



**Politecnico
di Torino**

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria meccanica

Tesi di Laurea Magistrale

Impianto di mungitura automatico per ovicaprini

Progettazione e realizzazione di un prototipo per la mungitura robotica

Relatori

prof. Giuseppe Quaglia
prof.ssa Daniela Maffiodo

Candidato

Massimo BALVIS
matricola: 265192

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

Sommario

Il documento riporta le analisi e le considerazioni effettuate con lo scopo di progettare e realizzare il prototipo di un impianto di mungitura per ovicaprini interamente automatizzato. Inizialmente sono stati introdotti i principali sistemi di mungitura presenti attualmente sul mercato, interamente automatici e manuali. Successivamente si sono analizzate le varie problematiche relative alla realizzazione di un impianto di questo tipo. In particolare, la tesi si concentra nello studio di una postazione in grado di immobilizzare l'animale in una posizione adatta a consentire la mungitura automatica. Sono stati studiati dei sistemi di immobilizzazione in grado di agire sulle zampe posteriori e sul suo addome. Sono state proposte diverse alternative, per ognuna delle quali sono stati presentati i vantaggi e gli svantaggi. Considerando le migliori soluzioni trovate, è stata progettata una postazione di mungitura completa e, successivamente, ne è stato realizzato il prototipo. Il prototipo è stato costruito in parte, infatti, le prove presentate in questo documento riguardano solamente il sistema di immobilizzazione delle zampe posteriori. Le prove del prototipo parziale rappresentano l'ultima parte di studio descritta in questo documento. Queste hanno evidenziato delle criticità legate alla geometria di alcuni componenti del sistema di immobilizzazione.

Indice

Elenco delle figure	5
1 Introduzione	7
2 Stato dell'arte	9
2.1 Impianti di mungitura parzialmente automatizzati	9
2.1.1 Sistema del vuoto	9
2.1.2 Pulsatore	9
2.1.3 Gruppo prendi-capezzoli (o gruppo di mungitura)	10
2.1.4 Lattodotto	10
2.1.5 Struttura di immobilizzazione dell'animale	10
2.1.6 Funzionamento dell'impianto e ciclo di mungitura	11
2.2 Impianti di mungitura interamente automatizzati	12
3 Analisi dei requisiti di progetto e studio di fattibilità	18
4 Progettazione del meccanismo di presa delle zampe posteriori	23
4.1 Dispositivo di presa pneumatico	23
4.2 Dispositivo di presa meccanico a elementi rigidi	29
4.3 Dispositivo di presa meccanico a elementi flessibili	32
5 Progettazione del meccanismo di sollevamento dell'animale	35
5.1 Supporto addominale con azionamento di tipo vite-madrevite posizionato sotto il piano di calpestio	35
5.2 Supporto addominale con piattaforma elevatrice posizionata sotto il piano di calpestio	37
5.3 Supporto addominale con azionamenti del tipo vite-madrevite posizionati ai lati della postazione	39
6 Progettazione della postazione di mungitura	43
7 Realizzazione del prototipo	55
8 Prove preliminari	63
9 Conclusioni	69

Elenco delle figure

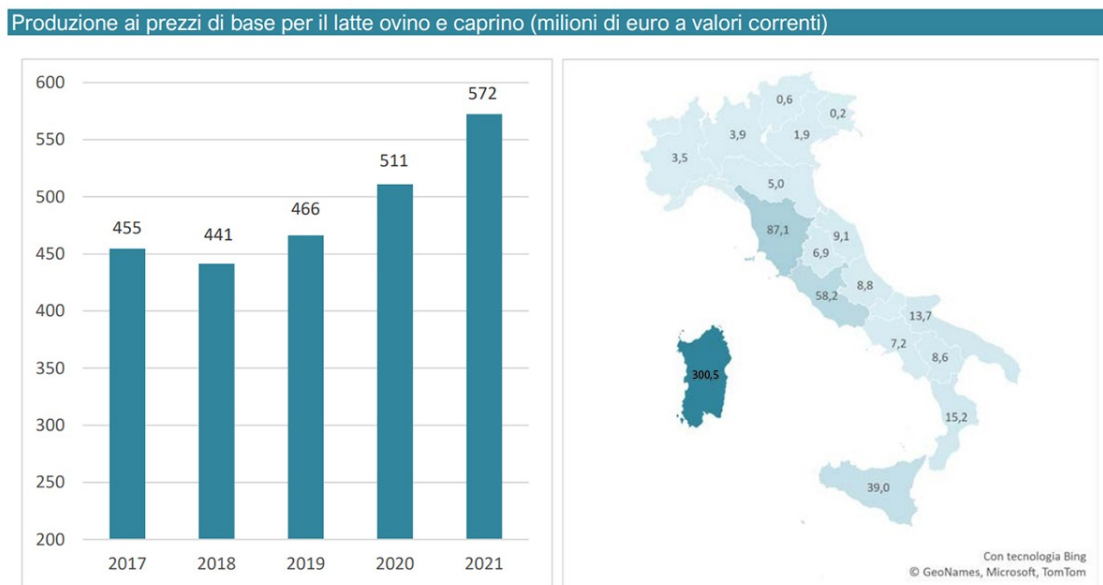
1.1	Dati Ismea della produzione di latte ovino e caprino in Italia	7
1.2	Dati Istat relativi all'andamento demografico della regione Sardegna dal 2001 al 2022	8
2.1	Componenti principali di un impianto di mungitura per ovini, non comprende la struttura di immobilizzazione	10
2.2	Pompe vuoto. Fonte: Catalogo DeLaval - Pompe del vuoto DVP e DVPF	11
2.3	Pulsatore elettrico. Fonte: www.delaval.com	12
2.4	Gruppo di mungitura. Fonte: www.delaval.com	13
2.5	Dettaglio del prendi-capezzolo	14
2.6	Particolare del meccanismo di immobilizzazione del collo applicato alla mungitura dei caprini. Fonte: www.delaval.com	15
2.7	Tipi di strutture di immobilizzazione	15
2.8	Impianto di mungitura completo, con postazioni disposte in parallelo. Fonte: www.pendoz.bg	16
2.9	Planimetria di un locale di mungitura a 24 postazioni disposte in parallelo	16
2.10	Impianto di mungitura interamente automatizzato. Fonte: www.westcoastrobotics.ca	17
3.1	Sistema di immobilizzazione in posizione di rilascio dell'animale	19
3.2	Sistema di immobilizzazione in posizione di presa dell'animale	19
3.3	Disegno concettuale rappresentante la disposizione dei bracci robotici rispetto alla struttura di immobilizzazione	20
3.4	Disegno raffigurante la postazione di immobilizzazione compresa di parete divisoria centrale	21
4.1	Zampe anteriori ovino	24
4.2	Dispositivo di presa pneumatico con camera a forma toroidale	24
4.3	Dispositivo di presa pneumatico con due camere a forma cilindrica	25
4.4	Esempio di postazione con dispositivo di presa pneumatico con camera a forma toroidale	26
4.5	Esempio di postazione con dispositivo di presa pneumatico con due camere a forma cilindrica	27
4.6	Modello del dispositivo di presa pneumatico	27
4.7	Dimensioni note dell'animale considerato	28
4.8	Disegno funzionale del dispositivo di presa a due camere	28
4.9	Disegno concettuale dell'elemento di presa rigido	29
4.10	Disegno funzionale del sistema di immobilizzazione dotato di elemento rigido	30
4.11	Posizioni di lavoro del sistema di immobilizzazione dotato di elemento rigido	31
4.12	Posizionamento degli attuatori	31

4.13	Disegno concettuale raffigurante il meccanismo di immobilizzazione con materiale elastico	32
4.14	Modello del sistema di immobilizzazione con elementi flessibili	33
4.15	Posizioni di lavoro del sistema di immobilizzazione dotato di elementi flessibili . . .	33
4.16	Componenti principali del sistema di immobilizzazione delle zampe posteriori . . .	34
5.1	Disegno funzionale raffigurante il supporto addominale	36
5.2	Supporto addominale abbassato	37
5.3	Supporto addominale alzato	37
5.4	Disegno funzionale raffigurante il supporto addominale	38
5.5	Supporto addominale abbassato	39
5.6	Supporto addominale alzato	39
5.7	Disegno funzionale raffigurante il supporto addominale	40
5.8	Supporto addominale abbassato	41
5.9	Supporto addominale alzato	41
5.10	Disegno funzionale raffigurante i soffietti per isolare i componenti sensibili interni .	42
6.1	Vista frontale del modello CAD completo della postazione di mungitura	44
6.2	Vista posteriore del modello CAD completo della postazione di mungitura	45
6.3	Dettaglio delle sezioni aperte presenti sul piano del supporto addominale	46
6.4	Dettaglio delle protezioni telescopiche	47
6.5	Dettaglio del posizionamento della zampa all'interno della protezione telescopica .	47
6.6	Dettaglio della parete centrale pieghevole alzata, inglobata nel supporto addominale	48
6.7	Dettaglio della parete centrale pieghevole abbassata, inglobata nel supporto addo- minale	49
6.8	Parete centrale durante la fase di ingresso dell'animale	50
6.9	Parete centrale durante la fase di mungitura dell'animale	50
6.10	Parete centrale durante la fase di preparazione all'uscita dell'animale	51
6.11	Parete centrale durante la fase di uscita dell'animale	51
6.12	Fase di apertura della porta anteriore	52
6.13	Fase di chiusura della porta anteriore	52
6.14	Meccanismo di immobilizzazione del collo	53
6.15	Posizioni iniziale e finale assunte dal meccanismo di immobilizzazione del collo . .	53
6.16	Dettaglio delle posizioni assunte dall'elemento di blocco in funzione della rotazione del collare	54
7.1	Dettaglio delle lamiere installate nel nuovo modello CAD del prototipo	56
7.2	Circuito logico di controllo	58
7.3	Nomenclatura degli attuatori pneumatici posizionati nell'assieme	59
7.4	Diagramma di corpo libero del sistema di immobilizzazione delle zampe posteriori	59
7.5	Immagine reale del prototipo completo	60
7.6	Immagine reale del sistema di immobilizzazione delle zampe posteriori	61
7.7	Immagine reale del meccanismo di immobilizzazione del collo	61
7.8	Immagine reale del circuito elettro-pneumatico	62
8.1	Disposizione della zona di prova	65
8.2	Disposizione della real zona di prova	66
8.3	Immagine reale del sistema di immobilizzazione del collo nella fase di presa	67
8.4	Immagine reale del sistema di immobilizzazione delle zampe posteriori nella fase di presa	68

Capitolo 1

Introduzione

Da un'analisi effettuata nel 2022 dall'Istituto di Servizi per il Mercato Agricolo Alimentare (Ismea) [1], l'Italia è, con il 21 per cento di latte prodotto, tra le maggiori produttrici europee di latte proveniente da allevamenti ovini e caprini, dopo Grecia e Spagna. In Italia il 78 per cento della produzione è realizzato in sole tre regioni: Sardegna, Toscana e Lazio. Nel 2021 l'allevamento ovicaprino ha generato un volume di produzione pari a 740 milioni di euro, di cui 572 milioni destinati al segmento latte (si può vedere la variazione in figura 1.1), con un aumento dell'11 per cento sul totale rispetto all'anno 2020. Solo in Sardegna, come è possibile vedere in figura, la produzione si attesta intorno a 300,5 milioni di euro. Sempre dalla stessa analisi, è stata verificata

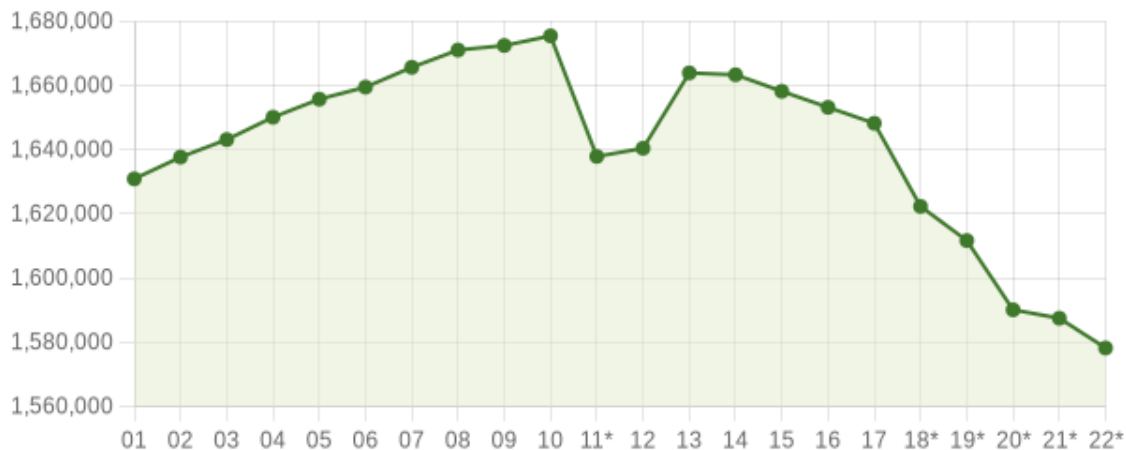


Fonte: elaborazioni Ismea su dati Istat

Figura 1.1: Dati Ismea della produzione di latte ovino e caprino in Italia

una riduzione del numero di allevatori dovuta all'abbandono delle piccole aziende e, si è verificata, inoltre, un aumento delle dimensioni delle aziende ancora esistenti. Si considerino adesso i dati demografici fatti dall'ISTAT ([2]) relativi alla regione Sardegna, che, come indicato, è una delle regioni italiane in cui la produzione di latte ovicaprino è maggiore. In figura 1.2 sono rappresentati

i dati demografici ISTAT elaborati da tuttitalia.it, relativi alla regione Sardegna per il periodo compreso tra il 2001 e il 2022. Come è possibile vedere, la Sardegna, dal 2013 in poi, è interessata da un marcato spopolamento, che è in controtendenza con la produzione di latte regionale. Da



Andamento della popolazione residente

SARDEGNA - Dati ISTAT al 31 dicembre di ogni anno - Elaborazione TUTTITALIA.IT

(*) post-censimento

Figura 1.2: Dati Istat relativi all'andamento demografico della regione Sardegna dal 2001 al 2022

queste analisi si evince che, per soddisfare la domanda futura di latte ovicaprino, dal momento che si presume ci sarà una riduzione di manodopera specializzata, sarà necessario introdurre delle innovazioni di processo produttivo in grado di aumentare la produzione anche con un numero di manodopera inferiore. La fase di mungitura negli allevamenti ovicaprini da latte, seppur essendo un'attività molto importante, risulta molto dispendiosa in termini di tempo. Si è quindi pensato a come ideare un sistema di mungitura interamente automatizzato da impiegare in questo settore di produzione. Nel presente documento si descrivono i principali dispositivi disponibili in commercio utilizzati in questo tipo di allevamenti e si analizza, inoltre, l'impianto di mungitura interamente automatizzato utilizzato nel settore degli allevamenti bovini. Si sono analizzati i principali problemi che si presentano durante la fase di mungitura svolta con impianti di mungitura manuali, che in questo caso vengono risolti all'occorrenza dall'operatore e, successivamente, si sono studiati dei sistemi meccanici grado di evitare la presenza di questi problemi e rendere praticabile una mungitura automatica. I principali problemi riscontrati derivano dai movimenti compiuti dall'animale, che, in alcuni casi, possono ostacolare l'operazione di mungitura. Si sono quindi studiati dei sistemi meccanici in grado di ostacolare il libero movimento dell'animale all'interno di una postazione di mungitura. La fase di studio e di progettazione si è conclusa con la costruzione di un prototipo e con l'esecuzione delle prove su questo per verificare l'effettivo funzionamento dei sistemi studiati.

Capitolo 2

Stato dell'arte

Si riporta di seguito la descrizione e il funzionamento delle principali tipologie di impianto utilizzate al giorno d'oggi dalle aziende agricole moderne, prendendo come esempio gli impianti prodotti da due delle principali aziende che operano in questo mercato, l'azienda svedese *DeLaval* e l'azienda olandese *Lely*.

In particolare, si vogliono distinguere due tipi di impianti: impianti di mungitura parzialmente automatizzati e impianti di mungitura interamente automatizzati.

2.1 Impianti di mungitura parzialmente automatizzati

Questo tipo di impianto è utilizzato per la mungitura dei bovini e degli ovicaprini.

Il sistema è composto dalle seguenti componenti principali (lo schema dell'impianto è rappresentato in figura 2.1)[3]:

- Sistema del vuoto;
- Pulsatore;
- Gruppo prendi-cappezzoli;
- Lattodotto;
- Struttura di immobilizzazione dell'animale (non rappresentata in figura).

Il compito dell'operatore è quello di collegare manualmente il gruppo prendi-cappezzoli alla mammella dell'animale, permettendo quindi l'inizio della fase di mungitura.

2.1.1 Sistema del vuoto

Il sistema del vuoto consente di creare una differenza di pressione tra l'interno e l'esterno della mammella, il vuoto viene creato attraverso una pompa (figura 2.2) azionata da un motore elettrico.

2.1.2 Pulsatore

Se la depressione applicata alla mammella rimanesse continua, la mammella sarebbe sottoposta a uno stress elevato. Per risolvere questo problema si applica un vuoto pulsante, alternando l'aria a pressione atmosferica con il vuoto. In questo modo la mungitura risulta più naturale. Il pulsatore (figura 2.3), azionato da una valvola controllata elettronicamente, serve appunto ad alternare la pressione a vuoto con quella atmosferica operando con una frequenza determinata dal tipo di animale.

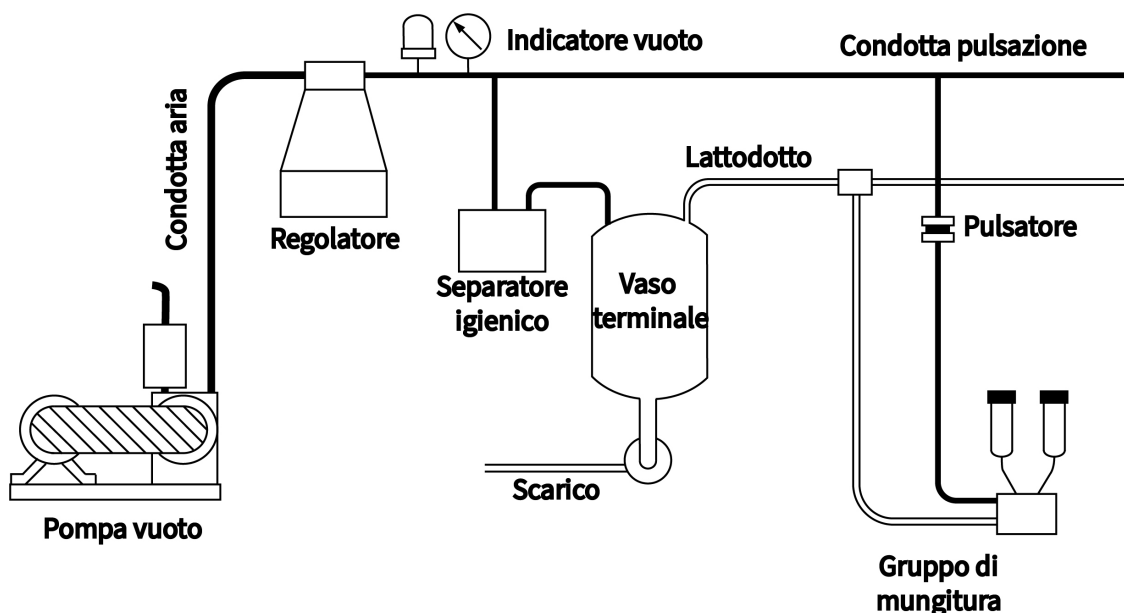


Figura 2.1: Componenti principali di un impianto di mungitura per ovini, non comprende la struttura di immobilizzazione

2.1.3 Gruppo prendi-capezzoli (o gruppo di mungitura)

Il gruppo di mungitura (figura 2.4) è il componente con il quale si collega la mammella dell'animale. Consente di eseguire l'operazione di mungitura e di raccolta del latte. Il prendi-capezzolo è composto da tre elementi principali: guaina, porta-guaina e collettore (figura 2.5). Il diametro e il numero di prendi-capezzoli sono scelti in base al tipo di animale. Il gruppo è composto da due prendi-capezzoli se si effettua la mungitura degli ovicaprini, quattro prendi-capezzoli nel caso dei bovini.

2.1.4 Lattodotto

Il lattodotto permette il collegamento del gruppo di mungitura al vaso di raccolta del latte con il quale il latte viene mandato nei serbatoi refrigeranti attraverso una pompa.

2.1.5 Struttura di immobilizzazione dell'animale

Affinché la mungitura avvenga correttamente è necessario che l'animale rimanga immobile, o che il suo movimento sia limitato. L'immobilizzazione dell'animale avviene attraverso un dispositivo meccanico che agisce bloccando il suo collo (figura 2.6) evitando degli spostamenti che causerebbero il distacco del gruppo di mungitura dalla mammella, bloccando quindi l'operazione di mungitura. La struttura di immobilizzazione è simile sia nel caso dei bovini che nel caso degli ovicaprini. Solitamente la struttura permette di accogliere più animali in contemporanea. La disposizione delle postazioni di immobilizzazione può essere parallela (figura 2.7a) o radiale, chiamata anche a giostra (figura 2.7b).



Figura 2.2: Pompe vuoto. Fonte: Catalogo DeLaval - Pompe del vuoto DVP e DVPF

2.1.6 Funzionamento dell'impianto e ciclo di mungitura

Si riporta di seguito (figura 2.8) la foto di un moderno impianto di mungitura per ovicaprini, con postazioni disposte in parallelo. Nella planimetria seguente (figura 2.9) sono invece riportate le principali aree di lavoro. A differenza dell'impianto presente nell'immagine precedente (figura 2.8), le postazioni di immobilizzazione sono disposte solamente su un lato della fossa dell'operatore, ma il processo di mungitura è il medesimo. Si riportano di seguito le varie fasi di lavoro:

- Fase 1: gli animali vengono condotti nella sala d'attesa;
- Fase 2: l'operatore gestisce il passaggio degli animali provenienti dalla sala d'attesa garantendo l'ingresso di un numero esatto di animali, pari al numero di postazioni presenti. Ogni postazione è dotata di una mangiatoia che invita l'animale a chinarsi e quindi ad attivare il meccanismo di immobilizzazione del collo. Questo processo si ripete in ogni singola postazione.
- Fase 3: terminata l'immobilizzazione di tutti gli animali presenti in ogni postazione, l'operatore inizia la fase di mungitura vera e propria, collegando il gruppo di mungitura alla mammella dell'animale;
- Fase 4: Terminata la mungitura, il gruppo di mungitura viene rimosso dalla mammella;



Figura 2.3: Pulsatore elettrico. Fonte: www.delaval.com

- Fase 5: si ripetono le fasi 3 e 4 per ogni singolo animale;
- Fase 6: completata la mungitura di tutti gli animali presenti nelle 24 postazioni, l'operatore disabilita il meccanismo di blocco del collo degli animali, consentendone l'uscita verso l'area esterna alla zona di mungitura. L'uscita degli animali, a seconda del tipo di postazione, può essere laterale (freccia azzurra in figura 2.9) o frontale (freccia verde in figura 2.9);
- Fase 7: partendo dalla fase 2 si inizia nuovamente il ciclo fino a quando viene completata la mungitura di tutti gli animali presenti nella sala d'attesa.

