

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Meccanica

Tesi di Laurea Magistrale

**Progettazione di un robot per la rimozione
automatizzata delle fecce del vino dai serbatoi enologici**



Relatore:

Prof. Daniela Misul

Candidato:

Giacomo Sergi

Anno Accademico 2019/2020

Sommario

La presente tesi si pone come obiettivo l'ideazione e la progettazione di un macchinario per la rimozione della feccia dai serbatoi enologici, per evitare l'accesso del personale di cantina in un luogo confinato che presenta caratteristiche di potenziale pericolosità e per ottimizzare, in termini di costo e tempo, la procedura di pulizia sopraccitata.

L'esperienza sperimentale si configura come tirocinio curriculare presso l'azienda "HTS enologia" di Marsala.

Dalla constatazione dell'assenza di una tale tecnologia sul panorama mondiale, e dalla consapevolezza della sua necessità per elevare il grado di sicurezza all'interno delle cantine, si è proceduto ad un'analisi delle tecnologie affini già presenti in diversi ambiti industriali per poi ideare una geometria e un sistema di funzionamento ritenuti i più adeguati ad assolvere gli obiettivi prefissati.

Tramite l'ausilio di software di disegno e progettazione 2D e 3D, e grazie al supporto tecnico ricevuto dal tutor aziendale, si è proceduto alla progettazione tutte le componenti del macchinario, alla scelta del sistema di trazione e di controllo, per poi procedere agli ordini di materie prime e componenti e allo sviluppo di un prototipo.

Nella *Figura 1* viene mostrato e anticipato il frutto del lavoro descritto all'interno della presente Tesi di Laurea:

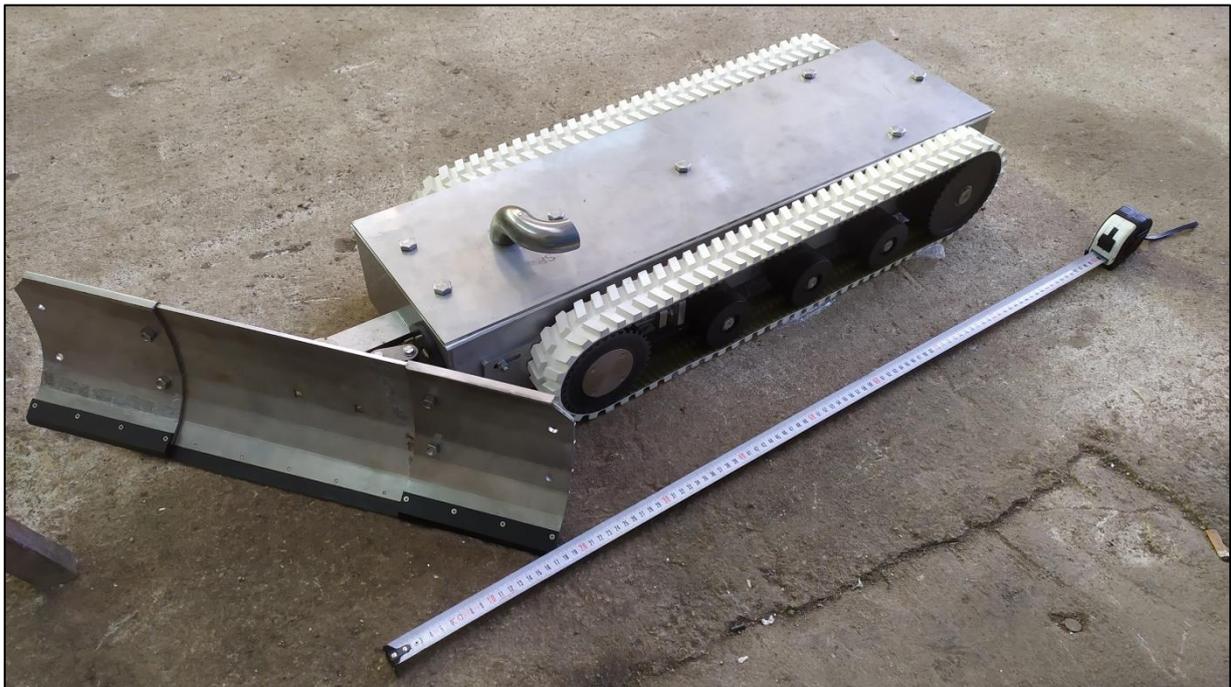


Figura 1 - Prototipo del robot assemblato

Indice

Sommario	2
1- Introduzione	4
2- Una premessa: Il processo di formazione della feccia	8
3- Fase di ricerca e valutazione.....	10
3.1- Ricerca preliminare	10
3.2- Fase di Brainstorming.....	12
3.3- Sviluppo del concept	14
3.4 – Calcolo del tempo di pulizia.....	15
4- Fase di progettazione	17
4.1 – Il sistema di trazione.....	18
4.1.1 – Motori.....	19
4.1.2 – Trasmissione	22
4.1.3 – Cinghie	25
4.2 - Pala	27
4.3 – Attuatore	29
4.4 – Chassis	31
4.4.1 - Coperchio	32
4.5 – Componenti meccaniche	34
4.5.1 – Albero trazione	34
4.5.2 – Puleggia motrice	35
4.5.3 – Puleggia condotta	37
4.5.4 – Slitta puleggia condotta.....	38
4.5.5 – Pulegge folli	40
4.5.6 – Supporto tenute attuatore	42
4.5.7 – Supporti motori	43
4.5.8 – Corona e pignone.....	45
4.5.9 – Sistema di supporti albero trazione.....	47
4.6 – Sistema di sollevamento.....	51
5- Saldatura e montaggio	52
6- Elettronica	55
6.1 – Quadro elettrico e consolle di comando	56
6.2 – Sistema di visione	57
Conclusioni	58
Bibliografia.....	60

1- Introduzione

Nella pratica enologica il “travaso” del vino riveste un’importanza fondamentale: questa tecnica consente di aumentare progressivamente la limpidezza del vino e di eliminare alcune sostanze che potrebbero alterare le sue proprietà organolettiche.

Dopo la fermentazione del vino, infatti, questo presenta in sospensione alcune sostanze solide, prevalentemente composte dalle cellule dei lieviti, residui di bucce e polpa dell'uva^[01] che, come detto, devono essere rimosse. La loro rimozione avviene facendo stazionare il vino in serbatoi di acciaio inossidabile per un intervallo di tempo che può arrivare ad alcune settimane, durante le quali queste sostanze si depositano, sotto l’azione della gravità, sul fondo dei serbatoi stessi. A questo punto il vino dovrà essere separato dalla fase solida depositata, e ciò avviene tramite il travaso in un secondo serbatoio. Questa operazione viene ripetuta per ottenere un vino limpido e stabile.

Una volta che la fase liquida viene eliminata dal primo serbatoio, questo presenterà sul fondo una sostanza semi-solida, che viene normalmente indicata come “feccia” e deriva dalla deposizione delle sostanze presenti in sospensione nel vino. Dopo il travaso è dunque necessario procedere alla rimozione di questa sostanza, innanzitutto per pulire il serbatoio, ma anche per raccogliere e stoccare la feccia stessa: questa, infatti, rappresenta un sottoprodotto che può essere venduto e/o utilizzato per la distillazione, per uso energetico o cosmetico, o come fertilizzante.^[02]

Tuttavia, la rimozione della feccia è un’operazione molto delicata e che, per sua natura, presenta grandi problematiche dal punto di vista tecnico e della sicurezza. Infatti attualmente la rimozione della feccia nei grandi serbatoi enologici, il cui diametro può superare i 10 metri, avviene per via manuale: uno o più operai accedono all’interno del serbatoio attraverso una portella predisposta, che presenta generalmente una forma ovale di dimensioni 40x30cm circa, e movimentata la feccia, tramite di un attrezzo apposito, verso il centro del serbatoio in cui è presente una depressione attraverso la quale la feccia viene aspirata per azione di una pompa, collocata esternamente.



Figura 2 - Un serbatoio enologico di capienza 5000 hl, con portella ovale standard

Dal punto di vista legislativo i serbatoi enologici ricadono a tutti gli effetti all’interno della definizione di spazi confinati o, in maniera più specifica, in quella di “ambienti sospetti di inquinamento”, come indicato

all'articolo 66 del D.lgs. 81/08 (ovvero il Testo unico per la salute e sicurezza sul lavoro) ^[03], che recita: “E' vietato consentire l'accesso dei lavoratori in [...] ambienti e recipienti, condutture, caldaie e simili, ove sia possibile il rilascio di gas deleteri, senza che sia stata previamente accertata l'assenza di pericolo per la vita e l'integrità fisica dei lavoratori medesimi, ovvero senza previo risanamento dell'atmosfera mediante ventilazione o altri mezzi idonei.”^[04]

Il rischio che si configura a seguito dell'ingresso dell'operatore all'interno di un serbatoio enologico deriva dalla potenziale presenza di alcuni gas quali l'anidride carbonica, che viene prodotta in ingenti quantità durante il processo fermentativo, da gas inerti, quali argon e azoto, che vengono immessi in alcune fasi della vinificazione, da anidride solforosa, additivo alimentare che riveste alcuni importanti ruoli nella processi enologici, e da alcol etilico, prodotto anch'esso durante la fermentazione^[03]. Nei primi due casi il rischio che ne consegue è quello dell'incorrenza dell'asfissia, ovvero l'“impedimento più o meno grave, talora mortale, della respirazione, che può verificarsi, in forma acuta o cronica, per alterata composizione dell'aria”^[05]; in altre parole, l'elevata concentrazione nell'aria di CO₂ o di gas inerti, riduce quella di ossigeno a livelli che possono risultare insostenibili per l'organismo umano, come esemplificativamente illustrato nella *Figura 3*:

Relazione tra la percentuale di ossigeno nell'aria inspirata e sintomatologia	
% di ossigeno nell'aria inspirata (volume O ₂ /volume totale)	Effetti/sintomi
Circa 21	Normale concentrazione di ossigeno nell'aria ambiente
19,5	Minimo livello accettabile
19,5-16	Difficoltà respiratorie, perdita di controllo della motricità, diminuzione capacità lavorativa
16-12	Aumento respirazione, affaticamento, perdita capacità valutative
12-8	Perdita di coscienza, nausea e vomito, cianosi
8-6	Permanenza di 4-5 minuti: possibilità di recupero
8-6	Permanenza di 6 minuti: al 50% fatale
8-6	Permanenza di 8 minuti: al 100% fatale
< 6	Coma in pochi secondi, morte

Figura 3 Relazione tra la percentuale di ossigeno nell'aria inspirata e sintomatologia, “Andamento degli infortuni sul lavoro e delle malattie professionali” INAIL, 2019^[06]

Anidride solforosa e alcol etilico possono invece provocare irritazioni e avvelenamento.

Come visto in precedenza, la normativa in vigore richiede chiaramente che, prima di permettere l'accesso dell'operatore in un ambiente sospetto di inquinamento, è necessario predisporre il necessario ricircolo d'aria e, soprattutto, essere certi che questo abbia dato i risultati aspettati, in termini di ristabilimento della concentrazione di ossigeno tale da non compromettere la sicurezza dell'operatore stesso.

Seppure la prassi da seguire per la riduzione del rischio sia abbastanza chiara, gli infortuni mortali avvenuti in circostanze collegabili all'ingresso in ambienti confinati sono numerosi e di incidenza costante. In una disamina divulgata dall'Inail nel 2017^[07], in cui vengono analizzati gli incidenti collegati, appunto, ad ambienti confinati e a rischio inquinamento nell'arco temporale 2002/2014 in Italia, sono stati rilevati 69 eventi fatali, che hanno provocato un totale di 90 decessi.

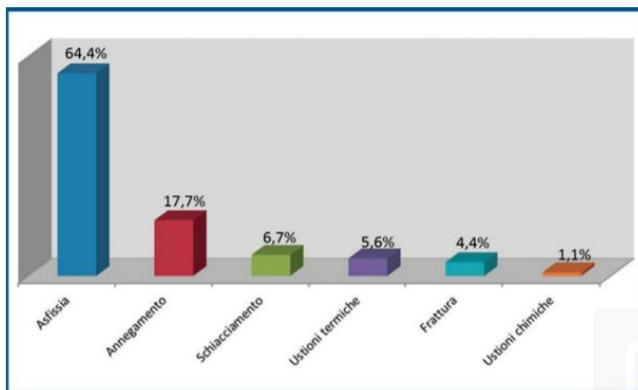


Figura 4 Distribuzione degli infortunati per natura delle lesioni

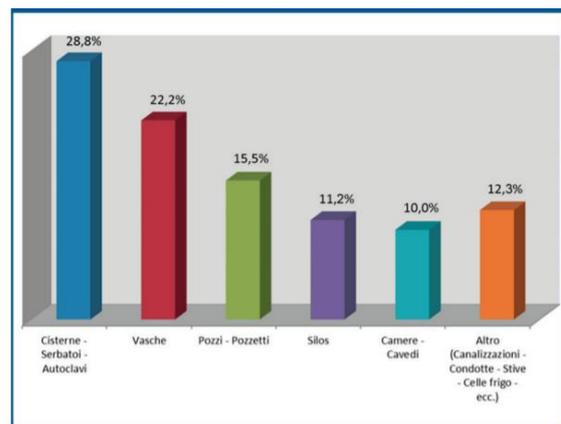


Figura 5 per tipologia di ambiente confinato

Di questi, il 64,4% sono stati causati dall'asfissia della vittima (Figura 4), e il 28,8% sono avvenuti in cisterne, serbatoi ed autoclavi (Figura 5).

Per comprendere l'entità del problema anche a livello internazionale, in un'analisi statistica dell'OHS (Occupational Safety and Health Administration) condotta sui dati raccolti negli USA tra il 2011 e il 2018 si contano 1030 incidenti fatali collegati a spazi confinati, di cui il 25% dovuti all'esposizione a sostanze o ambienti nocivi.^[08]

Non sono disponibili statistiche specifiche per il settore enologico, tuttavia le cronache locali e nazionali riportano numerosi incidenti, anche mortali, collegati alla pulizia dei serbatoi enologici. A titolo puramente esemplificativo si elencano di seguito una serie di eventi fatali avvenuti negli ultimi anni:

- Nel 2019 un 25enne dell'Astigiano rimane vittima in un incidente sul lavoro durante la pulizia di un serbatoio enologico^[09];
- Nel 2017 in provincia di Treviso un operaio perde i sensi, a seguito di esalazioni di gas nocivi, cadendo all'interno di un serbatoio di vinificazione; muore per asfissia e per i traumi riportati^[10];
- Nel 2012 a Marsala muore un operaio mentre ripuliva un silos di acciaio senza rispettare le dovute norme di sicurezza^[11];
- Nel 2009 in una cantina del Trevigiano due operai rimangono intossicati durante la procedura di rimozione della feccia da un silos, ed un terzo rischia l'intossicazione nel tentativo di trarli in salvo^[12];
- Nel 2003 in una cantina di Campobello di Mazara muoiono tre operai, a seguito di esalazioni di gas nocivi, nel tentativo di entrare in un silos per effettuare delle operazioni di pulizia senza indossare alcuna protezione di sicurezza^[13];
- Nel 1998 in una cantina del Marsalese un operaio perde la vita durante la pulizia di un grande serbatoio, che era stato appena svuotato del prodotto della recente vendemmia^[13].

Questi sono solamente alcuni dei fatti di cronaca noti, in quanto riguardanti eventi fatali o intossicazioni molto gravi, tuttavia è indubbio che eventi di intossicazione "lieve" avvengano molto più di frequente in contesti di cantina, restando però ignoti alla cronaca.

Alla luce di quanto detto minimizzare l'accesso del personale di cantina all'interno dei serbatoi enologici può, dunque, significare salvare delle vite umane o, comunque, incrementare gli standard di sicurezza sul lavoro in azienda, diminuendo il livello di rischio collegato alle attività di pulizia e manutenzione.

È questa la prima ragione che ha motivato l'inizio di un percorso di discussioni, analisi e ricerche, che si è posto come ambizioso obiettivo quello di immettere nel mercato un macchinario in grado di automatizzare il processo di rimozione della cosiddetta "feccia" dai serbatoi enologici, elevando, così, i livelli di automazione in un settore, quello enologico, che sta iniziando a muovere i primi passi in questo verso solamente da pochi anni.

È indubbio che le potenzialità di tale attrezzatura possano andare ben oltre la diminuzione dei livelli di rischio collegati all'esposizione ad ambienti inquinati: automatizzare un processo manuale e delicato come quello della rimozione della feccia dai serbatoi enologici, che per sua natura e per l'ambiente in cui viene svolto risulta avere tempistiche molto lunghe, potrebbe portare un notevole incremento di efficacia e di efficienza, migliorando la qualità del risultato finale e, soprattutto, garantendo un potenziale risparmio in termini di manodopera. Il processo in questione, infatti, quando svolto manualmente, può richiedere fino ad un paio d'ore per essere portato a compimento (per i serbatoi di maggiori dimensioni). E, considerando che il travaso del vino e la conseguente rimozione della feccia depositata deve essere ripetuto diverse volte per ogni ciclo di vinificazione, e che debba essere ripetuto per tutti i serbatoi presenti in cantina, per un'azienda di medie/grandi dimensioni l'acquisto di un macchinario per la pulizia automatizzata può rappresentare una scelta intelligente.

Riassumendo, i fini ultimi che hanno portato ad intraprendere questo progetto sono i seguenti:

- In primis la sicurezza sul lavoro: limitare l'accesso del personale in ambienti confinati, con la certezza di poter contribuire alla diminuzione del numero di incidenti fatali all'interno delle cantine.
- Diminuire i costi e gli sforzi relativi all'adempimento delle procedure di sicurezza, nonché i costi relativi all'uso e reperimento dei dispositivi di protezione e prevenzione, necessari per l'accesso di personale all'interno dei luoghi confinati.
- Porre il datore di lavoro in una posizione più sicura, eliminando una delle situazioni di pericolo più incombenti in cantina, semplificando la gestione dei rischi e minimizzando le probabilità che si verifichi una possibile fatalità, evento potenzialmente molto destabilizzante per un'azienda, dal punto di vista legale ed economico;
- Proporre alla cantina un macchinario che possa incrementare i livelli di automazione, anche in un'ottica di Industria 4.0, per minimizzare i tempi di fermo dei serbatoi e diminuire i costi di manodopera;
- Gestire in maniera più efficace il processo di rimozione della feccia, garantendo un lavoro più accurato e minimizzando gli scarti.

