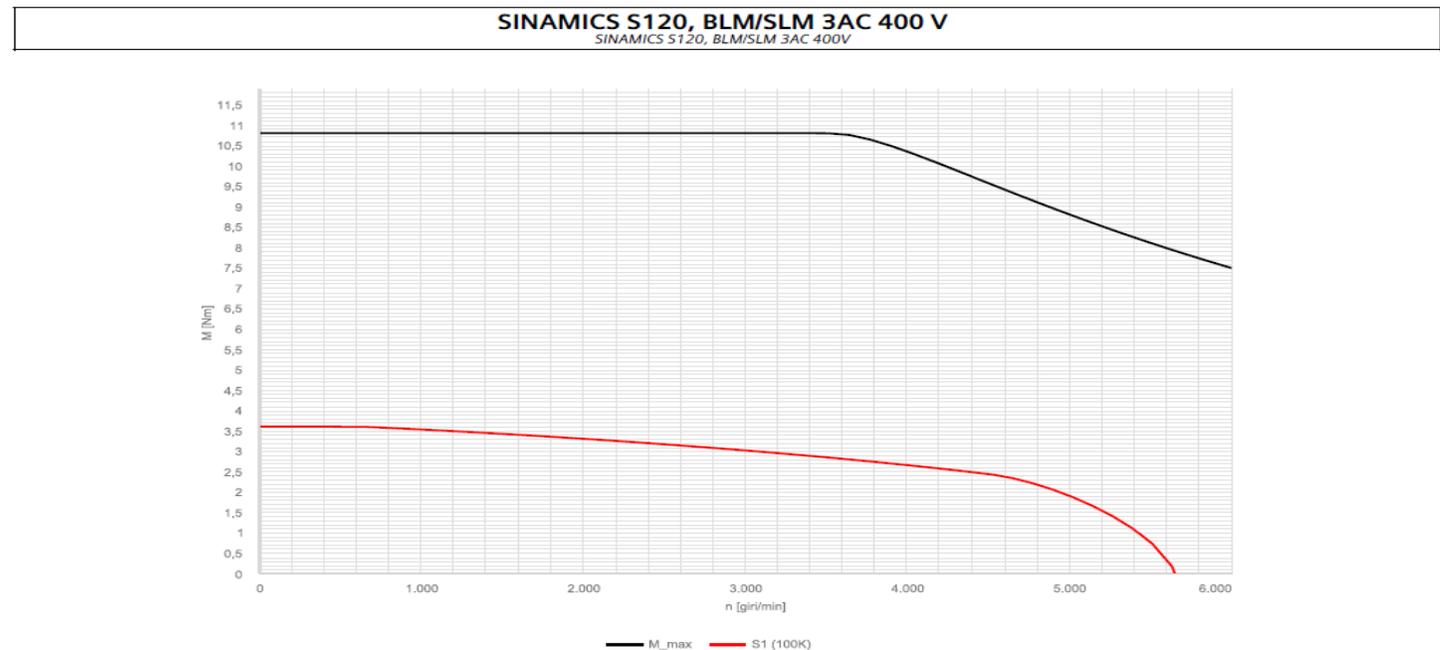
- Numero di giri nominale del motore  $NM=3000\text{giri/min}$
- Rapporto di trasmissione  $i=10$
- Passo vite a ricircolo di sfere  $p=2\text{mm}$

$$V_a = NM * p / (i * 60s) = (3000\text{giri/min} * 2\text{mm}) / (10 * 60s) = 10\text{mm/s (Velocità di avanzamento)}$$

$$t = L / V_a = 350\text{mm} / (10\text{mm/s}) = 35\text{s}$$

Considerazioni:

Il valore è elevato, ma considerando che, in qualsiasi lavorazione che dovrà eseguire il nuovo macchinario, l'utensile non dovrà mai muoversi per l'intera corsa in Z e X. Inoltre, per movimentazioni rapide, è possibile aumentare il numero di giri del motore; è necessario evitare di mantenere tale valore per elevato tempo per evitare il surriscaldamento del motore.



Con l'implementazione della rotazione dell'utensile sul nuovo carrello della Flex-roll è necessario immaginare i vari e possibili funzionamenti/movimentazioni per poi procedere al dimensionamento del motoriduttore per la rotazione. L'idea alla base della Flex-roll è di piegare una lamiera tramite l'applicazione di più passate. Premesso ciò, si è pensato che il numero di passate minimo per passare da  $0^\circ$  a  $90^\circ$  per il caso più gravoso sia di 5.

La procedura di piega parte con l'utensile già inclinato di  $18^\circ$ .

Considerando le forze date in input come costanti al variare dell'angolo dell'utensile si determina il braccio come la distanza tra il centro di rotazione dell'utensile e il punto di contatto tra lamiera e utensile.

La presenza delle forze dipende da come si vuole procedere per portare in posizione l'utensile.

Ci possono essere 3 possibili soluzioni nella movimentazione:

- 1) Movimentazione solo Z
- 2) Movimentazione solo X
- 3) Movimentazione combinata X e Z

Per ogni soluzione il momento massimo si ha durante il primo contatto tra rullo e lamiera.

Questo perché, quando tutta la superficie laterale del rullo viene a contatto con la lamiera la forza risultante si ipotizza essere passante per il centro di rotazione dell'utensile.

Come primo passo si è cercato di esprimere tramite una formula analitica l'andamento del momento. Nella prima soluzione, per quantificare il momento effettivo, si potrebbe usare la seguente formula:  
 $M = Fz \cdot b \cdot \cos(90 + \text{Teta})$

Nella seconda soluzione, per quantificare il momento effettivo, si potrebbe usare la seguente formula:  
 $M = Fx \cdot b \cdot \sin(90 + \text{Teta})$

Per la terza soluzione si avrebbe la somma delle espressioni concorde, però, con la regola della mano destra. Il momento risultante sarà quindi:  
 $M = Fx \cdot b \cdot \sin(90 + \text{Teta}) - Fz \cdot b \cdot \cos(90 + \text{Teta})$

Quest'ultima soluzione potrebbe essere la soluzione che porterebbe alla scelta di un motore molto più piccolo essendo che i due momenti tendono ad annullarsi per inclinazioni intermedie ( $18^\circ/36^\circ/54^\circ$ ). Inoltre, le soluzioni con movimentazioni singole diventano impraticabili per via di possibili strisciamenti eccessivi tra utensile e lamiera e nel caso specifico:

- Movimentazione solo Z per angoli maggiori di  $55^\circ/60^\circ$
- Movimentazione solo X per angoli inferiori di  $55^\circ/60^\circ$