2.2 Impianti di mungitura interamente automatizzati

Gli impianti di mungitura interamente automatizzati attualmente disponibili sul mercato consentono solamente la mungitura dei bovini. Il funzionamento del circuito di mungitura, ovvero del sistema del vuoto, dei pulsatori, del gruppo di mungitura e del lattodotto è simile a quello dell'impianto parzialmente automatizzato, la principale differenza riguarda la gestione dell'animale, il tipo di struttura di immobilizzazione e la presenza di un braccio robotico che si occupa di gestire il collegamento del gruppo di mungitura alla mammella dell'animale. Si riporta in figura 2.10 un



Figura 2.4: Gruppo di mungitura. Fonte: www.delaval.com

esempio di questo tipo di impianto, nella quale si può vedere che la struttura di immobilizzazione presenta una sola postazione, composta anche in questo caso da un meccanismo di blocco che agisce sul collo dell'animale. Inoltre, è visibile il braccio robotico nella fase di collegamento del gruppo di mungitura alla mammella. In alcuni casi il braccio robotico è installato anche in strutture a giostra (già riportate in figura 2.7b), permettendo di utilizzare un singolo braccio per il collegamento dei gruppi di mungitura a più animali. L'utilizzo dell'impianto di mungitura interamente automatizzato permette di avere una gestione differente della mandria nella fase precedente alla mungitura. In questo caso non è più necessaria una sala d'attesa per gli animali, infatti, questo tipo di impianto è installato direttamente nella stalla (il numero di postazioni varia in base al numero di capi presenti in stalla) ed è dotato di aperture automatiche che consentono l'accesso o l'uscita dell'animale. Si riportano di seguito le fasi di lavoro che si presentano utilizzando un impianto di mungitura interamente automatico a postazione singola:

- Fase 1: i bovini presenti nella stalla accedono all'impianto di mungitura;
- Fase 2: attraverso dei sensori viene letto il codice identificativo dell'animale e, grazie all'apertura automatica, viene consentito l'ingresso nella postazione;
- Fase 3: la porta si chiude evitando che altri bovini entrino nella postazione;
- Fase 4: viene immobilizzato il collo dell'animale grazie al meccanismo di blocco;

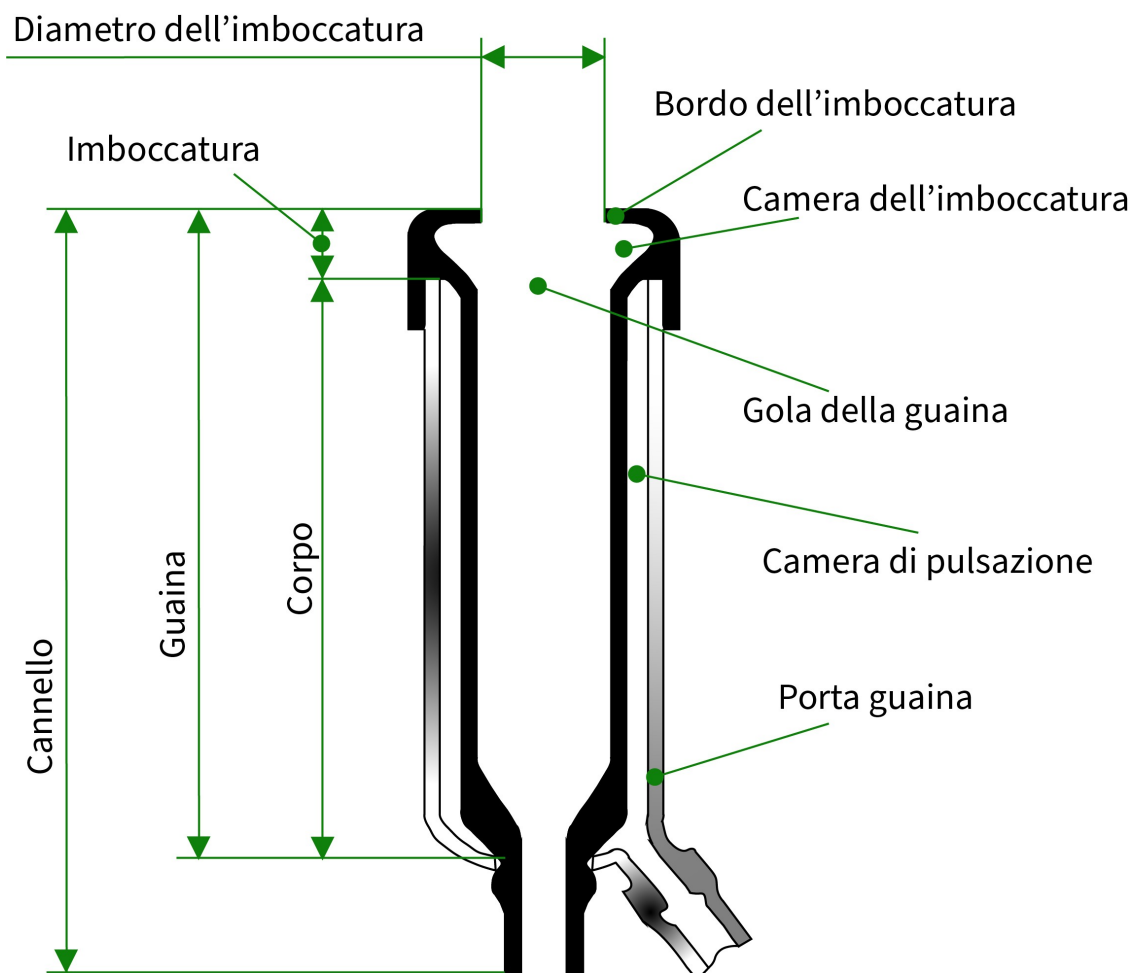


Figura 2.5: Dettaglio del prendi-capezzolo

- Fase 5: viene rilevata la posizione della mammella e, quindi, dei capezzoli. La lettura della posizione viene eseguita tramite dei laser;
- Fase 6: il braccio robotico, nota la posizione dei capezzoli, collega il gruppo di mungitura. Inizia quindi la fase di mungitura;
- Fase 7: terminata la mungitura, il robot rimuove il gruppo di mungitura;
- Fase 8: viene disattivato il meccanismo di immobilizzazione, liberando quindi il collo dell'animale;
- Fase 9: in modo automatico viene aperta la porta posta anteriormente all'animale, consentendone la sua uscita dalla postazione.
- Fase 10: la porta frontale viene chiusa e si ripeta il ciclo a partire dalla fase 2.



Figura 2.6: Particolare del meccanismo di immobilizzazione del collo applicato alla mungitura dei caprini. Fonte: www.delaval.com



(a) *Struttura di immobilizzazione con postazioni disposte in parallelo.* Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=JBsdpHgUFN0>



(b) *Struttura di immobilizzazione con postazioni disposte radialmente.* Fonte: www.agromasters.gr

Figura 2.7: Tipi di strutture di immobilizzazione



Figura 2.8: Impianto di mungitura completo, con postazioni disposte in parallelo. Fonte: www.pendoz.bg

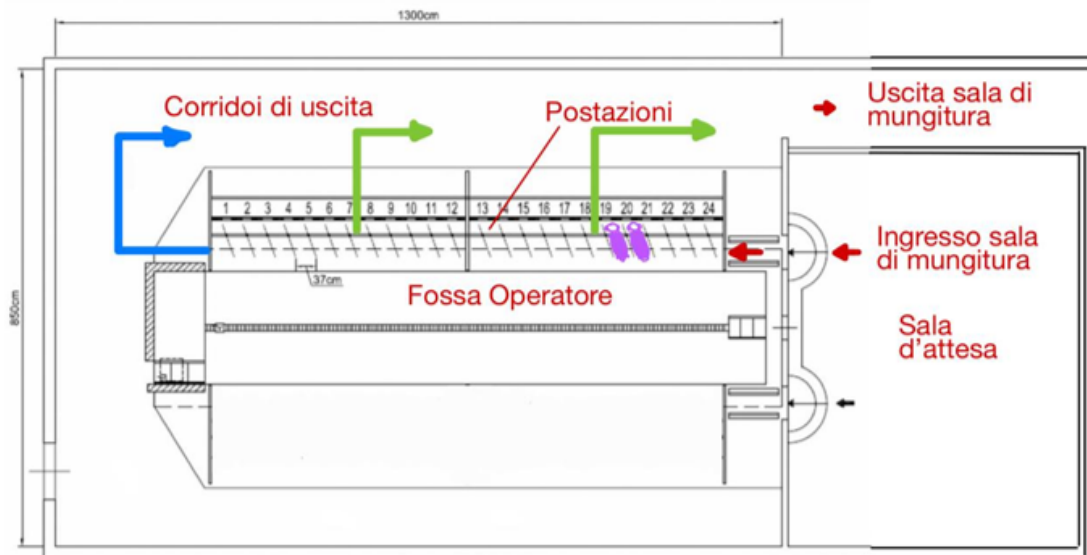


Figura 2.9: Planimetria di un locale di mungitura a 24 postazioni disposte in parallelo



Figura 2.10: Impianto di mungitura interamente automatizzato. Fonte: www.westcoastrobotics.ca

Capitolo 3

Analisi dei requisiti di progetto e studio di fattibilità

Come è già stato indicato precedentemente, l'impianto di mungitura interamente automatizzato disponibile attualmente in commercio è adatto solamente alla mungitura dei bovini, non esiste un impianto simile pensato per la mungitura degli ovicapri. La tecnologia utilizzata per il riconoscimento della posizione dei capezzoli nel caso degli impianti di mungitura automatica per bovini può essere applicata anche al caso degli ovicapri, tuttavia, per quanto riguarda l'immobilizzazione dell'animale, il sistema applicato ai bovini si è ritenuto non replicabile al caso degli ovicapri, per cui si è ritenuto necessario applicare ulteriori accorgimenti utili a evitare delle situazioni che rendono difficoltosa o impraticabile la mungitura. Nella mungitura degli ovicapri, infatti, si possono presentare delle situazioni in cui l'animale si posiziona in modo scorretto, ad esempio quando si inginocchia o si distende sulla postazione, oppure situazioni in cui l'animale scalcia provocando il distacco del gruppo di mungitura dalla mammella. Solitamente, questi problemi non si presentano nel caso della mungitura dei bovini. Nel caso degli ovicapri, utilizzando un impianto di mungitura parzialmente automatizzato, l'operatore agisce direttamente sul problema, correggendo la posizione dell'animale e proseguendo con la fase di mungitura. Operando con un impianto di mungitura interamente automatizzato, le situazioni appena presentate si devono evitare. Si ritiene che le soluzioni dei problemi sopracitati siano dei fattori determinanti per la corretta creazione di un impianto di mungitura interamente automatizzato per ovicapri, per cui, per lo studio di fattibilità di questo tipo di impianto si è partiti dalla ricerca degli articoli accademici e dei brevetti riguardanti casi di studio o possibili soluzioni in grado di risolvere questi aspetti. Le ricerche non hanno permesso di individuare soluzioni valide, per cui si è ritenuto necessario ideare un nuovo sistema. Considerando la struttura di immobilizzazione già esistente, ovvero quella in cui viene immobilizzato solamente il collo dell'animale (figura 2.6), si è scelto di studiare un altro tipo di struttura di immobilizzazione che consente di immobilizzare, oltre al collo, anche le zampe dell'animale in modo indipendente tra loro e, inoltre, attraverso un supporto che agisce sul suo addome, di evitare che questo si distenda o si posizioni in ginocchio. Le figure 3.1 e 3.2 riportano i disegni concettuali del sistema di immobilizzazione che si suppone sia adatto a evitare le criticità presentate precedentemente, rispettivamente in posizione di rilascio e di presa dell'animale. Nelle due figure sono rappresentati concettualmente i due sistemi ritenuti indispensabili per il funzionamento dell'impianto: il sistema di immobilizzazione delle zampe posteriori, che ha il compito di evitare che l'animale distacchi il gruppo di mungitura dalla mammella; il supporto addominale, che serve a evitare che l'animale si distenda sulla postazione. Lo studio dettagliato dei singoli sistemi viene riportato nei capitoli successivi.

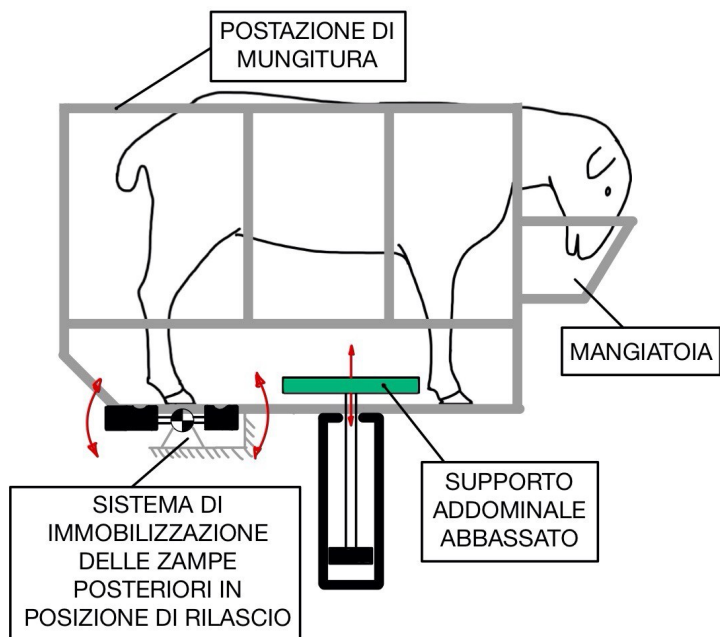


Figura 3.1: Sistema di immobilizzazione in posizione di rilascio dell'animale

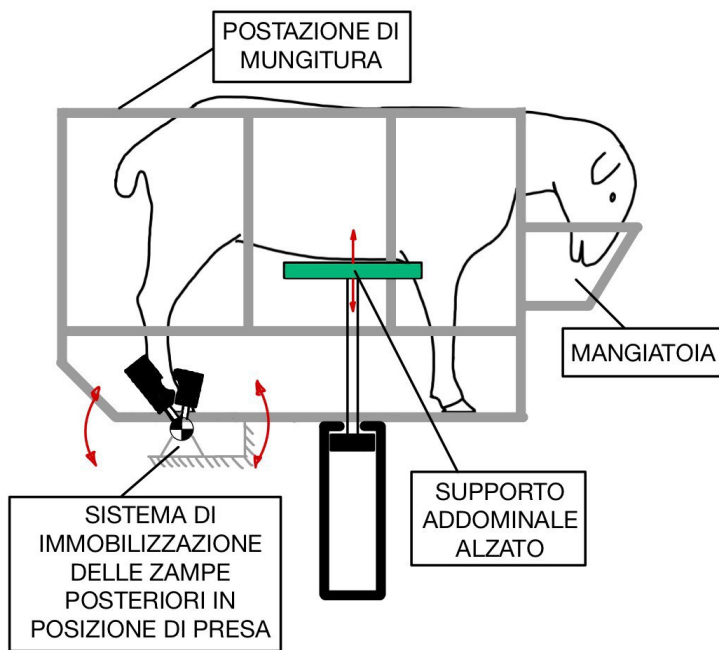


Figura 3.2: Sistema di immobilizzazione in posizione di presa dell'animale

Come nel caso dell'impianto per la mungitura dei bovini interamente automatizzato, il collegamento del gruppo di mungitura è operato da un braccio robotico. A differenza dell'impianto di mungitura per bovini, in cui un singolo braccio si occupa del collegamento di tutti e quattro i prendi-capezzoli in successione, per rendere più veloce il collegamento ed evitare situazioni di distacco involontarie, si è ritenuto più opportuno prevedere l'utilizzo di un braccio robotico per ogni singolo prendi-capezzolo, che, come scritto precedentemente, nel caso degli oviceprini, sono due. Questo permette di collegare il gruppo di mungitura gestendo i due prendi-capezzoli in modo indipendente, aumentando la velocità con la quale si conclude tutto il ciclo di mungitura e rendendo più solido il collegamento tra gruppo di mungitura e capezzolo, che nel caso dei bovini è garantito solamente dal vuoto presente all'interno del prendi-capezzolo. Lo studio e la progettazione del braccio robotico non sono argomento di questa tesi, tuttavia, si riporta in figura 3.3 un disegno concettuale per far capire al lettore dove si intende posizionare i singoli bracci in modo tale da poter giustificare alcune scelte progettuali che sono state adottate per realizzare il prototipo della struttura di immobilizzazione, il cui studio è presentato nei capitoli successivi. Nella figura, i bracci robotici sono posti ai lati della postazione e sono rappresentati in una generica posizione nella fase di mungitura, come è generico anche il tipo di robot utilizzato.

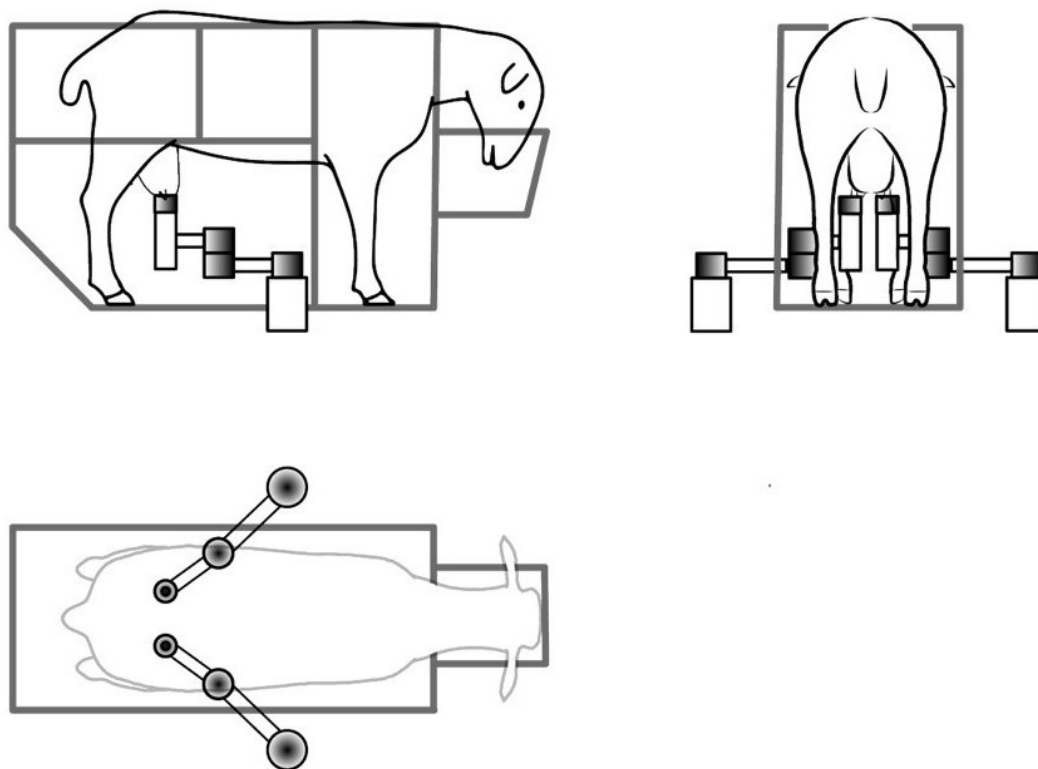


Figura 3.3: Disegno concettuale rappresentante la disposizione dei bracci robotici rispetto alla struttura di immobilizzazione

Un altro accorgimento che si è ritenuto utile considerare per agevolare il posizionamento dell'animale è stato quello di rendere il piano di calpestio della postazione adatto a ridurre le situazioni in cui l'animale posiziona i piedi in modo errato, ad esempio collocando una zampa destra sul lato

sinistro e viceversa. Si è pensato di eliminare la presenza di questo problema dotando la postazione di mungitura di un piano di calpestio diviso da una parete centrale di altezza opportuna (figura 3.4), inclinata, che consenta all'animale di posizionarsi adeguatamente, obbligandolo a disporre i piedi nel lato esatto. Il posizionamento corretto dell'animale è fondamentale per consentire al robot di accedere agevolmente alla mammella consentendogli di collegare il gruppo di mungitura senza incontrare degli ostacoli e, inoltre, rende anche più efficace il funzionamento del sistema di immobilizzazione delle zampe posteriori. Questo, agendo meccanicamente su di esse, non funzionerebbe nel caso in cui il contatto che genera la presa agisca in modo parziale o nullo a causa di un disallineamento della zampa, consentendo all'animale di liberarsi.

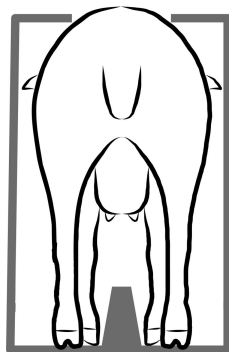


Figura 3.4: Disegno raffigurante la postazione di immobilizzazione compresa di parete divisoria centrale

La postazione così presentata può essere utilizzata per operare con un impianto di mungitura a postazione singola o a postazione multipla se si dispongono più postazioni in parallelo. Si riportano di seguito le fasi di lavoro che l'impianto automatico precedentemente presentato dovrebbe compiere nel caso si lavorasse con postazione singola. Alcune di queste fasi sono uguali a quelle presenti quando si opera con un impianto di mungitura automatico per bovini precedentemente presentato. Si suppone quindi che il sistema sia installato in una stalla di ovicapri e che questi possano accedere autonomamente quando si apre la porta di accesso automatica della postazione in seguito all'avvicinamento dell'animale ad essa. In questa tesi, per spiegare il funzionamento dell'impianto di mungitura che si intende realizzare, viene ipotizzata una gestione dell'allevamento simile a quella dei bovini, tuttavia, questa ipotesi richiederebbe ulteriori studi di carattere agronomico. Il sistema di mungitura si considera allo stato iniziale con la porta di accesso e di uscita chiuse, il sistema di immobilizzazione delle zampe posteriori in posizione di rilascio, il supporto addominale abbassato e i bracci robotici disposti esternamente alla postazione.

Le fasi di lavoro sono le seguenti

- Fase 1: lettura del codice identificativo dell'animale;
- Fase 2: apertura automatica della porta di accesso alla postazione;
- Fase 3: entrata dell'animale e chiusura porta di accesso;
- Fase 4: verifica del corretto posizionamento delle zampe posteriori;
- Fase 5: azionamento del sistema di immobilizzazione delle zampe posteriori (figura 3.2);
- Fase 6: azionamento del sistema di supporto addominale (figura 3.2);
- Fase 7: individuazione della posizione dei capezzoli;

- Fase 8: collegamento del gruppo di mungitura tramite i bracci robotici;
- Fase 9: operazione di mungitura;
- Fase 10: rimozione del gruppo di mungitura e riposizionamento dei bracci robotici nella posizione iniziale;
- Fase 11: abbassamento del supporto addominale (figura 3.1);
- Fase 12: disattivazione del sistema di immobilizzazione delle zampe posteriori (figura 3.1);
- Fase 13: apertura della porta di uscita e uscita dell'animale;
- Fase 14: riposizionamento del sistema allo stato iniziale.

Capitolo 4

Progettazione del meccanismo di presa delle zampe posteriori

Per l'ideazione del sistema di immobilizzazione delle zampe posteriori si è partiti analizzando la forma di questa. Come si può notare nella figura 4.1, partendo dallo zoccolo fino al corpo dell'animale, si ha una porzione della zampa a diametro maggiore e un successivo restringimento nella parte superiore. Sfruttando la forma della zampa si è pensato di ideare un dispositivo meccanico di presa, il quale, una volta azionato, sia in grado di agire attorno a questa e consenta di avvolgerla nel tratto in cui si ha il restringimento. Per garantire il benessere dell'animale si è poi scelto, in due casi, di effettuare la presa sulla zampa dell'animale con un componente flessibile, utilizzando un materiale elastico oppure un dispositivo a camera variabile pneumatica.

Si è inoltre cercato di conservare la presenza della parete divisoria posizionata nel piano di calpestio (figura 3.4), per cui la progettazione del meccanismo è stata fatta seguendo questo vincolo. Si è reso quindi necessario ideare un meccanismo di presa integrato in questa specifica forma. Di seguito vengono presentate diverse soluzioni analizzate.

4.1 Dispositivo di presa pneumatico

Inizialmente è stato considerato lo studio di un meccanismo di presa pneumatico composto da una camera creata con una membrana in materiale elastico, a volume variabile, la cui azione di presa deriva dall'espansione del volume della camera, dovuta a un'alimentazione pneumatica esterna. In primo luogo si sono considerate diverse disposizioni e geometrie della camera, in particolare, sono state esaminate due tipologie: camera singola a forma toroidale (figura 4.2), e camera doppia a forma cilindrica (figura 4.3).