2- Una premessa: Il processo di formazione della feccia

Come già illustrato in precedenza, la feccia rappresenta un sottoprodotto del processo di vinificazione, ed è generalmente composta da cellule morte di lieviti e dai residui delle vinacce.

Per una descrizione più completa risulta necessario distinguere tra la vinificazione in bianco e quella in rosso poiché, a causa delle differenze in termini di processo, danno vita a due tipi di feccia differenti.

- **Vinificazione in bianco:**

Nel processo di vinificazione dei vini bianchi, dopo la raccolta e il conferimento dell'uva, viene effettuata la pigiadiraspatura, che consiste nell'eliminazione dei raspi e nella successiva spremitura degli acini^[15]; A questo punto si procede con la sgrondatura, ovvero la separazione del mosto, la fase liquida, dalla vinaccia, la fase solida composta da bucce e vinaccioli (semi).

Successivamente il mosto viene inoculato con dei lieviti che si nutrono e si moltiplicano permettendo la fermentazione del vino (ovvero la fase in cui lo zucchero viene trasformato in alcol etilico e anidride carbonica).

È necessario, nella vinificazione in bianco, che il mosto sia separato dalle bucce prima della fermentazione, poiché sono proprio le bucce a contenere i pigmenti che danno colore al vino rosso, in quanto la polpa, sia nell'uva rossa che in quella bianca, presenta sempre lo stesso colore (bianco).^[16] Eliminando, dunque, le bucce prima della fermentazione, si eviterà la cessione dei pigmenti verso il mosto.

A fermentazione conclusa tutto lo zucchero contenuto nel mosto sarà stato convertito, per mezzo dei lieviti, in alcol etilico; dunque, a questo punto tutte le cellule di lievito saranno morte e andranno a depositarsi, sottoforma di feccia, sul fondo del serbatoio.

Questa feccia viene definita "fine" o "nobile", in quanto deriva da cellule di lievito e presenta una granulatura molto fine.

- **Vinificazione in rosso:**

La differenza sostanziale rispetto alla vinificazione in bianco risiede, come detto, nell'assenza della fase di separazione tra mosto e vinacce prima della fermentazione. Il mosto viene infatti fatto macerare con le vinacce per permettere l'estrazione del colore e delle sostanze polifenoliche.

Durante la fase di macerazione le vinacce, spinte verso l'alto dalle bolle di CO₂ prodotte nel corso della fermentazione, formano il cosiddetto cappello di vinaccia; questo viene generalmente sempre tenuto bagnato e rimescolato prelevando mosto dal fondo del serbatoio e versandolo sul cappello stesso. Questa operazione favorisce la disgregazione della vinaccia, che depositerà successivamente sottoforma di feccia.

La feccia prodotta in questa situazione è definita "grossolana", in quanto deriva dai residui di vinaccia e può presentare particelle molto grossolane.

Nel caso della vinificazione in bianco è necessario effettuare almeno un travaso, in quanto l'unica feccia presente è quella fine, mentre nella vinificazione in rosso sono necessari almeno due travasi: nel primo viene rimossa la feccia grossolana, nel secondo quella fine.

Altri travasi possono essere effettuati nelle fasi che precedono l'imbottigliamento, ma in questi casi la quantità di feccia depositata risulta essere esigua.

Per avere un quadro più chiaro della situazione, possiamo approssimativamente assumere che la feccia depositatasi sul fondo dei serbatoi enologici, al termine della fase di fermentazione, rappresenta una percentuale compresa tra il 2 e il 4 % in volume rispetto alla quantità di mosto in fermentazione. Ad esempio, per un serbatoio di 5000 hl, ciò si traduce in una quantità di feccia da asportare tra i 100 e 200 quintali. Da qui si rende manifesta l'importanza di un sistema di rimozione rapido e sicuro; Si tenga in considerazione che una cantina di grandi dimensioni può, in una stagione, riempire e travasare circa 5 o 6 serbatoi di tali dimensioni, di conseguenza la quantità totale di feccia da dover rimuovere diventa un numero molto rilevante.

3- Fase di ricerca e valutazione

3.1- Ricerca preliminare

Le prime settimane di lavoro si sono incentrate sui seguenti punti:

1. **Studio e comprensione approfondita del processo di rimozione della feccia:**

Si tratta di un passaggio chiave, che è stato essenziale per poter di inserire il lavoro di progettazione in un contesto ben chiaro e definito.

Risultava infatti necessario comprendere in maniera più completa possibile quale fosse, innanzitutto, la consistenza del materiale che si sarebbe dovuto asportare: questa variabile avrebbe infatti permesso di escludere alcune possibili soluzioni tecnologiche che sarebbero potute essere idonee a livello teorico.

Era inoltre necessario venire a conoscenza delle procedure con le quali questo processo viene svolto attualmente nelle normali consuetudini di cantina, allo scopo di analizzarne i difetti e soprattutto i pregi.

A questo scopo sono state consultate le figure aziendali con esperienza di lavoro in cantina, che hanno dato un contributo importante al futuro lavoro di valutazione sulla soluzione migliore da adottare.

2. **Ricerca di possibili soluzioni già esistenti**

Un passo necessario è stato quello di accertarsi, innanzitutto, che non esistessero brevetti o prodotti già immessi nel mercato, che svolgessero la funzione di nostro interesse.

A questo scopo sono state consultate le personalità aziendali con una visione globale del settore enologico, ed è stata compiuta una ricerca sui principali motori di ricerca, compresi "Google Scholar" e "Patent Scope".

Si è giunti alla conclusione che, seppure esistano alcuni brevetti riguardo sistemi di pulizia dei serbatoi enologici, nessuno possedeva caratteristiche simili alla nostra idea, e, soprattutto, nessuna azienda aveva mai provato ad immettere nel mercato un prodotto di simili caratteristiche.

3. **Ricerca di tecnologie affini in altri ambiti industriali**

Seppure è stato riscontrato che non esistano, in ambito enologico, tecnologie simili a quella oggetto di analisi, è stato deciso di ampliare la ricerca a tutti gli altri ambiti industriali.

L'ingresso in spazi confinati in cui vi sia la presenza di gas potenzialmente pericolosi, per scopi di pulizia o di manutenzione, è pratica usuale in diversi settori.

Per questa ragione si è ritenuto utile svolgere una ricerca accurata sulle soluzioni adottate negli altri settori del Food & Beverage, del water treatment, e del petrolchimico.

Proprio quest'ultimo settore ha potuto fornire alcuni interessanti spunti: La pulizia delle cisterne di stoccaggio del petrolio risulta, come è facile intuire, estremamente complicata e pericolosa; per questa ragione, l'automazione è da molto tempo entrata in quest'ambito industriale.

Ovviamente la tipologia di materiale rimosso, le dimensioni in gioco e i vincoli progettuali da considerare, rendono il processo di rimozione e pulizia in campo petrolchimico totalmente differente da quello preso in oggetto in questa tesi;

Nonostante ciò, la sua analisi è risultata preziosa per raccogliere alcuni importanti spunti.



Figura 6 - Robot utilizzato per la pulizia dei serbatoi del settore petrolchimico

Al termine di questa importante fase preliminare, avendo ben definito le caratteristiche del processo da analizzare, avendo raccolto importanti spunti ed elementi da poter adottare nel prodotto finale, ed avendo preso in considerazione il parere di tutte le figure professionali che potessero fornire un importante contributo, è stato possibile avere chiare le premesse, gli obiettivi prefissati, le problematiche da superare, e i vincoli da rispettare.

Di seguito vengo elencati i tratti salienti fin qui valutati:

- L'obiettivo posto è la produzione di un sistema/macchinario per rimuovere la feccia dai serbatoi enologici;
- È strettamente necessario che questo sistema non si avvalga della presenza di personale all'interno del serbatoio;
- Il processo di pulizia che ne risulta deve essere tale da garantire un risparmio in termini di manodopera;
- Il prezzo di mercato del prodotto finito deve risultare vantaggioso per cantine di medie/grandi dimensioni;
- Per questioni di sicurezza, dovute alla costante immersione in un fluido e alla presenza di parti in acciaio, è necessario che il sistema sia alimentato da corrente a bassa tensione e che, in ogni caso, tutte le componenti siano adeguatamente schermate;
- Tutti i materiali da utilizzati devono possedere caratteristiche di idoneità al contatto con alimenti;
- L'ingombro frontale del macchinario deve essere tale da consentire il suo inserimento attraverso la portella ovale standard predisposta nella maggior parte dei serbatoi in commercio;
- È necessario evitare, o limitare al minimo, l'apporto di acqua durante il processo di rimozione, per non alterare le caratteristiche della feccia;
- Le procedure di installazione e di movimentazione del macchinario da un serbatoio all'altro devono essere sufficientemente rapide e tali da essere svolte dal personale di cantina, senza esigenze particolari;
- Il prodotto finale deve essere versatile, ovvero presentare una struttura ed un processo di pulizia che possa adattarsi, con il minor numero di modifiche possibili, alla grande vastità di tipologie di serbatoi presenti nel mercato internazionale;
- Il macchinario dovrà essere completamente isolato dall'esterno, per evitare infiltrazioni di fluido al suo interno.

3.2- Fase di Brainstorming

Avendo chiarito le premesse, gli obiettivi e i vincoli del progetto, si è potuto iniziare a mettere in atto una delle fasi più importanti, quella del brainstorming, ovvero una discussione per proporre delle idee e generare un primo design del prodotto finale.

Infatti, una volta fissati gli obiettivi, si è dovuto procedere alla ricerca del mezzo più efficace per raggiungerli.

In questa fase sono state essenzialmente tre le idee che sono state proposte e tenute in considerazione:

1. Rimozione della feccia per convogliamento meccanico:

Come già descritto in precedenza, il processo in oggetto viene normalmente svolto con l'ausilio di attrezzi manuali dotati di una pala, usata per "spingere" e convogliare il materiale verso il centro del serbatoio, in cui è presente un punto di aspirazione.

È stato logico pensare che questo potesse essere il miglior punto di partenza, dato che si tratta di una pratica consolidata e assodata.

Per questa ragione una delle prime idee tenute in considerazione è stata quella di un macchinario che potesse agire all'interno del serbatoio movimentando la feccia verso il punto di aspirazione.

Il macchinario sarebbe, dunque, dovuto essere dotato di una pala per assolvere a questo scopo.

Relativamente a questa modalità di pulizia, sono stati proposti due diversi design:

1.1. Sistema di pulizia a struttura "fissa": un sistema fisso, telescopico, composto da profilati in acciaio da installare sulla portella e che si sviluppi all'interno del serbatoio; in corrispondenza del centro del serbatoio uno snodo permetterebbe a un braccio telescopico di ruotare. La pala, in questo caso, sarà posta all'estremo del braccio e potrà raggiungere ogni punto della base del serbatoio e muoversi alternativamente dalla periferia verso il centro, movimentando la feccia.

1.2. Sistema di pulizia mobile: un vero e proprio "robot", dotato di un adeguato sistema di trazione e di una pala, che può muoversi all'interno del serbatoio seguendo delle traiettorie ottimizzate allo scopo di far confluire la feccia verso l'aspirazione.

2. Rimozione della feccia per aspirazione

In questo caso il macchinario si dovrebbe dislocare su tutta la base del serbatoio per aspirare la feccia e convogliarla, tramite un tubo di diametro adeguato, verso l'esterno del serbatoio.

In questo caso il robot avrebbe dovuto presentare, sul lato frontale, una struttura in lamiera che avesse lo scopo di accogliere e far confluire il materiale verso l'imbocco del tubo di aspirazione, collocato al di sotto del "robot".

Per quanto riguarda il sistema 2 sono state riscontrate alcune problematiche che la hanno resa inattuabile. Infatti, considerando un raggio massimo del serbatoio di 6 metri, il tubo tramite il quale la feccia viene aspirata avrà una lunghezza massima di 12 metri; considerando un diametro minimo del tubo di aspirazione di 20 cm, per avere un tempo totale di pulizia ragionevole, e considerando la densità della feccia uguale a quella dell'acqua (caso migliorativo), il peso del tubo pieno di feccia risulterebbe essere:

$$m_{tubo} = V_{tubo} \cdot \rho_{feccia} = \pi \cdot r_{tubo}^2 \cdot l_{tubo} \cdot \rho_{feccia} \cong 3.14 \cdot (0.1m)^2 \cdot 12m \cdot 1000 \frac{kg}{m^3} = 380 kg$$

Sarebbe molto complicato far sì che il robot possa trascinare un peso così elevato, a meno di prevedere che anch'esso abbia una massa dello stesso ordine di grandezza; ciò risulta, tuttavia, difficoltoso data la necessità di rimanere entro delle dimensioni massime, imposte dalla portella di accesso al serbatoio. L'alternativa sarebbe stata quella di ridurre il diametro del tubo, andando però a discapito della velocità di pulizia e annullando il vantaggio, in termini di manodopera, rispetto al sistema tradizionale.

Anche per quanto riguarda il sistema 1.2. sono state riscontrate alcune problematiche: il sistema pensato avrebbe potuto essere idoneo per serbatoi di piccole dimensioni, ipotizzando una struttura modulare con profilati di lunghezza massima 1 metro. Comunque, già in queste situazioni, la fase di installazione all'interno del serbatoio sarebbe stata onerosa in termini di tempo e sarebbe stata molto complicata da effettuare. Per serbatoi di grandi dimensioni, invece, la presenza di travi a sbalzo di questa lunghezza sarebbe stata inapplicabile, a meno di non aumentare notevolmente peso e complessità del sistema, o adottando particolari modifiche nel caso di grandi serbatoi.

Inoltre un sistema fisso difficilmente può adattarsi a serbatoi che presentino anche delle lievi differenze da quelli utilizzati come "standard" in fase di progettazione; questi richiederebbero, nuovamente, modifiche o appendici ad hoc per rendere adatto il sistema alle diverse situazioni. La presenza di tali complessità risulta incompatibile con le premesse del progetto, che esige un prodotto semplice da utilizzare ed installare, e che possa essere adoperato in serbatoi di qualsiasi tipo e dimensione, senza particolari modifiche.

La scelta definitiva, a valle di questo processo decisionale, è dunque ricaduta su un sistema di pulizia mobile, descritto nel paragrafo successivo.

3.3- Sviluppo del concept

Una volta definita a grandi linee l'idea di prodotto da cui partire, si è proceduto con la scelta e definizione più specifica delle varie caratteristiche di cui dovrà essere dotato, riassunte di seguito:

- Uno chassis composto da lamiere di spessore 4mm, che racchiudono e isolano le componenti interne;
- Un sistema di trazione composto da due motori brushless a corrente continua a 48V, che comandano altrettante cinghie dentate con tassellatura esterna, che svolgono una funzione di cingolo per garantire aderenza sulla feccia presente sul fondo dei serbatoi. L'accoppiamento dell'albero motore con l'albero su cui è montata la puleggia dentata avviene tramite catena;
- Una pala meccanica per la movimentazione del materiale da rimuovere. La pala è composta da lamiera piegata e saranno predisposte due appendici telescopiche per permettere di aumentarne la sezione frontale. La pala potrà essere ruotata attorno ad un asse verticale per ottimizzare lo spostamento della feccia, attraverso un attuatore elettrico;
- Un sistema di tenute, sugli alberi di trazione, sullo stelo dell'attuatore, e sul coperchio dello chassis, per evitare l'ingresso di sostanze contaminanti ed il conseguente danneggiamento degli organi interni;
- Un controllo elettronico via remoto, per comandare il robot dall'esterno del serbatoio;
- Un sistema video, con videocamera installata all'interno del serbatoio, per il monitoraggio delle operazioni di pulizia;

3.4 – Calcolo del tempo di pulizia

Come esposto in precedenza, una delle prerogative del progetto è quella di fornire una soluzione automatica che possa completare la pulizia del serbatoio entro tempistiche abbastanza ridotte.

Si propone di seguito un calcolo approssimativo del tempo di pulizia, utilizzando anche alcuni dati che saranno esposti nei capitoli successivi.

Si considera un macchinario dotato di un cingolo, messo in movimento tramite una puleggia dentata; suddetta puleggia è calettata su un albero messo in rotazione da un motore per mezzo di catena.

Considerato un raggio della puleggia di 74.73, una velocità di rotazione del motore di 74 rpm ed un rapporto di trasmissione a catena di 2.167, si ottiene una velocità di avanzamento di:

$$v = i \cdot \frac{2\pi n}{60} \cdot r = 2.167 \cdot \left(\frac{2 \cdot 3.14 \cdot 74}{60} \right) \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot 0.0747 \text{m} = 1.25 \text{ m/s}$$

Il calcolo del tempo di pulizia verrà effettuato nel caso peggiorativo, ovvero per un serbatoio da 5000hl di diametro 10m.

