

POLITECNICO DI TORINO
Facoltà di Ingegneria Meccanica
Corso di Laurea in Automazione

Tesi di Laurea

AUTOMATIZZAZIONE DEL
CONTROLLO COPPIA DEI PERNI
DI MASSA



Relatore:

Professore Giovanni Bracco

Sig. Luca Nutrica

Candidato:

Jacopo Fioretto

Alla mia famiglia,
che ha sempre creduto in me
A Lorenzo,
il cui ricordo non mi ha mai abbandonato

Abstract

Il seguente lavoro di tesi nasce dalla necessità di garantire la sicurezza e la conformità di ogni scocca di ogni autovettura prodotta dal gruppo Tiberina. I circuiti elettrici delle autovetture vengono infatti collegati tutti a massa tramite dei perni saldati sulle scocche in fase di produzione. La resistenza di questa saldatura però non viene controllata e perciò si ha sempre un certo livello di pericolo latente per la sicurezza dei passeggeri. Con questo lavoro si è ideato un controllo automatico dei perni di massa, che potrà potenzialmente essere inserito sulle linee di lastratura degli stabilimenti Tiberina così da poter garantire che ognuno di essi sia correttamente fissato alla lamiera. Si è perciò sviluppato un progetto seguendone la realizzazione nella sua totalità a partire dalla progettazione di differenti soluzioni mediante software CAD, passando per la produzione fisica dei vari componenti ideati anche grazie software CAM, per finire poi con l'automatizzazione del processo di collaudo mediante programmazione di un PLC Siemens che è stato collegato in maniera adeguata al prototipo. Per ultimo si è fatto un inserimento teorico del sistema creato su una linea di produzione.

Sommario

Capitolo 1: Il perno di massa

1.1	Cos'è il perno di massa	1
1.2	Analisi della forma del perno di massa.....	2
1.3	Tipologie di perni di massa	3
1.4	Applicazione del perno di massa	4
1.5	Metodi di saldatura	6
1.5.1	Procedura di saldatura dei perni di massa di Tipo D	7
1.6	Vincoli	10
1.7	Processo di collaudo	10
1.7.1	Collaudo manuale: strumenti	11
1.7.2	Collaudo manuale: procedura perni M6	12
1.7.3	Collaudo manuale: procedura perni M8	14
1.7.4	Problematiche	16

Capitolo 2: Controllo Coppia Automatico

2.1	Soluzione ideale.....	17
2.2	Soluzione attuale	18
2.3	Primo prototipo	21
2.3.1	Pinza perno di massa	21
	Funzionamento.....	22
	Singole componenti.....	22
	Montaggio	30
2.3.2	Supporto cuscinetti.....	32
	Funzionamento.....	32
	Singole componenti.....	33
	Montaggio	35
2.3.3	Struttura elettrosaldata.....	36
	Funzionamento.....	36
	Montaggio	37
2.3.4	Problematiche	37
2.4	Secondo prototipo.....	40
2.4.1	Contatto tra Ganasce e Cono	41
2.4.2	Riduzione delle dimensioni & bilanciamento del peso	46
2.5	Realizzazione dei pezzi	48

2.5.1	Bocca di centraggio.....	48
2.5.2	Elemento delle Ganasce	51
2.6	Unità di avvitatura	54
2.6.1	Realizzazione del Supporto del motore.....	57
2.6.2	Foratura per albero scanalato	58
2.6.3	Circuito di accensione & Taratura del servomotore.....	61
2.7	Terzo prototipo.....	65
2.7.1	Nuova forma per l'elemento delle Ganasce.....	65
2.7.2	Variazione della corsa del Cono sul Pistone centrale	68
2.7.3	Molla per la risalita	69
2.7.4	Tubo dell'aria compressa.....	70

Capitolo 3: Automatizzazione del Prototipo

3.1	Prototipo realizzato e procedura di collaudo.....	72
3.2	Realizzazione del quadro elettrico	73
3.3	Programmazione del PLC Siemens	75

Capitolo 4: Applicazione industriale

4.1	Nuovo programma PLC con i due sensori	85
4.1.1	Sensore di inizio e fine corsa	85
4.1.2	Modifiche al programma PLC	86
4.2	Applicazione del prototipo sulla linea	91
4.2.2	Cruscotto mobile e postazioni di lavoro fisse.....	91
4.2.2	Cruscotto fisso e postazioni di lavoro mobili.....	93
4.3	Further work.....	95
4.4	Conclusioni.....	96
	Indice delle Figure	98

Capitolo 1

Il perno di massa

1.1 Cos'è il perno di massa

In ogni scocca di ogni autoveicolo, che sia di un'automobile, di un veicolo industriale o di una macchina agricola sono saldati più perni di massa. Sebbene in pochi ne conoscano l'esistenza questi piccoli elementi sono estremamente importanti, poiché da essi dipende il corretto funzionamento del veicolo e la sicurezza dei passeggeri.

Si prenda per esempio il caso più comune dell'automobile. In tutte le autovetture moderne ci sono dei circuiti elettrici, usati per svariate funzioni, che vanno dal mettere in moto il motore al regolare il volume dello stereo. Ognuno di questi circuiti elettrici viene collegato al polo positivo della batteria e deve essere collegato a massa (polo negativo) affinché acquisisca il corretto potenziale elettrico (12 V) necessario al suo funzionamento.

Il perno di massa serve appunto a mettere a massa i circuiti elettrici del veicolo che vi vengono connessi, garantendone così il corretto funzionamento.

Questo elemento è fatto dalle seguenti componenti mostrate in Figura 1

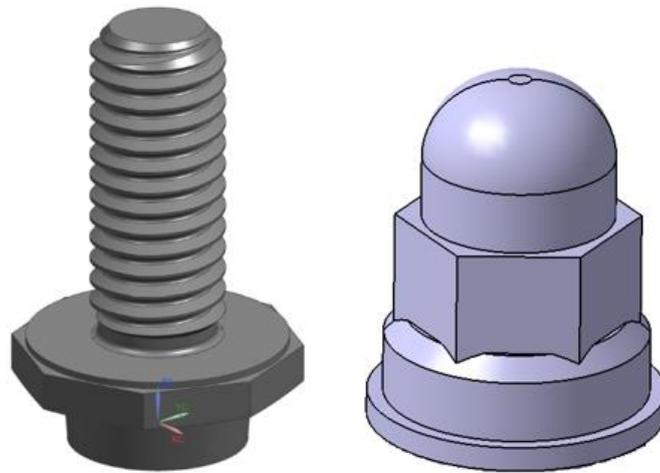


Figura 1: Elementi del perno di massa

Come si può vedere si possono individuare due differenti parti:

- 1) perno filettato con base ottagonale e zona cilindrica sottostante utile alla saldatura;
- 2) cappuccio protettivo in plastica o con dado cieco in acciaio.

Il cappuccio in plastica od il dado cieco in acciaio vengono avvitati sul perno centrale.

Capitolo 1 Il perno di massa

Assemblato il perno può allora apparire come segue:

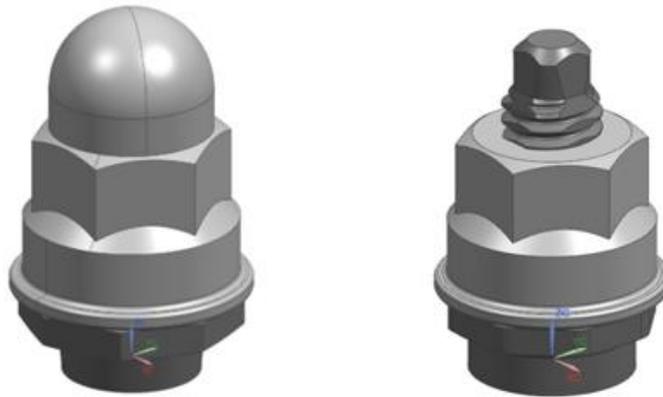


Figura 2: Perno di massa

1.2 Analisi della forma del perno di massa

Si analizzano ora le forme di interesse del perno di massa

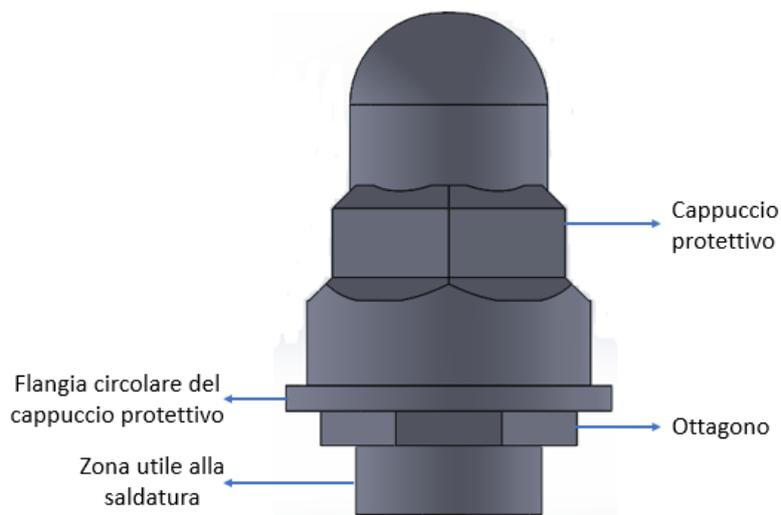


Figura 3: Componenti del perno

Partendo dal basso si trova una zona cilindrica di acciaio usata per collegare il pezzo alla lamiera. In realtà questa parte non è proprio cilindrica, ma è troncoconica come evidenziato in Figura 4

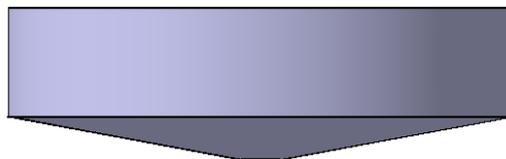


Figura 4: Base troncoconica

Questo accorgimento serve per facilitare la saldatura su lamiera. Si appoggia infatti la punta del tronco di cono alla lamiera e poi si fonde il materiale per saldare queste due parti insieme mediante una scarica elettrica concentrata.

Collegata a questa zona c'è la base ottagonale da cui poi parte il perno filettato. Questo ottagonale ha un ruolo centrale perché è dove bisognerà applicare la coppia di collaudo per verificare se la saldatura del perno è idonea alle norme di sicurezza o meno.

Sulla base ottagonale si poggia la flangia circolare del cappuccio protettivo, che deve essere sottoposto ad una coppia di serraggio precisa data da normativa, in modo da garantire l'adeguato montaggio, ma anche un facile svitamento per poter infilare all'interno del perno i cavi elettrici.

Questo elemento svolge inoltre una funzione di protezione per la filettatura del perno e per i capicorda dei circuiti elettrici, che non devono essere intaccati da impurità o sfridi di saldatura o da vernice. È allora molto importante non danneggiare il cappuccio né in fase di montaggio né in quella di collaudo. Questo vincolo determina delle precise modalità di assemblaggio del pezzo e della sua applicazione sulle lamiere interessate, modalità che escludono l'applicazione sia delle forze sia delle coppie su tali elementi protettivi.

Il cappuccio in plastica viene eliminato solo a seguito della verniciatura del body white e sostituito con un dado in acciaio. Quando il perno di massa ha invece il dado in acciaio questo passa nella verniciatura del body white per poi essere svitato nelle linee di montaggio al fine di infilare i capicorda dei circuiti elettrici.

1.3 Tipologie di perni di massa

I perni di massa possono cambiare per dimensione in funzione dell'applicazione e del potenziale elettrico che devono sopportare: esistono con perno filettato M5, M6, M8, M10. Il più diffuso, facendo riferimento all'automotive, è il perno da M6. L'M8 è usato soprattutto per macchine a movimento terra. All'interno di queste tipologie si distinguono poi quelli saldati sull'alluminio e quelli saldati sull'acciaio. Questa trattazione riguarderà solo questi ultimi, di dimensioni M6 o M8.

La normativa 10160/32 di FCA individua vari Tipi di perno: A, B, C, D, E, F, G.

I perni A, C e D hanno il cappuccio protettivo in materiale plastico, mentre quelli B, E, F e G hanno il dado cieco in metallo. Per i progetti delle nuove scocche si utilizzano ormai solo i perni di Tipo C, F, G e B, mentre gli altri ormai sono prodotti solo per sostituire i perni presenti nei vecchi modelli.

La più importante differenza però sta nelle dimensioni, che possono essere o più piccole a M6 o più grandi a M8. I perni M6 sono di Tipo F, G ed E mentre quelli M8 sono di Tipo A, C e D. Il Tipo B può essere sia di dimensione M6 sia M8.

Il criterio di scelta del tipo di perno, oltre che dalle dimensioni che si vogliono, dipende anche dallo spessore della lamiera su cui va applicato:

Spessore lamiera	Tipo A	Tipo B M6	Tipo B M8	Tipo C	Tipo D	Tipo E	Tipo F	Tipo G
>1 mm	X							
>0.8 mm			X	X				
>0.7 mm		X				X		X
da 0.6 a 0.7 mm					X		X	

1.4 Applicazione del perno di massa

Il perno di massa viene saldato su tutti i componenti della scocca dove c'è un apparato elettrico, che viene ad esso collegato per connetterlo al polo negativo del circuito.

Per esempio, i perni si saldano sul cruscotto dell'auto

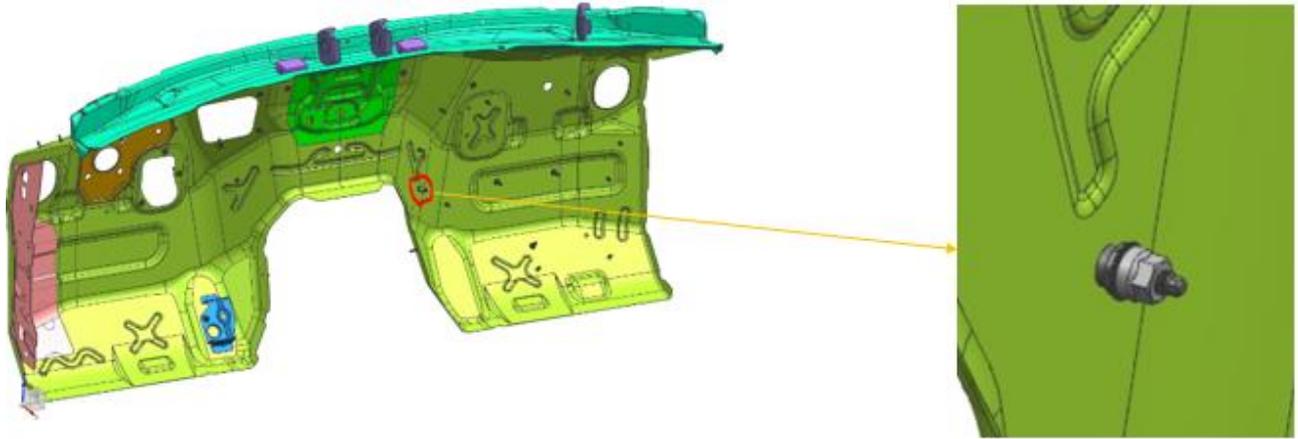


Figura 5: Perno di massa con dado sul cruscotto

Oppure sul longherone laterale (elemento delle portiere):

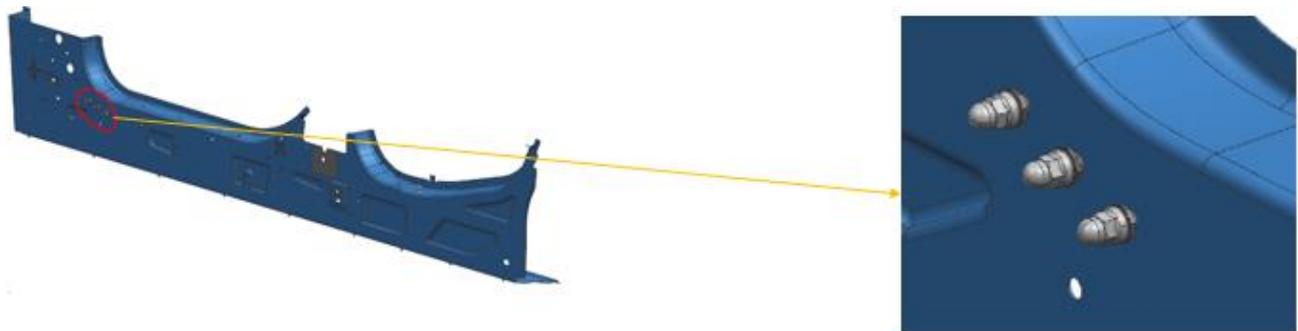


Figura 6: Perna di massa con cappuccio nel longherone anteriore

Questi sono i modelli CAD, nella realtà tali perni appaiono come segue:



Figura 7: Perna realmente saldati sul cruscotto o sul longherone

Una volta saldato il perno sulla lamiera e dopo averla verniciata si svita il cappuccio protettivo, applicando le coppie di svitamento o le forze di estrazione prescritte da normativa in base al Tipo di perno.

	Tipo C	Tipo F	Tipo G	Tipo B M6	Tipo B M8	Tipo A	Tipo D	Tipo E
Carico di estrazione	50	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	50	50	n.d.
Coppia di svitamento	n.d.	4.5 ± 1.5	4.5 ± 1.5	4.5 ± 1.5	7.5 ± 1.5	n.d.	n.d.	4.5 ± 1.5

Successivamente si infila il capocorda del circuito elettrico sul perno stesso per poi riavvitare il cappuccio protettivo.

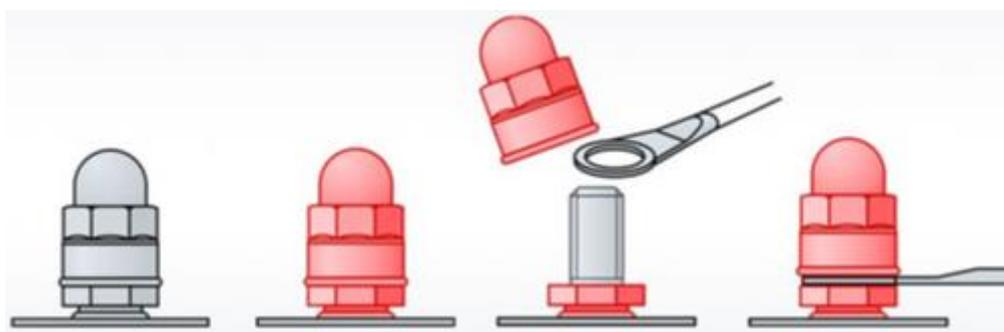


Figura 8: Applicazione del perno di massa

Il risultato finale del perno (grigio) saldato sulla lamiera dell'auto (verde) con il cavo del circuito elettrico (blu) collegato così a terra appare come segue:

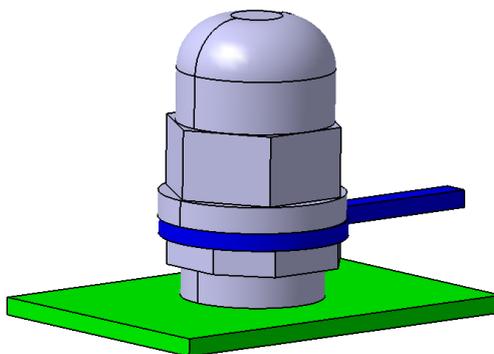


Figura 9: Aspetto finale perno saldato su lamiera più cavo elettrico

Ad un singolo perno possono essere così connessi più di un circuito elettrico, tuttavia bisogna fare attenzione alla distanza che intercorre tra la flangia circolare e la lamiera. Questa grandezza infatti non deve essere superiore a dei valori precisi stabiliti proprio dalla norma 10160/32 di FCA e riportati in tabella

	Tipo A	Tipo B M6	Tipo B M8	Tipo C	Tipo D	Tipo E	Tipo F	Tipo G
Distanza flangia lamiera	3.9 ± 0.9 mm	4.3 ± 0.8 mm	5 ± 1 mm	4.5 ± 0.7 mm	2.5 ± 0.1 mm	4.6 ± 0.5 mm	4.6 ± 0.5 mm	3.9 ± 0.9 mm

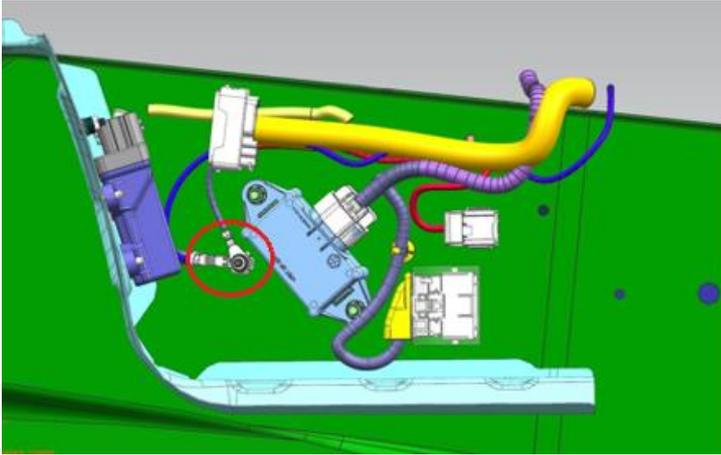


Figura 10: Collegamento di 2 circuiti elettrici allo stesso perno di massa

1.5 Metodi di saldatura

La saldatura dei perni di massa su lamiera è la parte più delicata ed importante perciò viene fatta rispettando alcune regole precise stabilite dalla norma 10160/32 di FCA.

Prima di tutto bisogna che il perno sia posizionato su una zona piatta di lamiera e priva di difetti o saldature. È necessario per la norma rispettare inoltre dei vincoli di posizionamento elencati nella Figura sottostante:

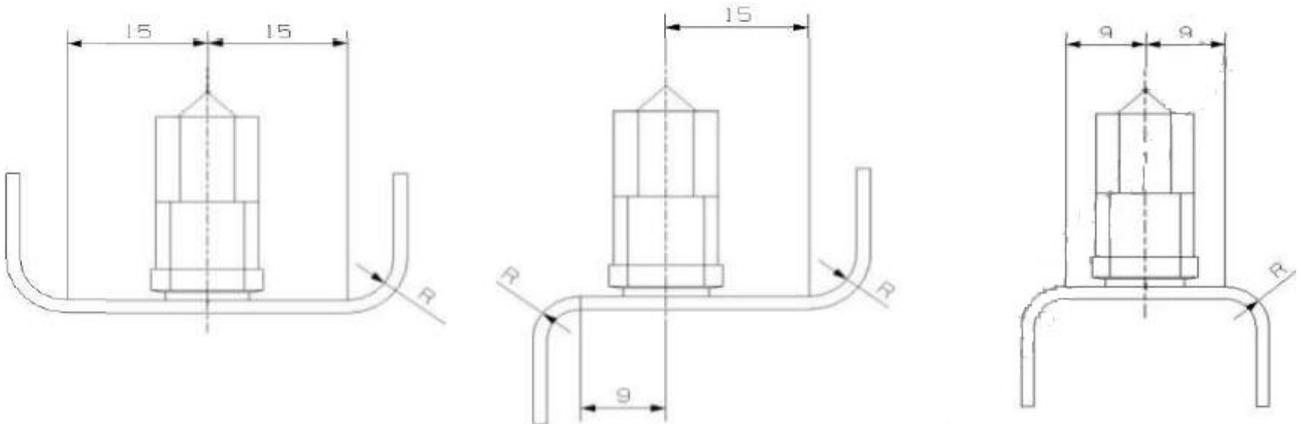


Figura 11: Vincoli di posizionamento del perno

Questi vincoli sono importanti perché in caso di distacco del perno o di un suo danneggiamento bisogna che ci sia lo spazio per fare la riparazione, dunque il robot addetto a tale compito deve poter accedere alla zona di interesse e avere lo spazio necessario per lavorare.

La procedura di saldatura deve essere secondo normativa ad arco per i perni di Tipo A, B, C, E, F e G, mentre vengono saldati a proiezione i perni di Tipo D.

Il processo di saldatura è automatico e svolto interamente da dei robot che controllano alcuni parametri quali: l'ortogonalità del perno ed il suo posizionamento nel punto corretto, la forza con cui esso viene premuto sulla scocca, l'intensità di corrente che passa nel circuito ed il numero dei periodi.

La pistola di saldatura, mostrata in figura, può essere montata su un robot o può essere fissata ad una colonnina.



Figura 12: Saldatrice fissa su colonnina o mobile montata sul polso robotico

La scelta di quale delle due soluzioni adottare viene fatta in base ai tempi della produzione ed a come è organizzata la linea di lastratura. Nel primo caso la pistola per saldare viene ancorata ad una colonnina ed il robot movimentata la lamiera così da posizionare il perno da saldare nella zona corretta. Viceversa, nel caso in cui la saldatrice sia montata sul polso del robot sarà proprio questa a spostarsi per raggiungere la corretta posizione.

1.5.1 Procedura di saldatura dei perni di massa di Tipo D

La saldatura è a scarica capacitiva ed avviene grazie al generatore corredato di condensatori collegato alla pistola saldante fornita dalla compagnia Tucker (esistono anche altre marche, FCA richiede Tucker). Il gruppo Tiberina salda svariati perni di massa in diverse unità produttive e altrettante tipologie di veicoli. Ad esempio, nella fabbrica di Cassino salda molti perni di massa sulle scocche dei modelli "Stelvio" e "Giulia" proprio grazie a questa componente, di cui di seguito si riporta il modello CAD.

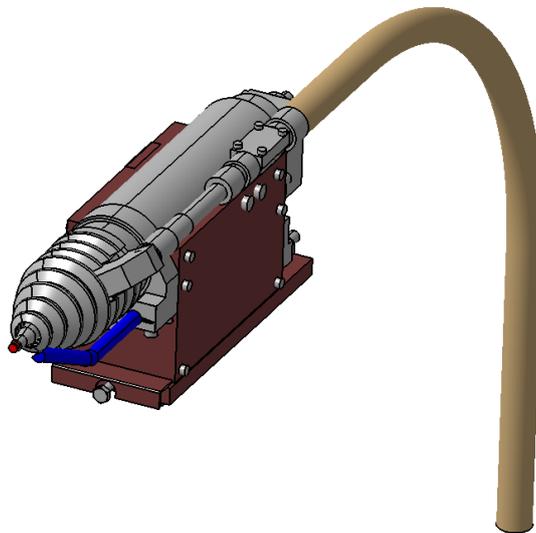


Figura 13: Pistola saldatrice

Capitolo 1 Il perno di massa

Questa saldatrice nell'impianto di Cassino è fissata ad una colonnina di carpenteria metallica, mentre il pezzo è portato in posizione da un robot. Questa inoltre è controllata da una centralina situata fuori dalla cella di lavoro. Si può osservare quanto appena descritto nella Figura sottostante:



Figura 14: Centralina e saldatrice Tucker dell'impianto di Tiberina Cassino

I perni di massa sono stanziati in grande numero all'interno della centralina all'esterno della cella. Tali componenti vengono pompate grazie all'aria compressa all'interno del tubo di alimentazione in plastica bianco e passano così dalla centralina alla pistola saldatrice.



Figura 15: Perni stanziati nella centralina e tubo di plastica mediante il quale vengono inviati alla saldatrice

Il perno si ferma all'estremità della pistola saldatrice, dove è posizionato con il cappuccio ancora all'interno, mentre la zona troncoconica da saldare rimane fuori.

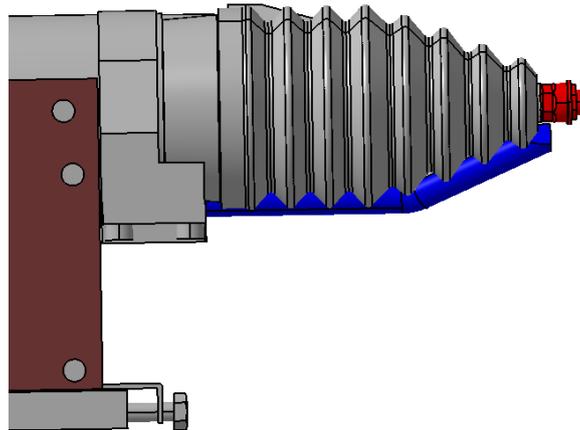


Figura 16: Dettaglio del perno nella pistola pronto per essere saldato

Una volta che il perno di massa è arrivato in posizione e la saldatrice è pronta si fa arrivare la lamiera. Questa viene movimentata da un robot antropomorfo a 6 assi, che la posiziona perpendicolare al perno ed a una certa distanza da esso. A questo punto si preme la lamiera contro il cono del perno con una forza precisa e si fa passare corrente. Il materiale si fonde e così il perno Tucker viene saldato alla scocca.



Figura 17: Macrografia saldatura del perno sulla lamiera

Il risultato finale è un perno saldato perpendicolarmente alla lamiera come riportato dalle seguenti figure:

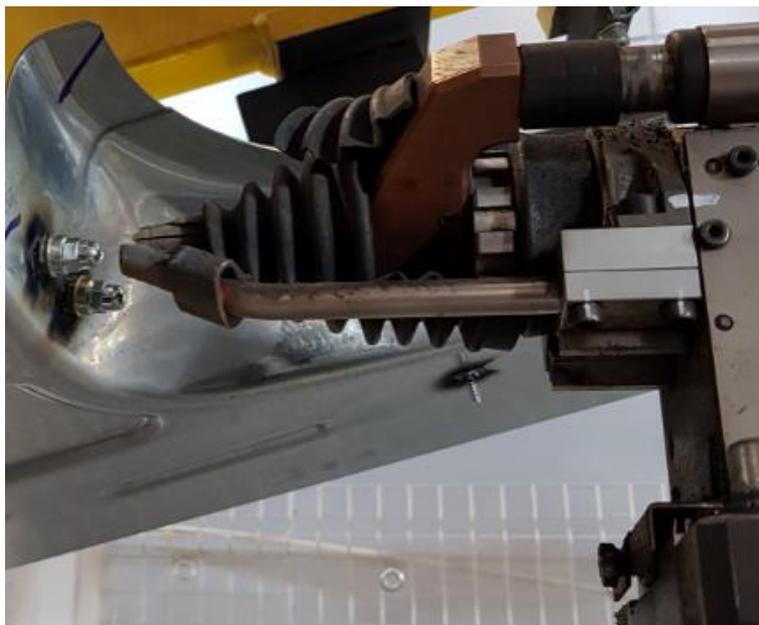


Figura 18: Perno saldato dalla pistola apposita

1.6 Vincoli

Ogni prodotto dell'autoveicolo è classificato in base alla classe funzionale, poi gli si associa anche una classe di importanza.

La classe funzionale definisce l'importanza del prodotto ai fini della funzionalità del complessivo al quale è destinato. Questa condizione influisce la progettazione del processo produttivo e delle procedure di controllo gestite dalla qualità anche in funzione della classe di importanza. Nel mondo dell'automotive si distinguono:

- CF1: prodotti correlabili con la sicurezza;
 - CF1D: sottoinsieme della CF1 a cui appartengono i Componenti Report;
- CF2: prodotti molto importanti ai fini della funzionalità, dell'immagine e/o di onerosa sostituibilità;
- CF3: prodotti che non rientrano nella CF1 o nella CF2.

Ai perni di massa si attribuisce la classe funzionale 1, poiché sono prodotti correlabili con la sicurezza, infatti una loro eventuale avaria pregiudica la corretta funzionalità dei componenti elettrici/elettronici ad essi collegati con potenziale conseguente arresto improvviso dell'autoveicolo, dunque un pericolo per l'incolumità del conducente e dei passeggeri.

La classe di importanza è invece indispensabile per delineare i livelli qualitativi da attribuire alle caratteristiche del prodotto. Essa orienta nella scelta del processo produttivo più adeguato e nel tipo di controllo prodotto/processo più idoneo. È usata inoltre per evidenziare particolari vincoli cui è sottoposto il prodotto, per esempio vincoli sulla sicurezza e/o conformità, sulla conservazione della documentazione eccetera. Infine, fornisce indicazioni sul modo di trattare il prodotto durante l'intero processo produttivo e durante l'esercizio. Le varie classi di importanza sono:

- Report;
- Critica;
- Importante;
- Tutte le altre.

La classe di importanza di tali perni è classificata come critica, ovvero un eventuale scostamento dalle prescrizioni specifiche può compromettere l'efficienza e/o l'utilizzo dell'autoveicolo.

Le caratteristiche da controllare e garantire nei perni di massa allora sono:

- Preservazione della base e dei filetti del perno ai processi di verniciatura;
- Perpendicolarità del perno;
- La distanza tra la flangia e la superficie di applicazione;
- Preservazione della base e dei filetti del perno dopo la saldatura;
- Carico di estrazione cappucci di protezione o coppia di svitamento dadi;
- Coppie di serraggio dei cappucci o dadi protettivi;
- Coppie di collaudo e coppia minima di rottura.

1.7 Processo di collaudo

Particolarmente critico è il processo di controllo della coppia di collaudo e di quella di rottura. Mentre infatti il controllo di alcuni parametri è automatico, come quello per la perpendicolarità, questo è fatto in maniera manuale.

Il perno di massa come visto è saldato sulla lamiera, ma bisogna poi controllare che la saldatura regga sotto l'effetto delle sollecitazioni che l'autoveicolo subisce durante il moto. Perciò è necessario controllare con una coppia di collaudo che il perno non si distacchi.

Da normative le coppie da applicare sono elencate nella tabella di seguito

Coppia in Nm	Tipo A	Tipo B M6	Tipo B M6	Tipo C	Tipo D	Tipo E	Tipo F	Tipo G
Collaudo	20	12	20	20	20	12	12	12
Rottura	30	14	30	30	30	14	14	14

Riassumendo allora per i perni di dimensione M6 la coppia di collaudo è di 12 Nm, mentre quella di rottura ha un valore minimo di 14 Nm, invece per i perni più grandi di dimensione M8 i valori sono più alti e sono pari rispettivamente a 20 Nm per la coppia di collaudo e 30 Nm per la coppia minima di rottura.

1.7.1 Collaudo manuale: strumenti

Il processo di collaudo ad oggi avviene come detto in maniera manuale.

Un operatore applica la coppia da verificare sull'ottagono alla base del perno, tramite una chiave dinamometrica. La chiave può essere di due tipi differenti: una che mostra gradualmente la coppia applicata in maniera manuale e l'altra invece che può essere regolata al valore di coppia da testare.



Figura 19: Chiave dinamometrica analogica



Figura 20: Chiave dinamometrica con coppia di applicazione preimpostata

Tutti e due le chiavi richiedono l'ausilio di uno strumento (adattatore) atto a bloccare l'ottagono del perno e non il dado o il cappuccio in plastica su di esso avvitati.

Con il primo tipo di chiave ci si aggancia al perno e l'operatore poi applica la coppia fino al valore da testare. Normalmente questo tipo di chiave è usata nelle prove di rottura, per vedere qual è la coppia che stacca il perno e controllare che tale numero sia superiore a quello prescritto.

La seconda invece è usata per controllare la coppia di collaudo. Si fissa il valore della coppia da testare con la chiave, la si stringe all'ottagono del perno e si preme il bottone rosso mostrato in Figura 20. La chiave applica automaticamente la coppia. Se il perno non si stacca o si danneggia è validato.

Capitolo 1 Il perno di massa

Ovviamente l'uso del secondo tipo di chiave permette di velocizzare le operazioni ed è ideale là dove si sa la coppia precisa da testare (collaudo), ma non può essere usata nelle prove di rottura dove invece il valore della coppia è incognito, perciò è necessario l'uso della chiave analogica.

I perni di massa sono forniti dalla ditta Tucker, che fornisce anche l'adattatore per agganciare la chiave dinamometrica al perno.



Figura 21: Attacco per la chiave dinamometrica

Questo elemento ha una zona apposita che fa presa sull'ottagono del perno di massa, su cui è chiuso manualmente.



Figura 22: Zona di attacco all'ottagono del perno di massa

Così facendo si supera il principale problema che impedisce un controllo automatizzato, ovvero la maggiore dimensione della flangia del perno di massa rispetto all'ottagono. Una spiegazione più dettagliata a riguardo verrà fornita in seguito.

1.7.2 Collaudo manuale: procedura perni M6

Nello stabilimento di Tiberina Cassino, come già detto, si producono le scocche per i modelli dell'Alfa Romeo "Stelvio" e "Giulia". Lì è allora possibile assistere alla procedura di collaudo manuale dei perni di massa.

Prima di tutto bisogna evidenziare che le prove di collaudo, essendo manuali, non possono essere fatte su ogni singolo perno di massa saldato sulle scocche, ma vengono svolte esclusivamente su tre lotti al giorno come indicato nelle istruzioni per l'operatore riportate qui sotto:

AC Operatore	TENUTA TUCKER MASSA Coppia 12 Nm	+	CHIAVE DINANOMETRICA	3 PZ/TURNO	RIF. NORMA 0.00031
-----------------	-------------------------------------	---	----------------------	------------	--------------------

Figura 23: Indicazioni di lavoro per l'operatore

Oltre ai 3pezzi/turno da controllare è indicato anche il valore della coppia da applicare, che, come visto, è pari a 12 Nm per i perni di massa M6.

Una volta al mese poi si fa la prova di rottura dei perni applicando sempre una manualmente una coppia via via maggiore fino a che il perno di massa saldato non si spezza.

La prova di collaudo ha una procedura precisa. In un primo momento si centra manualmente l'aggancio fornito dalla Tucker sul perno. Dal momento che la zona di attacco è aperta, come mostrato in Figura questo passaggio è particolarmente semplice, poiché si riesce a vedere l'ottagono del perno e dunque centrarlo è facile.



Figura 24: Zona di attacco aperta

Successivamente si chiude la zona di attacco sull'ottagono del perno di massa, ovvero là dove bisogna poi andare ad applicare la coppia di collaudo. Come si può vedere tale zona anche è ottagonale, così da formare un accoppiamento di forma col perno di massa in modo tale da non avere problemi di scivolamento dell'aggancio sul perno quando poi si applica la coppia.



Figura 25: Zona di attacco chiusa

Una volta che l'estremità inferiore del sistema di aggancio è stata chiusa sul perno si attacca all'altra estremità la chiave dinamometrica e si applica la coppia di collaudo o di rottura.



Figura 26: Prova di collaudo

Se il perno M6 sopporta la coppia di collaudo di 12 Nm allora è validato.

1.7.3 Collaudo manuale: procedura perni M8

Sempre nell'impianto di Tiberina Cassino si svolge anche un controllo dei perni M8. Questi perni sono di Tipo A cioè perni usati solo per vecchi progetti.



Figura 27: Perno di massa di Tipo A

Con questo Tipo di perni la procedura di collaudo è differente dato che oltre alle dimensioni sono diverse anche le geometrie. In particolare, è tutto più semplice dal momento che non c'è bisogno di un adattatore, perché la coppia può essere applicata direttamente agganciando la chiave dinamometrica alla base del perno.



Figura 28: Prova di collaudo dei perni M8

In questo caso allora basta semplicemente impostare la coppia di collaudo di 20 Nm sulla chiave dinamometrica per poi applicarla direttamente al perno di massa, dato che si riesce ad agganciare la chiave all'esagono del perno con semplicità.



Figura 29: Dettagli della chiave dinamometrica

Capitolo 1 Il perno di massa

Anche per questi tipi di perni il controllo di collaudo è fatto su 3 lotti al giorno: a inizio, a metà ed al termine dell'esercizio.

La prova di rottura invece è fatta una volta al mese, usando però il tipo di chiave dinamometrica con cui si riesce a ad applicare gradualmente e manualmente una coppia, letta tramite l'indicatore analogico posto sulla chiave stessa come già visto.

1.7.4 Problematiche

Siccome i perni di massa sono, come visto, elementi critici con una classe funzionale 1, sarebbe necessario svolgere il processo di collaudo al 100% su tutti gli elementi saldati su un body white. Dal momento che nello stabilimento di Tiberina Cassino si producono circa 500 scocche di auto al giorno e che in ognuna di esse ci sono tra i 15 ed i 20 perni di massa si tratterebbe di controllare almeno 7500 elementi al giorno.

La verifica della coppia di collaudo è ad oggi manuale. Ciò rende evidentemente impossibile controllare tutti i componenti.