In figura 4.4 e figura 4.5 sono rappresentate le due tipologie di camere installate sul modello CAD rappresentante un disegno concettuale della struttura di immobilizzazione e, come si può notare, in tutti e due i casi, i dispositivi pneumatici sono inglobati nel piano di calpestio della postazione e sono opportunamente divisi dalla parete divisoria precedentemente citata.

Un dispositivo di presa pneumatico, sia di tipo toroidale che di tipo cilindrico a due camere, ha il vantaggio di distribuire la forza di pressione su una superficie estesa della zampa, oltre a questo, permette di controllare la forza esercitata sull'animale in modo più preciso, tutelando in modo maggiore il benessere dell'animale. Il sistema toroidale è stato inizialmente considerato perché si è ritenuto più affidabile rispetto al sistema cilindrico a due camere. Il primo, infatti, è presente sul mercato ed è ampiamente utilizzato in operazioni di presa sui robot manipolatori rendendolo particolarmente adatto all'applicazione che si sta studiando. Tuttavia, si è pensato che l'utilizzo di questa soluzione rende meno intuitivo per l'animale il posizionamento di ciascuna zampa nel



Figura 4.1: Zampe anteriori ovino

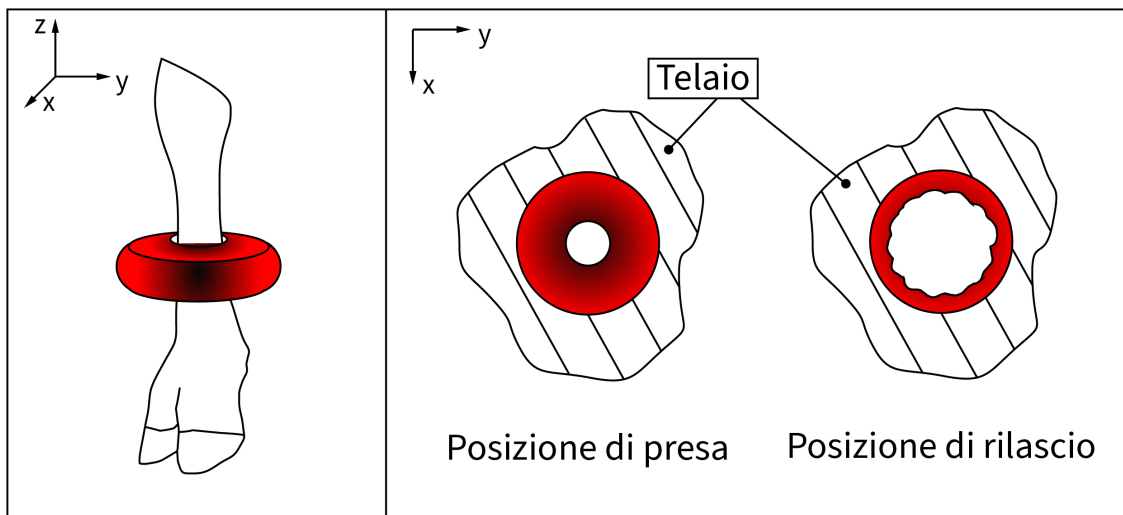


Figura 4.2: Dispositivo di presa pneumatico con camera a forma toroidale

punto di presa esatto che, per poter funzionare, necessita di un perfetto allineamento tra le zampe,

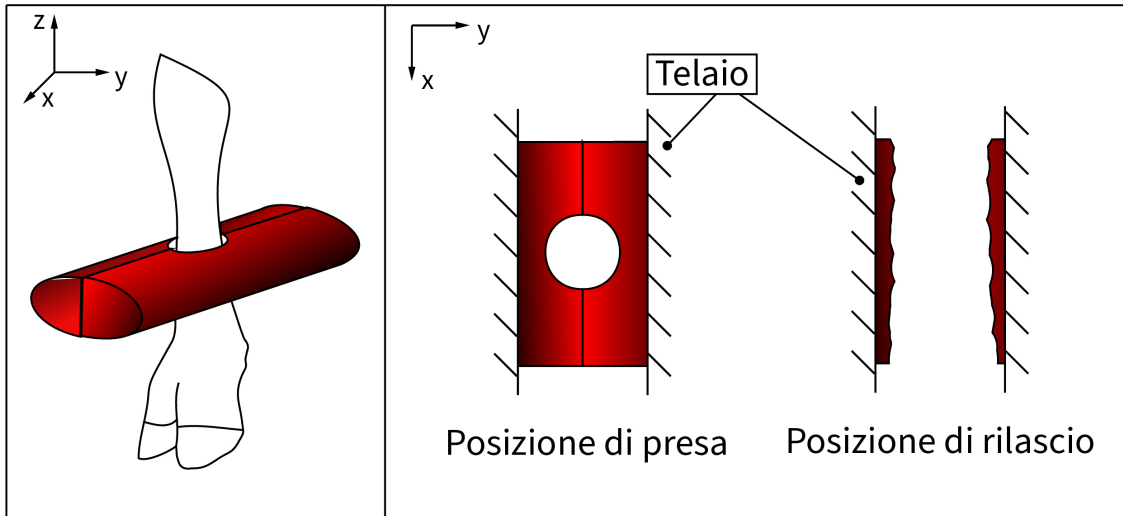


Figura 4.3: Dispositivo di presa pneumatico con due camere a forma cilindrica

rischiando quindi di non garantire la presa. Per questo motivo questa idea è stata accantonata e non è stata sviluppata ulteriormente. Si è quindi passati allo studio del dispositivo di presa pneumatico a due camere, di forma cilindrica. Questo dispositivo, considerando la presenza della parete divisoria posta sul piano di calpestio, grazie a una maggiore estensione longitudinale delle camere cilindriche, permette di aumentare la zona entro la quale è possibile effettuare la presa dell'animale, per cui, anche se non si rispetta l'allineamento tra le zampe posteriori lungo il piano trasversale, si riesce comunque ad ottenere un'azione di presa adeguata. Non sono stati individuati sul mercato dei dispositivi simili, per cui si è trovata una possibile idea di realizzazione, creando un disegno funzionale del dispositivo (figure 4.6a e 4.6b) nella quale due piastre bullonate tra loro inglobano una membrana di materiale elastico. L'alimentazione e lo scarico del dispositivo vengono effettuate attraverso il raccordo pneumatico posto nella piastra posteriore (figura 4.6b) che, rispettivamente, azionano le fasi di presa e di rilascio della zampa.

Le postazioni presenti nelle figure 4.4 e 4.5 non si riferiscono a dimensioni reali, infatti hanno il solo scopo di evidenziare il funzionamento del sistema che si sta ideando. Nelle figure dei paragrafi successivi vengono presentati i diversi modelli di postazione ideati considerando le reali dimensioni dell'animale. Queste sono riportate nella seguente tabella e si riferiscono ai parametri del modello di un ovino indicato in figura 4.7.

Parametro	Misura in cm
a	63
b	15
c	25
d	45
e	35
f	60
g	90
h	30
i	20

Con il modello in figura 4.8, si è rappresentato il posizionamento dei dispositivi pneumatici a due camere in rapporto al modello di un animale creato seguendo le sue dimensioni reali. Si

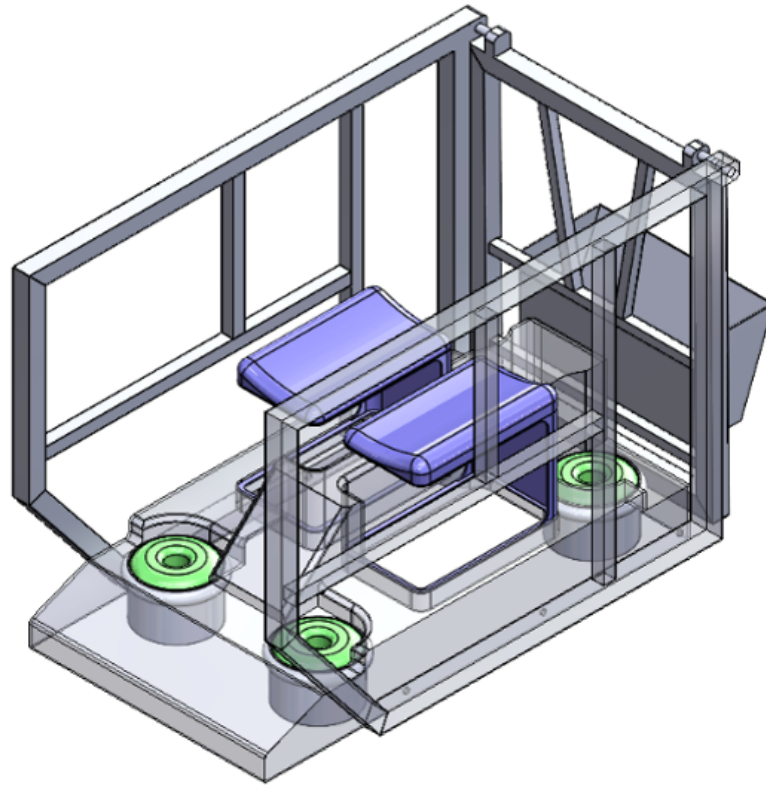


Figura 4.4: Esempio di postazione con dispositivo di presa pneumatico con camera a forma toroidale

è voluto quindi studiare l'ingombro dei dispositivi di presa e le modalità di fissaggio di questi al telaio principale. Nella figura si sono posizionate le camere, due per ogni zampa posteriore, e si è creato un telaio considerando i massimi ingombri operativi di queste e considerando, inoltre, la presenza della parete centrale. Valutando le dimensioni delle camere pneumatiche, ottenute partendo dalle dimensioni della zampa dell'animale, si è visto che l'ingombro di queste, rispetto alle dimensioni dell'animale, è eccessivo. Infatti, affinché la presa sia efficace, queste devono essere installate a un'altezza tale da poter permettere di sfruttare la variazione di spessore della zampa evitando che l'animale riesca a sfilarla dal dispositivo di presa. Tuttavia, installando i dispositivi di presa a questa altezza, i bracci robotici, posizionati lateralmente (figura 3.3), non hanno abbastanza spazio per accedere alla mammella e non si riesce quindi a eseguire la fase di mungitura. La creazione di un dispositivo di presa dotato di camere più piccole non consente di afferrare le zampe in modo adeguato, a causa dell'impossibilità di avvolgerle e di esercitare su di esse un'azione di presa corretta. A seguito dei problemi presentati e a causa del fatto che non si hanno dati certi sull'effettiva presa del dispositivo, essendo esso stesso un prototipo, si è scelto di interrompere lo sviluppo del sistema di immobilizzazione posteriore utilizzando dei dispositivi pneumatici. Si è reso quindi necessario ideare un altro tipo di dispositivo in grado di ridurre gli ingombri e di consentire l'accesso alla mammella da parte dei bracci robotici.

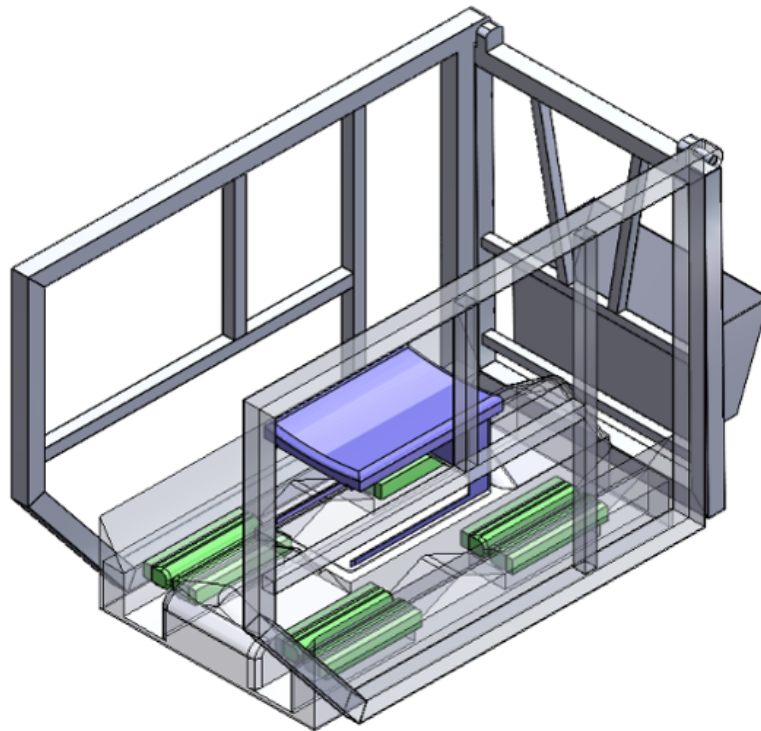
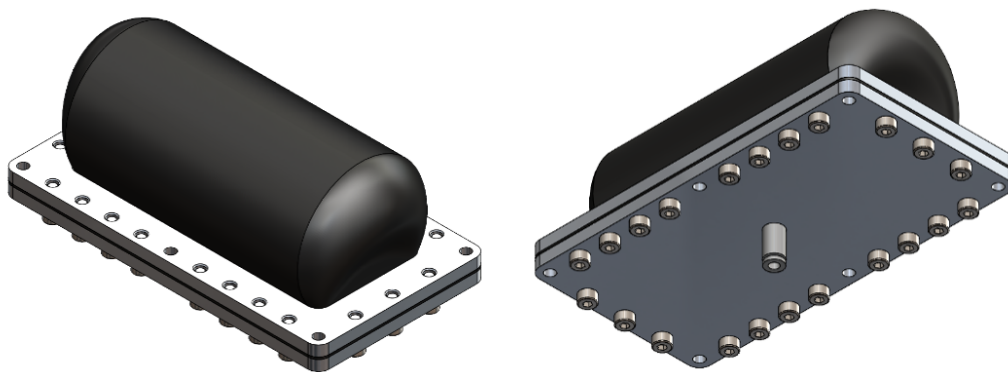


Figura 4.5: Esempio di postazione con dispositivo di presa pneumatico con due camere a forma cilindrica



(a) Vista frontale del dispositivo di presa pneumatico flangiato

(b) Vista posteriore del dispositivo di presa pneumatico flangiato

Figura 4.6: Modello del dispositivo di presa pneumatico

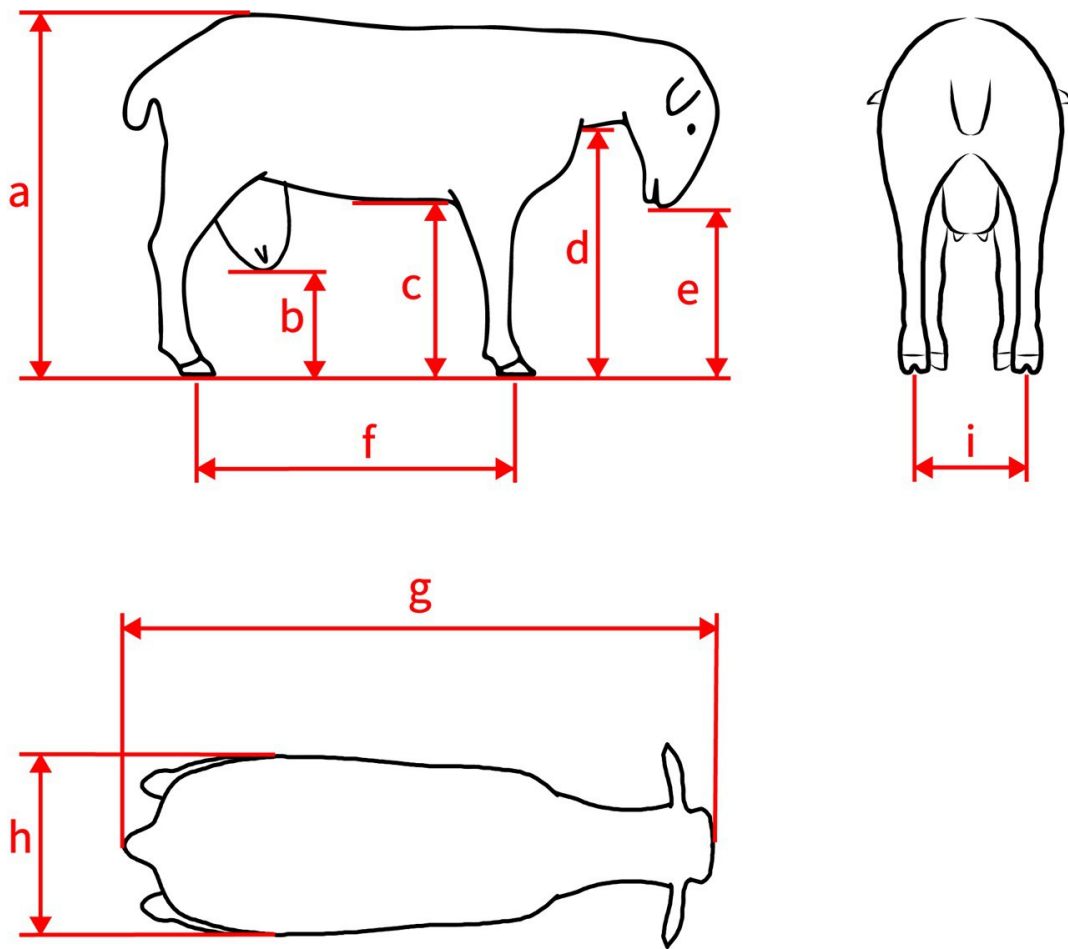
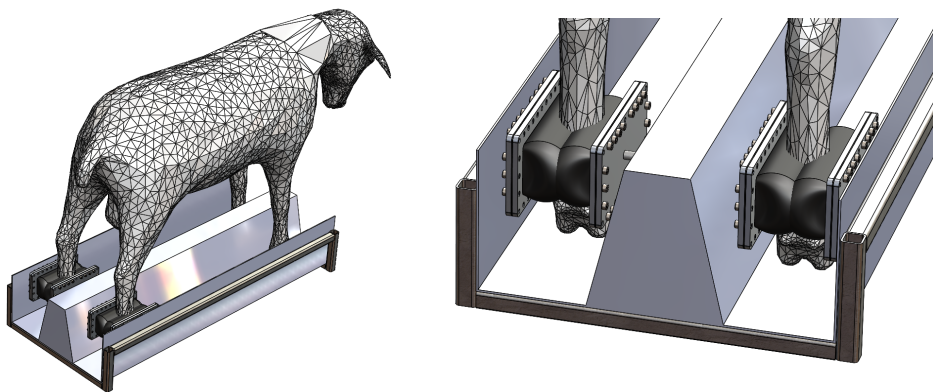


Figura 4.7: Dimensioni note dell'animale considerato



(a) Sistema di presa pneumatico a due camere (b) Dettaglio del dispositivo di presa a due camere installato nella postazione

Figura 4.8: Disegno funzionale del dispositivo di presa a due camere

4.2 Dispositivo di presa meccanico a elementi rigidi

Si è scelto di creare un dispositivo di presa la cui immobilizzazione non derivi dall'azione di pressione che il dispositivo esercita sulla zampa dell'animale, ma si è voluto trovare un sistema in grado di bloccare la zampa avvolgendola nel tratto a sezione minore, con un elemento rigido opportunamente sagomato. Anche in questo caso è stata sfruttata la forma della zampa, quindi la sua variazione di spessore. Si riporta in figura 4.9 il disegno concettuale del sistema ideato. Nella figura si può vedere la posizione di presa e la posizione di rilascio dell'elemento rigido. Partendo dalla posizione di rilascio, nella fase successiva all'accesso dell'animale nella postazione di mungitura, l'elemento compie una rotazione posizionandosi in prossimità delle zampe posteriori, ovvero nella posizione di presa. La geometria dell'elemento ostacola il movimento di queste, evitando che l'animale possa spostarsi con esse in avanti e provocare il distacco del gruppo di mungitura.

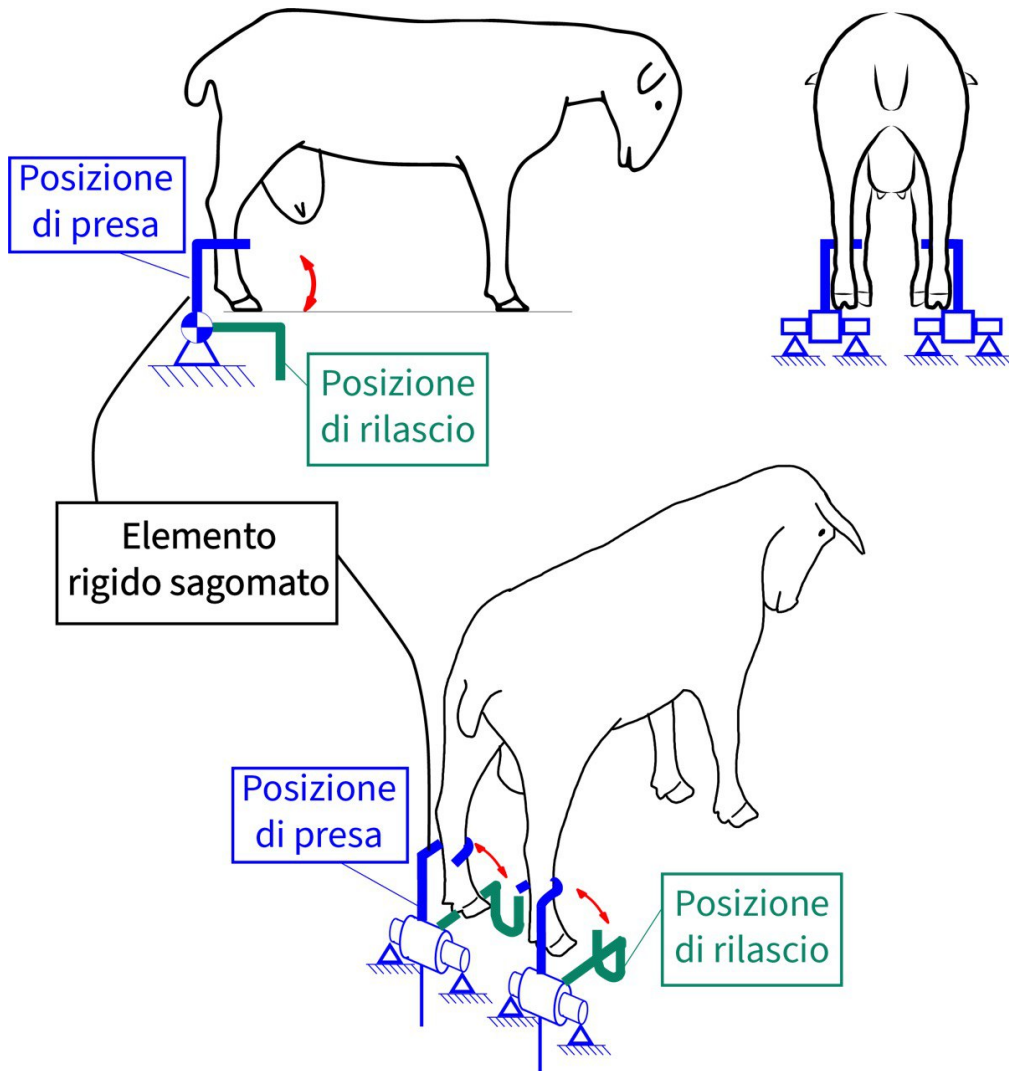


Figura 4.9: Disegno concettuale dell'elemento di presa rigido

L'elemento rigido sagomato come in figura 4.9 non consente di controllare il corretto posizionamento delle zampe lungo il piano trasversale. In determinati casi, ad esempio quando l'animale dispone le zampe posteriori in una posizione più centrale, non viene consentita una corretta immobilizzazione poiché l'elemento rigido, che è disposto ai lati del piano di calpestio, non riesce ad avvolgerla. Per cercare di risolvere questo problema si è scelto di unire gli elementi rigidi in un unico elemento la cui forma garantisce il corretto posizionamento delle zampe e quindi consente il corretto aggancio ad esse. Il sistema raffigurante l'elemento in questione è rappresentato in figura 4.10a, la forma dell'elemento è rappresentata in dettaglio nella figura 4.10b. In quest'ultima figura si può vedere la parte centrale dell'elemento, la cui forma triangolare permette di favorire il corretto posizionamento delle zampe, invitandolo a disporle nei punti di presa quando questo inizialmente le posizioni nella parte centrale. In questo caso, a causa della presenza della parete centrale triangolare, si è ritenuto opportuno non prevedere la realizzazione di una parete divisoria centrale che, infatti, ha lo stesso scopo di utilizzo.