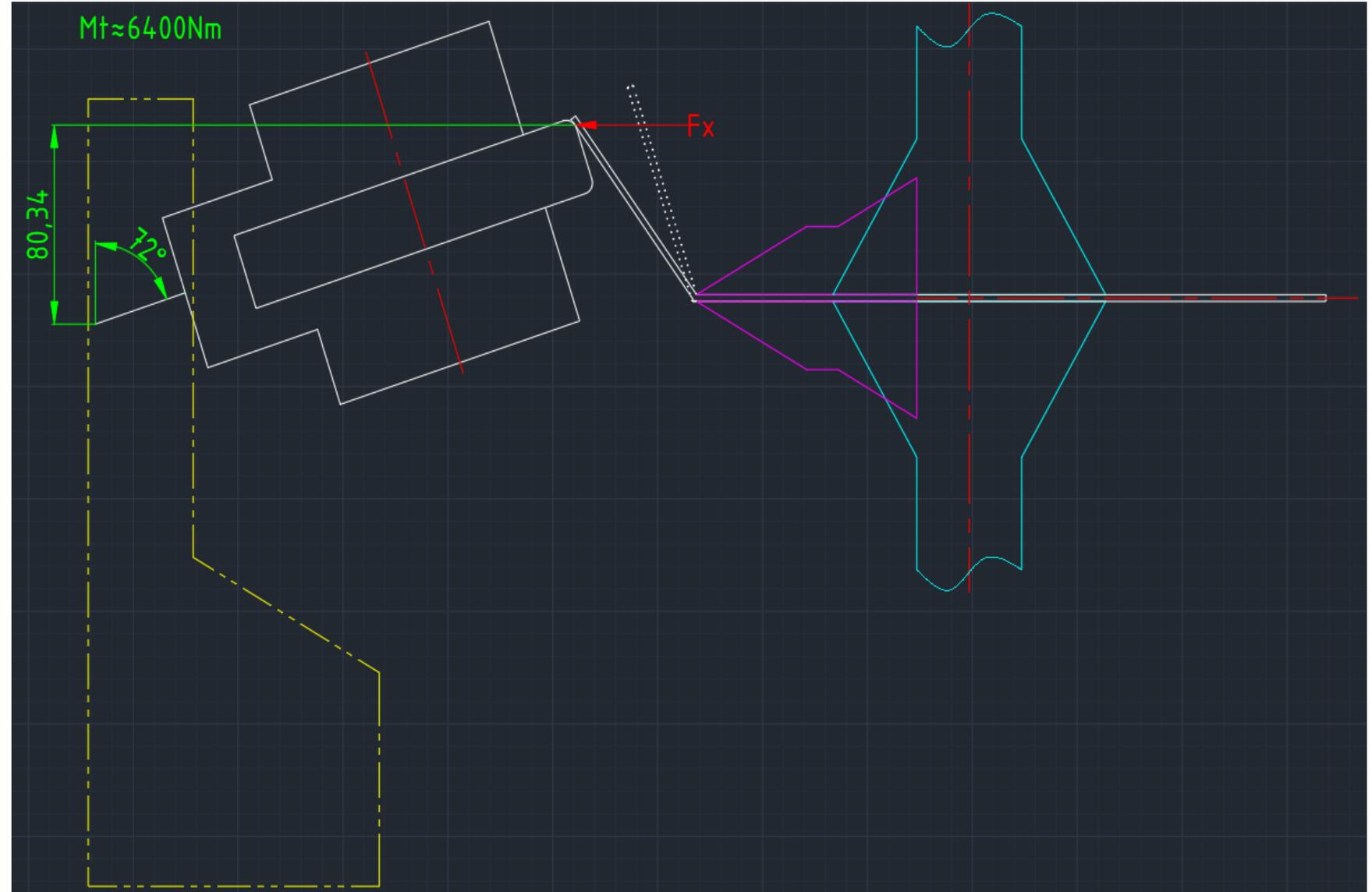
Questo ipotesi vale solo per portare completamente a contatto il rullo con la lamiera. Quando il rullo esegue la passata per eseguire la piegatura si avranno momenti minori perché la direzione della forza sarà passante per il punto di rotazione (idealmente).

La configurazione più gravosa, come detto precedentemente dipende dal tipo di movimentazione.

Analizzando tutte e 5 le passate per eseguire una piega di 90° si è riuscito a determinare la configurazione più gravosa.

Essa corrisponde alla 4 passata con inclinazione della lamiera iniziale di 54° e finale di 72°.

In tale passaggio si adotta una movimentazione singola secondo l'asse X e il momento torcente da sostenere sarà di  $M_t \approx 6400 \text{ Nm}$ .



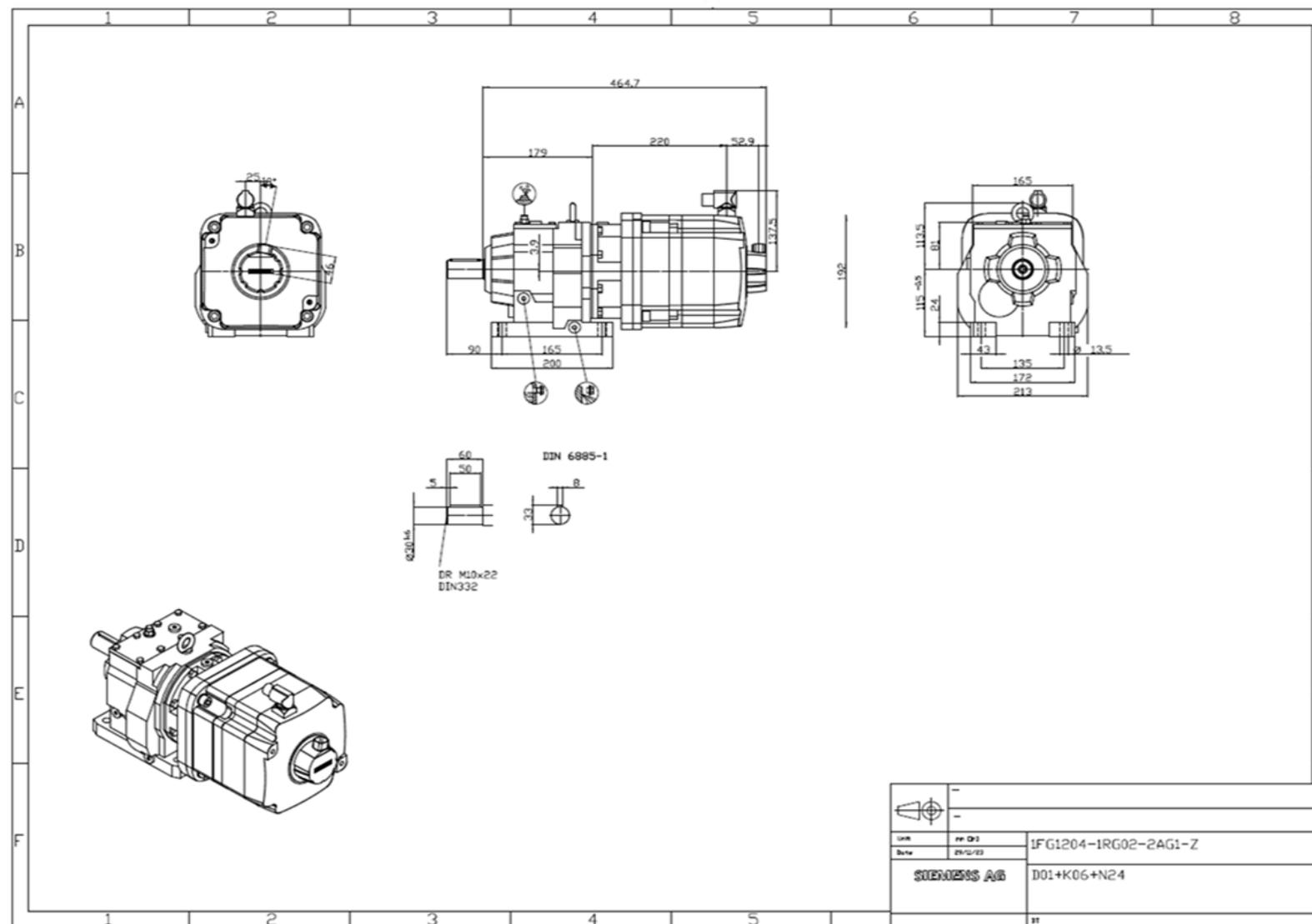
Le variabili che hanno influenzato la scelta del gruppo motore-riduttore sono le seguenti:

- 1) Presenza di una buona coppia del freno di stazionamento del motore elettrico
- 2) Ingombri assiale e radiale minimi
- 3) Costi minimi

Il motoriduttore della casa produttrice Siemens che ha soddisfatto tali scelte è 1FG1204-1RG02-2AG1-Z.

(Immagine del disegno tecnico a lato)

(Immagine delle caratteristiche tecniche slide successiva)

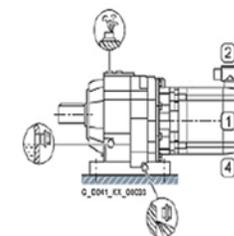


Dati motore Motor data	
Tipo di motore Motor type	Motore sincrono a magneti permanenti Permanent-magnet synchronous motor
Tipo di motore Motor type	Compact
Tensione circuito intermedio, max. DC-link voltage, max.	510...720V
Altezza d'asse Shaft height	100 mm
Raffreddamento Cooling	Ventilazione naturale Natural cooling
Velocità nominale Rated speed	2.000 giri/min
Coppia nominale (100K) Rated torque (100K)	12,30 Nm
Potenza nominale Rated power	2,58 kW
Corrente nominale (100K) Rated current (100K)	6,10 A
Coppia da fermo Static torque	16,20 Nm
Corrente da fermo Static current	7,80 A
Momento d'inerzia Moment of inertia	81,60000 kgcm <sup>2</sup>
Rendimento $\eta$ Efficiency $\eta$	92 %

Motor Module consigliato Recommended Motor Module	
Corrente nominale del convertitore Rated inverter current	9,0 A
Corrente max. del convertitore Maximum inverter current	27,0 A
Coppia max. Maximum torque	53,4 Nm
Freno di stazionamento Holding brake	
Freno di stazionamento Holding brake	freno rinforzato reinforced brake
Esecuzione del freno di stazionamento Holding brake version	Freno a magneti permanente Permanent-magnet brake
Tensione di alimentazione Power supply voltage	DC 24 V $\pm$ 10 %
Coppia di frenatura dinamica $M_{1B}$ Dynamic braking torque $M_{1B}$	35,00 Nm
Coppia di stazionamento $M_{4B}$ Holding torque $M_{4B}$	85,00 Nm
Tempo di apertura Opening time	250,0 ms
Tempo di chiusura Closing time	70,0 ms
Capacità max. di commutazione per frenatura Maximum switching energy per braking action	5.300,0 J

Dati del riduttore Gearbox data	
Tipo di riduttore Gear box type	D49
Tipo base del riduttore Gearbox basic type	Riduttore coassiale Z / D Helical geared Z / D
Grandezza costruttiva del riduttore Gearbox size	49
Stadi di trasmissione Transmission stages	3
Trasmissione (rapporto) Transmission (ratio)	89,20
Rapporto tra i numeri di denti delle ruote (rapporto) Gear number relation	29971/336
Coppia di uscita max. temporanea ammessa Output moment maximum (short-time)	360 Nm
N. di giri in entrata max. (momentaneo) max. input speed (briefly)	4.500 giri/min
N. di giri di uscita temporaneo ammesso Output speed short-time	50 giri/min
Coppia di uscita per arresto di emergenza (1000 cicli) Emergency off output moment (1000 cycles)	540 Nm
Forza radiale max. permanente Radial force maximum	5.780 N
Forza radiale ammessa con $M_{max}$ . Max. permissible radial force with $M_{max}$	4.770 N
Momento d'inerzia della massa Moment of inertia	0,33 kgcm <sup>2</sup>
Resistenza torsionale Torsional stiffness	14 Nm'
Rendimento Efficiency	0,92

Dati tecnici generali General tech. specifications	
Colore della custodia Color of the housing	Verniciatura special (Grigio anthracite RAL 7016) Standard painting (Anthracite RAL 7016)
Specifica Specification	CE / UL / CSA / EAC / cRUus
Peso netto Net weight	42,12 kg
Livello di pressione acustica su 1m $L_{pA}$ (Tol.+3dB(A)) 1m-sound pressure level $L_{pA}$ (Tol.+3dB(A))	75
Posizione connettore Plug position	sopra (standard) (2) top (default) (2)
Posizione flangia adattatore Adapter flange position	sopra (standard) (2) top (default) (2)
Lubrificazione e guarnizione Lubrication and sealing	
Olio del riduttore Gear oil	Olio minerale CLP ISO VG220 Mineral oil CLP ISO VG220
Quantità di olio Oil charge	0,55 l



Con la determinazione dei motori elettrici si conclude la prima parte della tesi.

Una considerazione finale è obbligatoria:

Lo svolgimento di questa parte è stata per certi versi approssimativa per i seguenti motivi:

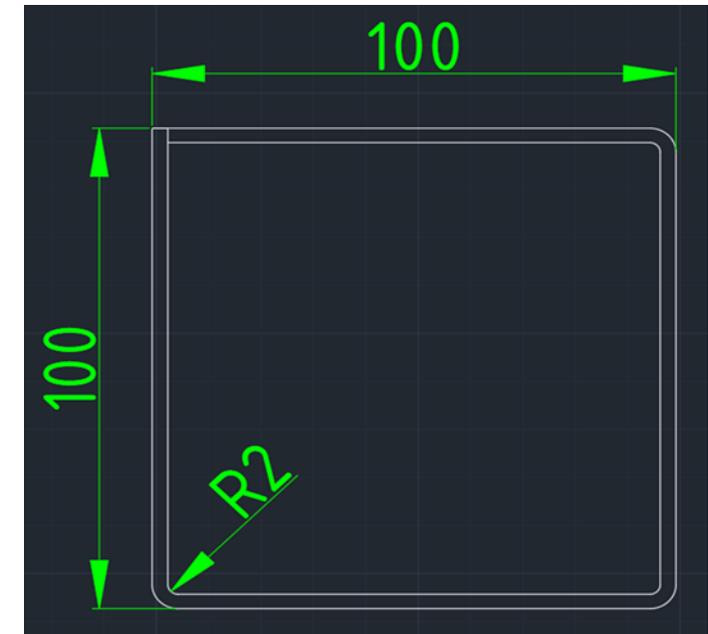
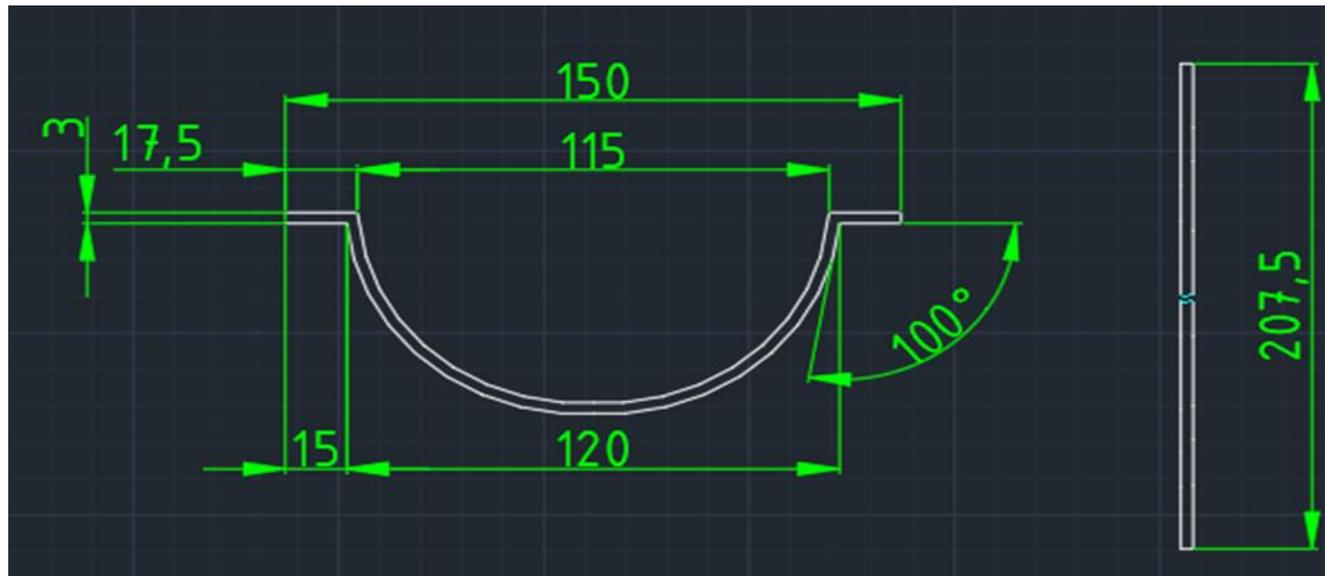
- I dati raccolti necessiterebbero di una controprova sul campo (Forze effettive in particolare)
- Determinazione del reale metodo di piegatura applicabile
- Determinazione dell'andamento dei momenti relativi al metodo di piegatura

Se si continuerà con l'attuazione di tale progetto di miglioramento del macchinario di piegatura suggerisco di concentrarsi sull'approfondimento del modo in cui l'utensile può piegare con lo scopo di cercare di implementare il numero di prodotti realizzabili anche con geometrie più complesse di quelle base riportate.

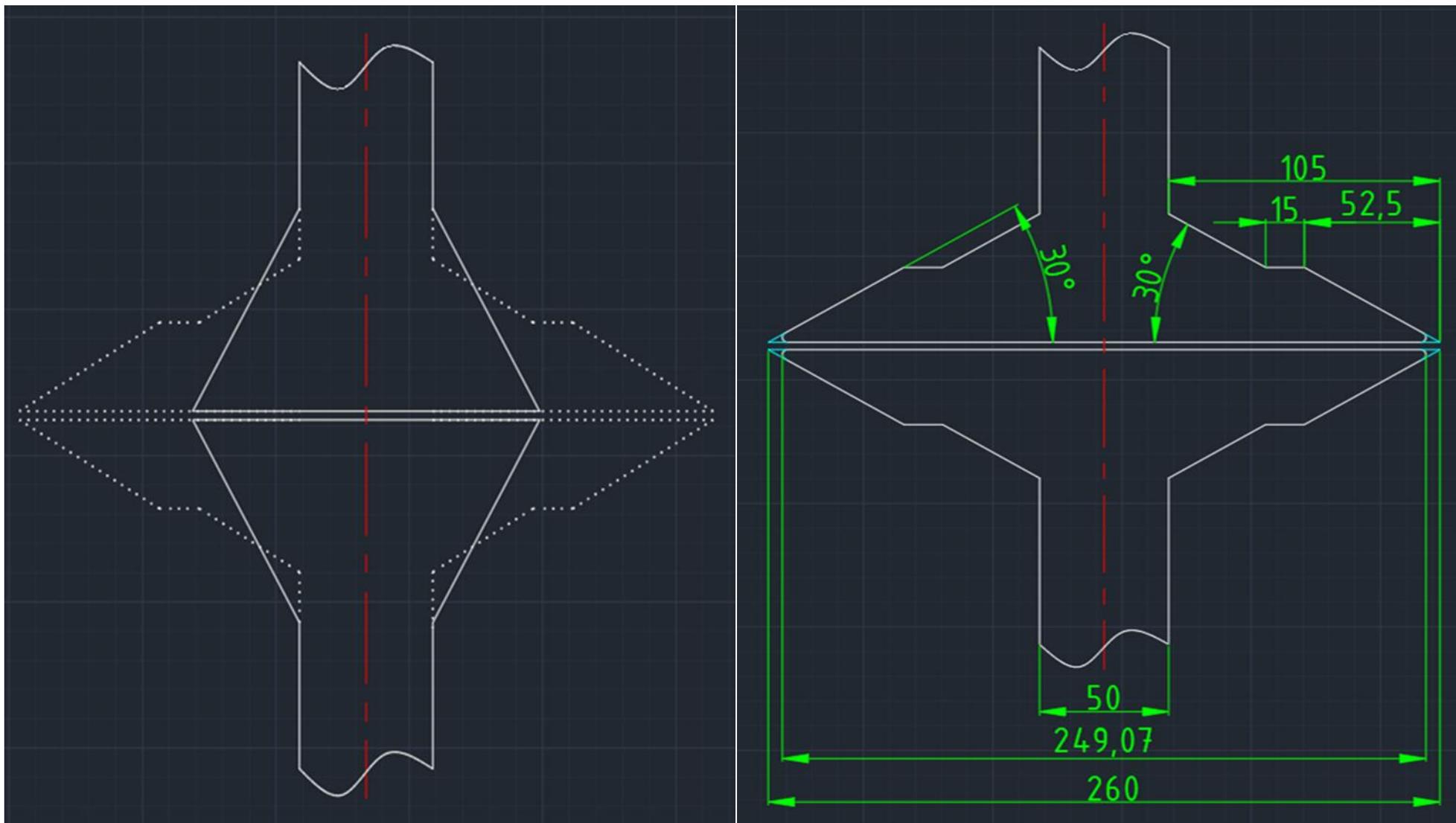
Il volume di lavoro è lo spazio necessario allo strumento per creare un/i prodotto/i. Questo macchinario è pensato per la creazione di prodotti in lamiera con varie possibili geometrie sotto-riportate:

- Tubolari di sezione quadrata e rettangolare (100X100;80X80;profili rettangolari con lato massimo di 100mm)
- Profili a L e C (i profili ad L e C massimi dipendono dalla corsa massima dell'utensile e dai profili da realizzare)
- Profili a C (tipo grondaie creato con molte passate)

Il volume di lavoro massimo per questo macchinario è deciso in base al volume maggiore necessario per produrre i prodotti. Di conseguenza tale volume sarà opportuno per tutti gli altri.