La superficie che il robot dovrà coprire per la rimozione della feccia sarà:

$$S_{\text{serbatoio}} = \pi \cdot r^2 = 3.14 \cdot (5\text{m})^2 = 78.5 \text{ m}^2$$

Considerando che la larghezza della pala è di $w=570$ mm, la superficie coperta dal robot nell'unità di tempo risulta essere:

$$v_s = v \cdot w = 1.25 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0.57 \text{m} = 0.712 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Dunque, il tempo "ideale" di pulizia, o meglio il tempo necessario al robot per coprire tutta la superficie del serbatoio, risulterebbe essere:

$$t_{id} = \frac{S_{\text{serbatoio}}}{v_s} = 110 \text{ s}$$

Questo risulta essere, chiaramente, un tempo ideale, che va corretto in funzione delle seguenti considerazioni:

- Il robot non si muoverà costantemente alla velocità massima ma, in funzione della strategia di pulizia, potrebbe muoversi in maniera alternata percorrendo lo stesso tratto due volte, una in marcia avanti ed una in marcia indietro, con conseguente presenza di frequenti accelerazioni e decelerazioni. Possiamo considerare un fattore moltiplicativo $i_1=3$ sulla velocità per tenere conto di questi elementi;
- La feccia, data la sua consistenza semiliquida, tenderà a ricoprire parte della superficie già precedentemente pulita, al passaggio del robot nelle zone adiacenti. Di conseguenza questo dovrà ripassare, almeno parzialmente, sul tragitto già percorso. Per tener conto di questo effetto si utilizzerà un fattore moltiplicativo $i_2=2$;
- In funzione della quantità e della consistenza della feccia, per una completa pulizia saranno necessari diversi “cicli di pulizia”, ognuno dei quali sarà di volta in volta più minuzioso. Si considerano, in media, necessari $i_3=3$ cicli di pulizia.

Alla luce di queste considerazioni, il tempo di pulizia reale medio stimato risulta essere:

$$t_r = t_{id} \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 = 1980 \text{ s} = 33 \text{ minuti}$$

Derivando da ipotesi e stime non certe, questo tempo rappresenta un’indicazione di massima. Il tempo effettivo dipenderà da diverse variabili, di cui le più impattanti sono la quantità e la consistenza della feccia presente all’interno del serbatoio.

In ogni caso, questa prima stima risulta essere positiva in quanto molto vantaggiosa, se confrontata con le tempistiche relative alla pulizia manuale che, per un serbatoio di tali dimensioni, si aggira intorno alle 4 ore di lavoro (stima fornitaci dall’enologo aziendale).

Ciò, dunque, garantisce potenzialmente un notevole risparmio, in termini di manodopera, per la cantina.

4- Fase di progettazione

In questo capitolo verranno descritte e analizzate le principali componenti del macchinario.

Per ognuna di esse verrà brevemente illustrato il processo decisionale che ha portato alla loro scelta, il loro dimensionamento, ed il contatto con i fornitori per portare a termine gli ordini.

Per semplificare al lettore la comprensione dei paragrafi successivi, si anticipa una breve descrizione globale del sistema di trasmissione:

Questo è composto da due parti uguali e disposte simmetricamente sui due lati del robot, ognuna composta da un motoriduttore, accoppiato ad un albero di trasmissione per mezzo di una catena; su questo è calettata una puleggia dentata, che comanda un cingolo che funge da elemento di trazione sulla feccia.

La sterzata del robot non è effettuata meccanicamente, ma tramite un differenziale elettronico, ovvero gestendo le velocità dei due motori in maniera autonoma, per mezzo di PLC.

Nella seguente immagine è possibile visionare dall'alto il robot nella sua configurazione quasi definitiva:



Figura 7 - vista superiore del robot

4.1 – Il sistema di trazione

Il punto di partenza della fase di progettazione è stata la scelta del sistema di trazione.

È stato innanzitutto necessario portare avanti una discussione per valutare se predisporre una trazione tramite ruote o tramite cingolo: la prima alternativa risultava sicuramente più semplice da implementare, tuttavia la scelta è ricaduta sul cingolo per le seguenti ragioni:

- Data la lunghezza complessiva del macchinario (circa 800 mm) il cingolato può garantire la trazione lungo tutta la lunghezza disponibile, massimizzando il grip su una superficie, ovvero acciaio bagnato o residui di feccia, molto scivolosa;
- Nel caso di utilizzo di una coppia di ruote motrici, il contatto con il terreno non sarebbe stato adeguato a garantire una sufficiente aderenza; per migliorare la situazione si sarebbe potuto optare per l'utilizzo di quattro ruote motrici ma ciò avrebbe significato raddoppiare il numero di motori all'interno del macchinario e complicare notevolmente la gestione degli spazi ed il controllo elettronico del sistema;
- Per la movimentazione su una sostanza simile a fanghiglia, il cingolato può permettere di adottare tassellature esterne che possano ottimizzare il grip sulla superficie stessa e che possano avere un ruolo di drenaggio e di "guida" per evitare slittamenti laterali;
- In ambito Food & Beverage l'utilizzo di cinghie speciali a contatto con alimenti è molto diffuso; sarebbe quindi stato più probabile trovare un prodotto adatto allo scopo.

Scelto il sistema di trazione si è passato a dimensionare i motori ed il sistema di trasmissione, che verranno descritti di seguito.

4.1.1 – Motori

Per la scelta dei motori è stato necessario procedere ad un calcolo approssimativo della coppia necessaria alla movimentazione del macchinario. Per un calcolo completo si sarebbero dovute considerare un numero molto elevato di variabili, l'attrito viscoso tra il macchinario e la feccia nella quale è immerso, il peso esatto del macchinario e le velocità raggiunte.

Un'analisi accurata avrebbe richiesto un tempo troppo elevato, e sarebbe tra l'altro dipesa da alcune variabili sconosciute e aleatorie, quali il comportamento fluidodinamico della feccia, che risulta essere sempre diverso in base a numerose variabili del processo enologico che ha portato alla sua formazione.

Di conseguenza, è stato svolto un calcolo di massima considerando il peso finale stimato del macchinario, la velocità e l'accelerazione massime stimate, l'ingombro frontale desiderato della pala, la profondità massima della feccia spostata ed una sua consistenza "media".

Il momento in cui la richiesta di coppia è massima è quello in cui il robot sta rimuovendo materiale e è in fase di accelerazione.

In una prima approssimazione possiamo considerare che, in questa situazione, solamente due forze si oppongono all'avanzamento del robot: la forza di attrito all'interno della feccia e/o tra la feccia ed il fondo del serbatoio, non trascurabile nel caso di feccia molto densa, e la forza di inerzia dovuta all'accelerazione in atto.

Per il calcolo della prima forza si procede con una forte approssimazione, considerando la feccia come un parallelepipedo rigido soggetto a una forza di attrito scambiata con la superficie sottostante, che viene spinto dal robot. Le sue dimensioni frontali sono uguali a quelle della pala, e la profondità, che dipende dalla consistenza della feccia, viene fissata in 0.3m (stima in eccesso). La densità utilizzata è quella della terra bagnata, ovvero 1600 kg/m^3 [17].

La massa di feccia spostata risulta dunque:

$$m_{feccia} = S_{pala} \cdot l \cdot \rho_{feccia} = 0.15m \cdot 0.57m \cdot 0.3m \cdot 1600 \frac{kg}{m^3} = 41 \text{ kg}$$

La forza di attrito da vincere, considerando un coefficiente $\mu = 0.5$ risulta:

$$F_a = \mu \cdot m_{feccia} \cdot g = 0.5 \cdot 41kg \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} = 201.1 \text{ N}$$

Per quanto riguarda la forza d'inerzia dovuta all'accelerazione, bisogna tenere conto della massa della feccia spostata, precedentemente calcolata, e la massa totale del robot, che viene inizialmente stimata in 50kg. Considerando che la velocità massima raggiungibile è di 1.25 m/s, e che è sufficiente venga raggiunta in 0.5 s, la forza d'inerzia che ne deriva è la seguente:

$$F_i = m \cdot a = (m_{feccia} + m_{robot}) \cdot \frac{v}{t_a} = (41 \text{ kg} + 50 \text{ kg}) \cdot \frac{1.25 \frac{m}{s}}{0.5 \text{ s}} = 227.5 \text{ N}$$

Considerando, infine, il raggio della puleggia motrice $r = 74.73 \text{ mm}$, la coppia risultante sull'asse risulta:

$$C = F_{tot} \cdot r = (F_a + F_i) \cdot r = (201.1 \text{ N} + 227.5 \text{ N}) \cdot 0.0747 \text{ m} = 32 \text{ Nm}$$

Chiaramente, il valore ottenuto risulta essere la richiesta totale, in termini di coppia, del robot; Dunque, ciascuno dei due motori, dovrà essere in grado di fornire 16 Nm alla velocità di rotazione richiesta (150 rpm).

Una volta effettuato un calcolo di massima della coppia e velocità erogate, è iniziato il processo di ricerca di un fornitore che potesse proporre un prodotto rispondente alle nostre richieste.

La più grande problematica è stata rappresentata dal fatto che le dimensioni disponibili per l'alloggiamento del sistema di trazione erano molto ridotte: 212mm in larghezza, internamente allo chassis, per ospitare due motoriduttori ed il sistema di trasmissione. Dunque, era necessario trovare un prodotto con una densità di potenza molto elevata.

È importante sottolineare il fatto che la dimensione di larghezza sopracitata è risultato un vincolo, ottenuto a valle di un dimensionamento di massima dell'impronta frontale dello chassis per permettere di farla rientrare, con buon grado di tolleranza, all'interno della sagoma della portella di ingresso al serbatoio

Dopo un lungo processo di ricerca e contatto con diverse aziende, si è riusciti a trovare il prodotto adatto alle nostre esigenze, ovvero un motoriduttore brushless DC, prodotto dall'azienda tedesca "SEW Eurodrive", in grado di fornire in uscita 33 Nm di coppia ad una velocità di 74 rpm.



Figura 8 - Motore "DCA63L" della SEW-Eurodrive, scelto per la motorizzazione del robot

A valle di un'adeguata riduzione tramite catena, il motore potrà fornire una coppia di 16.3 Nm a 150 rpm, valore che perfettamente si accorda con le richieste calcolate in precedenza.

La scelta del motoriduttore più adatto è risultato essere un processo iterativo: Per ogni soluzione proposta dall'azienda fornitrice (o meglio, dalle diverse aziende tenute in considerazione), sulla base delle nostre indicazioni, si è proceduto ad inserire il modello 2D nel nostro disegno, verificando se, modificando e adattando il design dello chassis e del sistema di trazione, si sarebbe potuto trovare un modo di rimanere all'interno dei vincoli dimensionali imposti dalla nostra applicazione. In caso negativo, si procedeva a vagliare una diversa proposta, mentre in caso positivo si procedeva a ripetere la verifica per il motore di taglia appena superiore. Si è scelto, infatti, in fase prototipale, di procedere all'acquisto di motoriduttori che potessero garantire la maggior potenza possibile, a parità di ingombro, in modo tale da poter far fronte ad eventuali picchi di coppia in servizio, non previsti in fase progettuale. Ciò comporta sicuramente una lievitazione dei costi prototipali, in quanto il motore scelto risulta essere uno tra i migliori presenti sul mercato europeo, data la sua elevata densità di potenza e le sue caratteristiche costruttive, ma permette di testare il macchinario in una situazione di surplus di potenza, e quindi poter verificare tutto lo spettro delle sue potenzialità. Chiaramente, qualora in fase di test la potenza installata dovesse risultare eccessiva ed inutilizzata, nell'eventualità di un secondo prototipo o dell'inizio di una produzione in serie, si procederà alla scelta di un nuovo motoriduttore di taglia minore, abbattendo i costi finali del prodotto.

A valle di questo processo iterativo, si è raggiunta la convergenza verso il motoriduttore sopra indicato.

Raffreddamento

La necessità di schermare completamente l'interno del robot da ogni contaminante esterno porta con sé alcune problematiche relative al dissipamento del calore prodotto dalle componenti elettriche interne, principalmente i due motori. È stato necessario valutare la presenza di un sistema di raffreddamento per garantire la funzionalità dei motori, mantenendo la temperatura interna allo chassis al di sotto di un valore limite, fissato dal fornitore in 40° C.

A valle di un processo decisionale si è scelto di prevedere un sistema di raffreddamento ad aria, che verrà fatta transitare all'interno dello chassis, per diminuire la temperatura interna. È stata dunque predisposta la presenza di un compressore esterno che, tramite un tubo, mandi aria compressa all'interno dello chassis. L'aria verrà poi scaricata all'esterno per mezzo di una valvola. Per garantire la corretta funzionalità dei motori, il sistema sarà dotato di un'elettrovalvola posta a valle del compressore, che verrà attivata qualora la temperatura interna al robot, misurata per mezzo di un sensore di temperatura, salga al di sopra del valore di 40° C.

4.1.2 – Trasmissione

La progettazione del sistema di trasmissione è stata svolta parallelamente alla scelta del motoriduttore, in quanto l'ingombro di quest'ultimo, variabile in base ai modelli di volta in volta presi in considerazione, ha influenzato la dimensione ed il posizionamento della trasmissione all'interno dello chassis.

La trasmissione si articola su due alberi, quello di uscita dal motore e quello su cui è calettata la puleggia motrice della cinghia (descritta nei paragrafi successivi);

Nella *Figura 9* è riportata una porzione del disegno 2D che rappresenta il sistema di trasmissione del macchinario, mentre in *Figura 10* è raffigurato lo stesso sistema nel macchinario finito.

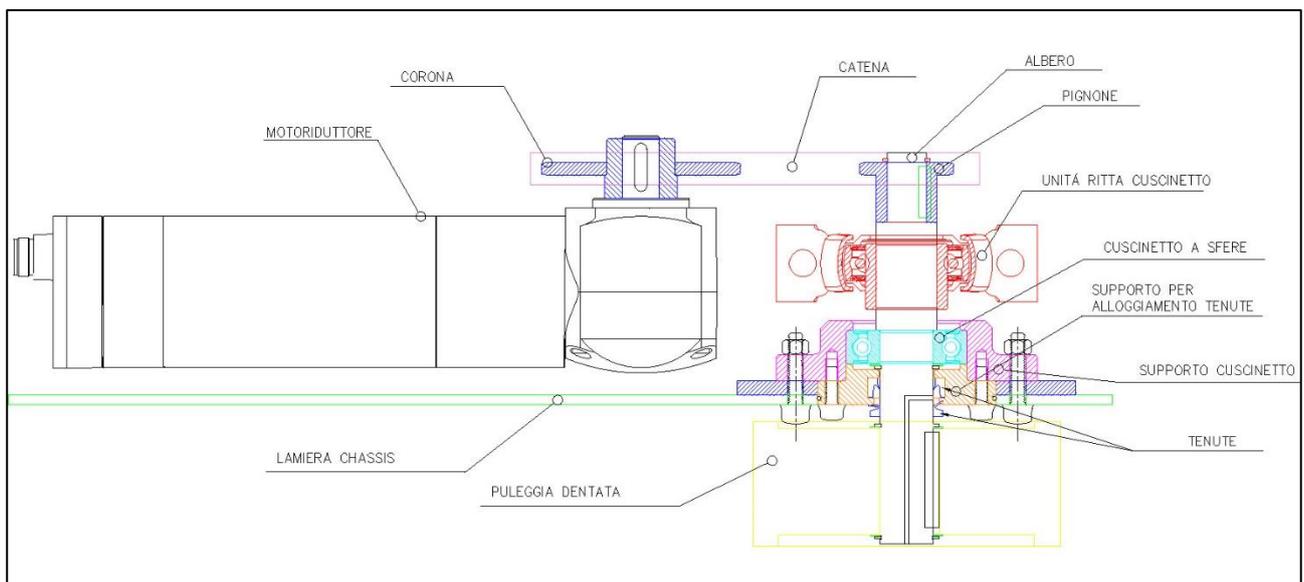


Figura 9 – Sistema di trasmissione



Figura 10 - Sistema di trasmissione montato

Come si vede l'albero motore è accoppiato all'albero della puleggia tramite un collegamento a catena. Sull'albero motore è calettata una corona, mentre sull'albero condotto è calettato un pignone. La catena in questione è una 3/8" x 7/32" in acciaio. Date le dimensioni in gioco, entrambi i cuscinetti sono disposti nella zona intermedia tra pignone e puleggia, in quanto non vi erano alternative possibili.

Per quanto riguarda il sistema di supporti installato sulla lamiera dello chassis si fa riferimento alla figura seguente, in cui è presente una vista particolareggiata.