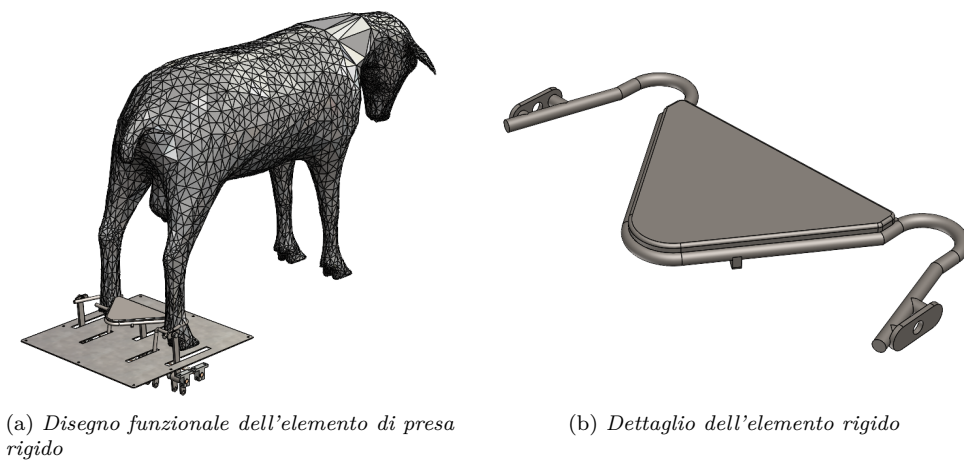


Figura 4.10: Disegno funzionale del sistema di immobilizzazione dotato di elemento rigido

Le figure 4.11a e 4.11b, rappresentano il sistema di immobilizzazione rispettivamente nelle posizioni di rilascio e di presa. In queste due figure, è possibile osservare la presenza di due elementi posti nella parte posteriore della zampa. Nella posizione di rilascio gli elementi giacciono sul piano di calpestio, mentre nella posizione di presa, agiscono sulle zampe evitando che l'animale, indietreggiando, possa liberarsi.

La realizzazione degli elementi e dei relativi supporti è stata eseguita prevedendo l'utilizzo di attuatori lineari per compiere i diversi movimenti. Come sempre, si è tenuto in considerazione il benessere dell'animale, infatti, utilizzando degli attuatori lineari sia di tipo elettrico che di tipo pneumatico, è facile regolare la forza massima esercitata sulle zampe. Nel primo caso la forza può essere regolata limitando la corrente massima dell'attuatore, nel secondo caso attraverso la regolazione della pressione nella camera dell'attuatore. In figura 4.12 è rappresentata la porzione di assieme nel quale si può vedere che, per rendere più compatta la postazione, si è scelto di collocare gli attuatori lineari nella parte sottostante al piano di calpestio. Questo è stato fatto senza prevedere un'adeguata protezione dei componenti più sensibili, come gli attuatori, dalle contaminazioni presenti nell'ambiente di lavoro esterno dovute alla presenza degli animali. A causa di questa criticità si è cercato di risolvere il problema ipotizzando di installare gli attuatori in posizioni differenti, rendendo possibile installare delle tenute in grado di garantire una corretta protezione dall'ambiente esterno. Tuttavia, una differente collocazione degli attuatori, rispetto a quella proposta, complica parecchio la costruzione del sistema di immobilizzazione, per cui si è

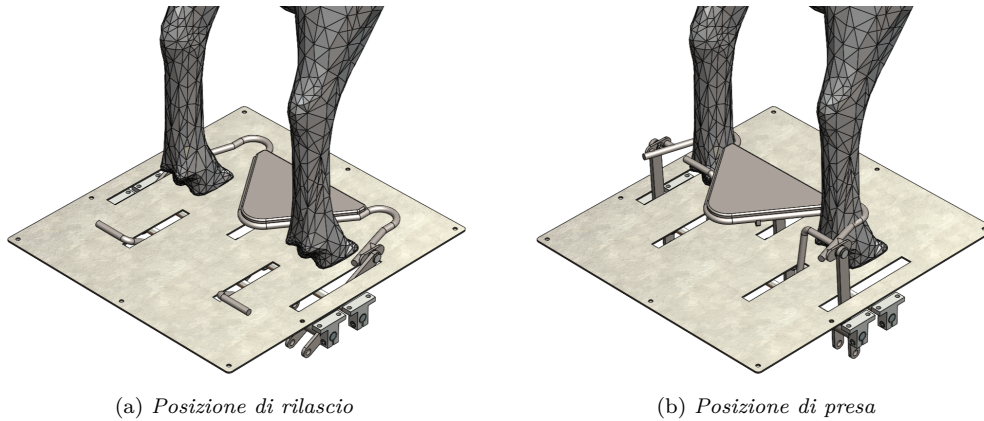


Figura 4.11: Posizioni di lavoro del sistema di immobilizzazione dotato di elemento rigido

scelto di studiare un'altra soluzione ricorrendo a una modifica della tipologia del meccanismo, in modo tale da poter rendere più difficile l'accumulo dello sporco e rendere possibile la pulizia della postazione con un getto d'acqua ad alta pressione.

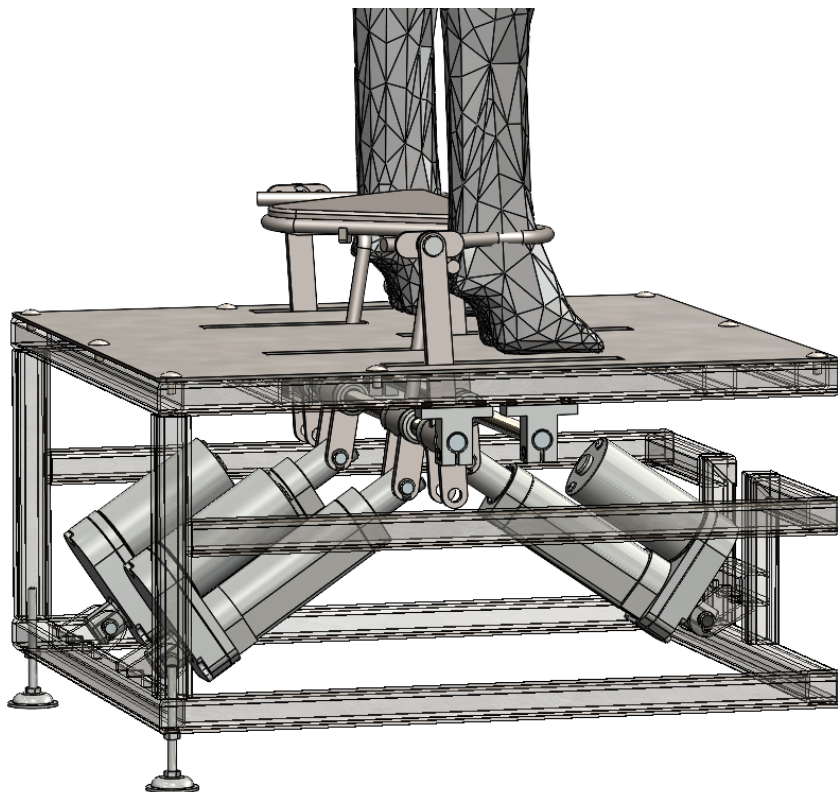


Figura 4.12: Posizionamento degli attuatori

4.3 Dispositivo di presa meccanico a elementi flessibili

La soluzione spiegata successivamente è quella che si ritiene elimini le criticità riscontrate precedentemente. In questo caso è stata ridefinita la geometria del piano di calpestio, prevedendo di inserire nuovamente una parete centrale, come mostrato in figura 3.4. Per la realizzazione di questo meccanismo, data la loro maggiore robustezza rispetto agli attuatori elettrici, si è scelto di utilizzare degli attuatori pneumatici. La figura 4.13 rappresenta il funzionamento della nuova soluzione trovata. Come si può vedere, l'immobilizzazione delle zampe posteriori avviene per mezzo di due elementi di materiale flessibile che, una volta spinti l'uno sull'altro tramite degli attuatori, esercitano un'azione di presa sulle zampe dell'animale. L'utilizzo di questo tipo di configurazione ha permesso di ridurre gli ingombri e di isolare il vano in cui sono posizionati gli attuatori dall'ambiente esterno, eliminando l'ingresso dello sporco dall'esterno.

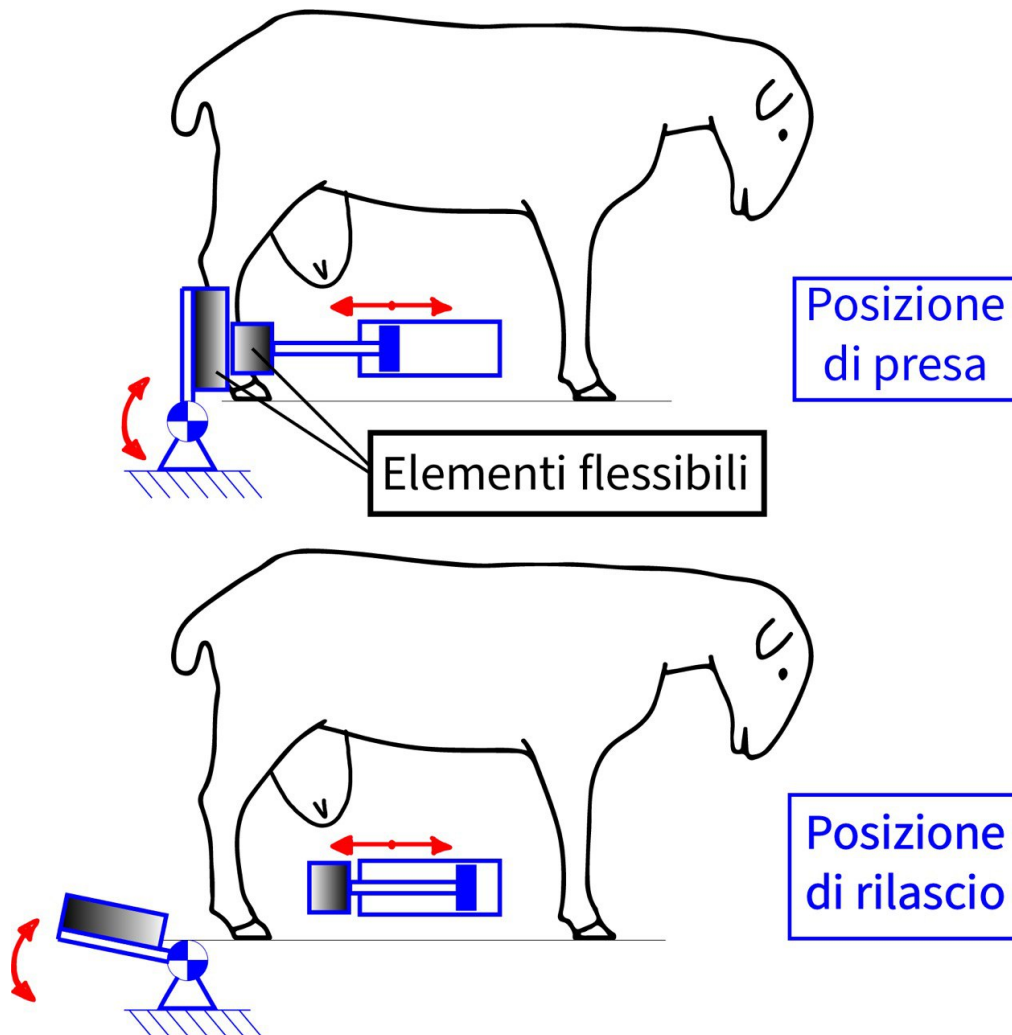


Figura 4.13: Disegno concettuale raffigurante il meccanismo di immobilizzazione con materiale elastico

In figura 4.14a è rappresentato il modello funzionale del sistema di immobilizzazione. La figura 4.14b mostra lo stesso componente nel dettaglio.

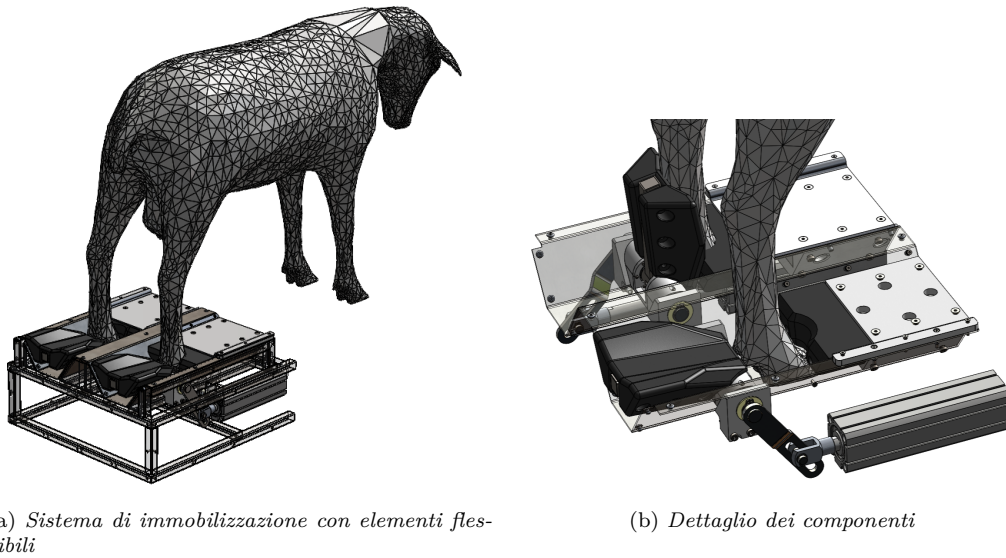


Figura 4.14: Modello del sistema di immobilizzazione con elementi flessibili

Le figure 4.15a e 4.15b mostrano invece le posizioni assunte dai componenti quando operano rispettivamente nelle posizioni di rilascio e di presa.

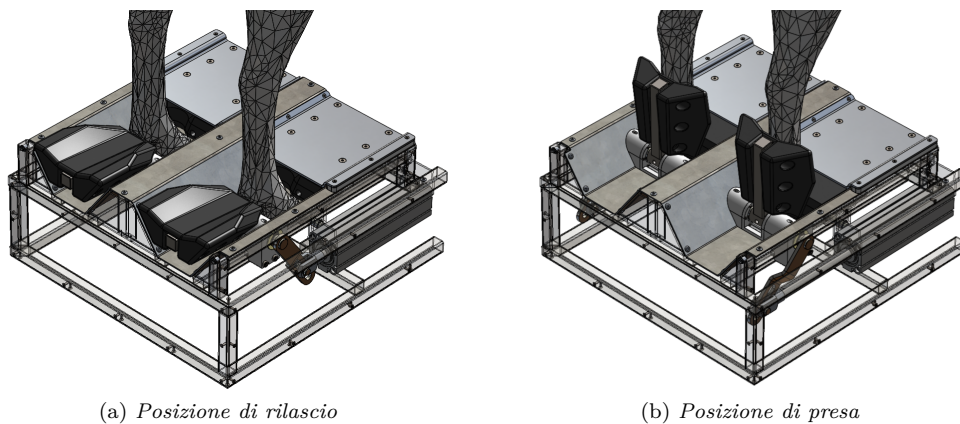


Figura 4.15: Posizioni di lavoro del sistema di immobilizzazione dotato di elementi flessibili

Riferendosi alla figura 4.16, come si può vedere, l'elemento flessibile traslante è azionato dall'attuatore D, che è posto nel piano di calpestio ed è opportunamente inglobato su di esso tramite un elemento creato in materiale plastico. Questo elemento svolge anche una funzione protettiva contro i contaminanti esterni, dovuti al passaggio e alla mungitura dell'animale. L'attuatore F, invece, aziona l'elemento flessibile posteriore ed è installato nel vano sottostante al piano di calpestio. La rotazione di quest'ultimo avviene attraverso un'asta collegata a un albero rotante, che permette di trasformare il moto lineare dell'attuatore in un moto circolare. L'albero trasferisce il moto dal vano posto sotto il piano all'ambiente esterno; l'isolamento dei due ambienti è garantito da guarnizioni a labbro installate direttamente sull'albero. Gli elementi flessibili sono sagomati

seguendo la forma delle zampe per massimizzare la distribuzione della forza esercitata dai cilindri sulle rispettive zampe.

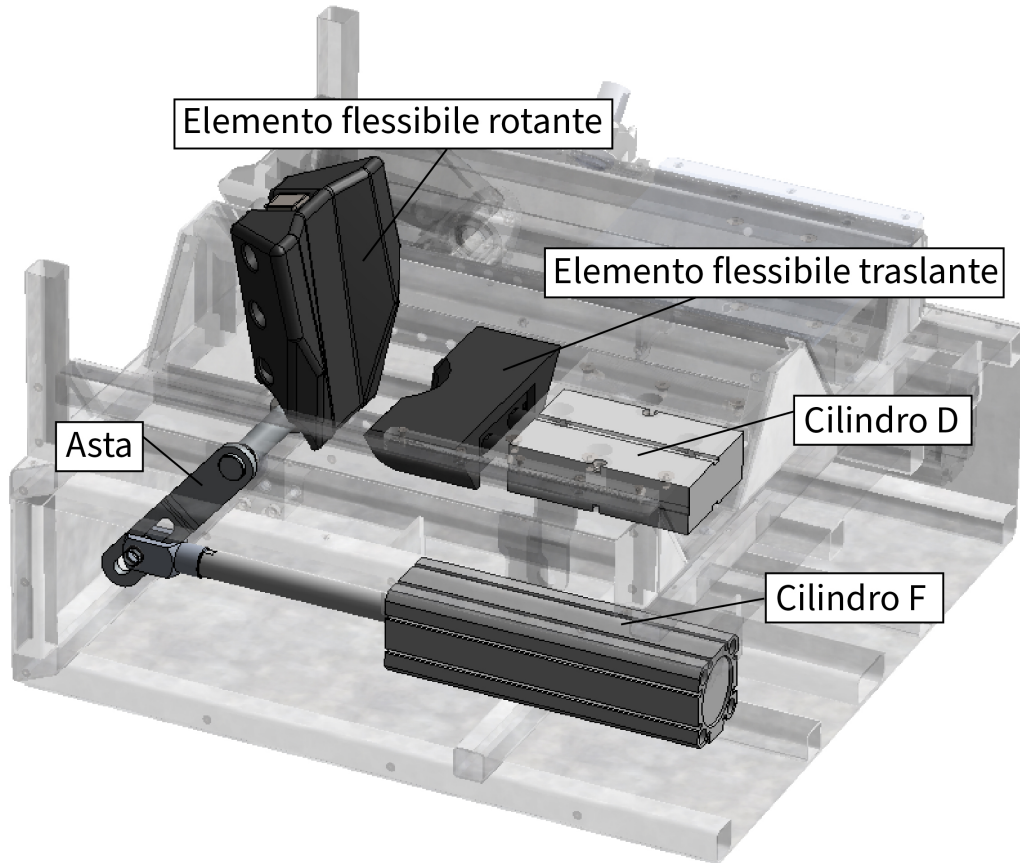


Figura 4.16: Componenti principali del sistema di immobilizzazione delle zampe posteriori

Capitolo 5

Progettazione del meccanismo di sollevamento dell'animale

Il meccanismo di sollevamento dell'animale, come indicato precedentemente, previene gli eventuali problemi che si manifestano nel momento in cui l'animale ha l'istinto di distendersi sulla postazione, evitando quindi di compromettere l'operazione di mungitura. Seppur trattandosi di un caso raro, si è voluto eseguire lo studio di questo tipo di meccanismo per la creazione del modello del prototipo e, successivamente, valutare nella fase sperimentale la sua effettiva utilità. Il funzionamento del supporto addominale è già stato introdotto nei capitoli precedenti, nelle figure 3.1 e 3.2. In questo capitolo si vuole realizzare un modello funzionale del supporto addominale. Nella creazione di questo meccanismo il principale problema è stato quello di trovare il metodo di azionamento più adatto considerando gli ingombri, il peso massimo consentito e la complessità di realizzazione. Si sono analizzate tre principali configurazioni: una configurazione operante con sistema vite-madrevite azionato da un motore elettrico, con vite e madrevite posizionati sotto il piano di calpestio; una configurazione composta da una piattaforma elevatrice azionata da un attuatore elettrico, anche in questo caso posizionato al di sotto del piano ; un'ultima configurazione azionata sempre da un meccanismo vite-madrevite e motore elettrico ma posizionata ai lati della postazione. Non si sono considerati sistemi di attuazione pneumatici perché l'ingombro di questi sarebbe eccessivo, per cui lo sviluppo di un supporto addominale con questo tipo di attuatori è stato scartato.

5.1 Supporto addominale con azionamento di tipo vite-madrevite posizionato sotto il piano di calpestio

Il sistema è rappresentato in figura 5.1. Come si può vedere è composto da quattro assi lineari vincolati al telaio, nei quali scorrono altrettanti cuscinetti lineari vincolati alla slitta, che, sollevandosi, compie l'azione di supporto dell'animale. Nella slitta è installata la chiocciola della madrevite che, subendo la rotazione della vite, permette alla slitta di muoversi. La vite, attraverso un accoppiamento cinghia e pulegge, è azionata da un motore elettrico. Facendo un'analisi di mercato relativa ai componenti necessari per la costruzione del sistema in funzione del peso dell'animale e della corsa richiesta per poterlo sollevare, non si è trovata una configurazione in grado di assicurare una certa robustezza e di limitare gli ingombri. Infatti, dai dati dimensionali dell'animale riportati in figura 4.7, si può vedere che l'altezza dell'addome da terra (parametro c) è di 25 cm. Questo parametro indica la corsa minima che il supporto addominale deve avere per funzionare correttamente, per cui, l'ingombro di questo tipo di configurazione, dal momento che

si è prevista una sua collocazione sotto il piano di calpestio, è troppo elevato. In questo caso si ha quindi l'obbligo di creare un telaio (rappresentato in figura 5.2a) eccessivamente sviluppato in altezza. Si è quindi deciso di non effettuare successivi studi su questo sistema, ma di modificare la configurazione cercando di costruire un sistema più compatto.