Per procedere alla produzione degli oggetti elencati precedentemente è necessario modificare la geometria del premi-lamiera. Con la modifica riportata nell'immagine a lato non si avranno problemi legati a tale problema. La verifica strutturale non era prevista ai fini di questa relazione.



Per determinare i volumi di lavoro della macchina Flex-Roll si è pensato di seguire queste 4 considerazioni:

- 1) Considerare come punto di riferimento il centro di rotazione dell'utensile;
- 2) Considerare gli spostamenti massimi dovuti alle lavorazioni e gli spostamenti massimi senza la collisione con la traversa ed il premi-lamiera;
- 3) Il confronto tra questi 2 spostamenti genererà un volume generale;
- 4) Dopo aver determinato il volume generale si è passato a determinare il volume per ogni singola configurazione;

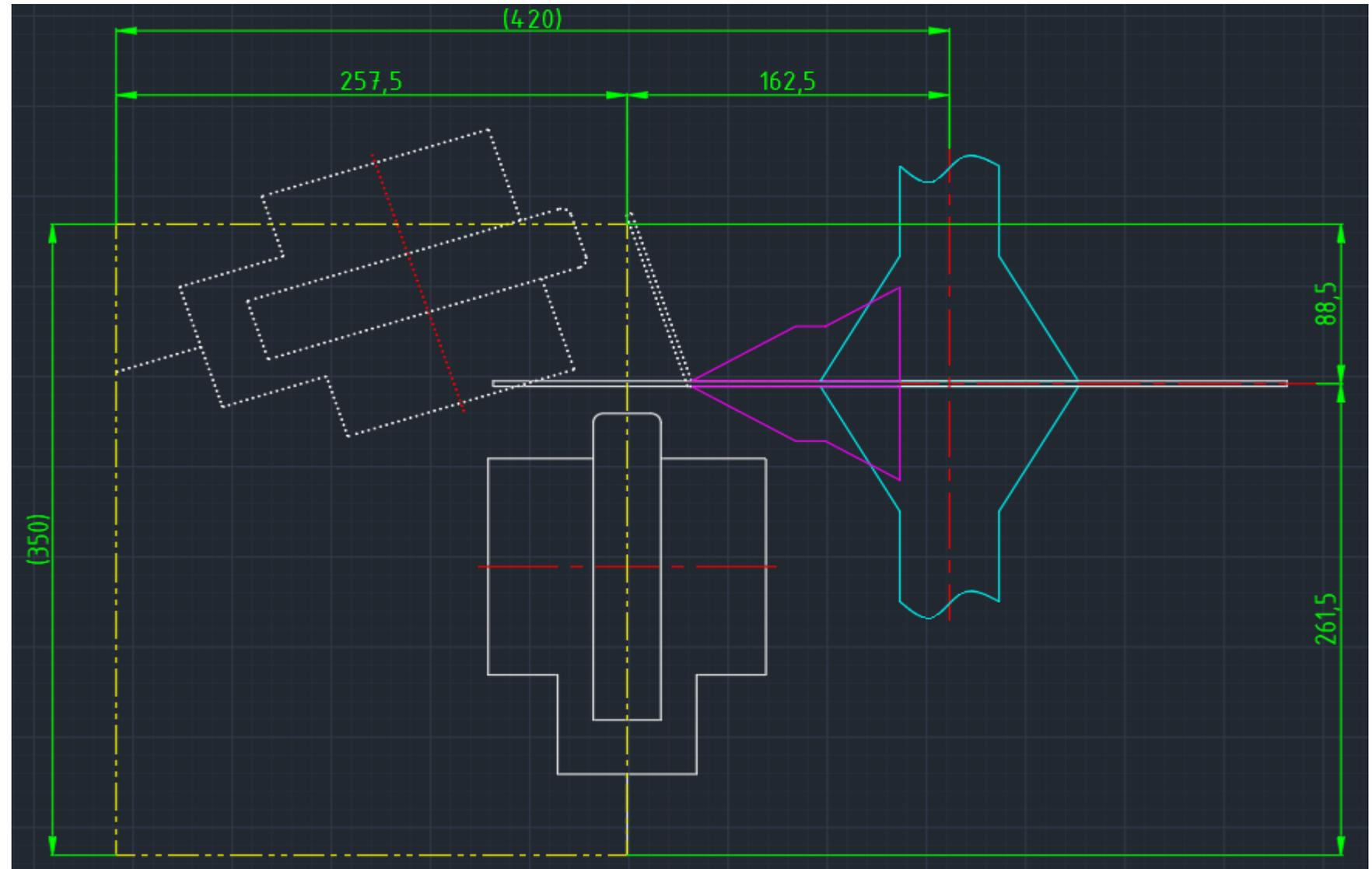
Grazie ai primi 3 accorgimenti si è riuscito a determinare un volume di lavoro generale.