La problematica più grande per cui finora non si è riusciti ad implementare un metodo automatico di controllo è legata alla maggiore dimensione della flangia rispetto all'ottagono. Questo infatti rende impossibile scendere dall'alto con un avvitatore e poi serrare perché appunto prima dell'ottagono si incontra la flangia.

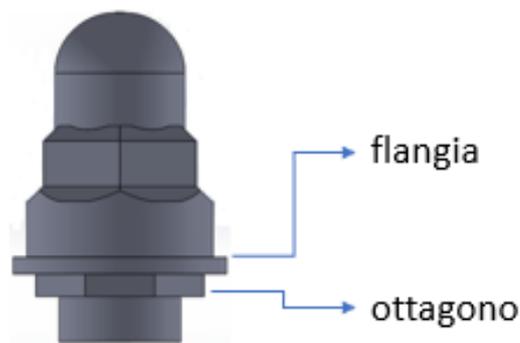


Figura 30: Maggiori dimensioni della flangia rispetto all'ottagono

Capitolo 2

Controllo coppia automatico

2.1 Soluzione ideale

La necessità come visto è quella di eseguire un controllo coppia in automatico su tutti i perni di massa saldati. L'ideale sarebbe dunque mettere in serie, nella linea di lastratura, una postazione per svolgere tale collaudo immediatamente dopo quella di saldatura.

Ovviamente l'elemento con cui serrare l'ottagono e controllare la coppia applicatagli dovrebbe avere le stesse dimensioni della pistola di saldatura, o addirittura essere più piccolo di essa. Questo perché deve poter accedere alla zona in cui il perno è stato saldato, perciò sicuramente se è di dimensioni pari o inferiori alla pistola saldatrice può agevolmente raggiungere tutti i perni da essa saldati, così da poterli controllare. Se la pistola è ferma ed è il pezzo a muoversi tramite un robot per arrivare nella corretta posizione, basterebbe far ripetere al robot gli stessi movimenti anche per avvicinarsi all'elemento del controllo coppia così da eseguire il collaudo. Se invece la lamiera è fissa ed è la pistola saldatrice ad essere montata sul polso del robot sarebbe sufficiente applicare l'elemento utile al collaudo ad un secondo robot ed implementare su di esso gli stessi movimenti fatti per saldare.

Al contrario qualora le dimensioni dell'elemento per il controllo della coppia fossero superiori a quelle della pistola usata per saldare bisognerebbe andare a studiare, per ogni parte della scocca in cui vi sono dei perni di massa, quali movimenti fare per poter accedere a tali zone. Va inoltre evidenziata la possibilità per cui tale elemento non riesca ad andare a controllare un determinato perno poiché le sue dimensioni non lo permettono. In tal caso ovviamente la soluzione automatica non è applicabile e bisognerebbe quindi tornare ad un controllo manuale svolto dall'operatore.

È dunque molto importante sapere quali sono gli ingombri della pistola saldatrice, così da poter avere un riferimento. Nell'impianto di Tiberina Cassino la saldatrice usata è quella fornita dalla ditta Tucker di cui di seguito si riportano le dimensioni di interesse.

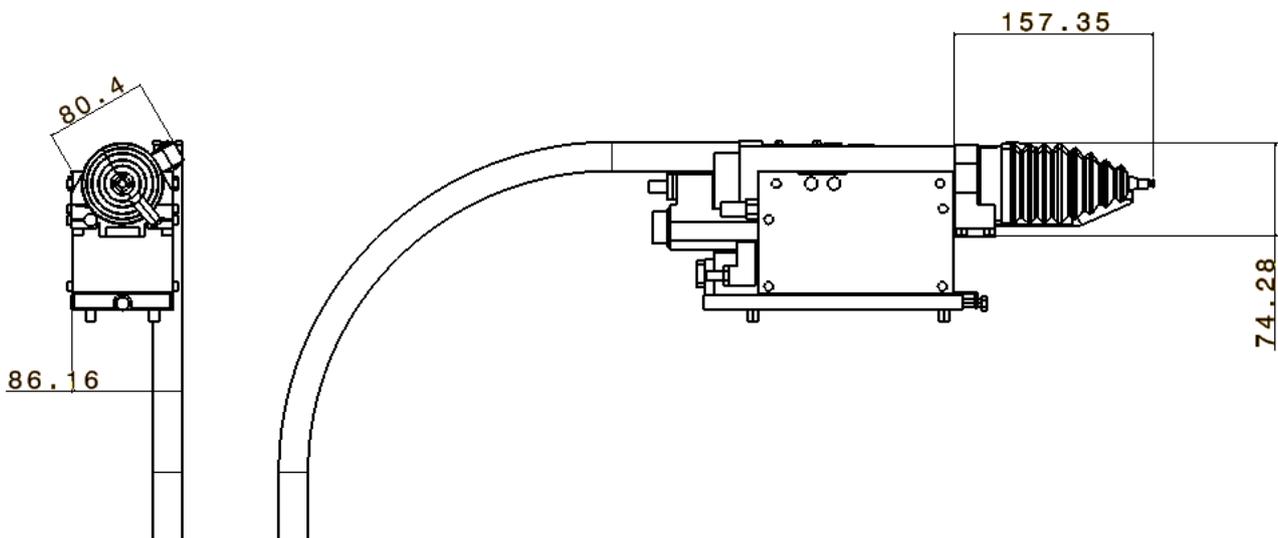


Figura 31: Dimensioni delle pistole saldatrice

Capitolo 2 Controllo coppia automatico

La pistola analizzata è fissata ad una colonnina ed il pezzo si avvicina ad essa. Sono allora di interesse solo le dimensioni riportate in Figura poiché sono solo quelle da tenere in considerazione per evitare la collisione tra pezzo e pistola.

Si hanno così dei riferimenti per l'elemento ideale del controllo coppia, che non dovrà essere più lungo di 157 mm o più alto di 80 mm o più largo di 86 mm.

Se la parte "attiva" di tale componente, cioè quella che deve andare sul pezzo per serrare il perno di massa, non supera queste grandezze od è ragionevolmente (+1 o 2 mm) vicino ad esse allora si può facilmente implementare il sistema di controllo coppia automatizzato nella cella di lavoro.

Oltre a questo componente è evidente anche la necessità di avere nel prototipo un motore con il quale imprimere la coppia di collaudo/rottura ed un trasduttore per leggere e registrare tale coppia. Un servomotore dunque sarebbe l'ideale.

La soluzione automatica ideale allora avrà una parte "attiva" delle dimensioni indicate con cui serrare l'ottagono del perno di massa saldato ed un servomotore, regolabile da remoto, con cui imprimere e rilevare le coppie di collaudo/rottura. Questo perciò deve garantire un range di lavoro che va almeno da 12 Nm a 30 Nm. Tale motore sarà fissato o sulla colonnina, nel caso in cui sia la scocca a spostarsi verso il prototipo, o sul robot manipolatore nel caso in cui invece sia il prototipo stesso a spostarsi verso il pezzo.

Così si è definito l'obiettivo di questo lavoro.

2.2 Soluzione attuale

Nella realtà ad oggi vi è un sistema di controllo automatico per il perno di massa già implementato nelle celle di lavoro dell'impianto di Tiberina Cassino.

Data infatti la grande importanza rivestita dal perno di massa per la sicurezza dell'autoveicolo c'è la necessità di controllarlo il più possibile, perciò oltre al controllo manuale delle coppie di collaudo per 3 lotti al giorno a Cassino è presente un sistema con il quale si riesce a verificare la presenza di ogni perno e la tenuta della saldatura in modo non normato, ovvero applicandogli un leggero carico laterale mediante cilindro pneumatico.

Il sistema è fissato su una colonnina ed è costituito da due sensori, uno di inizio corsa ed uno di fine corsa, da una valvola pneumatica con cui si comanda un pistone, che sposta un'estremità rivestita in gomma con la quale si va a toccare il perno.

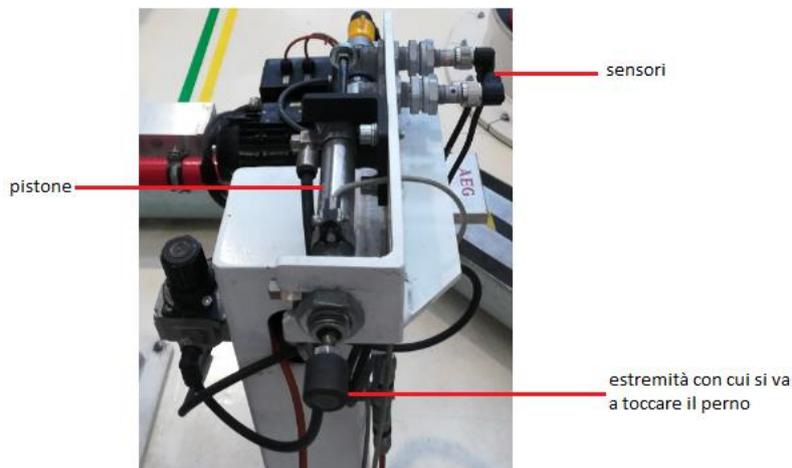


Figura 32: Sistema di controllo automatico presenza pezzo

Il funzionamento del sistema è estremamente semplice. La lamiera con il perno di massa saldato viene portata davanti all'estremità in gomma del sistema, ad una distanza precisa da essa e con un orientamento tale da posizionare il perno perpendicolare al pistone. A questo punto, tramite una valvola di comando pneumatica si attiva l'attuatore lineare, il pistone quindi scorre in avanti finché la sua estremità in gomma non va a toccare il perno di massa. Una volta fatta la corsa di andata si commuta la valvola così da far fare al pistone la corsa di ritorno.

Sull'altra estremità dello stelo ci sono 3 anellini in ferro, che vengono rilevati da due sensori di presenza uno di inizio ed uno di fine corsa come mostrato in Figura. Tali sensori sono infatti elettromagnetici e perciò vanno a rilevare gli anelli di ferro calettati sullo stelo



Figura 33: Sensori di inizio e fine corsa visti da davanti

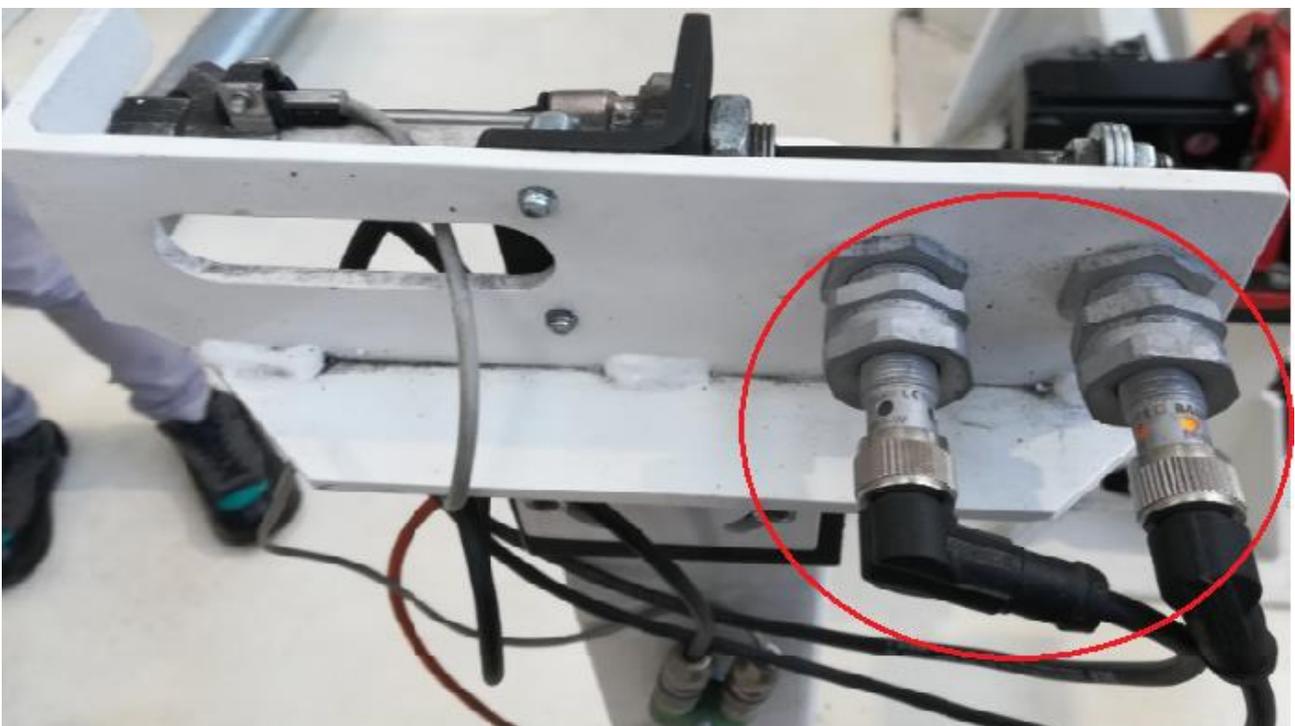


Figura 34: Sensori di inizio e fine corsa visti da dietro

Capitolo 2 Controllo coppia automatico

Se il perno di massa è correttamente saldato l'estremità in gomma andrà a colpirlo prima che l'altra estremità sia arrivata davanti al sensore di fine corsa. Si ha quindi solo il segnale di presenza ad inizio corsa, mentre quello di fine corsa non percepisce nulla. Il pezzo allora viene correttamente validato.

Se invece il perno è assente o è saldato così male da staccarsi quando viene colpito si ha che l'altra estremità arriva di fronte al sensore di fine corsa, che dunque si attiva. In tal caso il pezzo viene segnalato come difettoso e scartato.

Il sistema è pneumatico e non idraulico così da avere forze in gioco minori ed evitare di danneggiare il perno di massa quando lo si colpisce.

Come detto questo semplice metodo di controllo automatico è già implementato nelle linee di lastratura presenti in Tiberina Cassino

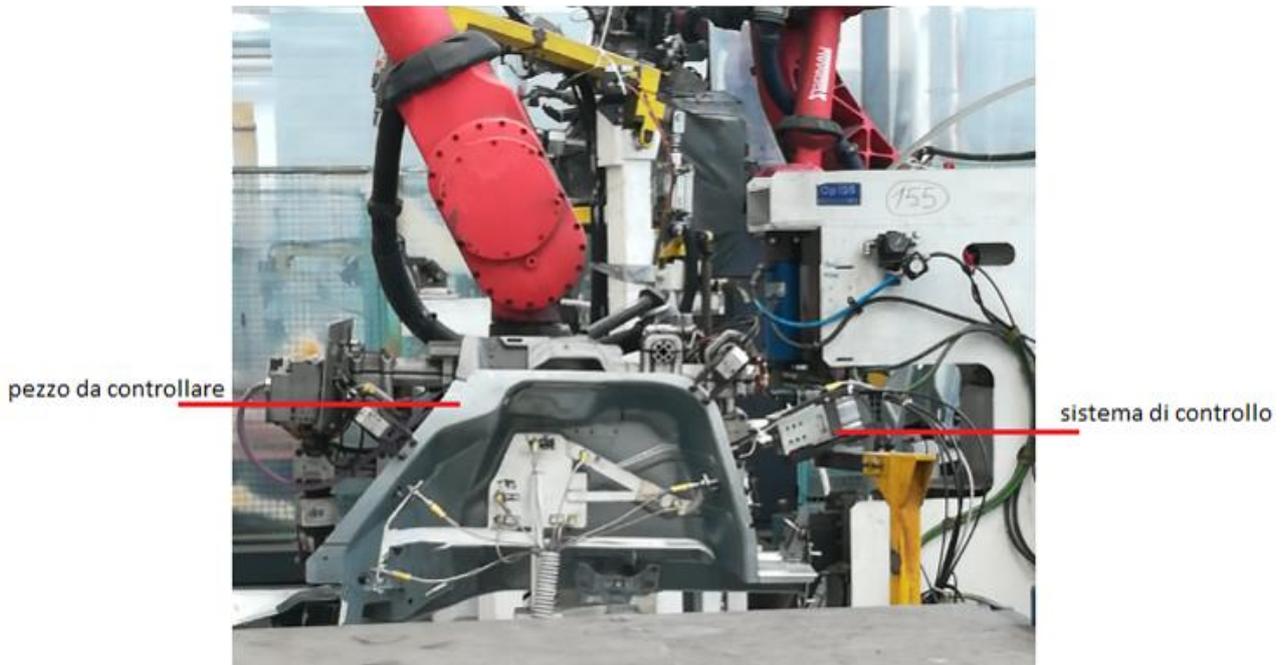


Figura 35: Sistema di controllo implementato nella catena di lastratura

Questo è ad oggi l'unico sistema di controllo automatico esistente per i perni di massa. Esso come visto non verifica affatto né la coppia di collaudo né quella di rottura, ma si limita a controllare che il perno sia stato saldato nella corretta posizione. È dunque un elemento utile, ma non certo risolutivo.

2.3 Primo prototipo

Noti i problemi da superare e l'obiettivo da voler raggiungere è stato pensato e progettato un primo prototipo, che non ne ha di uguali nel mercato.

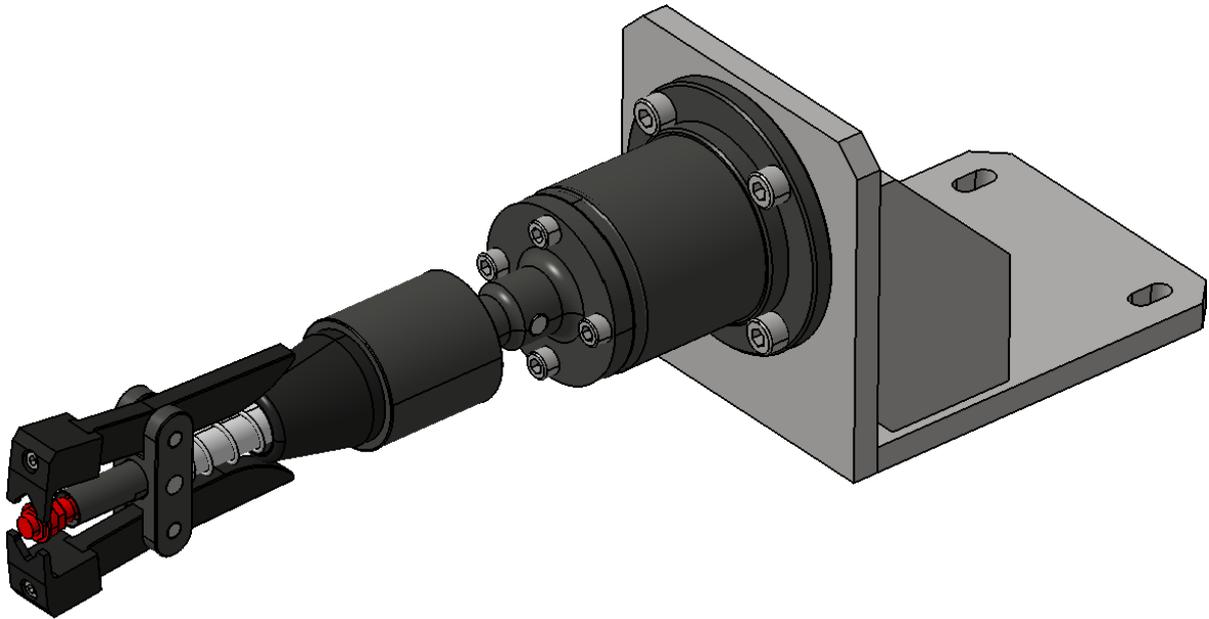


Figura 36: Primo prototipo

In rosso è riportato il perno di massa.

Come si può facilmente capire questo primo prototipo è già molto complesso, per cui di seguito si procede ad illustrarne i componenti dividendo l'assieme in 3 gruppi con diverse funzioni:

- Pinza perno di massa;
- Supporto cuscinetti;
- Struttura elettrosaldata.

2.3.1 Pinza perno di massa

La pinza del primo prototipo è mostrata in Figura



Figura 37: Pinza del primo prototipo

Capitolo 2 Controllo coppia automatico

Questa è senza dubbio la parte innovativa del prototipo ed il suo compito è quello di serrare il perno di massa così da poterli applicare la coppia di collaudo/rottura. L'idea su cui si basa sfrutta un accoppiamento di forma azionato in maniera pneumatica.

Funzionamento

Vediamo il funzionamento del sistema.

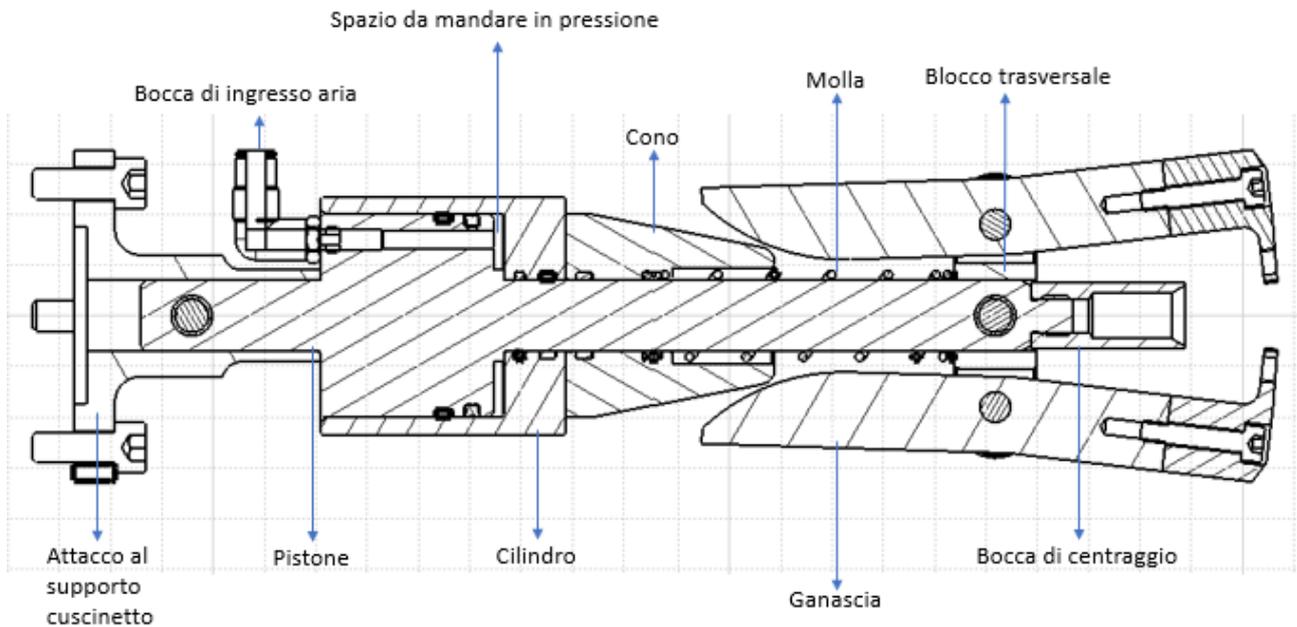


Figura 38: Sezione pinza di primo prototipo

L'idea alla base del prototipo è di far chiudere lateralmente le Ganasce sull'ottagono del perno di massa, così da poterlo agganciare e poterci applicare la coppia di collaudo richiesta.

La distanza iniziale tra le ganasce è superiore alla dimensione della flangia del perno, perciò si può avvicinare il prototipo lungo la perpendicolare alla lamiera senza problemi di interferenza. La Pinza centra il perno inglobandone il cappuccio protettivo all'interno della Bocca di centraggio. È importante che questo centraggio avvenga in maniera precisa per non danneggiare il cappuccio protettivo, perciò l'operazione sarà fatta lentamente. Posizionata la pinza alla giusta altezza e centrato il perno si possono serrare le Ganasce sull'ottagono. Il moto delle Ganasce è dato dall'accoppiamento di forma tra esse ed il Cono, che viene spinto verso il basso quando la camera ad esso superiore è mandata in pressione grazie all'aria immessa da un sistema pneumatico. Si ha dunque uno scorrimento verso il basso del Cilindro e del Cono, che essendo a contatto con le Ganasce ne impone la chiusura.

A questo punto si può applicare il moto rotatorio, dato dal motore a monte dell'intero prototipo e trasmesso alla pinza dalle 4 viti che la collegano con il gruppo Supporto cuscinetti.

Una volta applicata la coppia di collaudo/rottura si smette di inviare aria compressa, la Molla allora riesce a riportare il Cono ed il Cilindro alla loro posizione di partenza. Durante la risalita del Cono le Ganasce, poste a contatto con esso, si riaprono così da riuscire a sfilare la Pinza senza sbattere sulla flangia del perno di massa.

Singole componenti

Si analizzano adesso più nel dettaglio le singole componenti del gruppo Pinza.

Partiamo dall'attacco al gruppo di Supporto cuscinetti. Questo elemento funge appunto da collegamento tra il gruppo della pinza e quello di supporto dei cuscinetti. Tale legame viene stabilito mediante 4 viti M6

lunghe 15 mm. Il moto rotatorio imposto dal motore al gruppo di Supporto cuscinetti viene a sua volta trasmesso al gruppo pinza proprio grazie al queste 4 viti.

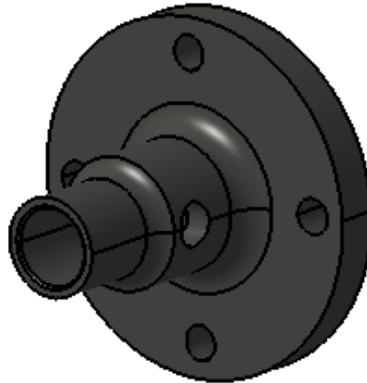


Figura 39: Attacco al supporto cuscinetti

All'interno di questo elemento si infila il Pistone centrale, che viene fissato grazie ad una spina passante. In tal modo quando ruota l'Attacco al supporto ruota anche il Pistone, che è l'elemento cardine del gruppo Pinza.

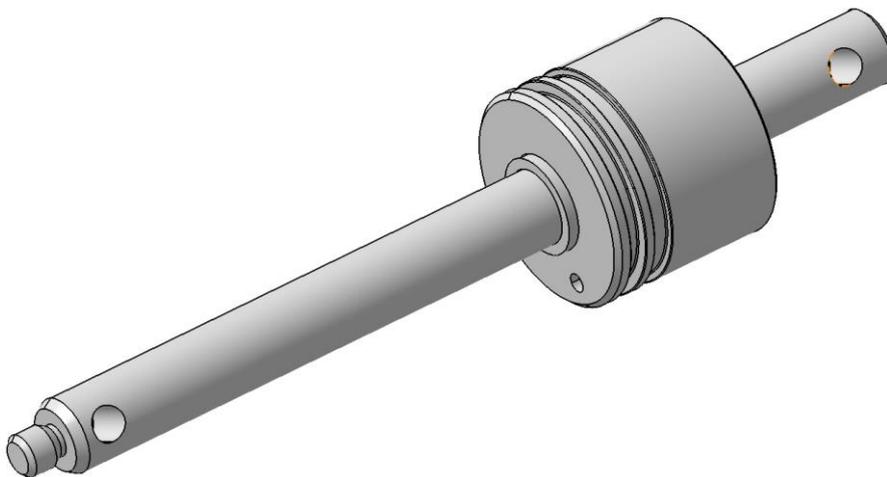


Figura 40: Pistone centrale

Esso ha uno stelo centrale con due fori passanti per due spine, utili a collegare il pistone all'Attacco col supporto cuscinetti e con il Blocco trasversale. Tali spine sono di dimensioni notevoli perché hanno il compito di trasmettere il moto torsionale fino alle Ganasce che si chiudono sul perno di massa. Vi è poi una parte del pistone fatta da un cilindro di dimensioni più grandi con un foro in cui si fa passare dell'aria compressa, così da mandare in pressione lo spazio sottostante ad esso. In tal modo si ottiene il moto verso il basso dell'elemento Cilindro riportato in Figura.

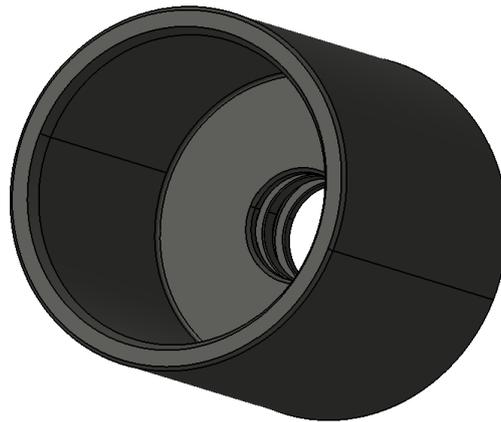


Figura 41: Cilindro del gruppo Pinza

Questo componente viene calettato attorno al cilindro dell'elemento Pistone. L'aria compressa, che è immessa nel prototipo tramite un attacco apposito posto proprio sul cilindro del Pistone, va a riempire l'intercapedine libera tra di esso ed il Cilindro.

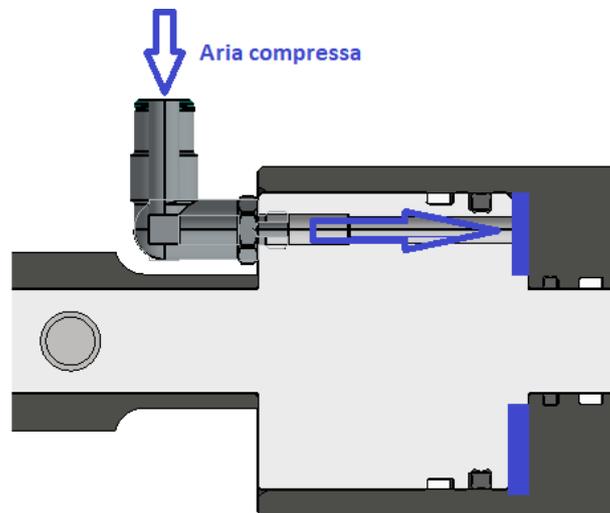


Figura 42: Flusso dell'aria compressa

Se si considera che il Pistone è fissato solo a monte tramite la spina che lo collega all'Attacco col Supporto cuscinetto si ha uno squilibrio delle forze che porta al moto dell'elemento Cilindro.

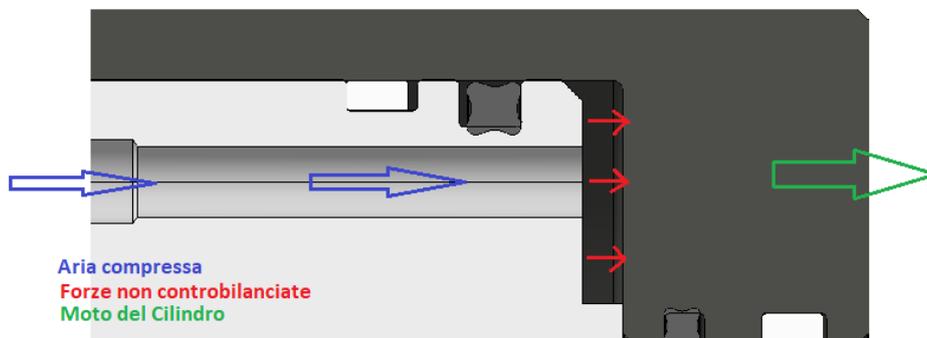


Figura 43: Dettaglio della sezione

Dalla Figura sovrastante si possono anche notare 2 bronzine di sezione rettangolare e 2 guarnizioni poste nelle rispettive sedi. Ovviamente avendo a che fare con dell'aria le guarnizioni servono ad isolare

l'ambiente da mandare in pressione ed a non avere delle fughe. Per favorire questo compito esse sono calettate su sedi più piccole del dovuto, così da schiacciarle e garantire una tenuta migliore.



Figura 44: Guarnizione

All'esterno di questi elementi di tenuta sono montate le bronzine, il cui compito è quello di proteggere il Cilindro ed il Pistone dall'usura e di favorirne lo scorrimento di uno sull'altro. Durante il moto infatti il Cilindro scorre sul Pistone e questo a lungo andare porta ad un deterioramento dei pezzi per l'attrito. Le bronzine invece favoriscono questo moto relativo grazie ad il rivestimento in teflon e preservano i due elementi dall'usura poiché in realtà la loro dimensione radiale è leggermente superiore a quella strettamente necessaria così che lo scorrimento non coinvolga direttamente il Pistone, ma sia solo tra Cilindro e bronzine.

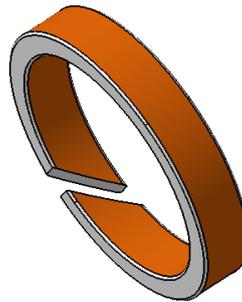


Figura 45: Bronzina

La bronzina ha un taglio a 40° per il montaggio, infatti grazie ad esso si riesce ad allargarla per portarla sulla sua sede dove poi la si lascia richiudere.

Sia per le tenute dell'aria sia per le bronzine sono previste nel Pistone e nel Cilindro delle sedi circolari.

Le bronzine sono presenti per facilitare il moto anche tra il Pistone ed il Cono, dove ci sono le relative sedi.



Figura 46: Cono

Capitolo 2 Controllo coppia automatico

La sezione del Cono è particolarmente interessante.

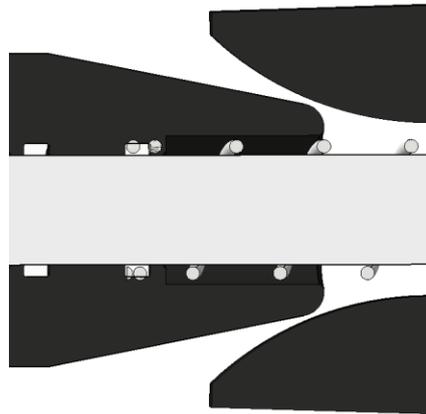


Figura 47: Sezione del Cono

Come si può notare esso presenta un foro passante per il Pistone, due sedi circolari per altrettante bronzine ed un foro di dimensioni maggiori in cui si inserisce una molla. Quando lo spazio tra Cilindro e Pistone viene mandato in pressione le forze generate vincono la resistenza della molla, che perciò si comprime, ma poi, appena l'effetto dell'aria compressa viene meno, la molla torna ad espandersi e così riporta Cono e Cilindro alla posizione iniziale. Le scelte della molla e del suo precarico allora vanno fatte con accuratezza, è necessario che la molla non sia così forte da impedire al Cono di traslare sotto la spinta della pressione né che sia così debole da non riuscire poi a portare tutti gli elementi in posizione. Sono interessanti anche le dimensioni della molla, il cui diametro interno deve essere sufficientemente grande da poterci inserire il Pistone, mentre quello esterno deve essere inferiore della sezione minore del Cono per poterci entrare. È inoltre molto importante che sia abbastanza lunga da non andare a pacco quando viene compressa.

Si studiano allora le forze in gioco a partire dal diagramma di corpo libero, considerando che le forze di attrito sono contrarie alla direzione del moto:

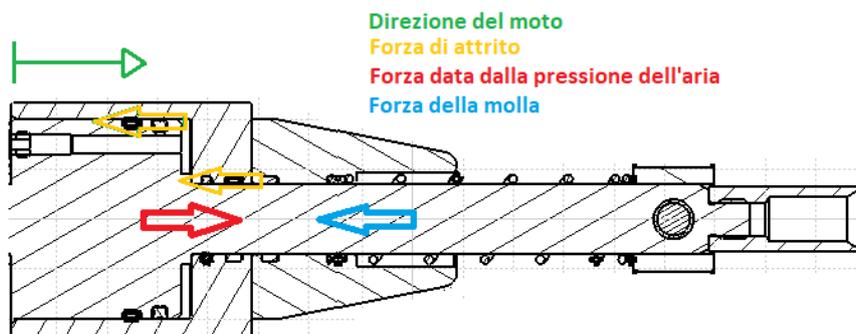


Figura 48: Forze in gioco

Si trascurano le forze di attrito perché i componenti saranno ampiamente lubrificati durante l'applicazione e perché sono presenti numerose bronzine che riducono ulteriormente l'effetto dell'attrito.

Per far traslare i corpi verso destra allora deve valere:

$$P_{ind} * A - F_m > 0$$

Invece quando i pezzi devono tornare in posizione:

$$P_{atm} * A - F_m < 0$$

Dove

Sezione su cui agisce la pressione= $A = \pi * (R^2 - r^2) = \pi * (0.0195^2 - 0.0075^2) = 0.000204 \text{ m}^2$

$$P_{atm} = 1 \text{ bar} = 100000 \text{ Pa} \quad P_{ind} = 8 \text{ bar} = 800000 \text{ Pa}$$

$$P_{ind} * A \cong 163.2 \text{ N} \quad P_{atm} * A \cong 20.4 \text{ N}$$

Dunque, perché il moto avvenga correttamente la forza della molla F_m deve essere:

$$20.4 \text{ N} < F_m = F_0 + k * \Delta l < 163.2 \text{ N}$$

La rigidezza della molla scelta è $k \cong 2315.6 \frac{\text{Kg}}{\text{s}^2}$ ed è stata trovata misurando la sua compressione a seguito dell'applicazione di una massa nota.

Quest'ultima come si vede ha una lunghezza maggiore rispetto alla profondità della sede del Cono così da essere leggermente compressa durante il suo montaggio. Il precarico della molla previsto è di 9 mm. Ci sarà perciò sempre una forza minima della molla pari a

$$F_0 = k * 0.009 = 20.84 \text{ N} > P_{atm} * A$$

Si ha allora in fase di risalita la molla riesce sempre a riportare in posizione il Cono ed il Cilindro poiché

$$F_m = F_0 + k * \Delta l > P_{atm} * A$$

Con $\Delta l \neq 0$ durante questa fase. Essendo poi la forza $P_{ind} * A \cong 163.2 \text{ N}$ molto elevata non avrà problemi a comprimere la molla, il cui $\Delta l_{MAX} = 15 \text{ mm}$ dato dalla corsa delle Ganasce, che quando arrivano a chiudersi non permettono più al Cono di scendere e dunque alla molla di comprimersi ulteriormente.

$$F_{m_{MAX}} = F_0 + k * \Delta l_{MAX} = 55.1 \text{ N}$$

La molla ha un estremo a contatto col Cono mentre l'altro è poggiato sul Blocco trasversale, che è fissato con una spina passante al Pistone centrale.

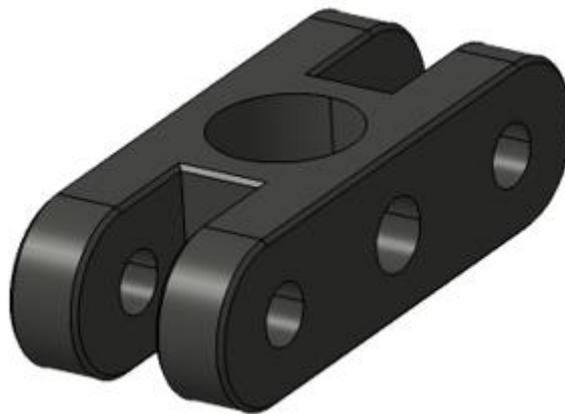


Figura 49: Blocco trasversale

Il Blocco trasversale ha anche altre due sedi per le spine che lo collegano alle due Ganasce, inserite nei suoi vani laterali. Così facendo si rende solidale il Blocco al Pistone, perciò quando ruota uno si ottiene la rotazione anche dell'altro. Le Ganasce sono a loro volta solidali al Blocco, che così quando viene messo in rotazione trasmette questo movimento anche alle Ganasce, che dunque applicheranno il moto torsionale al perno di massa.

Capitolo 2 Controllo coppia automatico

La Ganascia è costituita da due elementi differenti tenuti insieme tramite una vite: un corpo centrale che va a contatto con il Cono ed è legato tramite una spina al Blocco Trasversale e un secondo corpo il cui scopo è di serrare il perno di massa.

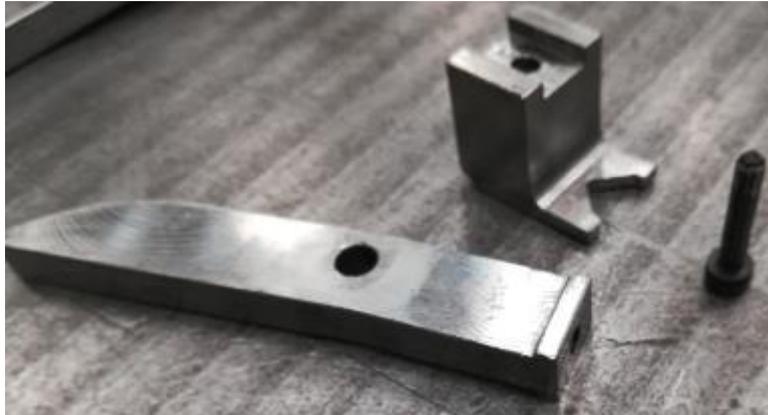


Figura 50: Elementi delle Ganasce

Il primo pezzo ha una forma utile ad ottenere la chiusura della Ganascia con il movimento del Cono, infatti ha una zona prismatica dritta ed una curvilinea. Vi è inoltre sulla parte prismatica rettilinea un foro passante per la spina.