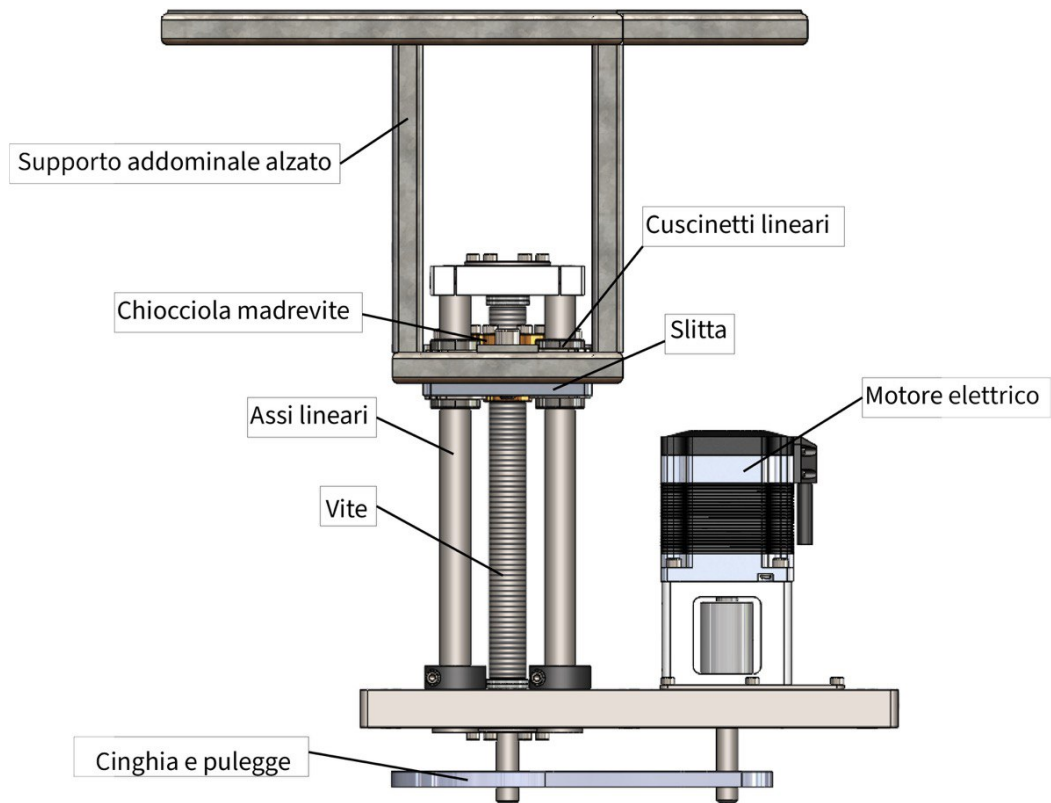


Figura 5.1: Disegno funzionale raffigurante il supporto addominale

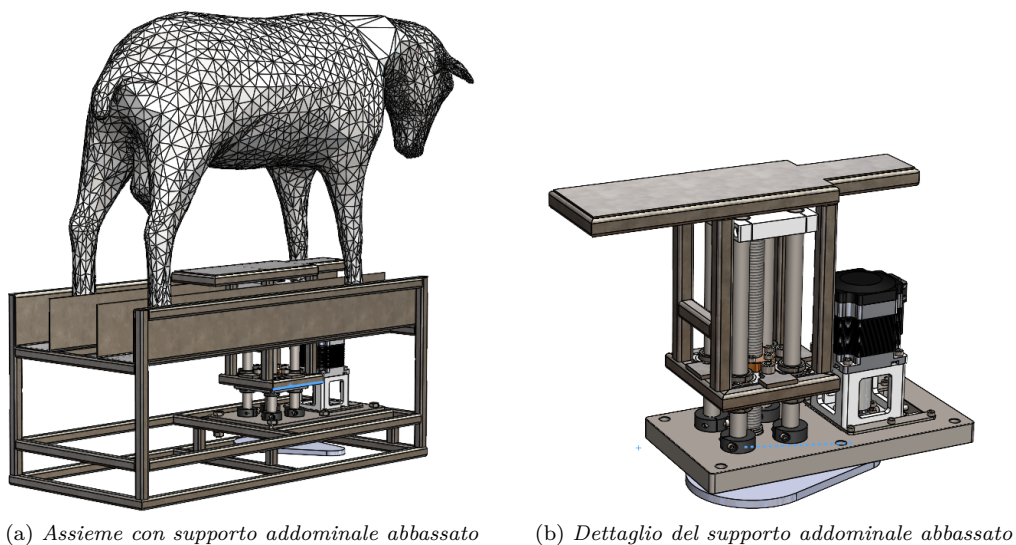


Figura 5.2: Supporto addominale abbassato

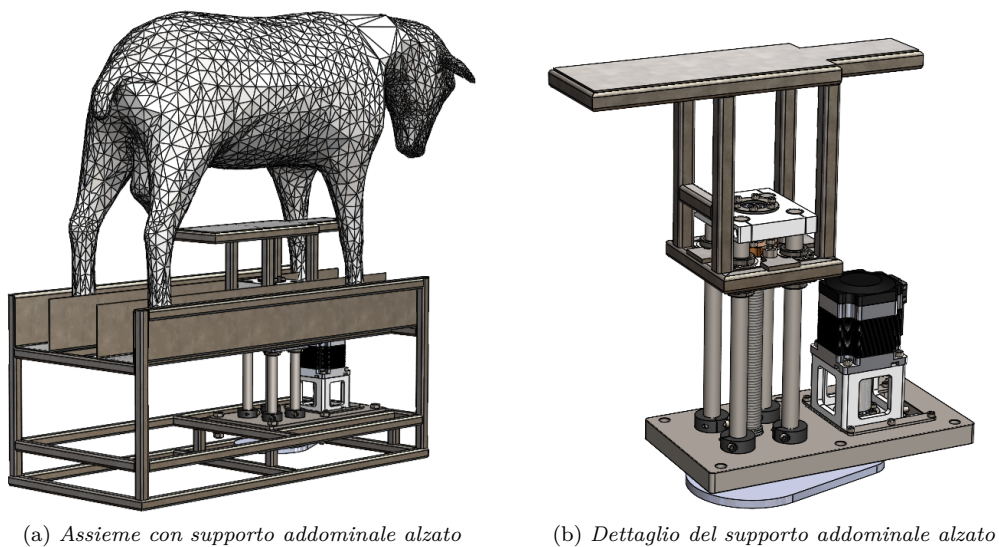


Figura 5.3: Supporto addominale alzato

5.2 Supporto addominale con piattaforma elevatrice posizionata sotto il piano di calpestio

Con piattaforma elevatrice viene inteso un meccanismo di sollevamento nel quale si utilizza un meccanismo di Scott-Russell per alzare e abbassare il supporto addominale. La configurazione studiata è rappresentata in figura 5.4. Nella stessa figura sono evidenziati i componenti del meccanismo, tra i quali, gli elementi *Elemento 1* ed *Elemento 2* sono i principali. Azionando l'attuatore lineare, si determina lo spostamento della ruota dell'*Elemento 1* lungo la *Guida lineare*.

Il collegamento nella parte centrale dell'*Elemento 1* con l'*Elemento 2* è fatto per mezzo di una cerniera che consente a quest'ultimo di seguire un moto rettilineo nel punto in cui è presente la cerniera vincolata al *Supporto addominale*. La ruota posta all'estremità dell'*Elemento 2* ha la funzione di reggere il *Supporto addominale*, bloccandone la sua rotazione. Il principale vantaggio di questa configurazione è l'estrema compattezza in rapporto alla corsa di sollevamento raggiungibile. Infatti, il supporto addominale, quando abbassato, occupa un ingombro minimo, permettendo di ridurre le dimensioni del telaio della postazione. Anche in questo caso, tuttavia, l'utilizzo di questo meccanismo renderebbe difficoltoso l'isolamento dei componenti più sensibili dai contaminanti presenti nell'ambiente esterno. Si è inoltre considerata l'interazione del meccanismo con l'animale durante il suo movimento. Come mostrato in figura 5.6a, la forte vicinanza delle zampe anteriori alle parti mobili del meccanismo, soprattutto nella fase di discesa, in alcuni casi crea situazioni di incastro tra la zampa e il meccanismo, causando dei danni all'animale. Per i problemi appena presentati non si sono trovate delle soluzioni applicabili a questa configurazione, per cui si è scelto di tralasciarla.

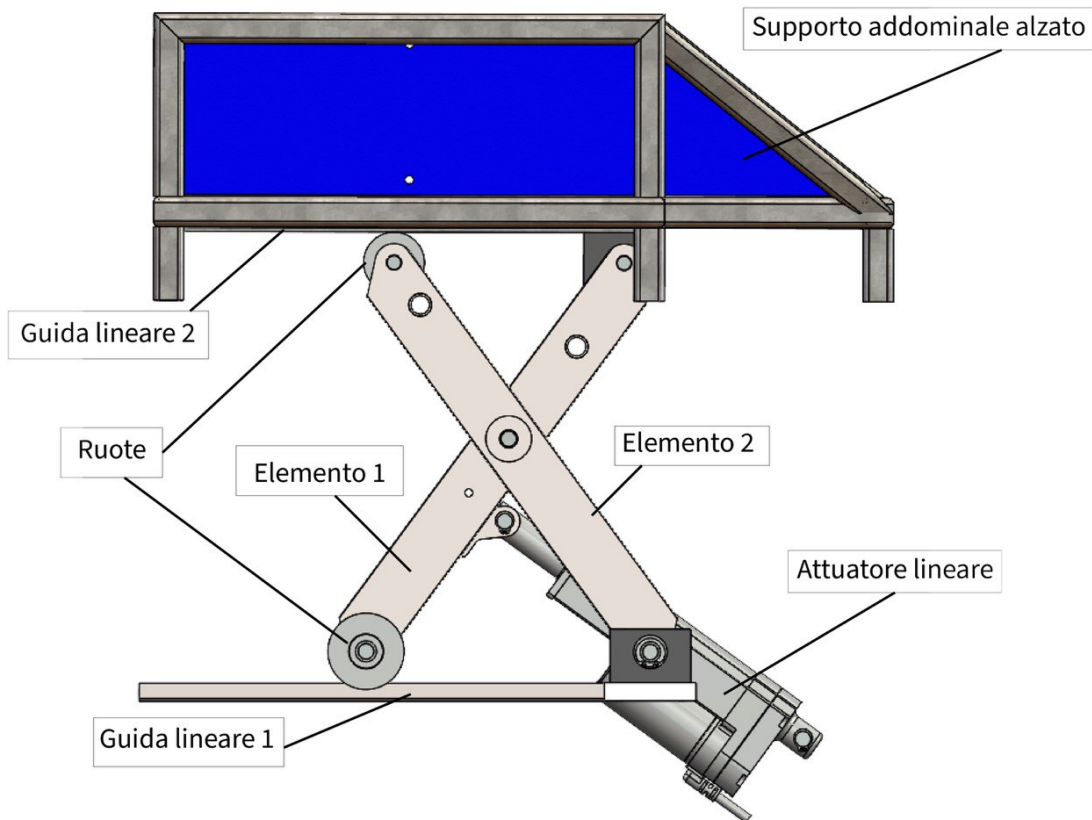


Figura 5.4: Disegno funzionale raffigurante il supporto addominale

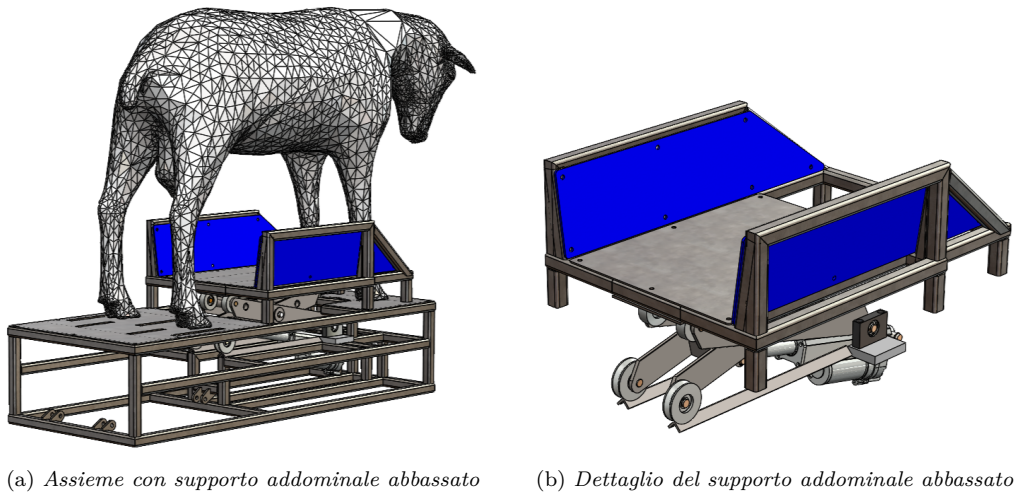


Figura 5.5: Supporto addominale abbassato

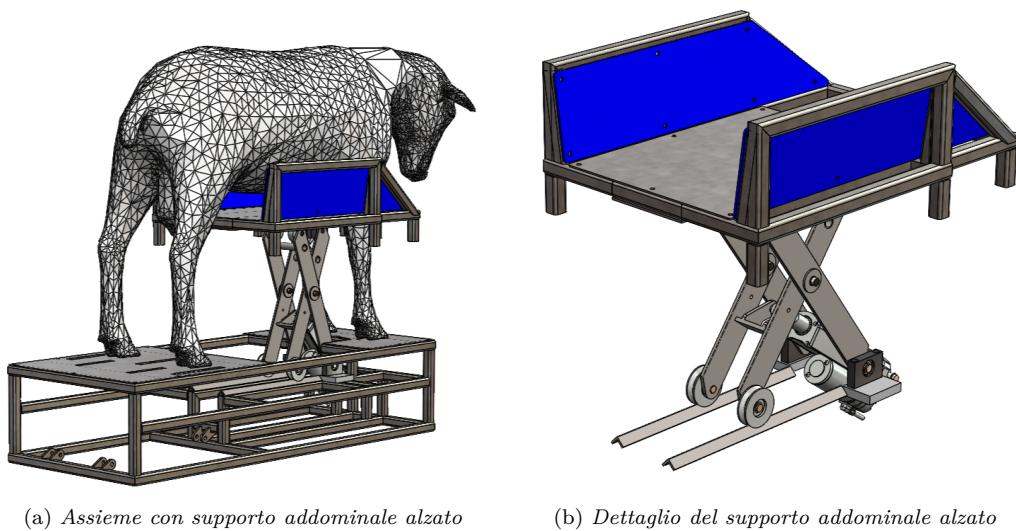


Figura 5.6: Supporto addominale alzato

5.3 Supporto addominale con azionamenti del tipo vite-madrevite posizionati ai lati della postazione

Questo tipo di sistema di supporto addominale è stato progettato cercando di risolvere i problemi esposti precedentemente, ovvero: la necessità di isolare il vano contenente gli azionamenti dall'ambiente esterno che, a causa della loro sensibilità a contaminanti esterni, si danneggiano; la necessità di avere un sistema più compatto. Per rendere il sistema più compatto si è scelto di

riconsiderare l'utilizzo di una trasmissione vite-madrevite ma, a differenza della configurazione studiata precedentemente, si è scelto di collocare gli elementi di trasmissione ai lati della postazione. Questo ha permesso di eliminare i problemi relativi alla limitata corsa del supporto riscontrati nel primo caso, in quanto lo spazio disponibile ai lati della postazione è maggiormente sfruttabile. In figura 5.7 è rappresentato il disegno della nuova configurazione. La figura mostra solamente i componenti presenti su un unico lato del sistema di sollevamento, il lato opposto, visibile nelle figure 5.8b e 5.9b, presenta gli stessi componenti. Come è possibile osservare nelle figure appena citate, il meccanismo si compone di quattro assi lineari fissati al telaio della postazione e di altrettanti cuscinetti lineari con relativi supporti avvitati alla struttura del supporto addominale. Le viti, poste in posizione centrale rispetto agli assi, sono azionate dai rispettivi motori elettrici attraverso un riduttore, scelto in funzione del peso dell'animale e della coppia necessaria per il sollevamento di questo. L'isolamento del vano contenente viti e motori è stato realizzato utilizzando dei soffiotti flessibili posti in corrispondenza degli assi lineari, come è mostrato in figura 5.10, che raffigura i soffiotti fissati al telaio e posti su un lato della postazione.

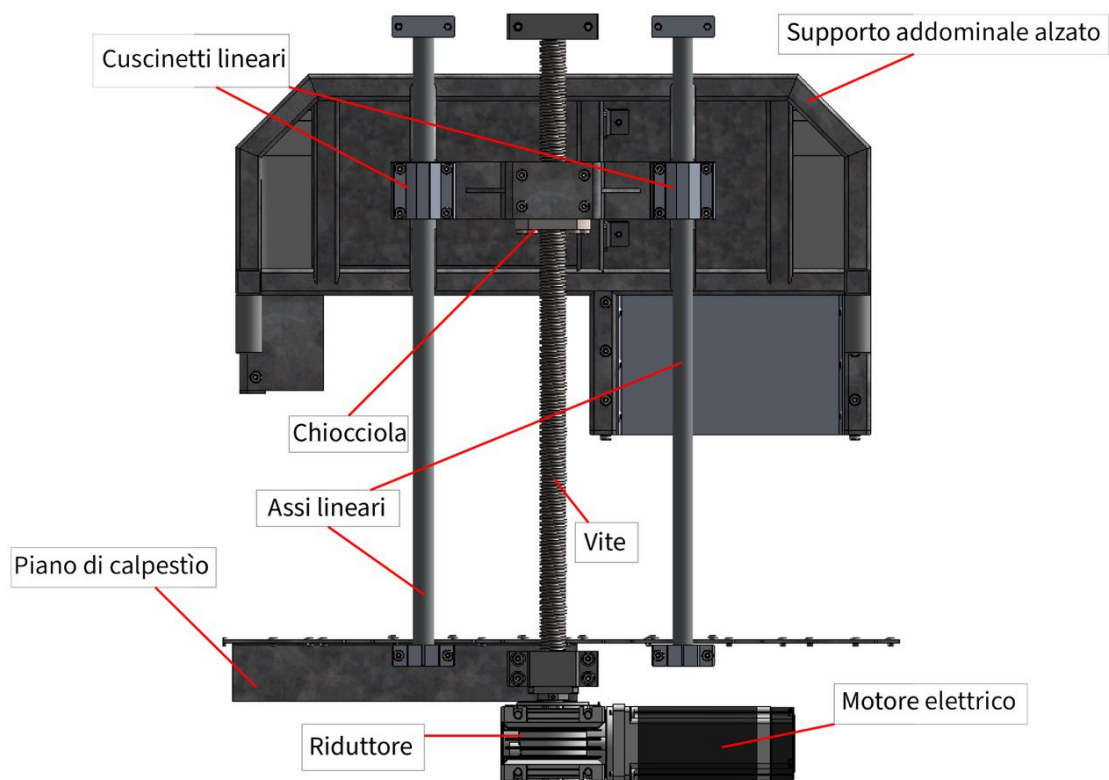


Figura 5.7: Disegno funzionale raffigurante il supporto addominale

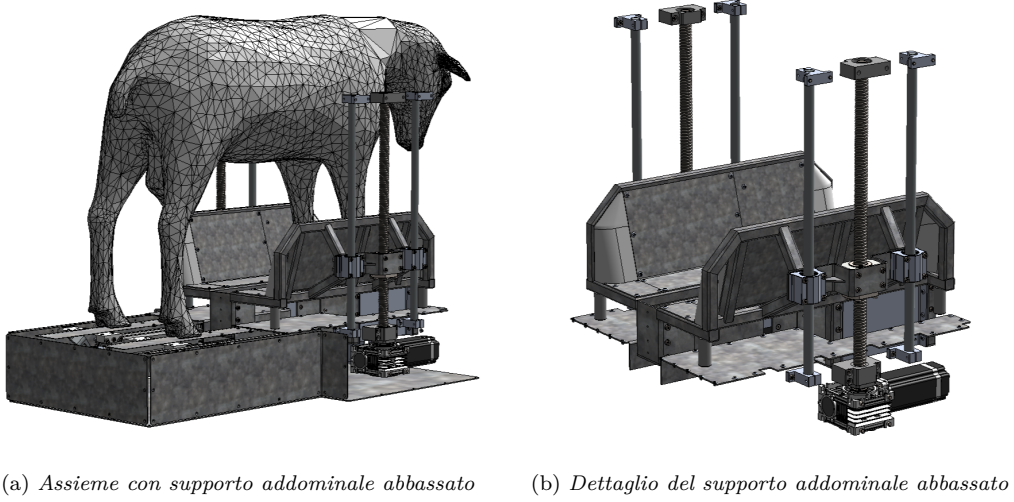


Figura 5.8: Supporto addominale abbassato

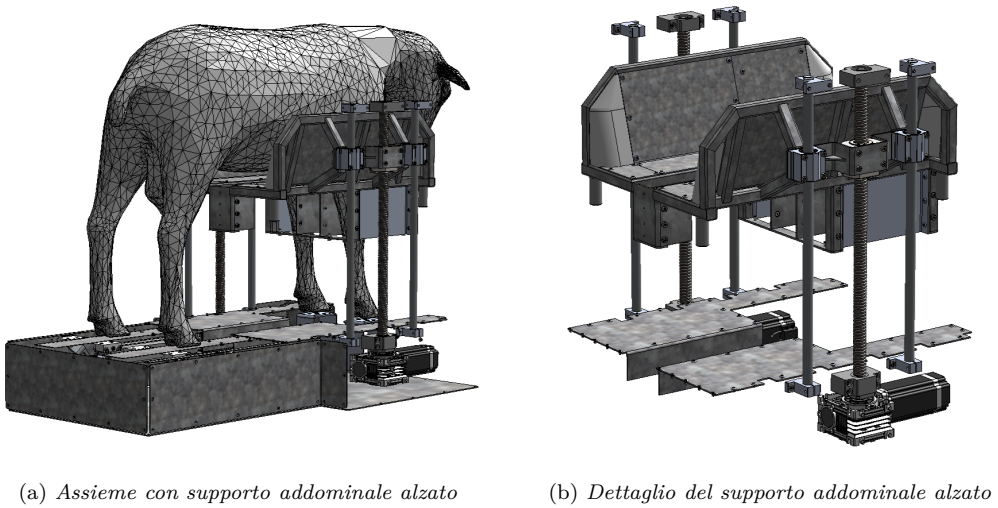


Figura 5.9: Supporto addominale alzato

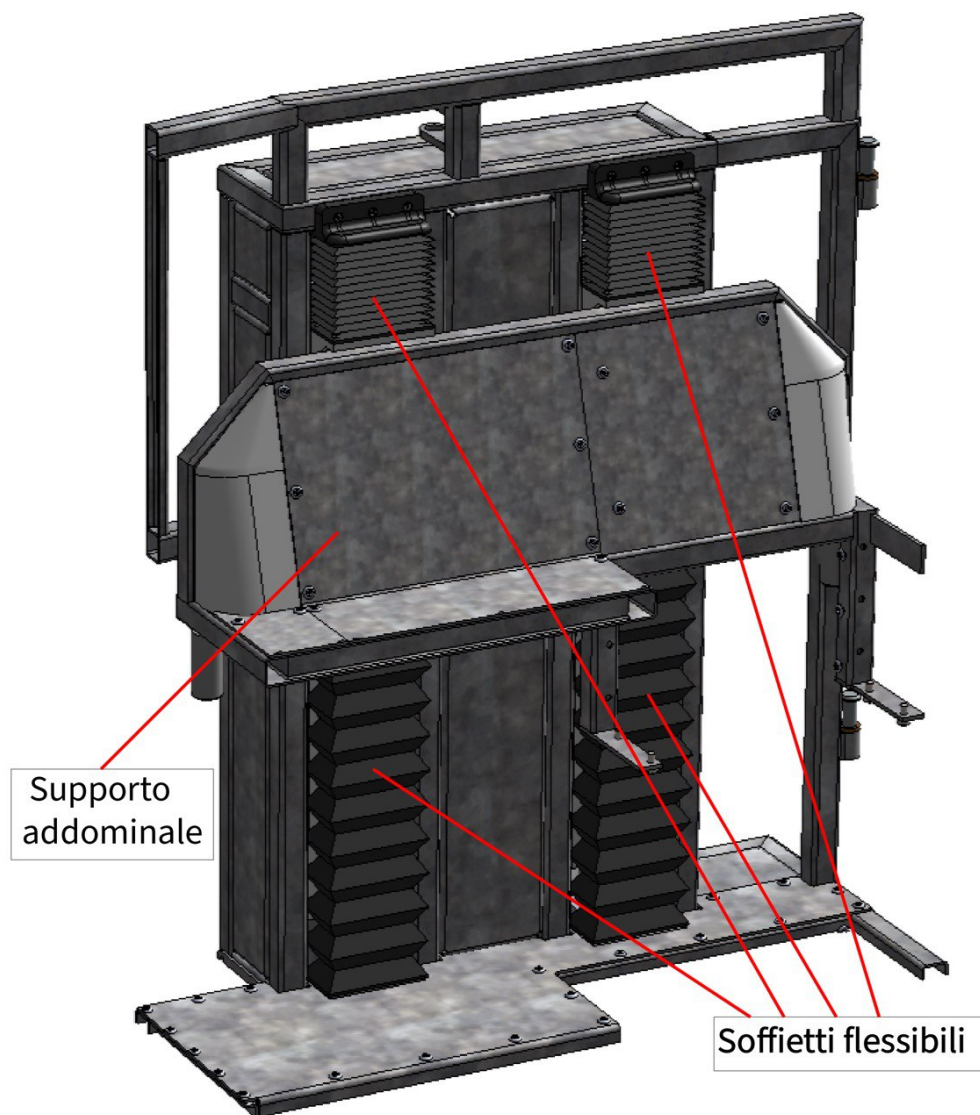


Figura 5.10: Disegno funzionale raffigurante i soffietti per isolare i componenti sensibili interni

Capitolo 6

Progettazione della postazione di mungitura

La fase di progettazione della postazione di mungitura è proseguita tenendo conto degli aspetti considerati nei precedenti capitoli riguardanti i due meccanismi principali. In particolare, come già anticipato, si è scelto di adottare come sistema di immobilizzazione delle zampe posteriori il meccanismo dotato di elementi flessibili riportato nelle figure 4.14 e 4.15, mentre, per quanto riguarda il sistema di sollevamento addominale, si è ritenuto conveniente l'utilizzo del sistema con azionamento a vite-madrevite posizionati ai lati della postazione rappresentato nelle figure 5.7, 5.8 e 5.9. In questa fase di progettazione si è dunque realizzato un modello completo utilizzando i meccanismi scelti. Il modello CAD del prototipo finito è mostrato nelle figure 6.1 e 6.2.