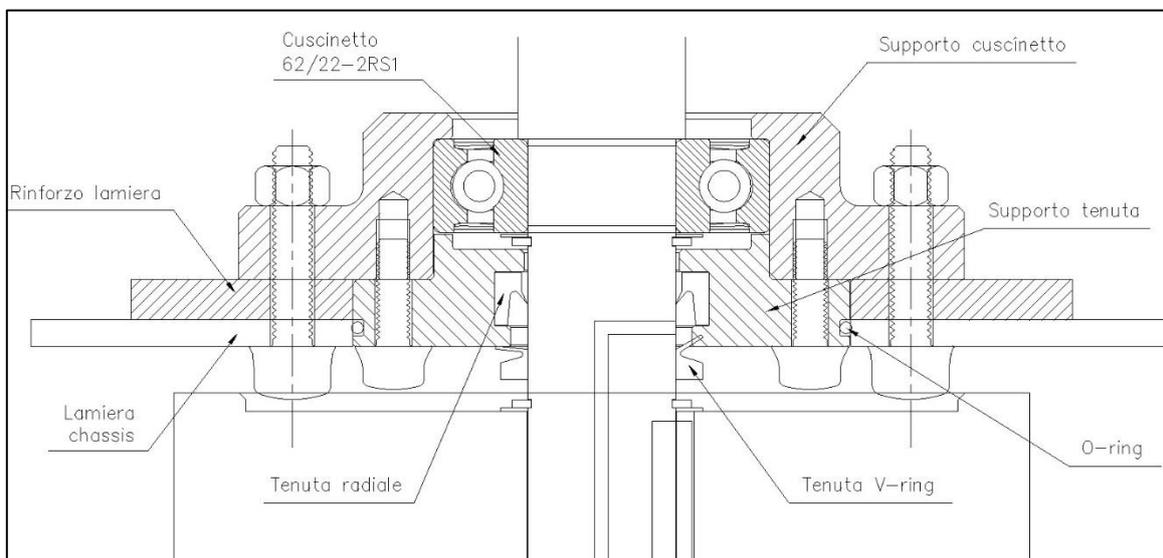


Figura 11 – Disegno di assieme del sistema di supporti

Come si può notare dalla *Figura 11*, il sistema di supporti e rinforzi risulta essere molto complesso; ciò deriva dal fatto che questo nasce con lo scopo di soddisfare diverse esigenze e di risolvere alcune problematiche, descritte di seguito:

- La prima necessità è quella di alloggiare un cuscinetto: non era possibile, a causa dei forti limiti spaziali, disporre un altro cuscinetto all'interno dello chassis, e si è quindi deciso di installarlo direttamente sulla lamiera, tramite una sorta di supporto flangiato;
Si era inizialmente valutato l'utilizzo un supporto flangiato da catalogo, tuttavia gli ingombri risultavano essere troppo elevati per i vincoli del progetto e il sistema di tenute preesistente non era adatto ad un uso in immersione; un'ulteriore problematica era collegata all'esiguo spessore della lamiera dello chassis (4 mm), che rendeva difficoltoso il montaggio di un supporto flangiato tradizionale.
Per queste ragioni si è deciso di procedere alla progettazione di un supporto cuscinetto ad hoc;
- Era inoltre necessario schermare totalmente il foro di passaggio dell'albero da contaminazioni esterne. Il robot deve infatti lavorare, in alcune situazioni, in totale immersione nella feccia, e un trafileamento di liquidi potrebbe danneggiare gli organi interni e provocare corto-circuiti.
Di conseguenza si è adottato un sistema a doppia tenuta: una tenuta radiale ed una tenuta assiale di tipo V-ring;
- Il sistema di tenute avrebbe dovuto essere facilmente smontabile e accessibile per pulizia, manutenzione, o sostituzione; Per questa ragione si è optato per un supporto avvitato sulla lamiera: ciò permette anche di facilitare la produzione e fornitura di ricambi al cliente, nel caso di guasti o migliorie da apportare alle componenti.
Lo stesso ragionamento si è adottato per la progettazione del supporto cuscinetto.
- Dunque, l'albero passerà attraverso un foro nel supporto della tenuta, il quale a sua volta sarà alloggiato all'interno di un foro ricavato sulla lamiera. Da qui deriva la necessità di prevedere una tenuta anche su questo accoppiamento, necessità soddisfatta prevedendo la presenza di un o-ring alloggiato in una cava sulla superficie cilindrica esterna del supporto tenuta;
- Per esigenze di alleggerimento del macchinario le lamiere dello chassis, che nell'idea originale avevano uno spessore di 10 mm, sono state portate a 4mm.
Ciò comporta necessariamente un aumentato rischio di deformazione dell'intera struttura, specialmente nelle zone maggiormente sottoposte a carichi quali, appunto, quelle adiacenti al sistema di supporti. Per questa ragione si è deciso di prevedere la presenza di un rinforzo, che consiste in un profilo di lamiera da 6 mm, saldato sulla lamiera dello chassis, attorno al foro accoppiato al supporto della tenuta.
Il rinforzo in oggetto, come è possibile notare dalla *Figura 11* viene serrato tra la lamiera dello chassis e il supporto cuscinetto per mezzo di viti, garantendo la distribuzione delle forze trasmesse tramite le viti su una superficie di lamiera maggiore.
- Per garantire un funzionamento ottimale e una longevità delle tenute, è stato predisposto un foro da 2 mm di diametro sull'albero, sul quale installare un nottolino di lubrificazione, per permettere all'operatore di ingrassare periodicamente la zona lavoro dalle due tenute.

4.1.3 – Cinghie

Come anticipato a pag. 18, l'elemento scelto per effettuare trazione sulla feccia è un cingolato. Allo scopo di trovare la tipologia, i materiali e la geometria ottimale per le nostre necessità, sono stati tenuti in considerazione e contattati diversi fornitori, che hanno potuto proporre numerose soluzioni, e con i quali è stato instaurato un dialogo che ci ha permesso di giungere alla soluzione finale. Sin dall'inizio si è deciso di utilizzare una cinghia dentata, con un qualche tipo di profilo esterno che potesse garantire la trazione sulla feccia, invece che un vero e proprio cingolo. Le motivazioni di questa scelta risiedono nel fatto che l'azienda ospitante intrattiene rapporti con alcuni produttori di cinghie di trasmissione e convogliamento per il settore alimentare; di conseguenza, conoscendo ciò che può offrire il mercato in quest'ambito, era molto probabile che si sarebbe riusciti a trovare la soluzione adeguata, che potesse unire le caratteristiche di certificazione FDA (*Food and Drug Administration*) a una tecnologia costruttiva tale da poter conferire al prodotto le necessarie proprietà di robustezza, flessibilità, capacità di presa sulla superficie di lavoro ed eventuale drenaggio dei fluidi.

Dopo una serie di colloqui con alcune aziende, abbiamo deciso di affidarci ad un leader mondiale nel settore delle trasmissioni a cinghia, ovvero "*Megadyne*", tramite il partner Siciliano "*PMT Belt*".

Durante i colloqui con i responsabili tecnici dell'azienda, abbiamo tenuto conto delle seguenti esigenze:

- Il prodotto ricercato è una cinghia dentata con una profilatura esterna;
- Deve possedere una certificazione FDA, ovvero essere prodotta in materiale idoneo al contatto con alimenti;
- Lavorerà in immersione in un fluido alimentare molto viscoso; è dunque necessario far sì che questo, insinuandosi tra i denti della cinghia e della puleggia non generi slittamenti o disallineamenti;
- La superficie esterna della cinghia dovrà presentare delle tassellature per conferire alla cinghia una funzione di cingolo;
- Il materiale dei tasselli deve essere sufficientemente duro da permettere di penetrare e di fare presa sulla feccia, ma sufficientemente morbido per garantire un minimo attrito anche sull'acciaio bagnato: questa seconda proprietà si rende necessaria nelle fasi di pulizia, quando i residui di feccia sono ormai minimi ed il robot si muoverà direttamente a contatto con la superficie in acciaio del serbatoio;
- La geometria della tassellatura esterna dovrebbe essere tale da rendere preciso il moto del robot, permettendo il drenaggio dei liquidi al di sotto del cingolo e minimizzando eventuali slittamenti laterali in caso di lieve pendenza;

Alla luce di queste indicazioni, e dopo aver proposto un disegno di massima al fornitore, siamo insieme giunti ad una soluzione, visionabile nelle figure 12 e 13.

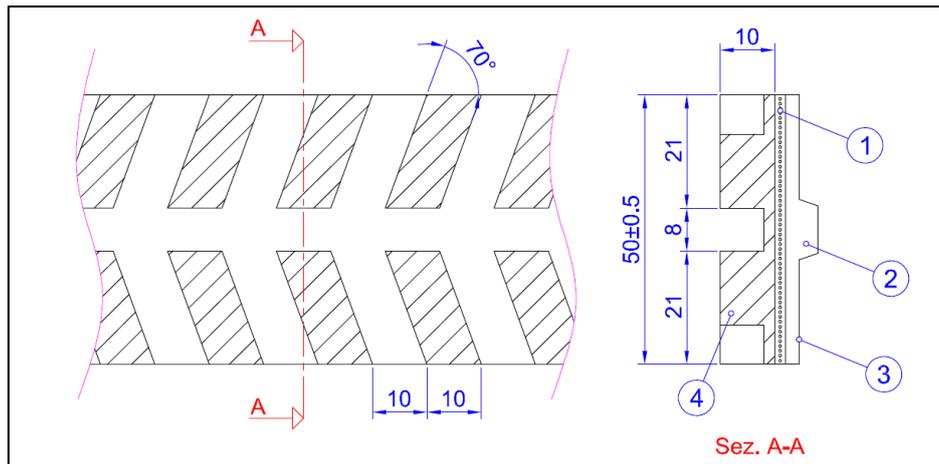


Figura 12 - Disegno della cinghia dentata

La cinghia è prodotta in NBR bianco 50 ShA, rinforzata internamente con cavo in kevlar, la dentatura presenta un passo standard T-10, ha un avvolgimento di 1500 mm e presenta un profilo di centraggio a “V” per evitare di predisporre delle spalle sulle pulegge (contro eventuali disallineamenti) e per garantire uno “scarico” del fluido dalla dentatura.

Come si vede nella Figura 12 - Disegno della cinghia dentata i tasselli sulla superficie esterna sono disposti con un passo 20 mm, multiplo del T10 della dentatura: ciò permette di sovrapporre i denti con i tasselli, minimizzando così il diametro minimo di avvolgimento della cinghia, ed evitando di produrre al suo interno tensioni indesiderate.

Dal punto di vista tecnologico, la tassellatura esterna è prodotta per lavorazione a macchina utensile. La lavorazione esterna della cinghia prevede, oltre che i tasselli obliqui, anche un taglio longitudinale, che funge da drenaggio e da guida per il moto rettilineo del cingolo.

La larghezza della cinghia è di 50 mm.

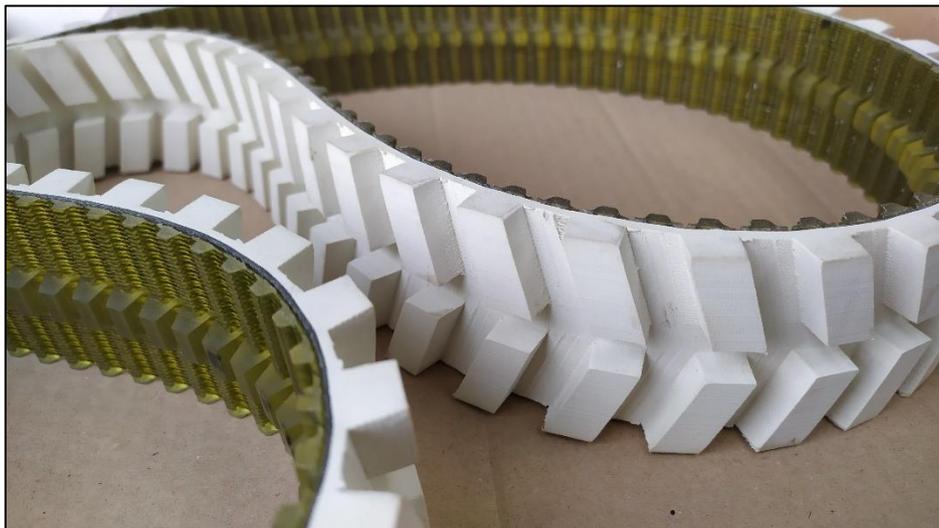


Figura 13 - Cinghia dentata

4.2 - Pala

La pala è l'elemento funzionale al compito del robot, ovvero la movimentazione della feccia.

La sfida che si è dovuto affrontare nella sua progettazione risiede nel fatto che, seppur la necessità fosse quella di massimizzare la sua impronta frontale per movimentare più materiale possibile nell'unità di tempo, rimane sempre un forte vincolo dimensionale legato alle dimensioni della portella ovale dei serbatoi, che rappresenta l'ingresso del robot.

Questa problematica è stata superata, per lo meno in fase prototipale, progettando una pala telescopica, ovvero formata da un corpo principale e due appendici laterali che possono scorrere sul primo, per essere poi serrate in posizione retratta o estesa.

Le dimensioni in gioco sono tali da permettere il passaggio del robot attraverso la portella solo quando le due appendici telescopiche sono in posizione retratta; queste saranno, dunque, portate in posizione estesa dall'operatore, che agirà dall'esterno del serbatoio una volta che il robot sarà parzialmente al suo interno.

Nella *Figura 14* e *Figura 15* vengono illustrate le due configurazioni.

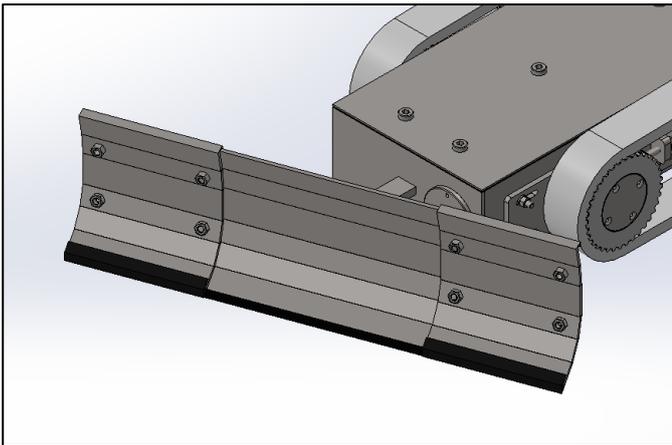


Figura 14 - Pala in posizione estesa

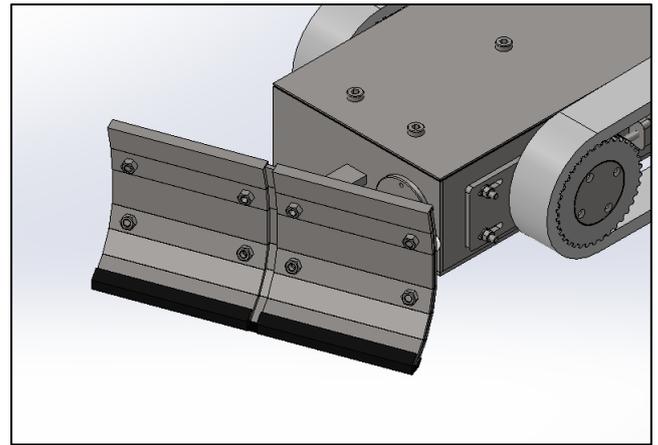


Figura 15 - Pala in posizione retratta

Il corpo principale della pala è incernierato su elemento saldato sulla lamiera frontale del robot, e può ruotare attorno ad esso per orientare la pala. La rotazione è comandata da un attuatore elettrico lineare il cui stelo fuoriesce dal corpo del robot, e verrà descritto nel paragrafo seguente. La corsa dell'attuatore, di 100 mm, permette di orientare la pala di circa 35° rispetto alla configurazione neutra (ovvero quella perpendicolare all'asse longitudinale del robot).

Sugli spigoli inferiori della pala sono presenti dei pattini in gomma, evidenziati in colore nero, che hanno lo scopo di evitare il contatto diretto acciaio/acciaio che potrebbe danneggiare il fondo del serbatoio, e per permettere una rimozione di materiale più accurata, grazie all'elasticità della gomma che le permette di deformarsi localmente su eventuali elementi di discontinuità presenti sulla superficie del serbatoio. I pattini sono montati sulla lamiera della pala e delle appendici telescopiche per mezzo di alcune viti, e sono dunque facilmente sostituibili.

Il bloccaggio delle appendici avviene per mezzo di quattro viti, due per appendice; queste vengono inserite posteriormente tramite un foro passante predisposto sul corpo principale della pala e vanno ad avvitarsi su dei dadi saldati sulla parte frontale dell'appendice, in corrispondenza dei fori sottostanti. Per ogni appendice sono presenti due coppie di dadi, una corrispondente alla posizione estesa, una a quella retratta. Il serraggio delle viti porta l'appendice telescopica, disegnata per essere perfettamente combaciante al corpo principale, a bloccarsi su quest'ultimo.

Al fine di permettere alla pala di adattarsi ai cambi di pendenza presenti all'interno dei serbatoio senza provocare fenomeni impuntamento, è stato ideato in sistema che permetta alla pala di ruotare attorno ad un asse orizzontale per allontanare. La pala viene infatti collegata al supporto per mezzo di un asse orizzontale, un tondino di acciaio INOX da 10 mm di diametro, ed è tenuta in battuta sul terreno per mezzo di due molle. Il sistema è illustrato nella seguente immagine:



Figura 16 - Dettaglio sistema di molle per l'inclinazione della pala

I due elementi rettangolari saldati sulla pala fungono da fine corsa per la trazione delle molle. Le molle lavorano a trazione e sono ancorate sulla pala e sul supporto per mezzo di profili in lamiera di spessore 4 mm con dei fori predisposti.

4.3 – Attuatore

Come mostrato nel paragrafo precedente, è prevista la presenza di un attuatore che ha la funzione di orientare la pala attorno ad un asse verticale.

L'intenzione iniziale era quella di dotare il robot di due attuatori, per orientare l'attuatore attorno ad un asse verticale (rotazione dx/sx) ed attorno ad un asse orizzontale (up/down). La soluzione ideale sarebbe stata quella di disporre entrambi gli attuatori all'esterno dello chassis, per evitare di predisporre aperture sulla lamiera e per guadagnare spazio all'interno del robot. Ciò sarebbe stato possibile utilizzando attuatori che fossero di un materiale idoneo a contatto con gli alimenti, inossidabile, e dotato di grado di protezione contro immersione completa.

Dopo una lunga ricerca delle soluzioni sul mercato, tenendo in considerazione le aziende leader mondiali nel settore di automazione lineare, si è giunti alla conclusione che sarebbe stato impossibile trovare delle soluzioni di dimensioni adatte a questo tipo di configurazione. Per questa ragione si è deciso di abbandonare l'idea di prevedere un movimento up/down della pala, scelta che è stata suffragata dalla constatazione che questo movimento sarebbe risultato effettivamente superfluo nella maggior parte delle situazioni in cui il robot dovrà lavorare (non sono mai presenti, all'interno dei serbatoi, degli elementi che richiedano un allontanamento della pala dal piano di lavoro).

Per quanto riguarda, invece, il movimento rotatorio della pala, si è deciso di disporre un attuatore elettrico lineare all'interno dello chassis, e di far fuoriuscire da esso solamente lo stelo. Dalla scelta di questa configurazione conseguono le seguenti configurazioni:

- L'attuatore, dallo stelo fino all'attacco, deve necessariamente essere in acciaio inox, per poter entrare a contatto con alimenti e non soffrire attacchi chimici;
- Si rende necessario, come nel caso dell'albero di trasmissione, prevedere un sistema di tenute che rendano perfettamente stagno il foro di passaggio dello stelo dell'attuatore ed evitino contaminazioni verso l'interno del robot;

A valle di queste considerazioni si è potuto giungere, dopo la consultazione con diverse aziende produttrici, alla scelta del prodotto più adatto: l'attuatore "con35" della *Concens*, azienda danese leader nel settore della movimentazione lineare elettrica, mostrato nella *Figura 17*.