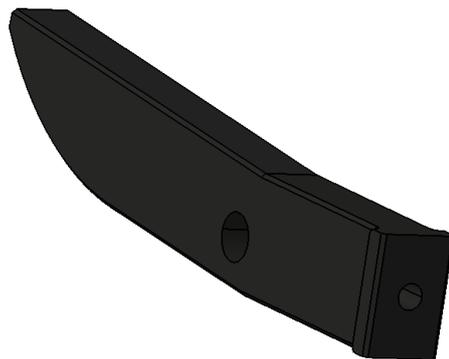


Figura 51: Elemento della Ganascia

All'estremità inferiore di questo elemento vi è una zona rettangolare di dimensioni più grandi, utile per incastrarlo all'interno del secondo componente della Ganascia con cui poi si fissa tramite una vite M6.

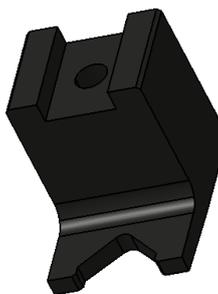


Figura 52: Elemento della Ganascia

Questo secondo elemento ha una sede per infilare il primo elemento e un foro per la vite. La parte terminale di questa parte della Ganascia ha una forma precisa pensata per agganciarsi all'ottagono del perno di massa. Con questo elemento si riesce ad afferrare il perno evitando che la presa scivoli sull'ottagono quando si applica il moto torsionale.

Montati insieme questi pezzi si ha la Ganascia completa



Figura 53: Ganascia

L'ultimo elemento del gruppo Pinza è la Bocca di centraggio. Questa è avvitata all'estremità del Pistone, è cava e serve a centrare il prototipo sul perno, il cui cappuccio protettivo infatti viene inglobato al suo interno. Per riuscire ad avvitare questo componente sono state fatte due chiavettature, cioè il cilindro è stato spianato nella parte alta così da creare una zona di appoggio alla quale agganciarsi per applicare la coppia di avvitamento.



Figura 54: Bocca di centraggio

Per evitare di danneggiare il cappuccio protettivo la Bocca ha una sezione che si va a restringere leggermente, una sorta di invito. Così quando il perno si avvicina alla Bocca può entrarvi piano piano senza essere danneggiato.

Si riportano di seguito il dettaglio del gruppo Pinza per poter visualizzare meglio sia la posizione della molla sia la chiusura sul perno.

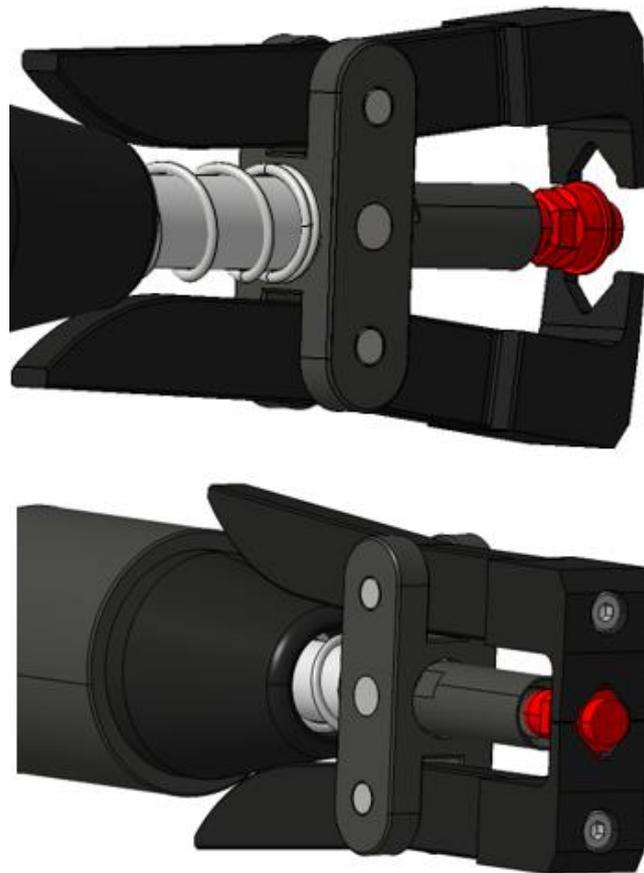


Figura 55: Dettagli della Pinza

Montaggio

Il gruppo Pinza come visto è fatto da innumerevoli componenti, che perciò vanno assemblati seguendo una precisa procedura di montaggio.

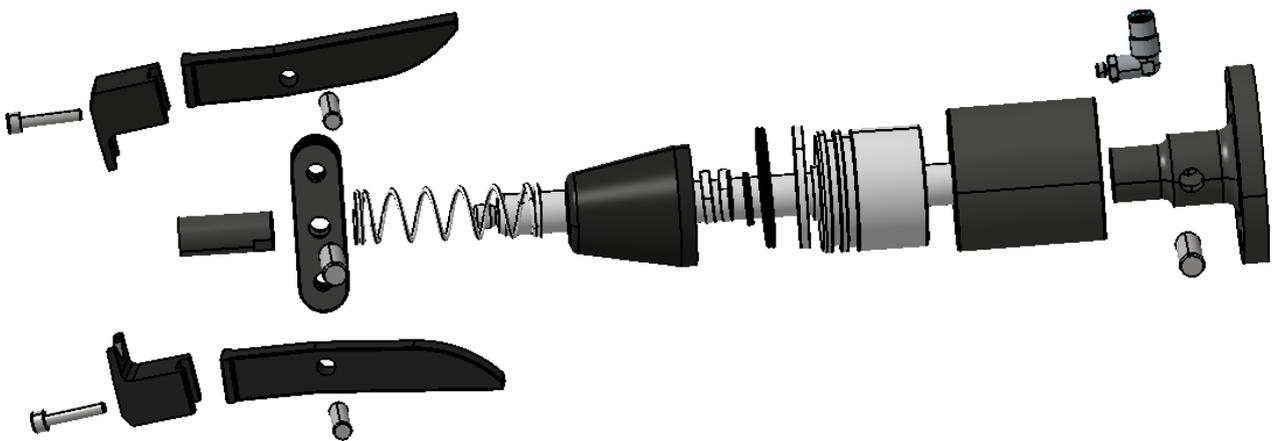


Figura 56: Esploso della Pinza

La prima cosa da fare è montare le bronzine e le guarnizioni sia sul cilindro del Pistone sia all'interno delle sedi del Cilindro e del Cono. Fatto questo si caletta il Cilindro sul Pistone e lo si manda in battuta come

mostrato in Figura:

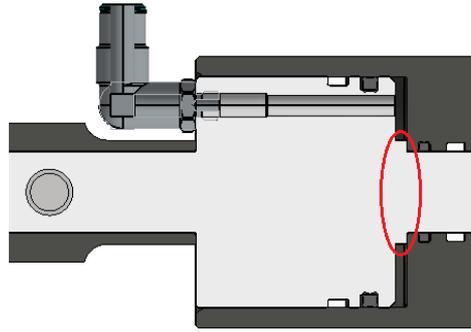


Figura 57: Montaggio in battuta del Cilindro sul Pistone

Si procede dunque ad avvitare la bocca per l'accesso dell'aria al Pistone, dopodiché si può infilare il Cono e la molla sullo stelo del Pistone.

Il prossimo elemento da montare diventa quindi il Blocco trasversale, con cui si comprime leggermente la molla e che viene bloccato infilando una spina passante sul Pistone. Il risultato ottenuto fin qui è il seguente



Figura 58: Fase del montaggio della Pinza

A questo punto si assemblano le Ganasce, le si inseriscono nel Blocco e si fissano anch'esse con due spine.

Fatto ciò la Pinza è quasi completata, resta infatti solo da infilare questo gruppo all'interno dell'Attacco al Supporto cuscinetti, posizionarlo in modo da avere i due fori in fase e infilarci l'ultima spina così da rendere tutto solidale.



Figura 59: Gruppo pinza completo

2.3.2 Supporto cuscinetti

Il secondo gruppo del prototipo è il Supporto cuscinetti

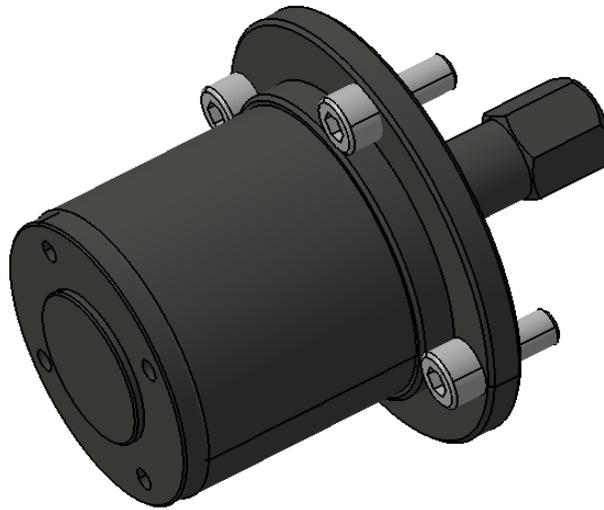


Figura 60: Supporto cuscinetti

Questo gruppo serve a collegare il motore alla Pinza così da trasmettergli il moto rotatorio ed a fissare il prototipo alla piastra e dunque a terra.

Funzionamento

I compiti del gruppo di Supporto cuscinetti sono essenzialmente due:

1. Agganciarsi al motore e trasmettere il moto torsionale al gruppo Pinza del prototipo;
2. Fornire un modo per poter ancorare il supporto al gruppo Struttura elettrosaldata e dunque a terra.

Al fine di realizzare questi obiettivi si è pensato di realizzare un Supporto cuscinetti per il primo prototipo di questo tipo:

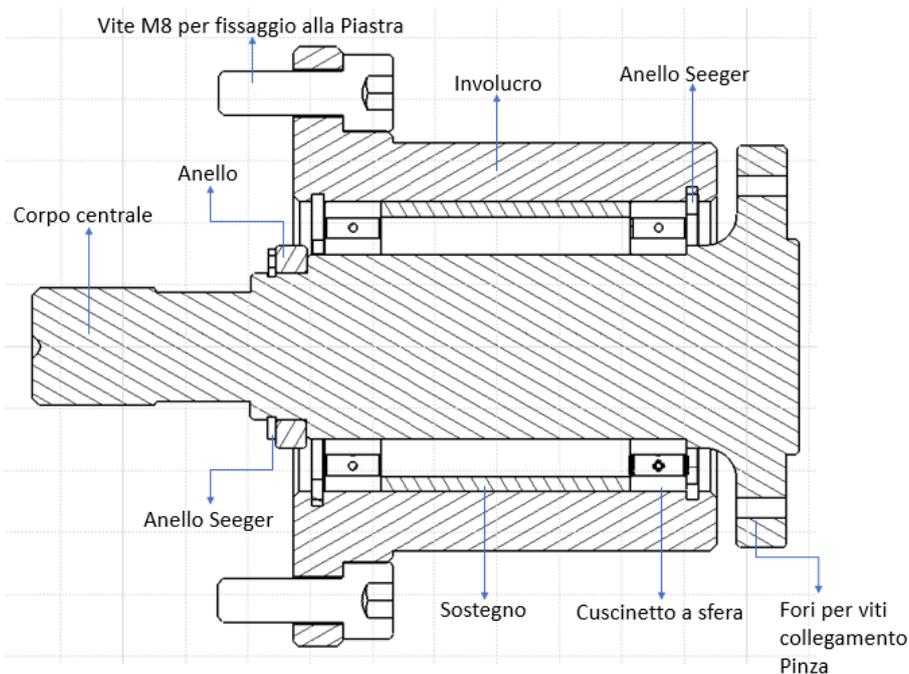


Figura 61: Sezione del Supporto cuscinetti

Il motore si collega all'estremità sinistra del Corpo centrale, cui si lega il gruppo Pinza nell'altro lato mediante 4 viti M6. Grazie a questo elemento si riesce allora a imporre una rotazione alla Pinza, che così applica una coppia al perno di massa. In tal modo si assolve in maniera semplice al primo compito del gruppo Supporto cuscinetti.

Per poter realizzare anche il secondo obiettivo invece la costruzione è leggermente più complessa. Il prototipo infatti ha la necessità di poter ruotare liberamente, ma anche quella di poter essere ancorato a qualcosa di fisso e stabile. È allora evidente già da questa superficiale analisi che servono dei cuscinetti. Si calettano dunque sul Corpo centrale due Cuscinetti a sfera. Questi devono essere fissati così da non muoversi lungo il corpo centrale, ma mantenere una posizione precisa. Si introduce allora l'elemento Sostegno, che blocca i due cuscinetti a una distanza precisa e gli impedisce di avvicinarsi. Esternamente i cuscinetti sono fissati da due anelli Seeger, che hanno una sede nell'Involucro. Quest'ultimo corpo è disaccoppiato dal moto del Corpo centrale e perciò è immobile e può essere fissato alla Piastra della Struttura elettrosaldata mediante 4 viti M8.

Si mettono infine l'Anello e un altro Seeger più piccolo per bloccare definitivamente il resto degli elementi.

Così il gruppo soddisfa entrambi i compiti per cui è stato pensato.

Singole componenti

In questo paragrafo si analizzeranno rapidamente solo gli elementi "innovativi" del prototipo dato che elementi come i Cuscinetti a sfera o gli anelli Seeger sono componenti estremamente comuni in meccanica e la loro struttura è sempre uguale.

Si parte dunque col presentare il Corpo centrale

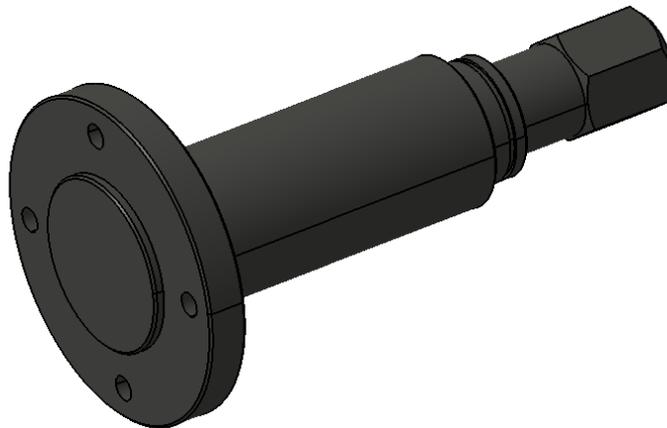


Figura 62: Corpo centrale

Questo elemento ha un'estremità esagonale a cui si pensa di attaccare il motore. Ha poi la sede per l'anello Seeger che serve a bloccare l'Anello. La parte centrale del corpo ha un diametro maggiore, su cui si caletteranno i cuscinetti. Infine, c'è poi uno spallamento per bloccare il cuscinetto e l'elemento termina con una flangia circolare dove ci sono quattro fori, utili per altrettante viti con cui si collega il Corpo centrale all'Attacco Supporto cuscinetti del gruppo Pinza.

Capitolo 2 Controllo coppia automatico

Si infila sul Corpo centrale il Sostegno, che serve per fissare la distanza tra i due cuscinetti



Figura 63: Sostegno

Si fa notare come questo corpo non possa essere sostituito da un semplice spallamento del Corpo centrale, in quanto non si limita a fissare i cuscinetti ad una distanza precisa e ad impedirne il movimento, ma regge anche il peso dell'involucro, che altrimenti scaricherebbe tutto il suo peso sui due Seeger e sui cuscinetti.

Si ha infine l'Involucro, che racchiude tutti gli elementi del gruppo Supporto cuscinetti



Figura 64: Involucro

Esso ha internamente due sedi per i due anelli Seeger di dimensione maggiore. Questo corpo termina con una flangia, dove ci sono quattro fori per quattro viti M8, che collegano il gruppo alla Struttura elettrosaldata.

Montaggio

Il montaggio di questo gruppo deve essere fatto seguendo una sequenza di operazioni molto precise

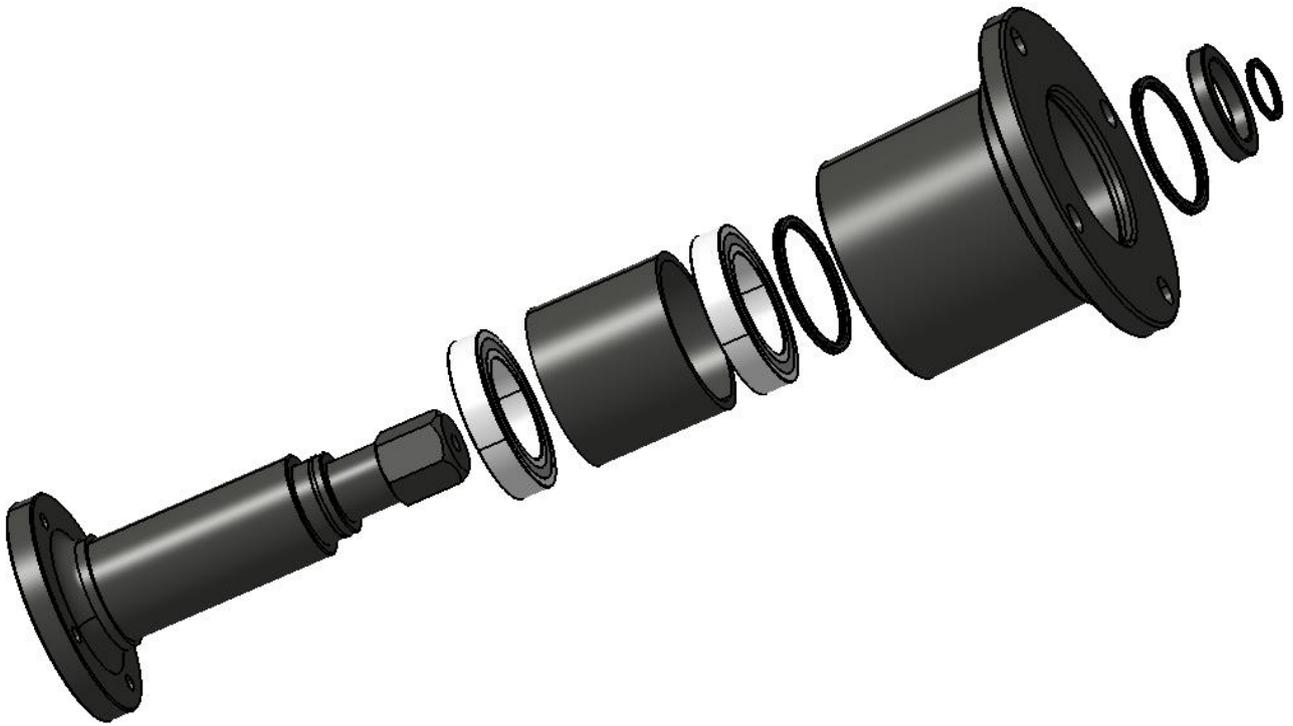


Figura 65: Esploso Supporto cuscinetto

Per prima cosa si monta il Seeger nella sede dell'Involucro, poi si inserisce al suo interno il cuscinetto. Fatto ciò si infila il Sostegno

Nel montare i cuscinetti bisogna porre particolare attenzione a non sottoporli a carichi longitudinali elevati, poiché essi non sono fatti per sopportarli.

Il componente è stato realizzato ed assemblato nell'attrezzeria Tiberina di Umbertide, di seguito si riporta una sua immagine



Figura 66: Gruppo Supporto cuscinetti realizzato e montato

2.3.3 Struttura elettrosaldata

L'ultimo gruppo del primo prototipo è quello della Struttura elettrosaldata. Questo tra i tre è sicuramente quello meno complesso ed appare come segue:

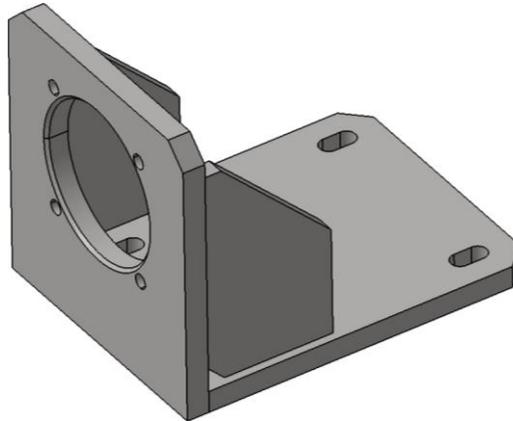


Figura 67: Struttura elettrosaldata

Funzionamento

L'obiettivo del gruppo Struttura elettrosaldata è quello di permettere di ancorare il prototipo ad una colonnina, esattamente come si ancora la pistola saldatrice.

Le ipotesi di vincolo del prototipo infatti sono due: o connetterlo ad un polso di un robot a 6 assi, o bloccarlo su una colonnina in cemento.

Questa scelta viene fatta in base ai tempi ciclo del sistema produttivo in modo da poter lavorare il più rapidamente possibile. Se conviene avere il prototipo in movimento ed il pezzo con i perni da controllare fermo allora lo si lega al robot. Questa soluzione si può avere se per esempio si riesce a controllare i perni di massa in contemporanea ad un'altra lavorazione, così non si aggiungerebbe nulla al tempo di produzione previsto. Al contrario se ciò non è possibile o non conviene a livello di tempo ciclo si fissa il prototipo ad una colonnina e lo si fa raggiungere dal pezzo da esaminare.

In entrambi i casi il Prototipo va fissato e dunque si è costruita la seguente Struttura elettrosaldata

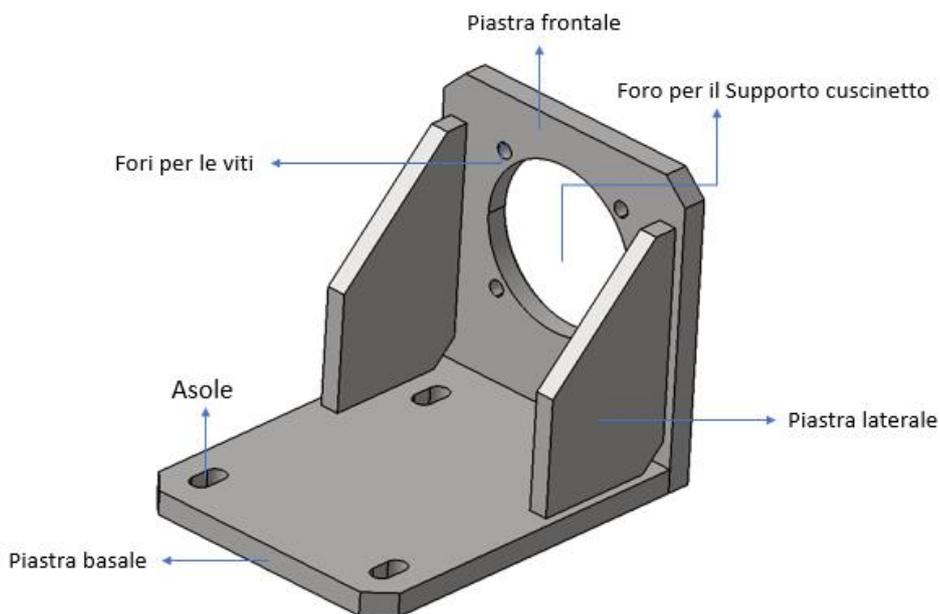


Figura 68: Componenti della Piastra

Si infila nel Foro centrale il gruppo Supporto cuscinetti. Si avvita poi, mediante quattro viti M8 la flangia dell'Involucro alla Piastra frontale. Il tutto viene fissato alla colonnina da altre quattro viti M8 posizionate nelle quattro asole della piastra basale.

Le Piastre laterali servono a rafforzare la Struttura ed a fornire una protezione per la connessione tra motore e Supporto cuscinetti.

Montaggio

La Piastra basale viene poggiata su un piano e ad essa si avvicina, fino a portarla a contatto, la Piastra frontale. Si posizionano poi le due Piastre laterali sulla base. A questo punto esse vengono saldate alla Piastra basale e frontale, così da legare insieme tutte le componenti del gruppo.

A seguito del processo di saldatura vi è una lavorazione tramite fresatrice dei piani di lavoro al fine di garantirne la funzionalità. Per esempio, si lavorano le facce della Piastra frontale così che siano perfettamente in verticale.

A questo punto la Struttura elettrosaldata è pronta per ospitare il Supporto cuscinetti che viene poi avvitato ad essa. Il risultato ottenuto è il seguente



Figura 69: Struttura elettrosaldata e Sostegno cuscinetti

2.3.4 Problematiche

Sono allora stati realizzati i tre gruppi sopracitati, che poi sono stati assemblati nell'attrezzatura Tiberina di Umbertide.

Per completare il Primo prototipo manca solo da aggiungere un tubo di plastica per far arrivare l'aria compressa alla pressione di 8 bar dalla rete industriale fino all'interno del Cilindro. Dato le attuali dimensioni della Bocca per l'aria del gruppo Pinza si è reperito un tubo di diametro pari a 4 mm.

Capitolo 2 Controllo coppia automatico

Il risultato finale è mostrato in Figura



Figura 70: Primo prototipo

Come si può vedere il primo prototipo non ha il motore, cioè l'elemento più costoso da un punto di vista economico. Si è infatti deciso, prima di procedere all'acquisto economicamente più gravoso, di verificare se le soluzioni meccaniche ideate funzionino. Per far ciò bisogna fare delle prove di collaudo sui perni di massa saldati su lamiere d'acciaio. L'idea, in assenza di un motore, è quella di vedere se la Pinza aggancia il perno in maniera corretta tramite il sistema pneumatico spiegato prima e poi verificare se la presa sull'ottagono del perno è salda quando si applica la coppia di collaudo. Quest'ultima verrà applicata manualmente da un operatore così da poter apprezzare la bontà del prototipo.

Svolto questo rapido collaudo sperimentale si è verificato che l'idea in generale è buona ed il prototipo così pensato può funzionare, ma sono venute alla luce alcune problematiche da risolvere.

La problematica più grave si è verificata dopo aver applicato la coppia di collaudo, perché tolta l'aria compressa la molla riporta in posizione il Cono ed il Cilindro, ma le Ganasce non restano a contatto con il Cono e dunque la loro apertura è asimmetrica. Questo causa problemi nella chiusura successiva, infatti non partendo dalla stessa posizione le due Ganasce nel chiudersi ruotano di un angolo diverso e perciò non si chiudono in maniera corretta sull'ottagono del perno di massa.

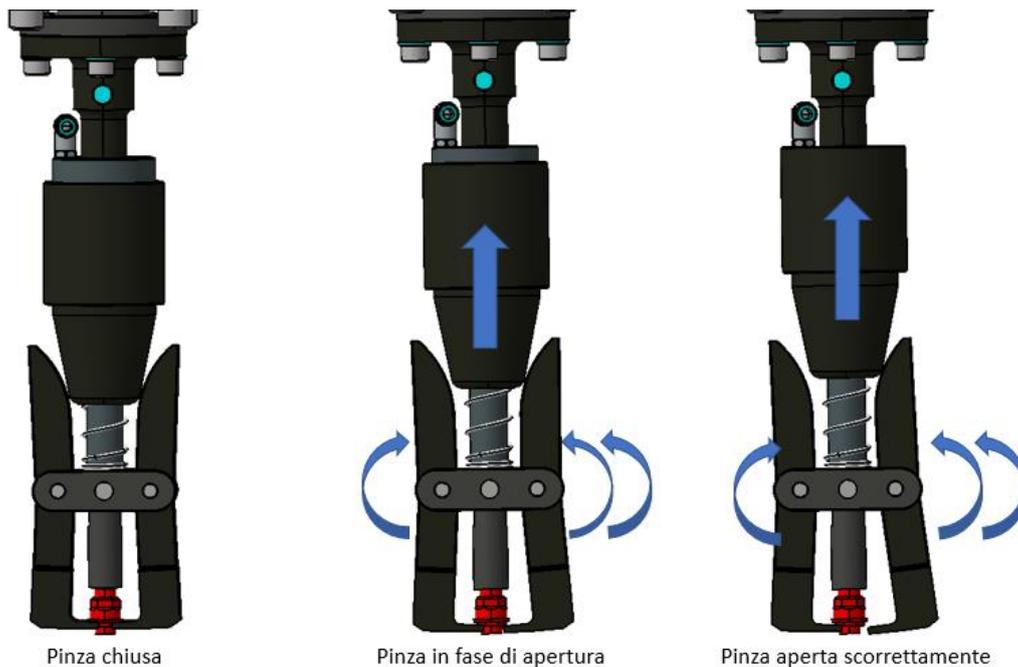


Figura 71: Apertura scorretta delle Ganasce

Come si può infatti vedere dalla Figura solitamente quando il Cilindro ed il Cono risalgono sotto l'azione della molla una delle due Ganasce resta a contatto con il Cono, mentre l'altra o resta in posizione o ruota di poco, ma in entrambi i casi non riesce a mantenere il contatto con il Cono. Questo avviene perché la fase di risalita non è adeguatamente controllata.

Un altro problema evidente è la lunghezza del prototipo

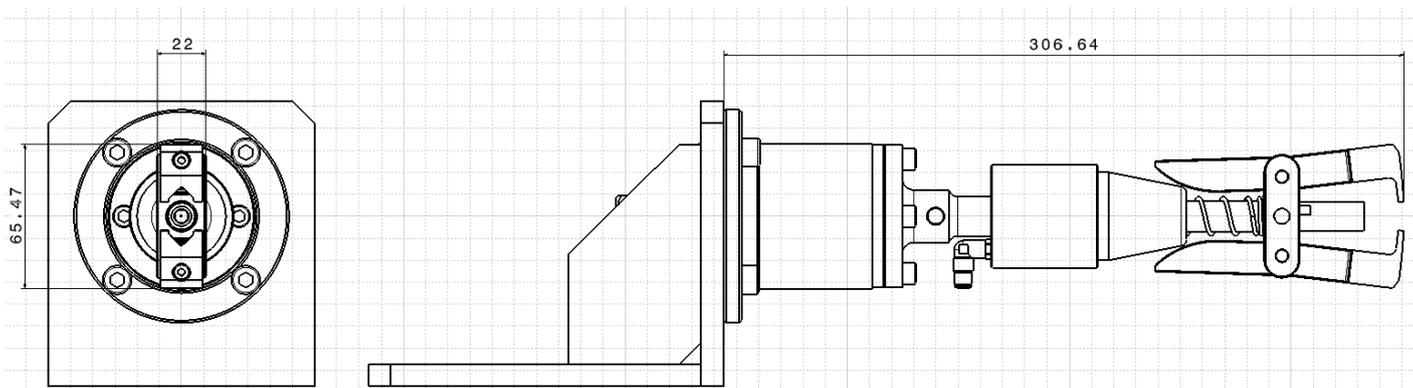


Figura 72: Dimensioni notevoli del primo prototipo

Come si può vedere dalla Figura la larghezza del prototipo che interessa la prova di collaudo è di circa 65mm mentre la pistola saldatrice aveva una larghezza superiore, di circa 80mm. La lunghezza del prototipo invece è di circa 306mm, nettamente superiore ai 157mm della pistola. Questo dunque è un secondo problema: il prototipo è troppo lungo.

Vi è infine anche un problema legato al peso. Il prototipo pesa all'incirca 7 kg, ma è completamente sbilanciato in avanti, infatti, come si può notare anche dalla Figura 70 il prototipo non riesce a stare nemmeno dritto. Il vero problema dunque è lo sbilanciamento del peso, che causa una tensione eccessiva sulle 4 viti M8 avvitate sulle quattro asole della Piastra basale. Per il resto 7 kg non sarebbero nemmeno un peso eccessivo se si considera che 3.1 kg sono dati dalla sola Struttura elettrosaldata, che teoricamente poggia sulla colonnina e dunque scarica lì la sua forza peso.

Capitolo 2 Controllo coppia automatico

Queste sono le problematiche principali da risolvere, ma non sono le uniche. Un'altra riguarda l'aggancio all'ottagono del perno di massa. Il perno infatti come visto viene saldato sulla lamiera dalla pistola saldatrice, ma l'orientamento con cui è posizionato l'ottagono è puramente casuale. Si avranno quindi perni saldati i cui ottagoni hanno orientamento diverso l'uno dall'altro. Ciò implica che le Ganasce non riescono sempre ad accoppiarsi ad esso in maniera perfetta.

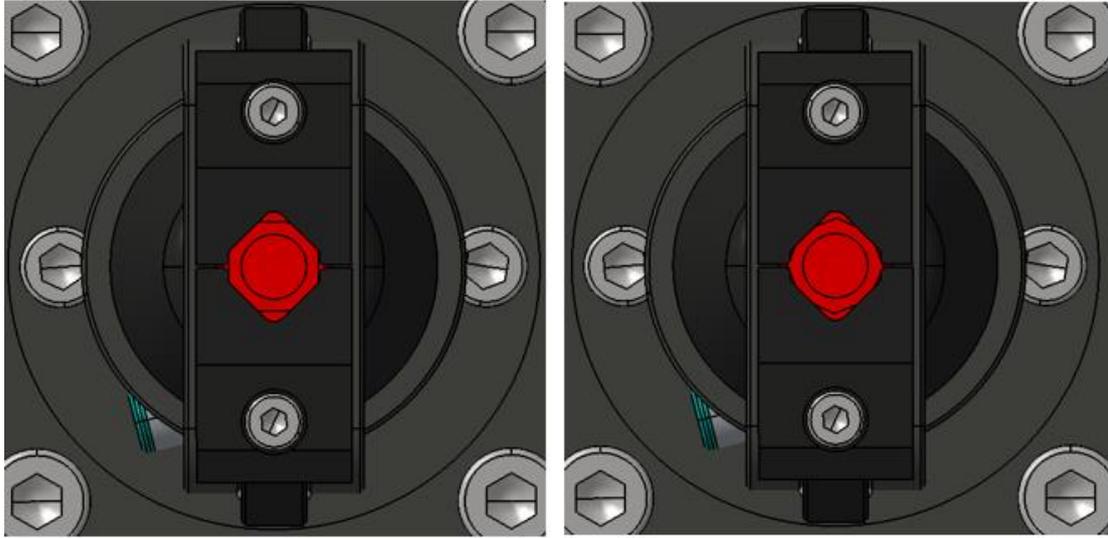


Figura 73: A sx la presa ideale sull'ottagono a dx quella reale

Come si vede dalla Figura infatti nella realtà l'accoppiamento reale (a dx) è diverso da quello ideale (a sx), ma il contatto tra ogni Ganasca e l'ottagono avviene comunque su almeno 4 punti perciò quando si applica il moto torsionale le Ganasce non dovrebbero scivolare sull'ottagono. Si fa però presente che attualmente la coppia viene ancora applicata manualmente da un operatore, perciò non si può dire con assoluta certezza che la presa sarà salda anche quando la si applicherà mediante un motore.

2.4 Secondo prototipo

Collaudato il primo prototipo ed analizzate le problematiche riscontrate si è sviluppato un secondo prototipo di seguito riportato dove sono state rappresentate in giallo le parti modificate ed in azzurro gli elementi aggiunti.

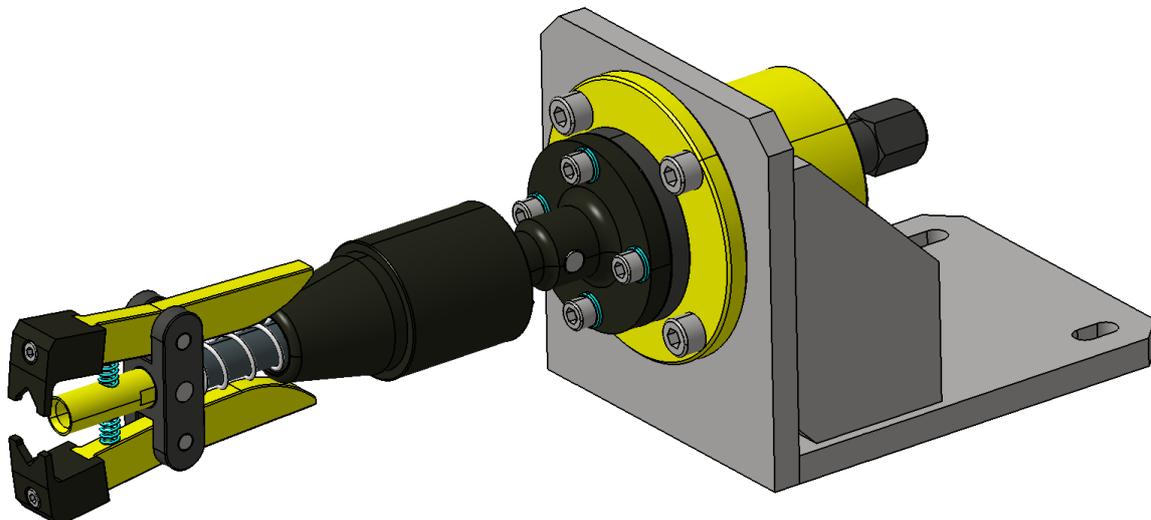


Figura 74: Secondo prototipo

Si analizzano adesso nel dettaglio le varie modifiche fatte per risolvere i problemi emersi.

2.4.1 Contatto tra Ganasce e Cono

Il contatto tra le Ganasce ed il Cono durante la fase di riapertura era come visto il problema più grave. Per risolverlo sono state fatte varie ipotesi che permettono di mantenere le Ganasce sempre a contatto con il Cono così da ottenere sempre una corretta chiusura sull'ottagono del perno di massa ed una corretta riapertura.

La prima soluzione pensata è stata quella di provare a mettere una molla di richiamo nella punta delle due Ganasce



Figura 75: Soluzione con molla di richiamo sulla punta della Ganasce

Come si vede dalla Figura si dovrebbero montare due perni (in arancione) sull'estremità delle due Ganasce per poterci agganciare la molla di richiamo (in rosso).

Secondo questa idea quando il Cono scende le due Ganasce si aprono vincendo la forza di richiamo della nuova molla. Quando poi si toglie l'aria e la molla grande (in bianco) riporta su il Cono le due Ganasce restano sempre a contatto con esso grazie all'azione della molla rappresentata in rosso, che applica una forza di richiamo.

I due perni potrebbero essere avvitati all'interno di due fori passanti creati apposta nelle Ganasce e fissati tramite due dadi.

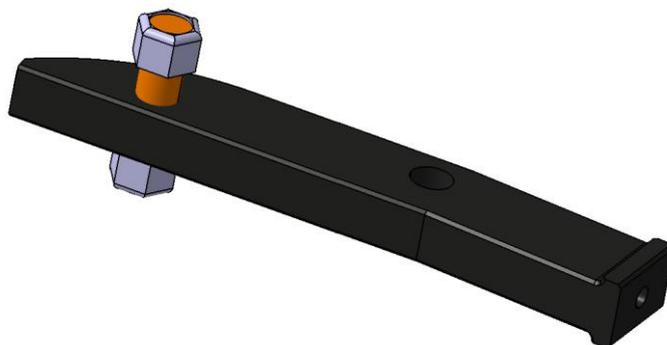


Figura 76: Fissaggio perni per molla di richiamo trasversale

Capitolo 2 Controllo coppia automatico

Questa soluzione tuttavia non è stata portata avanti, perché si ha un problema di interferenza. Quando infatti il Cono scende sotto l'effetto dell'aria compressa va in interferenza con la molla di richiamo, che è disposta in maniera trasversale rispetto al moto.