Oltre ai sistemi principali di immobilizzazione delle zampe posteriori e di sollevamento addominale, è stato necessario sviluppare altri sistemi secondari adatti a garantire una corretta operatività della postazione. Riprendendo nuovamente il sistema di sollevamento addominale, sono stati adottati degli accorgimenti di seguito descritti. Il supporto addominale è stato realizzato prevedendo la creazione di due elementi con lo scopo di costituire due sezioni aperte posizionate nella parte anteriore del supporto, in corrispondenza delle zampe anteriori. Le sezioni aperte appena descritte sono evidenziate nel modello del supporto addominale mostrato in figura 6.3. Queste sezioni hanno lo scopo di confinare le zampe anteriori dell'animale in uno spazio ben delimitato, evitando che l'animale possa spostarle a suo piacimento. Si ha quindi un'azione di quasi immobilizzazione svolta in modo passivo, in quanto essa è generata solamente attraverso il sollevamento del supporto addominale e non tramite l'utilizzo di azionamenti esterni.

Per evitare che durante la fase di abbassamento del supporto addominale l'animale posizioni le zampe sotto il piano del supporto, con possibilità di lesioni o traumi gravi, si è prevista la creazione di un confinamento obbligato lungo tutta la corsa compiuta dal supporto addominale, ovvero, tra le sezioni aperte presenti nel piano del supporto e il piano di calpestio. Per la creazione di questo confinamento si è ricorsi alla progettazione di particolari protezioni telescopiche, in grado di richiudersi durante la fase di abbassamento del supporto addominale e di estendersi durante il suo sollevamento. Le protezioni telescopiche sono raffigurate in figura 6.4, nella quale sono riportate in posizione estesa. Si può vedere l'accoppiamento di queste con il supporto addominale e il piano di calpestio della postazione. In figura 6.5 invece, è rappresentata la vista in sezione di una protezione telescopica, in cui si può vedere il posizionamento della zampa rispetto ad essa quando il supporto addominale è sollevato.

Per invitare l'animale ad assumere un corretto posizionamento delle zampe anteriori, quindi per consentire il corretto collocamento delle zampe anteriori nelle rispettive sezioni aperte indicate in 6.3, come già indicato nei capitoli precedenti, si è scelto di dividere il piano di calpestio

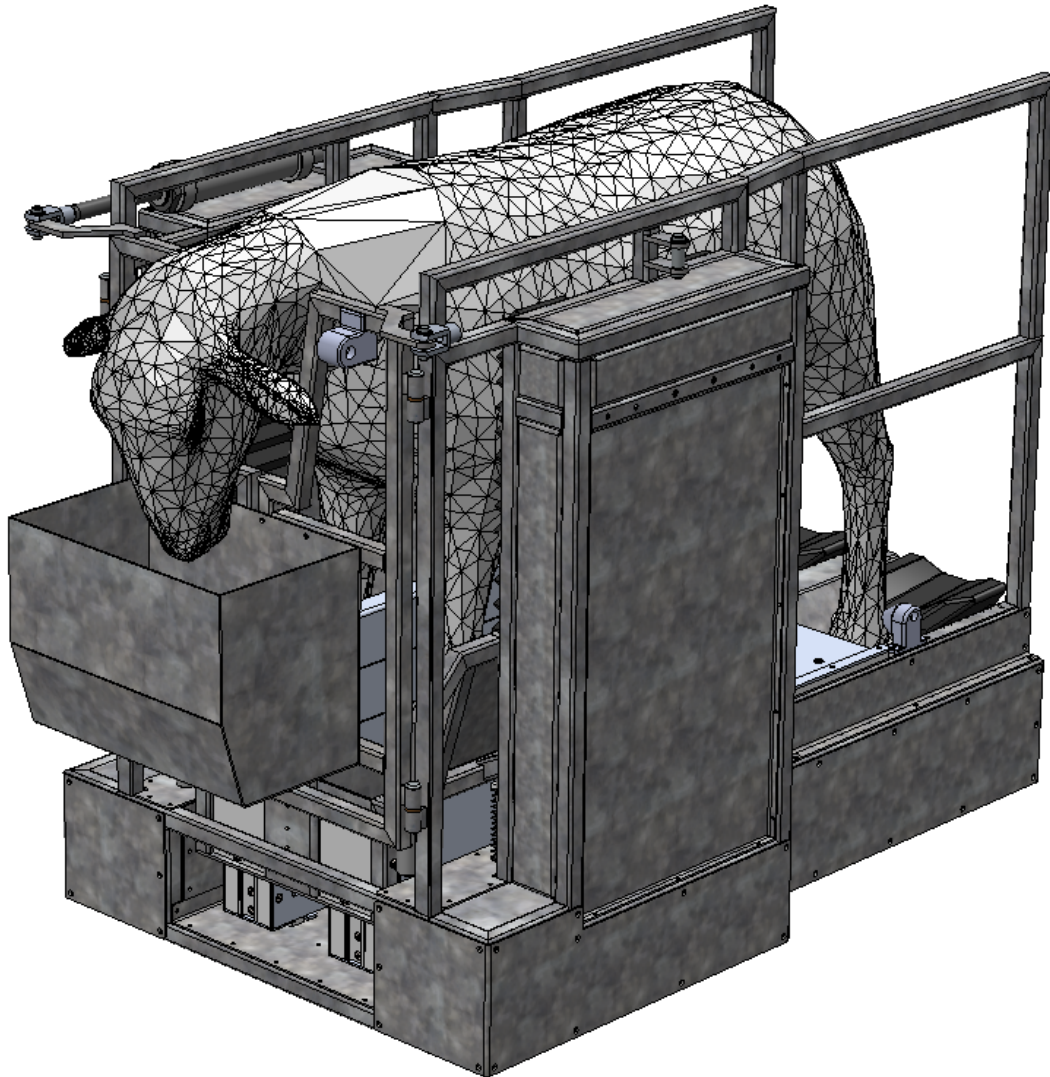


Figura 6.1: Vista frontale del modello CAD completo della postazione di mungitura

con una parete centrale (figura 3.4) lungo tutto il piano. L'utilizzo di un supporto addominale sollevabile posto nella parte anteriore dell'animale, rende difficoltosa la costruzione di una parete continua disposta lungo tutto il piano della postazione e, anche nel caso si trovasse una soluzione a questo problema, la parete centrale non deve essere troppo alta perché, durante la fase di ingresso dell'animale nella postazione, si genera una colluttazione tra la parete e la sua mammella, poiché questa, in alcuni esemplari, a causa delle dimensioni, si avvicina parecchio al piano di calpestio. L'utilizzo di una parete divisoria troppo bassa non adempie allo scopo per cui è stata creata, infatti, quando realizzata in questo modo non garantisce il corretto posizionamento delle zampe anteriori. Per garantire una corretta disposizione delle zampe, in particolare di quelle anteriori, si è creata una parete divisoria integrata nel supporto addominale con la possibilità di essere richiusa all'occorrenza, ovvero quando l'animale esce dalla postazione di mungitura e quando il supporto addominale si solleva. Nella parte posteriore, invece, dove è presente il meccanismo di



Figura 6.2: Vista posteriore del modello CAD completo della postazione di mungitura

presa delle zampe posteriori, si è creata una parete fissa più bassa, che non crea problemi durante il passaggio dell'animale. Si riporta in figura 6.6 il modello della parete inglobata nel supporto addominale, in questo caso la parete è alzata. Nella figura 6.7 si riporta invece la parete quando è abbassata che, come si può vedere, in questa posizione, è inglobata perfettamente con il piano del supporto addominale.

I componenti principali che hanno lo scopo di controllare la posizione della parete centrale sono riportati in figura 6.8. L'attuatore lineare, agendo sul perno rotante, permette di variare l'angolazione della leva di supporto. Quest'ultima è dotata di una ruota posta nell'estremità superiore che entra in contatto con l'elemento battente quando la leva è posizionata verticalmente. Il contatto tra ruota e elemento battente, quando il supporto addominale viene abbassato, causa il sollevamento della parete centrale. Quando, invece, il supporto addominale viene sollevato, si perde il contatto tra ruota ed elemento battente, provocando l'abbassamento della parete centrale per gravità. Nelle seguenti figure sono visualizzabili le varie fasi operative compiute dalla parete in funzione della fase di lavoro dell'impianto di mungitura. La figura 6.8 mostra il posizionamento

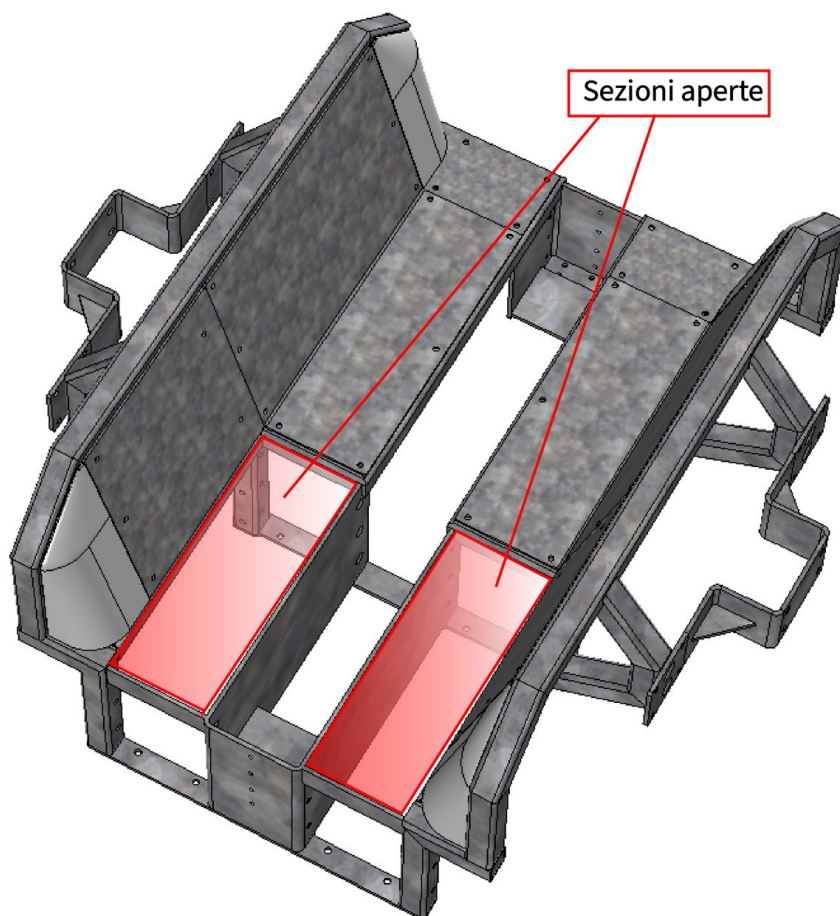


Figura 6.3: Dettaglio delle sezioni aperte presenti sul piano del supporto addominale

assunto durante l'ingresso dell'animale, infatti la parete centrale è alzata per consentire il corretto posizionamento delle zampe anteriori e il supporto addominale è abbassato. Una volta posizionato l'animale, si passa alla fase successiva. Il supporto addominale viene sollevato e, di conseguenza, per gravità, la parete centrale si abbassa come raffigurato in figura 6.9. In figura 6.10 è mostrata invece la fase di transizione che precede l'uscita dell'animale, infatti la leva di supporto si posiziona orizzontalmente per evitare il contatto dell'elemento battente quando viene abbassato il supporto addominale nella fase di uscita, in cui i componenti assumono la posizione mostrata nella figura 6.11.

Si è proseguita la progettazione della postazione realizzando le porte poste frontalmente all'animale. Si è deciso di comporre la porta frontale con due ante, in una delle quali è stata installata la mangiatoia. Si è previsto di azionare l'apertura e la chiusura delle due ante tramite due cilindri pneumatici collegati in parallelo. Nelle figure 6.12 e 6.13 viene rappresentata rispettivamente la fase di apertura e chiusura della porta.

Come elemento conclusivo della fase di progettazione si è creato il meccanismo di immobilizzazione del collo che, come già indicato precedentemente, è un tipo di meccanismo ampiamente utilizzato negli impianti di mungitura attualmente presenti sul mercato. Il meccanismo di immobilizzazione del collo, adattato al modello del prototipo realizzato, è mostrato in figura 6.14,

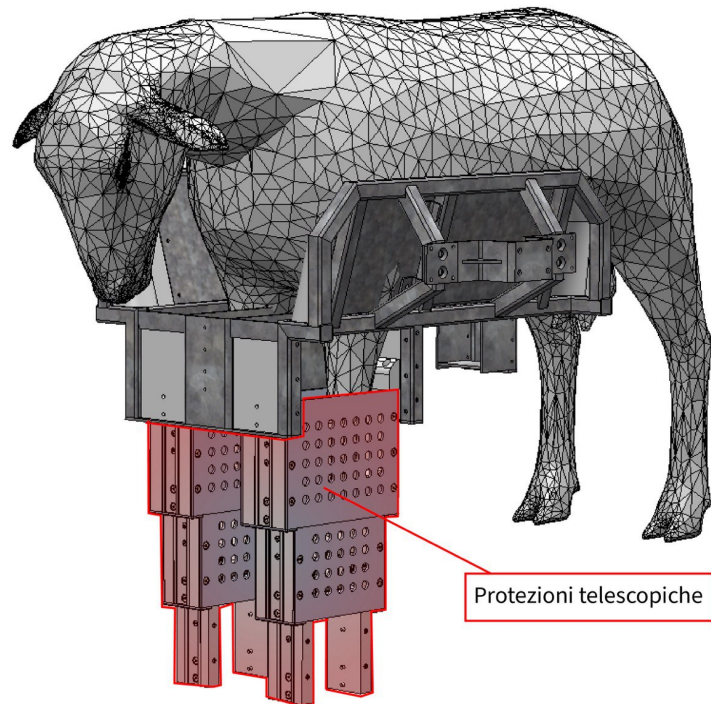


Figura 6.4: Dettaglio delle protezioni telescopiche

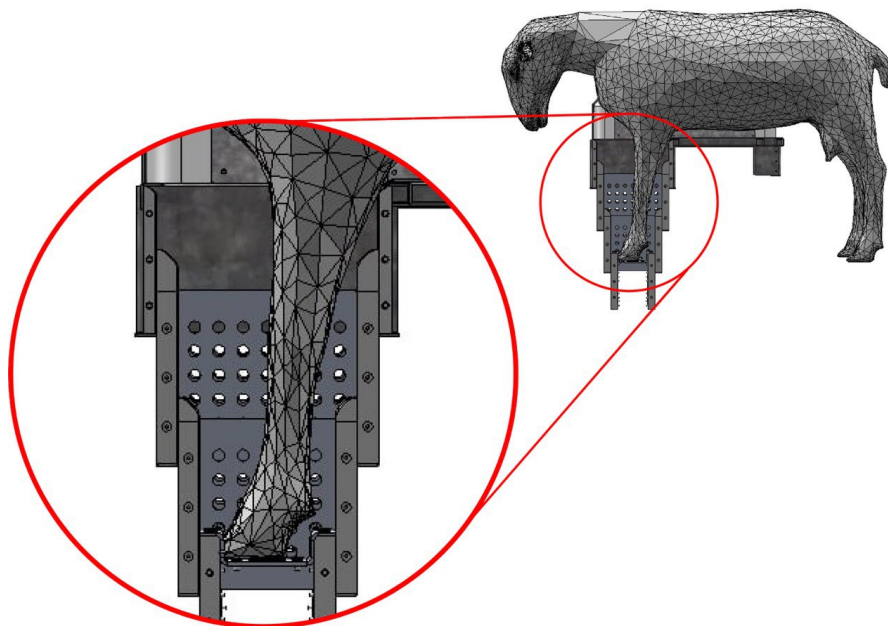


Figura 6.5: Dettaglio del posizionamento della zampa all'interno della protezione telescopica

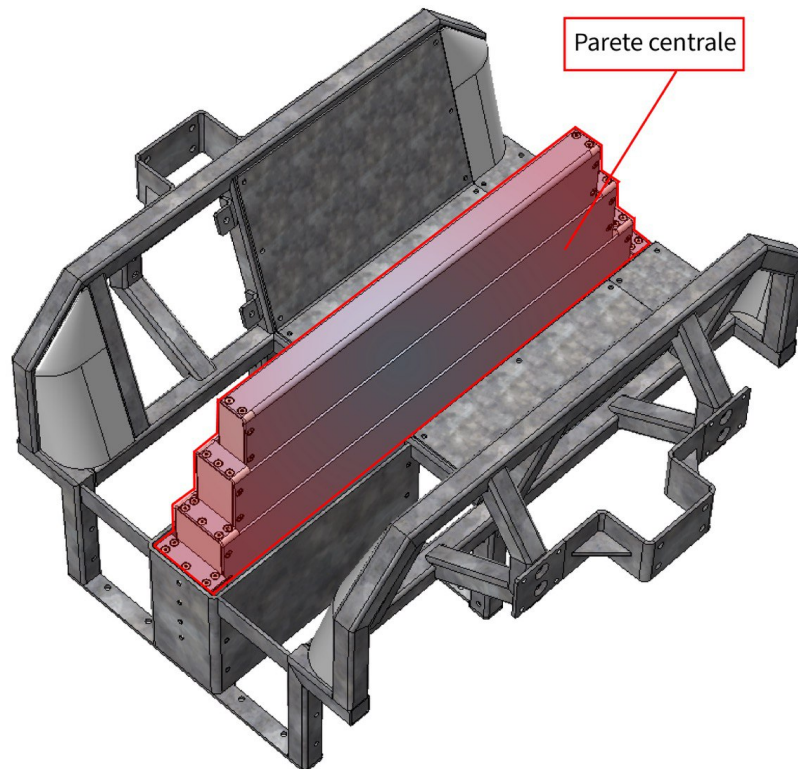


Figura 6.6: Dettaglio della parete centrale pieghevole alzata, inglobata nel supporto addominale

nella quale si possono anche vedere i componenti principali di cui è composto. Si può osservare che il meccanismo è composto da un collare che, quando bloccato, ha la funzione di ostacolare il movimento del collo dell'animale. Lo stato di funzionamento iniziale del meccanismo è rappresentato in figura 6.15a, questa è la posizione del meccanismo assunta all'arrivo dell'animale. Quando l'animale si china verso la mangiatoia, spinto dal suo istinto verso il cibo contenuto all'interno di essa, entrando in contatto con il collare, ne provoca la sua rotazione fino al raggiungimento della posizione mostrata in figura 6.15b. In quest'ultima posizione il collare raggiunge una posizione di blocco, comportando l'immobilizzazione dell'animale. Si consideri la vista riportata nelle figure citate precedentemente e si consideri inoltre la nomenclatura dei componenti riportata in figura 6.14. Quando si raggiunge la posizione di immobilizzazione (figura 6.15b), il collare è bloccato alla rotazione in verso orario dall'elemento di vincolo e, in verso antiorario, dall'elemento di blocco. Le posizioni assunte da quest'ultimo elemento durante la rotazione del collare provocata dal contatto con l'animale sono riportate in figura 6.16. Come si può vedere, inizialmente, l'angolo tra il collare e l'elemento di blocco è α_0 , che rappresenta l'angolo massimo tra i due elementi. L'angolo rimane costante fino a quando l'elemento di blocco entra in contatto con la piastra di blocco, che ne provoca la sua rotazione. Infatti, come si può vedere sempre nella stessa figura, successivamente l'angolo varia in modo continuo, passando per α_1 e α_2 , fino a quando non si ha più contatto tra elemento di blocco e piastra di blocco, ovvero quando il collare raggiunge la sua rotazione massima delimitata dall'elemento di vincolo, quindi quando si raggiunge la posizione di immobilizzazione. In questo caso l'elemento di blocco, non essendo più in contatto con la piastra di blocco, si abbassa e, per gravità, ritorna nella posizione iniziale con angolo α_0 . Raggiunta

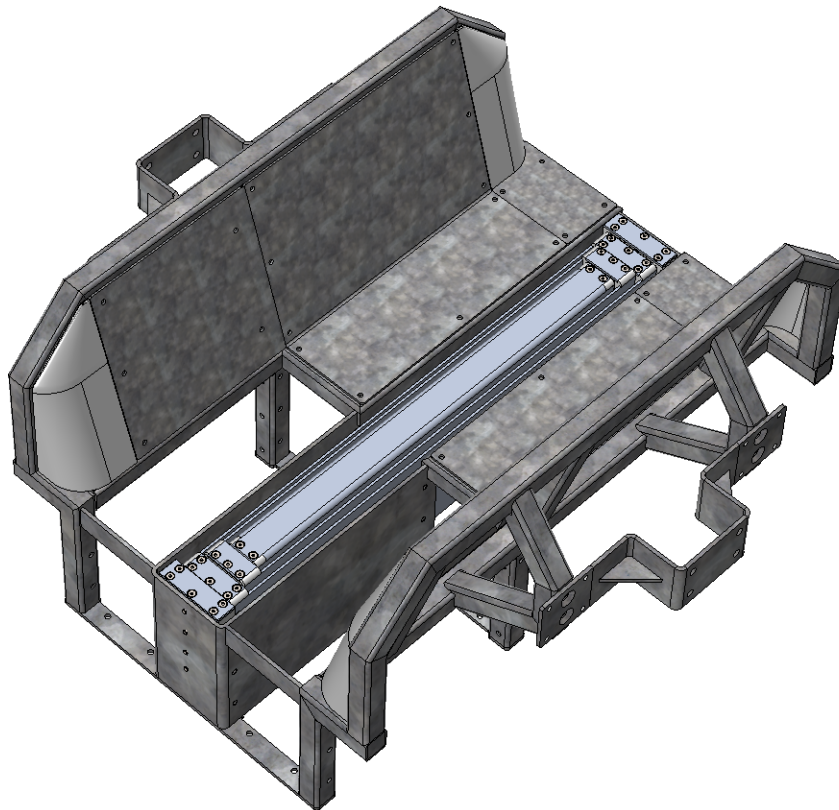


Figura 6.7: Dettaglio della parete centrale pieghevole abbassata, inglobata nel supporto addominale

questa posizione, l'elemento di blocco, ostacolato dalla piastra di blocco, vincola la rotazione del collare in senso antiorario. Quando si effettua l'apertura delle porte, l'elemento di blocco si svincola dalla piastra di blocco, permettendo nuovamente la rotazione in senso antiorario del collare. Quest'ultimo, infatti, a causa della massa collegata ad esso, si riporta nella posizione iniziale mostrata in figura 6.15a.