Figura 17 - Attuatore lineare elettrico "con35"

L'attuatore sarà fissato, sul lato interno al robot su un supporto per mezzo di una vite, mentre sarà collegato alla pala per mezzo di uno snodo, come illustrato nella *Figura 18*.

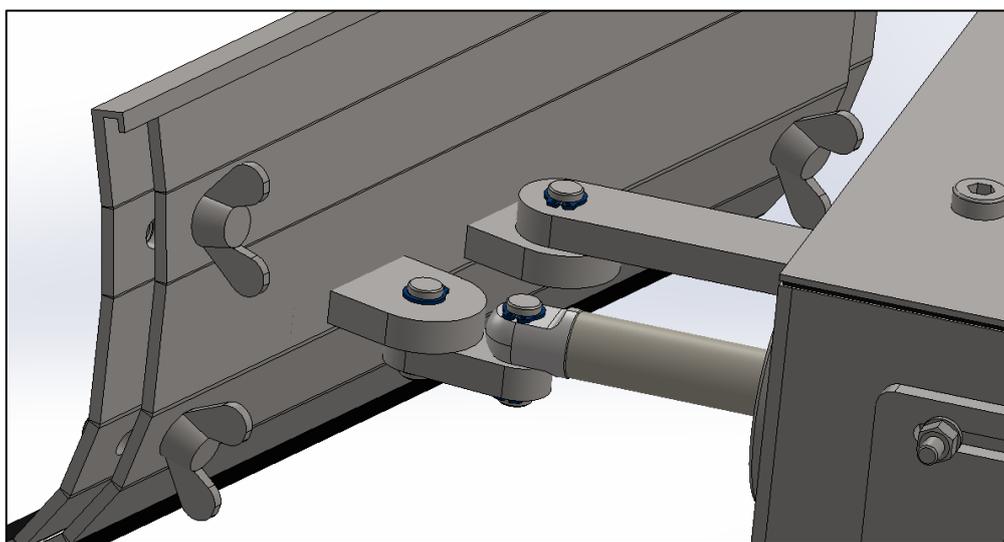


Figura 18 - Particolare del collegamento tra attuatore e pala

4.4 – Chassis

Lo chassis ha lo scopo di alloggiare le componenti interne del robot e di isolarle dall'esterno. Nella fase prototipale assume la forma di un parallelepipedo composto da lamiera in acciaio inossidabili AISI 304, di spessore 4 mm, saldate tra loro. Le lamiere sono prodotte per taglio laser, e su di esse sono ricavati tutti i fori per il fissaggio delle varie componenti e per il passaggio degli alberi rotanti e dello stelo dell'attuatore.

Nella Figura 19 è rappresentata una vista dello chassis "nudo"

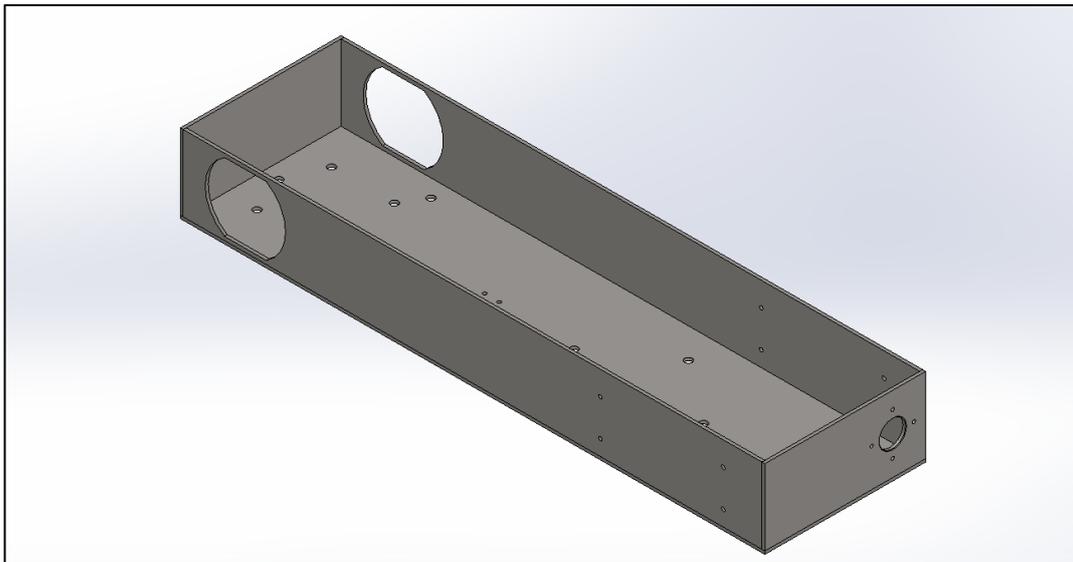


Figura 19 - Chassis "nudo"

4.4.1 - Coperchio

Il coperchio dello chassis consiste in un foglio di lamiera di spessore 4 mm. Il suo scopo è quello di chiudere lo chassis in maniera tale da renderlo perfettamente isolato da contaminazioni esterne rendendo, tuttavia, facilmente accessibile l'interno del robot per svolgere le ordinarie operazioni di manutenzione. Il coperchio è bloccato per mezzo di 7 viti, passanti attraverso i corrispondenti fori praticati sul coperchio e che si avvitano in delle boccole filettate opportunamente progettate per lo scopo, illustrate nella figura seguente:



Figura 20 - Boccole filettate per serraggio delle viti del coperchio

Per garantire le caratteristiche di isolamento, al di sotto del coperchio è stata prevista la presenza di un profilo di guarnizione piatta in silicone FDA bianco di spessore 4 mm, che si interpone tra coperchio e lamiere laterali, garantendo l'ermeticità dell'accoppiamento, come illustrato nella seguente figura:



Figura 21 - Isolamento del coperchio per mezzo di guarnizione piatta in FDA bianco

Per facilitare il montaggio del coperchio la guarnizione piatta in oggetto viene tenuta in posizione da alcuni dentelli saldati sul lato interno del coperchio, come mostrato nella seguente immagine:



Figura 22 - Dettaglio bloccaggio della guarnizione del coperchio per mezzo di dentelli

4.5.2 – Puleggia motrice

Il componente è prodotto in materiale plastico, in particolare in POMc, per garantire l' idoneità a lavorare a contatto con alimenti e la necessità di avere un elemento di peso ridotto, rispetto all'acciaio. La puleggia in questione è stata lavorata dallo stesso produttore delle cinghie, viene calettata sull'albero di trazione per mezzo di una linguetta, ed ha un diametro primitivo di 127.32 mm.

Anche la scelta delle tipologie, diametri e dimensioni delle pulegge si è trattato di un processo iterativo:

Questi, infatti, non sono componenti standard ma fabbricati a disegno su nostra richiesta, in base alle nostre esigenze tecniche, illustrate brevemente in seguito:

- Necessità di un materiale resistente, adatto a lavorare a contatto con gli alimenti, ma allo stesso tempo leggero;
- Diametro sufficientemente grande da permettere di superare il limite inferiore dello chassis, ma non troppo grande da superare le dimensioni limite che rendono difficoltoso l'ingresso nel serbatoio attraverso la portella;
- Diametro superiore al diametro minimo di avvolgimento della cinghia scelta;
- Larghezza della puleggia in funzione della larghezza della cinghia scelta, fortemente vincolato dai limiti in larghezza del robot;
- Necessità di prevedere un sistema, con delle spalle o un profilo di centraggio, per evitare il disaccoppiamento tra cinghia e puleggia;
- Necessità di un sistema di drenaggio per evitare l'accumulo di fluido tra i denti della puleggia e la cinghia.

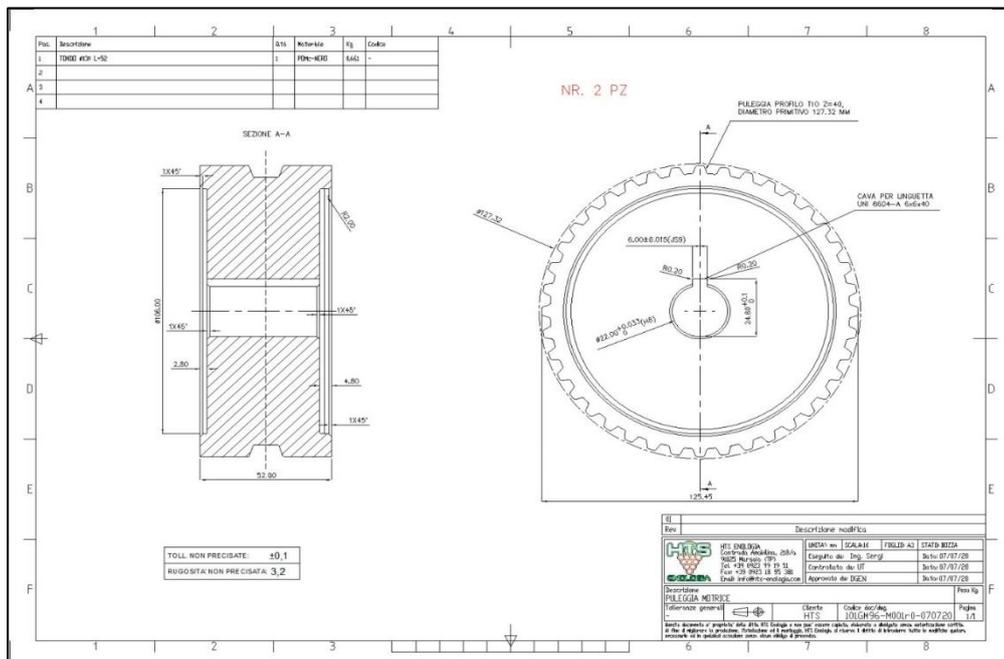


Figura 24 - Disegno della puleggia motrice

Il materiale scelto è stato il POMc, materiale plastico che unisce una buona resistenza meccanica, leggerezza, e idoneità al contatto con alimenti. La sede a "V" garantisce un centraggio della cinghia ed, allo stesso tempo, permette il drenaggio dei fluidi; l'ipotesi di prevedere delle "spalle" laterali è stata scartata per evitare di incrementare ulteriormente l'ingombro laterale. La larghezza della cinghia e, dunque, della puleggia è stata fissata in 50 mm per rispondere alle necessità sopra citate.

Nell'immagine seguente la puleggia motrice montata sull'albero di trazione:



Figura 25 - Puleggia motrice montata nel robot

4.5.3 – Puleggia condotta

La puleggia condotta funge da rimando per la cinghia, ed è collocata nella parte anteriore del robot. Anch'essa è in POMc ed ha un diametro primitivo di 114.59 mm.

Data la necessità di prevedere un tensionamento della cinghia, l'albero con cui la puleggia condotta è accoppiata è saldato su un supporto che funge da slitta, gestita per mezzo di una vite di regolazione.

Nella figura seguente viene rappresentato l'assieme della puleggia condotta:

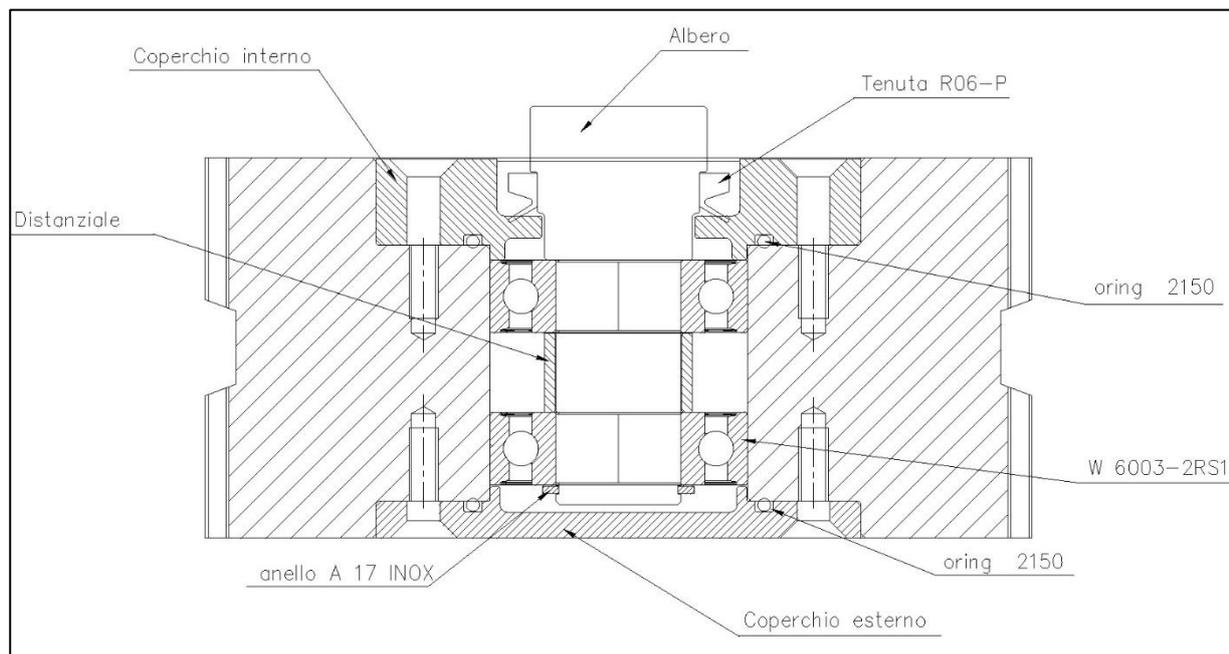


Figura 26 - Disegno della puleggia condotta

Come è possibile constatare la puleggia condotta è libera di ruotare attorno all'albero, che è fisso, per mezzo di una coppia di cuscinetti a sfere. Per il montaggio/smontaggio e per isolare da contaminazioni esterne la zona in cui sono alloggiati i cuscinetti, sono stati predisposti due coperchi, da fissare per mezzo di viti M4 a testa svasata sulla puleggia.

Su entrambi i coperchi la tenuta statica è garantita per mezzo di oring, mentre sul coperchio interno una tenuta assiale "R06-P" garantisce la tenuta dinamica per albero rotante.

4.5.4 – Slitta puleggia condotta

Risultava necessario, dietro indicazione del fornitore, prevedere un tensionamento in positivo della cinghia del 2% sullo sviluppo totale. A fronte di uno sviluppo di 1500 mm è stato, dunque, necessario prevedere un tensionamento di 30 mm, il che si traduce in una corsa di 15 della slitta.

Si era inizialmente valutata la possibilità di prevedere un tensionamento tramite una terza ruota, montata su un braccio con una molla, che fungesse da tendicinghia; questa opzione è stata tuttavia abbandonata poiché avrebbe comportato un'aumento non accettabile dell'ingombro frontale del macchinario.

Si è scelto, dunque, di montare la puleggia condotta su una slitta che potesse essere regolata in modo da garantire il livello di tensionamento richiesto.

Il supporto consiste in un profilato di lamiera in AISI 304 di spessore 6 mm tagliato a laser. Sul supporto è ricavato un foro nel quale è saldato l'albero della puleggia.

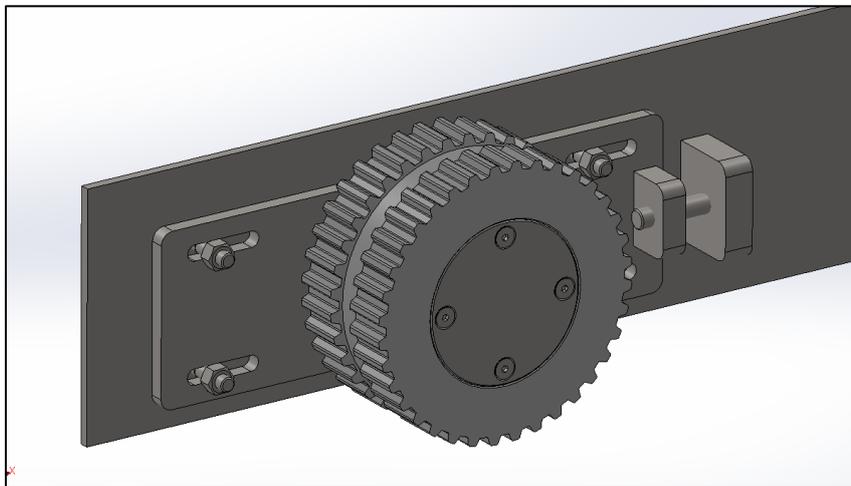


Figura 27 - Supporto a slitta della puleggia condotta

Per il dimensionamento del supporto e per il posizionamento delle asole, si è dovuto procedere in maniera iterativa, data la necessità di assicurarsi che nelle varie configurazioni di tensionamento, il bullone fosse accessibile alla rispettiva chiave, anche considerando la presenza e l'ingombro della cinghia. Questo tipo di valutazioni sono state condotte nella fase iniziale di progettazione in 2D.

Il tensionamento viene effettuato per mezzo di una vite di regolazione: questa è passante su un supporto saldato sulla lamiera laterale e va ad avvitarsi sul rispettivo supporto saldato sulla slitta: in questa configurazione, svitando la vite si andrà a tensionare la cinghia.

Una volta raggiunto il grado di tensionamento richiesto, si procederà a serrare i 4 dadi, dotati di rondella elastica, sulle barre filettate solidali con lo chassis, in modo da bloccare la puleggia grazie all'attrito statico tra la slitta e la lamiera laterale del robot, e in modo da scaricare la vite di regolazione.