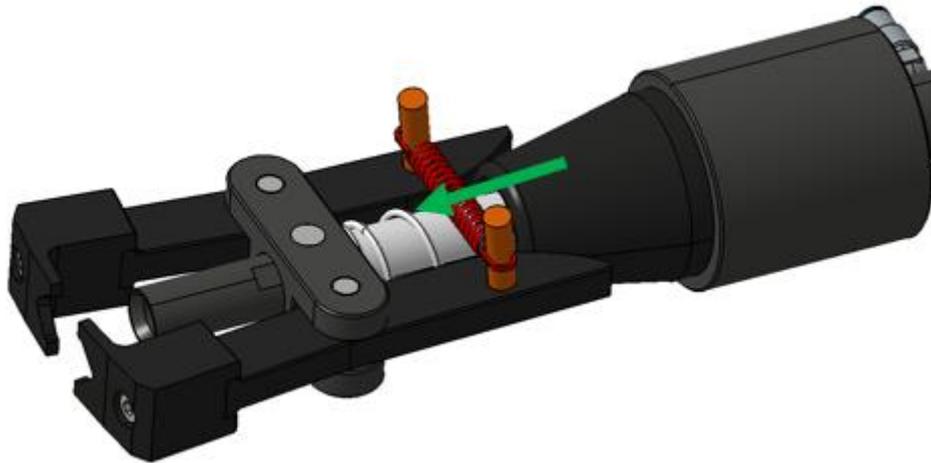


Figura 77: Interferenza durante il moto del Cono

Bisognerebbe dunque scavare il Cono per evitare questo contatto, ma questa soluzione diventa molto complessa dal momento che poi si rischierebbe che le Ganasce scivolino dalla parte conica alla parte scavata e quindi verrebbe meno il loro moto di apertura.

Scartata dunque questa ipotesi si è pensato di applicare dei magneti nella coda delle Ganasce come mostrato in Figura

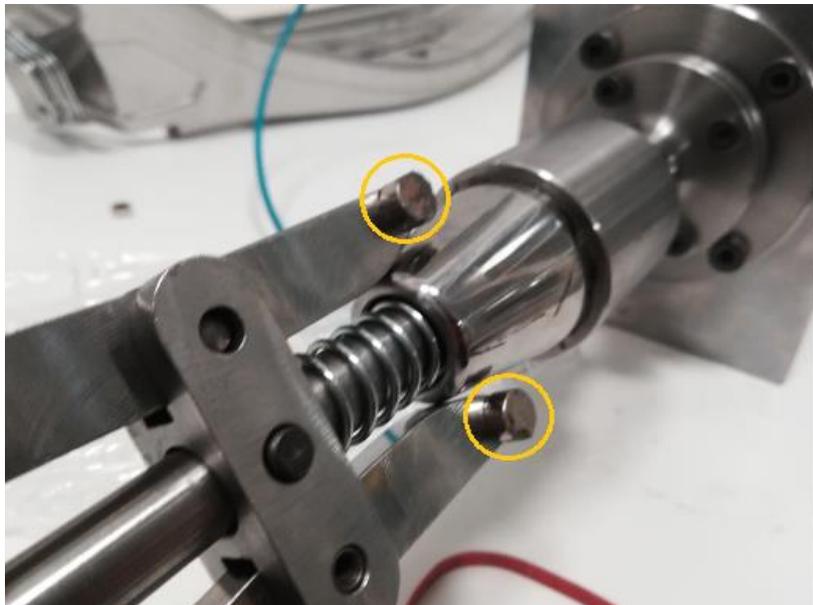


Figura 78: Magneti posti sulle Ganasce

In questo modo mettendo 4 di questi magneti, due su ogni Ganasca, si riesce a mantenere il contatto costante con il Cono.

Questa soluzione sarebbe ottima da un punto di vista delle modifiche da apportare, perché gli elementi del prototipo vanno bene così come sono già stati realizzati e bisognerebbe solo aggiungere questi piccoli magneti. Anche da un punto di vista di ingombri e di peso questa soluzione sarebbe la migliore perché non si aggiungerebbe praticamente niente né all'uno né all'altro.

Il problema però risiede nella localizzazione del prototipo, che, come visto, andrebbe messo all'interno di una cella di lavoro dove avviene anche la saldatura dei perni di massa Tucker. In un processo di saldatura si creano inevitabilmente degli sfridi e del pulviscolo metallico, che sarebbero attirati dai magneti. In poco tempo perciò questi elementi sarebbero coperti da pezzetti metallici e dunque si avrebbe un loro malfunzionamento. Bisogna inoltre considerare che in un ambiente di saldatura si vanno a creare dei campi elettromagnetici che interferiscono con il lavoro dei magneti rendendoli spesso inutilizzabili. In tali celle di lavoro infatti si tende sempre ad evitare l'impiego di qualsiasi tipo di magnete, infatti per afferrare dei pezzi si usa sempre un sistema di ventose.

Alla luce di questi problemi insormontabili si è dovuto scartare anche questa soluzione.

Si è allora notato uno spazio libero nella Bocca di centraggio tra la zona avvitata al Pistone centrale e l'altezza a cui entra il perno di massa. Tale spazio è evidenziato in giallo nella Figura sottostante

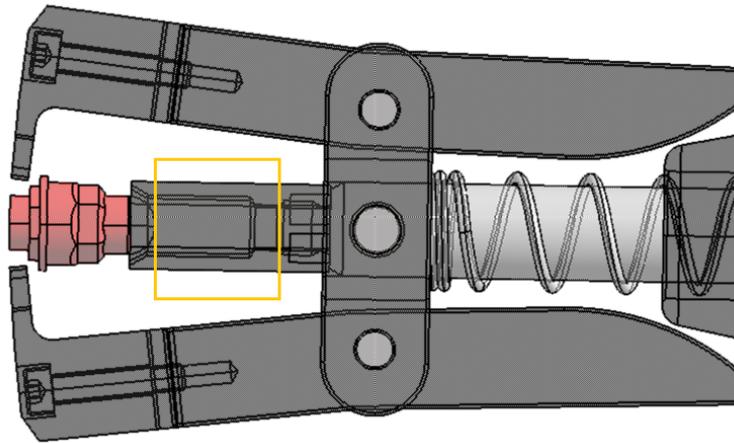


Figura 79: Spazio libero disponibile nella Bocca di centraggio

È sorta dunque l'idea di posizionare una molla a compressione tra le due Ganasce facendola passare attraverso la Bocca di centraggio, che andrebbe perciò forata. Così facendo quando il Cono scende attivato dall'aria compressa chiude le Ganasce vincendo la resistenza della molla, che verrebbe perciò compressa. Quando poi si toglie l'aria compressa ed il Cono risale la nuova molla tornerebbe ad espandersi, mantenendo così il contatto tra Ganasce e Cono e garantendo la loro corretta riapertura.

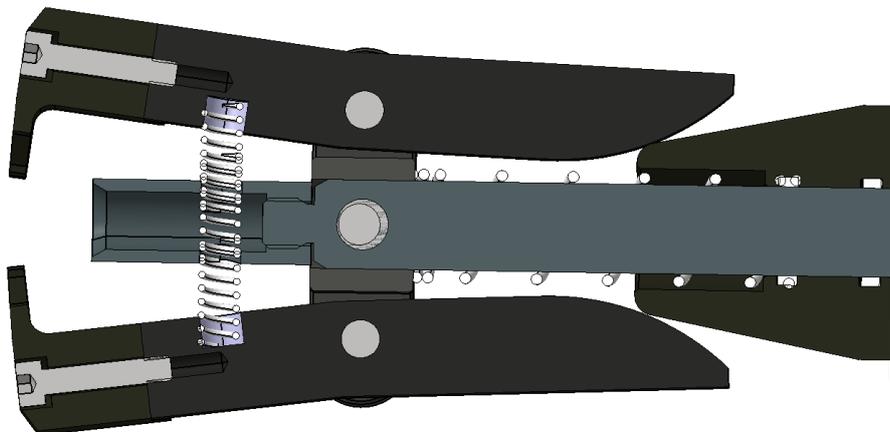


Figura 80: Soluzione con molla tra le Ganasce

Le modifiche da apportare riguarderebbero solo le due Ganasce e la Bocca di centraggio. Nelle prime bisognerebbe ricavare una sede circolare per la molla profonda circa 5 mm di diametro pari a 6.5 mm,

Capitolo 2 Controllo coppia automatico

mentre sulla Bocca si dovrebbe fare un foro passante sempre di 6.5 mm di diametro. Tali dimensioni sono dettate dalla scelta della molla, che ha un diametro esterno pari a 6 mm. Non si può prendere una molla più grande, che, essendo più robusta, garantirebbe una migliore riapertura delle Ganasce, perché lo spessore delle Ganasce stesse è di 7 mm e lì bisogna poter ricavare la sede della molla.



Figura 81: Spessore della Gancia

L'altezza a cui fare il foro invece è stata scelta per far lavorare il più possibile in orizzontale la molla, senza piegarla troppo né in fase di riposo né in fase di lavoro, mentre la sua profondità non può essere superiore ai 5 mm per non andare ad interferire con il foro della vite M6 che tiene assieme i due componenti della Gancia come si può vedere dalla Figura 80.

Questa soluzione quindi non aggiungerebbe del peso significativo al prototipo, non presenta problemi di interferenza o ingombro e non comporterebbe delle pesanti modifiche da fare agli elementi.

A seguito di questa analisi si è deciso di procedere per questa strada e dunque si sono modificati i pezzi come sopra indicato forandoli manualmente al trapano dell'attrezzatura di Tiberina.



Figura 82: Foratura della Bocca di centraggio al trapano

Una volta forati i vari elementi si è tagliata la molla di diametro 6 mm per una lunghezza di 38 mm.

Preparati quindi i vari pezzi si è assemblato di nuovo il prototipo e lo si è provato. Durante questo collaudo si è riscontrato un problema, le due Ganasce infatti non si riaprivano in maniera corretta nonostante la molla di compressione, ma una Gancia ruotava sempre più dell'altra. Il problema è abbastanza complesso. In linea teorica durante la riapertura le due Ganasce avrebbero dovuto ruotare attorno alle rispettive spine, che le bloccano assieme al Blocco trasversale, dello stesso angolo perché la forza scaricata dalla molla su di esse dovrebbe essere la stessa. Non è così perché nella realtà i vincoli non sono perfetti. In questo caso infatti una Gancia fa uno sforzo maggiore dell'altra per ruotare attorno alla sua spina perché

evidentemente le lavorazioni fatte su quel foro sono peggiori rispetto all'altro è dunque l'attrito con la spina è superiore a quello che si verifica sull'altro foro con l'altra Ganaschia.

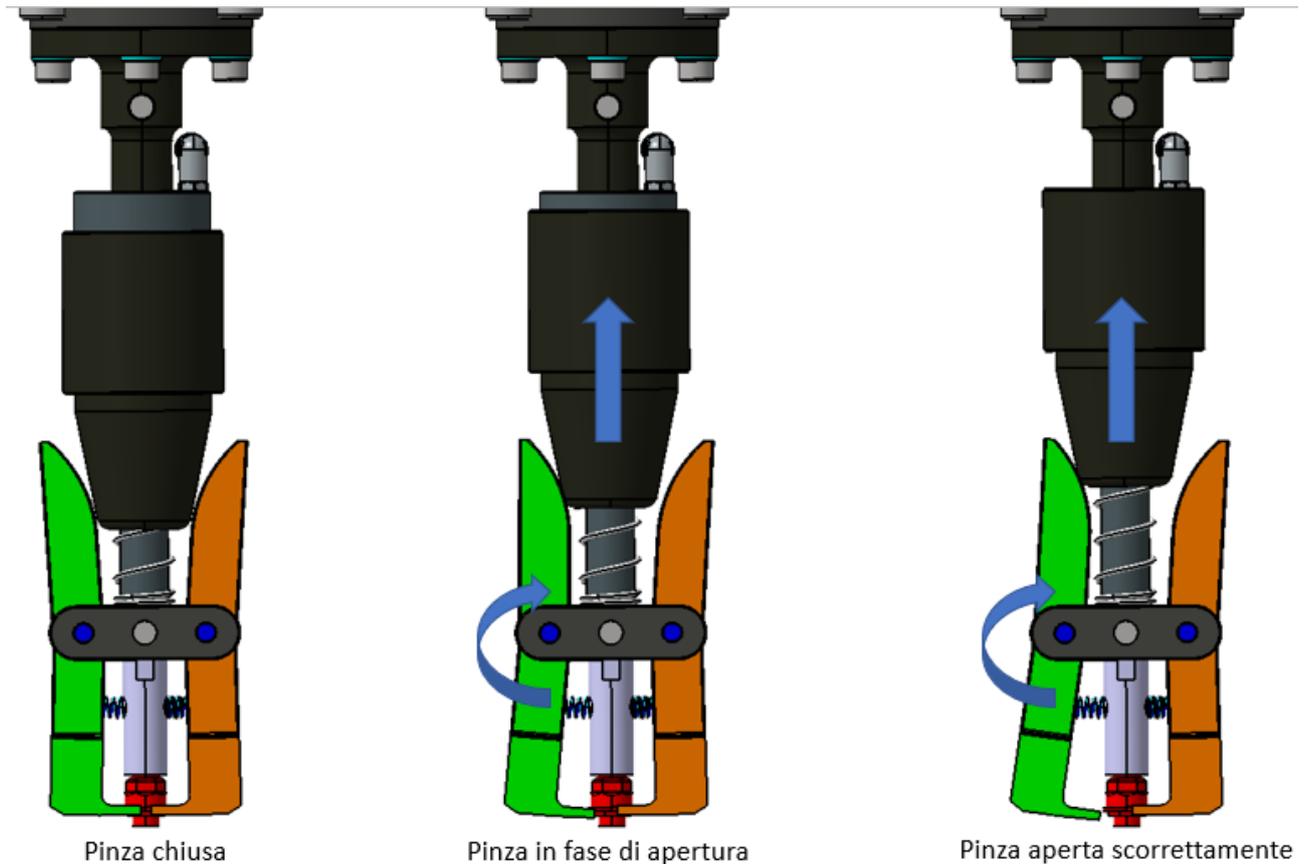


Figura 83: Apertura asimmetrica dovuta a vincoli non perfetti

Essendo una molla unica se una delle due Ganasce (quella arancione) oppone una resistenza maggiore la forza della molla che torna ad espandersi si scaricherà con maggior intensità sull'altro vincolo offerto dalla sede dell'altra Ganaschia (quella verde), che quindi ruoterà di più. Il risultato è che non si riesce a garantire il contatto tra il Cono e le Ganasce, dunque la soluzione così pensata non funziona.

L'idea di questa soluzione però è giusta, bisogna tentare di applicarla aggirando questo difetto del vincolo reale e non ideale.

Si è pensato perciò di tagliare la molla di compressione in due e di frapporre tra una e l'altra una parete fissa. In questo modo si hanno due molle disaccoppiate tra loro e piazzate tra una parete fissa e delle pareti mobili. Così si riesce a mantenere il contatto tra il Cono e le Ganasce nella fase di riapertura perché le due molle possono applicare due forze differenti, perciò si può imprimere una forza maggiore alla Ganaschia con attrito maggiore attorno alla relativa spina.

Per verificare questa ipotesi prima di modificare ulteriormente i pezzi si è tagliata la molla in due e la "parete fissa" è stata fatta in maniera rudimentale con una vite posizionata come in Figura

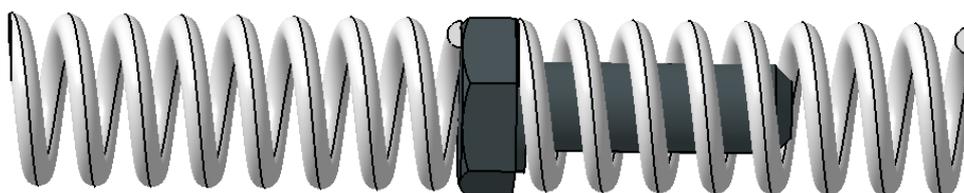


Figura 84: Soluzione rudimentale per simulare la parete fissa

Capitolo 2 Controllo coppia automatico

Per quanto semplice questa soluzione ha mostrato la bontà dell'idea iniziale riuscendo a risolvere il problema verificatosi con la molla unica e quindi garantendo la corretta riapertura.

Alla luce di questo successo si è affinata la soluzione andando a progettare una nuova Bocca di centraggio, così che possa fornire questa parete fissa di cui si ha necessità. Si è perciò pensato di farne una con le stesse dimensioni della precedente senza il foro passante, ma di scavare solo il materiale dove serve avere i fori.

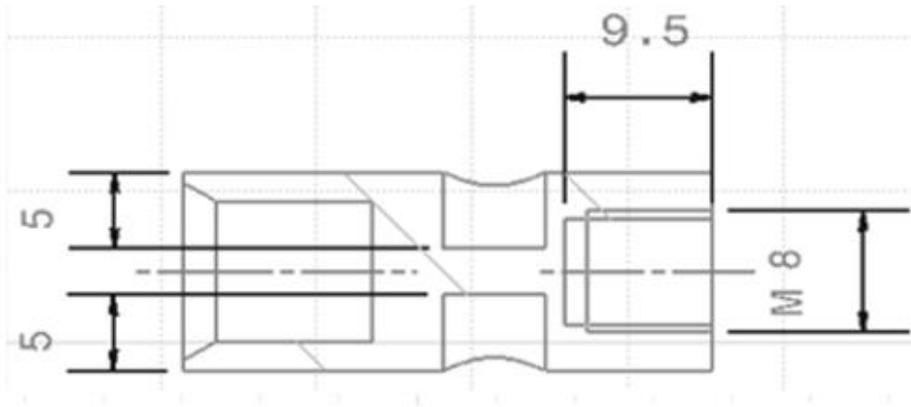
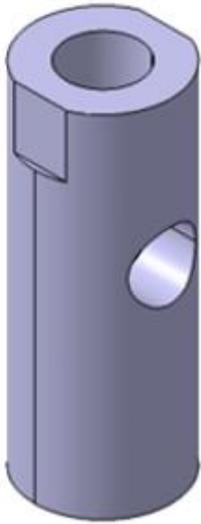


Figura 85: Nuova Bocca di centraggio in assonometria ed in sezione

2.4.2 Riduzione delle dimensioni & bilanciamento del peso

Per quanto riguarda i problemi legati all'eccessiva lunghezza del prototipo ed al suo errato bilanciamento del peso si è trovata un'unica soluzione, che risolve entrambe le problematiche.

Si è semplicemente girato l'Involucro del Supporto cuscinetti, che dunque è stato montato al contrario:

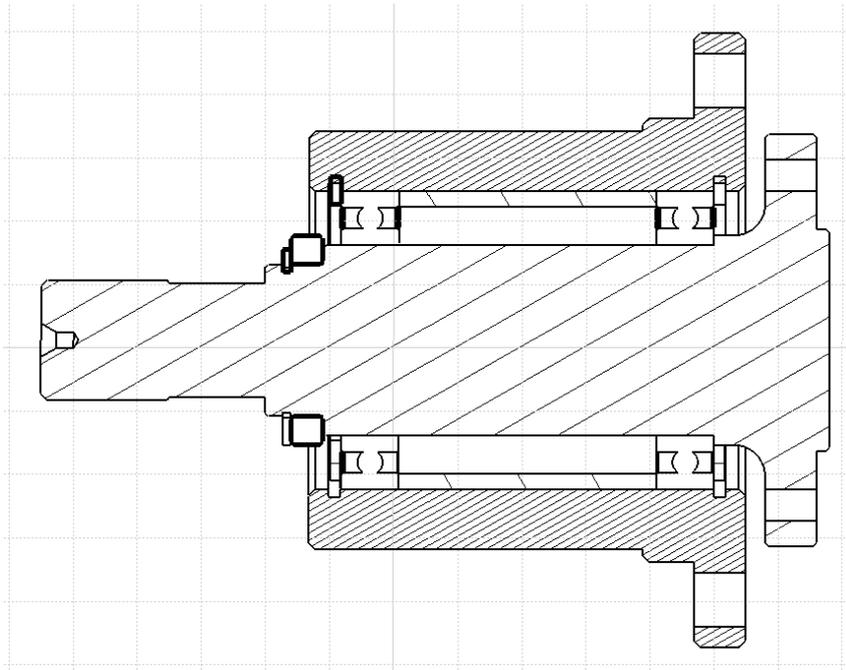


Figura 86: Involucro del Supporto cuscinetti montato al contrario

Durante il processo di smontaggio e rimontaggio dell'Involucro si è posta particolare attenzione a non danneggiare con carichi longitudinali i cuscinetti a sfere. Il funzionamento dei singoli componenti rimane sempre lo stesso, con il vantaggio però di poter fissare il gruppo Supporto cuscinetti più all'interno della Struttura elettrosaldata così da accorciare la lunghezza esposta del prototipo e da bilanciarne il peso in maniera migliore.

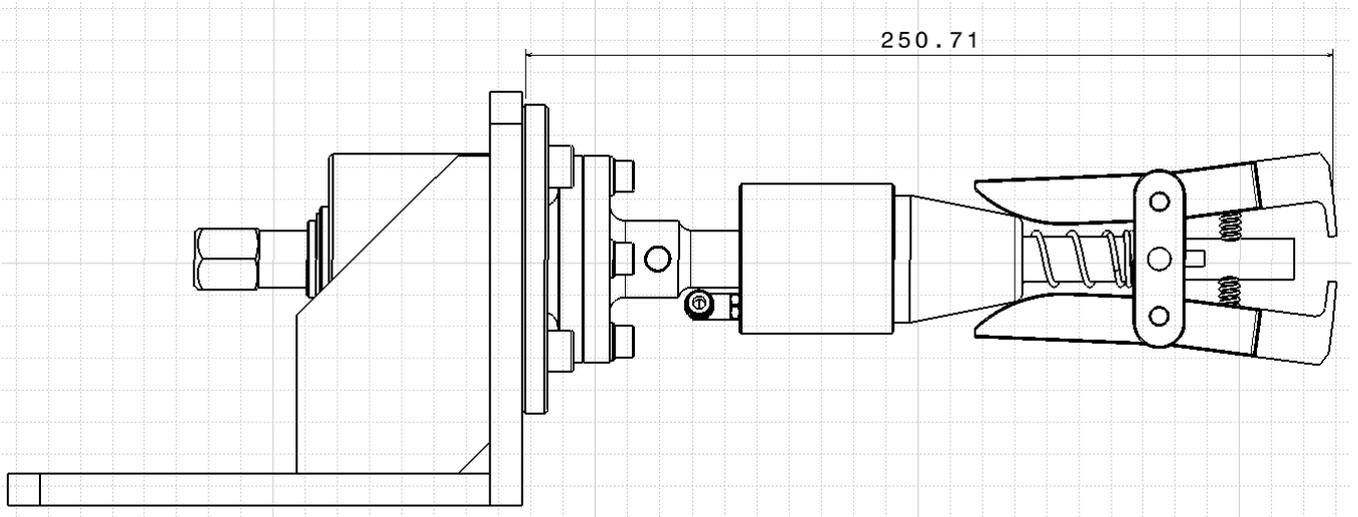


Figura 87: Nuova lunghezza del prototipo

Come si può vedere infatti la lunghezza del prototipo è scesa da circa 307 mm a circa 251 mm, si sono quindi tolti 56 mm. La Pistola saldatrice tuttavia aveva una lunghezza di 157 mm perciò il prototipo è ancora leggermente troppo lungo, ma già meglio rispetto a prima.

Assemblando così il prototipo si cambia anche la distribuzione del suo peso, si sposta infatti il baricentro verso la Struttura elettrosaldata. In tale maniera l'intero elemento adesso non cade più in avanti:

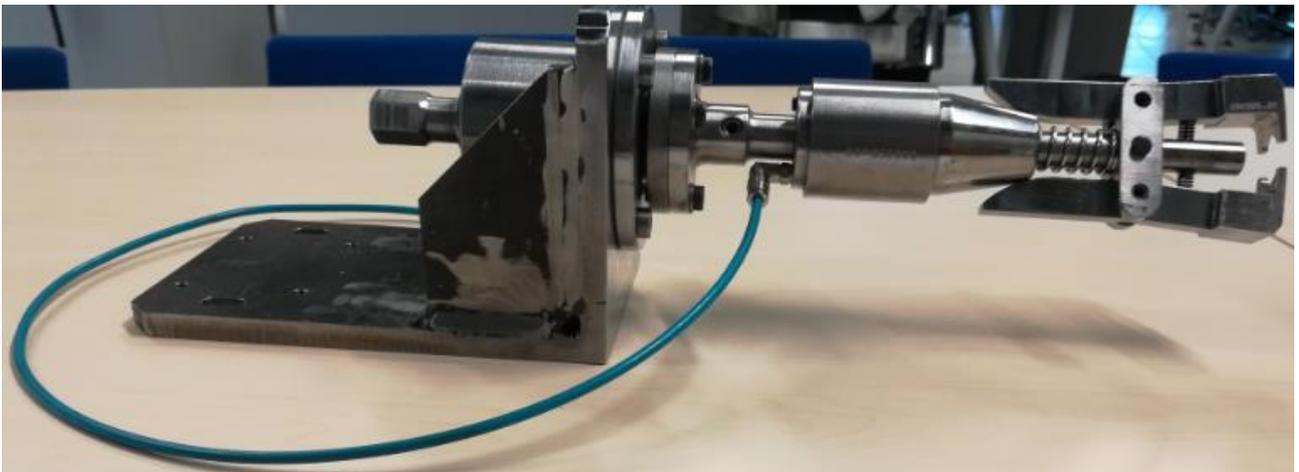


Figura 88: Miglior bilanciamento del peso

L'unico problema legato a questa soluzione è dato dalle viti M6 che collegano l'Attacco al supporto cuscinetti col Corpo centrale proprio del gruppo Supporto cuscinetti. Queste infatti in questa nuova configurazione sono troppo lunghe e vanno a graffiare l'Involucro quando si impone la rotazione. Per evitare questa interferenza è bastato semplicemente aggiungere delle rondelle mostrate in azzurro nella

Figura sottostante.

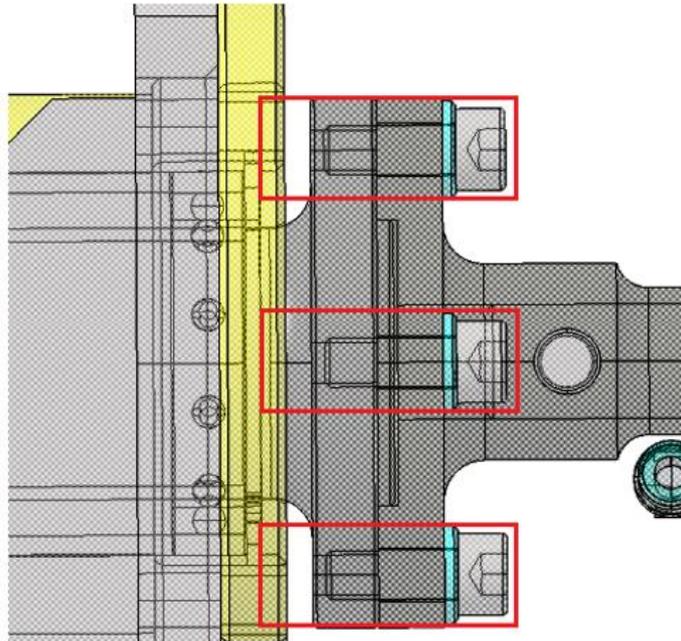


Figura 89: Rondelle messe per evitare l'interferenza tra le viti e l'Involucro (elemento giallo)

2.5 Realizzazione dei pezzi

Una volta ideati e progettati questi nuovi pezzi grazie a dei software CAD è necessario passare alla loro realizzazione materiale, attraverso l'uso di varie tecniche costruttive, come la fresatura, l'elettroerosione, il taglio laser e la tornitura.

Vediamo ora nel dettaglio le varie lavorazioni per ogni elemento rifatto.

2.5.1 Bocca di centraggio

Questo è un componente cilindrico che si può ottenere mediante lavorazione al tornio.

Prima di tutto si è fatto la messa in tavola del pezzo (presente in allegato). In questo file sono state fatte varie viste del componente con relative quote utili alla sua realizzazione. Nel cartiglio inoltre è stato specificato il materiale scelto ovvero 1.2311, un acciaio molto resistente, il trattamento termico da fare, ovvero la fiammatura e le tolleranze generali pari a ± 0.1 . Questo file è stato passato all'attrezzeria di Tiberina.

Una volta lì si è proceduto alla lavorazione al tornio del componente, partendo dal grezzo cilindrico del materiale. Questo pezzo è stato fissato nella morsa del tornio, su cui si è predisposto dapprima un utensile per la sgrossatura.



Figura 90: Lavorazione al Tornio

Le fasi di lavoro al tornio sono state diverse. In un primo momento si è fatta una sgrossatura del grezzo seguita dalla finitura per avere il profilo esterno delle dimensioni desiderate. Realizzato il profilo esterno si è fatto il foro svasato interno, dove poi si infilerà il perno di massa. Questa lavorazione è organizzata in più fasi. Prima si fa un preforo, utilizzando un utensile più corto. Successivamente con una punta più lunga si allargano le dimensioni del foro, che infine viene portato a misura mediante un ultimo utensile dall'estremità piatta con cui si riesce ad avere il fondo del foro piano. Come ultima lavorazione si fa la svasatura per favorire l'inserimento del perno di massa senza andare a danneggiarne il cappuccio protettivo. Anche questa lavorazione è stata fatta da una prima sgrossatura rapida e da una finitura più lenta così da ottenere una precisione di lavorazione maggiore ed evitare errori dovuti ad eventuali vibrazioni.



Figura 91: Fasi della lavorazione al tornio

Capitolo 2 Controllo coppia automatico

Il risultato di queste lavorazioni è il seguente:



Figura 92: Risultato delle lavorazioni

Fatto ciò il pezzo è stato tagliato, così da eliminare il grezzo posteriore e lasciare la sola Bocca di centraggio della lunghezza di 34 mm.

A questo punto si è fatta l'ultima lavorazione per creare il foro filettato M8 in cui avvitare il Pistone centrale. Anche in questo caso è stato fatto un preforo delle dimensioni desiderate e successivamente il foro vero e proprio così da ottenere anche il fondo piano e non a punta. Infine, si è smontata la Bocca dal tornio per poter fare la maschiatura a mano fissandola in una morsa.



Figura 93: Lavorazioni per il foro M8

Il pezzo è quasi completo, mancano solo le sedi per molle, che vanno fatte alla fresa. La difficoltà qui è data dall'elevata precisione richiesta. Tali sedi infatti devono essere delle dimensioni volute, ma soprattutto i loro assi devono essere il più possibile perpendicolari al foro del Pistone centrale, così da far lavorare le molle in maniera corretta, senza che si incurvino. Al fine di realizzare questa lavorazione al meglio si è fissato il Prototipo ad una piastra realizzata appositamente su misura.

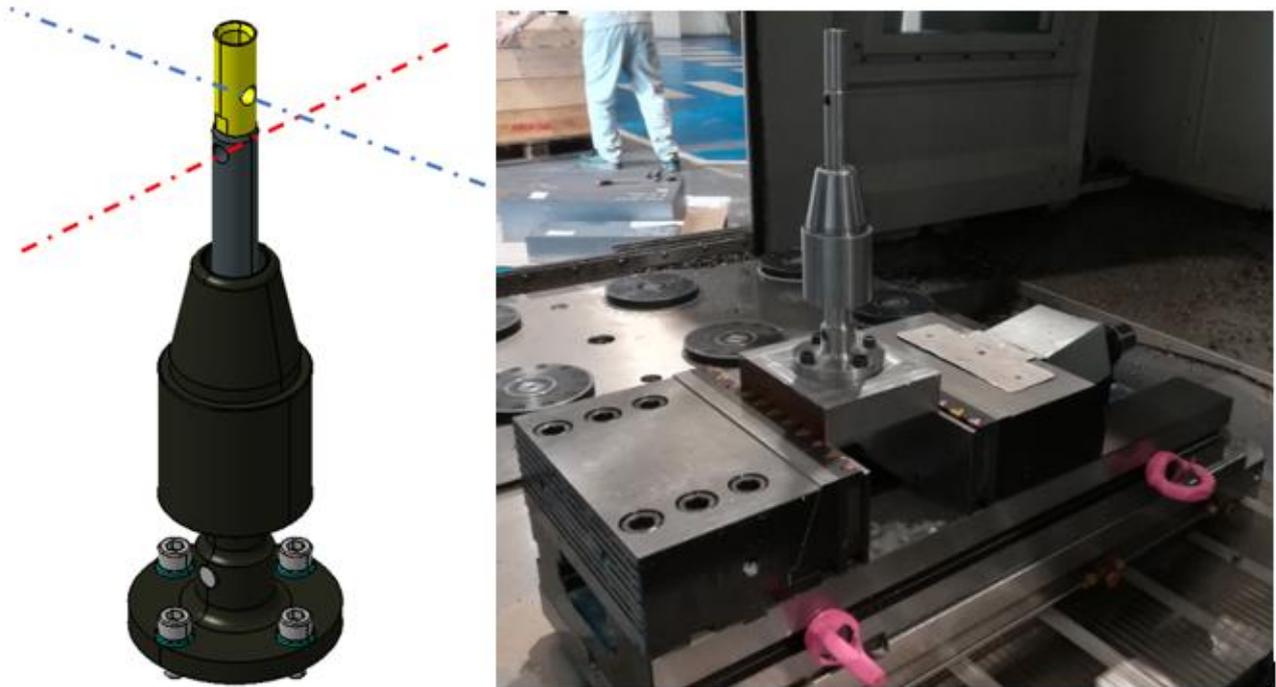


Figura 94: Assi perpendicolari dei fori e posizionamento in fresa

Per trovare la corretta posizione si è dovuto cercare l'asse del foro della spina del Pistone centrale (in rosso) con una punta tastatrice della fresa e poi ruotare la testa della macchina rispetto a tale asse di 90° per fare le due sedi per le due molle da mettere nella Bocca di Centraggio.

Con questa operazione si è concluso il ciclo di lavorazione della Bocca di centraggio e si è passati alla lavorazione degli elementi delle Ganasce.

2.5.2 Elemento delle Ganasce

Più difficile è stata la lavorazione di questo elemento delle Ganasce, perché la forma è asimmetrica e più complessa. Tale processo non si può allora fare a bordo macchina, perciò è stata realizzata una prima lavorazione al CAM, in cui si sono stabiliti i passi da eseguire e gli utensili da utilizzare. Il risultato infine sarà poi tagliato tramite elettroerosione a filo per ottenere il profilo esterno desiderato.

Il primo passo allora è stato lo sviluppo del CAM, in cui si è scelto di creare a partire dal materiale grezzo un primo prodotto finito con 10 mm di sovrametallo da far tagliare poi dall'elettroerosione a filo. Si prevede allora di realizzare un quadretto (in nero) e di eseguire tutti i fori necessari, da lì poi si potrà estrarre il profilo finale (in verde) come mostrato in Figura:

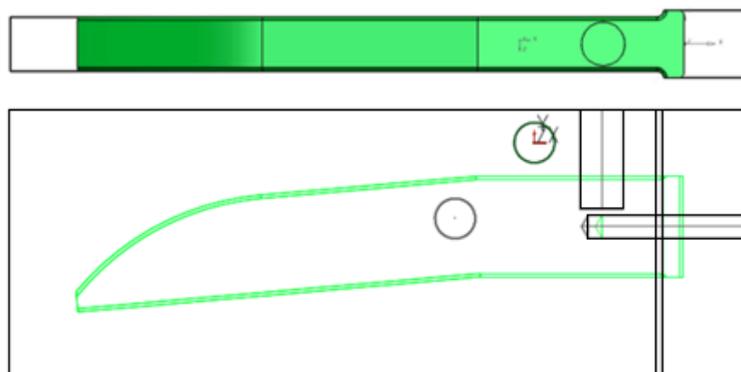


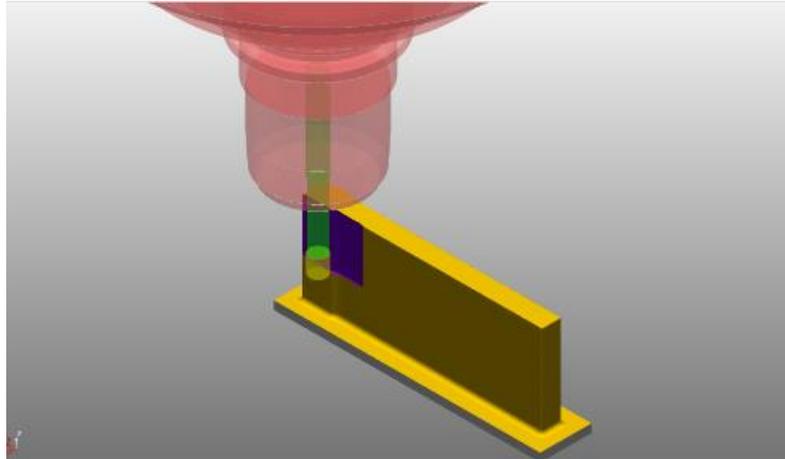
Figura 95: Risultato della lavorazione alla fresa

Capitolo 2 Controllo coppia automatico

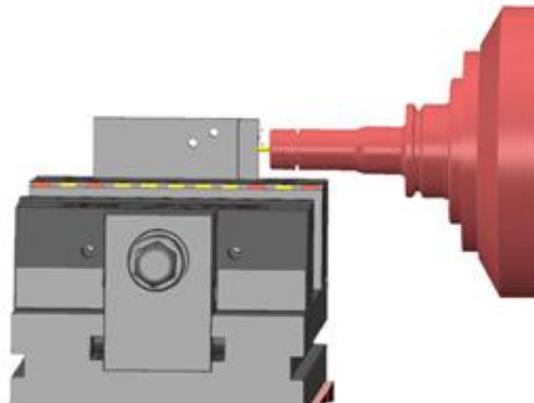
Si può notare che oltre ai fori per la spina, per la vite M4 e la sede per la molla si è previsto un ulteriore foro, utile alla successiva lavorazione per elettroerosione.