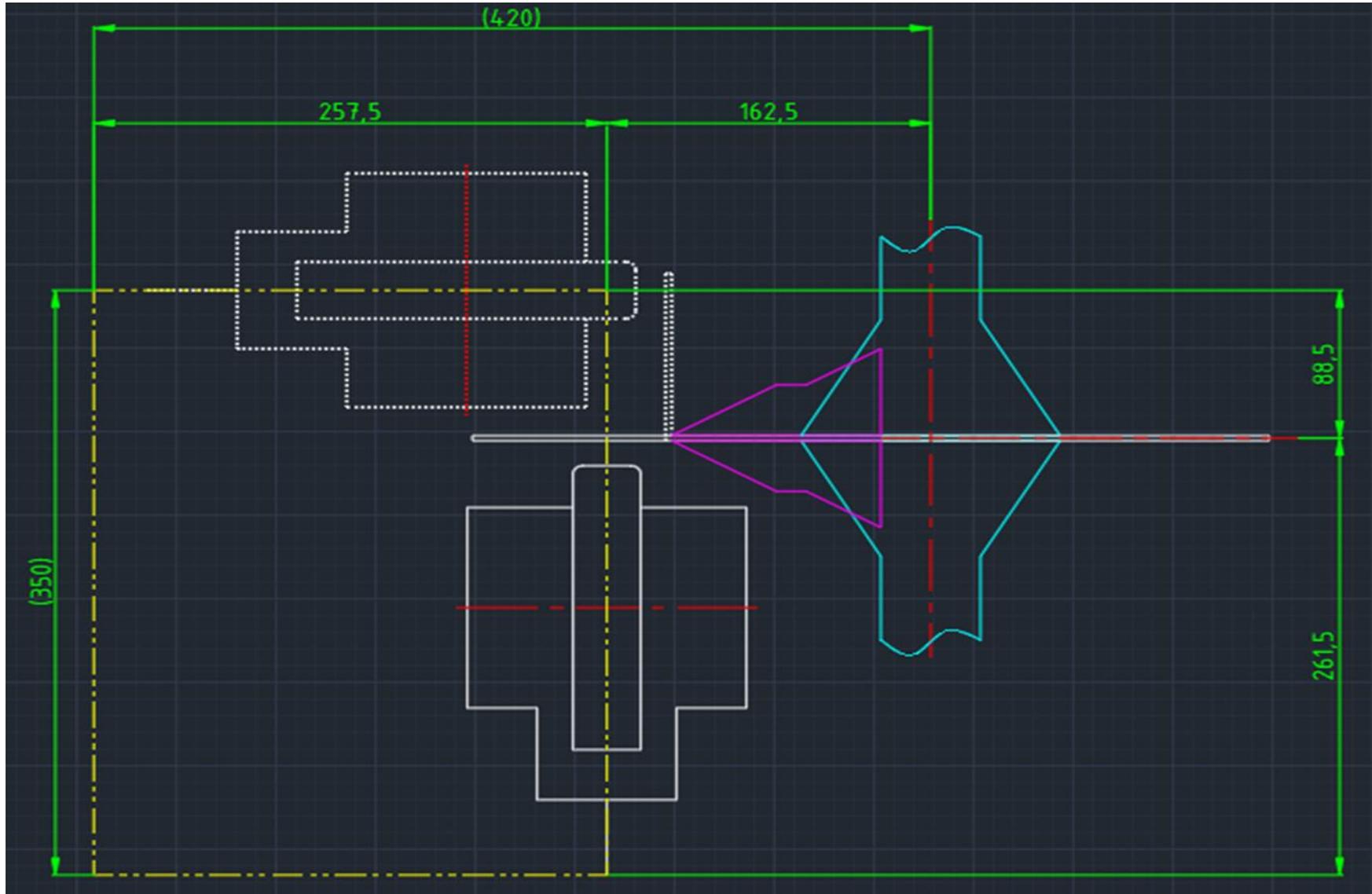
Sono state rappresentate tutte le configurazioni atte ad eseguire i prodotti citati precedentemente e da ciò si sono ricavati gli spostamenti massimi che si avranno per inclinazione dell'utensile di  $0^\circ, 72^\circ, 90^\circ$ . In dettaglio:

- Per determinare il limite inferiore si è guardato allo spostamento necessario dell'utensile in posizione verticale per posizionarsi sotto alla lamiera aggiungendo un piccolo margine di sicurezza.
- Il limite di destra in cui l'utensile può avvicinarsi alla traversa è sempre ottenuto dell'utensile in posizione verticale; la scelta è stata definita in base alla posizione dell'utensile più vicina alla traversa senza che ci fosse il contatto.
- Per il limite di sinistra si è guardato alla posizione dell'utensile ruotata che era più distante dalla traversa. Tale configurazione è l'utensile ruotato di  $72^\circ$  e per effettuare un avvicinamento in sicurezza si è maggiorato tale distanza di 20mm.
- Per il limite superiore si è guardato alla posizione dell'utensile ruotata di  $90^\circ$ , essendo quella che necessita di uno spostamento Z verso l'alto maggiore.

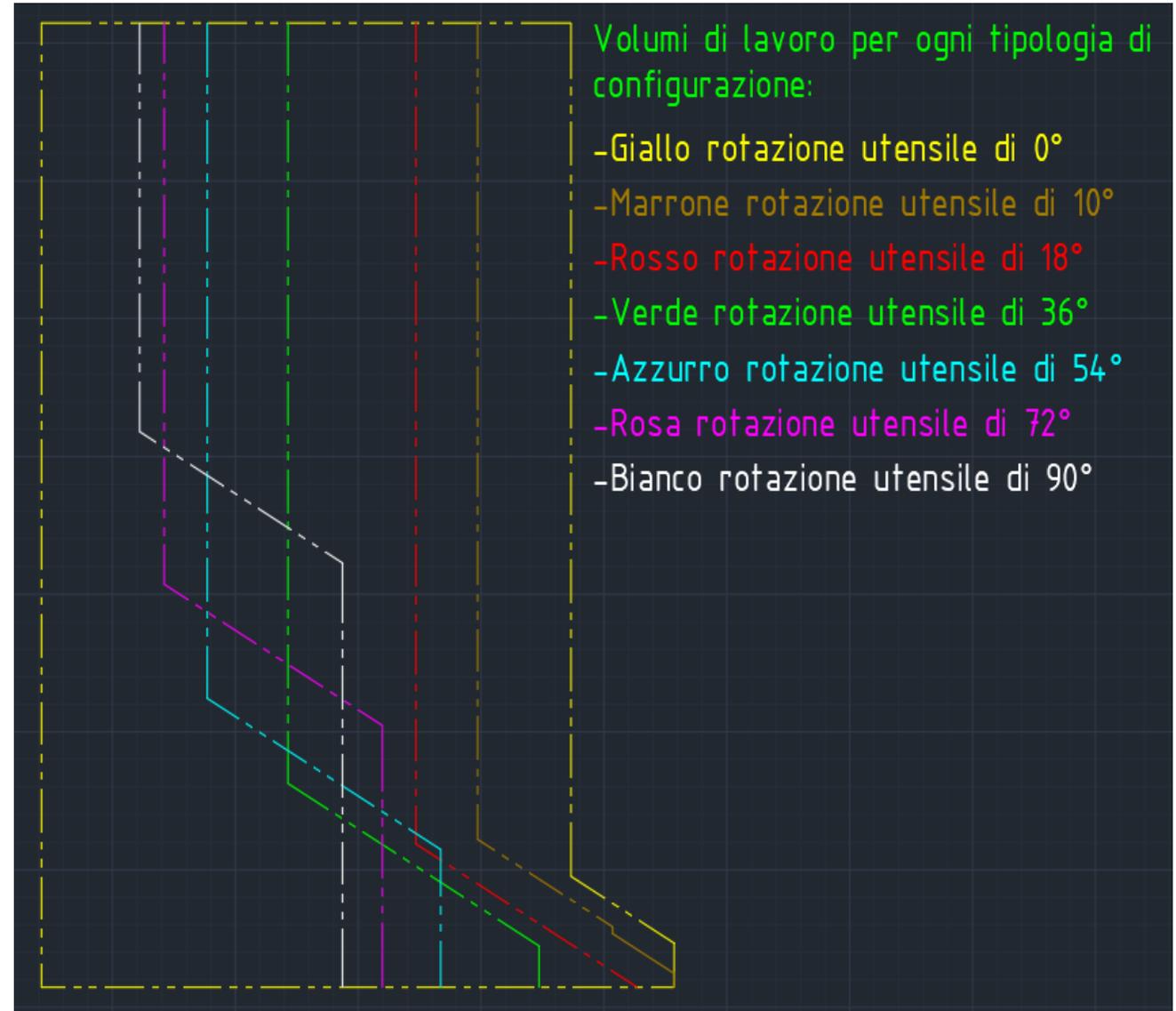
La zona di lavoro che soddisfa entrambi i requisiti è data nell'immagine (zona rettangolare gialla tratto lungo 2 trattini corti).