Con riferimento alle figure 6.15b e 6.15a., l'elemento di vincolo ha il compito di limitare la rotazione in senso orario del collare, mentre, l'elemento di blocco, agendo sulla piastra di blocco, ostacola la rotazione in senso antiorario. L'elemento di blocco è vincolato al collare tramite un perno e p

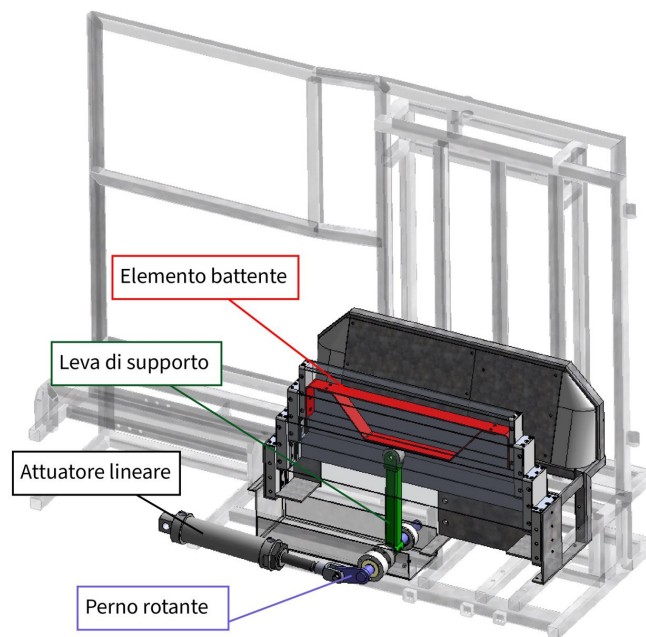


Figura 6.8: Parete centrale durante la fase di ingresso dell'animale

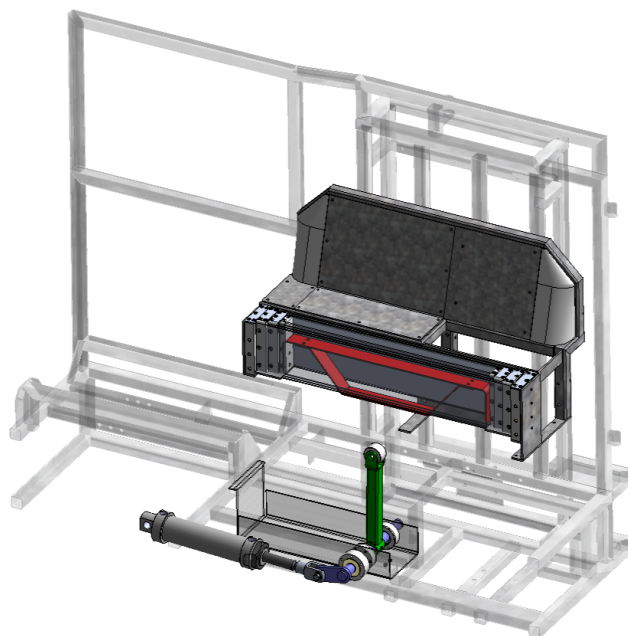


Figura 6.9: Parete centrale durante la fase di mungitura dell'animale

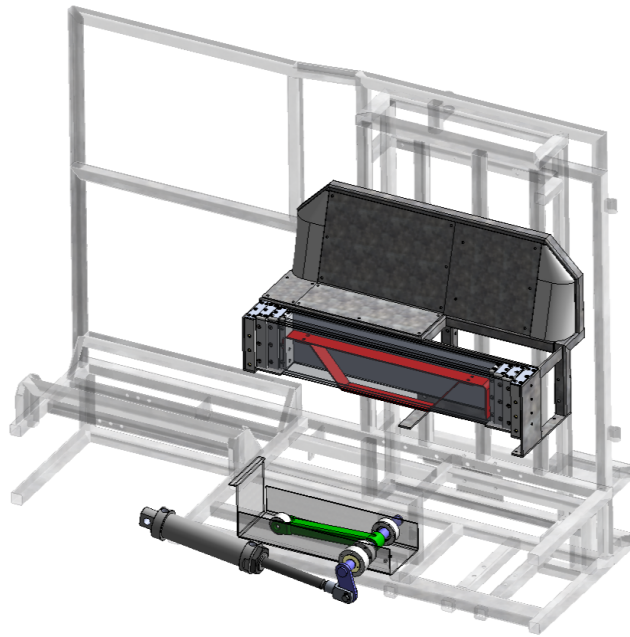


Figura 6.10: Parete centrale durante la fase di preparazione all'uscita dell'animale

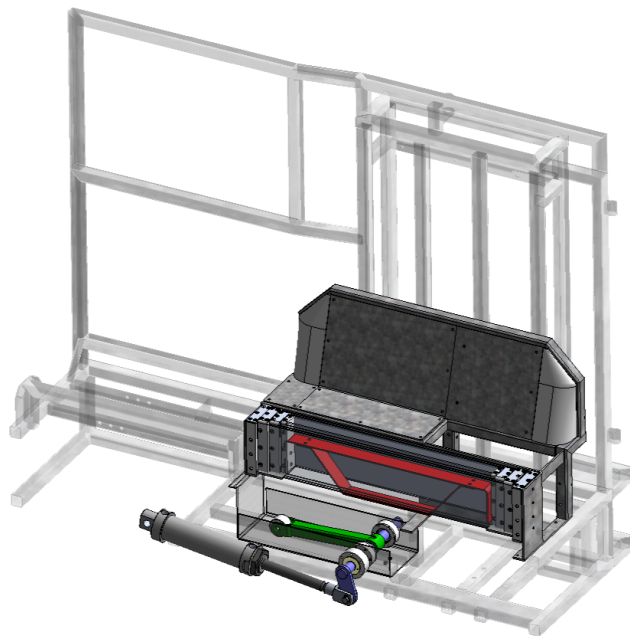


Figura 6.11: Parete centrale durante la fase di uscita dell'animale

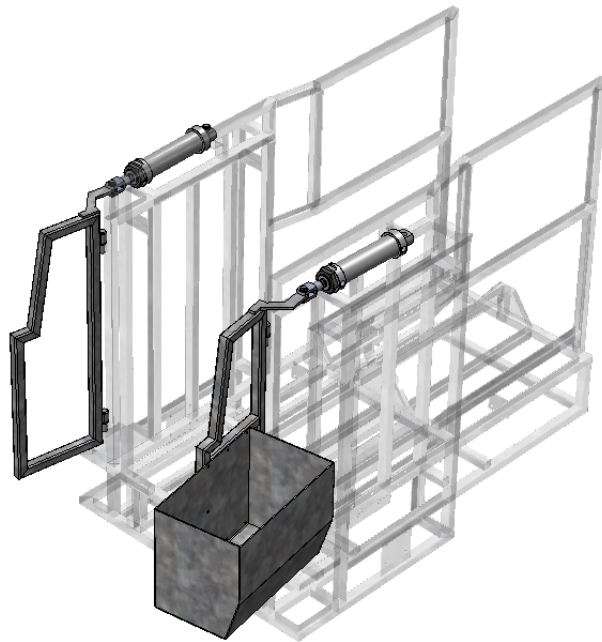


Figura 6.12: Fase di apertura della porta anteriore



Figura 6.13: Fase di chiusura della porta anteriore

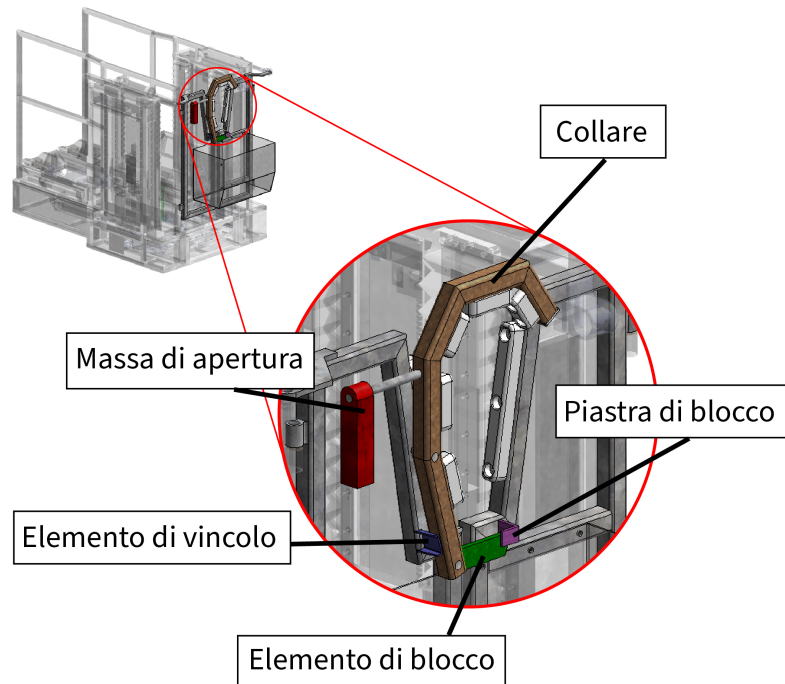
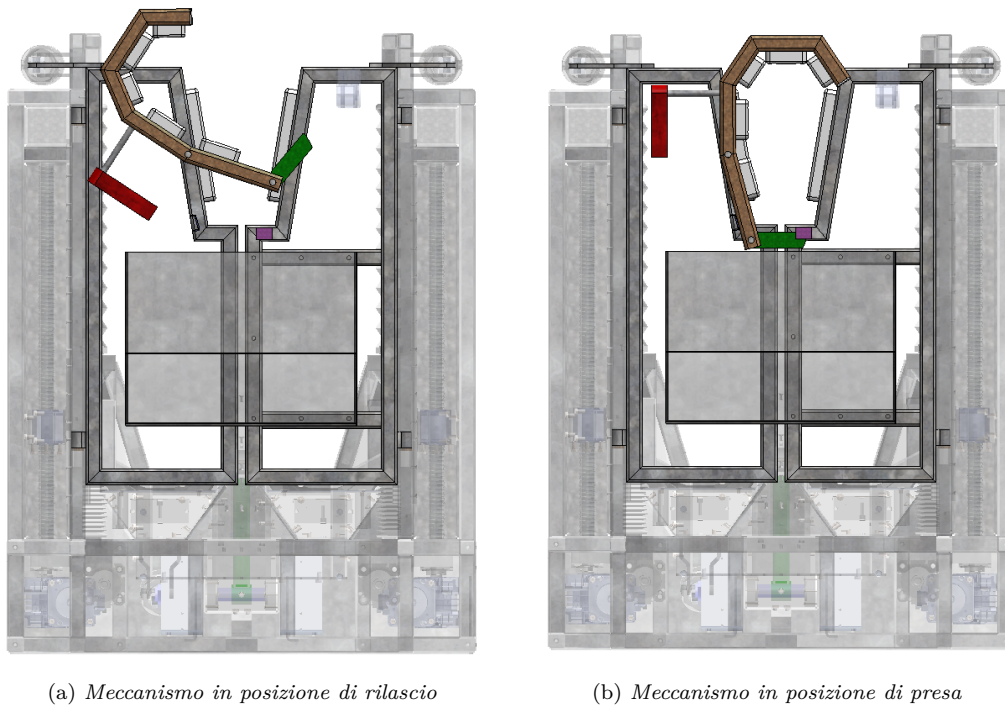


Figura 6.14: Meccanismo di immobilizzazione del collo



(a) Meccanismo in posizione di rilascio

(b) Meccanismo in posizione di presa

Figura 6.15: Posizioni iniziale e finale assunte dal meccanismo di immobilizzazione del collo

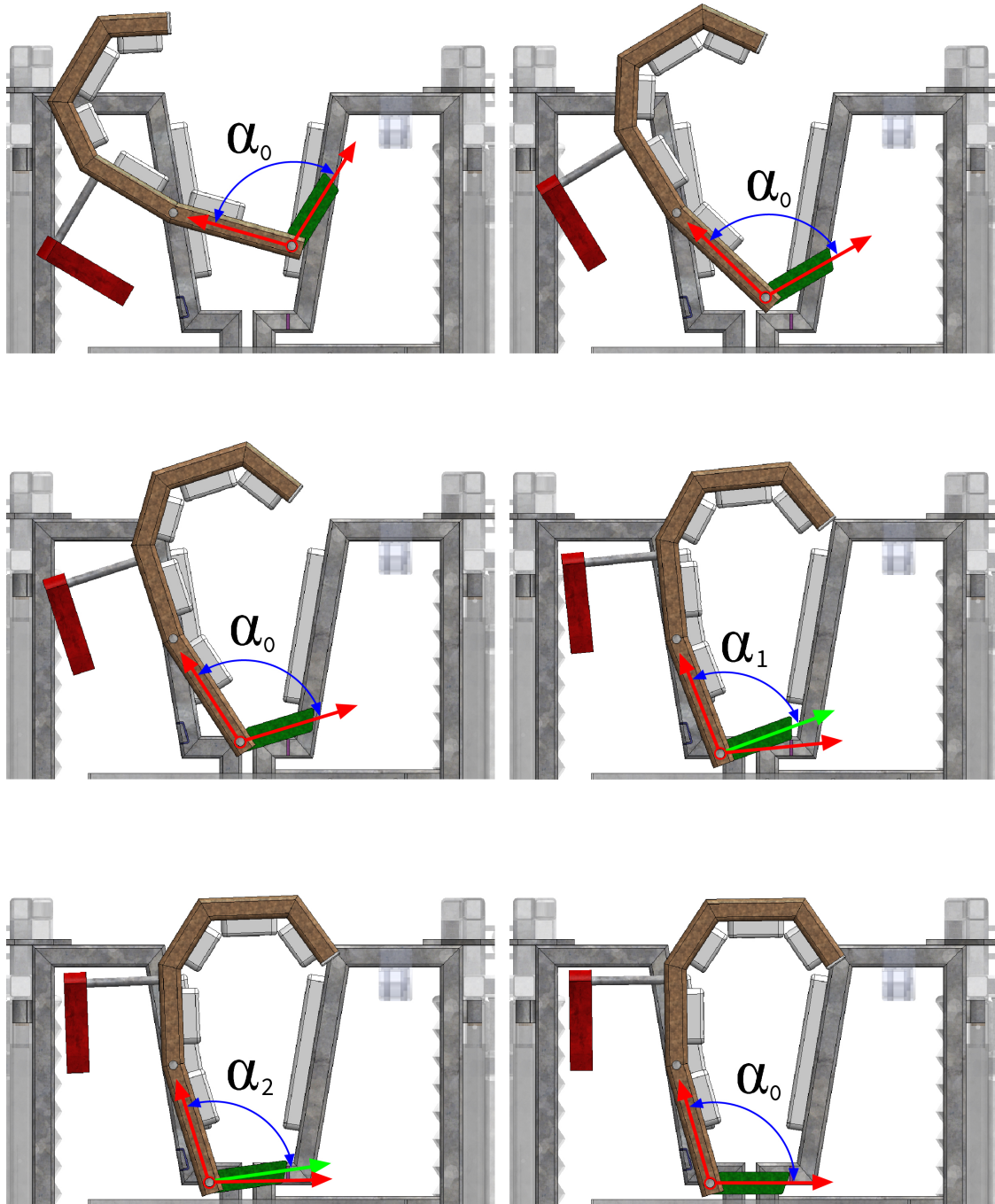


Figura 6.16: Dettaglio delle posizioni assunte dall'elemento di blocco in funzione della rotazione del collare

Capitolo 7

Realizzazione del prototipo

Nel capitolo precedente si è visto come si è scelto di progettare il prototipo della postazione di mungitura considerando il sistema di immobilizzazione delle zampe posteriori e il supporto addominale, quindi considerando la postazione nella sua completezza. Lo scopo principale del prototipo è la verifica del funzionamento dei due sistemi. Tuttavia, per le prove del prototipo, si è scelto di dividere la verifica in due fasi, una fase in cui si verifica il funzionamento del sistema di immobilizzazione delle zampe posteriori e, una volta appurato il suo funzionamento, passare a un'altra fase in cui le prove vengono effettuate sul meccanismo del supporto addominale. Per lo svolgimento di questa tesi si è ritenuto opportuno concentrarsi unicamente sulla prima fase, per cui è stato modificato il modello CAD presentato nel capitolo precedente, eliminando il supporto addominale. Si è quindi realizzato un modello del prototipo adattato, in gran parte uguale al modello completo. Nel modello adattato sono stati eliminati unicamente i componenti relativi al funzionamento del supporto addominale, infatti, questo modello è stato ricreato con lo scopo di essere agevolmente aggiornabile alla versione completa, permettendo in futuro di testare anche il supporto addominale presentato precedentemente. Lo spazio occupato dal supporto addominale considerato nel modello CAD completo, realizzato nel capitolo precedente, è stato sostituito da una lamiera che assolve la funzione di piano di calpestio. Sono state utilizzate delle lamiere anche per coprire i punti in cui è stata prevista l'installazione dei soffietti flessibili (figura 5.10) e nel vano anteriore, occupato dalle protezioni telescopiche (figura 6.4). Il telaio principale non è stato modificato, infatti, per una futura installazione del supporto addominale necessario a eseguire i le prove del prototipo nella sua versione completa, è sufficiente rimuovere le lamiere e assemblare il resto dei componenti del supporto, senza ricorrere a modifiche strutturali. In figura 7.1 sono evidenziate le lamiere installate nella nuova versione del modello che, come già indicato, non sono presenti nel modello presentato nelle figure 6.1 e 6.2.

Terminata la fase di progettazione della struttura della postazione e dei diversi meccanismi si è successivamente ideata la logica di controllo di tutto il sistema. Per il controllo degli attuatori pneumatici necessari ad azionare il sistema di immobilizzazione delle zampe posteriori e della porta anteriore sono state utilizzate delle elettrovalvole a cinque vie e due posizioni, controllate tramite un Arduino Mega. Per l'azionamento automatico del sistema di immobilizzazione delle zampe posteriori, è stato necessario predisporre dei sensori di posizione a infrarossi posti in prossimità delle due zampe posteriori e del collo. Il loro posizionamento nella postazione e il circuito logico di controllo è mostrato in figura 7.2. La nomenclatura degli attuatori presente nel circuito della figura precedente corrisponde alla nomenclatura indicata nell'assieme mostrato in figura 7.3, in cui si vedono le posizioni specifiche di ciascun attuatore presente nella postazione.

Il controllo degli azionamenti, eseguito tramite l'Arduino, è stato realizzato per permettere al sistema di immobilizzazione delle zampe posteriori di azionarsi automaticamente, quando questo rileva la presenza delle zampe posteriori. La fase di apertura e chiusura delle porte e la fase di

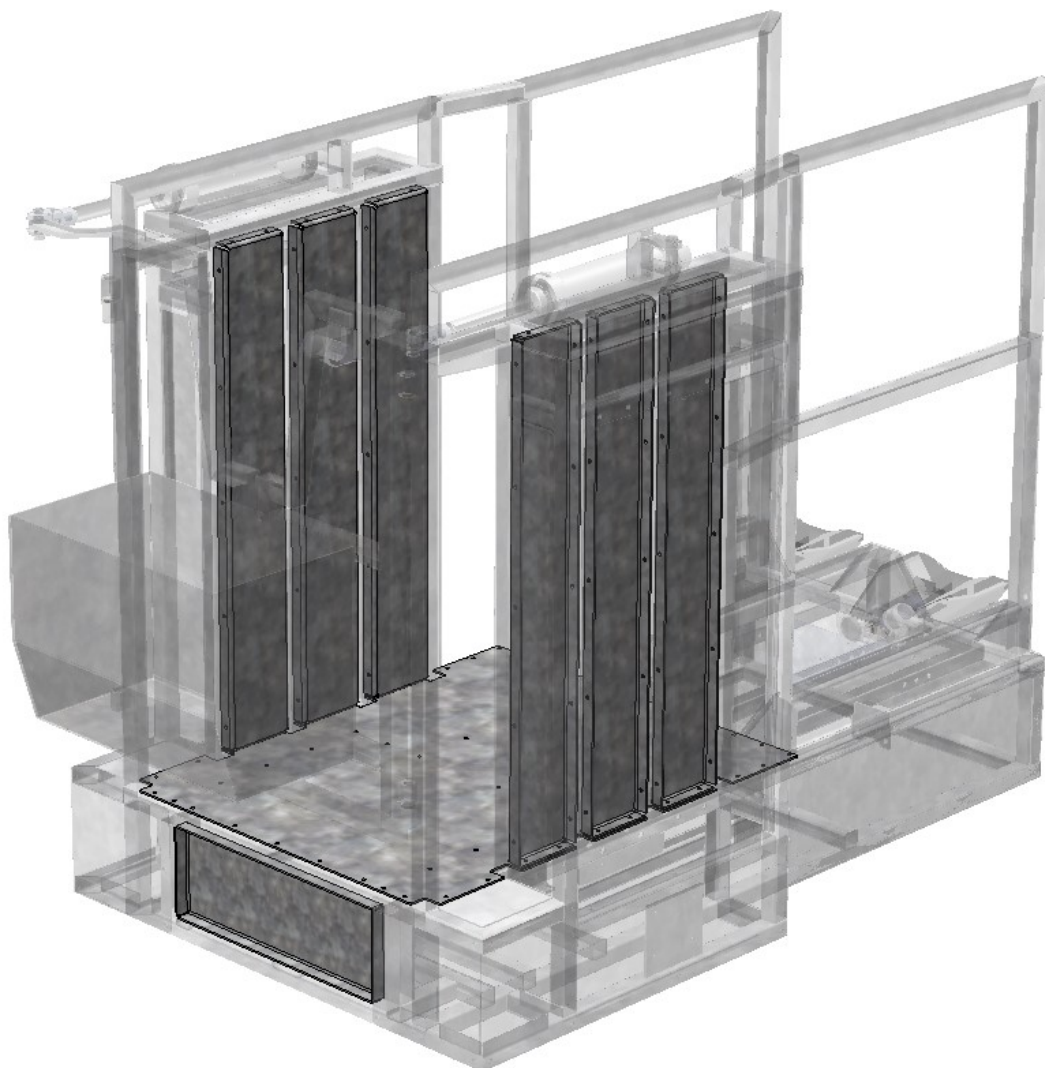


Figura 7.1: Dettaglio delle lamiere installate nel nuovo modello CAD del prototipo

rilascio delle zampe è stata gestita sempre attraverso l'Arduino, ma in modo manuale direttamente da un computer comunicante con esso, simulando la fase di fine mungitura. Il sistema di immobilizzazione si attiva automaticamente, in modo indipendente su ogni zampa, quando l'Arduino riceve in contemporanea il consenso dal sensore di posizione del collo e dal sensore di posizione della zampa posteriore. Il doppio consenso è stato necessario per evitare l'attivazione del sistema di immobilizzazione nel caso in cui il sensore di posizione delle zampe rilevi erroneamente la presenza delle zampe anteriori, quindi durante l'ingresso dell'animale. Per la creazione degli elementi flessibili del sistema di immobilizzazione delle zampe, evidenziati in figura 4.16, si è ricorsi alla fabbricazione additiva, infatti, i componenti sono stati realizzati in materiale TPU. La rigidità di questi varia anche in funzione del riempimento utilizzato durante la stampa 3D del componente. Il prototipo utilizzato nelle prove successive è stato realizzato creando degli elementi flessibili con un riempimento interno del 17 per cento. Visto che la geometria e la rigidità degli

elementi flessibili nella fase di presa sono determinanti per un corretto funzionamento del sistema, si è scelto questo metodo di produzione per rendere più facile effettuare eventuali modifiche nel caso in cui la presa non sia garantita. In figura 7.4 viene mostrata la vista laterale del sistema di immobilizzazione in fase di presa. Nota la geometria del modello è stato possibile ricavare l'espressione della forza esercitata dai cilindri nella fase di presa.

La pressione di alimentazione è la stessa sia nel caso del cilindro F che del cilindro D, infatti, questa è regolata agendo su un regolatore di pressione posto a monte di tutto il circuito pneumatico. Affinché il sistema di presa funzioni correttamente, è necessario che l'elemento flessibile rotante, all'altezza dell'asse di spinta del cilindro D, eserciti una forza superiore a quella esercitata da quest'ultimo cilindro. In caso contrario il cilindro D tende a far ruotare l'elemento flessibile rotante nel verso opposto non consentendogli di assumere un corretto posizionamento. Note la lunghezza dell'asta a e la lunghezza b è stato possibile verificare che la forza F_{F2} è maggiore alla forza F_D di circa dodici volte, per cui la condizione di funzionamento, a parità di pressione delle camere dei cilindri, è verificata. Si riportano le dimensioni nella seguente tabella.