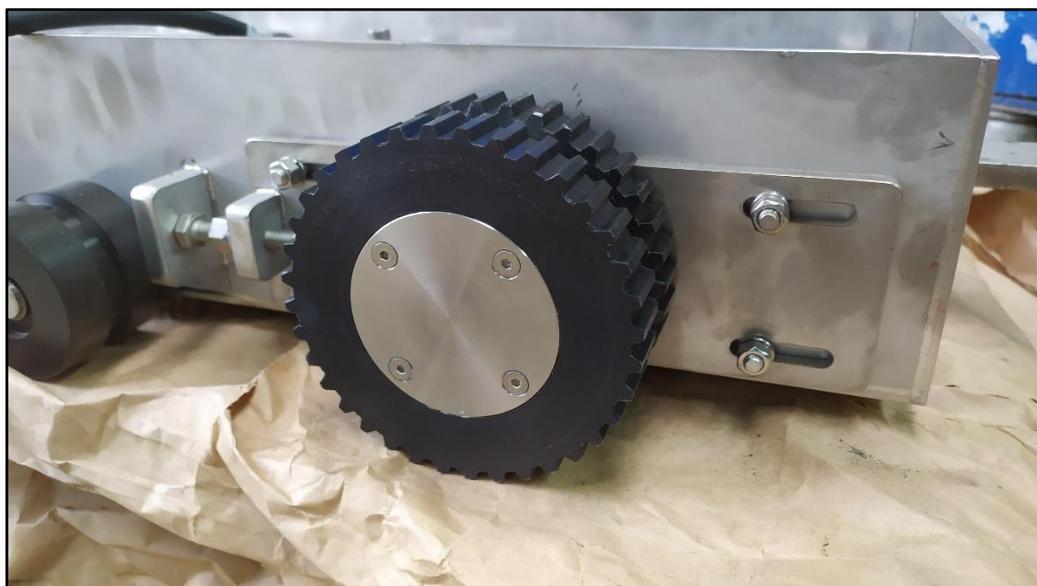


Figura 28 - Supporto a slitta della puleggia condotta finito

4.5.5 – Pulegge folli

Allo scopo di distribuire più uniformemente la forza scambiata tra il cingolato e il terreno, sono state predisposte 6 pulegge folli, 3 per ogni lato, come mostrato nella figura seguente:



Figura 29 - Pulegge folli disposte su un lato del robot

I 6 alberi su cui le pulegge possono ruotare, sono fissi e saldati sulla lamiera laterale; Allo scopo di rendere più robusto suddetto collegamento, l'albero è fatto passare attraverso un foro ricavato sulla lamiera laterale, con 2 decimi di tolleranza, e saldato sia internamente (saldatura pulsata) che esternamente (saldatura continua, per garantire l'ermeticità).



Figura 30 - Dettaglio degli alberini saldati sulla lamiera laterale, con (sinistra) e senza (destra) puleggia montata

Come si può notare dalle immagini, le pulegge in questione non sono dotate di dentatura, ma solamente della cava per accogliere la "V" di centraggio della cinghia. Il loro compito, infatti, è solamente quello di mantenere quanto più costante, su tutta la lunghezza disponibile, la pressione effettuata dalla tassellatura esterna della cinghia sulla feccia sottostante, con l'obiettivo di massimizzare la forza di trazione ed evitare possibili slittamenti.

Le pulegge sono fabbricate in POMc, ruotano, senza la presenza di cuscinetti sull'albero e sono bloccate assialmente per mezzo di un anello seeger (Figura 30).

Il diametro scelto per le pulegge condotte è di 66.50 mm, affinché siano tangenti al piano del terreno, tangente a sua volta alla puleggia motrice e a quella condotta. Per questi componenti la produzione è stata effettuata all'interno dell'officina meccanica cui l'azienda ospitante si appoggia, per lavorazione al tornio partendo da un tondo di diametro 70 mm.

4.5.6 – Supporto tenute attuatore

È stato necessario predisporre, sul foro di passaggio dello stelo dell'attuatore lineare, una coppia di tenute per evitare trafilamenti di fluido verso l'interno dello chassis. A questo scopo è stata prodotta una boccola, da bloccare per mezzo di viti sulla lamiera dello chassis, che ospita sulla sua superficie interna una tenuta radiale per stelo e un raschiatore. La produzione del pezzo è stata affidata all'officina meccanica dell'azienda, e per un posizionamento corretto dei fori sulla flangia è stata disegnata e tagliata a laser un'apposita maschera di foratura. Il particolare in questione è rappresentato nella figura seguente

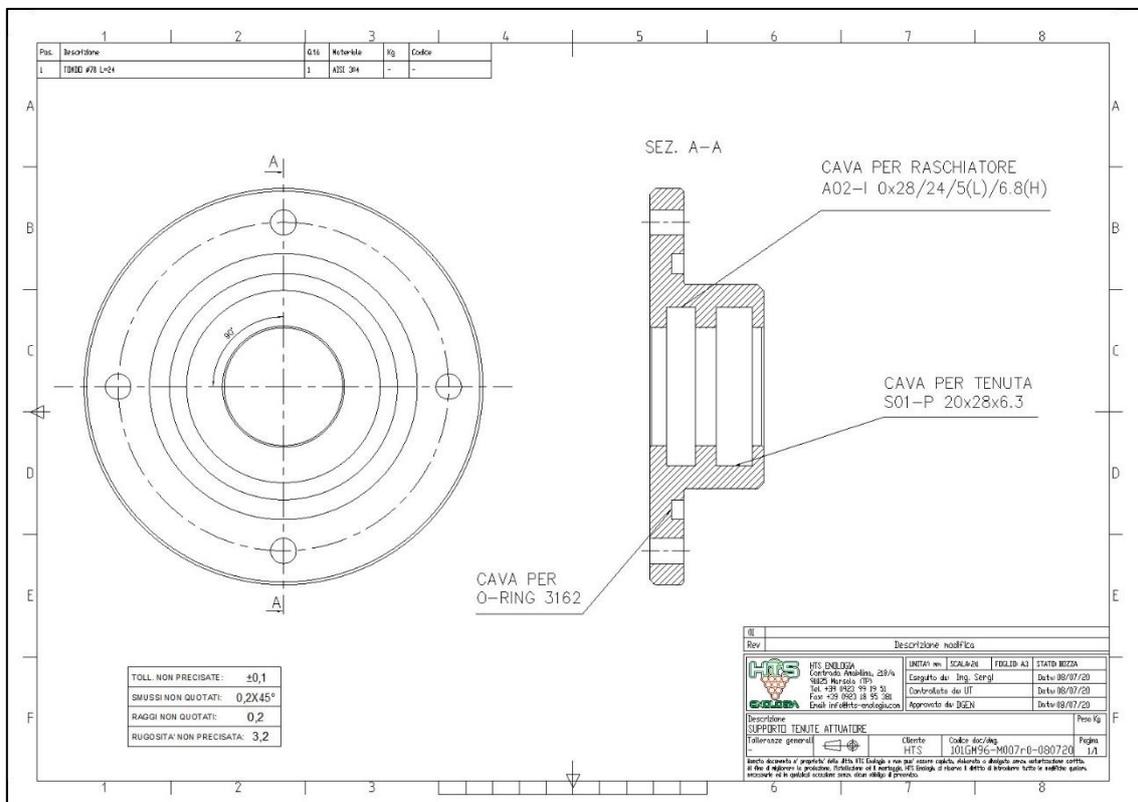


Figura 31 - Disegno della boccola di supporto delle tenute dell'attuatore

Anche in questo caso la tenuta statica è garantita per mezzo di o-ring.

4.5.7 – Supporti motori

Per permettere l'installazione dei motori all'interno dello chassis, sono stati appositamente disegnati due supporti flangiati.

Questi ultimi assolvono anche alla funzione di tensionamento della catena di trasmissione. Sono dotati infatti di asole che vengono portate a combaciare con viti appositamente saldate sulla lamiera; A seguito del tensionamento, che avviene tramite una vite di regolazione, il supporto viene bloccato sulla lamiera serrando i dadi montati sulle rispettive viti.

Entrambi i supporti sono composti da due profili in lamiera da 4 mm, tagliati a laser e saldati tra loro.

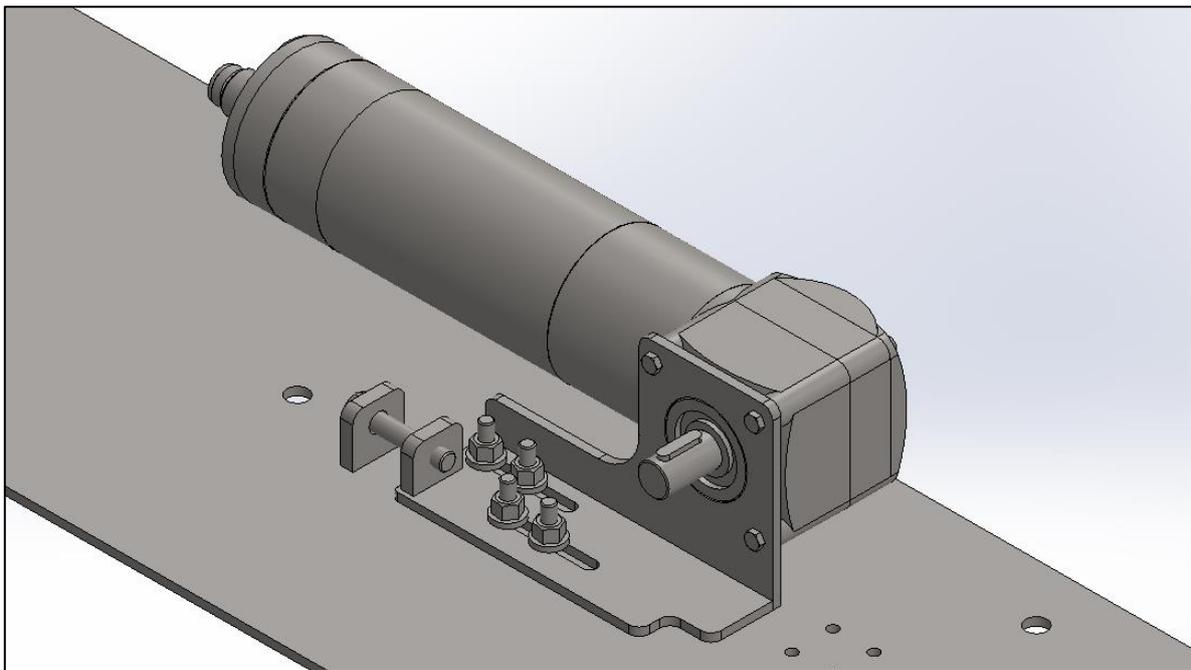


Figura 32 - rappresentazione 3D del supporto del motore destro

I due supporti non sono simmetrici, ma sono stati disegnati per ottimizzare il poco spazio disponibile sulla lamiera inferiore. Le due geometrie si incastrano l'una sull'altra, ma permettendo una regolazione indipendente del tensionamento delle catene, come si può notare nella figura seguente:

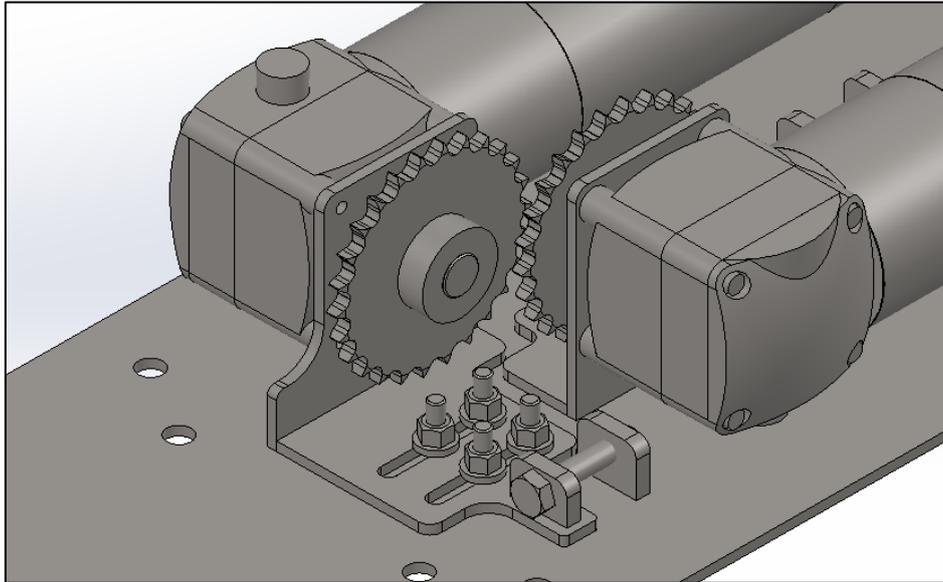


Figura 33 - rappresentazione 3D della disposizione dei supporti dei motori

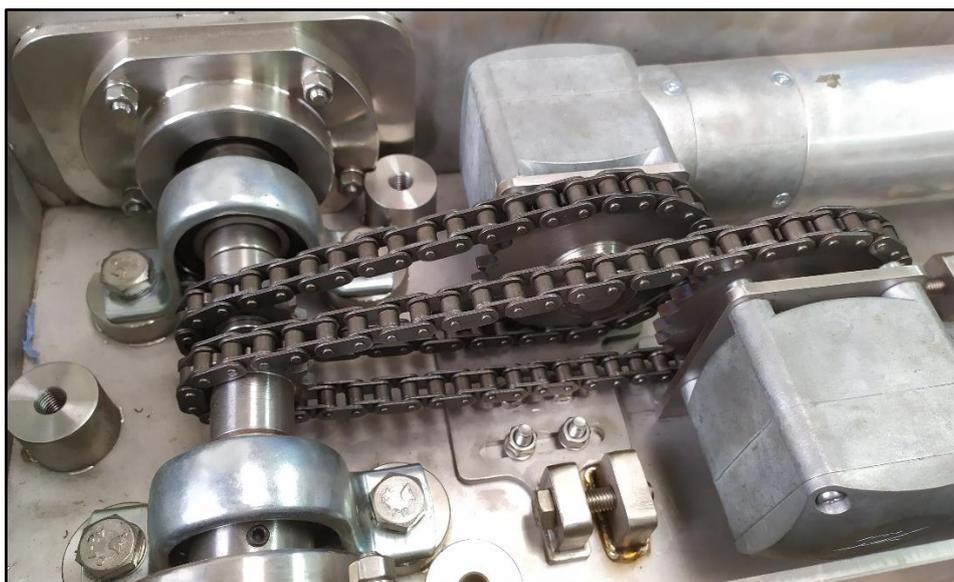


Figura 34 Disposizione finale dei supporti dei motori

4.5.8 – Corona e pignone

Un pignone e una corona sono montati, rispettivamente, sull'albero in uscita dal motore e sull'albero condotto, per permettere la trasmissione per mezzo di catena.

Per quanto riguarda il pignone, questo è stato ordinato da catalogo e poi lavorato per ricavare il foro di diametro adeguato e la cava per la linguetta. La lunghezza da catalogo risultava già adeguata.

Per quanto riguarda la corona, invece, è stato necessario disegnare e fabbricare una boccola, sulla quale montare la corona ordinata da catalogo e opportunamente lavorata, per mezzo della quale permettere il calettamento sull'albero in uscita dal motore.

Le due componenti sono rappresentate nelle seguenti figure.