Le lavorazioni previste in questa fase sono:

1. Una sgrossatura rapida del grezzo, per ottenere la forma rettangolare desiderata;
2. Una seconda sgrossatura, più lenta e più precisa con un utensile più piccolo per ottenere la forma arrotondata della punta dell'elemento;



3. Un primo passaggio di finitura;
4. Un secondo passaggio di finitura con un utensile più piccolo;
5. La realizzazione della sede della molla;
6. Il foro passante per la spina con tolleranza h7 e del foro di riferimento per l'elettroerosione;
7. Il preforo, senza maschiatura per la vite M4



Questo è il processo deciso per la lavorazione alla fresa inoltre in questa fase sono stati scelti gli utensili da usare, i movimenti da far fare alla testa della fresa o alla base su cui è fissata la morsa con il pezzo ed è stato simulato l'intero processo al fine di controllare eventuali interferenze o criticità

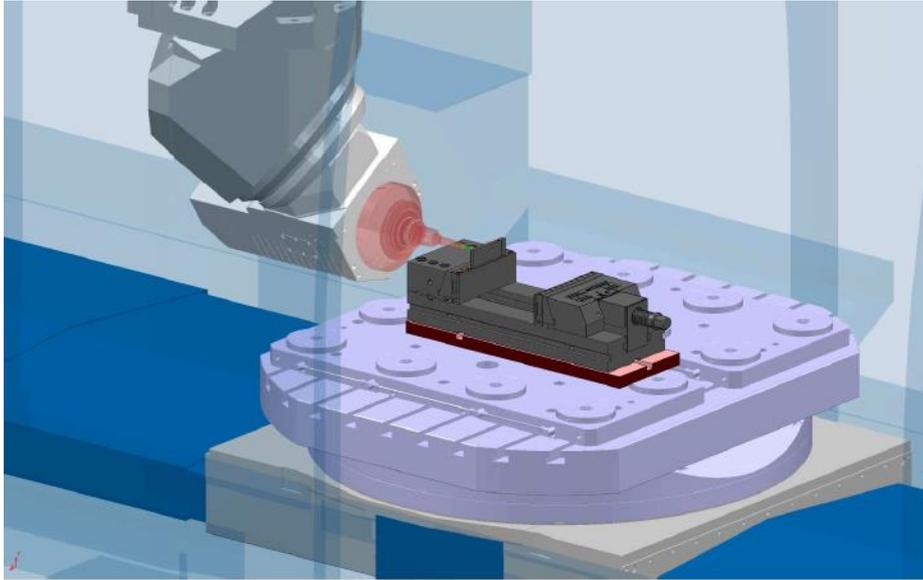


Figura 96: Simulazione della cinematica della lavorazione

Svolta questa programmazione si è proceduto alla realizzazione alla fresa del pezzo seguendo i passi appena descritti. Si riportano le immagini di alcune fasi della lavorazione:

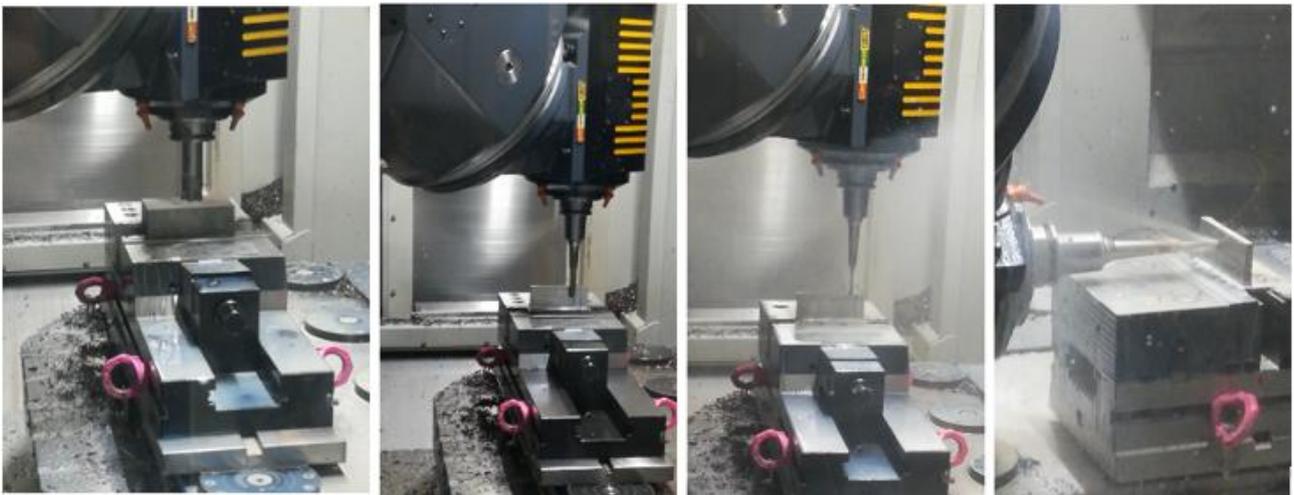


Figura 97: Alcune fasi salienti della lavorazione

Uscito dalla fresa il pezzo grezzo è stato portato alla postazione per svolgere l'elettroerosione a filo. Con questo metodo si riesce a ricavare la forma desiderata del pezzo mediante un filo di ottone che conduce corrente elettrica. Si fa muovere dunque tale filo sul grezzo seguendo il profilo fornito da CAD a partire dal foro eseguito proprio per l'elettroerosione a filo. La prima fase di questa lavorazione è centrare e fissare il pezzo sul banco, successivamente si fa passare il filo internamente al foro eseguito proprio per questo compito. A questo punto si toccano le pareti del foro con il filo così da ricavarne le dimensioni e potersi centrare in maniera corretta, una volta eseguito il centraggio si inizia l'elettroerosione facendo muovere il filo percorso da corrente seguendo la geometria del pezzo, così da ricavarne il contorno.

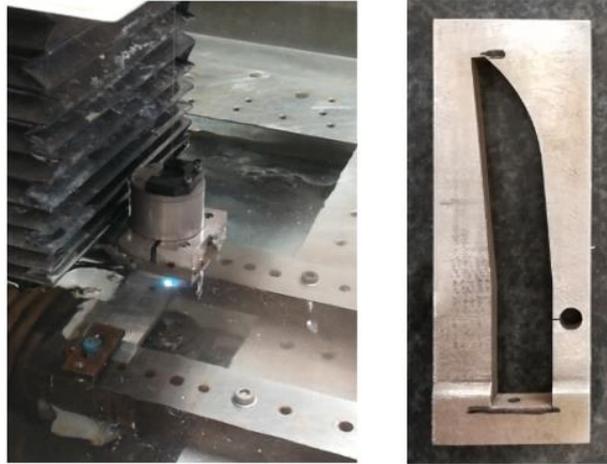


Figura 98: Lavorazione per elettroerosione a filo

Così si è ottenuta la forma a coltello desiderata e tutti i fori necessari. A questo punto per completare l'elemento si è proceduto alla maschiatura a mano del foro M4 e gli spigoli sono stati smussati.

2.6 Unità di avvitatura

Una volta prodotti i nuovi pezzi e montati sul prototipo si è puntato a completarlo introducendo il motore. Arrivati a questo punto infatti il prototipo è pronto per essere testato veramente usando un motore elettrico, così da poter completare l'intero processo di collaudo della coppia dei perni di massa.

L'unità del motore ha come compito quello di fornire il moto torsionale all'elemento, perciò la ricerca si è concentrata su delle unità di avvitatura. Molti motori infatti forniscono oltre al moto torsionale anche un moto lineare che permette all'unità di fare avanti e indietro, ma quest'ultima funzione è opzionale per questo lavoro dato che il moto lineare del motore viene sostituito dal sistema pneumatico dell'aria compressa.

Altro compito importante dell'unità di avvitatura è quello di rilevare la coppia applicata, così da poter verificare in maniera corretta la conformità del perno di massa. È dunque necessario un trasduttore di coppia esterno al motore o l'utilizzo di un servomotore che abbia tale trasduttore integrato.

La ricerca si è orientata su quest'ultima soluzione per motivi di semplicità ed efficienza.

In particolare, si è anche optato per un controllo diretto della coppia e non per attributi. Molti servomotori trovati infatti hanno un encoder con cui si può fare il controllo posizione, cioè controllare l'angolo di rotazione che fa il motore. Questo controllo è un controllo per valori, i cui passaggi sono:

- La coppia di collaudo è presente? Sì o No;
- Il perno si muove di un certo angolo? Sì o No.

Se la coppia è presente ed il perno si muove anche di poco vuol dire che la saldatura non ha retto e perciò il perno non può essere validato. Se invece la coppia c'è e non si registra nessun angolo di movimento il perno è stato saldato in maniera corretta.

Come detto questo procedimento è un controllo per valori, un controllo diretto al contrario riguarderà solo la coppia, che sarà rilevata direttamente dal trasduttore.

Una volta identificate le caratteristiche desiderate dell'unità di avvitatura si è proceduto all'acquisto. Non essendo un programma svolto per un cliente, ma finanziato internamente alla Tiberina Solutions S.r.l., per

fare un acquisto bisogna seguire le regole aziendali e presentare tre differenti offerte tra cui poi poterne scegliere una.

I tre servomotori vagliati e scelti dal mercato sono stati i seguenti:

1. Pluto 35Fn/CA dell'azienda Kolver;
2. ETD STR61 50.13 dell'Atlas Copco;
3. Sistema compatto CS351S-D della Bosch Rexroth.

Gli ultimi due hanno un trasduttore di coppia regolato da un sistema PLC così da poter sapere istante per istante il valore nominale della coppia applicata.

Il primo invece ha una centralina con cui si può impostare la quantità di elettricità assorbita dal motore. Quest'ultimo per applicare una certa coppia infatti assorbe una quantità precisa di energia elettrica. L'idea dunque è quella di collegare il motore ad una chiave dinamometrica e verificare quanta corrente assorbe per esercitare una coppia di 12 Nm, rilevata dalla chiave. Letta questa corrente si salva il suo valore grazie all'unità di controllo, che successivamente imporrà sempre questa quantità di corrente assorbita dal motore. In questo modo si riesce ad applicare sempre la stessa coppia di collaudo. È un metodo più rudimentale rispetto al controllo della coppia con un trasduttore ed alla sua regolazione tramite PLC, tuttavia è stata proprio questa l'applicazione scelta per motivi di risparmio economico.

È stato quindi acquistato il PLUTO 35Fn/CA rappresentato in Figura:

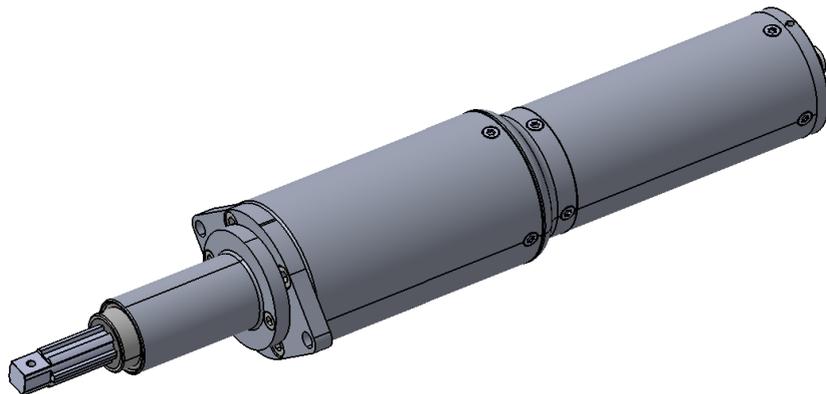
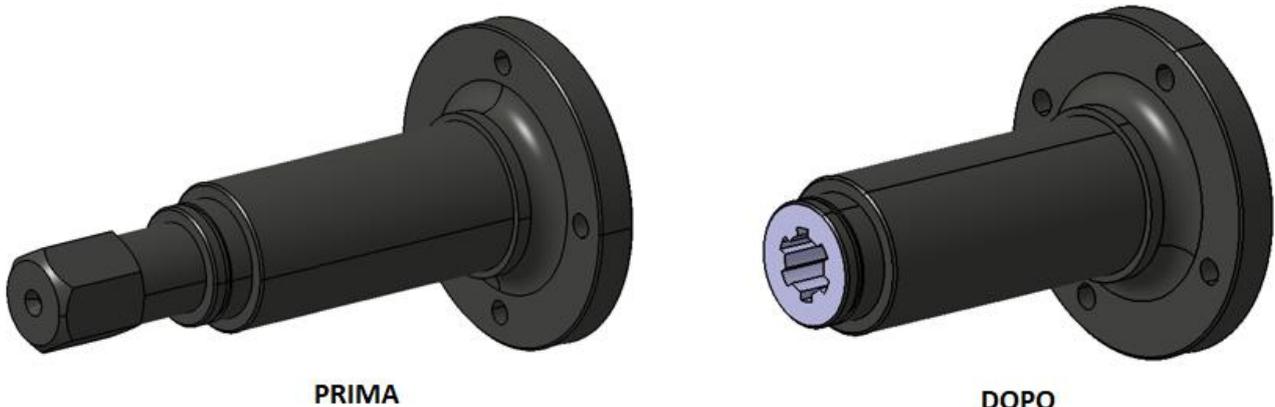


Figura 99: Motore elettrico Pluto35Fn/CA

Come si può vedere il motore ha un innesto che va collegato al Corpo centrale del gruppo Supporto cuscinetto, così da potergli trasmettere il moto torsionale. È necessario allora modificare tale componente per permettere l'innesto del motore, quindi gli è stata tagliata l'estremità posteriore e si è poi fatto un foro scanalato della forma uguale al negativo di quella del perno del motore.



Capitolo 2 Controllo coppia automatico

Figura 100: Modifica del Corpo centrale

Si sfrutta il pezzo già fatto perché tanto lo spessore minimo, dato dalla sede dell'anello Seeger, è sufficientemente grande per poter fare uno scavo.

Il risultato perciò è questo:

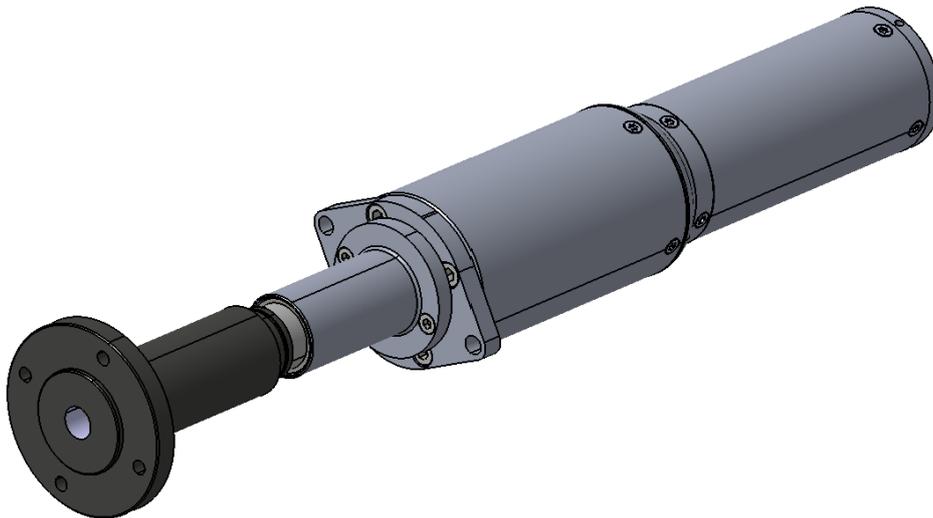


Figura 101: Aggancio motore prototipo

Una volta capito come collegare il motore al prototipo così da poterli trasmettere il moto rotatorio bisogna progettare una struttura per poterlo sostenere.

Il Pluto 35Fn/Ca ha una flangia utile proprio allo scopo di collegarlo ad un supporto, si è deciso quindi di sfruttare questa parte e di costruire attorno ad esse una struttura per sostenerlo mostrato in Figura:

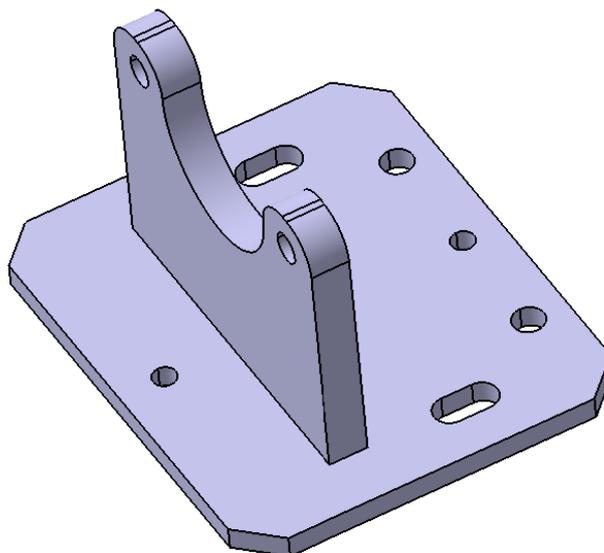


Figura 102: Supporto motore

Come si può vedere sono stati fatti sulla base del supporto una serie di fori, utili per poter fissare questo supporto alla Piastra basale tramite delle viti. Il motore viene perciò appoggiato sulla semicirconferenza del Supporto e poi lo si blocca sfruttando i fori della flangia ed usando due viti e due dadi autobloccanti.

Il sistema montato allora appare come mostrato di seguito:

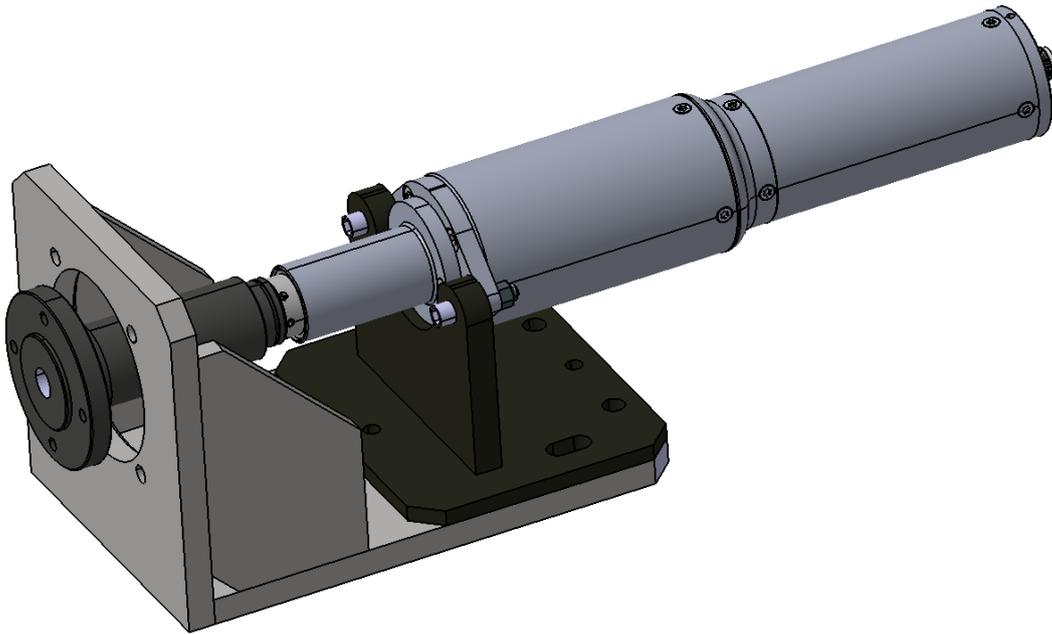


Figura 103: Supporto motore e motore assemblati

Anche in questo caso fatto il CAD del Supporto motore si procede alla sua realizzazione fisica ed al foro del Corpo centrale del Supporto cuscinetti per farci entrare il motore.

2.6.1 Realizzazione del Supporto del motore

Acquistato il motore e progettato il relativo supporto si è proceduto alla sua realizzazione fisica. Data la forma desiderata si è usato la tecnica del taglio laser per ottenere i due pezzi mostrati in Figura:



Figura 104: Elementi del Supporto motore

Queste sono state saldate tra di loro così da unirle. Si è persa in questo modo la planarità della base, perché, anche se si salda con estrema attenzione, il calore generato tende ad incurvare la piastra, che dunque non risulterà più piana. Per recuperare questo difetto inevitabile è stata fatta una spianatura del pezzo tramite rettifica, portando via un po' di materiale finché essa non si è recuperata la perfetta planarità. Fatto ciò è stata spianata anche la faccia del pezzo saldato sulla piastra basale, così da ottenere una perfetta perpendicolarità tra i due elementi.

Capitolo 2 Controllo coppia automatico

Arrivati a questo punto l'elemento è stato forato alla fresa come indicato dal progetto. Essendo questa una lavorazione più semplice rispetto a quella del componente a coltello delle Ganasce non è stata necessaria una programmazione al CAM della lavorazione, che invece è stata eseguita direttamente dall'operatore a bordo macchina.

In questo modo è stato ottenuto il pezzo della forma progettata. Le dimensioni invece sono differenti, perché durante il processo di spianatura della piastra basale si è asportato un po' di materiale, perciò le altezze sono diverse da quelle desiderate ed utili all'accoppiamento del Supporto con la flangia del motore. Per recuperare l'altezza corretta si è tagliata al laser una lamina di metallo sagomata della stessa forma della piastra basale e dello spessore di 2mm, pari allo spessore di materiale asportato dalla spianatura.



Figura 105: Supporto motore realizzato

La spianatura della faccia verticale non ha comportato danni di tale tipo perché era stata prevista durante la fase di progettazione, così si era imposto uno spessore della parete verticale superiore a quello necessario per appoggiarci il motore. In tal modo quando si è asportato il materiale per spianare il pezzo non si è variata la misura corretta, ma al contrario si è portato il componente alla grandezza voluta.

2.6.2 Foratura per albero scanalato

Una volta preparato il motore ed il suo Supporto è stato il momento di modificare il Corpo centrale al fine di poterci alloggiare il perno del motore.

Le modifiche da apportare sono l'eliminazione del retro del Corpo e la realizzazione di un foro di forma negativa rispetto a quella del perno del motore.

La prima lavorazione è stata fatta interamente al tornio, dove non si ha avuto alcuna difficoltà ad eliminare il materiale ormai superfluo fino alla quota desiderata.

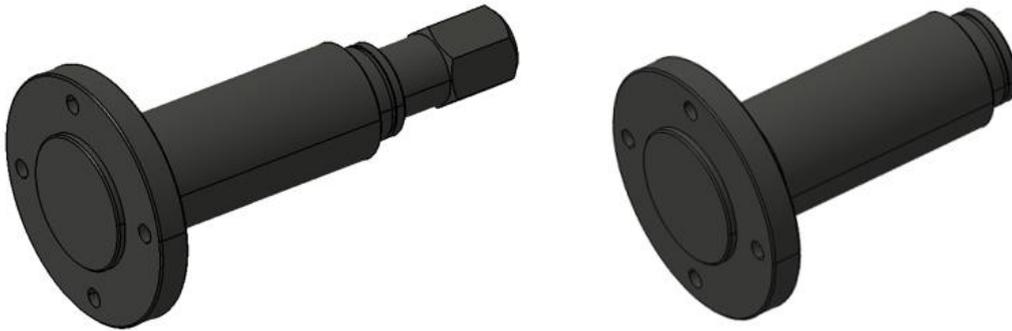


Figura 106: Effetto della prima lavorazione

La seconda lavorazione invece è stata più complessa, perché il foro da realizzare deve essere estremamente preciso così da poter trasmettere il moto rotatorio del motore all'intero prototipo senza giochi. L'idea è quella di un albero scanalato, rappresentato dal perno del motore, che trasmette il moto tramite più linguette al prototipo. Data la complessità della lavorazione si è deciso di semplificare la forma del foro da realizzare su Corpo centrale, che non sarà il negativo esatto del perno del motore, ma avrà forma esagonale.

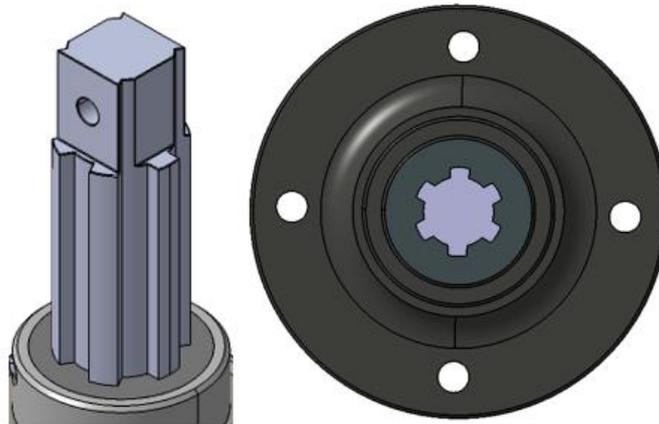


Figura 107: Perno del motore e foro esagonale nel Corpo centrale

Per poter realizzare fisicamente questa sede per il motore si deve usare l'elettroerosione a tuffo, forando il Corpo centrale con un elettrodo appositamente pensato. Si crea perciò un elettrodo di rame dalla forma esagonale, con un foro filettato al centro e di lunghezza pari alla profondità della sede che si vuole realizzare sul prototipo, più 40 mm così da avere lo spazio per poter agganciare tale utensile alla macchina.

Al fine di avere un foro preciso è necessario avere un elettrodo delle dimensioni desiderate. La sua realizzazione ha dunque un ruolo centrale. Si parte da un cilindro grezzo di rame, al cui centro si fa un foro filettato M6 tramite fresa. Successivamente si fa, sempre alla fresa, un secondo foro, più decentrato, che permette l'ingresso del filo di ottone ed il suo azzeramento per la lavorazione di elettroerosione. Il profilo dell'elettrodo infatti ha degli spigoli vivi, che possono essere realizzati solo tramite taglio filo e non per fresatura. A questo punto si posiziona il filo all'interno del grezzo di rame nella posizione nota del foro appositamente realizzato, da cui si parte per realizzare il profilo scanalato cercato attorno al foro filettato M6.



Figura 108: Preparazione dell'elettrodo di rame

Al termine del taglio si ottiene l'elettrodo di rame, che viene fissato alla macchina ed usato nell'elettroerosione a tuffo come mostrato in Figura:



Figura 109: Elettrodo di rame e foratura per elettroerosione

Al fine di ridurre il consumo dell'elettrodo di rame si è fatto prima un foro passante di diametro pari a 11mm sul Corpo centrale tramite tornio. Con questo espediente l'elettrodo ha meno materiale da forare ed incontra perciò meno resistenza, dunque si consumerà in misura minore durante la lavorazione.

La lavorazione consiste nel forare il componente usando la corrente elettrica che si fa scorrere sull'elettrodo, il quale a sua volta scende lentamente in profondità nel Corpo centrale fino a che non si è raggiunta la lunghezza desiderata della sede.

Tale lavorazione è estremamente delicata sia perché l'elettricità tende a consumare anche l'elettrodo e non solo il Corpo centrale sia perché la precisione richiesta per tale sede è estremamente elevata. Si deve perciò procedere molto lentamente, facendo avanzare l'elettrodo di pochi centesimi di millimetro alla volta.

La precisione deve essere così spinta perché altrimenti si ha un errore nella trasmissione del moto torsionale, se infatti la larghezza delle sedi del foro supera di molto quella delle linguette del perno del motore si ha che prima di trasmettere il moto al prototipo il motore compie una breve rotazione senza incontrare resistenza per poi impattare sulla faccia della sede nel prototipo. Ciò implica un ritardo nell'applicazione della coppia ed un urto che a lungo andare può portare all'usura di entrambi gli elementi. Se invece si esagera con le dimensioni radiali il perno entra facilmente nel Corpo centrale, ma poi ha anche la possibilità di basculare al suo interno, perdendo così la coassialità tra prototipo e motore, che lavorerà in maniera inadeguata.

Una volta realizzato anche questo componente con le attenzioni appena menzionate si è pronti per assemblare motore e prototipo, così da poter iniziare a svolgere dei test pratici sui perni di massa.

2.6.3 Circuito di accensione & Taratura del servomotore

Il motore Pluto 35Fn/CA è quello che, se alimentato dalla corrente elettrica, imprime il moto rotatorio, ma il suo controllo è offerto dall'unità di controllo EDU2AE



Figura 110: Unità di controllo del motore elettrico

Con questa unità si può controllare, una volta impostato il modello del motore, la velocità di rotazione e la percentuale di coppia rispetto al range di variazione, dato appunto dal tipo di motore. Il motore usato in particolare ha un range di coppia che va da 3 a 35 Nm.

L'unità di controllo inoltre ha il compito fondamentale di alimentare il motore e di dargli il segnale di avvio.

Capitolo 2 Controllo coppia automatico

Per far ciò è necessario realizzare parte del circuito elettrico indicato di seguito

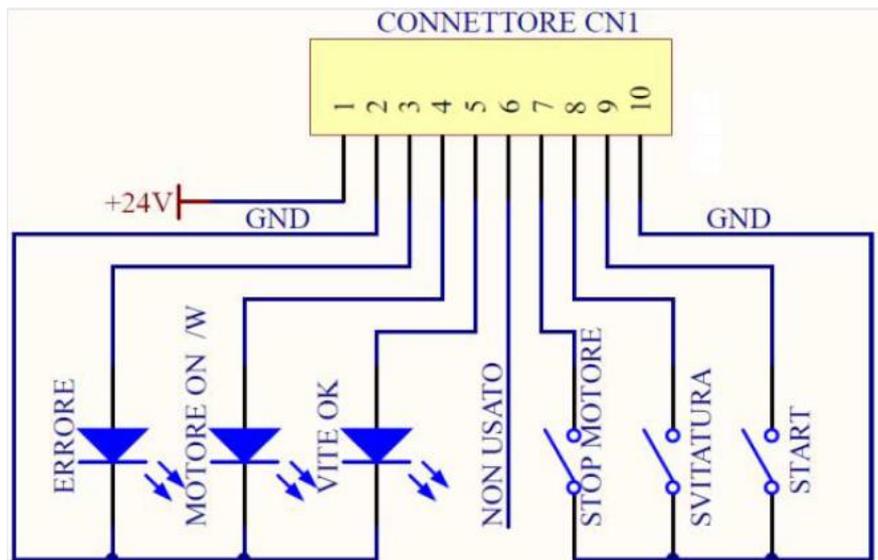


Figura 111: Schema del circuito elettrico

Le prime 5 porte sono di output, mentre le ultime 5 sono per gli input. Nel caso in esame è stato sufficiente collegare le uscite 10, 9 ed 8. Il contatto 10 infatti è il contatto comune a tutti gli input, mentre chiudendo il contatto 9 si ottiene un moto di avvitatura, perciò un moto rotatorio in senso orario, al contrario se si chiude il contatto 8 si ha la svitatura, ovvero una rotazione in senso antiorario. Per far ciò si collega l'unità di controllo ad un selettore dotato di una molla di ritorno. Quando si vuole chiudere il contatto 9 allora si ruoterà manualmente il selettore verso sinistra e lo si terrà in posizione per tutto il tempo che si vuole avvitare. Quando si vuole interrompere questa azione basterà semplicemente lasciare il selettore, la cui molla interna lo riporterà alla posizione intermedia aprendo il contatto 9. Se invece si vuole fare una svitatura si sposta il selettore verso destra per chiudere il contatto 8, che resterà chiuso finché non si lascia tornare il selettore nella posizione neutra centrale.

Per il momento si collegano solo gli input, infatti non c'è ancora bisogno di avere un segnale elettrico in uscita, ma questa necessità si paleserà non appena si proverà ad automatizzare il processo di collaudo.

A questo punto il sistema del servomotore è pronto ad essere assemblato sul prototipo e fissato ad esso tramite le viti tra Motore e Supporto motore e tra quest'ultimo e la Piastra basale. Infine, l'intero sistema è stato avvitato ad una nuova piastra, di grandi dimensioni e dall'elevato peso, così che riesca a fare da zavorra al prototipo, che perciò risulta inamovibile.

Il sistema appena descritto tuttavia non è ancora pronto per svolgere la prova di collaudo sui perni di massa. È infatti necessario fare prima una taratura, perché il motore acquistato non rileva la coppia vera e propria come detto, ma misura la corrente assorbita. Questo implica che la coppia applicata dipende dal peso dell'elemento a cui lo si collega. Un componente più pesante offrirà una resistenza maggiore rispetto ad uno più leggero, dunque assorbirà una quantità di corrente superiore per applicare lo stesso valore di coppia.

Si è perciò creato un primo sistema per svolgere questa taratura e per fare in seguito le prime prove di controllo coppia. Il circuito elettrico appena descritto e realizzato al fine di poter comandare il moto di avvitatura e quello di svitatura è stato inserito all'interno di un pannello, dove viene messa anche una valvola pneumatica a comando meccanico, il cui scopo è quello di inviare aria compressa per serrare le Ganasce quando richiesto.

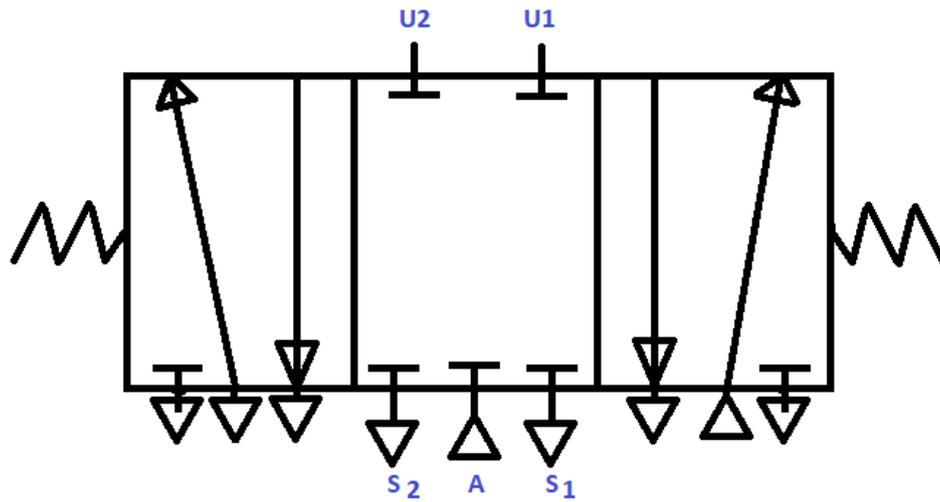


Figura 112: Valvola a 5 vie e 3 posizione

La scelta è ricaduta su questo tipo di valvola perché già presente in magazzino. All'utenza U1 si collega il tubo per l'aria del prototipo, mentre U2 viene tappata perché inutile. L'alimentazione A è collegata alla rete aziendale, mentre gli scarichi S1 ed S2 vengono silenziati.

Il Pannello di controllo allora apparirà come segue:



Figura 113: Primo Pannello di controllo

Con la manopola si controlla quale delle 3 posizioni far assumere alla valvola pneumatica, mentre col selettore si gestiscono le rotazioni in senso orario od antiorario del motore e dunque dell'intero prototipo.

A questo punto si è potuto iniziare a svolgere una taratura, specifica per il prototipo creato. Si è quindi presa una chiave dinamometrica con un range di lavoro da 8 a 40 Nm ed un grano a cui sono stati avvitati due dadi M6, il primo autobloccante ed il secondo no.

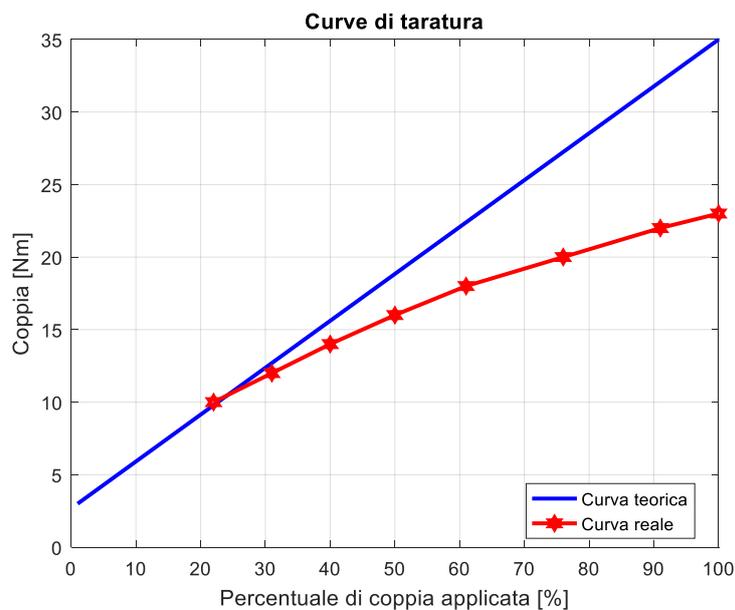
Capitolo 2 Controllo coppia automatico



Figura 114: Grano con i dadi esagonali M6 per la prova di taratura

Si infila il grano nella chiave dinamometrica agganciando il dado autobloccante all'imbocco della chiave. L'altro dado invece viene serrato dalle Ganasce del prototipo. Fatto ciò si imposta il valore della coppia desiderato sulla chiave dinamometrica, ad esempio 12 Nm, poi si regola gradualmente la % di coppia applicata dal motore mediante il sistema di controllo finché non si sente lo scatto della chiave dinamometrica, il che indica che si è raggiunto il valore di coppia desiderato.

Ripetendo il procedimento per diversi valori di coppia si ottiene la seguente curva di taratura sperimentale:



La curva teorica è stata ottenuta da:

$$Coppia applicata = 3 + valore di coppia$$

Con

$$\frac{valore \%}{100} = \frac{valore coppia}{32}$$

Come si può notare il primo valore sperimentale trovato è stato di 10 Nm e non di 8, perché quest'ultimo è il valore minimo del range della chiave dinamometrica e lì il suo funzionamento non si è rivelato preciso e ripetibile.

La curva reale mostra un andamento nettamente differente da quella teorica, data dalla casa produttrice, specialmente per gli alti valori di coppia. In un primo momento infatti le due curve sono abbastanza vicine, ma poi con l'aumento della coppia richiesta il peso del prototipo fa sentire maggiormente il suo effetto. Ad

esempio, per applicare una coppia di 18 Nm la curva teorica prevede di assorbire una quantità di energia elettrica in modo da avere una percentuale di coppia registrata dall'unità di controllo pari al 47%, ma nella realtà ne assorbe una quantità decisamente superiore, che corrisponde al 61%. Questo avviene ovviamente perché lo strumento collegato al motore in fase di taratura teorica era più leggero del prototipo in uso adesso, dunque assorbiva una quantità di energia minore per poter applicare una stessa coppia.

La coppia di interesse per questa trattazione è di 12 Nm, per cui, alla luce della taratura appena realizzata, si imposta sull'unità di controllo una percentuale pari al 31%. In questo modo dunque il Prototipo applicherà sempre la coppia di collaudo prescritta da normativa.

2.7 Terzo prototipo

A seguito dell'impiego del prototipo per la taratura del servomotore e per le prime prove di collaudo sono emersi alcuni piccoli problemi legati appunto all'uso pratico e ripetitivo. Queste problematiche sono:

- usura delle ganasce e difficile presa sul perno;
- uscita della tenuta dalla sede dovuta ad una corsa eccessiva del Cilindro;
- difficoltà della molla nel far ritornare in posizione i vari componenti;
- rischio di strappare il tubo dell'aria che si avvolge attorno al prototipo.

Di seguito vengono analizzate le singole modifiche fatte per superare questi problemi e che hanno portato all'evoluzione dal Secondo al Terzo prototipo.

2.7.1 Nuova forma per l'elemento delle Ganasce

In seguito al processo di taratura le Ganasce si sono deformate. Esse infatti come visto andavano a serrare un dado di forma esagonale e non un ottagono, forma per la quale invece sono state ideate. Questa discrepanza, insieme al fatto che la forza di serraggio della pinza, misurata tramite dinamometro e pari a 280 N, è elevata, ha portato all'usura delle Ganasce a seguito del loro impiego prolungato.

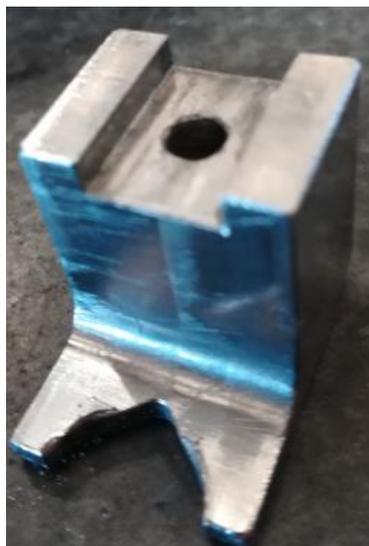


Figura 115: Usura delle Ganasce

Dovendo perciò rifare tali elementi si è colta l'occasione anche per ripensarne la forma, in modo tale da agevolare la presa corretta sul perno di massa.

Capitolo 2 Controllo coppia automatico

Per ottenere questo risultato è utile avere una forma in grado di poter agganciarsi con facilità all'ottagono, indipendentemente da come esso sia orientato. La difficoltà infatti nasce dal processo di saldatura dei perni di massa, che non prevede di saldarli con un orientamento preciso dell'ottagono. Come si è visto infatti il perno viene inviato alla saldatrice tramite dell'aria compressa attraverso un tubo, all'interno del quale però può rotare liberamente attorno al suo asse. L'orientamento dell'ottagono perciò non viene per niente controllato, dal momento che questo parametro non ne inficia la funzionalità o la corretta saldatura. Ogni perno dunque verrà fissato con un orientamento del tutto casuale e non ripetibile.