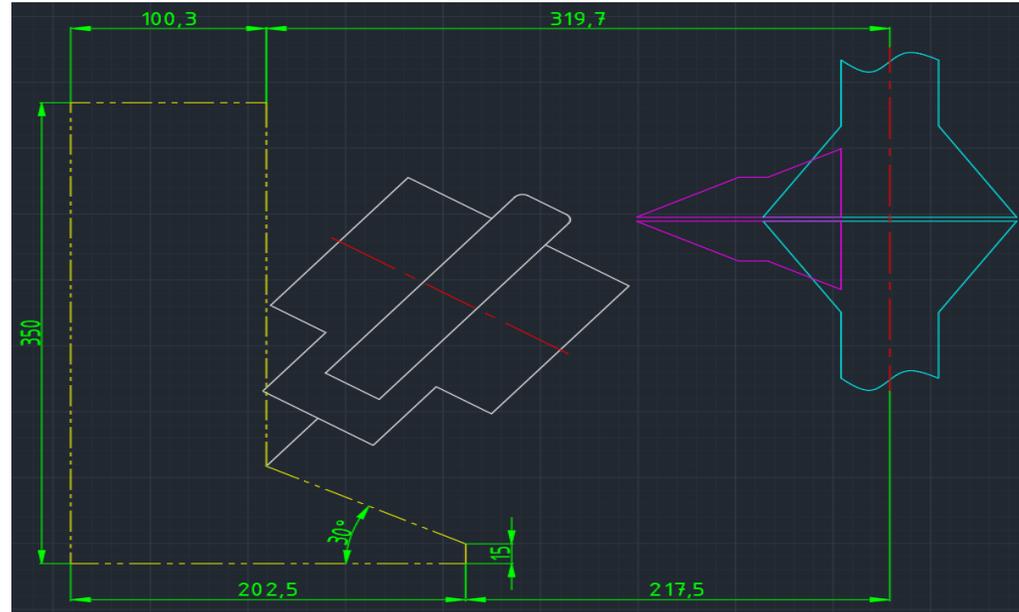
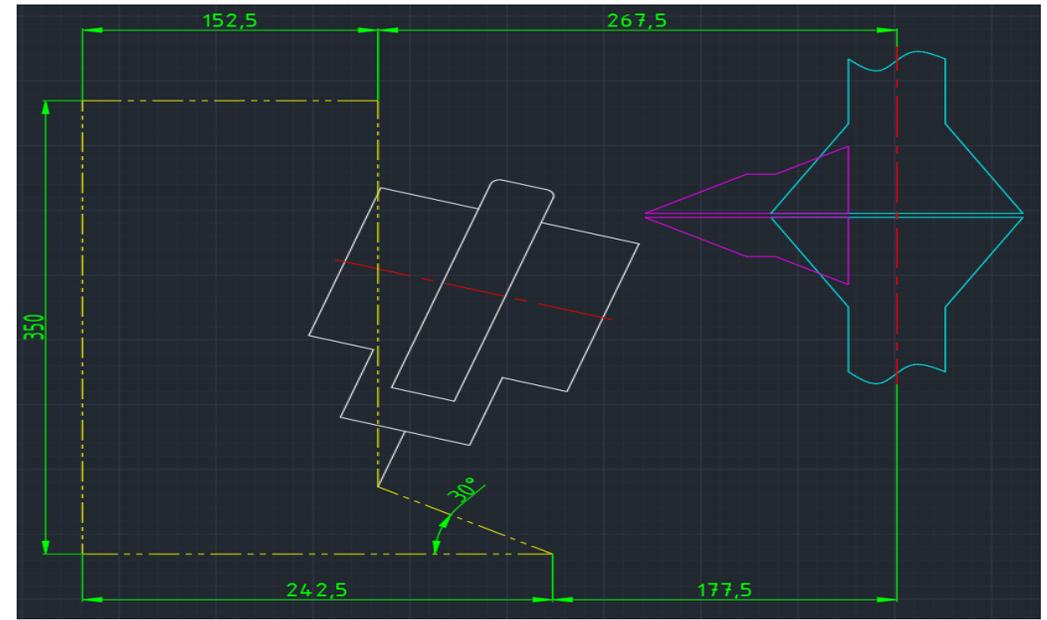
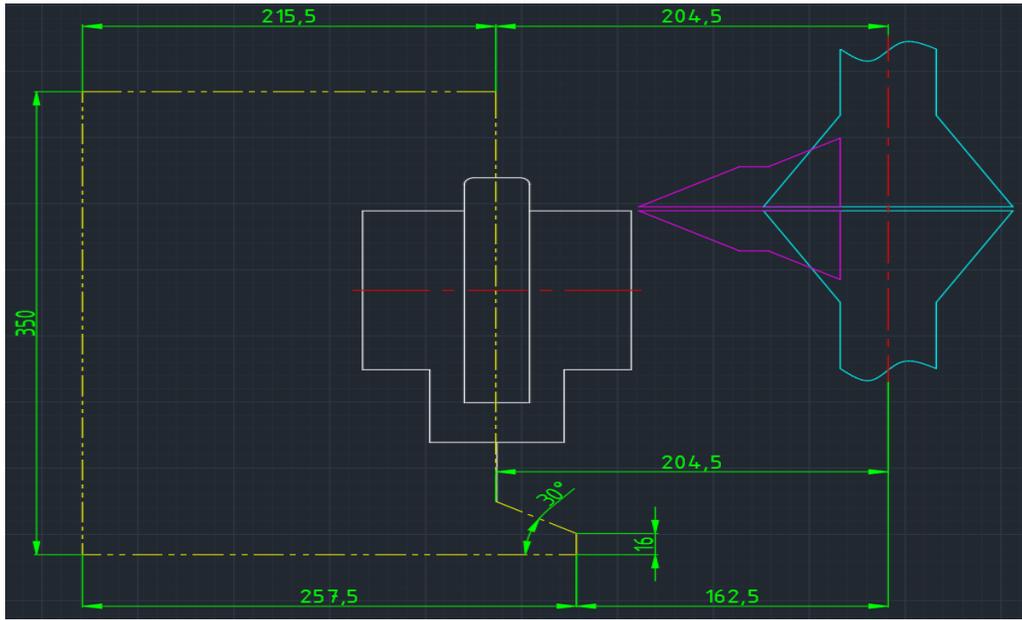
Per cui gli spostamenti massimi dell'utensile sono:  
Spostamento in X di 257,5mm  
Spostamento in Z di 350mm  
Spostamento in Y di 2100mm  
Volume 257,5X350X2100