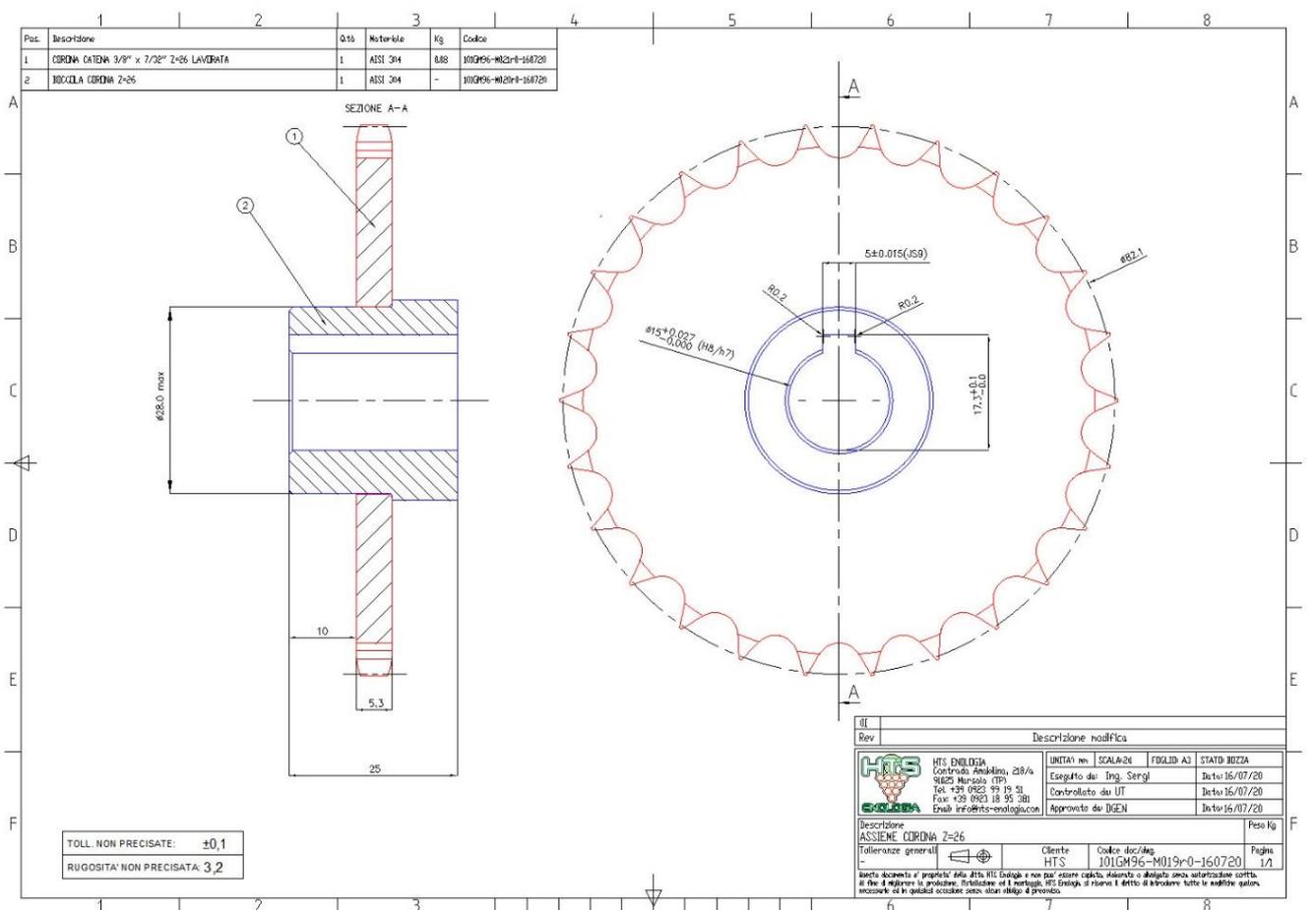


Figura 35 – Disegno di assieme della corona

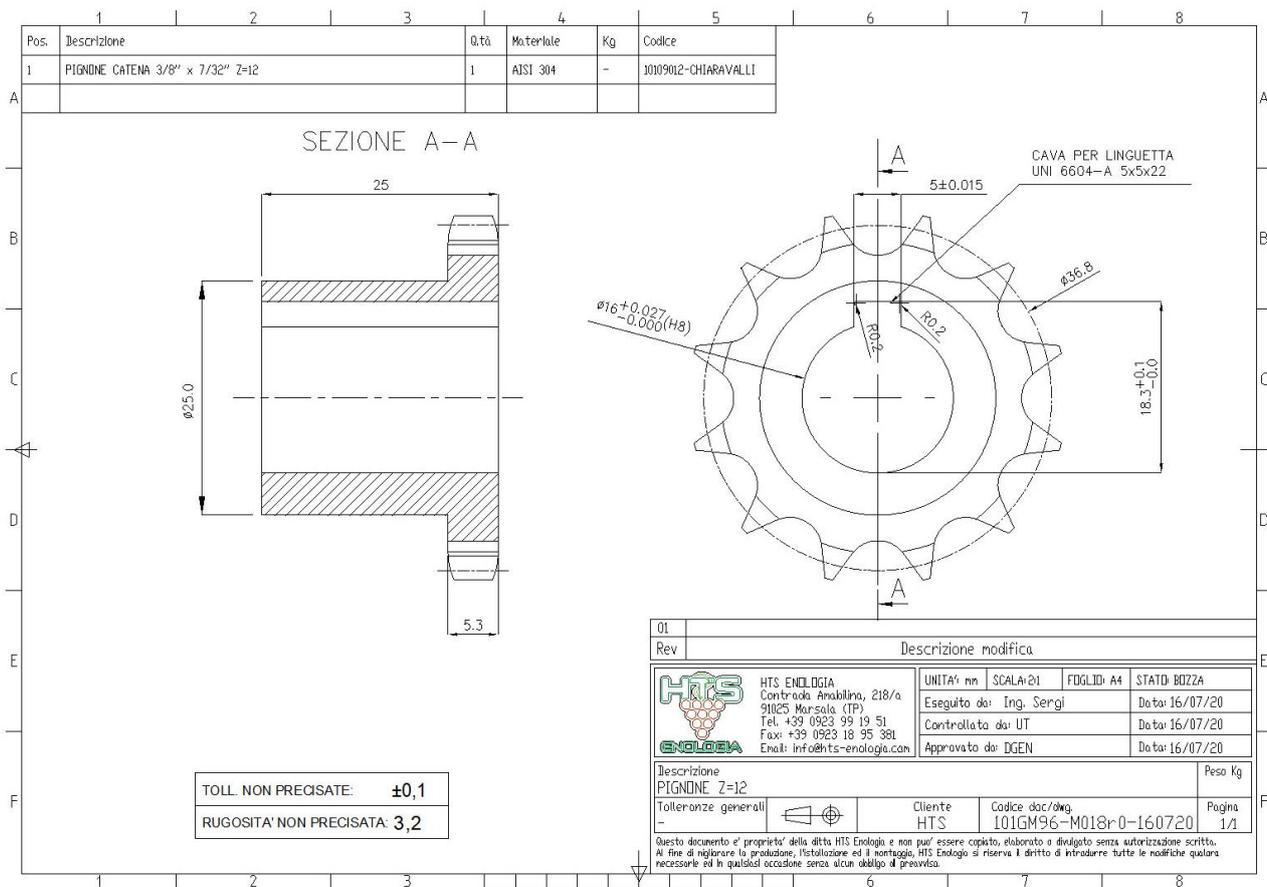
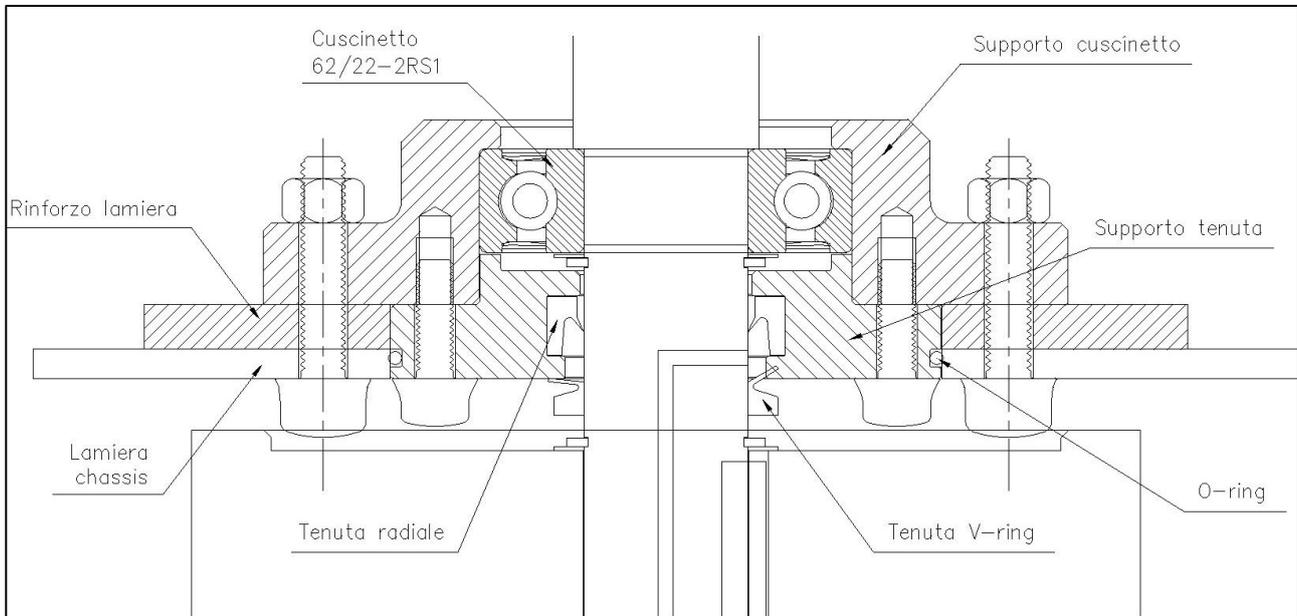


Figura 36 - Disegno costruttivo del pignone

4.5.9 – Sistema di supporti albero trazione

Si ripropone, in questo paragrafo, una descrizione più accurata delle componenti meccaniche presenti nel sistema di supporti e tenute che si interfacciano tra il robot e l'esterno, sull'albero di trazione.



Il “rinforzo lamiera” presenta un foro, di diametro 74 mm, perfettamente combaciante con il rispettivo foro sulla lamiera laterale dello chassis. In fase di montaggio, prima di effettuare il serraggio finale, viene inserito il “supporto tenuta” per garantire il perfetto centraggio del sistema, necessario affinché le tenute lavorino in maniera adeguata. Successivamente viene accostato il “supporto cuscinetto” e vengono serrati i dadi sul lato interno del macchinario.

Le viti che garantiscono l'accoppiamento tra lamiera laterale, rinforzo lamiera e supporto cuscinetto sono M6, mentre quelle che fissano il supporto tenuta al supporto cuscinetto sono delle viti M5. Entrambe presentano, sotto la testa, una guarnizione piatta per evitare infiltrazioni attraverso la filettatura.

Nel caso della lamiera e del rinforzo, entrambi profilati in lamiera AISI 304 tagliata a laser, i fori passanti per le viti hanno una precisione centesimale, derivante dal processo di lavorazione. Per quanto riguarda, invece, i due supporti, questi sono lavorati al tornio e poi forati; dunque, per ottenere una buona precisione di accoppiamento, è stata disegnata, prodotta e consegnata al tornitore un'apposita maschera di foratura, consistente in una lamiera di spessore 3 mm tagliata a laser.

Le viti sono disposte in maniera sfalsata, per garantire alla chiave di serraggio un sufficiente spazio di manovra.

Non è possibile apprezzare questo dettaglio nella sezione bidimensionale precedente; Segue, dunque, una vista in 3D della disposizione delle viti all'esterno del macchinario.

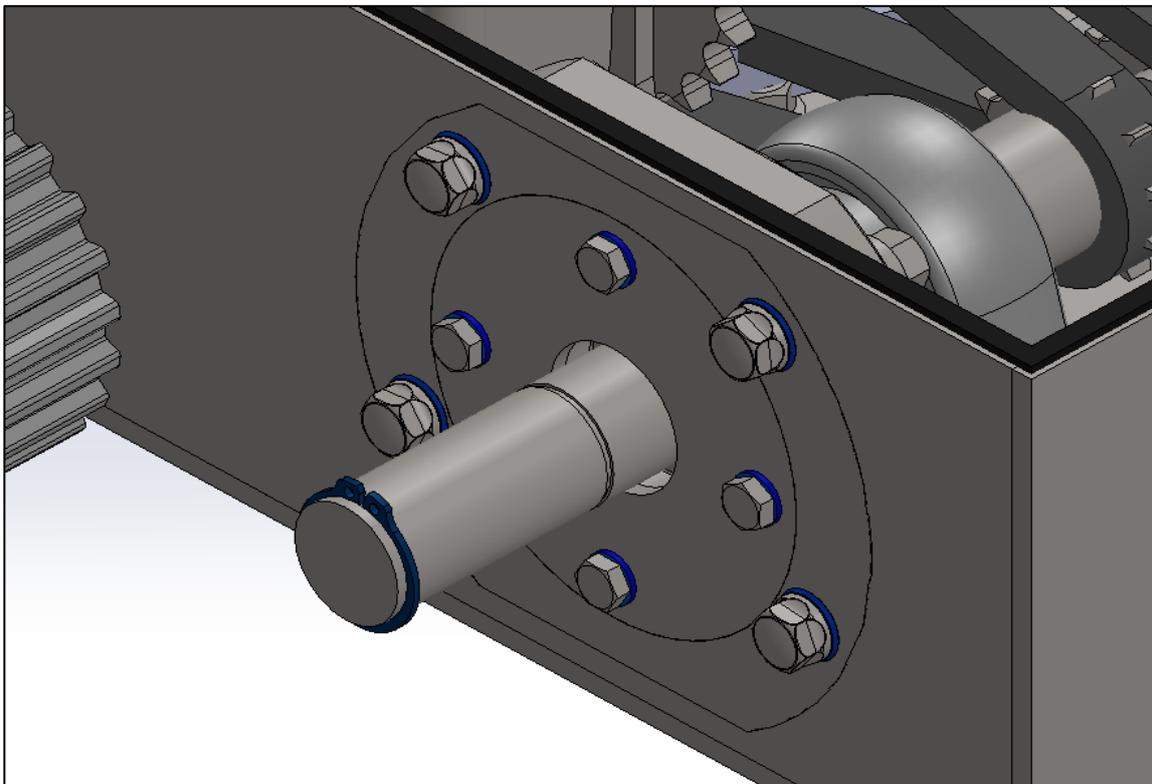


Figura 37 - Vista 3D della disposizione delle viti di fissaggio dei supporti

L'utilizzo del modello 3D è stato inoltre necessario per valutare l'effettiva fattibilità del serraggio di tutte le viti utilizzate nel macchinario, e, nel caso specifico dei supporti descritti in questo paragrafo, dei dadi M6 che vanno bloccati, tramite apposita chiave, sul lato interno.

Utilizzando il modello 3D di una chiave standard per dado M6, si è potuto procedere ad effettuare un "test" dello spazio di manovra della chiave. A valle di questo test si è potuto modificare, in maniera iterativa, il disegno del supporto cuscinetto per garantire il minimo spazio di manovra.

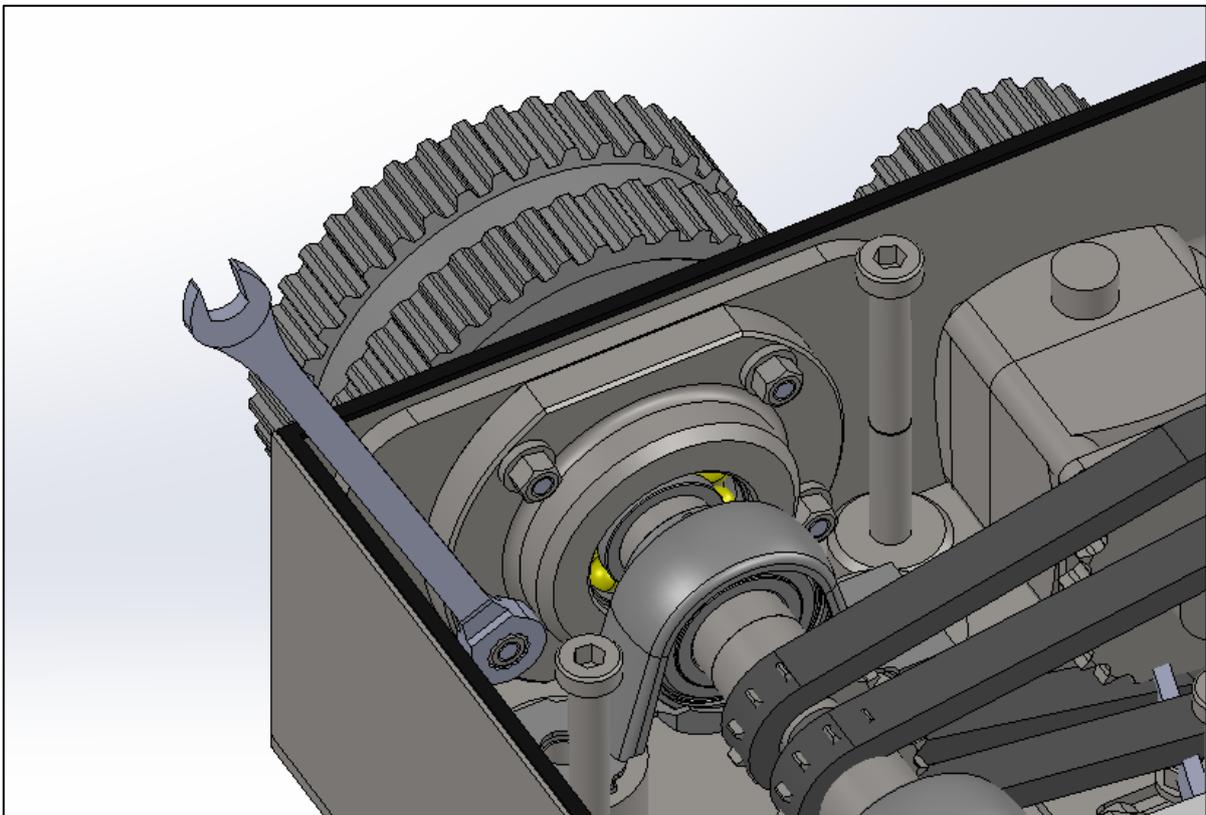


Figura 38 - Test di manovra chiave per serraggio dado M6

Per quanto riguarda le due tenute presenti sull'albero di trazione, si era inizialmente valutata l'opzione di utilizzare una boccola antiusura.

Il labbro della tenuta radiale può infatti, dopo un certo numero di ore di lavoro (che dipendono dalla velocità di rotazione dell'albero e dalla tipologia di sistema di lubrificazione adottato) usurare la superficie dell'albero.

Per evitare di dover sostituire l'intero albero si può prevedere, in fase di progettazione, la presenza di una boccola da installare sull'albero all'altezza della tenuta, che si userà al posto di esso. Il vantaggio risiede nel fatto che, non appena il livello di usura risulterà troppo elevato, si procederà a sostituire un pezzo, ovvero la boccola, molto più economico e semplice da sostituire rispetto all'intero albero.

Tuttavia, vista la semplicità e le dimensioni ridotte dell'albero in questione e dato che l'utilizzo di una boccola avrebbe comportato, nella nostra applicazione, rischio di infiltrazione di liquidi tra la boccola e l'albero, si è deciso di procedere con un albero nudo.

In ogni caso, per massimizzare la vita utile delle tenute e minimizzare l'usura dell'albero, si è ritenuto necessario prevedere un sistema di lubrificazione. Si sono valutate diverse alternative e, infine, si è optato per un nottolino di lubrificazione avvitato su un'estremità dell'albero, all'interno del quale è presente un foro di diametro 3 mm che convoglia il fluido lubrificante nella zona di lavoro delle tenute.



Figura 39 - Dettaglio del nottolino di lubrificazione montato sull'albero di trazione

4.6 – Sistema di sollevamento

Come spiegato in precedenza, l'ingresso del robot all'interno del serbatoio avverrà attraverso la portella standard presente sulla superficie del serbatoio stesso.

Con lo scopo di sfruttare tutto lo spazio a disposizione, le dimensioni finali del robot rendono il suo inserimento all'interno del serbatoio un'operazione molto complessa e delicata.

A valle di un processo di valutazione di diverse proposte e soluzioni, si è deciso di progettare un sistema apposito per sollevare il robot ed inserirlo all'interno del serbatoio. Tale sistema consiste in un'appendice inforcabile per mezzo di carrello elevatore, composta di tubi d'acciaio a sezione rettangolare. Da questa appendice sporge una barra alla cui estremità verrà agganciato il robot.

Nella seguente immagine è possibile osservare il sistema assemblato:



Figura 40 - Appendice inforcabile per il sollevamento e inserimento del robot

L'appendice inforcabile dovrà successivamente essere completata: è stato previsto, infatti, il montaggio di un paranco manuale che, per mezzo di una cinghia, permetterà il sollevamento del robot.

5- Saldatura e montaggio

Le fasi di saldatura delle lamiere e del montaggio di tutte le componenti del robot sono state portate a compimento presso un'officina meccanica della zona cui l'azienda ospitante fa generalmente riferimento.