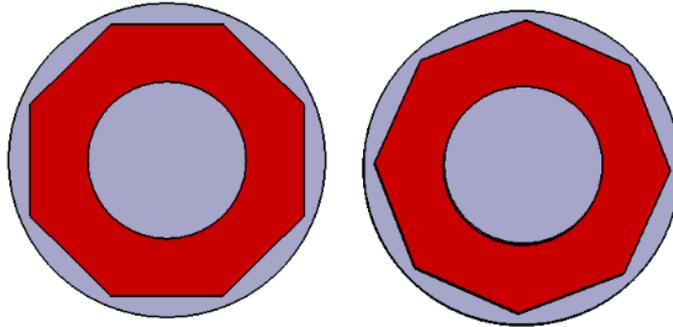


Figura 116: Possibili orientamenti dell'ottagono del perno di massa saldato

Questa ulteriore difficoltà è anche un motivo di usura per le Ganasce attuali. Esse infatti hanno una forma "chiusa" data dai due lati paralleli per cui quando il perno non ha l'ottagono orientato nella maniera corretta non riescono ad aderire mai ad esso, ma hanno un contatto su otto punti soltanto come mostrato in Figura:

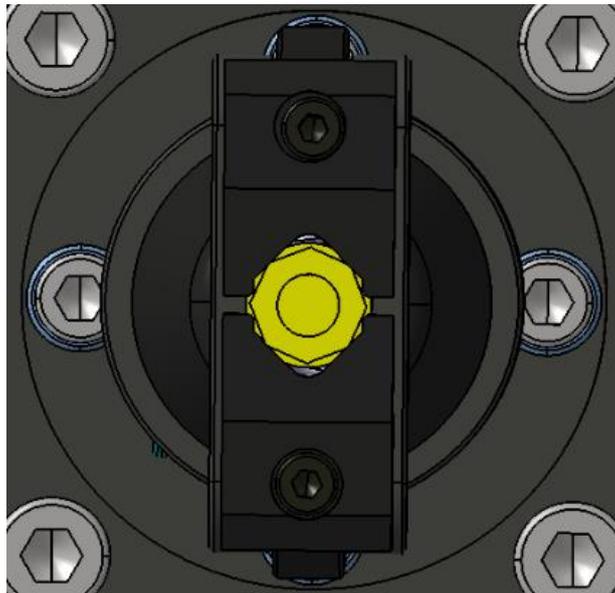


Figura 117: Aggancio non corretto al perno con 8 punti di contatto

Una volta che la Pinza si chiude sull'ottagono in questa maniera non riesce ad applicare correttamente la coppia di collaudo, perché le due Ganasce scivolano sul perno durante la rotazione impressa dal motore senza mai riuscire a chiudersi correttamente su di esso. Il problema è dato dai due lati dritti di ogni Ganasca. Questi infatti sono utili per trasmettere la coppia con più efficienza al perno, ma hanno una distanza tra di loro inferiore alla diagonale dell'ottagono, per cui non ne permettono il corretto alloggiamento all'interno delle Ganasce stesse qualora esso sia orientato in maniera non ottimale.

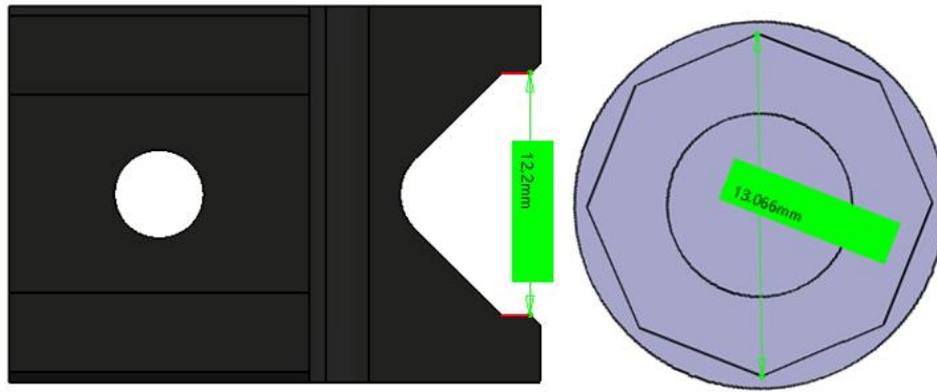


Figura 118: Dimensioni caratterizzanti

Si è allora pensato ad una forma più “aperta”, senza quei due lati dritti deleteri per il corretto centraggio. La nuova Ganascia pensata è mostrata nella Figura sottostante:

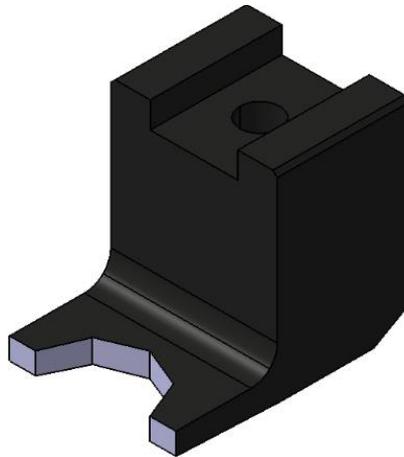


Figura 119: Nuova forma delle Ganasce

Come si può vedere la forma del nuovo elemento è il negativo della metà di un ottagono, ma ha i lati tutti divergenti tra loro così da permettere alle Ganasce di aderire al perno con facilità a seguito di una prima rotazione imposta dal motore proprio per permettere questa chiusura.

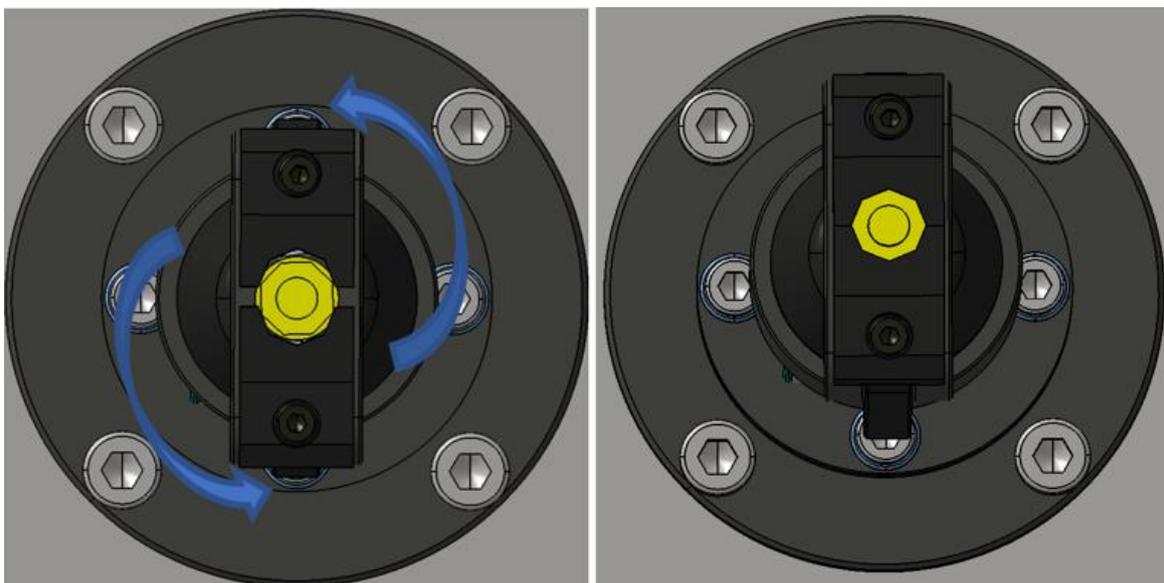


Figura 120: Chiusura delle Ganasce sull'ottagono

Capitolo 2 Controllo coppia automatico

Decisa dunque questa modifica i pezzi sono stati realizzati fisicamente mediante una prima lavorazione alla fresa con cui si è fatto l'intero elemento ad eccezione della sagoma "aperta" per agganciare il perno e seguita da una lavorazione di taglio per elettroerosione a filo. Infine, questi componenti sono stati fiammati per ottenerne un indurimento tramite tempra, così da limitarne ulteriormente l'usura. Il raffreddamento però è avvenuto ad aria e non con un mezzo temprante più drastico per evitare un eccessivo infragilimento del componente che porta alla rottura del pezzo a causa dell'urto della chiusura delle pinze sull'ottagono come mostrato in Figura:



Figura 121: Rottura fragile a seguito dell'infragilimento da tempra

Una volta realizzati gli elementi sono stati montati sul pezzo per provare a vedere se riescono ad applicare la coppia di collaudo di 12 Nm al perno. Nonostante l'assenza dei lati paralleli, utili appunto ad applicare la coppia con maggiore facilità, le nuove Ganasce assolvono bene il loro compito.

Come ultima fase è stata verificata la bontà della curva di taratura sperimentale, constatando che i valori delle varie coppie corrispondono ancora alle % trovate in precedenza.

2.7.2 Variazione della corsa del Cono sul Pistone centrale

Un problema grave che è sorto nell'impiego del prototipo è stato la variazione della corsa del Cono sul Pistone centrale. Il fine corsa del Cono infatti era stabilito dal contatto delle Ganasce sul perno di massa, quando queste si serrano sull'ottagono bloccano il Cono, che non riesce più a scendere nonostante lo spazio tra questo ed il Cilindro sia ancora in pressione.

A causa delle variazioni apportate su entrambi gli elementi delle Ganasce esse per serrarsi sul perno fanno una rotazione superiore a quella prevista nel Primo prototipo. Questa variazione implica una maggiore traslazione del Cilindro e del Cono sul Pistone centrale prima che le due Ganasce, venendo a contatto con il perno, fermino il moto di tutti i vari componenti. Il Cono ed il Cilindro in particolare eseguono una corsa superiore alla precedente di 3 mm. Questo aumento fa sì che il Cilindro, scorrendo sul Pistone, superi la sede per la bronzina, che dunque, non essendo più contenuta, fuoriesce dalla sede durante la lavorazione.

Per evitare tutto ciò si è provveduto ad inserire uno spessore cilindrico di 4 mm tra il Cilindro ed il Cono. Con questo accorgimento si riesce ad evitare che il Cilindro scorra oltre la sede della bronzina causandone così la fuoriuscita, inoltre si aumenta anche il precarico della molla, favorendone in questo modo anche il lavoro poiché la sua forza sarà superiore a prima.



Figura 122: Spessore di materiale plastico

Dal momento che questo nuovo componente durante il moto scorre sul Pistone centrale per evitare che lo righi o lo danneggi si è pensato di realizzarlo interamente di un materiale plastico chiamato tecarin più dolce dell'acciaio. Il pezzo nuovo viene realizzato tramite una lavorazione al tornio.

2.7.3 Molla per la risalita

Come visto anche in precedenza nel calcolo delle forze in gioco durante la discesa e la risalita dei componenti Cilindro e Cono si è trascurata ogni forma di attrito poiché si presuppone che essi siano ampiamente lubrificati. Inevitabilmente però dopo un po' di utilizzo l'olio usato per lubrificare il sistema od evapora o cola all'esterno a causa delle luci createsi durante il moto. Il risultato è un aumento della forza di attrito presente tra Pistone centrale, Cono e Cilindro che non può più essere trascurata. Questo comporta una risalita più lenta od addirittura, in casi estremi, l'effetto dell'attrito mantiene la molla schiacciata, impedendole completamente di tornare in posizione. Per risolvere questo problema ci sono due vie percorribili:

1. cambiare la molla, scegliendone una con una costante elastica K superiore;
2. aumentare il precarico della molla attuale.

La prima soluzione è stata scartata immediatamente poiché per avere una costante elastica superiore è necessario avere un filo della molla di dimensioni maggiori a quelle attuali. Questo inevitabilmente porta ad un cambiamento del valore o del diametro interno o di quello esterno della molla, ma, poiché il diametro esterno della molla è fissato dal valore del foro del Cono nel quale bisogna inserirla, mentre quello interno deve essere abbastanza grande da poter farci passare il Pistone centrale, questa modifica non può essere applicata senza modificare anche le componenti del prototipo.

Più rapida è invece la seconda soluzione. Grazie ai 4 mm di spessore di materiale plastico aggiunti sopra per evitare la fuoriuscita della bronzina si ha:

$$F_m = F_0 + k * \Delta l$$

$$k \cong 2315.6 \frac{Kg}{s^2}$$

$$F_0 = k * (0.009 + 0.004) = 30.1 N$$

L'obiettivo è di avere:

$$F_m = F_0 + k * \Delta l > P_{atm} * A + F_{attrito}$$

Così si garantisce la risalita del Cono e del Cilindro. È difficile valutare correttamente il valore della $F_{attrito}$ dal momento che per le prime lavorazioni il pezzo è ampiamente lubrificato, mentre successivamente l'effetto dell'olio tende a diminuire. Sperimentalmente si è osservato come, con un precarico della molla superiore di solo 2 mm, si riesca a garantire sempre una corretta lavorazione della molla anche dopo un certo numero di lavorazioni, quando cioè l'effetto del lubrificante è diminuito. Questa volta però si è

Capitolo 2 Controllo coppia automatico

preferito mettere lo spessore nella parte inferiore della molla, tagliando una lamiera tramite taglio laser poiché di più facile realizzazione:

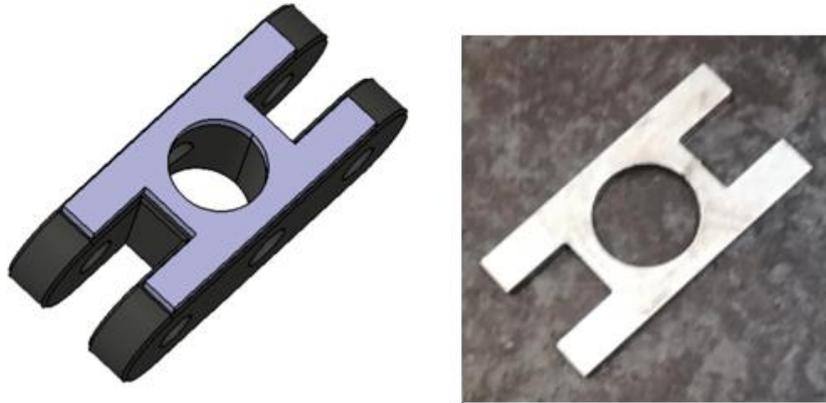


Figura 123: Spessore da 2 mm per il precarico della molla

Con questo pezzo aggiuntivo dunque si ha un precarico $F'_0 = k * (0.009 + 0.004 + 0.002) = 34.7 N$

Per cui si avrà una forza massima della molla pari a $F'_{MAX} = F'_0 + k * \Delta l_{MAX} = 69.5 N$

Questa nuova forza è sufficiente per garantire sempre la risalita del Cono e del Cilindro, inoltre il precarico non è così elevato da mandare a pacco la molla. Si fa però notare che la lubrificazione del componente non diventa superflua, ma vada sempre garantita dopo un certo numero di ore di lavoro per avere un funzionamento migliore e limitare al minimo l'usura.

2.7.4 Tubo dell'aria compressa

Molto più complessa è la soluzione del problema del tubo, che si avvolge attorno al prototipo durante la prova di avvitatura. Il prototipo infatti effettua, durante la prova, una piccola rotazione per centrare l'ottagono all'interno delle Ganasce prima di raggiungere la coppia di collaudo. Dopo un certo numero di prove allora si avrà che il prototipo avrà realizzato una rotazione non indifferente attorno al suo asse longitudinale ed il tubo si sarà avvolto intorno al prototipo:

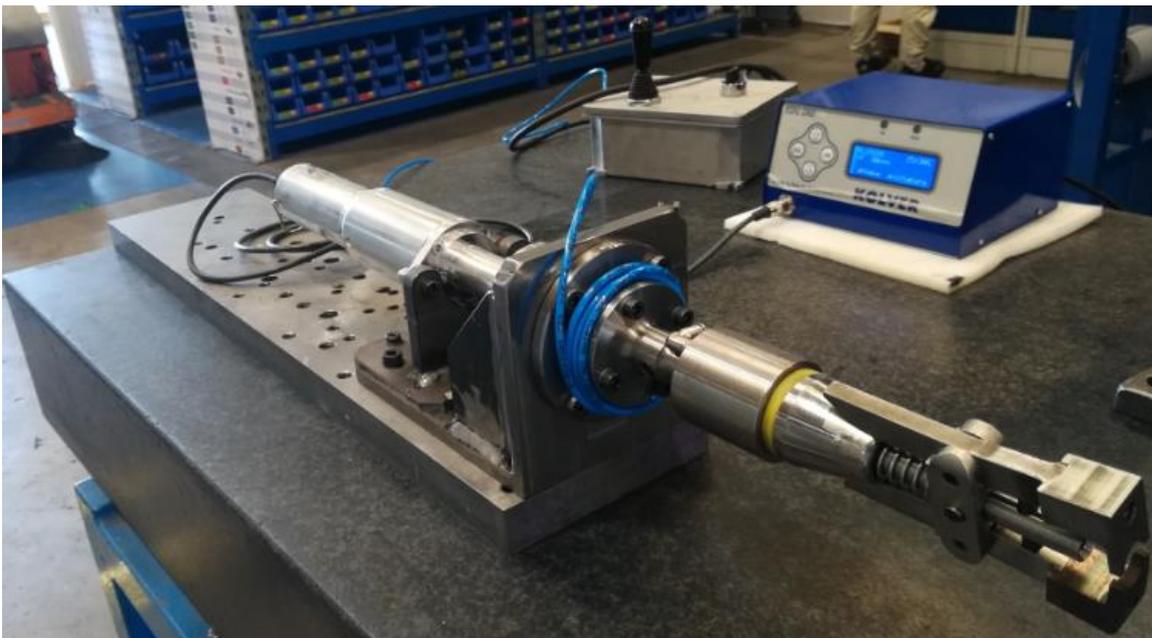


Figura 124: Avvolgimento del tubo sul prototipo

Inoltre, quando il collaudo dà un esito negativo ed il perno si stacca il motore continua a ruotare finché non si raggiunge il tempo massimo impostato pari a 2.5 secondi. In questo caso allora il tubo si avvolgerà ancora di più intorno al prototipo e c'è il rischio di strappararlo.

Per il momento la soluzione adottata si basa sul montare un tubo di lunghezza decisamente superiore a quella necessaria così da avere un certo margine di movimento. Si imposterà poi un programma PLC che automaticamente preveda una rotazione in senso opposto per svolgere il tubo dopo un certo numero di perni controllati oppure ogni volta che si ha una prova di collaudo negativa. Questo ci introduce alla fase successiva, ovvero l'automatizzazione vera e propria del controllo coppia.

Capitolo 3

Automattizzazione del prototipo

3.1 Prototipo realizzato e procedura di collaudo

Il prototipo fin qui realizzato riesce a serrare correttamente l'ottagono del perno di massa e ad applicargli la coppia di collaudo prescritta dalla norma FCA, segnalandone poi il corretto svolgimento o meno mediante le due spie colorate OK in verde e NOK in rosso dell'unità di controllo del Pluto 35Fn/CA.

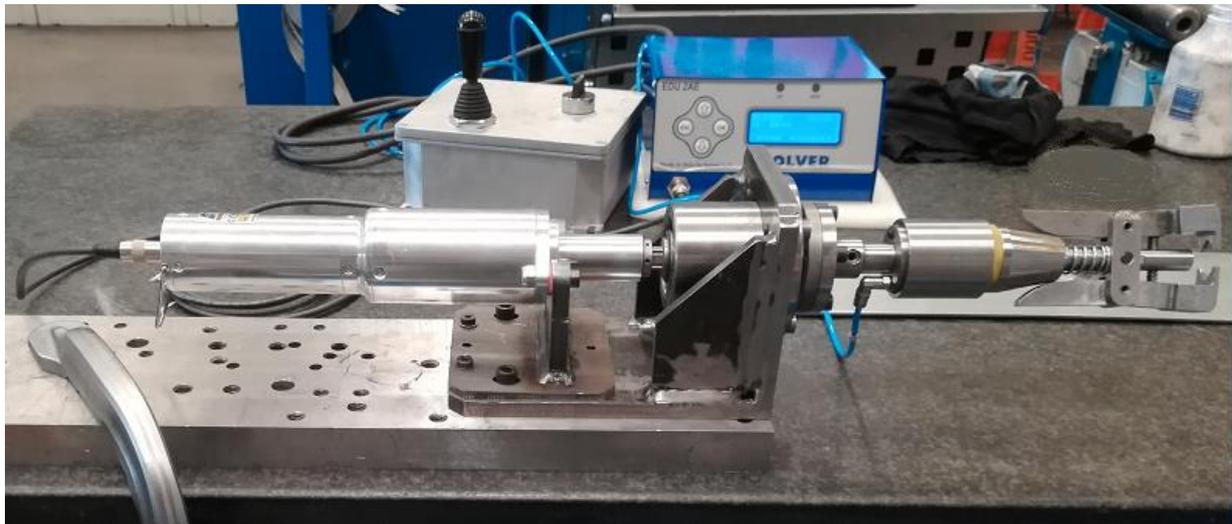


Figura 125: Prototipo realizzato con pannello ed unità di controllo

La prova di collaudo però non è ancora automatica, infatti la sequenza di azioni previste sono ancora svolte manualmente da un operatore, che agisce sul pannello di controllo.

Una volta che il perno è in posizione l'operatore agisce sulla leva del pannello per commutare meccanicamente la valvola pneumatica posta al suo interno così da collegare l'alimentazione all'utenza. Lo spazio appositamente adibito all'interno del prototipo viene messo in pressione ed il Cilindro trasla insieme al Cono, chiudendo in questo modo le Ganasce, che si serrano sul perno di massa. A questo punto è sempre l'operatore ad azionare il motore, applicando il moto torsionale all'intero prototipo e dunque la coppia di collaudo al perno, agendo su un selettore a due posizioni sempre posto sul pannello di controllo.

Se il motore riesce ad applicare tale coppia con successo si accenderà la spia verde di OK dell'unità di controllo, che verrà rilevata dall'operatore, il quale riporterà prima il selettore nella posizione iniziale per far cessare il moto e poi agirà nuovamente sulla leva per commutare la valvola, così da collegarne l'utenza a scarico. A questo punto la molla del prototipo riporta in posizione il Cono ed il Cilindro così da riaprire le Ganasce e terminare la prova.

Se invece il perno non è valido e non si riesce ad applicare la corretta coppia di collaudo entro un certo limite di tempo imposto dall'unità di controllo si accenderà su di essa la spia rossa di NOK. In questo caso l'operatore, dopo aver rilevato questo segnale, interromperà subito la rotazione spostando il selettore nella posizione centrale, poi agirà sulla valvola pneumatica commutandola manualmente per poter scaricare la camera e far aprire le due Ganasce. Dovrà infine districare il tubo dell'aria che si sarà avvolto sul prototipo a

seguito della sua rotazione data dalla mancata resistenza offerta dal perno non valido. Per far ciò può attivare tramite il selettore la fase di rotazione in senso antiorario del motore oppure farlo semplicemente a mano.



Figura 126: Prova di collaudo attuale

Mediante questo prototipo dunque si riescono a collaudare i perni di massa, ma adesso bisogna limitare al minimo l'azione dell'uomo e rendere il più automatico possibile il processo appena descritto.

Per ottenere questo risultato si è programmato un PLC SIEMENS realizzandone il relativo quadro elettrico.

3.2 Realizzazione del quadro elettrico

In un primo momento si è preparato il quadro elettrico inserendo i vari componenti necessari.

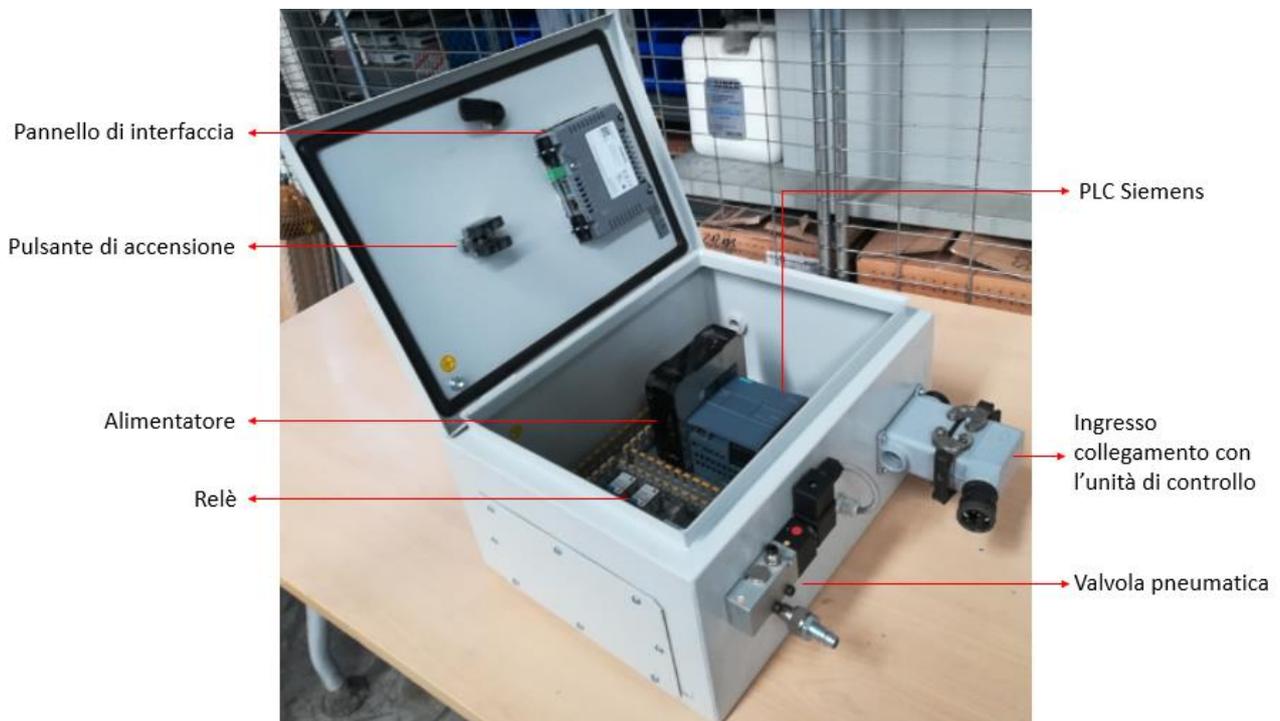


Figura 127: Elementi del quadro elettrico

L'elemento principale è ovviamente il PLC Siemens, che se adeguatamente programmato potrà automatizzare l'intera prova di collaudo dei perni di massa saldati. Il pannello di interfaccia è uno schermo

Capitolo 3 Automazione del prototipo

touch screen con cui l'operatore può interagire con il sistema automatizzato da PLC. Il pulsante di accensione serve esclusivamente ad accendere e spegnere agevolmente tutti gli elementi del quadro elettrico. Il collegamento tra quadro elettrico ed unità di controllo del motore avviene tramite innumerevoli cavi, che vengono opportunamente raccolti all'interno dell'ingresso fissato lateralmente alla scatola del quadro per evitare fili sparsi. La valvola pneumatica infine è una valvola monostabile con commutazione elettrica a 5 vie e due posizioni.

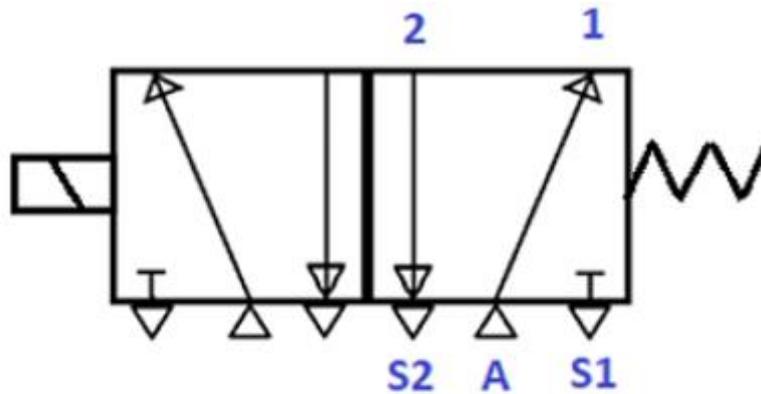


Figura 128: Valvola pneumatica monostabile con commutazione elettrica

Si indica con "A" l'alimentazione con "1" e "2" le utenze, mentre con "S1" ed "S2" gli scarichi delle utenze. Si è scelto questa valvola perché già disponibile in magazzino e la si è adattata al caso in esame tappando l'utenza 1. Così di riesce ad inviare l'aria compressa commutando la valvola per collegare l'alimentazione all'utenza 2, inviando un segnale elettrico dal PLC. Infine, quando si deve riaprire la pinza si commuta nuovamente la valvola per collegare l'utenza a scarico e lo si fa semplicemente interrompendo il segnale elettrico, perché la molla interna alla valvola riporta automaticamente il cassetto nella posizione iniziale.

Una volta assemblato il quadro elettrico sono stati realizzati i collegamenti elettrici tra le varie parti. Prima di tutto si sono connessi i \oplus ed i \ominus dell'alimentatore con quelli del PLC, dei relè e del pannello di interfaccia. Fatto ciò si sono collegati gli input e gli output del PLC ai relè. Tutti questi legami sono stati stabiliti mediante dei fili blu. Con dei fili verdi e gialli invece sono state messe a massa le varie componenti, mentre tramite dei fili neri si è fatto il collegamento di potenza tra il pulsante di accensione e l'alimentatore, che a sua volta è collegato alla rete elettrica aziendale.



Figura 129: Quadro elettrico

Per ultimo si è fatto il collegamento tra le componenti del quadro elettrico e l'unità di controllo del motore Pluto 35Fn/CA, facendo passare i cavi elettrici attraverso l'ingresso appositamente preparato esternamente la scatola. Si è seguito lo schema già riportato in *Figura 111*, collegando gli input 10, 9 e 8 dell'unità, che diventeranno gli output del PLC per poter realizzare il moto rotatorio in senso orario o antiorario e gli output 2,3 e 5, che a loro volta saranno gli input da dare al PLC per indicare quando la prova di collaudo è avvenuta con successo o meno.

Per evitare una confusione eccessiva tutti i fili sono stati inseriti all'interno di appositi canali come mostrato in *Figura*.

Realizzato il quadro elettrico si può passare alla programmazione del PLC.

3.3 Programmazione del PLC Siemens

L'obiettivo di questa fase è far fare al prototipo in automatico tutte quelle azioni che fino ad ora venivano realizzate grazie all'intervento dell'operatore. Il PLC allora dovrà commutare la valvola per chiudere od aprire le Ganasce del prototipo, attivare la rotazione in senso orario per applicare la coppia di collaudo di 12 Nm od in senso antiorario per srotolare il tubo dell'aria e riconoscere se l'esito della prova è stato positivo o negativo.

Trattandosi di un PLC Siemens si programma mediante il software Tia Portal 13 e si indicano in fase di programmazione con M le bobine da eccitare o meno, con Q gli output e con I gli ingressi. Il PLC ha disposizione 6 uscite, segnalate da Q0.0 fino a Q0.5 e otto ingressi, indicati da I0.0 fino a I0.7. Le bobine

Capitolo 3 Automattizzazione del prototipo

interne invece sono innumerevoli e si indicano con M0.0 fino a M0.7 per poi continuare con M1.0 fino a M1.7 e così via fino ad oltre M200.7. Per maggior chiarezza si fa notare come gli ingressi del PLC corrispondono agli output dell'unità di controllo del motore elettrico, mentre le uscite combaciano con gli input di tale unità.

Dal momento che si è realizzato per questioni interne all'azienda prima il quadro elettrico rispetto alla programmazione come prima cosa allora si sono individuate a quali ingressi del PLC corrispondono i segnali di OK e NOK dati dall'unità di controllo del motore elettrico e a quali uscite corrispondono i comandi di avvitatura e svitatura.

Per farlo si è semplicemente provato il PLC con le adeguate e semplici righe di codice. Il risultato ottenuto è:

Commutare la valvola per inviare aria compressa	Q0.0	Segnali di output
Avvitare	Q0.3	
Svitare	Q0.2	
Coppia applicata correttamente	I0.1	Segnali di input
Coppia non applicata correttamente	I0.0	

Si fa notare come, essendo la valvola monostabile, non c'è bisogno di un ulteriore segnale di uscita per interrompere l'invio di aria compressa all'utenza, ma basta semplicemente cessare di inviare Q0.0 perché la molla interna alla valvola le faccia cambiare posizione in automatico.

Fatto ciò si è proceduto a programmare contemporaneamente sia il PLC sia l'interfaccia grafica creando insieme i tasti sul pannello, i rung per attivare le varie operazioni e le variabili, chiamate blocchi di controllo, per farle comunicare.

Si riportano di seguito i vari blocchi di controllo creati:

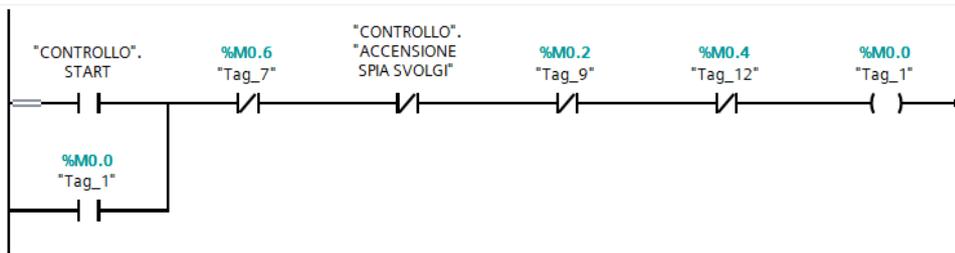
CONTROLLO							
	Nome	Tipo di dati	Valore di avvio	A ritenzio...	Accessibile ...	Visibile in ...	Valore di i...
1	Static			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	MACCHINA PRONTA	Bool	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	PERNO NON VALIDO	Bool	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	START	Bool	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	STOP	Bool	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	SVOLGI	Bool	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	ACCENSIONE SPIA SV...	Bool	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	CONTEGGIO	Int	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 130: Blocchi di controllo

I rung di codice sono invece i seguenti:

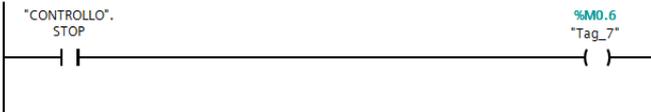
Segmento 1: AVVIO

Commento



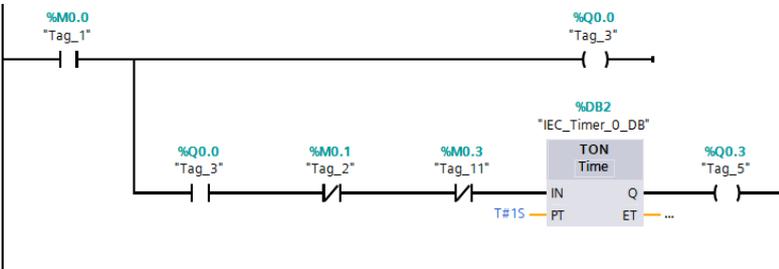
Segmento 2: ARRESTO

Commento



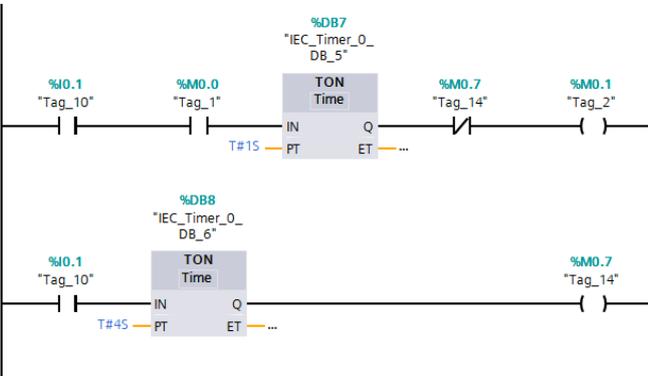
Segmento 3: PRIMA FASE DI LAVORO

Commento



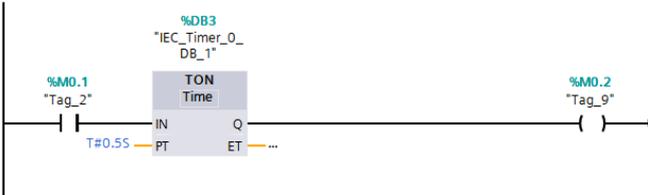
Segmento 4: COPPIA OK INTERROMPI AVVITATURA E RENDI LA MACCHINA PRONTA DOPO 4 SECONDI

Commento



Segmento 5: SE COPPIA OK TOGLI L'ARIA

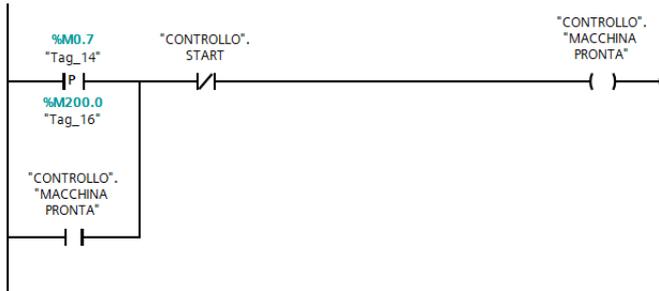
Commento



Capitolo 3 Automattizzazione del prototipo

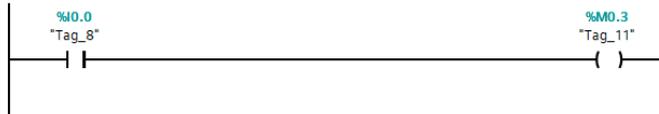
▼ Segmento 6: ATTIVA SEGNALE DI MACCHINA PRONTA

Commento



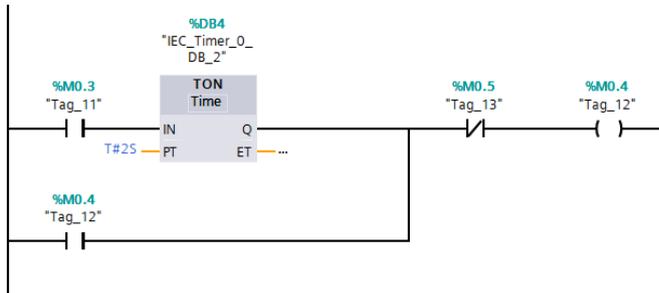
▼ Segmento 7: COPPIA NON OK APRI LA PINZA

Commento



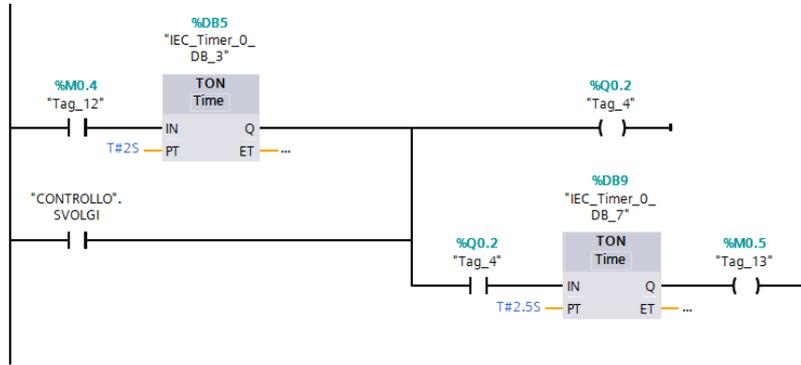
▼ Segmento 8: COPPIA NON OK INTERROMPI AVVITATURA

Commento



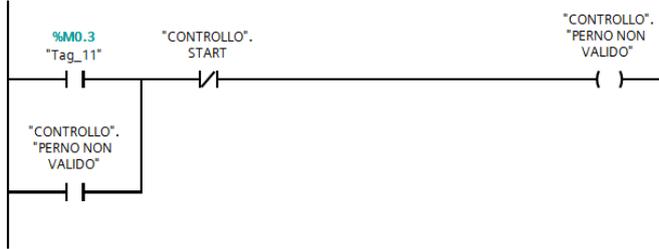
▼ Segmento 9: SVITA PER 2.5 SECONDI QUANDO TROVI L'ERRORE O SVITA QUANDO RICEVI IL COMANDO SVOLGI

Commento



▼ Segmento 10: SEGNALE DI ERRORE, IL PERNO DI MASSA NON E' SALDATO IN MANIERA CORRETTA

Commento



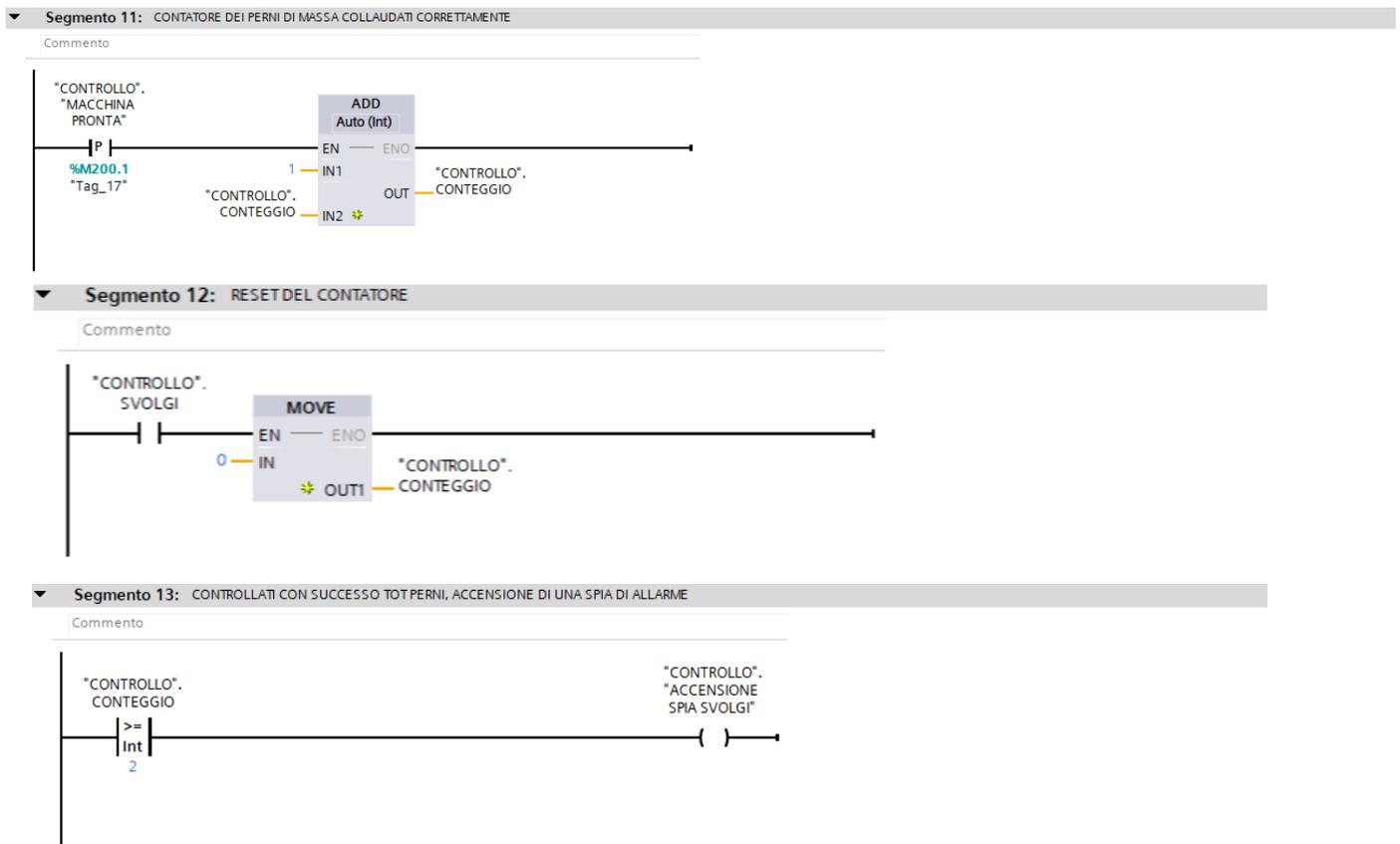


Figura 131: Programma del PLC

Si analizzano adesso riga per riga i vari rung del programma.