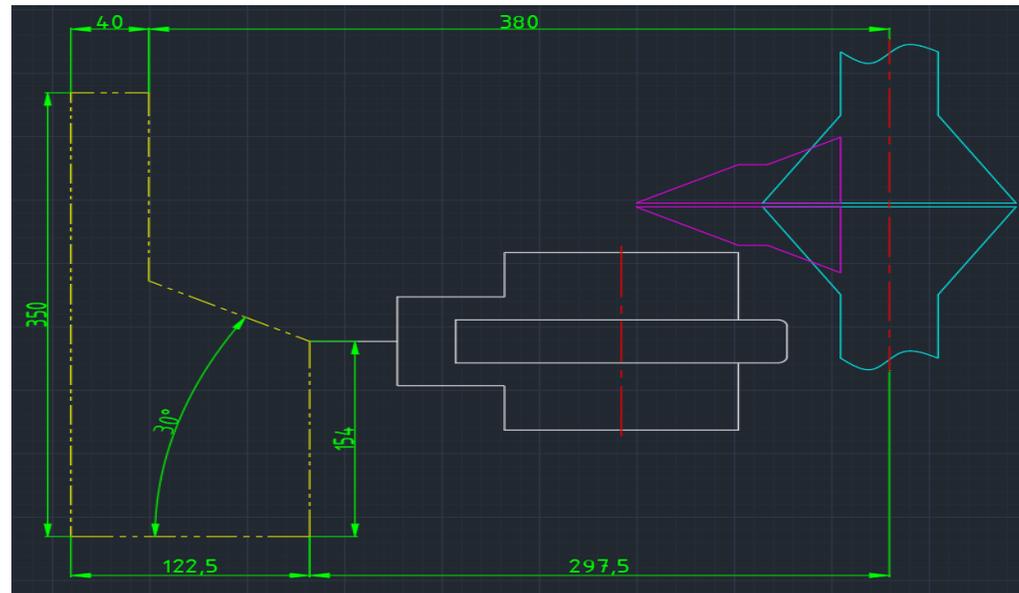
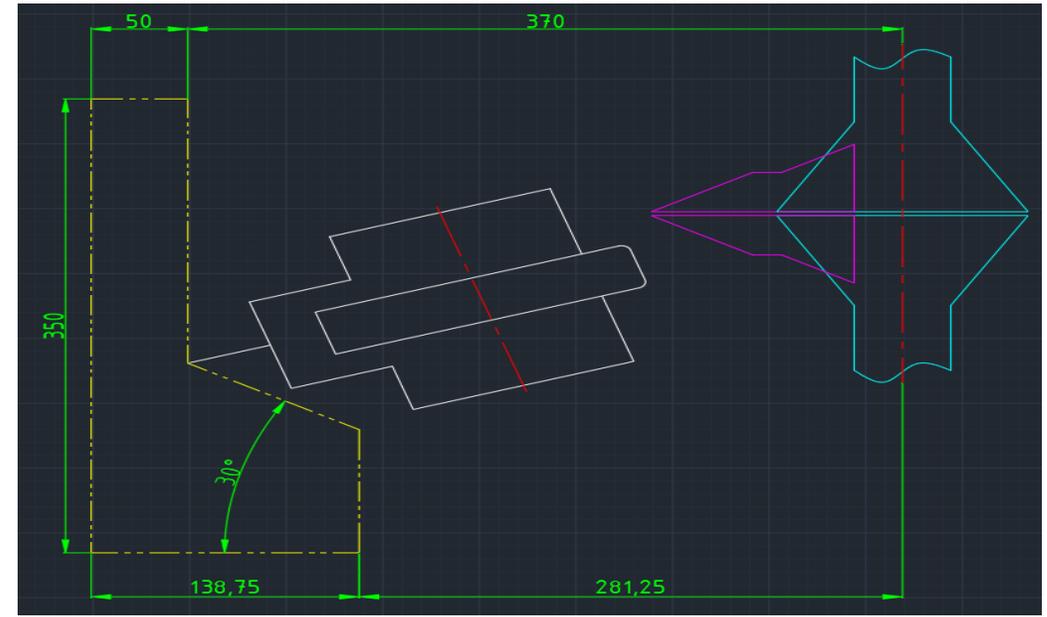
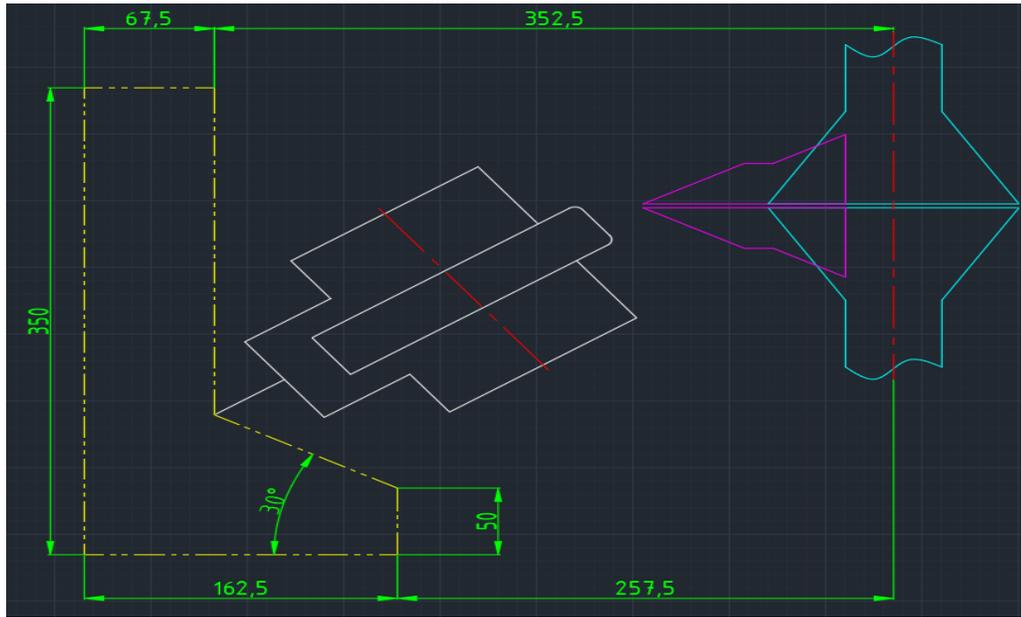




Nel punto 4 si sono analizzate le varie configurazioni mettendole in relazione con il volume generale prendendo come punto di riferimento il centro di rotazione dell'utensile. Questa operazione ha lo scopo di determinare il volume effettivo per ogni tipologia di rotazione dell'utensile mantenendo la stessa al variare della posizione occupata. Questo è uno studio di massima che potrà essere preso di riferimento e implementato con softwares in modo tale da determinare effettivamente l'area di lavoro massima per ogni configurazione senza che avvengano collisioni tra i vari elementi della macchina.







Con la serie di immagini riportate si conclude lo svolgimento per la determinazione dei volumi di lavoro. Questo è uno studio di massima che potrà essere preso di riferimento e implementato con softwares in modo tale da determinare effettivamente l'area di lavoro massima per ogni configurazione senza che avvengano collisioni tra i vari elementi della macchina.

Tale tipologia di lavoro dovrà essere aggiornata nel caso si vogliano aggiungere alla produzione nuovi prodotti.