La fase di saldatura, in particolare, ha richiesto notevole sforzo, attenzione e presenza costante del progettista di fianco all'operatore di officina.

Essendo un prototipo e mancando esperienza pregressa pratica riguardo le operazioni di saldatura, è stato necessario, per ogni particolare saldato, portare avanti una discussione con il tutor aziendale per trovare le metodologie e tecniche di saldatura più idonee.

La principale problematica riscontrata risiede nell'esiguo spessore delle lamiere dello chassis, in relazione alle loro altre dimensioni; A titolo di esempio, la lamiera laterale dello chassis, a fronte di uno spessore di 4 mm, presenta delle dimensioni di 800X180mm e, dunque, risulta indispensabile procedere cautamente con le saldature per evitare deformazioni.

Di seguito alcune immagini relative ai dettagli di saldatura riguardo le principali componenti del macchinario:



Figura 41 - Dettaglio di uno spigolo di saldatura continua delle lamiere dello chassis, lato esterno



Figura 42 - Dettaglio saldatura pulsata dell'albero della puleggia folle, sul lato interno

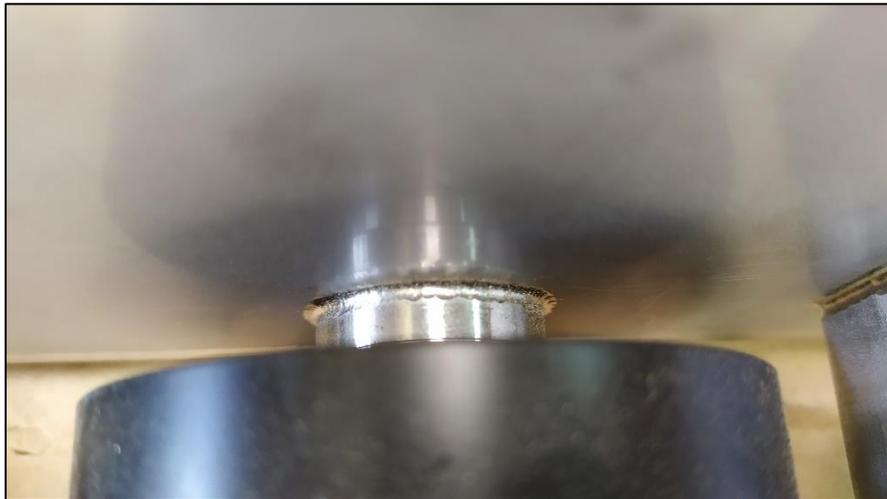


Figura 43 - Dettaglio saldatura pulsata dell'albero della puleggia folle, sul lato esterno



Figura 44 - Dettaglio saldatura pulsata della boccia per le viti del coperchio, lato interno



Figura 45 - Dettaglio saldatura di barre filettate e sopporti sul lato esterno della base in lamiera

6- Elettronica

È stato necessario predisporre un sistema elettronico per il controllo da remoto delle operazioni di pulizia del robot.

Nonostante in un primo momento si era optato per il tentativo di procedere autonomamente alla progettazione del sistema di controllo utilizzando una scheda elettronica, si è successivamente deciso, data la mancanza di conoscenze pregresse sull'argomento, le ridotte tempistiche a disposizione ed avendo riscontrato come le problematiche da risolvere fossero più complicate di quanto previsto, è stato deciso di affidarsi ad una azienda partner, specializzata in programmazione PLC di macchinari.

Il sistema elettronico in oggetto avrebbe dovuto gestire le seguenti necessità:

- Alimentare e comandare due motori brushless a corrente continua con tensione 48V e potenza nominale di 356 W; Il controllo dei motori avrebbe dovuto assolvere la funzione di differenziale elettronico, gestendo le velocità di rotazione dei due cingoli in maniera coordinata per permettere la sterzata e il mantenimento delle traiettorie volute. I motori in questione richiedono in input il segnale da 12 pin, utilizzati per la gestione del loro funzionamento; le informazioni inviate devono essere accuratamente generate e codificate tramite PLC.
- Gestire il posizionamento dello stelo dell'attuatore, per determinare l'inclinazione laterale della pala. L'attuatore è alimentato con corrente continua a 24 V e necessita di 3 pin di segnale.
- Gestire, comandare ed azionare una videocamera a infrarossi, ricevere il video in input e mostrarlo all'operatore per mezzo di monitor;
- Ricevere, dal sensore di temperatura, i valori di temperatura interna allo chassis e, qualora questa superi il valore di 40° C, azionare l'elettrovalvola per la mandata di aria compressa. Il flusso d'aria verrà poi interrotto quando la temperatura tornerà al di sotto di un valore di temperatura adeguato.

Per quanto riguarda il cablaggio delle componenti elettriche, questo è stato svolto autonomamente, insieme alla scelta e all'ordine dei cavi necessari.

Anche in questo campo, le mie conoscenze pregresse risultavano insufficiente, ed è stato dunque necessario apprendere le modalità per la valutazione e la scelta per i cavi necessari ad ogni component elettrico presente all'interno del macchinario.

Dopo aver ricercato tutte le informazioni necessarie all'interno dei manuali dei motori e dell'attuatore, si è potuto procedere alla scelta e all'ordine dei cavi necessari.

Per rispondere alla necessità di mantenere le caratteristiche di idoneità a contatto con gli alimenti di tutto il sistema, si è scelto, invece che acquistare dei cavi con suddette caratteristiche, di prevedere l'utilizzo di una guaina protettiva, con proprietà FDA ed anti-schiacciamento, per accogliere i cavi e convogliarli all'interno del robot.

6.1 – Quadro elettrico e consolle di comando

La produzione e gestione del quadro elettrico è stata affidata ad un consulente esterno, in modo tale da poter avere una soluzione efficiente nel minor tempo possibile.

Il quadro elettrico conterrà al suo interno gli alimentatori a 48 V per i motori e a 24 V per l'attuatore, il compressore per il raffreddamento del robot e un PLC per la gestione e comando di suddetti elementi.

Il quadro elettrico sarà installato alla base di un carrellino sul quale sarà predisposta la consolle di comando del robot.

Sulla consolle saranno presenti i seguenti elementi:

- 2 comandi potenziometrici a joystick per il controllo autonomo dei motori;
- 1 comando a leva per gestire lo stelo dell'attuatore;
- 1 monitor per mostrare il video in ricezione dalla videocamera;
- Joystick per l'orientamento della videocamera motorizzata;
- Pulsante di arresto di emergenza;

6.2 – Sistema di visione

Per quanto riguarda il sistema di visione per mezzo di videocamera, si è dovuto procedere ad un'analisi del mercato per trovare il prodotto più adatto alle esigenze della nostra applicazione.

Le necessità da soddisfare per quanto riguarda il sistema di visione a videocamera erano le seguenti:

- Permettere all'operatore di visionare le operazioni di pulizia senza affacciarsi nel serbatoio;
- Un sistema di visione adatto ad ambienti a scarsa illuminazione;
- Un sistema di visione adatto a condizioni di elevata umidità ambientale;
- Un video mostrato a monitor installato a bordo della consolle di comando;
- Una gestione rapida e intuitiva della videocamera;
- Necessità di una visione in tempo reale e dettagliata delle operazioni di pulizia;
- Necessità di avere un contatto diretto tra videocamera e monitor, senza l'utilizzo di rete internet, in quanto non è possibile garantire la disponibilità di connessione presso il cliente utilizzatore;
- Necessità di rapido montaggio e smontaggio del sistema per muovere il macchinario tra diversi serbatoi.

Allo scopo di trovare il prodotto più adatto alle esigenze sopra elencate, è stato necessario procedere ad una ricerca, avvalendosi dell'aiuto del responsabile informatico dell'azienda.

Sono stati contattati diversi fornitori di videocamere per il settore industriale e della videosorveglianza, dai quali è stato possibile ricevere importanti indicazioni e consulenze.

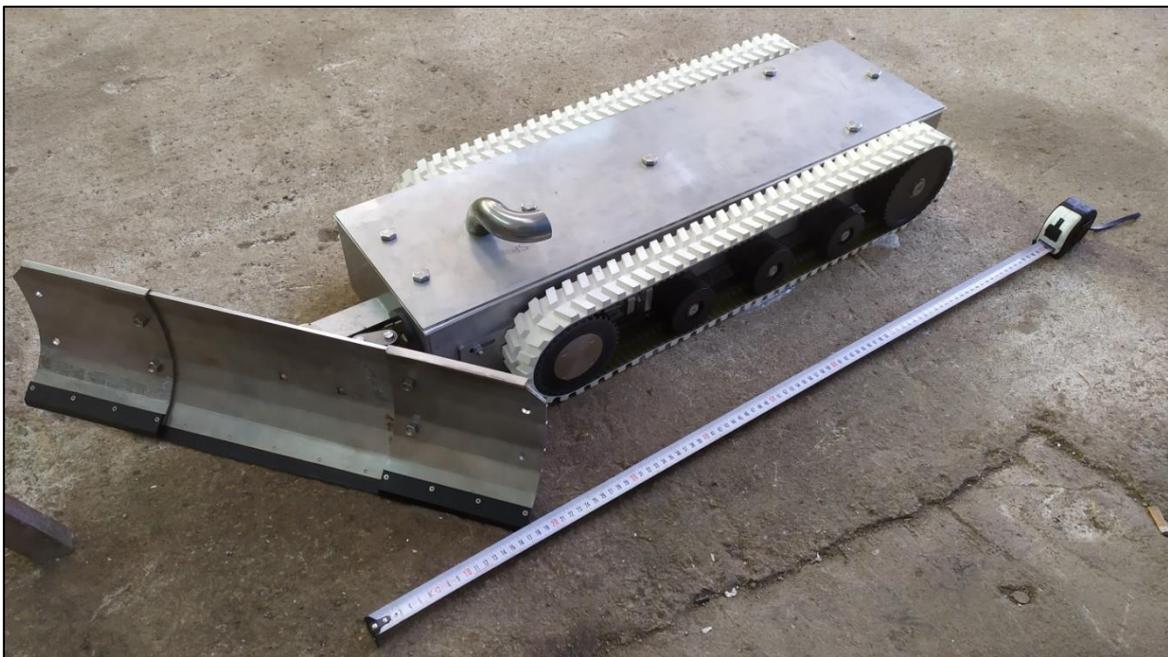
La scelta finale è ricaduta su una videocamera utilizzata per la videosorveglianza di ambienti esterni, dotata di un controllo PTZ (pan-tilt-zoom) motorizzato, gestito in maniera molto intuitiva per mezzo di joystick.

Vista l'esigenza di un rapido montaggio e smontaggio, non è possibile un'installazione fissa della videocamera sulla parete del serbatoio, tramite la staffa standard fornita dal produttore. Di conseguenza, si prevede l'utilizzo di una staffa, appositamente disegnata, che verrà fissata per mezzo di morsetti sulla portella del serbatoio o per mezzo di ventosa sulla lamiera in acciaio del serbatoio.

Conclusioni

Nel corso dell'esperienza di tirocinio svolto per dare corpo alla presente Tesi di Laurea, è stato possibile, grazie soprattutto alla disponibilità e competenza delle figure professionali dell'azienda ospitante, portare a compimento un progetto molto ambizioso e complesso. Nonostante molte problematiche siano sorte, la grande mole di lavoro, i rallentamenti e gli inconvenienti tecnici, è un grande traguardo l'aver dato forma a un macchinario che potrà, in futuro, apportare un contributo importante all'incremento del livello tecnologico delle cantine, ed alla riduzione del rischio di fatalità legato alle operazioni di pulizia dei grandi serbatoi.

Nella figura seguente viene illustrato il risultato finale, frutto del lavoro e degli sforzi effettuati nell'intero corso del tirocinio.



Nonostante l'impegno profuso, non è stato possibile raggiungere tutti gli obiettivi che erano stati prefissati in partenza: Date le tempistiche ristrette, per quanto il montaggio del macchinario sia stato portato a compimento, non è stato possibile procedere con lo start-up della parte elettronica e dunque effettuare un test prototipale.

Tuttavia, insieme con il tutor ed il dirigente aziendale, data la qualità del lavoro svolto e con la consapevolezza che questo progetto possa essere portato a un livello superiore, si è deciso di procedere con lo sviluppo prototipale per poi effettuare dei test e portare avanti alcune modifiche e migliorie, con l'auspicio di poter creare un prodotto perfettamente funzionante da poter immettere nel mercato.

Indice delle figure

Figura 1 - Prototipo del robot assemblato	2
Figura 2 - Un serbatoio enologico di capienza 5000 hl, con portella ovale standard	4
Figura 3 Relazione tra la percentuale di ossigeno nell'aria inspirata e sintomatologia, "Andamento degli infortuni sul lavoro e delle malattie professionali" INAIL, 2019 ^[06]	5
Figura 4 Distribuzione degli infortunati per natura delle lesioni.....	6
Figura 5 per tipologia di ambiente confinato	6
Figura 6 - Robot utilizzato per la pulizia dei serbatoi del settore petrolchimico	11
Figura 7 - vista superiore del robot	17
Figura 8 - Motore "DCA63L" della SEW-Eurodrive, scelto per la motorizzazione del robot	20
Figura 9 – Sistema di trasmissione	22
Figura 10 - Sistema di trasmissione montato	22
Figura 11 – Disegno di assiemi del sistema di supporti.....	23
Figura 12 - Disegno della cinghia dentata	26
Figura 13 - Cinghia dentata.....	26
Figura 14 - Pala in posizione estesa.....	27
Figura 15 - Pala in posizione retratta.....	27
Figura 16 - Dettaglio sistema di molle per l'inclinazione della pala	28
Figura 17 - Attuatore lineare elettrico "con35"	29
Figura 18 - Particolare del collegamento tra attuatore e pala	30
Figura 19 - Chassis "nudo"	31
Figura 20 - Boccole filettate per serraggio delle viti del coperchio.....	32
Figura 21 - Isolamento del coperchio per mezzo di guarnizione piatta in FDA bianco	32
Figura 22 - Dettaglio bloccaggio della guarnizione del coperchio per mezzo di dentelli	33
Figura 23 - Disegno dell'albero di trazione	34
Figura 24 - Disegno della puleggia motrice	35
Figura 25 - Puleggia motrice montata nel robot	36
Figura 26 - Disegno della puleggia condotta	37
Figura 27 - Supporto a slitta della puleggia condotta	38
Figura 28 - Supporto a slitta della puleggia condotta finito	39
Figura 29 - Pulegge folli disposte su un lato del robot	40
Figura 30 - Dettaglio degli alberini saldati sulla lamiera laterale, con (sinistra) e senza (destra) puleggia montata	40
Figura 31 - Disegno della boccola di supporto delle tenute dell'attuatore.....	42
Figura 32 - rappresentazione 3D del supporto del motore destro	43
Figura 33 - rappresentazione 3D della disposizione dei supporti dei motori.....	44
Figura 34 Disposizione finale dei supporti dei motori.....	44
Figura 35 – Disegno di assiemi della corona	45
Figura 36 - Disegno costruttivo del pignone.....	46
Figura 37 - Vista 3D della disposizione delle viti di fissaggio dei supporti	48
Figura 38 - Test di manovra chiave per serraggio dado M6	49
Figura 39 - Dettaglio del nottolino di lubrificazione montato sull'albero di trazione	50
Figura 40 - Appendice inforcabile per il sollevamento e inserimento del robot.....	51
Figura 41 - Dettaglio di uno spigolo di saldatura continua delle lamiere dello chassis, lato esterno	52
Figura 42 - Dettaglio saldatura pulsata dell'albero della puleggia folle, sul lato interno.....	53
Figura 43 - Dettaglio saldatura pulsata dell'albero della puleggia folle, sul lato esterno	53
Figura 44 - Dettaglio saldatura pulsata della boccola per le viti del coperchio, lato interno	54
Figura 45 - Dettaglio saldatura di barre filettate e sopporti sul lato esterno della base in lamiera	54

Bibliografia

- [01] <http://www.diwinetaste.com/> “Fare il Vino: Colmature e Travasi”;
- [02] <http://www.entevinibresciani.it/> “Fecce e vinacce”;
- [03] https://www.testo-unico-sicurezza.com/_media/lavori-spazi-confinati-cantine-vinicole.pdf;
- [04] “D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81, TESTO UNICO SULLA SALUTE E SICUREZZA SUL LAVORO” Gazzetta Ufficiale n. 101 del 30 aprile 2008;
- [05] <http://www.treccani.it/> “Asfissia”;
- [06] “Andamento degli infortuni sul lavoro e delle malattie professionali” INAIL, 2019;
- [07] “Gli ambienti confinati”, INAIL – Sistema di sorveglianza degli infortuni mortali sul lavoro, 2017;
- [08] [Fatal occupational injuries involving confined spaces, 2011-2018](#), OSHA;
- [09] <https://www.localnews24.it/16/01/2019/asti-incidente-sul-lavoro-grave-25enne/>
- [10] <https://www.fanpage.it/attualita/treviso-cade-in-una-cisterna-mentre-sta-lavorando-morto-operaio-43enne/>
- [11] <https://www.tp24.it/2012/07/23/economia/tragedia-sul-lavoro-alle-cantine-mothia-di-marsala-muore-un-operaio-mentre-puliva-da-solo-un-silos/60503>
- [12] <https://corrieredelveneto.corriere.it/veneto/notizie/cronaca/2009/15-dicembre-2009/intossicati-cisterna-vino--1602158670576.shtml>
- [13] <https://ricerca.repubblica.it/repubblica/archivio/repubblica/2003/06/12/tre-operai-uccisi-in-cantina-dalle-esalazioni.html>
- [14] <https://illavorodebilta.files.wordpress.com/2012/09/1998.pdf> - La Gazzetta del Sud 13 Ott 1998
- [15] <https://www.quattrocalici.it/conoscere-il-vino/pigiatura-e-diraspatura/>;
- [16] <https://www.marcellomarchesini.it/> “Metodi di vinificazione: in bianco, in rosso e in rosato”;
- [17] https://it.wikipedia.org/wiki/Peso_specifico