Il primo rung serve a far partire la procedura di collaudo una volta che il perno di massa è stato portato in posizione. Premendo il tasto START, presente sul pannello si chiude il relativo contatto e si attiva il primo rung, che va ad eccitare la bobina M0.0, la quale resta attiva grazie alla ritenuta.

Il secondo invece serve ad aprire le pinze immediatamente in caso di un eventuale problema inatteso. Tramite il tasto STOP del pannello allora si eccita la bobina M0.6 e perciò il relativo contatto presente nella riga uno si apre ed interrompe l'alimentazione della bobina M0.0.

La terza riga riguarda le prime due azioni che si attivano solo se M0.0 è eccitata. La prima azione è data da Q0.0, ovvero si invia il segnale per commutare la valvola monostabile così da far chiudere le Ganasce sul perno. Una volta che il segnale di Q0.0 è attivo scorre corrente anche nel ramo inferiore e perciò dopo un secondo si attiva anche Q0.3 cioè parte l'ordine di iniziare il moto rotatorio, applicando dunque la coppia di collaudo di 12 Nm imposta dal motore elettrico.

Arrivati fino a questo punto si aprono due diverse possibilità:

- il perno è stato saldato in maniera corretta e sopporta la coppia imposta, si ha dunque il segnale di OK
- il perno non è stato correttamente saldato e si stacca sotto l'azione dei 12 Nm, si ha perciò il segnale di errore dato dal NOK.

Nel primo caso si ha il segnale di input del PLC I0.1 e perciò si attiva il Segmento 4 per cui dopo un secondo dall'arrivo di I0.1 si attiva M0.1, con cui si va ad interrompere la corrente nel ramo relativo al moto di avvitarura. Dopo quattro secondi, invece si disattiva M0.1 tramite M0.7, interrompendo così il segnale di OK.

Capitolo 3 Automattizzazione del prototipo

Con l'eccitazione della bobina M0.1 si attiva anche il segmento 5, dove si stabilisce che dopo 0.5 secondi da quando cessa il moto di avvitatura si aprano anche le Ganasce, poiché si attiva M0.2 che va ad interrompere la corrente su M0.0.

L'ultima azione di questo caso è comunicare all'operatore che il perno è stato testato con successo, perciò si attiva grazie al solo impulso di M0.7 (la P all'interno del simbolo indica un fronte alto ed impone di ricevere solo l'impulso di M0.7 e non badare ulteriormente ad esso, anche se resta attivo) il Segmento 6 con cui si fa comparire il segnale di MACCHINA PRONTA sul display, segnale che scomparirà non appena l'operatore tornerà a premere START.

Riassumendo quindi nel caso di successo della prova di collaudo le azioni eseguite sono nell'ordine: commutare la valvola per chiudere le Ganasce, applicare la coppia, leggere il segnale di OK, smettere di applicare la coppia, interrompere il segnale inviato alla valvola così da farla tornare nel suo stato stabile e riaprire le Ganasce, comunicare all'operatore che il perno è stato collaudato con successo e che il prototipo è pronto per una nuova prova.

Nel secondo caso invece il PLC riceve in input il segnale I0.0, cioè quello relativo all'insuccesso della prova di collaudo. Si attiva allora il rung 7 che va ad eccitare M0.3, con cui si interrompe immediatamente il moto di avvitatura.

Chiuso il segnale di M0.3 si attiva il segmento 8 per cui dopo due secondi si eccita la bobina M0.4, che rimane alimentata grazie all'autoritenuta. In questo modo si apre il tasto del primo rung che va così a spegnere M0.0 con conseguente apertura delle Ganasce a seguito del ritorno automatico della valvola pneumatica nella sua posizione stabile.

Il segmento 9 si attiva con l'eccitazione di M0.4 e dopo due secondi dà il segnale di invertire il moto rotatorio con Q0.2. Questo movimento dura per 2.5 secondi e poi si interrompe con l'azione di M0.5. La durata di questo moto non è casuale. Tramite le impostazioni dell'unità di controllo del motore infatti si è impostato che dopo 2.5 secondi in cui si applica la coppia di 12 Nm ci sia il segnale di errore NOK. Dunque, non trovando la resistenza offerta dal perno di massa il prototipo ruota nel senso dell'avvitatura a 80 rpm per 2.5 secondi prima di arrestarsi. Il tubo dell'aria dunque si sarà avvolto attorno al prototipo come visto in precedenza. È allora necessario, prima di poter continuare a lavorare svolgere tale tubo per evitare di strapparlo. Per questo motivo si imposta la velocità di svitatura uguale a quella di avvitatura mediante l'unità di controllo e si ordina tramite PLC che il periodo di svitatura sia uguale proprio ai 2.5 secondi utili al motore prima di riscontrare l'errore.

L'ultima cosa da fare è segnalare l'insuccesso della prova all'operatore, così da poter eliminare il pezzo difettoso. Con l'attivazione di M0.3 allora si fa passare corrente nel Segmento 10 così da far comparire sul display l'immagine di PERNO NON VALIDO, che resterà attiva grazie all'autoritenuta finché l'operatore, dopo aver tolto il pezzo non idoneo, non torni a premere START per iniziare una nuova prova.

Ricapitolando dunque nel caso di fallimento del test di collaudo del perno di massa le azioni svolte in ordine temporale sono: commutare la valvola per chiudere le Ganasce, applicare la coppia, leggere il segnale di NOK, smettere immediatamente di applicare la coppia, comunicare all'operatore che il perno non è stato collaudato con successo, interrompere il segnale inviato alla valvola così da farla tornare nel suo stato stabile e riaprire le Ganasce, applicare il moto in senso contrario per svolgere il tubo dell'aria.

Queste sono le righe base del programma PLC per automatizzare la prova di collaudo e sostituire l'azione dell'operatore, che infatti si è ridotta a premere solamente il tasto START.

Con l'impiego però si è resa evidente la possibilità di una miglioria. Come visto infatti non sempre le Ganasce si chiudono in maniera corretta sull'ottagono del perno, perché esso è orientato casualmente durante il processo di saldatura. Questo implica che ci sia, anche nel caso di perno valido, una leggera rotazione della

pinza, fatta per centrare la presa sul perno. Dopo un certo numero di perni validati allora la pinza avrà compiuto una rotazione completa e dunque il tubo dell'aria si sarà avvolto su di essa. Se si continua a lavorare in questo modo piano piano il tubo si avvolgerà sempre di più fino a strapparsi. Per evitare ciò allora si programma il PLC per imporre un moto nel senso della svitatura ogni tot perni di massa controllati con successo, così da svolgere il tubo. Non potendo prevedere quanti perni siano orientati in maniera tale da avere immediatamente una corretta chiusura delle Ganasce e quanti invece siano "storti" rispetto ad esse e perciò necessitano di una leggera rotazione di centraggio ci si mette nelle condizioni peggiori. Si suppone allora che tutti i perni siano orientati male rispetto alla chiusura delle Ganasce e che l'orientazione sia la peggiore possibile, quella cioè che prevede la rotazione di centraggio più lunga. Tramite CAD si riscontra che nel caso peggiore la rotazione necessaria per centrare l'ottagono è di circa 24°. Il tubo allora si avvolgerà intorno al prototipo ogni 15 perni validati correttamente perché:

$$\frac{360^\circ}{24^\circ} = 15$$

Si potrebbe allora imporre una fase di svitatura ogni 15 perni collaudati. Se però si considera che magari non tutti i perni sono orientati male o che, anche se orientati male, prevedano una rotazione di centraggio inferiore al valore massimo di 24° si può pensare di imporre questa svitatura ogni 20 perni per esempio. Non si può però forzare troppo questo incremento, perché se per caso il diciannovesimo perno non sopporta la coppia di 12 Nm e si rompe la pinza ruoterà per 2.5 secondi avvolgendo di molto un tubo che già si era leggermente avvolto. Si rischia così di strapparla. Bisogna allora evitare di farlo avvolgere troppo prima di farlo ruotare in senso opposto. Un'altra accortezza è quella di non imporre un periodo di svitatura automatico, ma di farlo decidere all'operatore. In questo caso infatti non si può sapere di quanto si è avvolto il tubo attorno al prototipo, come invece accade nel caso di perno non valido perché si sa che, prima di segnalare l'errore, la pinza ruota per 2.5 secondi esatti. Sarà dunque l'uomo a stabilire la durata della rotazione in senso contrario osservando direttamente il tubo srotolarsi dal prototipo così da evitare di farlo ruotare in senso antiorario per un tempo eccessivo o non sufficiente.

Sono allora stati aggiunte delle righe di programmazione al PLC rappresentate dai Segmenti 11,12 e 13.

Il rung 11 si attiva con un fronte alto ad ogni impulso di MACCHINA PRONTA e fa il conteggio di questi segnali. In questo modo si contano il numero dei perni di massa collaudati con successo.

Il Segmento 12 è stato realizzato per resettare il contatore dei perni, facendo scendere il numero a 0 ogni volta che si preme il tasto SVOLGI. Tramite questo pulsante del pannello inoltre si attiva il secondo ramo del rung 9 con cui si dà l'ordine al motore elettrico di applicare un moto in senso antiorario finché si tiene premuto questo tasto. Così l'operatore come detto può svolgere il tubo attorno al prototipo osservandolo direttamente da fuori la cella di lavoro, senza perciò la necessità di fermare le lavorazioni per permettergli di entrare.

L'ultimo Segmento si attiva quando la variabile CONTEGGIO supera un certo numero di perni collaudati con successo. Come visto questo valore potrebbe essere superiore a 15, per esempio 20 o anche molto di più se si usa un tubo parecchio più lungo dello stretto necessario, ma adesso per motivi di rapidità di prova lo si è posto uguale a 2. Ogni due segnali di MACCHINA PRONTA, anche non consecutivi, si attiverà il rung 13 e dunque si avrà l'ACCENSIONE SPIA SVOLGI, ovvero apparirà sullo schermo dell'interfaccia una spia che inviterà l'operatore a tenere premuto il tasto SVOLGI. In realtà più che un invito questo è stato imposto come un obbligo dal momento che se è attivo ACCENSIONE SPIA SVOLGI come si vede dal rung 1 non si può far partire un'ulteriore lavorazione nemmeno premendo START. Si è perciò costretti a premere SVOLGI così da resettare il CONTEGGIO al rung 12 e disattivare così il Segmento 13 poiché la variabile CONTEGGIO non è più superiore o uguale a 2. Ricapitolando dunque premendo SVOLGI si attiva il moto di svitatura per districare il tubo dell'aria compressa, si resetta a zero il conteggio dei perni validati con successo e si

Capitolo 3 Automattizzazione del prototipo

disattiva la spia apparsa sullo schermo che sottolineava la necessita di svolgere così da poter iniziare di nuovo una nuova lavorazione premendo START.

Insieme alle righe di programma PLC è stato progettato come detto anche la grafica del pannello touch screen di interfaccia, creando i tasti ed i segnali di comunicazione e dandogli le funzionalità appena descritte. Il risultato è il seguente:

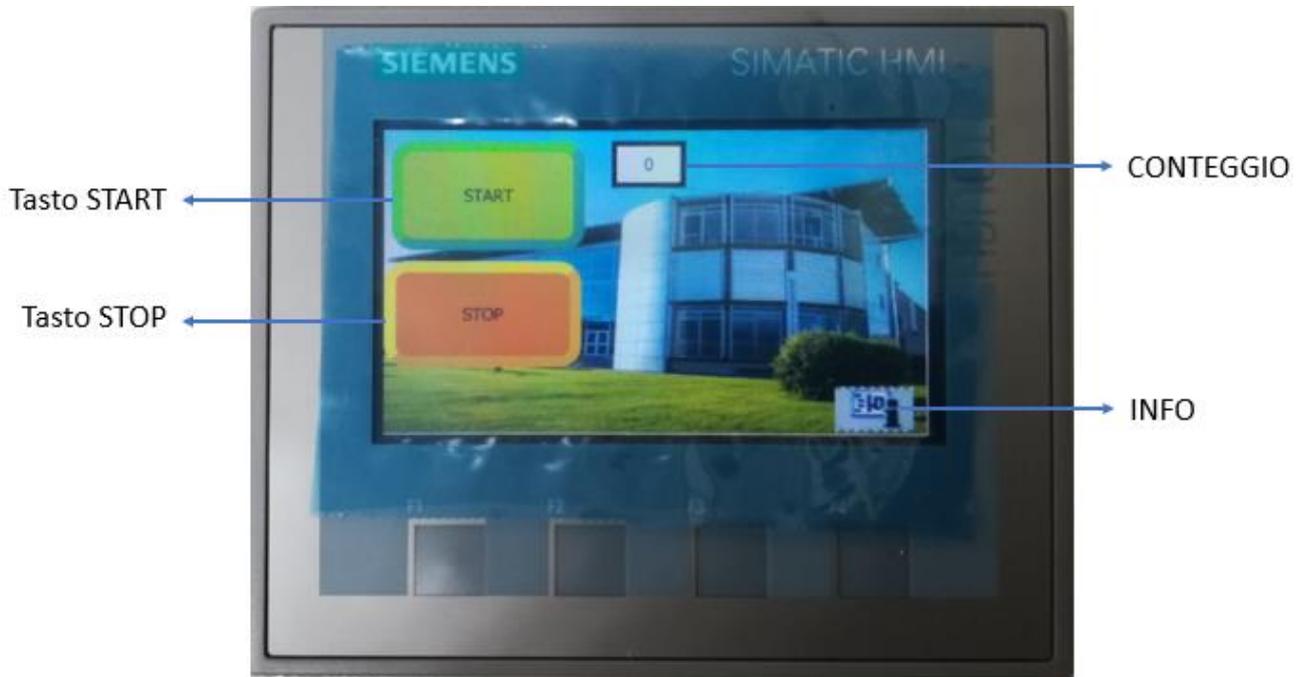


Figura 132: Schermata di HOME

Come si può vedere nella schermata iniziale ci sono i pulsanti di START e STOP insieme al CONTEGGIO dei perni collaudati con successo. C'è inoltre un ulteriore immagine di INFO che indica come premendo il sottostante tasto F4 del pannello si possa accedere ad una pagina di istruzioni.

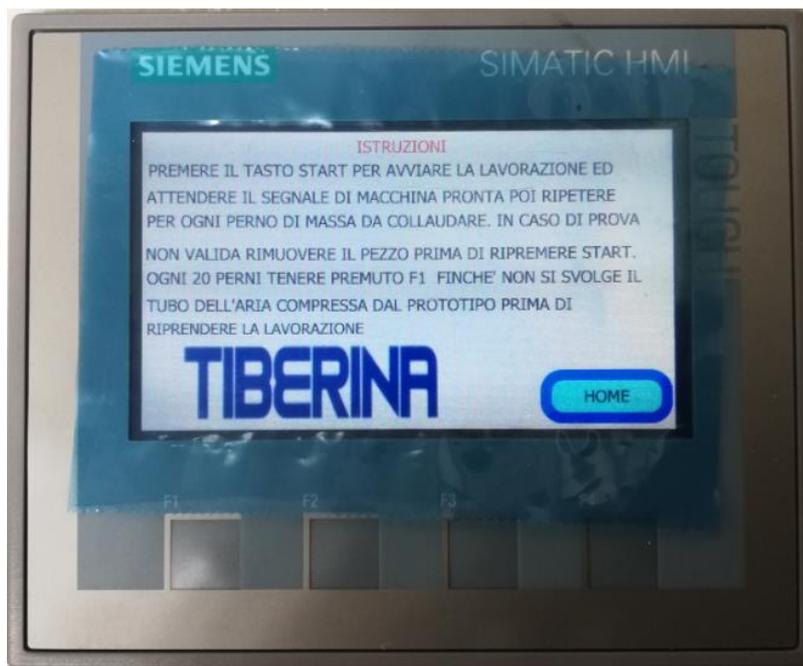


Figura 133: Pagina di istruzioni

In questa pagina sono brevemente indicate le operazioni da svolgere per far lavorare la macchina in maniera corretta, è inoltre presente un pulsante di HOME per poter tornare alla schermata iniziale.

A fine di ogni lavorazione come detto ne sarà indicato l'esito positivo o negativo all'operatore:



Figura 134: Segnalazione dell'esito della prova

Ogni tot perni validati con successo infine si accenderà la spia per indicare la necessità di svolgere il tubo dell'aria:



Figura 135: Spia per svolgere il tubo dell'aria

Si può notare dall'immagine che questa spia come detto per adesso si accende ogni 2 collaudi positivi per semplicità, mentre, come anche indicato nella pagina di istruzioni, tale valore nella realtà può salire fino a 20 od oltre per ridurre al minimo le interruzioni delle lavorazioni.

Questo non è l'unico valore che è stato cambiato per facilitare la prova del programma rispetto a quelli che poi saranno adottati nelle fasi di lavorazioni vere e proprie.

Le tempistiche di ogni operazione infatti verranno tutte ottimizzate riducendole tutte al minimo. Il segnale di errore per esempio non verrà dato dopo 2.5 secondi, ma molto prima, magari già dopo 1 secondo. Così anche la fase di svitatura immediatamente successiva al segnale di errore non durerà più 2.5 secondi, ma sarà anch'essa ridotta ad 1 secondo. In maniera analoga saranno ridotte tutte le fasi intermedie di tempo che scorrono tra la chiusura o l'apertura delle Ganasce ed i moti di avvitatura e svitatura. In questa maniera si renderà la prova di collaudo nettamente più veloce così da poter rispettare i tempi della lavorazione dettati nella cella di lavoro.

Fatto anche il programma PLC si è testato il Prototipo su alcuni perni saldati tramite saldatrice Tucker su di una lamiera appositamente realizzata:

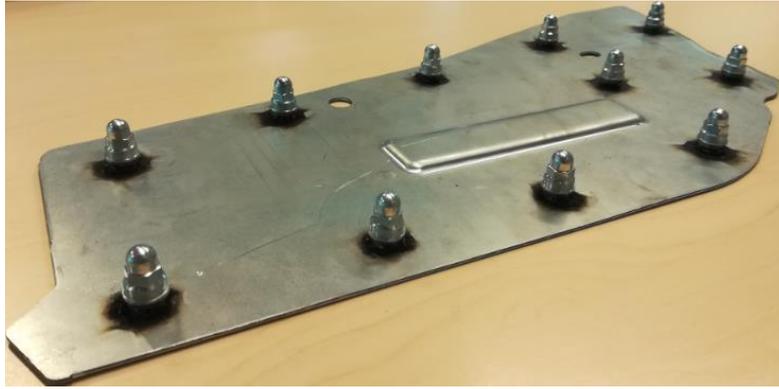


Figura 136: Lamiera con 10 perni di massa saldati

Dopo aver inserito manualmente il perno saldato all'interno della Bocca di centraggio si è avviata la prova premendo il tasto START dell'interfaccia.



Figura 137: Prova di collaudo

Il risultato è stato estremamente positivo. Il Prototipo fin qui realizzato ed automatizzato tramite il programma del PLC riesce ad applicare con successo la coppia di collaudo di 12 Nm sull'ottagono del perno di massa senza andare a danneggiare né il cappuccio protettivo né la lamiera su cui è saldato. Gli esiti di queste prove sono stati poi verificati tramite un secondo collaudo manuale, dove si è usata una chiave dinamometrica e l'apposito attacco fornito dalla ditta Tucker per agganciarsi al perno di massa. Il Prototipo ha ottenuto gli stessi risultati del collaudo mediante chiave dinamometrica.

L'unica problematica si è verificata nella prova di rottura. Applicando infatti una coppia superiore ai 12 Nm la presa delle Ganasce sull'ottagono non è abbastanza salda e si ha che la Pinza ruota a vuoto intorno al perno. In questo caso, dato che le Ganasce sono state indurite tramite trattamento termico, quando si applica una coppia elevata la forza è tale da deformare l'ottagono del perno di massa, levigandone gli spigoli fino a trasformarlo in una circonferenza. A questo punto le Ganasce non incontrano più alcuna resistenza ed iniziano a ruotare liberamente attorno al perno, senza applicare su di esso nessun carico.

In definitiva non si sono riscontrati problemi nella prova di collaudo, ma non si riesce a verificare la coppia di rottura dei perni saldati su lamiera. Questo però non rappresenta un vero problema. La prova di rottura infatti va fatta su un lotto di prodotti una volta al mese, dunque si può tranquillamente continuare a farla manualmente.

Capitolo 4

Applicazione industriale

4.1 Nuovo programma PLC con i due sensori

Il prototipo fin qui ideato e realizzato è funzionante ed automatizzato, tuttavia prima di metterlo all'interno di una cella di lavoro robotizzata si possono apportare le seguenti modifiche:

- modificare il prototipo inserendo un sensore di inizio e uno di fine corsa;
- cambiare il programma PLC per eliminare del tutto l'intervento dell'operatore nella lavorazione.

4.1.1 Sensore di inizio e fine corsa

Come visto il prototipo fatto ha il tubo dell'aria che si avvolge attorno al gruppo Pinza durante le prove di collaudo. In un primo momento si è risolto questo inconveniente tramite un'adeguata programmazione del PLC analizzata nel Capitolo 3. Questa soluzione però non è la migliore possibile, perché impone la costante presenza di un operatore ed il suo intervento sul pannello di controllo per svolgere il tubo ogni 20 perni testati o poco più. Come già sottolineato nell'impianto di Tiberina Cassino si saldano circa 7500 perni di massa al giorno quindi l'operatore dovrebbe intervenire per svolgere il tubo all'incirca $\frac{7500}{20} = 375$ volte al giorno. Ovviamente questo valore tiene conto di tutti i perni di massa saldati su tutte le varie componenti della scocca, le quali sono realizzate su linee diverse di produzione e dunque sono seguite non da un solo operatore, ma da più. In realtà quindi gli interventi ipotizzati sono da dividersi tra più operatori, tuttavia resta sempre necessaria la continua sorveglianza dell'uomo sulla linea.

Per rendere la lavorazione più sicura e ridurre al minimo le attenzioni dell'uomo su di essa si possono installare due sensori. Ispirandosi infatti al controllo di presenza del perno attualmente installato sulla linea ed analizzato nel paragrafo 2.2 si può inserire un sensore di inizio ed uno di fine corsa anche nel prototipo creato, che apparirà perciò come segue:

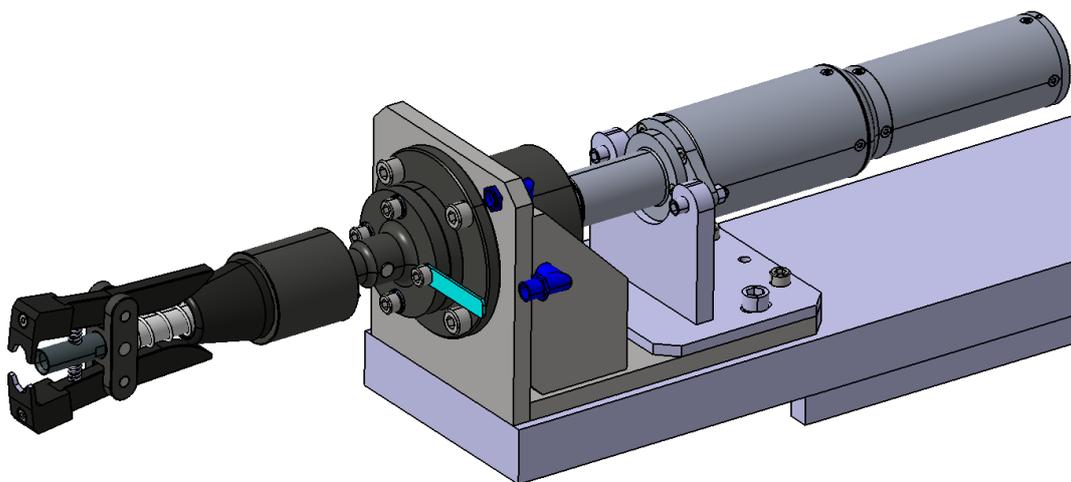


Figura 138: Prototipo con Piastrino e Sensore di inizio e fine corsa

In blu si evidenziano i sensori di inizio e fine corsa fissati rispettivamente nella Placca laterale ed in quella frontale. Questi vanno a leggere la presenza della Piastrina, un elemento metallico rappresentato in azzurro che si sostituisce alla rondella ed è solidale al gruppo Pinza.

L'idea è di far iniziare la prova di collaudo sempre con il Prototipo nella stessa posizione, ovvero solo se la Piastrina è davanti al Sensore di inizio corsa, mentre la si interrompe appena si riceve il segnale di coppia applicata correttamente oppure nell'istante in cui il Sensore di fine corsa legge la presenza della Piastrina metallica. Inizialmente la Piastrina è posta davanti al Sensore di inizio corsa e per passare davanti al Sensore di fine corsa deve ruotare di un angolo pari a 57° . In caso di perno di massa orientato diversamente rispetto alla forma delle Ganasce si era visto che la Pinza, dopo essersi chiusa, compiva una rotazione massima di 24° , perciò con un angolo di 57° non si corre il rischio di avere un segnale di fine corsa e dunque di errore dato dalla semplice rotazione di centraggio delle Ganasce.

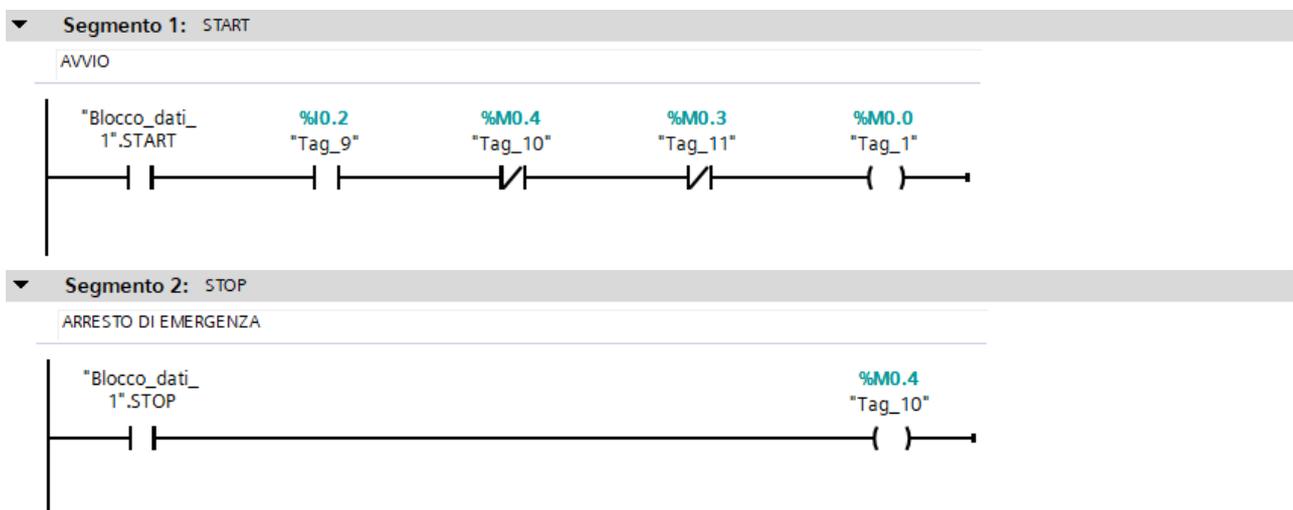
In questo modo viene meno la necessità di svolgere manualmente il tubo dell'aria, perché questo non si avvolgerà più intorno al Prototipo ogni tot perni validati. Infatti, sia se la coppia è stata applicata con successo sia se la prova di collaudo ha dato esito negativo si prevede di far ripartire la prova successiva solo a seguito di una rotazione in senso opposto a quella di avvitatura. Tale rotazione durerà fino a quando il Sensore di inizio corsa non vede nuovamente la presenza della Piastrina.

È necessario perciò adattare anche il programma PLC alle modifiche appena apportate al prototipo.

4.1.2 Modifiche al programma PLC

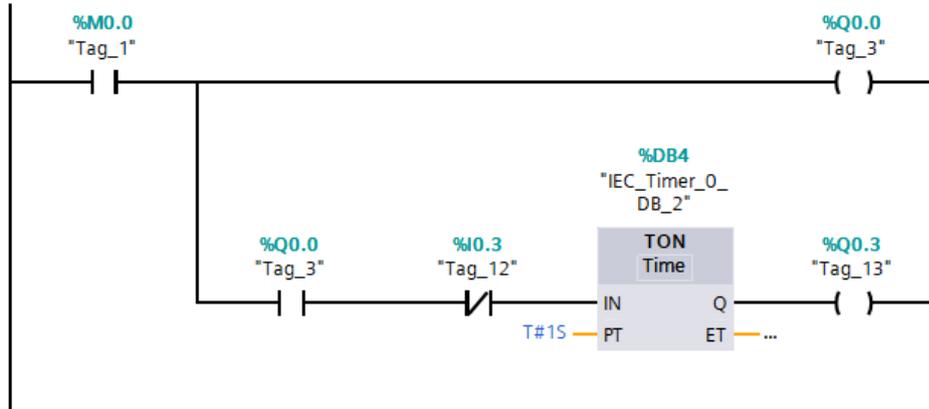
A seguito dell'introduzione dei Sensori si deve modificare anche il programma PLC. La prova infatti adesso deve partire solo se la Piastrina di metallo è davanti al Sensore di inizio corsa, se non c'è si deve svolgere la Pinza finché non si ha tale condizione. In caso di errore invece non si deve più aspettare il segnale di NOK dell'unità di controllo del motore elettrico, ma si deve interrompere la prova non appena il Sensore di fine corsa vede la presenza della Piastrina metallica. A quel punto si ferma il moto torsionale, si aprono le Ganasce e si fa ruotare la Pinza in senso antiorario finché la Piastrina non torna davanti al Sensore di inizio corsa.

Il nuovo programma dove si indicano con I0.2 il segnale di presenza della Piastrina davanti al Sensore di inizio corsa e con I0.3 quello del fine corsa:



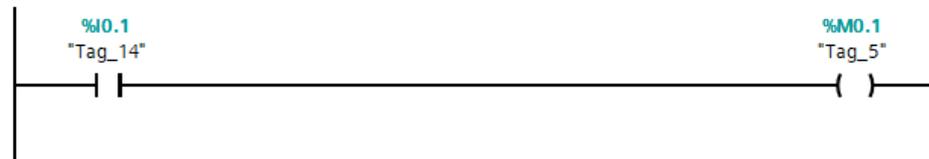
▼ **Segmento 3: SERRA LA PINZA E APPLICA LA COPPIA DI COLLAUDO**

Commento



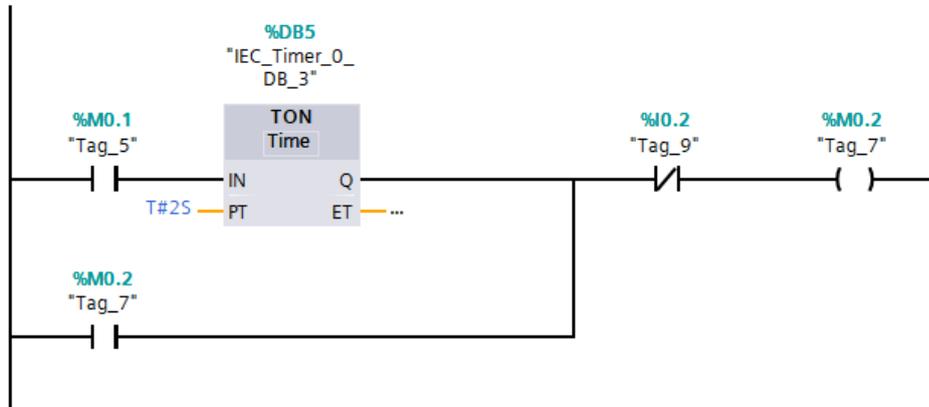
▼ **Segmento 4: RICEVI IL SEGNALE DI COPPIA OK**

Commento



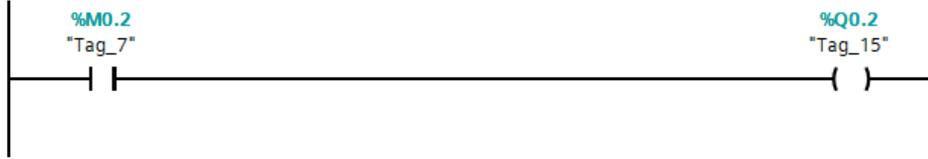
▼ **Segmento 5: ALLONTANA IL PEZZO COLLAUDATO**

Commento



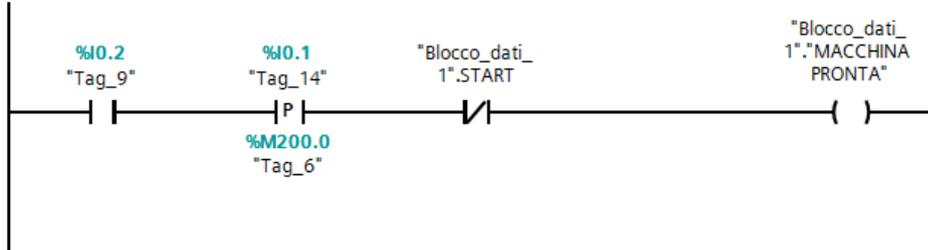
▼ **Segmento 6:** RITORNA ALLA POSIZIONE INIZIALE

Commento



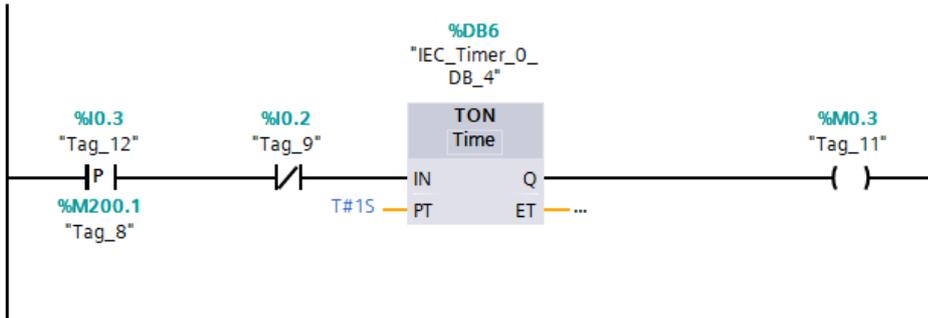
▼ **Segmento 7:** LAVORAZIONE CONCLUSA CON SUCCESSO

Commento



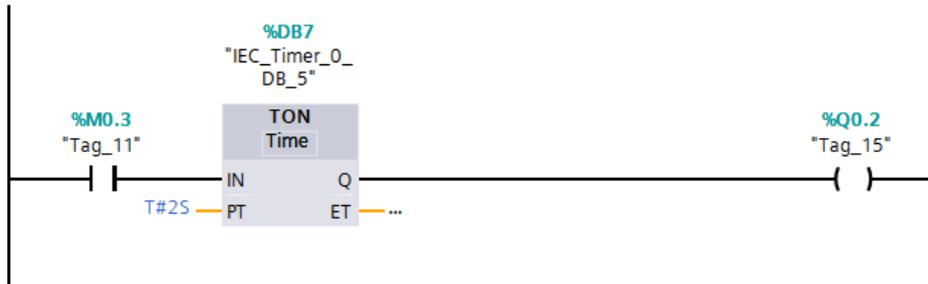
▼ **Segmento 8:** RICEVI IL SEGNALE DI COPPIA NOK

Commento



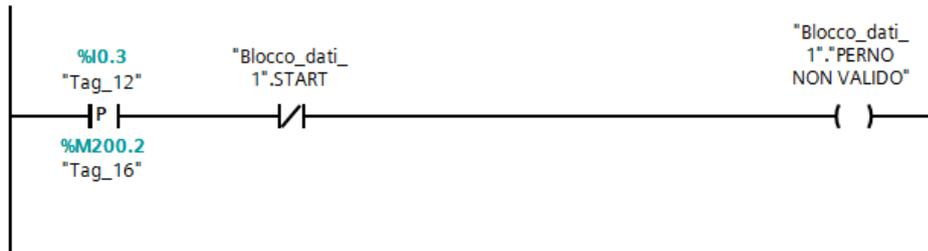
▼ **Segmento 9:** ALLONTANA IL PEZZO COLLAUDATO E TORNA IN POSIZIONE

Commento



▼ **Segmento 10:** LAVORAZIONE CONCLUSA, PERNO NON VALIDO

Commento



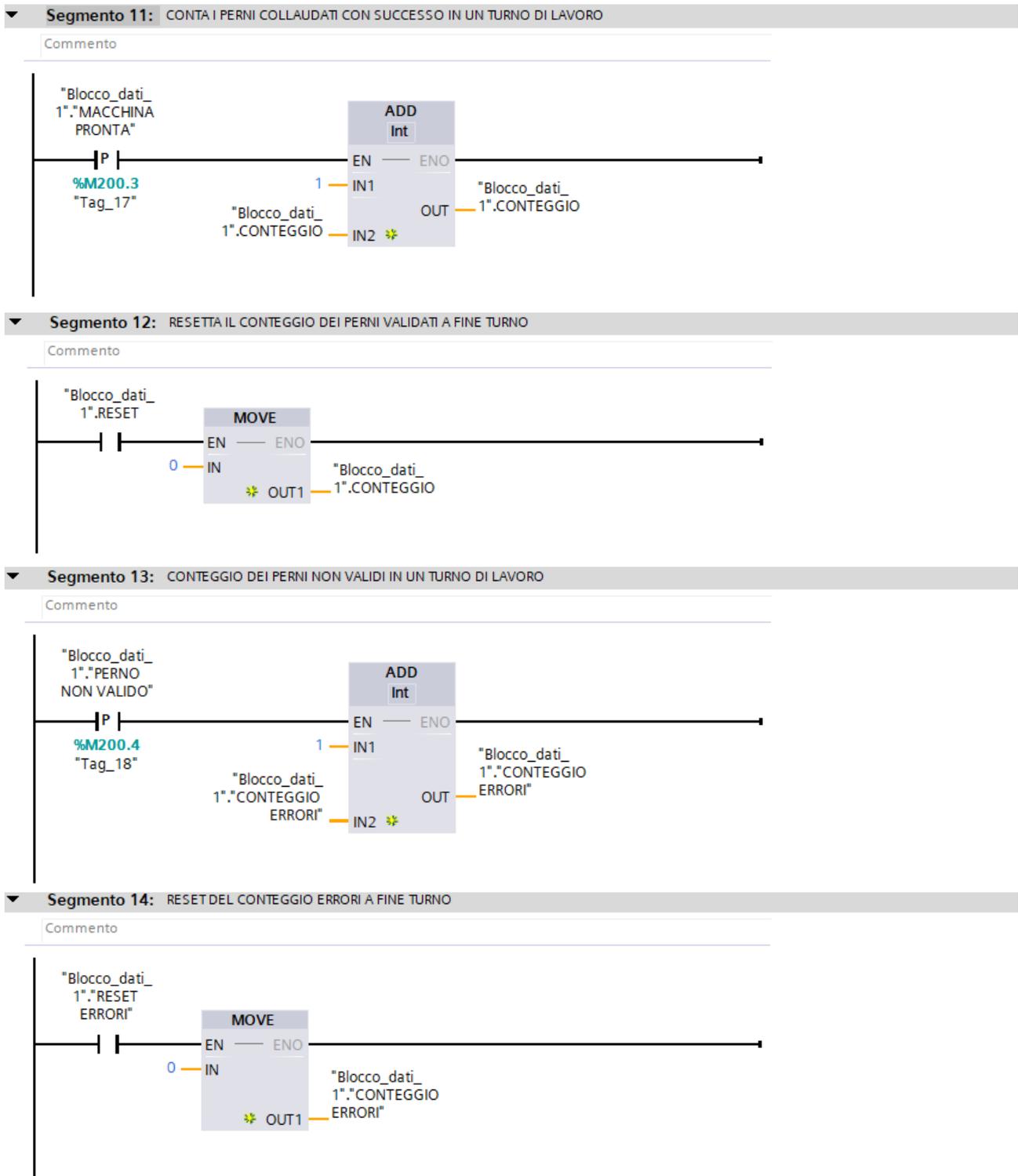


Figura 139: Programma PLC per il Prototipo coi Sensori di inizio e fine corsa

Rispetto al programma precedente il rung 1 si attiverà solo se avrà anche il consenso dal Sensore di inizio corsa IO.2, oltre che del tasto START. Un'altra sostanziale novità è presente nel segmento 5, che si attiva solo dopo aver sottoposto con successo il perno di massa alla coppia di collaudo. Da questo momento si lasciano trascorrere 2 secondi per poter sfilare il perno dalla Pinza dopodiché si dà il comando di svitare. Lo scopo è quello di far tornare il gruppo Pinza di nuovo nella posizione di partenza, dove il Sensore di inizio corsa rileverà la Piastrina e perciò aprirà il contatto relativo del rung 5, disattivando M0.2 e dunque interrompendo l'azione di svitatura. Si fa inoltre notare come sia necessaria l'autoritenuta perché non appena si dà l'ordine all'unità

di controllo del motore elettrico di compiere una rotazione in senso antiorario viene meno il segnale di OK I0.1 e dunque si spegne immediatamente M0.1. Sul display dell'interfaccia infine apparirà la comunicazione di MACCHINA PRONTA una volta che è presente il segnale di inizio corsa I0.2 e si è ricevuto l'impulso di coppia applicata correttamente. Come in precedenza questo avviso scomparirà dallo schermo non appena si torna a premere START. Differente è anche la procedura che si ha nel caso in cui il perno di massa non superi la prova di collaudo, ovvero nel caso di errore. Prima di tutto si fa notare come in questo programma il segnale di errore non sia più dato da I0.0 come nel caso precedente, ma sia segnalato da I0.3, cioè dal Sensore di fine corsa. Questo vuol dire che non si aspetta più il segnale di NOK dato dall'unità di controllo dell'avvitatore Kolver dopo che è trascorso un certo lasso di tempo (2.5 secondi) da quando si è applicata la coppia, ma si comunica che la prova di collaudo ha avuto un esito negativo non appena la Piastrina di metallo passa davanti al Sensore di fine corsa. Se infatti la Piastrina riesce ad arrivare lì davanti vuol dire che il gruppo Pinza ha compiuto una rotazione di 57°, perché ha staccato il perno di massa dalla lamiera ed ha iniziato a ruotare liberamente sotto l'input della coppia di collaudo data dal motore. Appena si riceve il segnale I0.3 allora si apre il contatto relativo del segmento 3 per interrompere il moto di avvitatura e dopo 1 secondo si eccita M0.3. Così si fa passare corrente nel rung 9 e trascorsi 2 secondi, utili anche qui per allontanare il pezzo testato, si dà il segnale di svitare per far tornare la Pinza nella posizione iniziale. Non appena la Piastrina torna ad essere davanti al Sensore di inizio corsa si apre il contatto I0.2 del rung 8, disattivando così M0.3 e dunque interrompendo il moto torsionale in senso antiorario. Anche in questo caso si comunica all'operatore tramite l'interfaccia che la prova di collaudo ha fallito tramite il segnale PERNO NON VALIDO del segmento 10.