Parametro	Misura in cm
a	12,2
b	1,2

Nelle figure 7.7 si riportano le immagini reali del prototipo costruito. A differenza del modello CAD si può vedere che nel modello reale è presente una rampa di accesso, la cui costruzione si è resa necessaria per rendere più agevole l'accesso degli animali. Inoltre, si può notare su un lato della postazione anche una scatola di derivazione elettrica che ospita i componenti elettronici di controllo e le elettrovalvole. Nelle figure 7.6, ?? e 7.8 sono mostrate in dettaglio, rispettivamente, le immagini reali del sistema di immobilizzazione delle zampe posteriori, del meccanismo di immobilizzazione del collo e del circuito elettro-pneumatico presente all'interno della scatola di derivazione.

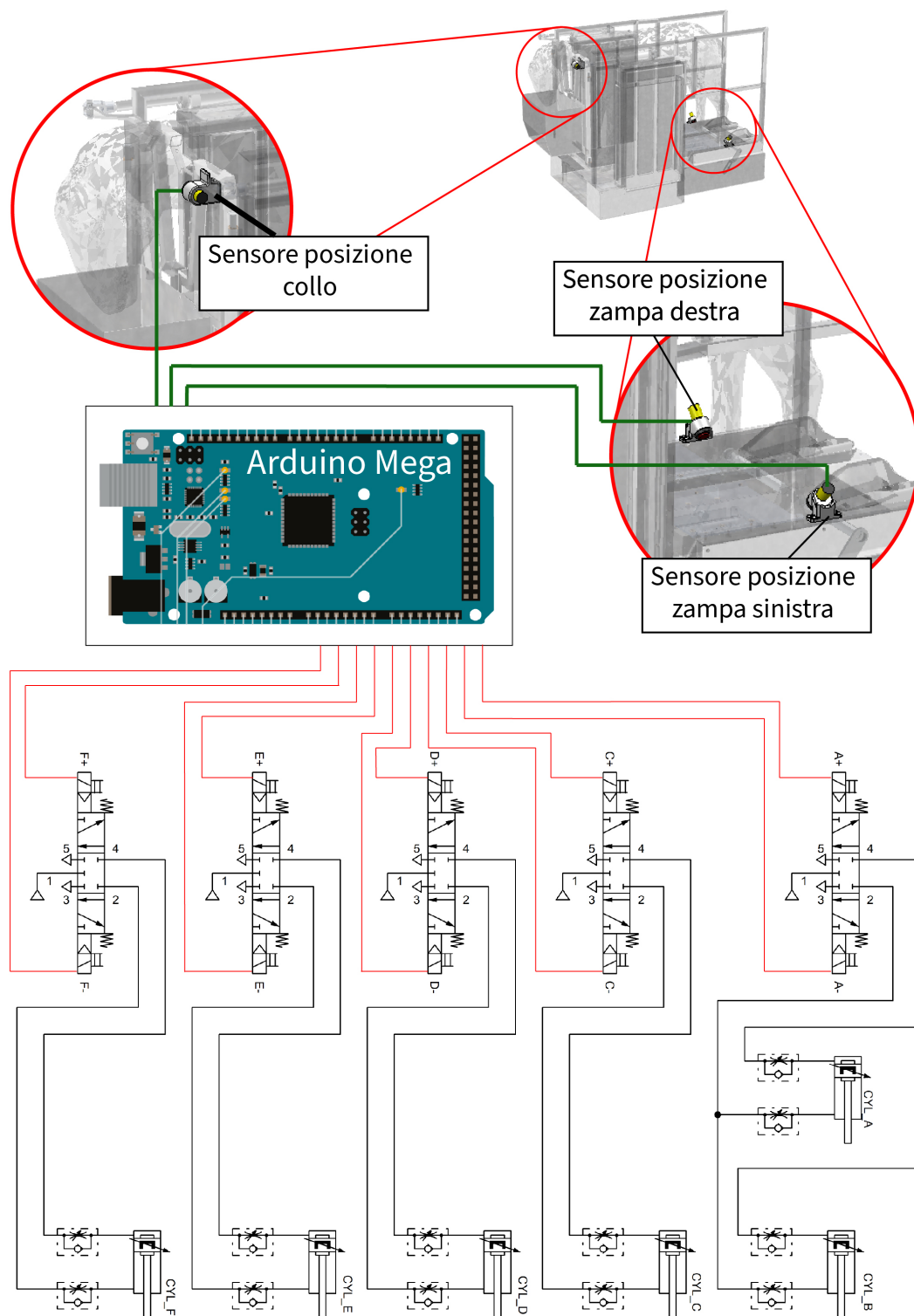


Figura 7.2: Circuito logico di controllo

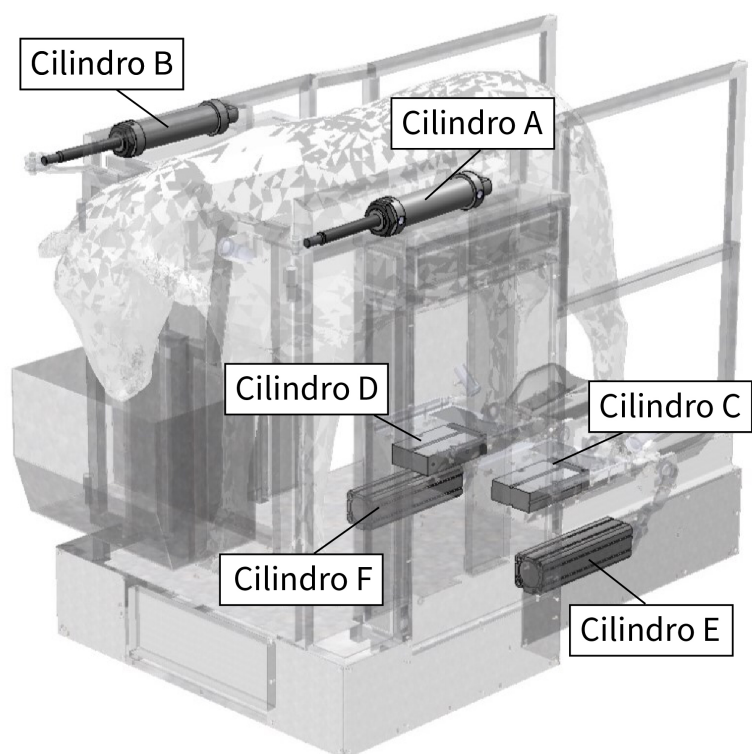


Figura 7.3: Nomenclatura degli attuatori pneumatici posizionati nell'assieme

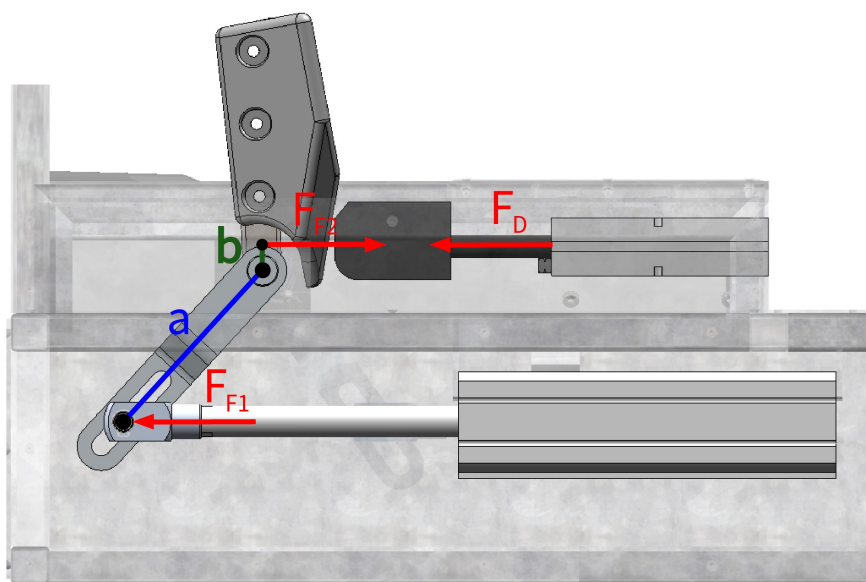


Figura 7.4: Diagramma di corpo libero del sistema di immobilizzazione delle zampe posteriori

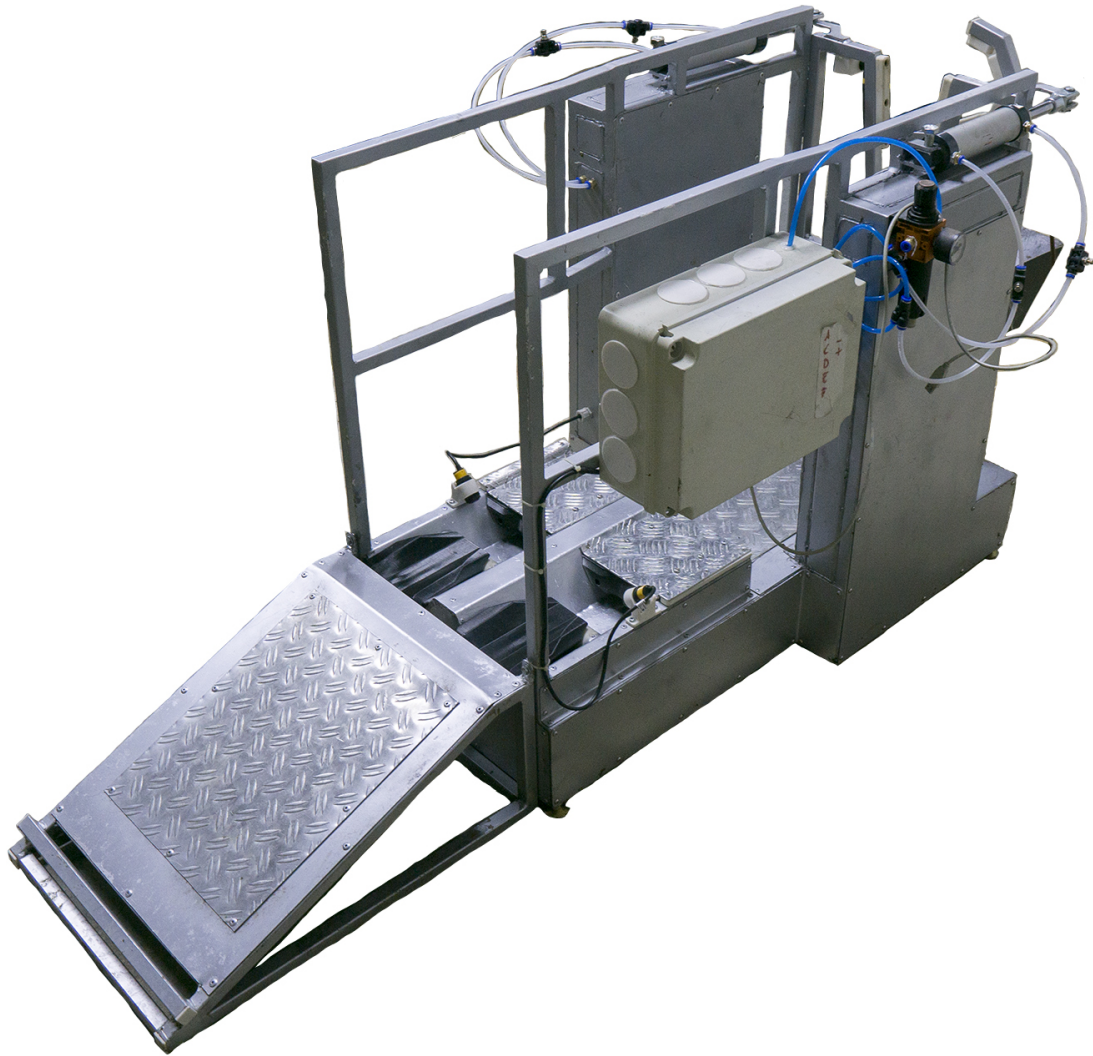


Figura 7.5: Immagine reale del prototipo completo



Figura 7.6: Immagine reale del sistema di immobilizzazione delle zampe posteriori



Figura 7.7: Immagine reale del meccanismo di immobilizzazione del collo



Figura 7.8: Immagine reale del circuito elettro-pneumatico

Capitolo 8

Prove preliminari

Dopo aver concluso la costruzione del prototipo, è stato verificato il suo effettivo funzionamento. L'esecuzione delle prove è stata fatta selezionando un numero definito di pecore, in questo caso sono stati selezionati cinque capi. Le prove sono state eseguite per tre giorni di seguito, facendo accedere gli animali alla postazione per più volte di seguito, ciclicamente. L'accesso è stato eseguito suddividendo la zona di prova in due aree, una posta posteriormente alla postazione e un'altra area posta frontalmente ad essa, come presentato in figura 8.1. In figura 8.2 è rappresentata l'area reale di prova. Le aree anteriore e posteriore coincidono con due locali separati, infatti la postazione è stata posizionata nella porta confinante tra i due locali, in modo tale da sfruttare il muro di separazione posto tra gli stessi. La prova è stata eseguita raggruppando inizialmente gli animali nell'area posteriore e, ciclicamente, facendoli accedere alla postazione. Completato il passaggio di tutti e cinque i capi, dall'area anteriore sono stati riportati nell'area posteriore in modo da iniziare nuovamente il ciclo di prova. Per cercare di fissare un'abitudine negli animali, inizialmente si è cercato di condurli alla postazione senza attivare il meccanismo di immobilizzazione delle zampe posteriori e tenendo aperta la porta della postazione, utilizzando la postazione solamente come via di transito tra l'area posteriore e quella anteriore. Questo è stato fatto fino a quando non si è vista una certa tendenza degli animali ad accedere alla postazione autonomamente. Dopo un certo numero di passaggi è iniziata la prova del sistema di immobilizzazione delle zampe posteriori. Per effettuare la prova si è partiti sempre raggruppando gli animali nell'area posteriore e, con il sistema di immobilizzazione attivo e la porta anteriore della postazione chiusa, è stato consentito nuovamente l'accesso degli animali. Già le prime prove hanno permesso di constatare una difficile tendenza degli animali ad accedere alla postazione. Questo, tuttavia, è in generale un comportamento normale, dal momento che gli animali non sono abituati al nuovo sistema e hanno bisogno di un certo periodo di adattamento ad esso. Affinché questo sia possibile è necessario eseguire le prove giornalmente, con costanza, per diverse settimane. Avendo eseguito le prove solamente per tre giorni, l'accesso degli animali non è sempre stato immediato. In questi casi, gli esemplari più diffidenti ad accedere alla postazione, che quindi hanno bisogno di più tempo per abituarsi, sono stati fatti solamente transitare tra le due aree senza attivare nessun sistema di immobilizzazione, in quanto, a porte chiuse, non si è verificata nessuna tendenza di questi a nutrirsi dalla mangiatoia anteriore e quindi a immobilizzare il collo. Questo non ha permesso al meccanismo di immobilizzazione delle zampe posteriori di attivarsi a causa del mancato consenso del sensore di posizione posto in prossimità del collo. Nei casi in cui si è raggiunto un corretto posizionamento all'interno della postazione, ovvero quando l'animale ha subito un'immobilizzazione del collo (figura 8.3), si è verificato il funzionamento del sistema di immobilizzazione delle zampe posteriori. Questo meccanismo, come spiegato precedentemente, si attiva autonomamente quando la zampa dell'animale raggiunge la zona di presa grazie al consenso dato dai due sensori posti in prossimità di essa. In alcuni casi è stato possibile verificare il

funzionamento del meccanismo, infatti si è vista una presa solida delle zampe senza che l'animale sia riuscito a liberarsi. In figura 8.4 è mostrato uno di questi casi, in cui l'animale, durante la prova, è rimasto immobile. Tuttavia, in diversi casi, la presa non è stata efficace, comportando infatti la liberazione della zampa dell'animale. Dalle prove eseguite si è constatato che il sistema, allo stato attuale, non garantisce la presa a causa della geometria con il quale è stato realizzato l'elemento flessibile del meccanismo di immobilizzazione. In particolare, con riferimento alla figura 4.16, si è visto un difetto di forma nell'elemento flessibile traslante. Questo elemento è infatti dotato di una cavità a forma circolare posta nella zona di presa, la cavità è stata creata per agevolare l'avvolgimento della zampa dell'animale da parte dell'elemento flessibile. Si è visto che, con l'attuale forma, la cavità non permette una sufficiente distribuzione dell'elemento sulla zampa, una volta deformato. Questo crea una riduzione della superficie di contatto tra l'elemento flessibile e la zampa dell'animale, che riesce a sfilare più facilmente la zampa dal meccanismo. Un altro problema sorto durante le prove ha riguardato il posizionamento corretto della zampa nella zona di presa. Nei casi in cui l'animale non posizioni le zampe nella zona di presa in contemporanea, ovvero quando il sistema esegue una presa sulle zampe in tempi diversi, si è visto che, dopo aver eseguito un tentativo sulla prima zampa posizionata e, dopo che l'animale è riuscito a liberarsi a causa dei problemi presentati precedentemente, questo tende a posizionare la seconda zampa in una zona non corrispondente alla zona di presa. In questo modo il meccanismo di immobilizzazione non può attivarsi, fallendo anche l'immobilizzazione della seconda zampa. Per risolvere i problemi sopracitati, si è pensato ad alcune soluzioni, tuttavia non applicate nello studio eseguito in questa tesi. Per quanto riguarda la ridotta superficie di contatto dell'elemento flessibile, una possibile soluzione per riuscire ad aumentarla è rendere l'elemento flessibile traslante più alto e rendere la cavità presente su di esso, più profonda. In particolare, quest'ultima soluzione, permette all'elemento flessibile di inglobare meglio la zampa durante la fase di presa. Tuttavia, per creare un elemento flessibile traslante più alto, è necessario installare gli attuatori che azionano questi elementi in una posizione più alta rispetto al piano di calpestio. Per fare questo è quindi necessario riprogettare l'alloggio di questi cilindri, tenendo conto che l'altezza dell'alloggio non deve essere eccessiva, altrimenti si rischia di creare un'interferenza tra la mammella e l'alloggio stesso. Inoltre, con un'altezza dell'alloggio troppo elevata, una futura configurazione del braccio robotico di mungitura ai lati, come mostrato in figura 3.3, non è attuabile.

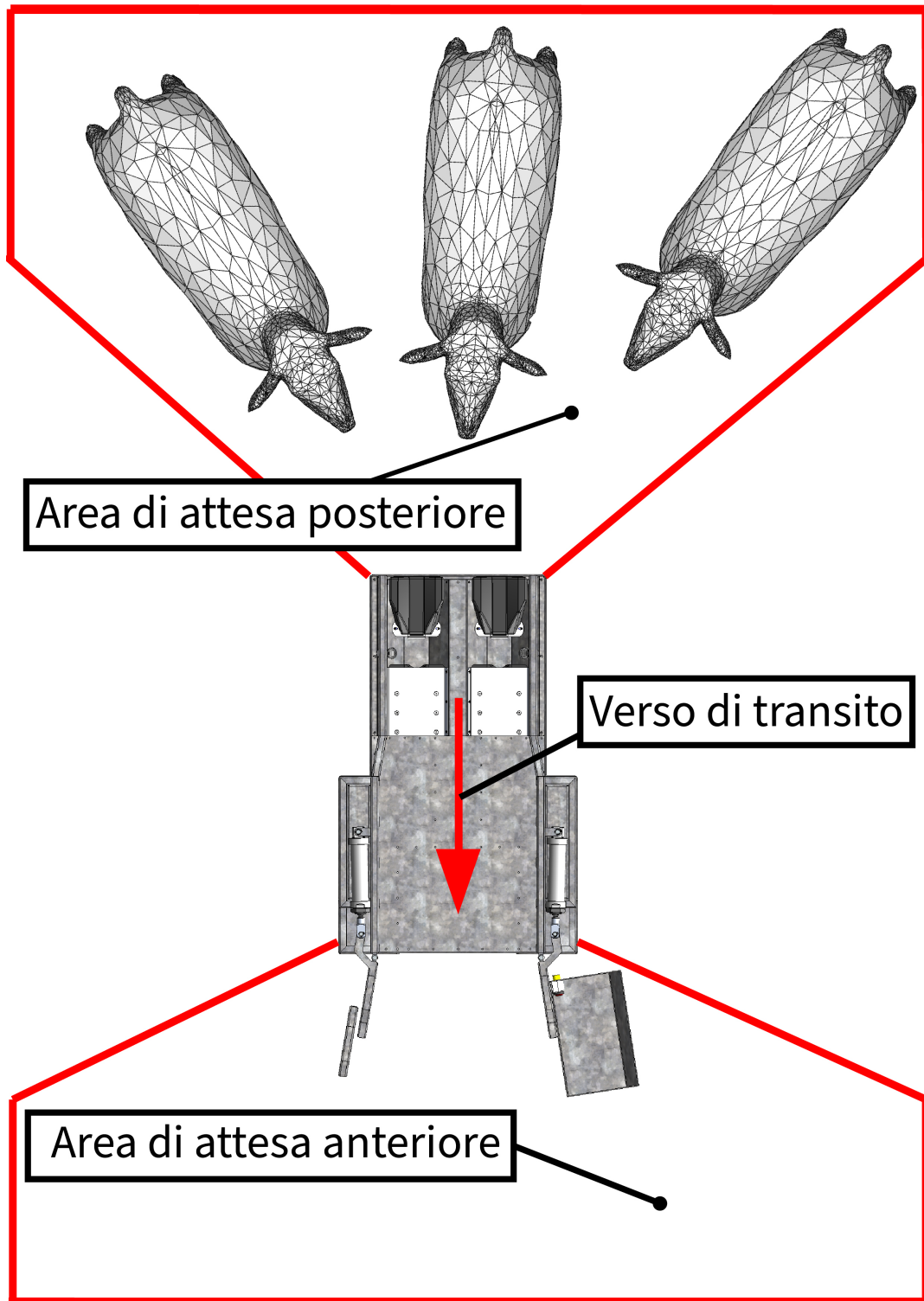


Figura 8.1: Disposizione della zona di prova



Figura 8.2: Disposizione della real zona di prova



Figura 8.3: Immagine reale del sistema di immobilizzazione del collo nella fase di presa



Figura 8.4: Immagine reale del sistema di immobilizzazione delle zampe posteriori nella fase di presa

Capitolo 9

Conclusioni

Le prove effettuate sulla postazione e, in particolare, sul sistema di immobilizzazione delle zampe posteriori, hanno permesso di individuare delle criticità non identificate durante la fase di progettazione. Queste criticità, al momento, sono limitate unicamente al sistema di immobilizzazione delle zampe posteriori. Dalle prove effettuate non sono stati individuati altri problemi che richiedono una modifica radicale della postazione. Il prototipo, così come è stato progettato e costruito, presenta un'ottima base per approfondire lo studio del sistema di immobilizzazione e, dunque, dell'impianto di mungitura, con lo scopo di trovare una soluzione efficace, funzionante quindi nella totalità dei casi. Il lavoro svolto in questa tesi rappresenta l'inizio dello sviluppo dell'impianto di mungitura automatico che si intende realizzare. Una volta perfezionato il sistema di immobilizzazione delle zampe posteriori, il passo successivo riguarderà l'installazione del sistema di supporto addominale, le relative prove su di esso e gli eventuali miglioramenti e correzioni. Questi due sistemi rappresentano il cuore della postazione che si intende ideare; non sarà possibile sviluppare le fasi successive dell'impianto di mungitura senza ottenere un'immobilizzazione completa dell'animale. Infatti, prima di studiare la gestione dei bracci robotici per il collegamento del gruppo di mungitura alla mammella, i sistemi di immobilizzazione devono funzionare nella totalità dei casi. Il funzionamento ottimale di questi due sistemi rappresenta un vincolo nello sviluppo del progetto.

Bibliografia

- [1] Ismea. *TENDENZE E DINAMICHE RECENTI Latte ovino – luglio 2022*. Ismea.
- [2] ISTAT. *Il Censimento permanente della popolazione in Sardegna, Anno 2021*. ISTAT.
- [3] De Luca Giovanni. *Guadagnare con la pecora*. Edagricole, 2000.