Gli ultimi quattro rung servono infine per contare i perni collaudati con successo e quelli che invece non si sono rilevati idonei durante un turno di lavoro, al termine del quale si resetta il contatore manualmente premendo il tasto RESET dell'interfaccia.

Oltre al programma è stato ovviamente necessario redigere anche una nuova lista di variabili di controllo

Blocco_dati_1								
	Nome	Tipo di dati	Valore di avvio	A ritenzio...	Accessibile ...	Visibile in ..	Valore di i..	Commento
1	Static			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	STOP	Bool	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	START	Bool	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	MACCHINA PRONTA	Bool	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	RESET ERRORI	Bool	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	CONTEGGIO ERRORI	Int	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7	PERNO NON VALIDO	Bool	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8	CONTEGGIO	Int	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9	RESET	Bool	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Figura 140: Variabili di controllo

Con questa soluzione il tubo per l'aria non si avvolgerà mai intorno al prototipo e così l'operatore non dovrà mai intervenire, se non nei casi di perno non valido. I tempi di lavorazione previsti inoltre sono di circa 3 secondi nel caso in cui il perno sia stato saldato in maniera corretta e di 4 secondi se la prova di collaudo dà esito negativo. Una volta portato il perno in posizione infatti si chiudono immediatamente le Ganasce sull'ottagono e si applica la coppia dopo 1 secondo. A questo punto se la saldatura del perno regge la sollecitazione si aprono le Ganasce e contemporaneamente si interrompe il moto di avvitatura, si fanno passare 2 secondi per allontanare il pezzo, poi si ruota la Pinza in senso opposto per far tornare il Prototipo nella posizione iniziale e poter procedere con una nuova lavorazione. Se invece il perno si stacca dalla lamiera si fa passare 1 secondo da quando si interrompe l'avvitatura a quando si aprono le Ganasce per far cadere il perno di massa. Se infatti l'apertura delle Ganasce fosse contemporanea all'interruzione del moto rotatorio come prima l'inerzia della rotazione farebbe schizzare il perno di massa come un proiettile, quindi bisogna assicurarsi che prima di lasciar andare l'ottagono del perno la Pinza sia completamente ferma. Da questo momento poi si fanno trascorrere nuovamente 2 secondi per allontanare il pezzo prima di far tornare la Pinza nella posizione iniziale per poter iniziare un nuovo ciclo di lavoro.

Con questa modifica il prototipo è pronto per essere applicato sulla linea

4.2 Applicazione del prototipo sulla linea

Arrivati a questo punto il prototipo è pronto per essere testato all'interno di una vera cella di lavoro con delle componenti reali della scocca.

Le analisi si fanno sul perno saldato sul cruscotto del modello Stelvio di Alfa Romeo. Si sceglie questo e non un altro elemento, come ad esempio il longherone della portiera anteriore, perché è quello con maggiori problemi di ingombri, ovvero è il caso dove la forma del pezzo è la più critica per poter andare a saldare e collaudare il perno di massa. Si è perciò consapevoli che se il prototipo riuscisse ad arrivare senza difficoltà all'ottagono del perno allora non si avranno problemi nemmeno negli altri pezzi della scocca e dunque le sue dimensioni sono adeguate.

Le possibili organizzazioni della cella di lavoro sono di due tipi:

1. componente della scocca mobile e postazioni di lavoro fisse;
2. componente della scocca fisso e postazioni di lavoro mobili.

La scelta fra le due possibilità è dettata dalle operazioni necessarie e dai tempi di lavoro desiderati.

Si analizzeranno nel seguito entrambe le soluzioni tramite software CAD.

4.2.2 Cruscotto mobile e postazioni di lavoro fisse

La cella di lavoro robotizzata in questo caso vede le postazioni di lavoro montate su delle colonnine fisse sul pavimento, mentre il cruscotto è collegato ad un robot antropomorfo a sei assi.

Programmando il robot esso andrà a movimentare il cruscotto, portandolo in posizione per ogni lavorazione con la giusta orientazione. Una volta che il pezzo è in posizione si avvieranno le singole operazioni. I tempi di lavoro della cella allora sono dettati dai movimenti del robot.

In quest'ottica l'idea è quella di mettere la postazione con il prototipo per il controllo della coppia immediatamente dopo la saldatura del perno di massa, così da poter collaudare il 100% dei perni subito dopo averli saldati.

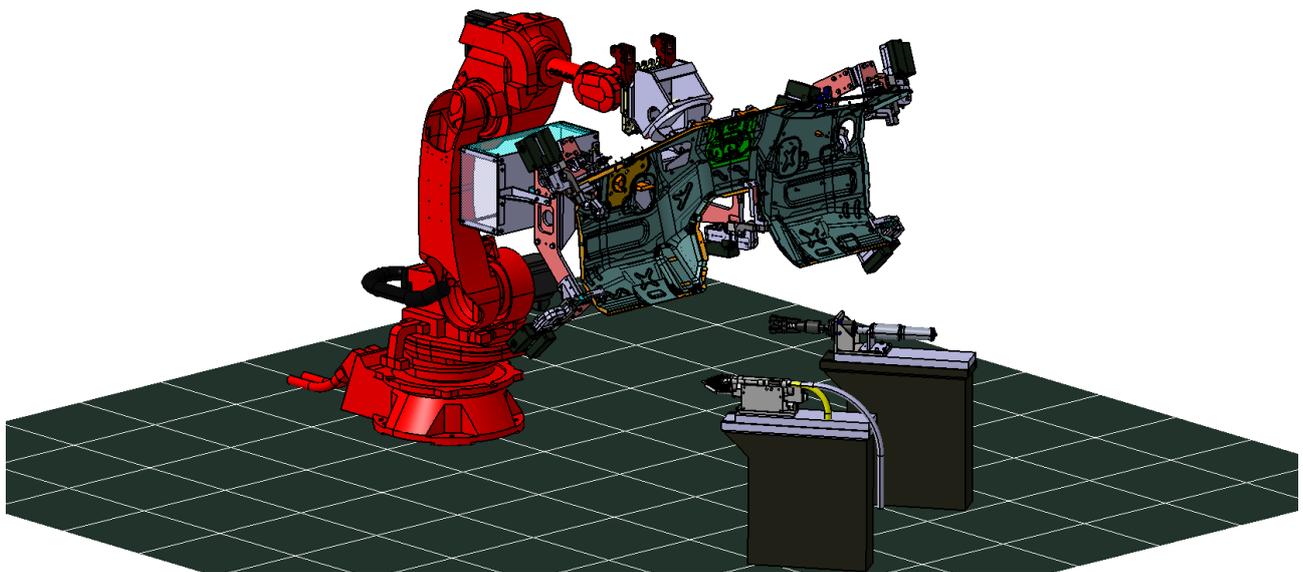


Figura 141: Cella di lavoro con Prototipo fisso

Capitolo 4 Applicazione industriale

Il cruscotto è tenuto dal robot tramite un apposito gripper, rappresentato in rosa in Figura, così si riesce ad asservire ogni postazione di lavoro portandoci il componente da lavorare.

Per evitare di tranciare il tubo dell'aria compressa durante il movimento del cruscotto si realizza un foro anche sulla Piastra laterale destra così da poterlo infilare all'interno e tenerlo al riparo finché possibile ed il più possibile aderente alla Pinza nel tratto finale.

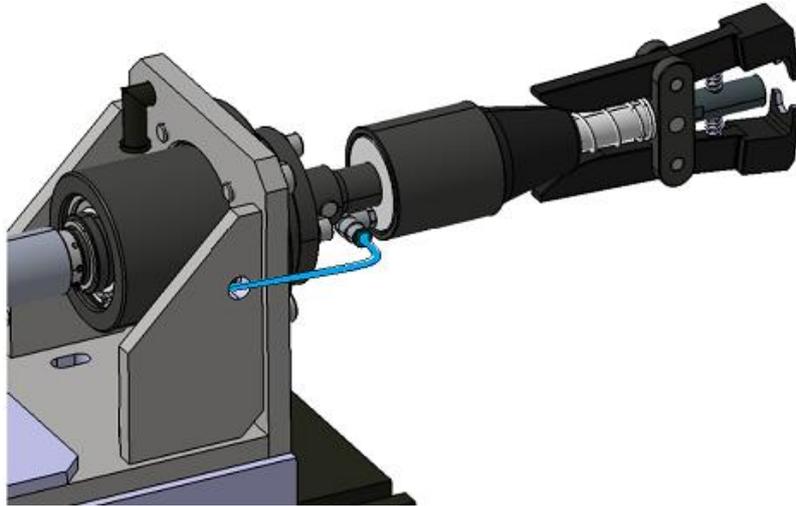


Figura 142: Foro per il tubo dell'aria compressa

La prima cosa da verificare è se le dimensioni del Prototipo realizzato sono adeguate e permettono di arrivare nella corretta posizione dove è stato saldato il perno di massa senza avere interferenze né con il gripper né col cruscotto.

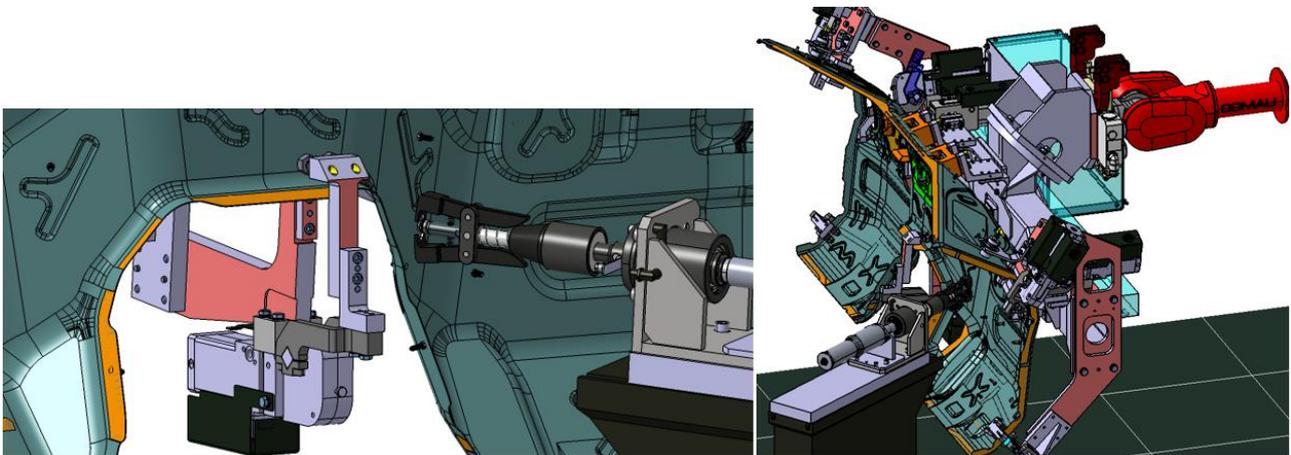


Figura 143: Dettagli dell'avvicinamento del cruscotto al prototipo

Come si può vedere le dimensioni della Pinza sono tali per cui si può agevolmente raggiungere la posizione desiderata senza problemi. Si fa inoltre notare come anche le due Ganasce riescono a serrarsi sull'ottagono senza andare ad interferire con nient'altro, così da non rigare la lamiera o danneggiare le mani del gripper.

Si constata così che non ci siano problemi di interferenza nel moto di avvicinamento del cruscotto alla zona di lavoro si può affermare che le dimensioni del prototipo realizzato sono sufficientemente piccole, non c'è bisogno di compattarlo ulteriormente.

Una volta portato il cruscotto in posizione davanti al prototipo si può passare a studiare la sequenza di lavoro per il collaudo del perno di massa.

Tramite il PLC della cella robotica si governerà il robot per arrivare a piazzare il pezzo alla giusta altezza e con l'orientamento adeguato con cui il perno di massa saldato sia esattamente davanti alla Bocca di centraggio del prototipo e coassiale con essa. Per far ciò si parte dalla posizione e dall'orientamento fissi e noti della Bocca. Portato il cruscotto in posizione si avrà un segnale di consenso che partirà dal robot e andrà ad attivare il programma del PLC per movimentare la Pinza. Questo programma sarà esattamente uguale a quello mostrato nel paragrafo 4.1.2 con la sola differenza che il blocco di controllo START è sostituito dal segnale del robot che indica che il pezzo è arrivato nella posizione desiderata. A questo punto avverrà il controllo automatizzato della coppia di collaudo in circa 3 secondi. Se l'esito è positivo si avrà il segnale di MACCHINE PRONTA che sarà trasmesso al PLC di controllo del robot, che dunque potrà procedere a sfilare il cruscotto per portarlo alla postazione di lavoro successiva. Se invece si ha un risultato negativo del test l'operatore sarà avvisato da un segnale di allarme PERNO NON VALIDO che apparirà sul display dell'interfaccia del PLC posto fuori dalla cella robotizzata. Anche il robot nel frattempo avrà ricevuto il segnale di errore ed allora interromperà le sue operazioni per poter permettere l'eliminazione del pezzo difettoso dalla linea.

4.2.2 Cruscotto fisso e postazioni di lavoro mobili

In questo secondo caso l'elemento della scocca è fissato al pavimento della cella di lavoro ed i robot movimentano i vari tool utili a realizzare le varie operazioni.

Ogni lavorazione avrà allora il proprio robot, i cui movimenti saranno adeguatamente programmati. Con questa soluzione allora sarà più facile svolgere diverse attività contemporaneamente, ma bisogna porre un'attenzione maggiore nella programmazione dei movimenti e dei tempi in cui avvengono per evitare di far collidere i robot tra di loro.

Si montano allora il prototipo e la saldatrice Tucker sul polso di due robot antropomorfi mediante delle piastre adeguate. Anche in questo caso si punta a controllare il 100% dei perni di massa saldati e perciò si posizionano i due robot in serie.

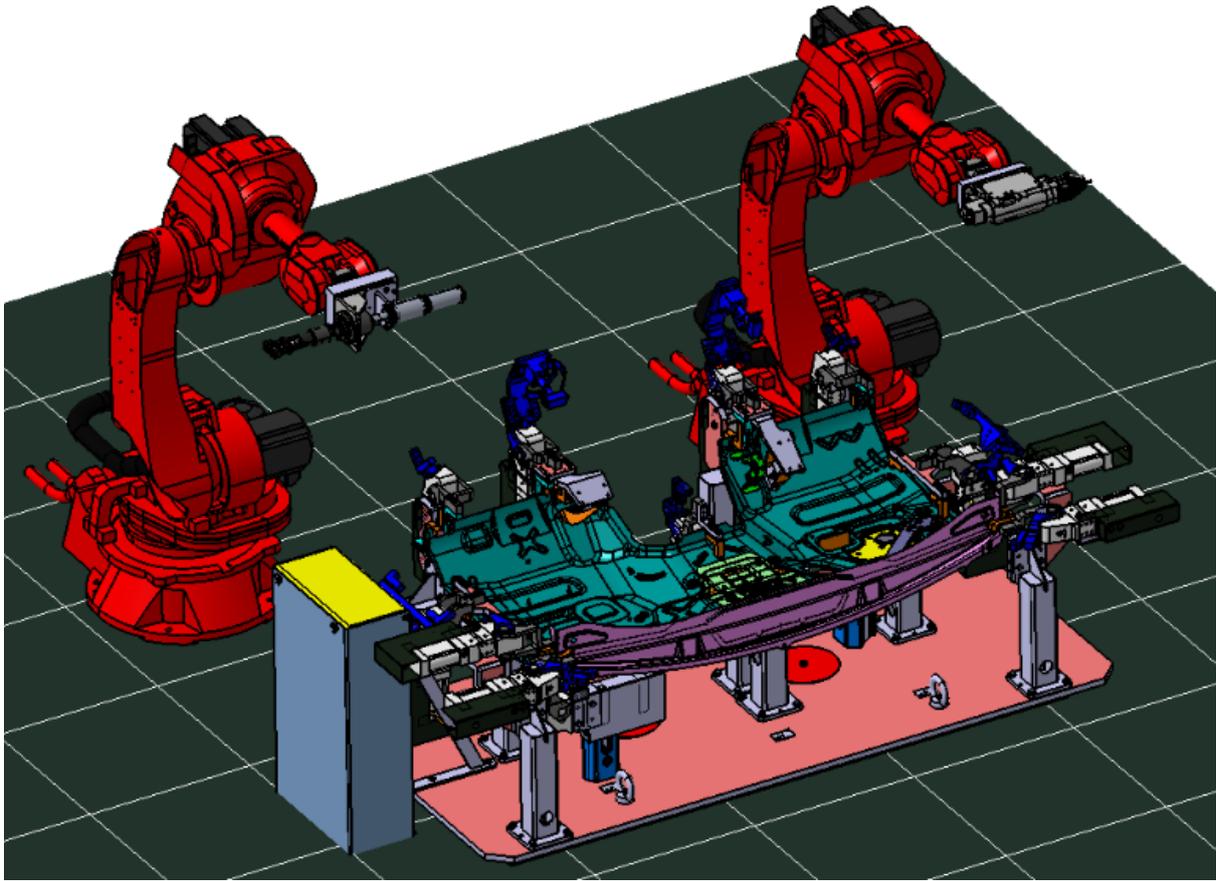


Figura 144: Cella di lavoro con Prototipo mobile

Come si può vedere si sceglie di posizionare il Prototipo in orizzontale sul polso del robot e non in verticale con la Pinza già rivolta verso il basso, così che durante la fase di riposo tra un collaudo e l'altro la Molla non sia sottoposta a nessuna sollecitazione.

Si fa notare che se il prototipo lavora in verticale con la Pinza verso il basso come in questo caso la Molla per far risalire il Cilindro ed il Cono dovrà vincere, oltre le altre forze analizzate in precedenza, anche il loro peso, pari a $(0.215 + 0.281) * g = 0.433 * 9.81 = 4.25 \text{ N}$. Questo tuttavia non è un problema perché come visto la molla una volta compressa si ha:

$$F'_{MAX} = 69.5\text{N} > \text{Peso} + P_{atm} * A = 4.25 + 20.4 = 24.65\text{N}$$

Il robot scelto è lo SMART NS 16-1,65 ARC, un manipolatore della Comau in grado di poter lavorare con una massa sul polso di 16 Kg, valore ben superiore alla somma dei 7 Kg del Prototipo più i 3 Kg del motore elettrico.

La sequenza di lavoro allora prevede prima di saldare il perno di massa, facendo abbassare il robot con la saldatrice sul cruscotto, poi in un secondo momento si procederà alla prova di collaudo.

In un primo momento si farà ruotare il polso del robot per posizionare la Pinza in verticale e con le Ganasce rivolte verso il cruscotto. Successivamente si azioneranno gli altri giunti del robot per far calar questo tool fino ad inserire il cappuccio del perno all'interno della Bocca di Centraggio. In questo caso per portare il robot nel punto corretto si sfrutta la posizione del perno di massa, che è fissa e nota poiché il cruscotto è fisso.

La Pinza del prototipo non ha problemi di interferenza come visto anche nel paragrafo precedente, mentre per quanto riguarda il robot a sei assi la capacità di movimento è così elevata da poter tranquillamente evitare ogni ostacolo proprio come già avviene per quello con la pistola saldatrice montata sul polso.

Una volta che il robot ha portato il prototipo nella posizione richiesta invierà un segnale di consenso al PLC che gestisce il prototipo. Tale ingresso sostituirà la funzione del blocco di controllo START del programma analizzato nel paragrafo 4.1.2 e perciò le operazioni per il collaudo potranno partire.

Anche in questo caso il tempo necessario a svolgere il collaudo è di circa 3 secondi, al termine dei quali si avrà un segnale di collaudo avvenuto con successo o meno. Nel primo caso il robot sfilerà la Pinza e si riporterà nella posizione iniziale di riposo ripercorrendo al contrario la stessa traiettoria di prima. In caso di collaudo fallito invece si comunicherà all'operatore, mediante un warning presente a schermo sull'interfaccia del PLC, che il perno non è valido ed il pezzo va scartato. Egli dunque potrà bloccare le lavorazioni della cella e procedere alla rimozione del componente.

4.3 Further work

1. Creare una nuova forma per le Ganasce così da poter realizzare tramite il Prototipo sia la prova di collaudo sia la prova di rottura. Come visto con l'attuale forma si riesce ad applicare solo la coppia di collaudo, perché per valori superiori si deforma l'ottagono del perno di massa
2. Organizzare una prova di rottura automatica ogni mese tramite un'adeguata programmazione al PLC e mostrare per ogni perno sottoposto a tale prova il valore della coppia di rottura riscontrato.
3. Provare il prototipo su altri componenti del body white, come per esempio il longherone laterale dove i sono più perni di massa da testare. In questo caso bisogna adattare il programma PLC per indicare quale perno di massa è stato collaudato con successo e quale, se ce ne sono, non ha superato il test.
4. Applicare realmente il prototipo sulla linea di lastratura e fare delle prove sui volumi di produzione necessari per verificare che con l'uso ripetuto non sorgano problematiche ulteriori.
5. Sostituire il sistema pneumatico utile a far serrare le Ganasce sul perno di massa con una soluzione od elettrica o meccanica così da migliorare la sicurezza dell'intero Prototipo.
6. Sostituire il motore elettrico attuale e la relativa unità di controllo con un servomotore in grado di misurare direttamente la coppia applicata e non la corrente assorbita, così da migliorare l'oggettività della prova.

4.4 Conclusioni

In questo lavoro di tesi si è sviluppato e seguito un intero progetto nella sua completezza all'interno della multinazionale Tiberina, nella sede centrale di Umbertide (PG).

La tesi è incentrata sul perno di massa, elemento presente in ogni scocca di ogni autovettura. In un primo momento dunque si sono raccolte informazioni sul perno di massa e sulle prove da realizzare per garantirne la conformità secondo la normativa FCA. La corretta applicazione di questo componente infatti è correlata alla sicurezza dei passeggeri del veicolo, perciò va adeguatamente controllata. Il perno di massa serve a portare a massa i vari circuiti elettrici dell'auto, esso viene saldato sulla scocca e vi si collegano i cavi elettrici dei vari circuiti. Una sua errata applicazione potrebbe portare all'arresto immediato del veicolo con conseguente rischio per i passeggeri, perciò è evidente la necessità di collaudarlo. La prova di collaudo consiste nel testare la corretta saldatura del perno applicandogli una coppia stabilita dalla norma FCA. Ad oggi tale verifica avviene in manuale, tramite un operatore che applica la coppia utilizzando una chiave dinamometrica. Così ovviamente non si possono collaudare tutti i perni di massa saldati su una scocca, ma ci si limita ad eseguire un controllo a campione. Siccome tali elementi sono classificati come classe funzionale 1, ovvero come elementi importanti per la sicurezza e la corretta funzionalità del veicolo andrebbero controllati tutti, per questo c'è la necessità di far diventare automatica la prova di collaudo, così da poter testare tutti i perni di massa saldati su tutte le scocche prodotte all'interno di Tiberina.

Una volta inquadrato il problema si sono pensate delle possibili soluzioni per poter applicare la coppia di collaudo in automatico. L'idea prevede di andare a serrare la base ottagonale del perno mediante due ganasce, che trasmettano poi al perno la coppia desiderata grazie ad un motore elettrico. La forma delle ganasce deve essere tale da permettere una presa salda sul pezzo, inoltre si prevede di controllare la loro apertura e chiusura mediante un accoppiamento di forma azionato da un sistema pneumatico. Questa idea è alla base del prototipo, che è stato quindi progettato mediante software cad nei minimi particolari.

La fase successiva è stata la realizzazione fisica di tale prototipo progettato al cad. A tal fine sono state usate le risorse messe a disposizione dall'attrezzatura di Tiberina. Le lavorazioni eseguite per ottenere i pezzi necessari sono state fatte al tornio, alla fresa, al taglio laser ed al trapano, inoltre per quelle operazioni più complesse si è fatto uso delle simulazioni cam per facilitare il lavoro e migliorarne i risultati. Si sono infine acquistati i componenti commerciali quali i cuscinetti, la minuteria e l'avvitatore elettrico usato per imprimere all'intero prototipo il moto torsionale desiderato.

A questo punto sono state assemblate le varie parti realizzate ed acquistate. Si è raggiunta così la possibilità di attuare i primi test di collaudo. La prima operazione fatta perciò è stata quella di tarare l'avvitatore elettrico, svolgendo delle prove ad hoc tramite l'uso di chiavi dinamometriche. Ottenuta una scala di taratura si sono fatte le prime prove di collaudo su dei perni di massa saldati su delle lamiere applicandogli la coppia di collaudo prescritta da normativa. Questo primo impiego pratico ha evidenziato alcune piccole problematiche, che sono state risolte con delle modifiche al progetto del prototipo. Risolti questi piccoli imprevisti si è pensato ad automatizzare mediante programma PLC l'intera procedura di collaudo della coppia, così da rendere completamente autosufficiente il prototipo e svincolarlo dall'azione dell'uomo. In questo modo si ha un sistema in grado di applicare la coppia di collaudo stabilita da normativa FCA, di rilevare l'esito positivo o negativo della prova e di comunicarlo all'operatore addetto alla cella di produzione. È stato inoltre aggiunto al programma PLC un sistema per contare quanti perni sono stati collaudati con successo, un comando per far ruotare in verso antiorario il prototipo così da poter svolgere il tubo dell'aria compressa del sistema pneumatico ed una pagina di informazione per comunicare all'operatore le istruzioni da seguire per ottenere un funzionamento corretto del sistema. Oltre all'attività di programmazione si sono creati i circuiti elettrici necessari per far comunicare il pannello di controllo con il PLC e con il prototipo.

Come ultimo step infine si è pensato ad una possibile implementazione del sistema creato all'interno di una cella robotizzata. A tal fine si è ipotizzata un'ulteriore modifica del prototipo per ridurre al minimo il rischio di incidenti e l'intervento dell'uomo, a cui è seguito un inevitabile adattamento del programma PLC alle nuove funzioni. La modifica consiste nell'aggiungere due sensori, uno di inizio corsa ed uno di fine corsa, per evitare problemi dati dall'avvolgimento del tubo dell'aria e per rendere l'intero processo di collaudo più rapido, così da poter mantenere i ritmi di lavoro imposti dalla linea di produzione.

Il passaggio successivo sarebbe quello di provare realmente ad inserire il prototipo creato all'interno di una linea di lastratura e fare delle prove sui volumi di produzione reali per verificare che con l'uso ripetuto non sorgano problematiche ulteriori.

Indice delle Figure

Figura 1: Elementi del perno di massa.....	1
Figura 2: Perno di massa.....	2
Figura 3: Componenti del perno.....	2
Figura 4: Base troncoconica.....	2
Figura 5: Perno di massa con dado sul cruscotto.....	4
Figura 6: Perni di massa con cappuccio nel longherone anteriore.....	4
Figura 7: Perni realmente saldati sul cruscotto o sul longherone.....	4
Figura 8: Applicazione del perno di massa.....	5
Figura 9: Aspetto finale perno saldato su lamiera più cavo elettrico.....	5
Figura 10: Collegamento di 2 circuiti elettrici allo stesso perno di massa.....	6
Figura 11: Vincoli di posizionamento del perno.....	6
Figura 12: Saldatrice fissa su colonnina o mobile montata sul polso robotico.....	7
Figura 13: Pistola saldatrice.....	7
Figura 14: Centralina e saldatrice Tucker dell'impianto di Tiberina Cassino.....	8
Figura 15: Perni stanziati nella centralina e tubo di plastica mediante il quale vengono inviati alla saldatrice.....	8
Figura 16: Dettaglio del perno nella pistola pronto per essere saldato.....	9
Figura 17: Macrografia saldatura del perno sulla lamiera.....	9
Figura 18: Perno saldato dalla pistola apposita.....	9
Figura 19: Chiave dinamometrica analogica.....	11
Figura 20: Chiave dinamometrica con coppia di applicazione preimpostata.....	11
Figura 21: Attacco per la chiave dinamometrica.....	12
Figura 22: Zona di attacco all'ottagono del perno di massa.....	12
Figura 23: Indicazioni di lavoro per l'operatore.....	12
Figura 24: Zona di attacco aperta.....	13
Figura 25: Zona di attacco chiusa.....	13
Figura 26: Prova di collaudo.....	14
Figura 27: Perno di massa di Tipo A.....	14
Figura 28: Prova di collaudo dei perni M8.....	15
Figura 29: Dettagli della chiave dinamometrica.....	15
Figura 30: Maggiori dimensioni della flangia rispetto all'ottagono.....	16
Figura 31: Dimensioni delle pistole saldatrice.....	17
Figura 32: Sistema di controllo automatico presenza pezzo.....	18
Figura 33: Sensori di inizio e fine corsa visti da davanti.....	19
Figura 34: Sensori di inizio e fine corsa visti da dietro.....	19
Figura 35: Sistema di controllo implementato nella catena di lastratura.....	20
Figura 36: Primo prototipo.....	21
Figura 37: Pinza del primo prototipo.....	21
Figura 38: Sezione pinza di primo prototipo.....	22
Figura 39: Attacco al supporto cuscinetti.....	23
Figura 40: Pistone centrale.....	23
Figura 41: Cilindro del gruppo Pinza.....	24
Figura 42: Flusso dell'aria compressa.....	24
Figura 43: Dettaglio della sezione.....	24
Figura 44: Guarnizione.....	25
Figura 45: Bronzina.....	25
Figura 46: Cono.....	25
Figura 47: Sezione del Cono.....	26
Figura 48: Forze in gioco.....	26
Figura 49: Blocco trasversale.....	27
Figura 50: Elementi delle Ganasce.....	28

Figura 51: Elemento della Ganascia	28
Figura 52: Elemento della Ganascia	28
Figura 53: Ganascia	29
Figura 54: Bocca di centraggio	29
Figura 55: Dettagli della Pinza	30
Figura 56: Esploso della Pinza	30
Figura 57: Montaggio in battuta del Cilindro sul Pistone	31
Figura 58: Fase del montaggio della Pinza	31
Figura 59: Gruppo pinza completo	31
Figura 60: Supporto cuscinetti	32
Figura 61: Sezione del Supporto cuscinetti	32
Figura 62: Corpo centrale	33
Figura 63: Sostegno	34
Figura 64: Involucro	34
Figura 65: Esploso Supporto cuscinetto	35
Figura 66: Gruppo Supporto cuscinetti realizzato e montato	35
Figura 67: Struttura elettrosaldata	36
Figura 68: Componenti della Piastra	36
Figura 69: Struttura elettrosaldata e Sostegno cuscinetti	37
Figura 70: Primo prototipo	38
Figura 71: Apertura scorretta delle Ganasce	39
Figura 72: Dimensioni notevoli del primo prototipo	39
Figura 73: A sx la presa ideale sull'ottagono a dx quella reale	40
Figura 74: Secondo prototipo	40
Figura 75: Soluzione con molla di richiamo sulla punta della Ganascia	41
Figura 76: Fissaggio perni per molla di richiamo trasversale	41
Figura 77: Interferenza durante il moto del Cono	42
Figura 78: Magneti posti sulle Ganasce	42
Figura 79: Spazio libero disponibile nella Bocca di centraggio	43
Figura 80: Soluzione con molla tra le Ganasce	43
Figura 81: Spessore della Ganascia	44
Figura 82: Foratura della Bocca di centraggio al trapano	44
Figura 83: Apertura asimmetrica dovuta a vincoli non perfetti	45
Figura 84: Soluzione rudimentale per simulare la parete fissa	45
Figura 85: Nuova Bocca di centraggio in assonometria ed in sezione	46
Figura 86: Involucro del Supporto cuscinetti montato al contrario	46
Figura 87: Nuova lunghezza del prototipo	47
Figura 88: Miglior bilanciamento del peso	47
Figura 89: Rondelle messe per evitare l'interferenza tra le viti e l'Involucro (elemento giallo)	48
Figura 90: Lavorazione al Torno	49
Figura 91: Fasi della lavorazione al tornio	49
Figura 92: Risultato delle lavorazioni	50
Figura 93: Lavorazioni per il foro M8	50
Figura 94: Assi perpendicolari dei fori e posizionamento in fresa	51
Figura 95: Risultato della lavorazione alla fresa	51
Figura 96: Simulazione della cinematica della lavorazione	53
Figura 97: Alcune fasi salienti della lavorazione	53
Figura 98: Lavorazione per elettroerosione a filo	54
Figura 99: Motore elettrico Pluto35Fn/CA	55
Figura 100: Modifica del Corpo centrale	56
Figura 101: Aggancio motore prototipo	56
Figura 102: Supporto motore	56
Figura 103: Supporto motore e motore assemblati	57

Figura 104: Elementi del Supporto motore	57
Figura 105: Supporto motore realizzato	58
Figura 106: Effetto della prima lavorazione.....	59
Figura 107: Perno del motore e foro esagonale nel Corpo centrale	59
Figura 108: Preparazione dell'elettrodo di rame	60
Figura 109: Elettrodo di rame e foratura per elettroerosione	60
Figura 110: Unità di controllo del motore elettrico.....	61
Figura 111: Schema del circuito elettrico	62
Figura 112: Valvola a 5 vie e 3 posizione	63
Figura 113: Primo Pannello di controllo	63
Figura 114: Grano con i dadi esagonali M6 per la prova di taratura	64
Figura 115: Usura delle Ganasce	65
Figura 116: Possibili orientamenti dell'ottagono del perno di massa saldato	66
Figura 117: Aggancio non corretto al perno con 8 punti di contatto	66
Figura 118: Dimensioni caratterizzanti	67
Figura 119: Nuova forma delle Ganasce.....	67
Figura 120: Chiusura delle Ganasce sull'ottagono.....	67
Figura 121: Rottura fragile a seguito dell'infragilimento da tempra	68
Figura 122: Spessore di materiale plastico	69
Figura 123: Spessore da 2 mm per il precarico della molla	70
Figura 124: Avvolgimento del tubo sul prototipo.....	70
Figura 125: Prototipo realizzato con pannello ed unità di controllo	72
Figura 126: Prova di collaudo attuale	73
Figura 127: Elementi del quadro elettrico	73
Figura 128: Valvola pneumatica monostabile con commutazione elettrica	74
Figura 129: Quadro elettrico	75
Figura 130: Blocchi di controllo	76
Figura 131: Programma del PLC.....	79
Figura 132: Schermata di HOME.....	82
Figura 133: Pagina di istruzioni	82
Figura 134: Segnalazione dell'esito della prova.....	83
Figura 135: Spia per svolgere il tubo dell'aria.....	83
Figura 136: Lamiera con 10 perni di massa saldati.....	84
Figura 137: Prova di collaudo	84
Figura 138: Prototipo con Piastrino e Sensore di inizio e fine corsa.....	85
Figura 139: Programma PLC per il Prototipo coi Sensori di inizio e fine corsa	89
Figura 140: Variabili di controllo.....	90
Figura 141: Cella di lavoro con Prototipo fisso	91
Figura 142: Foro per il tubo dell'aria compressa	92
Figura 143: Dettagli dell'avvicinamento del cruscotto al prototipo	92
Figura 144: Cella di lavoro con Prototipo mobile	94